สมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก
ร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ปิยะพงษ์ ยงเพชร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

สมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก
ร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ปิยะพงษ์ ยงเพชร

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี)
วันที่ 13 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย)
วันที่ 13 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 13 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 13 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 13 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559

ชื่อเรื่อง สมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ชื่อผู้เขียน ว่าที่ร้อยตรี ปิยะพงษ์ ยงเพชร

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี

บทคัดย่อ

ปลาเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของคนไทย เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นแหล่งอาหารที่มีขนาดใหญ่และส่วนใหญ่มีแหล่งการผลิตอยู่ในทวีปเอเชีย ประเทศไทยมีสถิติการส่งออกสัตว์น้ำติดอันดับ 1 ใน 10 จากทุกประเทศทั่วโลก แต่ทั้งนี้ก็ยังมีปัญหาของการเลี้ยงปลาในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว ที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกร งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและไม่เติมอากาศร้อนเปรียบเทียบกับกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปของเกษตรกร รวมทั้งมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาที่มีการเติมอากาศร้อนและไม่มีการเติมอากาศร้อน และมีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ซึ่งในงานวิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบกระชังเลี้ยงปลาที่มีฉนวนกันการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกขนาด 2.1× 3.2× 1.5 m^3 โรงเรือนพลาสติกโค้งรูปพาราโบลาปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (0.15 mm, UV 7%) โดยทำการทดสอบเลี้ยงปลา 2 ชนิด ได้แก่ปลาหมอไทยและปลาทับทิมในสระน้ำเพื่อการเกษตร (18 ° 53 '24' 'N 99 ° 2' 16 "E) ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวซึ่งมีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 จากการทดสอบเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาที่สภาวะแตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง ทำการวัดเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าการการเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 30.24±0.68 °C และ 27.58±0.81 °C ทดสอบในช่วงฤดูฝนหนาว ตามลำดับ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าการเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติเท่ากับ 1.23 °C คิดเป็น 4.09% และ 0.81 °C คิดเป็น 2.99% ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 การศึกษาสมรรถนะของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน พบว่าที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0.8 m เปรียบเทียบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ไม่เติมอากาศร้อนและเติมอากาศร้อนมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ย 23.66% และ 32.65% ตามลำดับ น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.94±0.23 °C และ 31.82±0.68 °C ตามลำดับ สำหรับการเติมอากาศร้อนภายในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกส่งผลให้อุณหภูมิน้ำมีความสม่ำเสมอในทุกระดับชั้นความลึกมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำสูงสุดและต่ำสุด 1.57 °C และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา

ส่วนที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพด้านโภชนาการของปลาที่เลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก การทดสอบเลี้ยงปลาหมอไทยในฤดูฝน พบว่าปลาที่เลี้ยงในกระชังที่มีฉนวนกันการสูญเสียความร้อนและการเติมอากาศร้อนมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่เลี้ยงในกระชังทั่วไป และกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยโรงเรือนมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เท่ากับ 15.93%, 6.24% ตามลำดับ สำหรับปลาทับทิมที่เลี้ยงในฤดูหนาว พบว่าปลาที่เลี้ยงในกระชังที่มีฉนวนกันการสูญเสียความร้อนและการเติมอากาศมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่เลี้ยงในกระชังทั่วไป และกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยโรงเรือนมีการเจริญเติบโตและอัตรารอดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เท่ากับ 30.91%, 11.79% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าระบบโรงเรือนกระชังเลี้ยงปลาแสงอาทิตย์ที่พัฒนาสามารถเลี้ยงปลาได้ 3 รอบ/ปี ในขณะที่กระชังเลี้ยงปลาทั่วไปของเกษตรกรเลี้ยงได้เพียง 2 รอบ/ปี ทั้งนี้คุณสมบัติของน้ำและคุณภาพด้านโภชนาการไม่มีความแตกต่างกับกระชังเลี้ยงปลาทั่วไป

ส่วนที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในระบบกระชังเลี้ยงปลาในเรือนกระจกที่มีการเติมอากาศร้อนและไม่เติมอากาศร้อน จากแบบจำลองที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ พบว่าสามารถใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำในระบบกระชังเลี้ยงปลา โดยค่าอุณหภูมิน้ำที่ทำนายได้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองไม่เกิน 5% ทั้ง 2 ระบบ

ส่วนที่ 5 จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าโรงเรือนที่พัฒนามีการลงทุนประมาณ 10,400 บาท และมีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพบว่ามีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1 ปี 7 เดือน 14 วัน มีอัตราผลตอบแทนของระบบ (IRR) เท่ากับ 56.99% สรุปได้ว่าการลงทุนสร้างกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกผลตอบแทนของระบบน่าลงทุน

จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ระบบกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์รวมกับการเติมอากาศ มีค่าสมรรถนะและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่าระบบการเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาของเกษตรกรทั่วไป มีความเหมาะสมที่จะส่งเสริมการใช้งานและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับเกษตรกรต่อไป

Title	Thermal Performance of Greenhouse Fish Cages Integrated with Hot Air Aerator
Author	Acting Sub Lt. Piyaphong Yongphet
Degree of	Master of Engineering in Renewable Energy
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee

ABSTRACT

Aquatic animals, particularly fish, play a main role in the life and livelihoods of the people in Thailand, especially living in rural areas for whom fish is a staple of their diet and the chief source of animal protein. Aquaculture is the fastest growing food production industry, and the vast majority of aquaculture products are derived from Asia. Thailand's statistics stated that aquatic exports ranked 1st in 10 countries all over the world. However, there are culturing fish problems during the rainy and winter seasons that impact farmers daily life. This study was analyzing thermal performance of greenhouse fish cage integrated with (1) hot air aerator and (2) without hot air aerator compared to normal fish cage, as well as the development of a mathematical model for predicting water temperature in greenhouse fish cages and assessing the economic value.

In this research, foam was used in the design and development of fish cage size $2.1 \times 3.2 \times 1.5$ m^3 and covered with bamboo to reduce heat loss. The parabolic roof structure which was made from poly ethylene (0.15 mm, UV 7%). Culturing 2 species of fish include Climbing perch (*Climbing Perch, Anabastestudineus, Bloch*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus-mossambicus*) in a lagoon (18° 53' 24" N 99° 2' 16" E). During the rainy and winter season with low ambient temperature affected the growth of fish. The study results were divided into 5 parts, included.

Part 1: Test for culturing fish cage under 3 different sets of experiments. Comparing with the measured water temperature was significantly different among the treatments ($p<0.05$). From the experimental study greenhouse fish cages using foam and covered with bamboo have average water temperature of 30.24 ± 0.68 °C and 27.58 ± 0.81 °C that tested during the rainy and winter season, respectively; this temperature is higher than during normal fish farming being equal to 1.23 °C or 4.09% and 0.81 °C or 2.99%, respectively.

Part 2: Study of performance focused on greenhouse fish cage integrated with hot air aerator and without hot air aerator. The depth of the water surface 0.8 m it was found that performance of greenhouse fish cages were 23.66% and 32.65%, respectively. Average water temperature was 29.94±0.23 °C and 31.82±0.68 °C, respectively. Filling hot air into greenhouse fish cages revealed that the water temperature is consistently at each level of the depth. The difference between the maximum and minimum temperature was 1.57 °C. The temperature was optimized for culturing the fishes.

Part 3: The study was to compare growth rates and nutritional quality in culturing fish cage. Culturing Climbing perch during the raining season it was found that greenhouse fish cages using foam and covered with bamboo system showed the growth rates was higher than normal fish cage and fish cage covered with greenhouse ($p<0.05$) was 15.93% and 6.24%, respectively. Culturing Nile tilapia during winter season it was found that greenhouse fish cage using foam and covered with bamboo shown growth rates higher than normal fish cage and the cage covered up with greenhouse ($p<0.05$) was 30.91% and 11.79%, respectively. It also found that greenhouse fish cages using foam and covered with bamboo can produce fish cultures 3 times/yearly. In contrast, normal fish cages can culture fish 2 times/year. Water quality and nutrition showed that there is no difference compared to normal fish cage.

Part 4: Development to a mathematical model used for predicting the water temperature in greenhouse fish cages integrated with hot air aerator and without hot air aerator. The model was developed for this experimental study. It can be used to predict the water temperature for the fish cages. The predicted water temperature error presented not is more than 5%.

Part 5: The economic cost analysis was examined. The greenhouse fish cage was developed with an investment of 10,400 baht. It was found that the payback period was 1 year 7 months and 14 days; and the internal rate of return (IRR) was 58.00%. Accordingly, the return on investment in greenhouse fish cages verified the investment attractiveness.

The research concluded that culturing fish in greenhouse fish cages integrated with hot air aerator provided the best performance and most economical benefits compared with culturing fish in normal fish cage. Consequently, the entire study results deliveries detailed information and promotes the transfer of technology and knowledge to the farmers and efficiently applicable for the society.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นผลงานที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเทความตั้งใจ สติปัญญา กำลังกายและกำลังใจจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี ซึ่งเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำและแนวทางในการแก้ไขปัญหาจนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และ Dr. Rameshprabu Ramaraj ซึ่งได้สละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับแหล่งทุนที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ โดยได้รับทุนอุดหนุนค่าเล่าเรียนในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2558 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณทีมปฏิบัติการ “ลูกแม่เดียว” วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการทดลองได้อย่างยอดเยี่ยมเสมอมา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิโรจน์ คุณแม่เฮง ยงเพชร พร้อมครอบครัว ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมส่งเสริมการศึกษา เป็นกำลังใจที่ดี ให้การสนับสนุนทั้งในด้านการเรียน การดำเนินชีวิต ให้คำปรึกษาจนทำให้ผู้จัดทำวิจัยประสบความสำเร็จในการเรียน

ขอกราบขอบพระคุณ แม่จงกลณี เต็งเจริญ และว่าที่ร้อยตรีหญิง พัชรา แก่นพ่วง พร้อมครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนส่งเสริมการศึกษา เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ปิยะพงษ์ ยงเพชร

ตุลาคม 2559

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

สารบัญตารางผนวก

หน้า

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

คำอธิบายอักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
V	แรงดันไฟฟ้า	V
I	กระแสไฟฟ้า	A
P	กำลังไฟฟ้า	W
L	ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ	kJ/kg
τ	ค่าความสามารถในการส่องผ่านของรังสีแสงอาทิตย์	%
I_t	ค่ารวมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังเรือนกระจก	W/m^2
U	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม	W/°C
η	ประสิทธิภาพ	%
ΔT	ผลต่างอุณหภูมิ	°C
A	พื้นที่	m^2
B	มูลค่าผลตอบแทน	Baht
C	เงินลงทุน	Baht
Cp	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	kJ/kg·K
i	อัตราดอกเบี้ย	Baht
IRR	อัตราผลตอบแทนของโครงการ	%
M	มวล	kg
n	อายุโครงการ	year
NPV	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	Baht
PB	ระยะเวลาคืนทุน	year
PF	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (>0.85)	W

ตัวห้อย	ความหมาย
a	ambient
c	cage
i	inside
max	maximum
min	minimum
o	outside
t	time
w	water

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นแหล่งอาหารที่มีขนาดใหญ่และส่วนใหญ่มีแหล่งการผลิตอยู่ในทวีปเอเชีย (Gjedrem and Rye., 2012) ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นตามกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ (Naylor et al., 2000) ทั้งนี้เมนูอาหารที่ได้ที่ประกอบขึ้นจากเนื้อปลาถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโปรตีนสูง วิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายอุดมไปด้วยโอเมก้า-3 สายโซ่ยาว กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีความสำคัญต่อสมองและจอประสาทตา (Jabeen and Chaudhry, 2011) จากสถิติประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556-2557 มีอัตราการเพิ่มประชากรร้อยละ 1 ต่อปี ดังนั้นความต้องการในการบริโภคอาหารที่มีโปรตีนสูงจึงมีความจำเป็นต่อประชาชนในแต่ละวันและเนื้อปลานั้นก็ถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมสำหรับคนไทยเนื่องจากมีราคาต่ำกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นและคุณค่าทางอาหารสูง อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยสภาพภูมิประเทศทางภาคเหนือของประเทศไทยเป็นภูเขาสูงทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำซึ่งช่วงในฤดูหนาวเฉลี่ยต่ำกว่า 15 °C ประกอบกับในช่วงกลางวันและกลางคืนก็จะมีอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ 15-20 °C (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2557) จึงส่งผลให้เกษตรกรผู้ประกอบอาชีพเลี้ยงปลาไม่สามารถเลี้ยงปลาได้ทันต่อการบริโภคและยังคงต้องนำเข้าปลามาจากต่างจังหวัดส่งผลให้ราคาปลาเพิ่มสูงขึ้นและคุณค่าทางก็อาหารลดลง

จากเศรษฐกิจการผลิตและการตลาดรวมถึงการเพิ่มจำนวนกลุ่มลูกค้า ส่งผลให้มีจำนวนเกษตรกรนิยมประกอบอาชีพการเพราะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเท่ากับ 435,765 ตัน และภาคเหนือของประเทศไทยมีผลผลิตเป็น 23.38 % ของจำนวนผลผลิตทั้งหมด แต่ยังมีผลผลิตลดน้อยลง 6.41% เมื่อเทียบผลผลิตจากสองปีที่ผ่านมา (หนังสือสถิติเรือประมงไทย, 2556) เนื้อที่เลี้ยงสัตว์น้ำจืดทั้งประเทศปี 2556 มีจำนวน 1,056,007 ไร่ ลดลงจากปีก่อนหน้าคิดเป็น 5.89% เป็นเนื้อที่เลี้ยงในบ่อจำนวน 93.75% ลดลงจากปีที่ผ่านมาคิดเป็น 5.14% เป็นเนื้อที่เลี้ยงในนา 4.14% ลดลงจากปีที่ผ่านมาคิดเป็น 19.45% เป็นเนื้อที่เลี้ยงในร่องสวนคิดเป็น 1.99% ลดลงจากปีที่ผ่านมาคิดเป็น 10.32% และเป็นเนื้อที่เลี้ยงในกระชัง 0.12% (62,396 กระชัง) เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาคิดเป็น 50.33% (Department of Fisheries, 2015) พบว่าในการสำรวจสถิติการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในปีที่ผ่านมาเกษตรกรให้ความสนใจหันมาเลี้ยงปลาในกระชังเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการดูแลรักษาที่ง่าย สะดวกใน

การเก็บผลผลิต และมีต้นทุนในการลงทุนต่ำ แต่ทั้งนี้ก็ยังมีปัญหาของการเลี้ยงปลาในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกร

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความแปรปรวนของสภาพอากาศส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา จำนวนผลผลิตปลาน้ำจืดไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับความต้องการของผู้บริโภคจึงเกิดจากนำเข้าจากต่างจังหวัดรวมถึงประเทศเพื่อนบ้านอย่างเช่น ประเทศลาว และประเทศพม่า เป็นต้น เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิต่ำ ปลาท้องถิ่นส่วนใหญ่มีขนาดเล็กและไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ประกอบกับราคาปลาที่มาจากแหล่งอื่นมีราคาค่อนข้างสูง โดยเฉพาะช่วงฤดูหนาวราคาปลาน้ำจืดจะสูงกว่าราคาในช่วงอื่นประมาณ 50-80% เนื่องจากผลผลิตปลาลดลง (Whangchai et al., 2007) หากมีวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเลี้ยงปลาน้ำจืด คงเป็นแนวทางที่ดีต่อเกษตรกรสำหรับการเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค

โดยทั่วไปเกษตรกรต้องใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงปลาประมาณ 6-8 เดือน/รอบการผลิต ทั้งนี้สามารถลดระยะเวลาในการเลี้ยงให้เหลือประมาณ 3-5 เดือน/รอบการผลิต โดยวิธีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้เข้าใกล้หรืออยู่ในช่วง 28-32 °C ในฤดูหนาวและฤดูฝน วิธีการนี้จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและประหยัดเวลาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้เพิ่มจำนวนผลผลิตเพียงพอกับความต้องการได้ จากงานวิจัยเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิน้ำมีผลต่อสภาวะการเจริญเติบโตของปลา ทำให้น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน) มีค่าสูงขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิน้ำในการเลี้ยงปลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชังช่วงฤดูหนาว การเพิ่มอุณหภูมิน้ำบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอีกเทคโนโลยีที่ประสบผลสำเร็จมาแล้วและมีความเป็นไปได้สูง (Wisely et al., 1982; Zhu et al., 1998; Tiwari et al., 2003) ถ้าสามารถเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิน้ำในช่วง 28-32 °C ปลาจะมีอัตราการเจริญเติบโตดี มีอัตราการเปลี่ยนเนื้อสูง ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงสั้นลง ซึ่งจะทำให้ผลิตปลาเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 60-70% (ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2555) ดังนั้นงานวิจัยนี้อธิบายการศึกษาทดลองการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดและสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน โดยการนำโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา และมีเครื่องดูดลมร้อยช่วยในการดึงเอาอากาศร้อนที่อยู่ภายในโรงเรือนกระชังเลี้ยงปลาลงสู่น้ำในระดับ 0.8 m วัดลงจากระดับผิวน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิน้ำภายในกระชังเลี้ยงปลาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ การเจริญเติบโตของปลาที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน) อัตราการรอดตาย (%) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในสระเพื่อการเกษตรเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิ

ของน้ำในแต่ละการทดลอง การวิเคราะห์ประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งของพลังงานที่มีต้นทุนต่ำเพื่อช่วยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้น เพื่อช่วยการลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลาและเพิ่มผลผลิตปลาให้กับเกษตรกร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนที่มีอยู่ภายในเรือนกระจกเพื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำและออกซิเจนสำหรับเลี้ยงปลาในกระชัง
2. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายอุณหภูมิน้ำ (สมรรถนะของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน)
3. เพื่อประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ขอบเขตของการวิจัย

โครงการนี้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนที่มีอยู่ภายในเรือนกระจกเพื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำและออกซิเจนสำหรับเลี้ยงปลาในกระชัง โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเข้ามาช่วย ใช้พื้นที่ในการทดสอบระบบอยู่ที่สระน้ำเพื่อการเกษตร ใกล้มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ มีขอบเขตในการวิจัยดังนี้

1. ระบบการเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนด้วยเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน
    1.1 ใช้พลาสติกหนา 0.15 mm. UV 7% ในการสร้างเรือนกระจกที่มีขนาด กว้าง 3.5 m ยาว 4.0 m และสูง 1.75 m คลุมกระชังเลี้ยงปลา
    1.2 ใช้ Blower ดูดอากาศร้อนภายในโรงเรือนลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลา
2. กระชังเลี้ยงปลา
    2.1 กระชังเลี้ยงปลามีขนาดกว้าง 2.0 m ยาว 3.0 m และลึก 1.5 m
    2.2 ใช้พลาสติกทำเป็นฉนวนเพื่อเก็บความร้อนให้กับกระชังเลี้ยงปลามีขนาด 3.5 m ยาว 5.5 m และลึก 1.5 m
    2.3 ใช้ปลาหมอไทยและปลาทับทิมในการเพาะเลี้ยงระยะเวลาเติบโต 3-5 เดือน

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 การคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่คิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณช่องปล่อยของเสียจากอาหารและปลา เนื่องจากน้ำบริเวณส่วนนั้นมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน

3.2 ไม่คิดมวลปลาหมอไทยเพราะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของน้ำในกระชังเลี้ยงปลา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน
2. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายสมรรถนะของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ระบบการเลี้ยงปลาในกระชังถูกวิจัยขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนเข้ามาช่วย มีการจัดการระบบให้เป็นรูปแบบการนำพลังงานทดแทนเข้ามาประยุกต์ใช้ในการประสิทธิภาพการเลี้ยงปลาในกระชัง ใช้พลังงานเชิงความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์มาอุ่นน้ำเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา การควบคุมอุณหภูมิด้วยเรือนกระจก และการเติมอากาศอากาศร้อนและออกซิเจนลงในกระชังเลี้ยงปลา ซึ่งมีหลักการและทฤษฎีดังต่อไปนี้

พลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก

เมื่อดวงอาทิตย์ได้แผ่รังสีมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดการดูดกลืนรังสีและการแผ่รังสีโดยก๊าซในบรรยากาศ สเปคตรัมนอกโลกถูกโมเลกุลของก๊าซ มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์เกิดขึ้นมีแผ่ไปถูกฝุ่นละลองและการกระจายของเมฆทำให้ความเข้มแสงรวม องค์ประกอบของสเปคตรัมและทิศทางรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับรังสีอาทิตย์เหนือบรรยากาศ (จงจิตร์, 2541; Hirunlabh et al, 1994)

1. ประเภทรังสีอาทิตย์

1.1 รังสีตรง เป็นค่ารังสีอาทิตย์ที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงตกกระทบบนพื้นผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนในแนวลำแสงอาทิตย์ที่เวลาใดเวลาหนึ่ง

1.2 รังสีกระจาย เป็นค่าสีอาทิตย์ที่มีการสะท้อนจากบรรยากาศโลกและวัตถุต่างๆ ในแนวทางเคลื่อนที่ของแสงก่อนตกกระทบสู่พื้นผิวรับแสงมาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า

1.3 รังสีรวม เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบลงพื้นผิวรับแสง ในกรณีพื้นที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียงประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายจากท้องฟ้ารวมกับผิวโลกเรียกว่า Total Radiation ส่วนในกรณีรังสีตรงรวมกับรังสีกระจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวเรียกว่า Global Radiation

2. เวลาสุริยะ

เป็นเวลาที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar Noon) คือ เวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่สังเกต สาเหตุที่เวลาสุริยะจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard Time) เนื่องมาจาก

2.1 เส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการหาเวลาสุริยะ ต่างกันกับเส้นเมอริเดียนที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น ดวงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณ 4 นาที ต่อ 1 ลองจิจูดที่เปลี่ยนไป

2.2 การกวัดแกว่งของแกนหมุนของโลก ซึ่งมีผลต่อเวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่สังเกต ซึ่งการกวัดแกว่งนี้สามารถหาได้จากสมการเวลา (Equation of Time) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะและเวลามาตรฐานสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Solar Time} = \text{Standard Time} \pm 4\left(L_{st} - L_{local}\right) + E \qquad (1)$$

สำหรับเครื่องหมาย “±” หน้าเทอมที่สองทางขวามือเป็น (+) สำหรับซีกโลกตะวันตก และ (-) สำหรับซีกโลกตะวันออก

โดยที่

$$E = 299.2\,(0.000075 + 0.001868\cos B - 0.032077\sin B - 0.014615\cos 2B - 0.04089\sin 2B) \qquad (2)$$

และ

$$B = \frac{360(n-1)}{365} \qquad (3)$$

เมื่อ

L_{st} = เส้นเมอริเดียนที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น

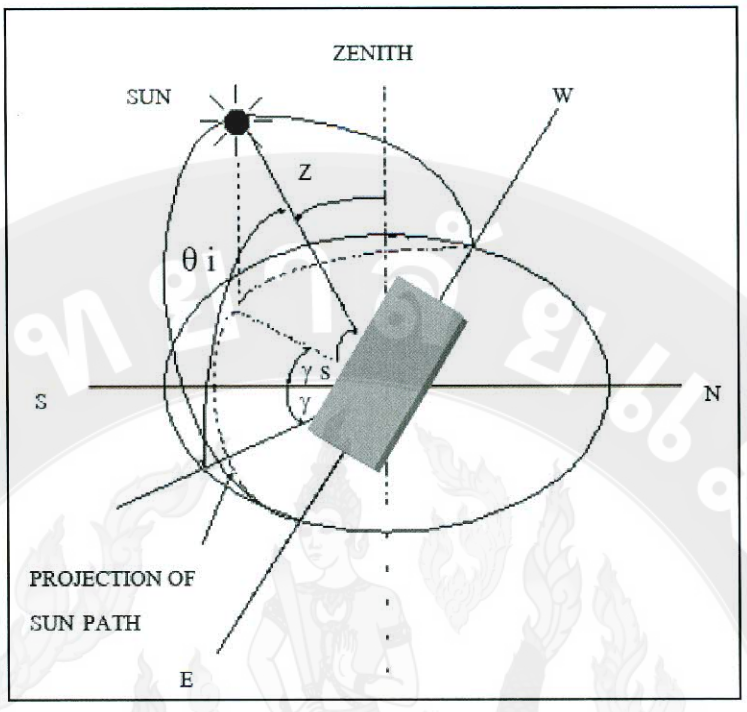
L_{local} = เส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการเวลาสุริยะ

E = สมการเวลา (นาที)

n = วันลำดับที่ n ของปี

3. ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างแนวระนาบการหมุนของโลกที่เวลาใดๆ กับรังสีตรงหรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ สามารถอธิบายได้ดังแสดงในภาพที่ 1 และประกอบด้วยมุมต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 1 ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.1 ละติจูล (Latitude, ϕ)

คือ มุมพิกัดที่ใช้บอกตำแหน่งบนพื้นโลกและแบ่งเขตสภาวะอากาศโดยวัดจากเส้นศูนย์สูตร หรือมุมที่อยู่ทางทิศเหนือและทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร ละติจูดมีค่าระหว่าง -90 $^{\circ}$ ถึง 90 $^{\circ}$ โดยกำหนดให้ค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และกำหนดให้ค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้

3.2 ค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Constant)

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลมดังนั้นระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงมีค่าไม่เท่ากันที่เวลาใดๆ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 1.7% ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8 × 106 m ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นหนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลกที่เวลาต่างกันจึงมีค่าไม่เท่ากัน ค่าคงที่แสงอาทิตย์ คือ ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าประมาณ 1,367 W/m^2

3.3 มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω)

มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือทางตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15 °C ต่อหนึ่งชั่งโมง

3.4 มุมเอียง (Slope, β)

คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0° ถึง 180°

3.5 มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle, δ)

คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45° ถึง 23.45° สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360(284+n)}{365}\right] \qquad (4)$$

เมื่อ

n = วันลำดับที่ n ของปี

3.6 มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude Angle, α_s)

คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวลำแสงดวงอาทิตย์ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\sin\alpha_s = \cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \qquad (5)$$

3.7 มุมอะซิมุธพื้นดิน (Surface Azimuth Angle, γ)

คือ มุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของพื้นที่รับแสง มีค่าอยู่ในช่วง –180° ถึง 180° โดยเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหันไปทางทิศตะวันตก และเป็นลบเมื่อหันไปทางตะวันออก

3.8 มุมอะซิมุธดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle, γ_s)

คือ มุมระหว่างระนาบแนวดิ่งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวดิ่งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มุมอะซิมุธดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง -180° ถึง 180° สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha_s} \tag{6}$$

3.9 มุมตกกระทบ (Incidence Angle , θ)

คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิว กับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\cos\theta = {} & \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma \\ & + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega \\ & + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega \\ & + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega\end{aligned} \tag{7}$$

กรณีพื้นราบ (β=0°) มุมตกกระทบ คือ มุมซีนิธ

$$\cos\theta_z = \cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \tag{8}$$

พื้นผิวรับแสงและมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถหามุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตก (Sunset Hour Angle, ω_s) เมื่อ θ_z เท่ากับ 90°

$$\cos\omega_s = -\tan\phi\tan\delta \tag{9}$$

และสามารถหาความยาวนานวันได้จากสมการ

$$N = \frac{2}{15}\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \qquad (10)$$

ความยาวนานวัน (Day Length) หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งตกในแต่ละวันของละติจูดใดๆ ค่านี้มีความแปรผันขึ้นอยู่กับมุมชั่วโมงการขึ้นของดวงอาทิตย์

4. รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ

ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกบรรยากาศของโลกในแต่ละวัน จากพระอาทิตย์ขึ้นถึงพระอาทิตย์ตก สามารถคำนวณได้จากสมการ (Duffie and Beckman, 1980) ดังนี้

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right] \times \left[\begin{array}{l}\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \\ \frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\phi\sin\delta\end{array}\right] \qquad (11)$$

สำหรับเวลาในหนึ่งวัน สามารถหาค่ารังสีที่ตกกระทบในแนบราบเหนือบรรยากาศได้ดังนี้

$$I_0 = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right] \times \left[\begin{array}{l}\cos\phi\cos\delta(\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \\ \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360}\sin\phi\sin\delta\end{array}\right] \qquad (12)$$

เมื่อ

H_0 = ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก ($MJ/m^2 \cdot day$)

I_0 = ค่ารังสีนอกบรรยากาศโลกที่ตำแหน่งเดียวกันกับบนโลก ($MJ/m^2 \cdot hr$)

G_{sc} = ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) ซึ่งมีค่าประมาณ 1,367 (W/m^2)

5. อัตราส่วนของความเข้มรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ

เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางที่แน่นอนอยู่บนแนวลำแสง และขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจึงสามารถคำนวณหาค่า R_b ได้จากมุมตกกระทบของลำแสงบนพื้นผิวใดๆ ดังนี้

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \qquad (13)$$

มุม θ และ θ_z สามารถคำนวณได้จากเส้นละติจูดของที่ตั้ง ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า

6. การหาค่ารังสีอาทิตย์รวมบนพื้นเอียง

การใช้ค่ารังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบสามารถนำมาค่ารังสีรวมบนพื้นเอียงได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Liu and Jordan (1963) ดังนี้

$$R = \frac{\text{totle rediation on tilted surfaced}}{\text{totle rediation on horizontal surfaced}} = \frac{I_T}{I} \tag{14}$$

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \tag{15}$$

ในกรณีที่วางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำมุงเอียงกับแนวระดับยังมีรังสีอีกส่วนหนึ่งที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเก็บรังสี สามารถคำนวณได้จาก

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho_g (I_b + I_d)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \tag{16}$$

เมื่อ

I_T = รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนแนวระนาบเอียง ($MJ/m^2 \cdot hr$)

I_b = รังสีตรงรายชั่วโมงในแนวระดับ ($MJ/m^2 \cdot hr$)

I_d = รังสีกระจายรายชั่วโมงในแนวระดับ ($MJ/m^2 \cdot hr$)

ρ_g = แฟกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม (Ground Reflectance or Albedo) มีค่าประมาณ 0.2 เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์วางอยู่บนพื้นดินหรือหญ้า และ 0.8 เมื่อวางอยู่บนพื้นคอนกรีต

Beem and Diffuse Components of Hourly Radiation เป็นการประมาณหาค่ารังสีกระจายโดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีกระจาย ค่ารังสีรวมบนพื้นราบ และดัชนีการมีเมฆรายชั่วโมง ดังนี้

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.9k_T & \text{for } k_T \leq 0.22 \\ 0.95 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 & \text{for } 0.22 < k_T \leq 0.80 \\ 0.165 & \text{for } k_T > 0.8 \end{cases} \quad (17)$$

โดย $k_T = \frac{I}{I_0}$ (18)

เมื่อ k_T = ดัชนีเมฆรายชั่วโมง

แบบจำลองอุณหภูมิอากาศ

การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในช่วง พ.ศ. 2557 ของจังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 1 เข้ามาช่วยในการการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศที่เวลาใดๆ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในช่วง พ.ศ. 2557 ของจังหวัดเชียงใหม่

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
T_{min}(°C)	15.33	15.50	20.00	23.79	24.71	25.29	24.83	24.41	24.13	24.13	21.10	18.06
T_{max}(°C)	28.88	30.60	36.51	37.18	35.46	38.83	32.83	32.50	32.50	33.60	31.98	30.19

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2557)

การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศสามารถจำลองได้โดยการนำค่าอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิที่สูงสุดมาคำนวณหาอุณหภูมิอากาศที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการของ (Naris Pratinthong, 1996) ดังนี้

$$T_a(t) = \frac{1}{2}\left[(T_{max} + T_{min}) + (T_{max} - T_{min})\sin\left(\frac{2\pi}{24}(t-9)\right)\right] \quad (19)$$

เมื่อ

$T_a(t)$ = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลา t (°C)

T_{min} = อุณหภูมิบรรยากาศที่ต่ำสุดในวัน (°C)

T_{max} = อุณหภูมิบรรยากาศที่สูงสุดในวัน (°C)

t = เวลา (hr)

การประเมินประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเบื้องต้น

การประเมินประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงเรือนกระจก คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100 \qquad (20)$$

เมื่อ: η คือ ประสิทธิภาพ

Q_{output} คือ พลังงานที่ใช้ในการอุ่นน้ำในโรงเรือน

Q_{input} คือ พลังงานที่ตกกระทบพื้นที่กระชัง

โดยที่ $$Q_{output} = \frac{m}{\Delta t} Cp \Delta T \text{ หน่วย W} \qquad (21)$$

เมื่อ m คือ มวลของน้ำในกระชัง (kg)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (°C)

Cp คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4,187 J/kg·K

Δt คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา (s)

และ $$Q_{input} = \tau I A_c + P_{pump} \text{ หน่วย W} \qquad (22)$$

I_t คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)

A_c คือ พื้นที่กระชังเลี้ยงปลา (m^2)

P_{pump} คือ กำลังไฟฟ้าของปั๊มเติมอากาศ (W)

หา $P = IV\cos\theta$ (23)

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

PF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า >0.85 (W)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์การลงทุน (Investment analysis) ของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน โดยมีการกำหนดข้อสมมติ การคำนวณหาต้นทุนและรายได้ อายุการใช้งานของระบบทั้งนี้กำหนดกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนมีอายุการใช้งานเท่ากับ 10 ปี จากนั้นกำหนดเงินลงทุนต้นทุน และรายได้ในแต่ละปี และหาอัตราผลตอบแทน NPV, IRR และ B/C ratio (นงนุช, 2544)

เกณฑ์ในการช่วยตัดสินใจในการลงทุนจะเป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการมี 4 ตัวชี้วัด มีดังต่อไปนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธินั้น (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินจ่ายออกไป หากค่าปัจจุบันที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แสดงว่าอัตราผลตอบแทนที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าต้นทุนของเงินลงทุนหรือผลตอบแทนที่ต้องการจึงไม่ควรตัดสินใจลงทุน สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1-i)^t} - \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)} + C_0 \right) \quad (24)$$

เมื่อ

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)

C_t = ต้นทุนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)

C_0 = ต้นทุนในปีเริ่มแรก

i = อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนคิดลด (Discount rate)

n = อายุโครงการ

เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก และไม่ควรลงทุนถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ

2. อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio: B/C Ratio)

ค่าอัตราส่วนที่ใช้เพื่อตัดสินใจระหว่างโครงการต่างๆ เรียกว่า อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit - Cost Ratio: B/C Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้ตลอดอายุโครงการกับมูลค่าต้นทุนตลอดอายุโครงการ โดยปกติถ้าอัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนของโครงการใดมีค่ามากกว่าหนึ่ง ถือว่าโครงการนั้นน่าจะได้รับความสนใจ (วันชัย และ ชอุ่ม, 2545) อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{B/C ratio} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{n} (1+i)^t + C_0} \qquad (25)$$

เมื่อ

B/C ratio = อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)

C_t = ต้นทุนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)

C_0 = ต้นทุนในปีเริ่มแรก

i = อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนคิดลด (Discount rate)

n = อายุโครงการ

เกณฑ์ในการตัดสินใจว่าโครงการมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในการลงทุน คือ

B/C ratio = 1 แสดงว่า การลงทุนคุ้มทุนพอดี

B/C ratio > 1 แสดงว่า การลงทุนจะมีกำไร

B/C ratio < 1 แสดงว่า การลงทุนจะขาดทุน

3. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

เป็นวิธีการคำนวณหาส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของมูลค่าที่จ่ายเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของมูลค่าที่ได้รับ หรือทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยถืออัตราส่วนที่คำนวณได้ก็คือ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{IRR หรือ r ที่ทำให้} \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t} + C_0 \right) = 0 \qquad (26)$$

เมื่อ IRR = อัตราผลตอบแทนของโครงการ

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)

C_t = ต้นทุนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)

C_0 = ต้นทุนในปีเริ่มแรก

i = อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนคิดลด (Discount rate)

n = อายุโครงการ

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ คือ เปรียบเทียบค่า IRR ที่คำนวณได้กับค่าของอัตราคิดลดหรือค่าเสียโอกาสเงินลงทุนที่เป็นมาตรฐานซึ่งได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว ถ้า IRR ที่คำนวณได้สูงกว่าที่กำหนดก็ยอมรับโครงการนั้น ถ้าต่ำกว่าก็ปฏิเสธโครงการ โดยทั่วไป ถ้า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ยทั่วไปธุรกิจจะเหมาะสมในการลงทุน

4. การประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

เป็นวิธีประเมินค่าโครงการโดยไม่คำนึงถึงเงินภาษีและดอกเบี้ยเข้ามาวิเคราะห์ทำให้ง่ายต่อการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) สามารถคำนวณได้จาก

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / ผลกำไรสุทธิรายปี (27)

เมื่อ

เงินลงทุน คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนในการซื้อและก่อสร้างของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ผลกำไรสุทธิรายปี คือ ผลต่างกำไรสุทธิต่อปี ที่ได้จากการขายปลาของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและกระชังที่เลี้ยงตามปกติ หักจากค่าใช้จ่ายทั้งหมด ค่าพันธุ์ปลา และอาหาร

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ คือ ค่าคำนวณมีหน่วยเป็นปี ถ้าคืนทุนเร็ว แสดงว่ากลุ่มมีประสิทธิภาพในการคืนทุน ยอมรับในโครงการ

ข้อมูลปลาที่ใช้ในการทดลองและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำในการเลี้ยงปลา

1. ชนิดปลาที่ใช้เลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

1.1 ปลาหมอไทย

ปลาหมอไทย (Climbing Perch, Anabastestudineus, Bloch) เป็นปลาน้ำจืดพื้นบ้านของไทยที่นิยมบริโภคกันทั่วทุกภาค ปลาหมอมีอวัยวะช่วยหายใจ (labryrinth organ) ในช่องเหงือกใต้ลูกตาประกอบด้วยแผ่นกระดูกบาง (lamellae) จำนวนมากเรียงซ้อนกัน และถูกห่อหุ้มด้วยผนังบางๆ ที่มีเส้นเลือดฝอยจำนวนมาก แผ่นนี้จะช่วยดูดซับออกซิเจนในอากาศ และผ่านเข้าสู่เส้นเลือดฝอยเมื่อโผล่ขึ้นมาฮุบอากาศเหนือผิวน้ำ มีลักษณะลำตัวค่อนข้างแบน ปกคลุมด้วยเกล็ดแข็งแบบ Ctenoid สีน้ำตาลหรือเหลืองปนดำหรือเขียวปนดำ และมีมีสีเหล่านี้ปะปนกันทั้งลำตัว เกล็ดบริเวณใกล้ท้องมีสีจางกว่าส่วนหลัง ลำตัวยาวประมาณสามเท่าของความกว้างลำตัว บริเวณสันหลังมีครีบหลังที่แข็ง 17-18 ก้าน และก้านครีบอ่อนส่วนท้ายสันหลัง 9-10 ก้าน ครีบก้นส่วนต้นมีก้านครีบแข็ง 9-10 ก้าน และก้านครีบอ่อนส่วนท้าย 10-11 ก้าน ครีบท้องถัดจากครีบก้นขึ้นไปทางด้านหัวมีก้านครีบแข็ง 2 ก้าน และก้านครีบอ่อน 5 ก้าน ส่วนครีบอกที่อยู่เหนือครีบท้องมีก้านครีบอ่อน 15 ก้าน ตำแหน่งของครีบหลัง ครีบอก ครีบท้องอยู่ในแนวเดียวกัน เส้นข้างตัวแบ่งขาดเป็น 2 ตอน กระดูกกระพุ้งแก้มงอพับได้ ส่วนปลายมีลักษณะเป็นหนามแหลมคม และส่วนล่างกระดูกกระพุ้งแก้มแยกเป็นกระดูกแข็งสำหรับปีนป่าย เรียกว่า Ichy feet หรือเกาะกับพื้นเพื่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ครีบหางมีลักษณะกลม มนเล็กน้อย บริเวณโคนหางมีจุดสีดำกลมหรืออาจไม่มีก็ได้ ปากอยู่สุดของส่วนหัว มีลักษณะเฉียงขึ้นเล็กน้อย ริมฝีปากยืดหดไม่ได้ ฟันด้านในแหลมคม ตามีลักษณะทรงกลม มีตาดำอยู่ตรงกลาง (เทคนิคการเลี้ยงสัตว์และสาระพันธุ์สัตว์, 2558)

ภาพที่ 2 ปลาหมอไทย (*Climbing Perch, Anabastestudineus, Bloch*)

1.2 ปลาทับทิม

ปลาทับทิม (Nile tiapia) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus-mossambicus* เป็นปลาที่พัฒนามาจากสายพันธุ์ปลานิล ปลาทับทิมเป็นปลาที่พัฒนาสายพันธุ์มาจากปลานิล ที่มีการผสมข้ามสายพันธุ์กับปลานิลแดงของต่างประเทศที่อยู่ในตระกูลเดียวกัน จนได้ปลาทับทิมพันธุ์แท้ที่มีรูปร่างลักษณะเฉพาะตัว มีคุณภาพของเนื้อที่หวาน นุ่ม และมีสีสวยงาม การพัฒนา และคัดเลือกสายพันธุ์ปลาทับทิมจนได้สายพันธุ์มีคุณภาพเนื้อปลาสูง ทำให้ลดความด้อยในสีเดิมของปลานิลแดงพ่อแม่พันธุ์ คือ สีกระที่มีสีดำเจือปนจนเป็นปลาสายพันธุ์ใหม่ที่มีสีแดงอมชมพูหรือมีสีเหลืองอ่อน มีครีบเป็นสีแดง เนื้อและผนังช่องท้องเป็นสีขาว มีลำตัวหนาทำให้มีเนื้อมาก และมีส่วนหัวเล็ก นอกจากนี้ ยังมีสีผิวของปลาทับทิมที่เด่นชัดกว่าปลานิลแดง และมีคุณภาพของเนื้อปลาที่มีความหวานและนุ่มกว่า ปลาทับทิมมีคุณค่าทางอาหารทางด้านโปรตีน ไขมัน พลังงาน และโอเมก้า-3 ของเนื้อปลาปลาทับทิม โดยบริษัท กรุงเทพฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำกัด พบว่า ปริมาณไขมันในเนื้อปลาทับทิมมีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ โดยมีปริมาณไขมันเพียง 0.9% ทำให้มีผลดีต่อผู้บริโภค คือ ไม่เกิดการสะสมไขมันในผนังหลอดเลือด ลดความเสี่ยงโรคหัวใจ โรคความดันโลหิต โดยค่าโอเมก้า-3 ในปลาทับทิมมีมากถึง 4.0% ขณะที่เนื้อสัตว์อื่นๆ ไม่พบเลยหรือพบน้อยมาก นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 มีค่าสูงกว่าปลาน้ำจืด ปลาน้ำกร่อยตามธรรมชาติทั่วไป ถึง 4 เท่า (เทคนิคการเลี้ยงสัตว์และสาระพันธุ์สัตว์, 2558)

ภาพที่ 3 ปลาทับทิม (Nile tiapia) *Oreochromis niloticus-mossambicus*

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโต ทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของปลา โดยการสุ่มตัวอย่างปลาจากชุดการทดลองตลอดระยะเวลาเลี้ยง โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งหน่วยเป็นกรัม และวัดขนาดความยาวของลำตัวด้วยไม้บรรทัดหน่วยเป็นเซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงดังนี้

ก. น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาทดลองสุดท้าย - น้ำหนักปลาทดลองเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}} \quad (28)$$

ข. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน)

$$= \frac{(\ln \text{ น้ำหนักปลาทดลองสุดท้าย - } \ln \text{ น้ำหนักปลาทดลองเริ่มต้น})}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}} \times 100 \quad (29)$$

ค. อัตรารอดตาย (%)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาทดลองเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง}}{\text{จำนวนปลาทดลองเริ่มต้น}} \times 100 \quad (30)$$

2. ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำในการเลี้ยงปลา

คุณภาพของน้ำในสระเพื่อการเกษตรที่ใช้เลี้ยงปลากระชัง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโต การเกิดโรคและปรสิต การผสมพันธุ์วางไข่และการตายของปลา ถ้าปลาได้อาศัยอยู่ในน้ำซึ่งมีคุณภาพดี มีความเหมาะสมต่อชนิดและขนาดของปลา ก็จะทำให้ปลาดำเนินชีวิตได้เป็นปกติ เจริญเติบโตดีปราศจากโรคและปรสิต

ดังนั้นการเลี้ยงปลาเพื่อมุ่งหวังจะให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงนั้น ควรคำนึงถึงการจัดการให้น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลามีคุณภาพดี และมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาเป็นสำคัญ อนึ่ง การที่จะกำหนด กฎเกณฑ์ลงไปว่า คุณภาพน้ำอย่างไร จึงจะมีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา หรือการผลิตปลาให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้น เป็นเรื่องที่ยุ่งยากซับซ้อนเกินกว่าจะเข้าใจได้แน่ชัด เพราะว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของปลานั้นมีมากมายหลายอย่าง เช่น อาหาร ความหนาแน่นของปลา พันธุ์ปลา การเกิดโรคและปรสิต สภาพภูมิอากาศ คุณภาพของน้ำ ฯลฯ นอกจากนี้คุณภาพของน้ำก็ยังขึ้นอยู่ปัจจัย ผันแปรหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ ปริมาณอนินทรียสารในน้ำ ปริมาณอินทรีย์สารในน้ำ ฯลฯ

ความเหมาะสมของคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเลี้ยงปลาชนิดต่างๆ นั้น จึงจำเป็นต้องใช้เวลาศึกษาหาข้อมูลและประสบการณ์ เพื่อนำมาปรับใช้ให้ถูกต้องเหมาะสม คุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงปลานั้น มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และ ชีวภาพของน้ำในบ่อปลา

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

1. อุณหภูมิ (Temperature) แสงแดดที่ส่องกระทบพื้นผิวน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แสงแดดที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงกับแสงสะท้อน ซึ่งเป็นแสงแดดที่ส่องกระทบสิ่งเจือปนในบรรยากาศแล้วสะท้อนลงสู่พื้นผิวน้ำ แสงเมื่อกระทบพื้นผิวน้ำ ส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านลงไปในน้ำ ถ้าผิวน้ำเรียบและมุมที่แสงทำกับ ผิวน้ำแคบ แสงจะส่องผ่านลงไปได้ลึก แสงอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ ปริมาณของแสงที่สะท้อนกลับนี้ ขึ้นอยู่กับมุมที่แสงตกกระทบกับผิวน้ำ ชนิดของแสง ลักษณะของพื้นผิวน้ำ และสภาพของท้องฟ้า แสงส่วนที่ส่องผ่านลงไปในน้ำ ส่วนมากถูกดูดกลืนโดยน้ำ ส่วนที่เหลือจะแพร่กระจายในน้ำ แสงส่วนที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนเมื่อสะสมอยู่ในน้ำมากพอ ก็จะทำให้น้ำร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้น และลมจะทำให้เกิดคลื่นน้ำ ซึ่งช่วยให้ความร้อนที่น้ำดูดกลืนไว้กระจายไปทั่ว

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสัตว์น้ำ อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่มีอิทธิพล โดยตรงและโดยอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอย หรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่วๆ ไปของแหล่งน้ำ ในประเทศไทยอุณหภูมิจะผันแปรในช่วง 23 ถึง 32 °C การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะค่อยๆ เป็นไปอย่างช้าๆ

สัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาซึ่งจัดอยู่ในพวกสัตว์เลือดเย็น ซึ่งไม่สามารถรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่เหมือนสัตว์เลือดอุ่น ร่างของสัตว์น้ำจะเปลี่ยนแปลงไป ตามอุณหภูมิของน้ำ และสภาพแวดล้อมที่มันอยู่อาศัย แต่ต้องอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม ปลาจะทนทาน ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงจำกัด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกิจกรรมต่างๆในการดำรงชีวิตจะสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลง กิจกรรมต่างๆ เหล่านั้นก็ลดลงไปด้วย ซึ่งเป็นไปตามตามกฎของแวนฮอฟท์ (Van Hoff's Law) ซึ่งกล่าวว่าอัตราขบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolic rate) ของสิ่งที่มีชีวิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C และลดลงในทำนองเดียวกัน (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

ขบวนการเมตาโบลิซึมที่สำคัญ ได้แก่ การหายใจ การว่ายน้ำ การกิน การย่อยอาหาร การขับถ่าย การเต้นของหัวใจ เป็นต้น อย่างไรก็ตามอัตราของกิจกรรมเหล่านี้จะแตกต่างกันไปในปลาแต่ละชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับขบวนการทางชีวะเคมีภายในร่างกาย และสภาพแวดล้อม ปลาที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีอัตราทางเมตาโบลิซึมน้อยกว่าปลาชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า ความอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำของปลาจะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และอายุของปลา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความคุ้นเคยของปลาและมลภาวะของน้ำเป็นต้น โดยทั่วไปลูกปลาและปลาขนาดใหญ่ สามารถอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำได้ ในช่วงกว้างกว่าตัวอ่อน ปลาไม่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอย่างกะทันหัน ดังนั้นในการเคลื่อนย้ายปลาจากแห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งที่มีอุณหภูมิ แตกต่างกัน จึงควรใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยจะต้องให้ปลาค่อยๆ ปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างช้าๆ โดยเฉพาะเวลานำปลาจากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไปยังที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะมีผลรุนแรงมากกว่าการนำจากที่อุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ (Alabaster and Lloyd, 1982) รายงานว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 200 °C จนถึง 300 °C อัตรารอดของปลาไนมีค่าสูงกว่าการลดอุณหภูมิของน้ำจาก 300 °C เหลือ 200 °C

ส่วนใหญ่ปลาที่อยู่ในภูมิอากาศหนาวเย็น เจริญเติบโตช้ากว่าปลาที่อาศัยอยู่ในเขตอบอุ่นและเขตร้อน ตัวอย่างเช่นช่วงระยะเวลาการพัฒนาตัวอ่อนของปลาไน ที่อุณหภูมิของน้ำ 300 °C นานเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิของน้ำที่ 200 °C เมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำเช่น ในช่วงฤดูหนาว การกินอาหารของปลาจะลดน้อยลง อัตราเผาผลาญอาหาร (Metabolic Rate) ลดลง ประสิทธิภาพการฟักออกของไข่ลดลง เช่น อัตราการฟักออกของไข่ปลาไนมีค่าน้อยกว่า 60% ที่อุณหภูมิ 220 °C และอัตราความผิดปกติของลูกปลาไนมีค่าสูงกว่า 20% ที่อุณหภูมิน้ำ 200 °C

นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อการละลายของก๊าซชนิดต่างๆ ในน้ำอีกด้วย เช่น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ละลายน้ำได้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดต่ำลง และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเน่าสลายของสารอินทรีย์ การละลายของเกลือแร่ในน้ำ อุณหภูมิสูงการเน่าสลายและการละลายของเกลือแร่ก็เกิดขึ้นได้สูง นอกจากนั้นแล้วอุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อ สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ซึ่งเป็นอาหารของปลาโดยเฉพาะแพลงตอนพืชมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนในปริมาณที่ต่างกัน บางชนิดชอบอาศัยอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำ เช่น พวกไดอะตอม (Diatom) สามารถเจริญได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 15-25 °C

สาหร่ายสีเขียว (Green algae) ชอบอาศัยอยู่ในอุณหภูมิระหว่าง 25 -35 °C สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) ชอบอาศัยอยู่ในอุณหภูมิสูง ประมาณ 35 °C หรือมากกว่า (ศักดิ์ชัย, 2536)

2. สีของน้ำ (Color) การตรวจสีของน้ำในบางครั้งนิยมปฏิบัติกัน เนื่องจากสามารถแสดงให้เห็นอย่างเคร่าๆ เกี่ยวกับกำลังผลิต (Productivity) สภาพแวดล้อมและสารแขวนลอยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ สีของน้ำที่มองเห็นเป็นสีที่ไม่ดูดซึมซึ่งเป็นส่วนเหลือจากแสงที่ส่องลงน้ำ น้ำบริสุทธิ์จริงๆ จะดูดซึมองค์ประกอบของแสงได้ทั้งหมด ดังนั้นน้ำบริสุทธิ์จึงไม่มีสีส่วนน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปที่เห็นเป็นสีต่างๆ นั้นเกิดจากการสะท้อนแสง จะเห็นเป็นสีอะไรก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแต่ละแหล่งน้ำ

3. ความขุ่น (Turbidity) ความขุ่นของน้ำเกิดจากปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำซึ่งคอยกีดขวางการส่องผ่านของแสง สารแขวนลอยดังกล่าว ได้แก่ แพลงตอนพืช แพลงตอนสัตว์ อนุภาคของดิน อนุภาคของทราย แบคทีเรีย แร่ธาตุต่างๆ ฯลฯ ความขุ่นของน้ำซึ่งเกิดจากแพลงตอนพืช แพลงตอนสัตว์เป็นที่ต้องการสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนอนุภาคของดิน อนุภาคของทราย มักจะทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งมีชีวิตในน้ำ น้ำที่มีความขุ่นมาก ทำให้แสงสว่างส่องลงไปได้ไม่ลึก การสังเคราะห์แสงของพืชลดลงทำให้การกำลังการผลิตขั้นต้น (Primary Productivity) ของแหล่งน้ำลดลง มีผลให้ปริมาณอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำลดลงด้วย (นันทนา, 2536)

แหล่งน้ำที่ให้ผลผลิตทางการประมงที่ดี ควรจะมีค่าปริมาณสารแขวนลอย อยู่ในช่วงระหว่าง 25-80 mg/l แต่ถ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 80-400 mg/l ผลผลิตจะลดลงและถ้ามากกว่า 400 mg/l ขึ้นไปทำให้การเลี้ยงปลาไม่ได้ผล หรือมีค่าความโปร่งแสงอยู่ในระหว่าง 30-60 cm เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ค่าความโปร่งแสงต่ำกว่า 30 cm แสดงว่าน้ำขุ่นมากเกินไป หรือมีปริมาณแพลงตอนมากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ขาดแคลนออกซิเจนได้ ถ้าความโปร่งแสงมีค่าสูงกว่า 60 เซนติเมตรขึ้นไป แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์ การตรวจหาความขุ่นของน้ำ กระทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดความขุ่น เช่น ใช้เครื่อง Spectrophotometer หรือหาน้ำหนักของสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ โดยวิธีการระเหยน้ำให้แห้ง หรือ วัดความโปร่งแสง(Transparency) โดยใช้ Secchi Disc ซึ่งทำด้วยแผ่นไม้ หรือโลหะกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm ทาสีขาวสลับดำตรงกลางมีหูสำหรับผูกเชือก เมื่อใช้หย่อนลงไปในน้ำจนถึง ระดับความลึกที่เริ่มมองไม่เห็นแผ่นสีขาวหรือสีดำ ก็บันทึกความลึกจากผิวน้ำไว้เป็นค่าความโปร่งแสง (นันทนา, 2536)

2.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ

น้ำบริสุทธิ์ประกอบด้วยอะตอม 3 อะตอม คือ อะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม และอะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม ธาตุทั้งสองจะยึดเกาะกันโดยแรงร่วม (Covalent bonding) น้ำเป็นตัวทำละลายได้ดีโดยเฉพาะกับอินทรีย์สาร ทั้งนี้เพราะว่าสนามไฟฟ้าในโมเลกุลของน้ำมีทั้งประจุบวกและประจุ

ไฟฟ้าลบ (ประเทือง, 2534) เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายได้ดีนี่เองจึงทำให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้ตลอดเวลา คุณสมบัติทางเคมีที่มีความสำคัญสำหรับการเลี้ยงปลามีดังต่อไปนี้ คือ

1. ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ออกซิเจนเป็นก๊าซที่เป็นองค์ประกอบหลักของอากาศมีอยู่ในอากาศในปริมาณ 20.95% เป็นอันดับสองรองจากไนโตรเจนที่มีอยู่ 70.08% ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากต่อสิ่งที่มีชีวิตแทบทุกชนิด เพราะต้องถูกนำไปใช้ในขบวนการต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน ขบวนการต่างๆ ที่ต้องใช้ออกซิเจนเรียกว่า Aerobic process ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมาก เนื่องจากว่าไม่ได้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ ดังนั้นการละลายจึงขึ้นอยู่กับ ความกดดันของบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณเกลือแร่ที่มีอยู่ในน้ำ ความสามารถของการละลายน้ำของออกซิเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 14.6 mg/l ที่อุณหภูมิ 0 °C และ 7.04 mg/l ที่อุณหภูมิ 35 °C ในสภาพความกดดัน 1 บรรยากาศ เมื่อความกดดันบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป ความสามารถในการละลายน้ำก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย ในฤดูร้อนปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลงเพราะว่ามีอุณหภูมิสูง ขณะเดียวกันที่การย่อยสลายและปฏิกิริยาต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการออกซิเจนเพื่อไปใช้ในกิจกรรมเหล่านั้นสูงไปด้วย จึงมีผลทำให้เกิดสภาพการขาดแคลนออกซิเจนในน้ำขึ้นได้ ทำให้เกิดการเน่าเหม็นของน้ำในบ่อหรือสระ เนื่องจากออกซิเจนไม่พอสำหรับให้เกิด Aerobic condition ในทางตรงกันข้ามบางครั้งแหล่งน้ำอาจปรากฏว่ามีออกซิเจนเกินจุดอิ่มตัว เนื่องจากมีการผลิตออกซิเจนขึ้นมาก เช่น การมีพืชสีเขียวในน้ำมากเกินไปทำให้เกิดสภาพความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วก็เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน ออกซิเจนมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ดังนั้นการควบคุมและป้องกันไม่ให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลงจนอยู่ในระดับที่จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อคุ้มครองให้สัตว์น้ำ สามารถอาศัยอยู่ได้เป็นปกติ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 3 mg/l (ธรรมรักษ์, 2541; Campos et al., 1992)

น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาส่วนใหญ่ ได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของแพลงตอนพืช และออกซิเจนถูกใช้ไปเพื่อการหายใจของสิ่งมีชีวิต และกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารอยู่ตลอดเวลา ในเวลากลางวันปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ผลิตได้เร็วกว่าการใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจและย่อยสลายอินทรีย์สาร ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงยังคงมีเหลืออยู่ ในเวลากลางคืนน้ำได้รับออกซิเจนจากการที่ออกซิเจนในอากาศละลายปนกับน้ำเท่านั้น ฉะนั้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อปลาจึงลดลงในเวลากลางคืน (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539)

2. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) คาร์บอนเป็นธาตุที่พบกันโดยทั่วไปในธรรมชาติ และเป็นต้นกำเนิดของสิ่งที่มีชีวิตนอกจาก นี้ยังพบ คาร์บอนในสารประกอบประเภท อนินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน รูปคาร์บอเนตเช่นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$) ในการสร้างอาหารพืชบกได้ธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ส่วนพืชน้ำได้ธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น โดยปกติอยู่ในบรรยากาศในอัตราส่วนประมาณ 0.04% มีความสามารถละลายน้ำได้ดี คาร์บอนไดออกไซด์ปรากฏอยู่ในแหล่งน้ำทั่วไป ซึ่งในระดับปกติจะมีอยู่ไม่เกิน 10 mg/l ส่วนน้ำบาดาลหรือน้ำใต้ดิน อาจจะมีมากถึง 200 mg/l เนื่องจากขบวนการย่อยสลายและความกดดันอากาศ น้ำฝนจะมีการสะสม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนหนึ่งจากอากาศขณะฝนตกพบว่าน้ำฝน 1 ลิตรจะมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ประมาณ 0.6 mg. การรวมตัวของคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อน กรดคาร์บอนิกนี้สามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออน (H^+) และไบคาร์บอเนตอิออน (HCO^{-3}) อัตราส่วนของกรดคาร์บอนิคกับไบคาร์บอเนตจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ลดลงเหลือจนถึง pH 4.3 ไบคาร์บอเนตทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นกรดคาร์บอนิก

3. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (Positive potential of Hydrogen ions) หรือที่เรียกว่า pH เป็นเครื่องแสดงให้เราทราบว่าน้ำหรือสารละลายน้ำนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่าง การวัด pH ของน้ำ เป็นการวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจน อิออนที่มีอยู่ ระดับความเป็นกรดหรือเป็นด่างมีค่าอยู่ระหว่าง pH 0 ถึง pH 14 โดยระดับ pH 7 จะมีความเป็นกลางซึ่งมี H^+ = 1/10,000,000 mol/l หรือ = 10-7 mol/l ซึ่งการบอกความเข้มข้นของ H^+ ด้วยตัวเลขเป็นการไม่สะดวก จึงมีวิธีบอกความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำให้ง่ายขึ้น หน่วยนี้เรียกว่า pH (Positive potential of Hydrogen ions)

น้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมี ค่า pH อยู่ระหว่าง 6 ถึง 9 ซึ่งความแตกต่างของค่า pH ขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะของพื้นดินและหิน ปริมาณฝนตกตลอดจนการใช้ที่ดินบริเวณแหล่งน้ำ ระดับ pH ของน้ำจะเปลี่ยนแปลงตาม pH ของดินด้วย นอกจากนี้สิ่งที่มีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์ และแพลงตอนพืชก็สามารถทำให้ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลง ไปด้วย (ประเทือง, 2534)

สำหรับบ่อเลี้ยงปลาค่า pH ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยในช่วงบ่ายแพลงตอนพืช และพืชน้ำใช้คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการสังเคราะห์แสงทำให้ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ในแหล่งน้ำต่ำลง ค่า pH ของน้ำจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนในช่วงเช้ามืดเนื่องจากมีการ หายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำไม่มีกิจกรรมการสังเคราะห์แสง ทำให้คายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณสูงขึ้น เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก ค่า pH ของน้ำจึงลดต่ำลง ค่าของ pH ที่เหมาะสมสำหรับการเพราะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง pH 6.5-9 และในรอบวัน ค่า pH ของน้ำควรจะเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 หน่วยในรอบวัน ได้มีผู้แนะนำระดับความเหมาะสมของ pH ต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไว้ดังนี้

ค่า pH 4 หรือต่ำกว่า เป็นจุดอันตรายทำให้ปลาตายได้

ค่า pH ระหว่าง 4.0-6.0 ปลาบางชนิดไม่ตาย แต่มักมีผลผลิตต่ำเจริญเติบโตช้าระบบการสืบพันธุ์หยุดชะงัก

ค่า pH ระหว่าง 6.5-9.0 เป็นระดับเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ค่า pH ระหว่าง 9.0-11.0 ไม่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้ผลผลิตต่ำ

ค่า pH 11.0 หรือมากกว่า เป็นพิษต่อปลา

4. ความเป็นด่าง (Alkalinity) ความเป็นด่างของน้ำ คือ ความสามารถรับโปรตอน หรือไฮโดรเจนอิออนของน้ำ หรือความสามารถของน้ำ ที่ทำให้สภาพความเป็นกรดกลายเป็นกลาง ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วย คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ อาจมีพวกบอเรต (Borate) ซิลิเคต (Silicates) ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ต่างๆ ปนอยู่บ้างเป็นจำนวนน้อย ค่าความเป็นด่างของน้ำในแหล่ง น้ำธรรมชาติ พบตั้งแต่ห้าไปจนถึงหลายร้อยมิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่ค่าความเป็นด่างของน้ำในพื้นที่ แห้งแล้งจะมีค่าสูง ความเป็นด่างไม่เป็นพิษแต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง ความกระด้าง เป็นต้น ความเป็นด่างของน้ำช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ความเป็นกรดเป็นด่างอย่างรวดเร็ว น้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำจะเป็นน้ำอ่อนและมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีผลผลิตต่ำ น้ำที่มีความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4.5 จะไม่พบค่าความเป็นด่าง น้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงและมีค่าความกระด้างต่ำ ในช่วงเวลาที่มีการสังเคราะห์แสงค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ค่าความเป็นด่างกับค่าความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กัน น้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ควรมีค่าความเป็นด่างและค่าความกระด้างอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน คือควรมีค่าความเป็นด่างประมาณ 100-120 mg/l และไม่ควรลดลงจากค่าปกติเกิน 25% รูปแบบค่าความเป็นด่างของน้ำ ตรวจวัดออกมาเป็น 5 แบบ (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528) คือ

4.1 น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากไฮดรอกไซต์เพียงอย่างเดียว มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง มักเกิน 10 ขึ้นไป

4.2 น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 8.5 ขึ้นไป

4.3 น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากไฮดรอกไซต์ และคาร์บอเนตรวมกัน มีค่าความเป็นกรดด่างค่อนข้างสูงเกินกว่า 10 ขึ้นไป

4.4 น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตรวมกัน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 8.3 ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 11

4.5 น้ำที่มีค่าความเป็นด่างเกิดจากไบคาร์บอเนตอย่างเดียว มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 8.3

5. ความเป็นกรดของน้ำ (Acidity) ความเป็นกรดของน้ำ ไม่ควรนำไปเปรียบเทียบและสับสนกับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ทั้งนี้เพราะว่าน้ำที่มีค่าความเป็นกรดสูง แต่อาจจะมีค่า pH ไม่อยู่ในระดับที่เป็นกรดมาก หากน้ำดังกล่าว สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ได้ดี ในแหล่งน้ำ ตัวที่คอยควบคุมไม่ให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปมาก ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอเนต (CO_3) เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดของน้ำเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

5.1 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide acidity) น้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 8.5 จะมีค่าความเป็นกรดปะปนอยู่เสมอ

5.2 แร่ธาตุ (Mineral acidity) ค่าความเป็นกรดที่มี pH ต่ำกว่า 4.5 จะเกิดจากกรดของแร่ธาตุบางชนิด เช่น กรดกำมะถัน กรดฮิวมิก หรือเกลือแร่บางชนิดที่ละลายน้ำแล้วมีสภาพเป็น กรด นอกจากนี้ยังเกิดจากของเสียที่ถ่ายลงมาจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานสุรา โรงงานถลุงแร่ โรงงานผลิตสารอินทรีย์อื่นๆ แต่น้ำธรรมชาติก็อาจจะมีกรดจากแร่ธาตุได้ เช่น กรณีน้ำไหลผ่านเหมืองต่างๆ ซึ่งมีแร่ธาตุทำให้เกิดกรด เช่นซัลไฟด์และเหล็กไพไรต์ (FeS_2) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดกำมะถันและเหล็กซัลเฟตโดยอาศัย Sulfur oxidizing bacteria ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

ผลของความเป็นกรดที่มีต่อสัตว์น้ำ ความเป็นกรดโดยตัวมันเอง ไม่ถือว่ามีสารมลพิษที่มีอันตรายต่อสัตว์น้ำเพียงแต่ใช้เป็นเครื่องมือแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบต่างๆ ที่ มีอยู่ในน้ำ ผลที่เกิดขึ้นต่อสัตว์น้ำส่วนมากจะปรากฏในรูปของความเป็นกรดเป็นด่าง อย่างไรก็ตาม ความเป็นกรดของน้ำอาจจะมีผลทำให้ความเป็นพิษของสารพิษบางชนิดเปลี่ยนแปลงไปได้ เนื่องจากในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมีค่า pH อยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 8.5 ค่าความเป็นกรดส่วนใหญ่จึงเกิดจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดทำได้โดยการไตเตรทการใช้เครื่องวัดความเป็นกรด

6. ความกระด้าง (Hardness) โดยปกติจะเกิดจากปริมาณของเกลือพวกแคลเซี่ยม (Ca^{++}) และแมกนีเซียม (Mg^{++}) รวมไปถึงโลหะบางชนิดที่มีประจุบวกเช่น Al^{++}, Fe^{++}, Mn^{++}, Sr^{++}, Zn^{++},ด้วยแต่ส่วนใหญ่จะเกิดจาก 2 ตัวแรก คือ Ca^{++} และ Mg^{++} เพราะมีอยู่ในน้ำเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงถือว่าความกระด้างของน้ำเป็นคุณสมบัติของน้ำซึ่งแทนค่าความเข้มข้นทั้งหมดของ Ca^{++} และ Mg^{++} ซึ่งจะบอกในรูปของ มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซี่ยมคาร์บอเนต ในแหล่งน้ำจืดปริมาณแคลเซียมมีมากกว่าแมกนีเซียมเสมอ โดยปกติค่าความเป็นด่างและความกระด้างของน้ำจะมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันเนื่องจากอิออนของแคลเซียม แมกนีเซียม ไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต ในน้ำมีปริมาณ ใกล้เคียงกัน แต่ในบางครั้งพบว่าค่าความเป็นด่างสูงกว่าค่าความกระด้าง ความกระด้างของน้ำแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

6.1 ความกระด้างชั่วคราว เกิดจากเกลือแคลเซียมไบคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนตละลายปนอยู่ในน้ำ เมื่อถูกความร้อนเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน ทำให้ความกระด้างของน้ำหายไป

6.2 ความกระด้างถาวรเกิดจากเกลือแคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ละลายปนอยู่ในน้ำ เมื่อถูกความร้อน ความกระด้างของน้ำจะไม่หายไป

ดังนั้นความกระด้างรวมของน้ำ (Total hardness) จึงหมายถึง ผลรวมของความกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวร คิดคำนวณออกมาในรูปของ Calcium carbonate ($CaCO^3$) การแบ่งประเภทของน้ำตามระดับของความกระด้างได้ ดังต่อไปนี้

1) น้ำอ่อนมีความกระด้าง 0 - 75 mg/l.as $CaCO_3$
2) น้ำกระด้างปานกลาง มีความกระด้าง 75 - 150 mg/l.as $CaCO_3$
3) น้ำกระด้างค่อนข้างมาก มีความกระด้าง 150 - 300 mg/l.as $CaCO_3$
4) น้ำกระด้างมาก มีความกระด้าง มากกว่า 300 mg/l.as$CaCO_3$

ผลของความกระด้างที่มีต่อสัตว์น้ำ ค่าความกระด้างโดยตัวมันเองไม่ถือว่าเป็นปัจจัย สำคัญที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ความกระด้างของน้ำมักจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) และความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำ ความกระด้างของน้ำช่วยลดพิษของสารพิษหลายชนิด เช่น พวกโลหะหนักต่างๆ ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ดังนั้นน้ำที่มีความกระด้างปานกลาง หรือสูงจึงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ ซึ่งควรจะอยู่ในช่วง 50-250 mg/l น้ำอ่อนโดยเฉพาะน้ำฝนไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในน้ำที่มีความเป็นด่างต่ำ สามารถเพิ่มความกระด้างของน้ำได้โดยการเติมปูนขาว ($Ca(OH)_2$) ปูนบด ($CaCO_3$) หรือปูนเผา (CaO) ส่วนน้ำที่มีความเป็นด่างสูงอยู่แล้ว ถ้าเติมพวกปูนขาวก็จะทำให้ความเป็นด่างสูงยิ่งขึ้น อาจจะเติมพวกแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่ายิปซั่ม นอกจากจะเพิ่มค่าความกระด้างแล้วยังช่วยลดความเป็นด่างอีกด้วย การใช้ยิปซั่มมีหลักการง่ายๆ คือใช้ยิปซั่มในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้ความกระด้างของน้ำมีค่าเท่ากับความเป็นด่าง

7. ไนโตรเจน (Nitrogen) สำหรับทางด้านประมงจะศึกษาไนโตรเจนใน 3 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย (NH_3, NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต สำหรับพืชสามารถใช้สารประกอบไนโตรเจนได้หลายรูปแบบมาทำการสังเคราะห์เป็นโปรตีน เช่น ใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) หรือไนเตรท (NO_3^-) สำหรับสัตว์ไม่สามารถใช้ไนโตรเจนจากอากาศรวมทั้งสารอนินทรีย์ไนโตรเจน มาทำการสังเคราะห์โปรตีนเหมือนกับพืชดังที่กล่าวมาแล้ว สัตว์ต้องอาศัยโปรตีนจากพืชหรือจากสัตว์อื่นๆ มาใช้ในการเจริญเติบโต เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายลง สารประกอบโปรตีนในร่างกาย ก็จะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไป

เป็นแอมโมเนียนอกจากนี้ของเสียที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์ จะมีสารประกอบพวกโปรตีนหรืออินทรีย์ไนโตรเจนที่ยังย่อยไม่หมด ดังนั้นสารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้เป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียที่เกิดขึ้นอาจถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์ ในการสร้างโปรตีนใหม่ ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ถ้ามีปริมาณมากก็จะถูกออกซิไดซ์ กลายเป็นสารประกอบไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-)

นอกจากนี้บ่อปลาจะได้รับไนโตรเจนจากอากาศโดยตรง โดยขบวนการถ่ายเทแลกเปลี่ยนระหว่างอากาศกับน้ำแล้ว ยังมีแบคทีเรียในดินก้นบ่อสามารถตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) จากอากาศอีกทางหนึ่งด้วย แบคทีเรียกลุ่มนี้บางชนิดอาศัยอยู่ได้ทั้งในดินก้นบ่อ และในน้ำ นอกจาก แบคทีเรียแล้ว สาหร่ายเขียวแกมน้ำเงินก็สามารถตรึงไนโตรเจนได้เช่นกัน ส่วนใหญ่ได้แก่ สาหร่ายในสกุล Nostco สกุล Anabaena และสกุล Anabenopsis ขณะเดียวกันไนโตรเจนที่น้ำในบ่อปลาได้รับ จะถูกสิ่งที่มีชีวิตใช้ในการสร้างโปรตีนในร่างกาย ซึ่งจะทำให้ไนโตรเจนสูญเสียไปจากบ่อปลา นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่ลดออกซิเจน ในไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ จากไนไตรท์ให้เป็นไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนตามลำดับ ก๊าซไนโตรเจนจะระเหยขึ้นสู่อากาศ ขบวนการนี้เรียกว่า Denitrification มักเกิดขึ้นในสภาพขาดออกซิเจน (Anaerobic)

8. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) ในสภาพที่ในน้ำไม่มีออกซิเจนแบคทีเรียจะย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำ โดยดึงเอาออกซิเจน จากสารประกอบพวกซัลเฟต ($SO^{=}_4$) ไปใช้ทำให้เกิด ซัลไฟด์ ($S^{=}$) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น จึงเรียกว่าก๊าซไข่เน่า น้ำที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้จะมีสีดำคล้ำและมีกลิ่นเหม็น รูปแบบของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์พบในแหล่งน้ำจะมี 2 รูปแบบ (นันทนา, 2536) คือ

8.1 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปไม่แตกตัว (Unionized form) ได้แก่ H2S ซึ่งพบว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูง ซึ่งจะพบได้ในสภาวะที่มี pH ต่ำกว่า 8 แบคทีเรียยังสามารถออกซิไดซ์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้กลายเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด

8.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปที่แตกตัว (Ionized form) ได้แก่ HS^- และ S^- ซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำจะปรากฏเมื่อค่า pH ของน้ำสูงกว่า 8

9. ความเค็มของน้ำ (Salinity) หมายถึง ปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ การวัดคิดเป็นหน่วยน้ำหนักของสารดังกล่าว เป็นกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือส่วนในพันส่วน (Part per thousand ตัวย่อ ppt) ความเค็มของน้ำจะแตกต่างกันออกไป น้ำจืดจะมีค่าความเค็มเท่ากับ 0 น้ำทะเลมีค่าความเค็มเฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนในพัน ในด้านการประมงสามารถแบ่งน้ำออก ตามระดับความเค็มได้ดังนี้

น้ำจืด (fresh water)	มีความเค็มระหว่าง	0 - 0.5	ppt.
น้ำกร่อย (brackish water)	มีความเค็มระหว่าง	0.5 - 30.0	ppt.
น้ำเค็ม (sea water)	มีความเค็มมากกว่า	30	ppt. ขึ้นไป

10. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมีความสำคัญต่อการประมง เนื่องจากมีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์ โดยเฉพาะพืชซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยปกติฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในดิน หินแร่หรือแหล่งสะสมอื่นๆ จะปลดปล่อยออกมาในรูปที่ละลายน้ำได้โดยการชะล้าง พืชและสัตว์น้ำจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้าง Protoplasm เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืชโดยเฉพาะแพลงตอนพืชซึ่งจะเป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ มีผู้รายงานว่าหากแหล่งน้ำธรรมชาติมีฟอสฟอรัสสูงเกินกว่า 0.1 mg/l จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 mg/l แต่อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้ทำให้เกิดเป็นพิษ เพียงแต่เป็นตัวการในการทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำสูงในการควบคุมป้องกันปัญหาการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำจึงกำหนดไว้ว่าไม่ควรมีปริมาณของฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.03 mg/l ประเภทของฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำมีอยู่ 2 แบบ คือ

10.1 สารประกอบพวกอินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphates) ได้แก่สารประกอบฟอสฟอรัสที่เกิดจาก ขบวนการทางชีวะและฟอสฟอรัสที่รวมอยู่กับสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรท เป็นต้น และรวมทั้งฟอสฟอรัสที่อยู่กับซากพืชซากสัตว์

10.2 สารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphates) เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำทั่วๆ ไป ซึ่งได้รับมาจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่างๆ

11. คลอรีน (Chlorine) ปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติจะไม่มีคลอรีนปะปนอยู่ แต่ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบางครั้งมี ความจำเป็นต้องมีการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคหรือพยาธิบางชนิดในบ่อปลา หรือในบางครั้งผู้เพาะ ปลาใช้น้ำประปาซึ่งมีคลอรีนปะปนอยู่ เนื่องจากคลอรีนปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับปลากะพงขาวและกุ้งก้ามกราม พบว่าคลอรีนในระดับความเข้มข้นประมาณ 0.2-0.5 mg/l สามารถทำให้สัตว์ทดลองตายภายใน 48 ชั่วโมง และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความเป็นพิษของคลอรีนก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นน้ำที่จะนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำจึงไม่ควรมีคลอรีนหลงเหลืออยู่เลย ถ้าหากจะมีก็ไม่ควรเกินกว่า 0.01 mg/l การกำจัดคลอรีนทำได้โดยพักน้ำไว้สักระยะหนึ่งและมีการให้อากาศ คลอรีนที่หลงเหลือยู่จะทำปฏิกิริยากับ สารประกอบอื่นๆ ในน้ำและจะถูกทำลายโดยแสงสว่างหรืออาจจะกำจัดโดยการเติมสารโซเดียม ไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

สารพิษ (Toxicants) ปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะปนเปื้อนด้วยสารชนิดต่างๆ ซึ่งมีอันตรายต่อสัตว์น้ำโดย เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้อง อาศัยแหล่งน้ำธรรมชาติ สารพิษเหล่านี้จึงมีผลกระทบต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง ประเภทของสารพิษ สารพิษที่จะกล่าวถึงมี 2 ประเภท คือ

1) โลหะหนัก (Heavy metal) เป็นสารพิษที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เช่น ปรอท (Hg) ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Ph) สังกะสี (Zn) และโครเมียม (Cr) สารเหล่านี้สามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำในระดับความเข้มข้นต่ำ และสะสะสมอยู่ในร่างกายสัตว์ ซึ่งจะถ่ายทอดมายังผู้บริโภคได้

2) สารเคมีเกษตร (Pesticides) ซึ่งได้มาจากการทำเกษตร โดยการใช้สารกำจัดแมลงศัตรูพืช (Insecticides) สารปราบวัชพืช (Herbicides) สารกำจัดเชื้อรา (Fungicides) ซึ่งมีมากมายหลายร้อยชนิด บางชนิดสลายตัวเร็ว บางชนิดสลายตัวช้า

2.3 คุณสมบัติทางชีวภาพของน้ำ

ในแหล่งน้ำธรรมชาติ อาจจะแบ่งแหล่งน้ำออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ แหล่งน้ำจืด ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง ห้วยหนองคลองบึง และแหล่งน้ำเค็ม ได้แก่ ทะเล มหาสมุทร ในแหล่งน้ำเหล่านี้จะมีสิ่งที่มีชีวิตสำคัญ ได้แก่ แพลงตอน พืชน้ำ สัตว์น้ำ และจุลชีพต่างๆ ในทางประมงไม่ว่าจะเป็นแพลงตอน พืชน้ำ สัตว์น้ำ หรือจุลชีพ จะมีทั้งประโยชน์และโทษต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งพอจะแบ่ง กล่าวได้ดังต่อไปนี้

1. แพลงตอน (Plankton) แพลงตอนเป็นสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและขนาดทำให้ แพลงตอนไม่สามารถรักษาการเคลื่อนที่ต้านต่อกระแสน้ำได้ จึงลอยไปตามทิศทางของกระแสน้ำ แพลงตอนมีอยู่ 2 ชนิด คือ แพลงตอนพืช (Phytoplankton) และแพลงตอนสัตว์ (Zooplankton) การควบคุมปริมาณแพลงตอนให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นสำหรับการเพาะเลี้ยงปลา ดังนั้นจึงควรควบคุมความขุ่นใสให้อยู่ในระดับ 30-60 cm

2. พืชขนาดใหญ่ (Macrophyte) พืชขนาดใหญ่เป็นพืชน้ำที่มีโครงสร้างหลายเซลล์อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

2.1 Floating plant เป็นพืชชั้นสูงมีใบและรากที่แท้จริง โดยลอยอยู่ที่ผิวน้ำ เช่น จอก แหน ผักตบชวา

2.2 Submerged plant เป็นพืชที่มีรากหยั่งลึกถึงพื้นท้องน้ำใบอาจจะโผล่ขึ้นมาที่ผิวน้ำหรือจมอยู่ในน้ำก็ได้ เช่น สาหร่ายหางกระรอก

2.3 Emerged plant เป็นพืชที่มีรากหยั่งลึกลงสู่พื้นท้องน้ำอยู่ในบริเวณเขตน้ำตื้นหรือบริเวณชายฝั่งที่มีความชื้นสูง เช่น บัว กก บอน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชขนาดใหญ่ได้แก่ ความขุ่นของน้ำหากมีมากก็จะไปบดบังการส่องผ่านของแสงลงสู่แหล่งน้ำและสารอาหารซึ่งจะมีผลให้การเจริญเติบโตของแพลงตอนพืชเพิ่มขึ้นจึงจำกัดการเจริญเติบโตของพืชขนาดใหญ่

3. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ (Macro invertebrate) สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งมีทั้งพวกแมลง หนอน หอยและ ครัสเตเชียนต่างๆ สัตว์พวกนี้มีความสำคัญในฐานะอาหารของปลาในแหล่งน้ำ และสัตว์พวก นี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ

สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่ง พวกสารมลพิษที่ปนเปื้อนในน้ำ สัตว์พวกนี้สามารถใช้เป็นดัชนีชี้สภาวการณ์ของสารมลพิษ เพราะว่าสัตว์พวกนี้เคลื่อนที่อย่างมีขีดจำกัด และค่อนข้างมีช่วงชีวิตที่ยาว ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากมลพิษของน้ำ จึงมักจะศึกษาในเชิงปริมาณและคุณภาพของสัตว์พวกนี้

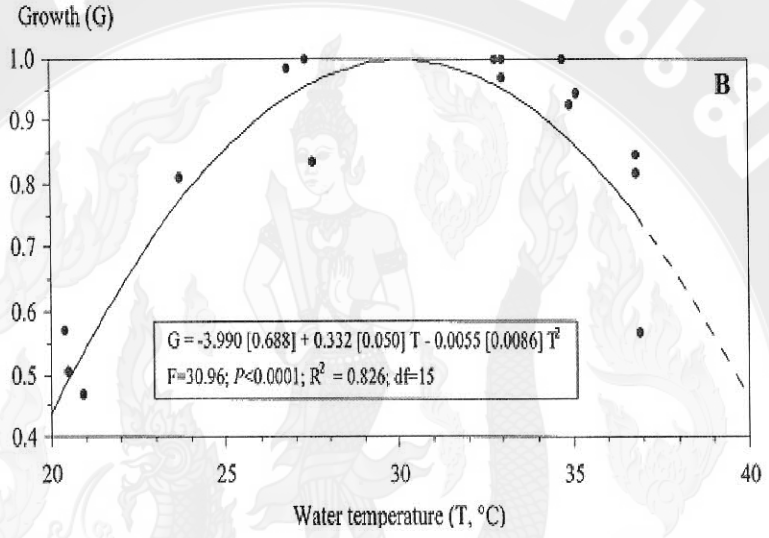
4. ปลา เป็นดัชนีทางชีวภาพที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพน้ำ ปลาจัดอยู่ในลำดับขั้นสูงของสายใย อาหารซึ่งจะได้รับผลทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำดังนั้นหากคุณภาพ น้ำเปลี่ยนแปลงจนทำให้สิ่งมีชีวิตอื่นๆในสายใยขั้นต่ำเกิดเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลให้ปลาเกิดการเปลี่ยน แปลงตามไปด้วยทั้งในแง่คุณภาพและปริมาณ ปลาบางชนิดมีความไวต่อสารมลพิษที่ปนเปื้อนจึงอาจสามารถใช้ปลาเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ในระดับหนึ่ง

5. เชื้อรา (Fungi) ลักษณะของเชื้อราที่แตกต่างจากสาหร่ายเซลล์เดียวก็คือ สาหร่ายเซลล์เดียวจะมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ส่วนราไม่มีคลอโรฟิลล์ ดังนั้นราจึงไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ เชื้อราจัดเป็นพืชชั้นต่ำมี Vegetative cells มีชื่อเฉพาะว่าไมซีเลี่ยม (Mycelium) ซึ่งประกอบด้วยไซโตปลาสซึม (Cytoplasm) มีหลายนิวเคลียส เชื้อราส่วนใหญ่อยู่ได้ทั้งในดินและในน้ำดำรงชีวิตได้ด้วยการใช้พลังงานจากขบวนการหายใจหรือการหมักสลายของสารอินทรีย์ละลายในธรรมชาติบางชนิดดำรงชีวิตแบบปรสิต (Parasite) อยู่บนพืชหรือสัตว์อื่น เชื้อราในน้ำจืดเจริญรวดเร็วในน้ำที่มีอินทรีย์สารมากเชื้อราที่เป็นสาเหตุทำให้ปลาเกิดโรคอยู่ในสกุล Saprolegia และ Achlya

6. แบคทีเรีย (Bacteria) โดยปกติแบคทีเรียจะเป็นจุลชีพเซลล์เดียว มีรูปร่างเป็นแท่ง (Rod) กลม (Coccus) หรือเป็นเกลียว (Spiral) แต่ที่สำคัญที่สุดจะมีรูปร่างเป็นแท่งเคลื่อนไหวได้ บางครั้งอาจจะอยู่รวมกลุ่มหรือเป็นลูกโซ่ แบคทีเรียมีความสำคัญต่อการประมง เนื่องจากเป็นจุลชีพที่ช่วยย่อยสลายอินทรีย์สารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และช่วยเปลี่ยนสภาวะของไนโตรเจนให้เกิดความสมดุลทางธรรมชาติ นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดยังเป็นสาเหตุของการเป็นโรคของสัตว์น้ำ และทำให้เกิดสภาวะการขาดแคลนออกซิเจนในน้ำอีกด้วย จากการศึกษาพบว่า แบคทีเรียในน้ำจืดหลายชนิดเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลาน้ำจืดเกิดโรคแบคทีเรียดังกล่าว ได้แก่ *Aromonas Hydrophila, Edwardsiella tarda, Pasteurella* sp., *Flexibacter columnaris, Pseudomonas fluorescens* และ *Pseudomonas* sp. เป็นต้น

ตรวจเอกสาร

Etienne Baras et al. (2000) ศึกษาอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล ผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่าปลานิลจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 28-32 °C ซึ่งอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตให้ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4



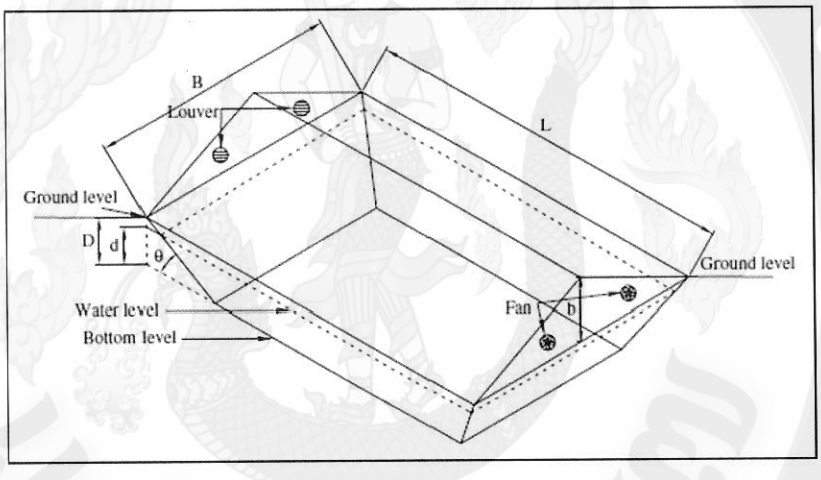
ภาพที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลา

ที่มา: Etienne Baras et al. (2000)

Doaa et al. (2011) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้ MATLAB SIMULINK ในการทดสอบการเพิ่มอุณหภูมิน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีระบบประมวลผลขนาดใหญ่เพื่อทดสอบในการเลี้ยงกุ้ง จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อุณหภูมิของน้ำเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้งเป็นอย่างมาก เพราะว่าอุณหภูมิน้ำสามารถทำให้กุ้งเกิดความเครียดและตาย อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้งอยู่ที่ 34 °C ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 38 °C จะทำให้เกิดการตายของกุ้ง ด้วยเหตุผลนี้การควบคุมอุณหภูมิของน้ำจึงมีความสำคัญยิ่ง

Dilip (2007) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายประสิทธิภาพทางความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบเรือนกระจก ทำการวิจัยการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบเรือนกระจกช่วงฤดูหนาว (มกราคม) ในเมืองเดลี Delhi (Latitude: 28° 35' N) ทาง

ภาคเหนือของประเทศอินเดีย ออกแบบบ่อเลี้ยงปลาให้มีลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมูหุ้มด้วยระบบเรือนกระจก ดังแสดงในภาพที่ 5 การวิจัยเพื่อหาขนาดบ่อที่เหมาะสมในการอุ่นอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา โดยมีค่าตัวแปลต้นที่ใช้ป้อนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความลึก ความเอียงของผนังบ่อปลาและการเปลี่ยนอากาศในโรงเรือนเลี้ยงปลา ผลจากการทดลองพบว่าบ่อขนาดที่เหมาะสมมีความยาว 30 m กว้าง 16 m ลึก 1.25 m ใส่น้ำในบ่อลึก 1 m ผนังของบ่อทำมุมเอียง 75 °C และการเปลี่ยนของอากาศภายในเรือนกระจก 8 ครั้งต่อชั่วโมงจะทำให้ได้อุณหภูมิสูงสุด มีประสิทธิภาพในการรับความร้อน และมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางความร้อนน้อย จากการทดลองสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำอยู่ที่ 20 °C และอุณหภูมิที่ต่ำสุดอยู่ที่ 11 °C ทดลองในเดือนมกราคม ซึ่งอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลา 16:00 น. และ 7:00 น. ของแต่ละวันตามลำดับ

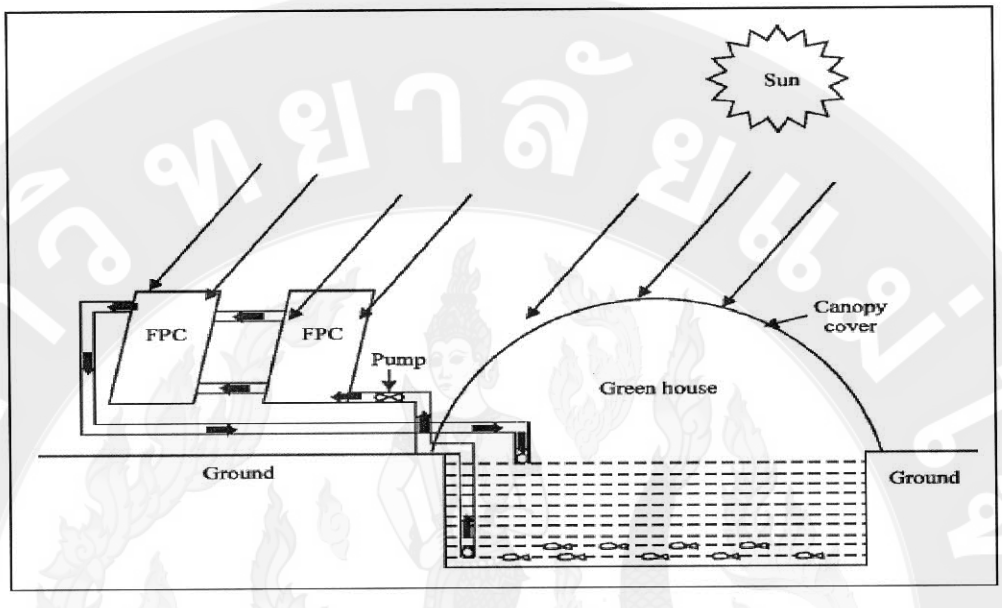


ภาพที่ 5 การเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบเรือนกระจก

ที่มา: Dilip (2007)

Tribeni et al. (2006) ได้วิจัย และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาช่วงฤดูหนาวของประเทศอินเดีย (ธันวาคม) สร้างสมการสมดุลพลังงานที่พิจารณาถึงผลกระทบของการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และการระเหยของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาระบบเรือนกระจกร่วมกับการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อปลา ดังแสดงในภาพที่ 6 และการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้โปรแกรม MATLAB 7.0 ในการทำนายอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิภายในโรงเรือน ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ระบบเรือนกระจกร่วมกับการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 4.13-6.29 °C และเมื่อใช้เฉพาะระบบเรือนกระจกน้ำมี

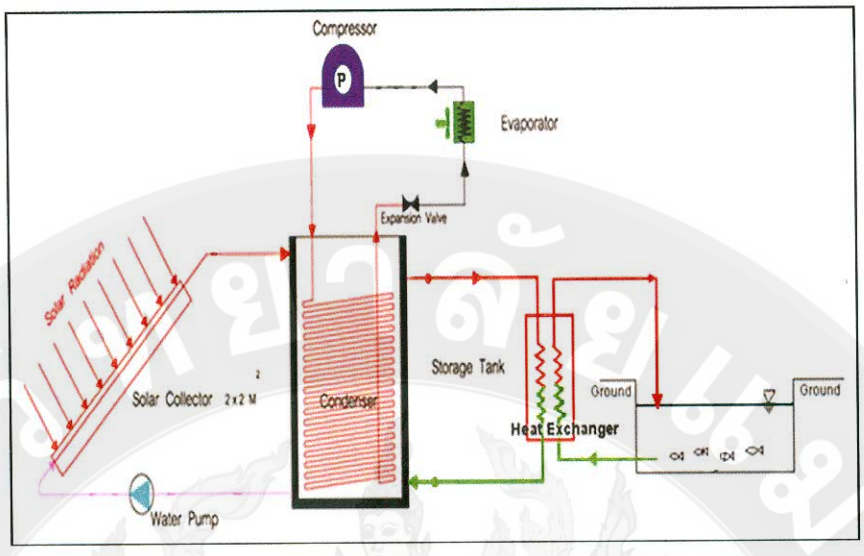
อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.12-5.64 °C การวิจัยเลี้ยงปลาด้วยสองระบบมีน้ำหนักมากกว่าการเลี้ยงในบ่อเลี้ยงปลาปกติ



ภาพที่ 6 ระบบเรือนกระจกร่วมกับการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในบ่อเลี้ยงปลา

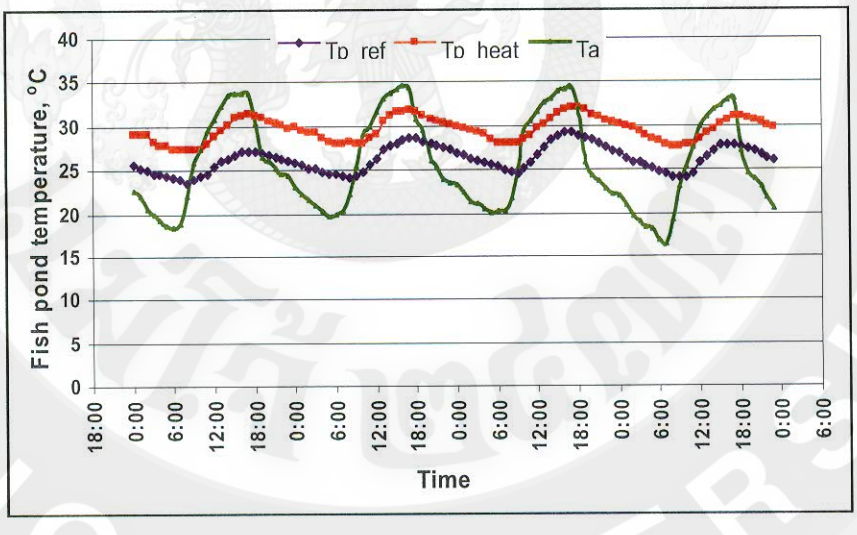
ที่มา: Tribeni et al. (2006)

สำหรับในประเทศไทย กรวัฒน์ และคณะ (2553) ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 2 ตัว มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_RU_L อยู่ที่ 0.72 และ 10.52 $W/m^2 \cdot K$ ตามลำดับ แต่ละแผ่นมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ 2 m^2 ต่อแบบขนานกัน และให้ความร้อนแก่ถังน้ำร้อนขนาดความจุ 0.3 m^3 โดยมีอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมเป็นปั๊มความร้อนที่ใช้ R22 ที่มีความสามารถในการให้ความร้อนประมาณ 3.5 kW น้ำร้อนในถังถูกปล่อยให้บ่อเลี้ยงปลาที่มีปริมาณน้ำประมาณ 20 m^3 ควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อให้อยู่ที่ 28-30 °C ดังแสดงในภาพที่ 7-8 ทำการปล่อยปลาดุกบิ๊กอุย บ่อละ 1,000 ตัว ทดสอบเลี้ยงในช่วงฤดูหนาว (เดือนธันวาคม) และช่วงฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) สามารถควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาให้อยู่ที่ 30 °C และ 20 °C ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักของปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิมีค่ามากกว่าบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ 1.6 และ 1.7 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 9 ในฤดูหนาวและฤดูฝนตามลำดับ



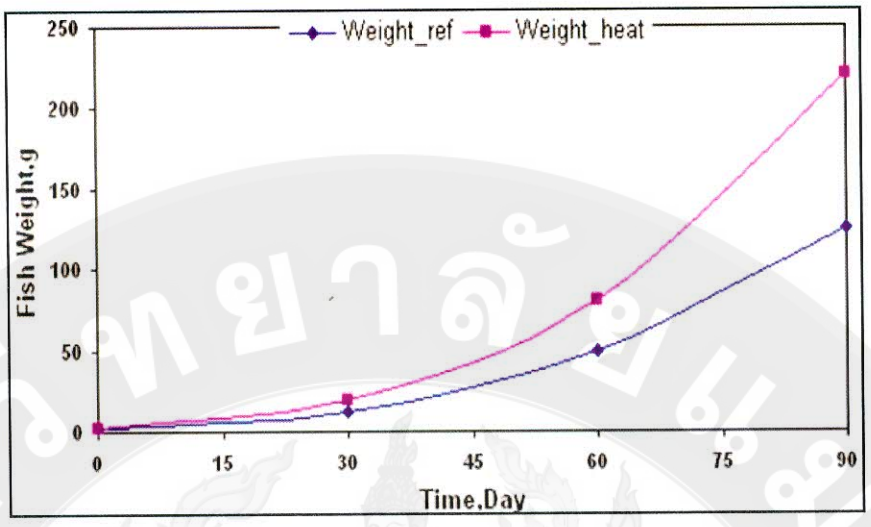
ภาพที่ 7 แผนผังการให้ความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน

ที่มา: กรวัฒน์ และคณะ (2553)



ภาพที่ 8 อุณหภูมิน้ำบ่อเลี้ยงปลาแสงอาทิตย์

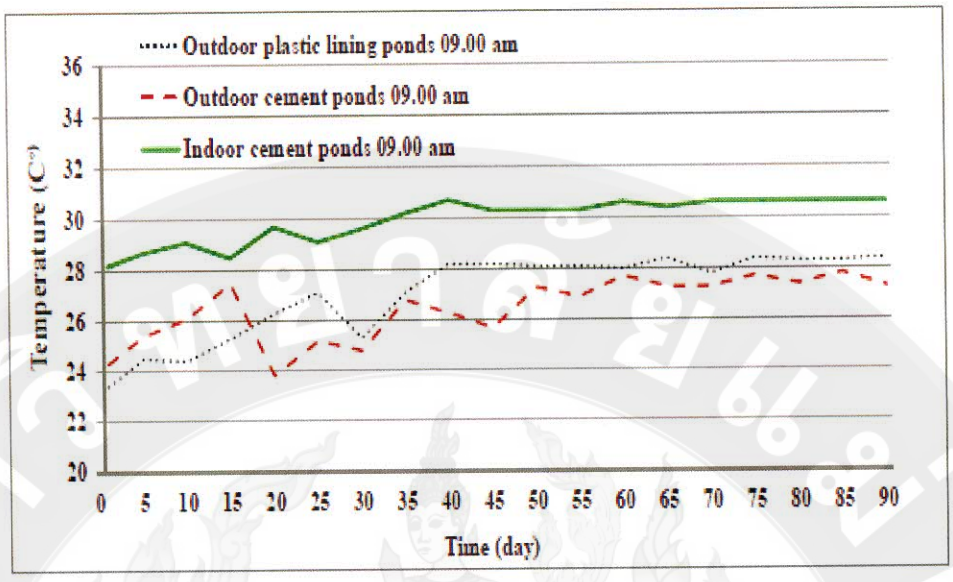
ที่มา: ทนงเกียรติ และคณะ (2553)



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่ควบคุมอุณหภูมิ

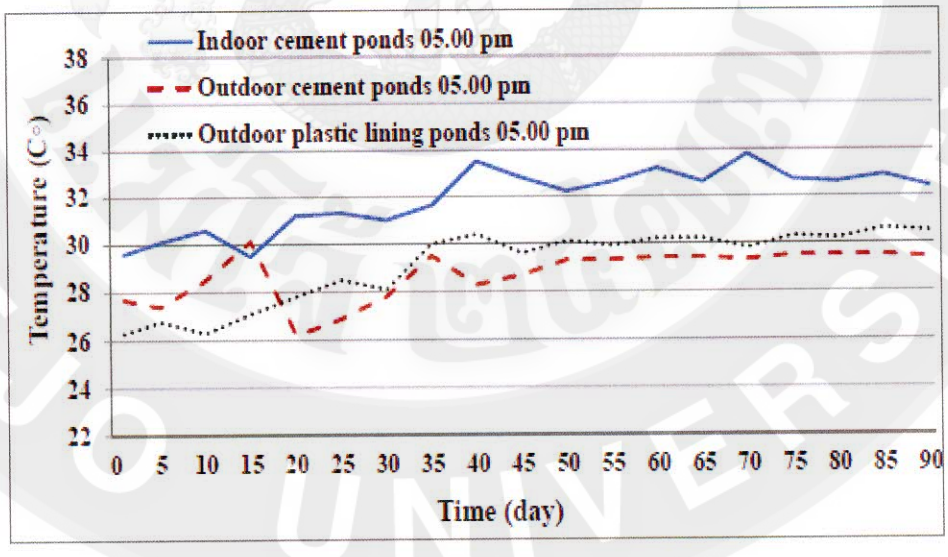
ที่มา: ทนงเกียรติ และคณะ (2553)

Whangchai et al. (2007) รายงานว่าการใช้พลาสติกคลุมบ่อมีผลทำให้อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดของบ่อที่คลุมพลาสติกมีค่าอยู่ระหว่าง 27.7-30.3 ℃ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำต่ำสุด-สูงสุด ของบ่อดินที่ไม่คลุมพลาสติกและคลุมพลาสติก มีค่าอยู่ระหว่าง 23.0-33.0 ℃ และ18.0-34.0 ℃ การสร้างโรงเรือนพลาสติกคลุมบ่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 ℃ วัดจากระดับอุณหภูมิน้ำต่ำสุด ทำให้กุ้งก้ามกรามโตเร็วกว่าเลี้ยงในบ่อไม่คลุมด้วยพลาสติก จากการรายงานของ Temprasit et al. (2015) การเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาดุกรัสเซีย ทดสอบเลี้ยงปลาดุกรัสเซียระยะเวลา 90 วัน ในบ่อที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 บ่อ ได้แก่ บ่อดินปูพลาสติก บ่อซีเมนต์ และบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติก ทำการปล่อยปลาเริ่มต้นขนาดน้ำหนักที่ 4.07±0.58 กรัม ทำการวัดเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในบ่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อุณหภูมิน้ำในบ่อดินปูพลาสติก บ่อซีเมนต์ และบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติกมีค่าสูงสุดเฉลี่ย 29.19±1.54 °C (28-31 °C), 27.58±1.58°C (27-30 °C) และ 30.91±1.60 °C (30-33 °C) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติกสูงกว่าทุกบ่อ การเลี้ยงปลาดุกรัสเซียในบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติกมีการเจริญเติบโตและอัตรารอดสูงกว่าบ่อดินปูพลาสติก และบ่อซีเมนต์ ($p<0.05$) ผลการทดลองปลาดุกรัสเซียมีน้ำหนักเฉลี่ย 298.75 ±4.32, 200.79±7.26 และ198.40±5.25 กรัม/ตัว และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ย 3.32±0.05, 2.23±0.08 และ2.20±0.06 กรัม/วัน อัตรารอดของปลาดุกรัสเซียเฉลี่ย 95.00±2.00, 87.66±2.089 และ89.00±2.00% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 10-11



ภาพที่ 10 อุณหภูมิของบ่อเลี้ยงปลาที่แตกต่างกัน (บ่อซีเมนต์ในโรงเรือน บ่อซีเมนต์กลางแจ้ง และบ่อดินปูพื้นพลาสติก) เวลา 09.00 น. ระยะเวลา 90 วัน

ที่มา: Temprasit et al. (2015)



ภาพที่ 11 อุณหภูมิของบ่อเลี้ยงปลาที่แตกต่างกัน (บ่อซีเมนต์ในโรงเรือน บ่อซีเมนต์กลางแจ้ง และบ่อดินปูพื้นพลาสติก) เวลา 17.00 น. ระยะเวลา 90 วัน

ที่มา: Temprasit et al. (2015)

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2555) รายงานว่าปลาน้ำจืดจะให้ผลผลิตและโตเร็ว หากเลี้ยงที่อุณหภูมิ 28-32 °C โดยการอุ่นน้ำบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่ต้องการเพิ่มขึ้นของบ่อเลี้ยงปลาประมาณ 5 °C ซึ่งปกติอุณหภูมิของน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ประมาณ 50-60 °C ซึ่งแสดงว่าจะสามารถผสมน้ำให้มีอุณหภูมิตามต้องการได้ประมาณ 10-12 เท่าของน้ำร้อนที่ผลิตได้ นอกจากนี้แล้ว ถ้าใช้ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ควบคู่กับการเพาะเลี้ยงในโรงเรือนกระจก ซึ่งทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นบางส่วนอยู่แล้ว ก็จะทำให้การใช้พื้นที่แผงทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์น้อยลง การใช้โรงเรือนกระจกคลุมบ่อ จะทำให้ลดการสูญเสียความร้อนด้วยการพาความร้อนและแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า จึงทำให้ช่วงเวลากลางคืนซึ่งไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์น้ำยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ ทำให้ลดอุณหภูมิแตกต่างน้ำระหว่างกลางคืนและกลางวันได้

ตารางที่ 2 สรุปผลการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและบทความการวิจัย

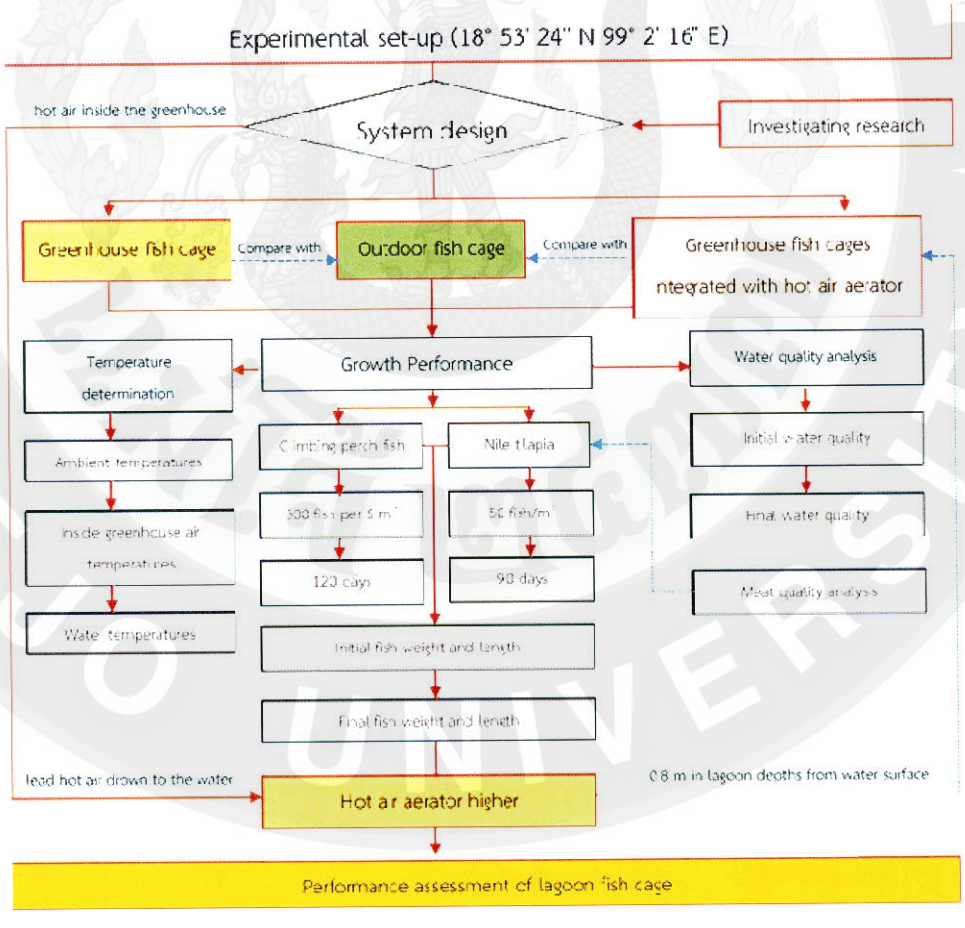
ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	การทดลอง	ผลการทดลอง
Etienne Baras et al. (2000)	ศึกษาอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล	ปลานิลจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 28-32 ℃
Doaa M. Atia et al. (2011)	การเพิ่มอุณหภูมิน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีระบบประมวลผลขนาดใหญ่เพื่อทดสอบในการเลี้ยงกุ้ง	อุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้งอยู่ที่ 34 ℃ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 38 ℃ จะทำให้เกิดการตายของกุ้ง
Dilip Jain. (2007)	สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายประสิทธิภาพทางความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบเรือนกระจก หาขนาดบ่อที่เหมาะสมในการอุ่นอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา	บ่อขนาดที่เหมาะสมมีความยาว 30 เมตร กว้าง 16 เมตร ลึก 1.25 เมตร ใส่น้ำในบ่อลึก 1 เมตร ผนังของบ่อทำมุมเอียง 75 ℃

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	การทดลอง	ผลการทดลอง
Das Tribeni et al. (2006)	วิจัย และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาช่วงฤดูหนาวของประเทศอินเดีย (ธันวาคม)	เมื่อใช้ระบบเรือนกระจกร่วมกับการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 4.13-6.29 ℃ และเมื่อใช้เฉพาะระบบเรือนกระจกน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.12-5.64 ℃
กรวัฒน์ วุฒิกิจ และคณะ (2553)	ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 2 ตัว มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_RU_L อยู่ที่ 0.72 และ 10.52 $W/m^2 \cdot K$ ตามลำดับ	ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักของปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิมีค่ามากกว่าบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ 1.6 และ 1.7 เท่าในฤดูหนาวและฤดูฝนตามลำดับ
Niwooti Whangchai et al. (2007)	ทดสอบการใช้พลาสติกคลุมบ่อดินสำหรับเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเปรียบเทียบการเลี้ยงในบ่อดินที่ไม่คลุมพลาสติก	การสร้างโรงเรือนพลาสติกคลุมบ่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 ℃ วัดจากระดับอุณหภูมิน้ำต่ำสุด ทำให้กุ้งก้ามกรามโตเร็วกว่าเลี้ยงในบ่อไม่คลุมด้วยพลาสติก
Wirawut Temprasit et al. (2015)	การทดสอบเพิ่มอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาดุกรัสเซีย เลี้ยงปลาดุกรัสเซียในบ่อดินปูพลาสติก บ่อซีเมนต์ และบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติก	จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติกสูงกว่าทุกบ่อ การเลี้ยงปลาดุกรัสเซียในบ่อซีเมนต์ในโรงเรือนพลาสติกมีการเจริญเติบโตและอัตรารอดสูงกว่าบ่อดินปูพลาสติก และบ่อซีเมนต์ ($p<0.05$)
ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2555)	ทดสอบเลี้ยงปลาในบ่อซีเมนต์มีระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ควบคู่กับการเพาะเลี้ยงในโรงเรือนกระจก	อุณหภูมิของน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ประมาณ 50-60 °C ซึ่งแสดงว่าจะสามารถผสมน้ำให้มีอุณหภูมิตามต้องการได้ประมาณ 10-12 เท่าของน้ำร้อนที่ผลิตได้

บทที่ 3
วิธีการวิจัยหรืออุปกรณ์และวิธีการ

จากแนวคิดการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน โดยการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานสะอาดและไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมมาเป็นพลังงานหลักสำหรับประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงปลาในกระชัง เพื่อแก้ไขปัญหาอุณหภูมิน้ำต่ำในฤดูหนาวทำให้ปลาไม่กินอาหารส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตได้ช้า เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดรายละเอียดที่ได้วางเอาไว้และเพื่อให้การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงอย่างมีประสิทธิภาพ สมดังวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ทุกประการ ตามขอบเขตงานที่กำหนดให้งานศึกษาและรวบรวมข้อมูลการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมร้อนและการทดสอบเลี้ยงปลา ผู้ศึกษามีแนวคิดและวิธีการดำเนินงานดังนี้



ภาพที่ 12 กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงานการทดลอง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. งานศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและการเลี้ยงปลา

ผู้ศึกษาจะรวบรวมข้อมูลระบบเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและการเลี้ยงปลาโดยจะศึกษาข้อมูลต่างๆ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง กระทรวงพลังงาน กรมประมง ชมรมผู้เลี้ยงปลาในพื้นที่ต่างๆ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร การศึกษาจากฐานข้อมูลทางวิชาการต่างๆ โดยจะศึกษาด้านต่างๆ เช่น

1.1 ข้อมูลด้านการประยุกต์ใช้ระบบระบบเรือนกระจกเพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้เหมาะสมในการเลี้ยงปลาในกระชัง จะทำการรวบรวมจากฐานข้อมูลวิชาการต่างๆ การศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของระบบระบบเรือนกระจก รวมถึงการศึกษาค่ารังสีอาทิตย์ในประเทศไทย และการจำลองอุณหภูมิอากาศ

1.2 ศึกษาการเติมอากาศร้อนโดยการนำเอาอากาศร้อนที่ลอยอยู่ภายในเรือนกระจกลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลาเพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิน้ำและการเพิ่มออกซิเจนที่เหมาะสม ศึกษาความเร็วลมที่เหมาะสมในการเพิ่มออกซิเจนในกระชังเลี้ยงปลา

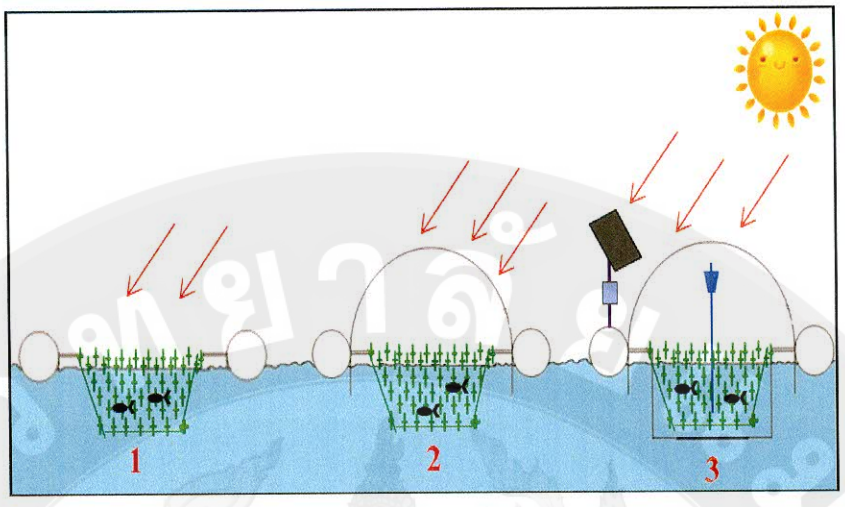
1.3 ศึกษารูปแบบ และเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือในการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิน้ำกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนโดยจะรวบรวมเป็นข้อมูลถึงชนิด รุ่น ราคา ที่เหมาะสม เพื่อคัดเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย

1.4 ปลาหมอไทย วิธีการเพาะเลี้ยง ต้นทุนการผลิต แหล่งจำหน่าย ปัญหาอุปสรรค ฯลฯ

1.5 ปลาทับทิม วิธีการเพาะเลี้ยง ต้นทุนการผลิต แหล่งจำหน่าย ปัญหาอุปสรรค ฯลฯ

2. งานศึกษาออกแบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

การทดสอบพัฒนาออกแบบดำเนินการติดตั้งระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน จะมีการออกแบบการทดสอบเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาที่สภาวะแตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1: กระชังแบบปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไป ชุดการทดลองที่ 2: กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก และชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ เพื่อใช้สำหรับการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น โดยปลาที่เลี้ยงจะเป็นปลาหมอไทยและปลาทับทิม ในแต่ละกระชังเลี้ยงปลาหมอไทยได้ประมาณ 300 ตัว/กระชัง (กระชังขนาด กว้าง 2.0 m ยาว 3.0 m สูง 1.5 m) และเลี้ยงปลาทับทิมจำนวน 50 ตัว/กระชัง (กระชังขนาด กว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m สูง 1.5 m) ในการออกแบบเบื้องผู้วิจัยจะนำข้อมูลอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ระบบเรือนกระจก และการเติมอากาศร้อน มาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนในกระชัง



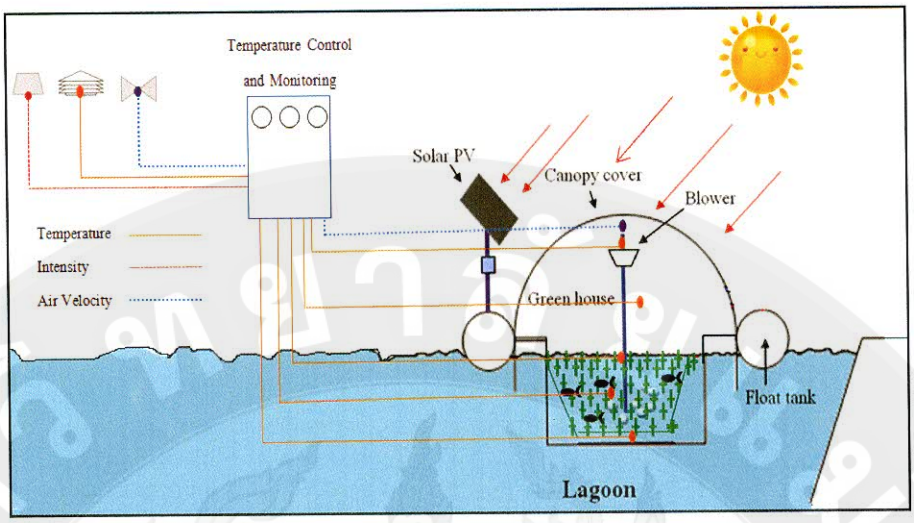
ภาพที่ 13 การออกกระชังเลี้ยงปลา 3 ชุดการทดลอง สำหรับเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลา

3. งานพัฒนาและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดพลังงานแสงอาทิตย์และควบคุมอุณหภูมิน้ำในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ตามขอบเขตงานที่กำหนดให้งานพัฒนาและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดพลังงานแสงอาทิตย์และเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้เหมาะสมในการเลี้ยงปลาในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน ผู้ศึกษามีแนวคิดและวิธีการดำเนินงานดังนี้

ผู้ศึกษาจะดำเนินการพัฒนาและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดและควบคุมระบบบ่อเลี้ยงปลาแสงอาทิตย์ ระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน ได้แก่

1) ระบบตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิ
2) ระบบวัดความเข้มแสงอาทิตย์
3) ระบบวัดอัตราการไหลของน้ำ
4) ระบบตรวจวัดอุณหภูมิสภาพอากาศแวดล้อม
5) เครื่องวัดความเร็วลมเครื่องเติมอากาศร้อน
6) ระบบเก็บบันทึกข้อมูล
7) โดยในเบื้องต้นออกแบบไดอะแกรมการตรวจวัดดังนี้



ภาพที่ 14 ไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

4. งานทดสอบและประเมินสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

1) ทดสอบและประเมินสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนซึ่งประสิทธิภาพสมรรถนะทางความร้อนประเมินตาม ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน (2555) แตกต่างและเพิ่มเติมขึ้นมาในส่วนของการเลี้ยงปลาในกระชัง

2) การศึกษาการกระจายตัวอุณหภูมิในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน ผู้ศึกษาจะได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในบริเวณในเรือนกระจกและภายในกระชังเลี้ยงปลา เพื่อวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้งภายในเรือนกระจกและภายในกระชังเลี้ยงปลา วิเคราะห์ถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของทั้งสอง รวมถึงอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ทำการบันทึกค่าเพื่อใช้อ้างอิงหรือปรับปรุงกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิน้ำต่อไป

3) ช่วงระยะเวลาในการเติมอากาศร้อนและออกซิเจน ทดสอบเก็บข้อมูลใยช่วงฤดูหนาวใน 2 กรณี ได้แก่ ระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ไม่มีการเติมอากาศร้อน และที่มีการเติมอากาศร้อนลงในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

4) วิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลาหมอไทยและปลาทับทิมในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนเทียบกับการเลี้ยงแบบกระชังทั่วไป

5) วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้สำหรับเลี้ยงปลาในกระชัง ศึกษาหาผลกระทบจากการเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเลี้ยงปลาทั้ง ค่าออกซิเจนในน้ำ อุณหภูมิน้ำ สารอาหาร และความขุ่นของน้ำ และคุณภาพน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของปลา จากการทดลองเริ่มต้นได้ทำ

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในสระเพื่อการเกษตร การเก็บตัวอย่างน้ำจากบริเวณที่ทำการทดลองสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้วยวิธีการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

Parameter	Equipment or method
pH	pH meter
Alkalinity (mg$CaCO_3$/L)	APHA, AWWA & WEF, 22nd ed.,2005, Method 403
COD (mg/l)	APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2005, Method 508B
Turbidity (mg/l)	Turbidimeter
TKN (mg/l)	APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2005, Method 402A
DO (mg/l)	APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2005, Method 421B
EC (ds/m)	Conductivity meter

หมายเหตุ ทำการตรวจวัดค่ามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องแลปทดลอง

ที่มา: APHA-AWWA-WPCF (2005)

5. งานทดสอบการเลี้ยงปลาด้วยระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ภายหลังจากออกแบบ ติดตั้ง และวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนเบื้องต้น จะดำเนินการทดสอบการเลี้ยงปลาจริง โดยใช้ปลาหมอไทยและปลาทับทิม โดยจะศึกษาตัวแปรต่างๆ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างกระชังที่มีการควบคุมและไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

1) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ
2) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติน้ำในกระชังเลี้ยงปลา
3) อัตราการเติมอากาศและการใช้พลังงาน
4) ระยะเวลาเลี้ยงที่เหมาะสม
5) ช่วงระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อน

6. งานประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

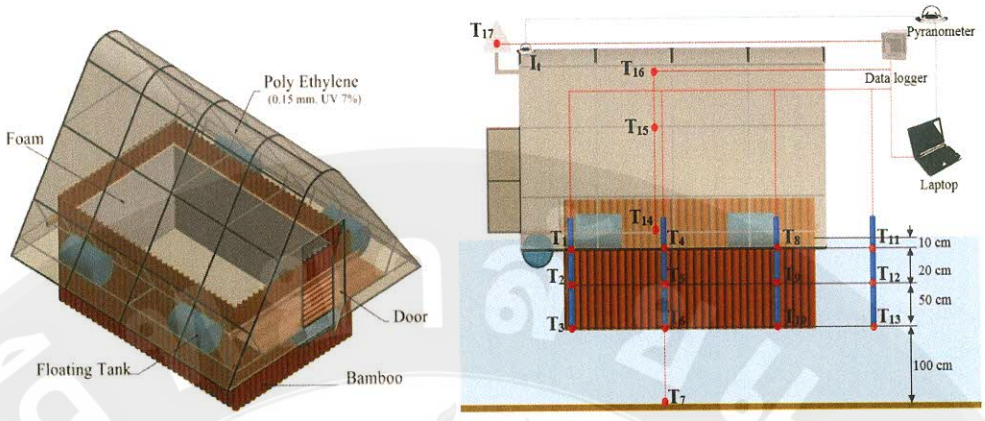
ผู้ศึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยต้องคำนวณต้นทุนการลงทุนและระยะเวลา

คุ้มทุน เริ่มจากการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากโครงการก่อนแล้วจึงเป็นการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการศึกษาและประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์มี 4 ตัว ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)
2. อัตราผลตอบแทนโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)
3. ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)
4. การประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองในการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก โดยทำการวิจัยในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการทดสอบระบบและทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยในช่วงฤดูฝน ระยะเวลาในการทดสอบ 120 วัน ชุดการทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชุด ชุดการทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 2.0 m ยาว 3.0 m และสูง 1.5 m ชุดการทดลองที่ 2 กระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก คลุมด้วยโรงเรือนพลาสติกมีโครงสร้างเหล็กโค้งรูปพาราโบลาและปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (0.15 mm, UV 7%) ใส่กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 2.0 m ยาว 3.0 m และสูง 1.5 m และชุดการทดลองที่ 3 กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนคลุมด้วยโรงเรือนพลาสติกมีโครงสร้างเหล็กโค้งรูปพาราโบลาและปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (0.15 mm, UV 7%) กระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ ขนาด กว้าง 2.1 m ยาว 3.2 m และสูง 1.5 m และใส่กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 2.0 m ยาว 3.0 m และสูง 1.5 m ไว้ด้านในกระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวน และทำการทดสอบเลี้ยงปลาทับทิมในช่วงฤดูหนาวที่ได้ใช้ระบบการทดลองหลังจากประสบความสำเร็จในการเลี้ยงปลาหมอไทย แต่เพื่อเพิ่มความแตกต่างและข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ทำการเลี้ยง 3 ซ้ำ ใน 1 ชุดการทดลอง (กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m และสูง 1.5 m) ระบบที่ทำการทดสอบในงานวิจัยนี้มีลักษณะในภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 15-17



ภาพที่ 15 แสดง isometric ของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกและลักษณะติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดด้านพลังงานกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

ภาพที่ 16 ลักษณะการสร้างเรือนกระจกสำหรับชุดการทดลองเลี้ยงปลาในกระชัง

ภาพที่ 17 ลักษณะกระชังเลี้ยงปลาที่มีฉนวนสำหรับลดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอกกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน ประกอบด้วย

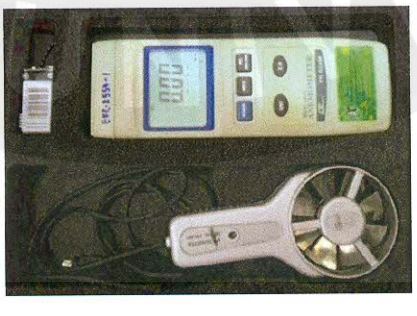
1. เครื่องวัดอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์ (Lega รุ่น TM-947SD สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K) ใช้วัดอุณหภูมิจุดต่างๆ ในการเก็บข้อมูลระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

ภาพที่ 18 เทอร์โมมิเตอร์ (Lega รุ่น TM-947SD, สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K)

2. ค่ารังสีแสงอาทิตย์โดยวัดจากเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ Solar Power Meter 1 W/m^2 Resolution, BTU w/m^2 (รุ่น DT-1307)

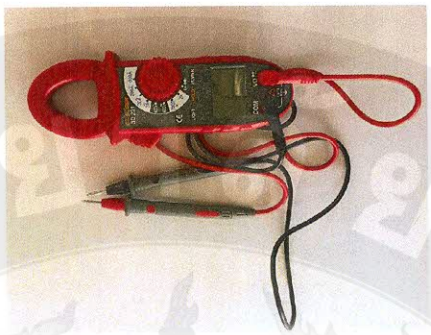
ภาพที่ 19 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar Power Meter)

3. เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer (Model: YK-80AM) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของลมร้อนสำหรับเติมลงสู่กระชังเลี้ยงปลา



ภาพที่ 20 เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer

4. เครื่องวัดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Digital Multimeter (Model SD 201) ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 21 Digital Multimeter (Model SD 201)

5. ปั๊มเติมอากาศร้อน ลักษณะการทำงานดึงเอาอากาศร้อนที่ลอยตัวอยู่ในเรือนกระจกลงสู่กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก (Pressure 17 kPa, Speed 2,800 r/min and Max flux 68 m^3/h)

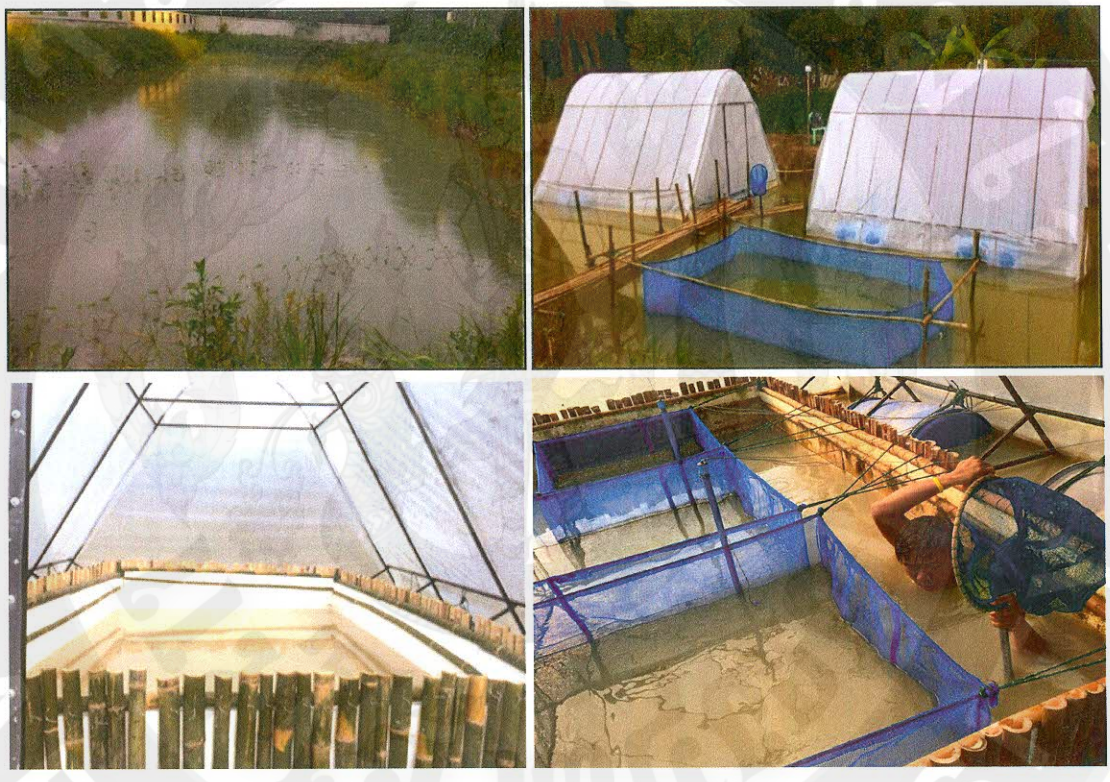
ภาพที่ 22 ลักษณะการติดตั้งปั๊มเติมอากาศร้อนสำหรับเติมอากาศร้อนลงกระชังเลี้ยงปลา

6. วัดขนาดความยาวของปลาด้วยระดับการวัดในหน่วยเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลหน่วยเป็นกรัม (Charge รุ่น HX-Z1 15kg 0.5g)

ภาพที่ 23 ลักษณะการวัดความยาวตัวและน้ำหนักปลา

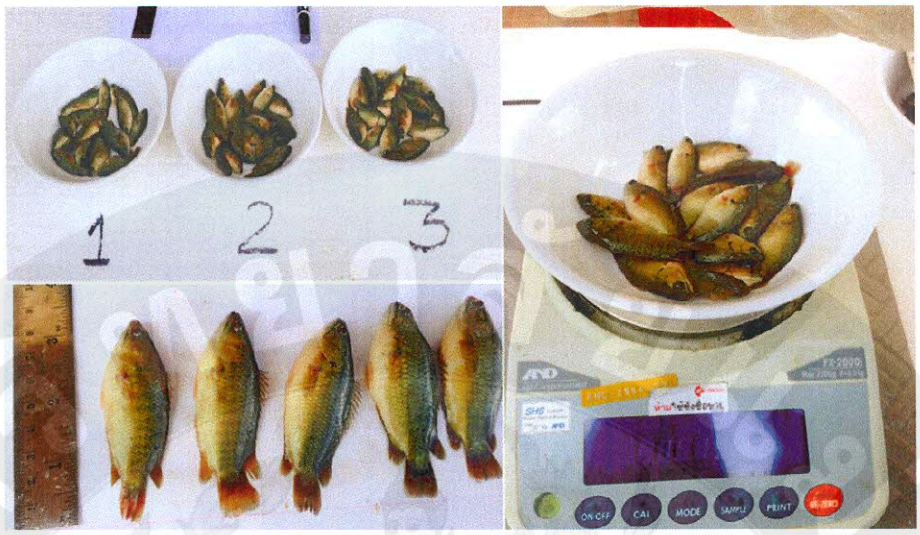
สถานที่ทำการวิจัยและเก็บข้อมูล

การดำเนินการวิจัยสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน มีการดำเนินการวิจัยที่เลียนแบบการดำเนินการเลี้ยงปลาของเกษตรกรมากที่สุดที่ ด้วยการทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้และทำการเลี้ยงปลาในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน พัฒนาออกแบบดำเนินการติดตั้งระบบที่สระน้ำเพื่อการเกษตร (18° 53 '24' 'N 99 ° 2' 16 "E) อยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย ทั้งนี้มีสถานที่ในการวิจัยดังนี้

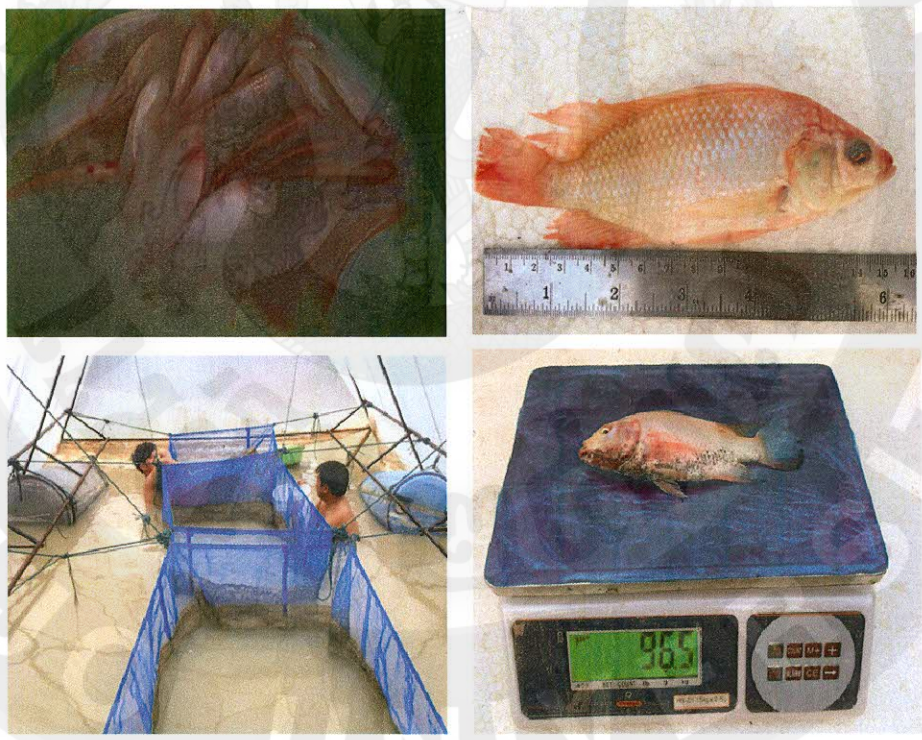


ภาพที่ 24 พื้นที่สำหรับทำการวิจัยและลักษณะการติดตั้งแลปทดลอง

สำหรับการเก็บข้อมูลการตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย ทำการซุ่มตัวปลาจำนวน 20 ตัว/ชุดการทดลอง ในการทดลองที่มีการเลี้ยงปลาทั้งหมด 300 ตัว ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและวัดขนาดความยาวตัวพื่อหาความยาวตัวที่เพิ่มขึ้น ทำการตรวจวัดในทุกๆ 30 วัน สำหรับการเก็บข้อมูลการตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลาทับทิม ทำการซุ่มตัวปลาจำนวน 10 ตัว/ตัวอย่างการทดลอง จะให้ตัวอย่างปลาทั้งหมด 30 ตัว/ชุดการทดลอง ในการทดลองที่มีการเลี้ยงปลาทั้งหมด 50 ตัว/ตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและวัดขนาดความยาวตัวพื่อหาความยาวตัวที่เพิ่มขึ้น ทำการตรวจวัดในทุกๆ 30 วัน



ภาพที่ 25 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย



ภาพที่ 26 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลาทับทิม

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากแนวคิดการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน โดยการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานสะอาดและไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมมาเป็นพลังงานหลักสำหรับประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงปลาในกระชัง เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำมีอุณหภูมิต่ำในฤดูหนาวทำให้ปลาไม่กินอาหาร ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตได้ช้า การใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากการทดลองได้สร้างระบบและออกแบบการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม การใช้พลาสติกใสคลุมเป็นเรือนกระจกครอบกระชังเลี้ยงปลา ใช้หลักการเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ส่องทะลุผ่านเข้าไปในเรือนกระจก องค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในจะดูดกลืนแล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนทำการแผ่รังสีอินฟาเรดออกมาแต่ไม่สามารถทะลุผ่านออกมาได้ ส่งผลให้อากาศภายในเรือนกระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการพาความร้อนลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลา และดำเนินการศึกษาเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ การศึกษาได้ดำเนินการทดสอบระหว่างเดือนกรกฎาคม 2558 ถึง เดือนกรกฎาคม 2559 ในสระน้ำเพื่อการเกษตร (18° 53 '24' 'N 99° 2' 16 "E) อยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย แบ่งการศึกษาเป็น 5 ส่วนด้วยกัน จากการศึกษามีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

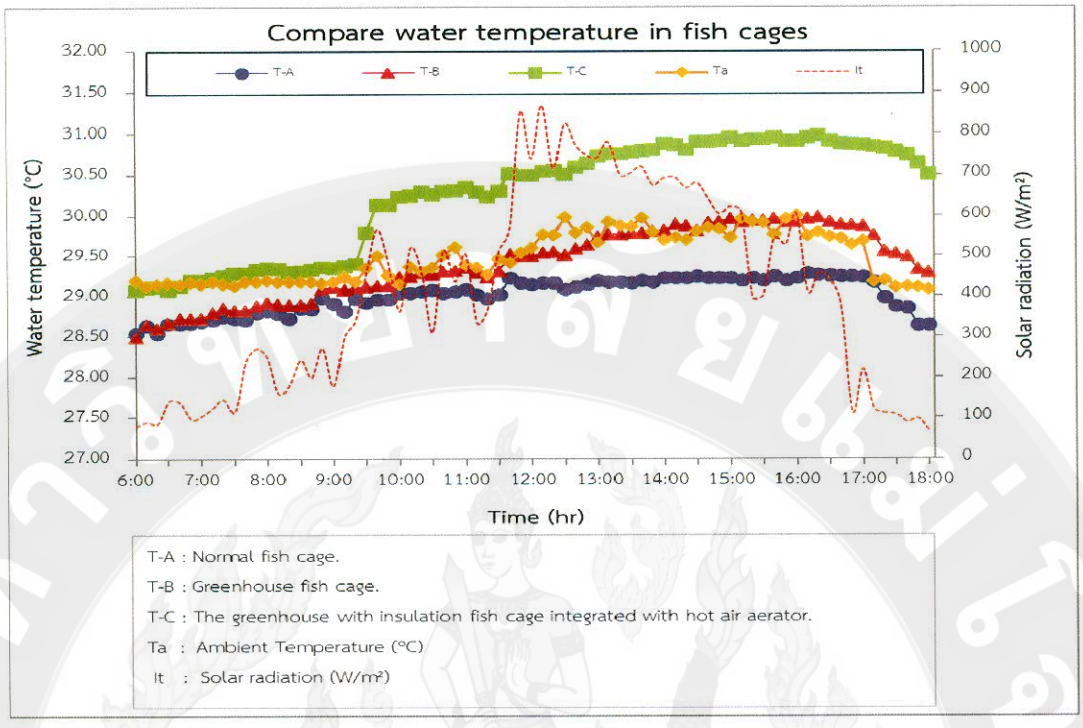
การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเปรียบเทียบ 3 ชุดการทดลองที่สภาวะต่างๆ กรณีไม่มีการเติมอากาศร้อน

จากข้อมูลในวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ใช้เป็นตัวแทนของฤดูฝน ทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 06:00 น. ถึง 18:00 น. ตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 414.8 W/m^2 อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 29.48 ± 0.30 °C พบว่าอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 30.24 ± 0.68 °C รองลงมาคือกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 29.39 ± 0.43 °C และต่ำสุดการเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรกรเลี้ยงทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 29.01 ± 0.21 °C จากผลการทดลองอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาสูงกว่าชุดการทดลองอื่น 2.84% และ 4.09% ตามลำดับ จากการทดสอบยังพบว่าความแตกต่าง

ระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 0.74 °C, 1.49 °C และ 1.90 °C ของการการเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรกรเลี้ยงทั่วไป กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก และกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ ตามลำดับ จากการสะสมพลังงานความร้อนและมีกระชังที่เป็นฉนวนกันการสูญเสียความร้อนที่ดีกว่าของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ส่งผลให้อุณภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 27

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบของกระชังเลี้ยงปลาเปรียบเทียบ 3 ชุดการทดลอง ใช้ข้อมูลตัวแทนของการทดลองในช่วงฤดูฝน

รายการ	Mean ± S.D.	Minimum	Maximum
ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)	414.5 ± 242.1	68.0	868.0
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)	29.48 ± 0.30	29.08	30.00
อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาของชุดการทดลองที่ 1 (°C)	29.01 ± 0.21	28.54	29.28
อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาของชุดการทดลองที่ 2 (°C)	29.39 ± 0.43	28.49	29.98
อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาของชุดการทดลองที่ 3 (°C)	30.25 ± 0.68	29.08	30.98



ภาพที่ 27 อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเปรียบเทียบ 3 ชุดการทดลอง ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ใช้ข้อมูลตัวแทนของฤดูฝน

จากข้อมูลในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ใช้เป็นตัวแทนของฤดูหนาว ทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 06:00 น. ถึง 06:00 น. (24 ชั่วโมง) พบว่าในช่วงเวลากลางวันตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในเฉลี่ย 429.0 W/m^2 อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย 27.42±4.99 °C และอุณหภูมิผิวดินมีค่าเฉลี่ย 26.20±0.59 °C พบว่าอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 27.58±0.81 °C รองลงมาคือกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 26.72±0.71 °C และต่ำสุดการเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรกรเลี้ยงทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 26.36±0.72 °C พบว่าอุณหภูมิทั้ง 3 ชุดการทดลอง ต่ำกว่าค่าอุณหภูมิน้ำมาตรฐานสำหรับการเลี้ยงปลา และพบว่าอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) มีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิน้ำมาตรฐานที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของปลามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 28-29

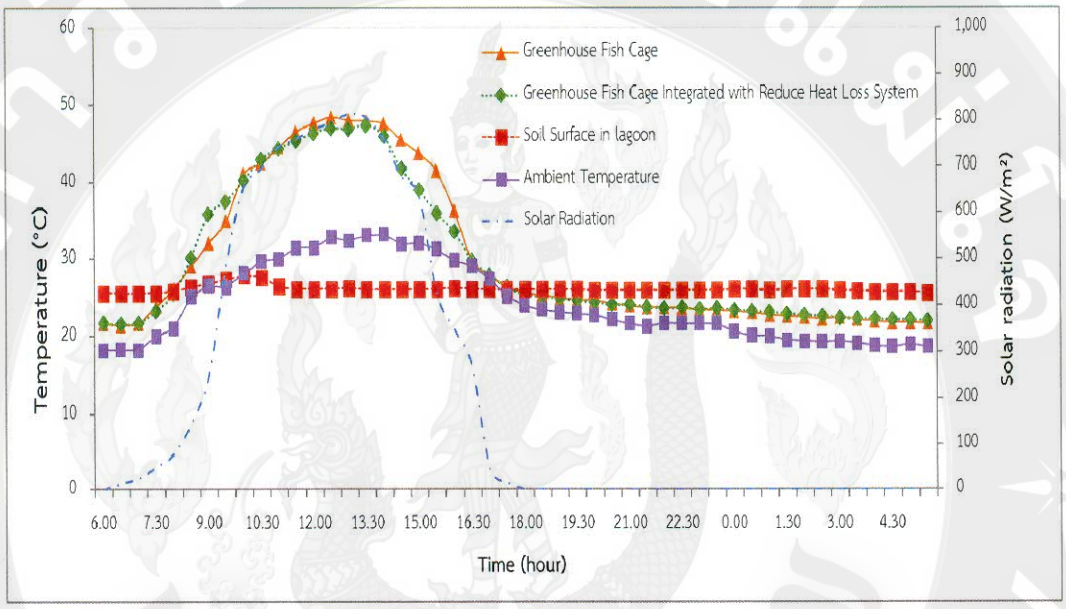
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบของกระชังเลี้ยงปลาเปรียบเทียบ 3 ชุดการทดลอง ใช้ข้อมูลตัวแทนของการทดลองในช่วงฤดูหนาว

รายการ	mean ±S.D.	Minimum	Maximum
ภาวะสิ่งแวดล้อม			
- ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)	429.0 ±324.7	0	815.0
- อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)	27.42 ±4.99	18.21	33.10
- อุณหภูมิผิวดิน (°C)	26.20 ±0.59	25.50	27.80
ชุดการทดลองที่ 1			
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.1 m จากผิวน้ำ (°C)	27.40 ±1.25	25.20	28.80
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.3 m จากผิวน้ำ (°C)	26.33 ±0.68	25.10	27.30
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.8 m จากผิวน้ำ (°C)	25.36 ±0.40	24.60	26.30
ชุดการทดลองที่ 2			
- อุณหภูมิอากาศภายในเรือนกระจก (°C)	36.05 ±9.98	21.40	48.50
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.1 m จากผิวน้ำ (°C)	27.77 ±1.35	25.50	29.70
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.3 m จากผิวน้ำ (°C)	26.54 ±0.65	25.50	27.40
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.8 m จากผิวน้ำ (°C)	25.84 ±0.33	25.20	26.50
ชุดการทดลองที่ 3			
- อุณหภูมิอากาศภายในเรือนกระจก (°C)	35.31 ±9.29	21.60	47.40
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.1 m จากผิวน้ำ (°C)	29.24 ±1.77	26.00	31.80
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.3 m จากผิวน้ำ (°C)	27.46 ±0.73	26.10	29.10
- อุณหภูมิน้ำระดับ 0.8 m จากผิวน้ำ (°C)	26.06 ±0.34	25.50	26.80

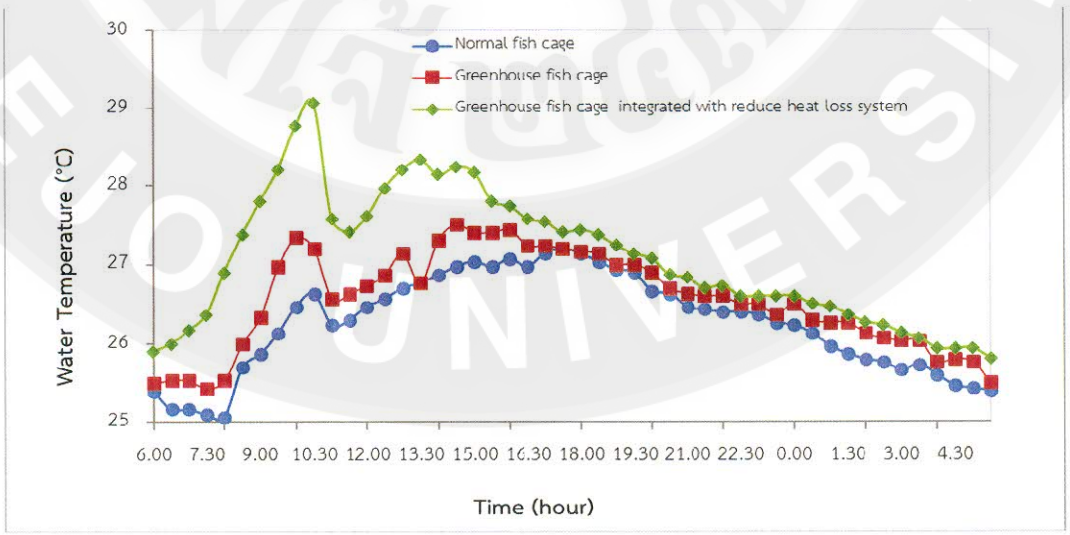
จากภาพที่ 28 พบว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมระหว่างเวลากลางวันและกลางคืนสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันประมาณ 14.89 °C มีค่าเท่ากับ 44.98% ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน และอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยแตกต่างกันประมาณ 0.2 °C เมื่อเทียบจากอุณหภูมิน้ำในสระเพื่อการเกษตรตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 26.26 °C การเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำตลอดทั้งวันได้ 0.81 °C คิดเป็น 2.99% และกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำตลอดทั้งวันได้ 0.29 °C คิดเป็น 1.09% ของอุณหภูมิน้ำในสระเพื่อการเกษตรที่ทำการทดลอง

เมื่อพิจารณาที่น้ำลึกระดับ 0.8 m จากผิวน้ำซึ่งเป็นระดับที่ปลาใช้เวลาส่วนใหญ่อาศัยอยู่ พบว่าอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟม

ที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลา 26.06±0.34 °C รองลงมาคือกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลา 25.84±0.33 °C และต่ำสุดการเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรกรเลี้ยงทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลา 25.36±0.40 °C แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 ชุดการทดลอง ค่าอุณหภูมิน้ำไม่อยู่ในค่าอุณหภูมิน้ำมาตรฐานที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาแต่ยังมีปัญหาที่ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำในแต่ระดับชั้นความลึกจากผิวน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 28 ภาวะสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิภายในเรือนกระจก



ภาพที่ 29 อุณภูมิน้ำเฉลี่ยตลอดทั้งวันเปรียบเทียบ 3 ชุดการทดลอง ในช่วงฤดูหนาว

การศึกษาสมรรถนะของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

จากการศึกษาอุณหภูมิน้ำเปรียบเทียบทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) เข้าใกล้อุณหภูมิน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลามากที่สุด แต่ยังต้องหาแนวทางที่จะเพิ่มอุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำ ให้มีอุณหภูมิที่ที่ใกล้เคียงอุณภูมิผิวน้ำซึ่งได้รับความร้อนโดยตรงจากเรือนกระจก ทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำด้วยการนำอากาศร้อนที่ลอยตัวอยู่ในเรือนกระจกลงสู่น้ำ จากการทดลองได้ผลดังต่อไปนี้

1. การประเมินประสิทธิภาพระบบของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ผลจากการทดลองกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกการเติมร่วมกับการอากาศร้อนในช่วงฤดูหนาว เลี้ยงปลาในกระชังหุ้มฉนวนขนาด กว้าง 2.1 m ยาว 3.2 m และสูง 1.5 m ใช้ปั๊มดูดอากาศที่มีกำลังไฟฟ้า 345.48 W ดูดอากาศร้อนภายในเรือนกระจกลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลาลึกจากผิวน้ำ 0.8 m จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ช่วงเวลา 10:00-14:00 น. เทียบเทียบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ไม่เติมอากาศร้อนและเติมอากาศร้อนมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ย 23.66% และ 32.65% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

เวลา	อุณหภูมิน้ำในกระชัง (°C)	อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้น (°C)	I_t (W/m^2)	Input (W)	Output (W)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)
กรณีไม่มีการเติมอากาศร้อน						
10:00-11:00 น.	31.06	0.01	754.66	5,071.31	62.81	23.66
11:00-12:00 น.	31.07	0.01	668.83	4,494.55	62.81	
12:00-13:00 น.	31.36	0.29	896.00	6,021.12	1,821.53	
13:00-14:00 น.	31.90	0.54	817.52	5,493.73	3,391.81	
กรณีมีการเติมอากาศร้อน						
10:00-11:00 น.	31.51	0.27	751.57	5,396.04	1,702.19	32.65
11:00-12:00 น.	31.67	0.16	623.43	4,534.92	986.14	
12:00-13:00 น.	32.06	0.39	849.43	6,053.64	2,424.52	
13:00-14:00 น.	32.43	0.37	879.57	5,889.48	2,330.31	

หมายเหตุ: Mass/flow = 1.503 kg/s และ Cp_W = 4,180 J/kg·°C

2. ผลการทดลองการเติมอากาศร้อนในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3)

ผลการทดลองการเติมอากาศร้อนที่อยู่ภายในเรือนกระจกลงสู่น้ำที่ระดับความลึก 0.8 m วัดจากระดับของผิวน้ำ ด้วยปั๊มลมเติมอากาศ (Pressure 17 kPa, Speed 2,800 r/min and Max flux 68 m^3/h) ดูดลมผ่านท่อพีวีซีหน้าตัดขนาด 1.0 นิ้ว ลงสู่น้ำระดับความลึก 0.8 m พ่นอากาศร้อนออกผ่านรูที่อยู่บ่นท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5.5 mm. บันทึกข้อมูลเวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. ทำการเปรียบเทียบระหว่างกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) ที่มีการเติมอากาศร้อนและไม่มีเครื่องเติมอากาศร้อน ในวันที่มีข้อมูลภายใต้สภาวะสิ่งแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในวันที่ทดสอบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนโดยไม่มีการเติมอากาศร้อนตลอดระยะเวลาเก็บข้อมูล 531 W/m^2 และวันที่มีการทดสอบการเติมอากาศร้อนลงสู่น้ำในกระชังตลอดระยะเวลาเก็บข้อมูล 490 W/m^2 ตามลำดับ อากาศสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 32.53 °C และ 32.52 °C ตามลำดับ และอุณหภูมิที่อยู่ภายในเรือนกระจกเฉลี่ย 46.69 °C และ 46.01 °C ตามลำดับ ดังข้อมูลที่แสดงตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึกที่แตกต่างกันในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อนและกรณีร่วมกับการเติมอากาศร้อน

การทดสอบ	mean ± S.D.	Minimum	Maximum
1. ไม่มีเครื่องเติมอากาศร้อน			
ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)	531.3 ± 283.3	9.8	978.0
อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม (°C)	32.52 ± 3.52	24.30	38.00
อุณหภูมิอากาศภายในเรือนกระจก (°C)	46.69 ± 9.44	24.40	60.20
อุณหภูมิน้ำภายในกระชังเลี้ยงปลา (°C)			
- ที่ระดับความลึก 0.1 m จากผิวน้ำ	33.49 ± 1.99	30.00	36.90
- ที่ระดับความลึก 0.3 m จากผิวน้ำ	31.62 ± 1.23	29.80	33.40
- ที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำ	29.94 ± 0.23	29.60	31.00
อุณหภูมิน้ำภายนอกกระชังเลี้ยงปลา (°C)			
- ที่ระดับความลึก 0.1 m จากผิวน้ำ	31.49 ± 1.18	29.40	33.00
- ที่ระดับความลึก 0.3 m จากผิวน้ำ	30.69 ± 0.77	29.20	31.90
- ที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำ	30.13 ± 0.39	29.20	31.10
2. ใช้เครื่องเติมอากาศร้อนลงสู่น้ำในกระชัง			
ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)	490.6 ± 321.4	9.2	952.0
	648.4 ± 243.4 [a]	61.5 [a]	952.0 [a]
อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม (°C)	32.53 ± 4.44	24.60	41.60
	34.14 ± 3.51 [a]	26.50 [a]	41.60 [a]
อุณหภูมิอากาศภายในเรือนกระจก (°C)	46.02 ± 10.77	27.40	62.00
	50.99 ± 7.78 [a]	33.40 [a]	62.00 [a]
อุณหภูมิน้ำภายในกระชังเลี้ยงปลา (°C)			
- ที่ระดับความลึก 0.1 m จากผิวน้ำ	32.20 ± 1.27	30.40	36.10
	32.08 ± 0.76 [a]	30.70 [a]	33.80 [a]
- ที่ระดับความลึก 0.3 m จากผิวน้ำ	31.54 ± 0.84	29.90	32.70
	31.65 ± 0.77 [a]	29.90 [a]	30.00 [a]
- ที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำ	31.66 ± 0.71	30.00	33.20
	31.82 ± 0.68 [a]	30.00 [a]	32.20 [a]
อุณหภูมิน้ำภายนอกกระชังเลี้ยงปลา (°C)			
- ที่ระดับความลึก 0.1 m จากผิวน้ำ	31.60 ± 1.00	31.27	31.12
	31.72 ± 0.90 [a]	29.80 [a]	33.50 [a]
- ที่ระดับความลึก 0.3 m จากผิวน้ำ	31.27 ± 0.77	29.80	32.50
	31.34 ± 0.70 [a]	29.80 [a]	32.50 [a]

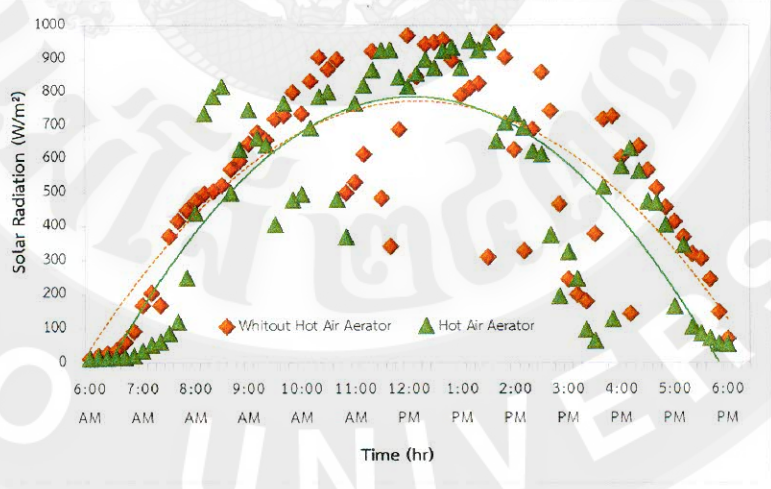
การทดสอบ	mean ±S.D.	Minimum	Maximum
	31.34 ±0.70 [a]	29.80 [a]	32.50 [a]

ตารางที่ 7 (ต่อ)

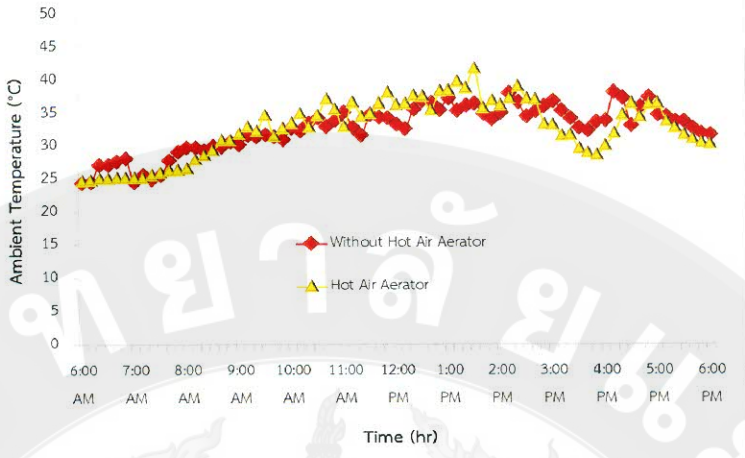
การทดสอบ	mean ±S.D.	Minimum	Maximum
- ที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำ	31.12 ±0.59	30.10	32.30
	31.06 ±0.51 [a]	30.10 [a]	32.30 [a]

หมายเหตุ ([a]) การบันทึกข้อมูลในช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. คือช่วงเวลาที่เครื่องเติมอากาศร้อนทำงาน

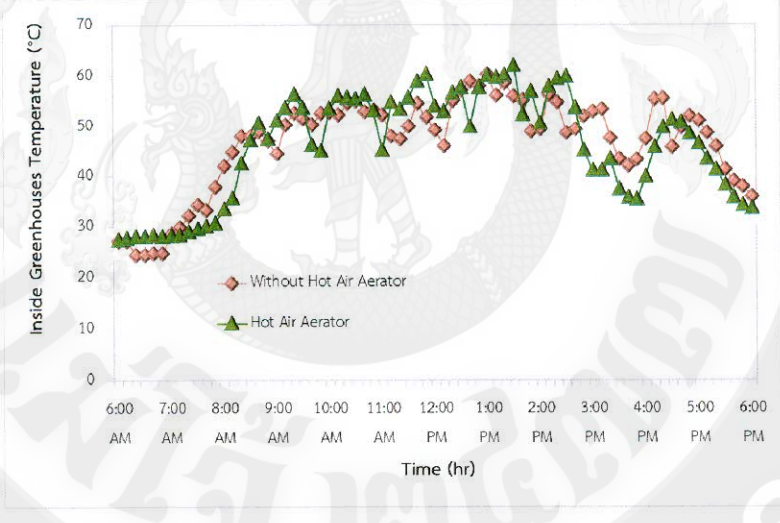
จากภาพที่ 30-32 พบว่าการทดลองบันทึกข้อมูลในวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2559 และ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2559 การทดลองอยู่ภายใต้ภาวะสิ่งแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างที่มีการเติมอากาศร้อนและไม่มีเครื่องเติมอากาศร้อนลงในกระชังเลี้ยงปลาได้



ภาพที่ 30 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) ของวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2559 และ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2559



ภาพที่ 31 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม (°C) ของวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2559 และ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2559

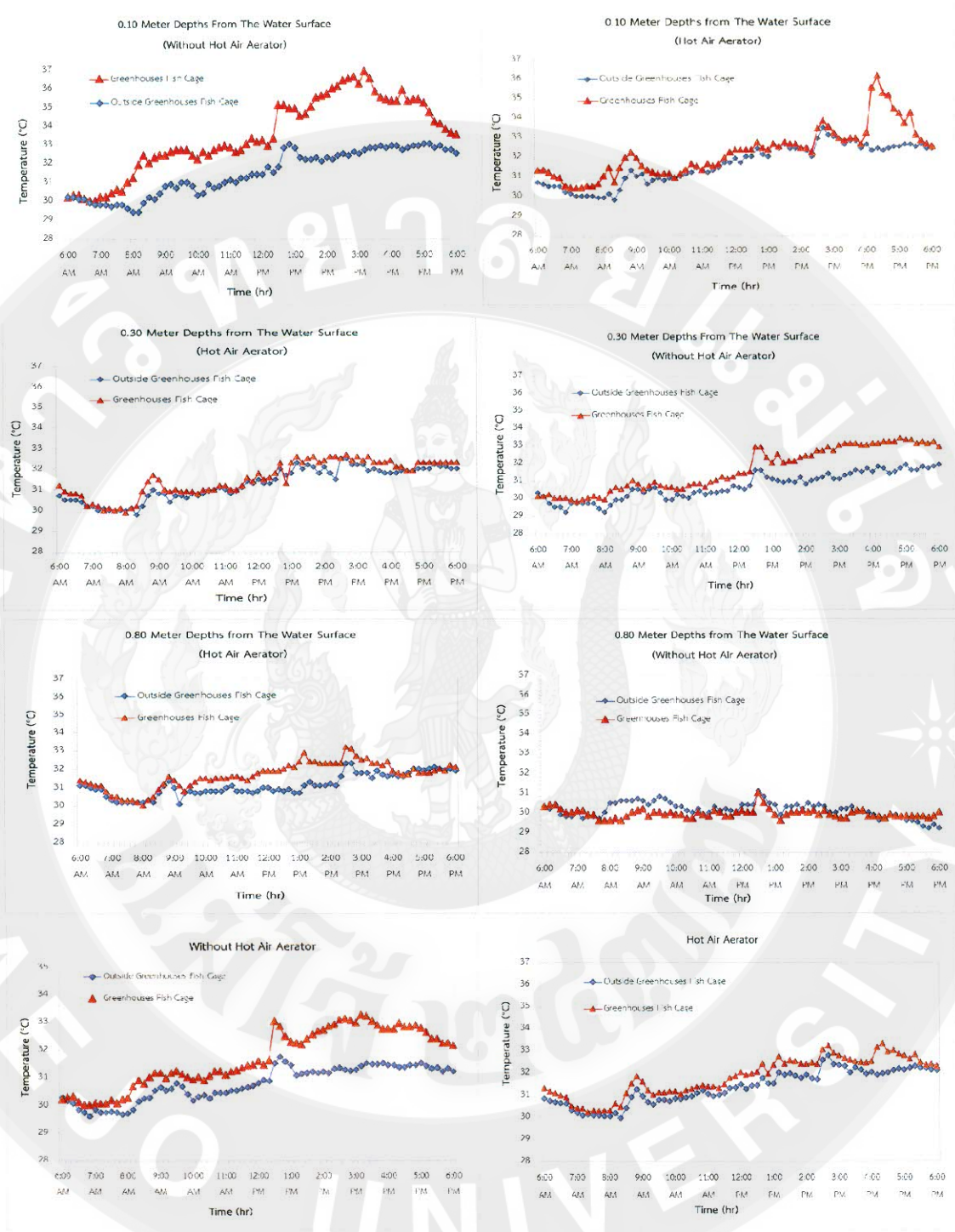


ภาพที่ 32 อุณหภูมิอากาศภายในเรือนกระจก (°C) ของวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2559 และ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2559

จากภาพที่ 33 (ก) ผลการทดลองกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) ที่ระดับลึกลงจากผิวน้ำ 0.1 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูลอยู่ที่ 33.49±1.99 °C มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าน้ำที่อยู่ภายนอกชุดการทดลอง 2.0 °C คิดเป็น 5.97% ที่ระดับลึกลงจากผิวน้ำ 0.3 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูลอยู่ที่ 31.62±1.23 °C มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำที่อยู่

ภายนอกชุดการทดลอง 0.07 °C คิดเป็น 3.03% และที่ระดับลึกลงจากผิวน้ำ 0.8 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลองอยู่ที่ 29.94 ± 0.23 °C ด้วยลักษณะกระชังเลี้ยงปลาเป็นแบบปิดทำให้อุณหภูมิน้ำภายในกระชังมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่อยู่ภายนอกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล 0.19 °C คิดเป็น 0.63% เนื่องจากน้ำไม่มีการเคลื่อนไหวทำให้ประสิทธิภาพการพาความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอกต่ำกว่าระบบเปิดจึงส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละระดับชั้นความลึกจากผิวน้ำ

ผลการทดลองกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) อุณหภูมิน้ำในชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 31.68 ± 1.98 °C มีอุณภูมิสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่อยู่ภายนอกชุดการทดลอง 0.91 °C คิดเป็น 2.87% จากผลการทดลองความร้อนที่อยู่ภายในเรือนกระจกสามารถถ่ายเทความร้อนลงสู่น้ำลึกแค่ประมาณ 0.3 m จากผิวน้ำ อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็นการรับพลังงานความร้อนสะสมในเรือนกระจกลงสู่ผิวน้ำโดยตรง



(ก) กรณีที่ไม่เติมอากาศร้อน (ข) กรณีที่มีการเติมอากาศร้อน

ภาพที่ 33 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำภายในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก กรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อนเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการเติมอากาศร้อนที่ระดับความลึกของน้ำที่ 0.1, 0.3 และ 0.8 m และเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งสองกรณี

จากภาพที่ 33 (ข) ผลการทดลองกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ (ชุดการทดลองที่ 3) ร่วมกับการเติมอากาศร้อนที่อยู่ภายในเรือนกระจงลงสู่น้ำภายในกระชังเลี้ยงปลาที่ระดับความลึก 0.8 m จากผิวน้ำ ทำการทดสอบช่วงเวลา 08:00 น. ถึง 16:00 น. พบว่าที่ระดับลึกลงจากผิวน้ำ 0.1 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูลอยู่ที่ 32.08 ± 0.76 °C มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าน้ำที่อยู่ภายนอกชุดการทดลอง 0.36 °C คิดเป็น 1.12% ที่ระดับลึกลงจากผิวน้ำ 0.3 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูลอยู่ที่ 31.65 ± 0.77 °C มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าน้ำที่อยู่ภายนอกชุดการทดลอง 0.31 °C คิดเป็น 0.98% และที่ระดับลึกลงจากผิวน้ำ 0.8 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลองอยู่ที่ 31.82 ± 0.68 °C มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าน้ำที่อยู่ภายนอกชุดการทดลอง 0.76 °C คิดเป็น 2.39% อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกมีอุณภูมิที่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเลี้ยงปลากระชัง

ผลการทดลองกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ร่วมกับการเติมอากาศร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) อุณหภูมิน้ำในชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 31.80 ± 0.75 °C มีอุณภูมิสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อุณหภูมิน้ำที่อยู่ภายนอกชุดการทดลอง 0.47 °C คิดเป็น 1.47% อุณภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกมีความสม่ำเสมอตลอดความลึกของกระชังเลี้ยงปลา จากการทดลองยังพบว่าอุณภูมิในกระชั้งเลี้ยงปลาเรือนกระจกมีอุณหภูมิน้ำที่สูงกว่าอุณหภูมิน้ำภายนอกตลอดทุกระดับชั้นความลึกเนื่องจากเป็นการเติมอากาศร้อนที่สะสมอยู่ภายในเรือนกระจกลงสู่ระดับความลึกที่ก้นของกระชังทำให้เกิดการพาความร้อนในน้ำจากก้นกระชังทำให้มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำสูงสุดและต่ำสุด 1.57 °C และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพด้านโภชนาการ ของปลาที่เลี้ยงในกระชังเรื่องปลาเรือนกระจก

1. ผลการทดสอบเลี้ยงปลาหมอไทย

1.1 อัตราการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย

ผลการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังเลี้ยงปลาที่สภาวะแตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1: กระชังแบบปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไป ชุดการทดลองที่ 2: กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก และชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ ทำการทดสอบเลี้ยงปลาหมอไทยที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 2.54 ± 0.11 กรัม/ตัว และมีความยาวตัวเฉลี่ย 2.54 ± 0.16 cm ปล่อยปลาจำนวน 300 ตัว/ชุดการทดลอง ทดสอบเลี้ยงในช่วงฤดูฝนระหว่างวันที่ 14 กรกฎาคม ถึง 14

พฤศจิกายน พ.ศ.2558 เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยให้อาหาร 3 ครั้ง/วัน (06:00-7:00 น., 12:00-13:00 น. และ 17:00-18:00 น.) 3% ของน้ำหนักปลา สูตรอาหารที่ใช้เป็น โปรตีนไม่น้อยกว่า 25% ไขมันไม่น้อยกว่า 3% กากไม่มากกว่า 8% และความชื้นไม่มากกว่า 12% เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 143.87 ± 5.07 กรัม/ตัว รองลงมาเป็นการเลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) เท่ากับ 135.05 ± 5.66 กรัม/ตัว และการเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) เท่ากับ 121.35 ± 5.33 กรัม/ตัว ตามลำดับ มีความยาวตัวสุดท้ายเท่ากับ 17.49 ± 0.33 เซนติเมตร/ตัว 17.31 ± 0.44 เซนติเมตร/ตัว และ 16.68±0.36 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ ทั้งนี้มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย เท่ากับ 1.18 กรัม/วัน 1.10 กรัม/วัน และ 0.99 กรัม/วัน ตามลำดับ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย เท่ากับ 3.36 เปอร์เซ็นต์/วัน 3.31 เปอร์เซ็นต์/วัน และ 3.22 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ และมีอัตรารอดตาย เท่ากับ 90.3%, 86.0% และ 87.7% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8-10 และภาพที่ 35-36

อุณหภูมิมีผลต่อลักษณะการกินอาหารของปลา เนื่องจากแต่ละชุดการทดลองมีอุณหภูมิน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาที่แตกต่างกันของแต่ล่ะชุดการทดลอง พบว่าการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเลี้ยงในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) และการเลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) 22.52 กรัม คิดเป็น 15.93% และ 8.82 กรัม คิดเป็น 6.24% ตามลำดับ และยังพบว่าการเลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจกสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเลี้ยงในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป 13.70 กรัม คิดเป็น 10.34% ซึ่งการทดลองเห็นผลความแตกต่างของการเจริญเติบโตได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 8 อัตราการเจริญเติบโตน้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลาหมอไทย (กรัม/ตัว)

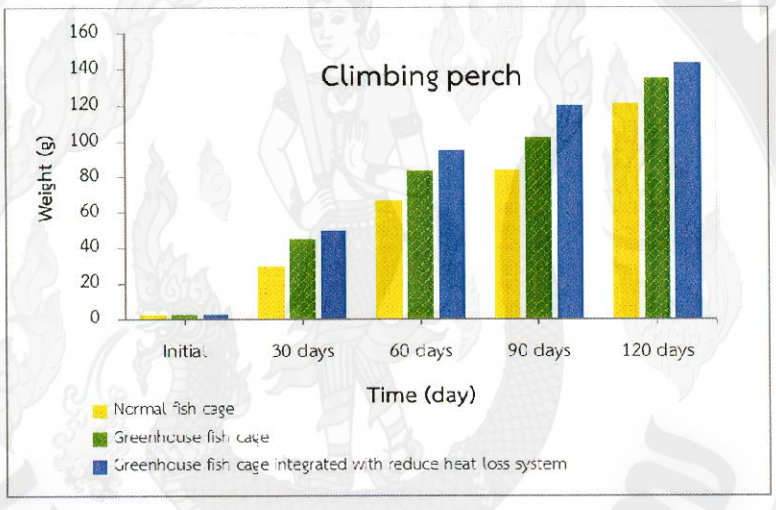
ระยะเวลา	รายการ	กระชังแบบทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) กรัม/ตัว	กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) กรัม/ตัว	กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก+ ฉนวนไม้ไผ่ลดการสูญเสียความร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) กรัม/ตัว
เริ่มต้น	mean ± S.D.	2.54 ± 0.11	2.54 ± 0.11	2.54 ± 0.11
	min	2.34	2.34	2.34
	max	2.69	2.69	2.69
10 วัน	mean ± S.D.	5.48 ± 0.61	9.31 ± 0.75	11.14 ± 0.72
	min	4.50	8.10	9.99
	max	6.91	10.14	12.18
20 วัน	mean ± S.D.	12.68 ± 5.05	19.40 ± 3.87	25.95 ± 5.95
	min	5.90	13.40	18.10
	max	22.00	27.40	38.10
30 วัน	mean ± S.D.	28.99 ± 5.72	44.94 ± 10.28	50.02 ± 15.20
	min	22.30	29.30	34.60
	max	38.70	62.50	98.70
60 วัน	mean ± S.D.	67.04 ± 10.27	83.69 ± 6.22	95.38 ± 9.08
	min	51.20	74.70	82.20
	max	88.40	98.70	113.90
90 วัน	mean ± S.D.	84.27 ± 9.26	102.36 ± 8.00	119.66 ± 5.55
	min	72.60	89.70	111.10
	max	103.10	116.60	128.70
120 วัน	mean ± S.D.	121.35 ± 5.33	135.05 ± 5.66	143.87 ± 5.07
	min	113.60	122.70	132.90
	max	132.30	143.80	157.30

ตารางที่ 9 อัตราการเจริญเติบโตความยาวตัวเฉลี่ยของปลาหมอไทย (เซนติเมตร/ตัว)

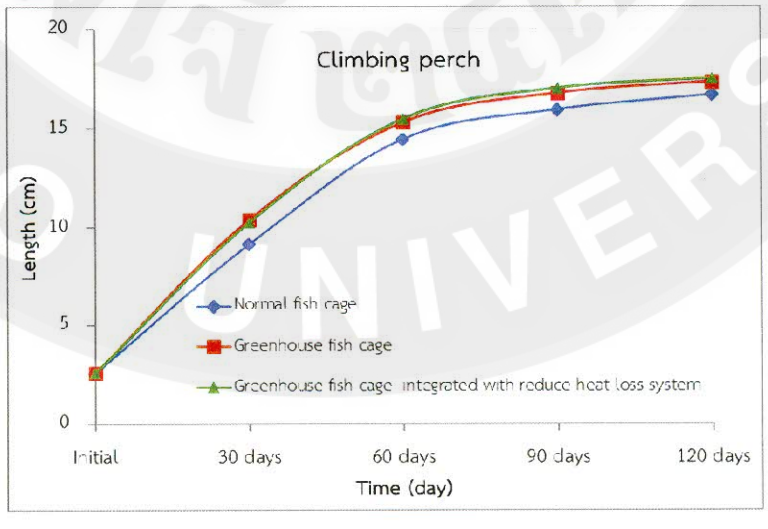
ระยะเวลา	รายการ	กระชังแบบทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) เซนติเมตร/ตัว	กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) เซนติเมตร/ตัว	กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก+ ฉนวนไม้ไผ่ลดการสูญเสียความร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) เซนติเมตร/ตัว
เริ่มต้น	mean ± S.D.	2.54 ± 0.16	2.54 ± 0.16	2.54 ± 0.16
	min	2.3	2.3	2.3
	max	2.9	2.9	2.9
10 วัน	mean ± S.D.	4.81 ± 0.58	5.68 ± 0.39	6.48 ± 0.38
	min	4.1	4.9	5.6
	max	5.9	6.4	7.2
20 วัน	mean ± S.D.	6.62 ± 1.03	7.63 ± 0.71	8.43 ± 0.98
	min	4.8	6.5	6.7
	max	8.3	8.7	10.5
30 วัน	mean ± S.D.	9.14 ± 0.71	10.38 ± 0.84	10.25 ± 0.61
	min	8.0	9.2	9.2
	max	10.2	13.0	11.2
60 วัน	mean ± S.D.	14.46 ± 0.87	15.30 ± 0.70	15.49 ± 0.77
	min	13.1	14.2	13.9
	max	16.2	16.3	16.7
90 วัน	mean ± S.D.	15.94 ± 0.51	16.76 ± 0.48	17.02 ± 0.48
	min	15.1	16.2	16.2
	max	16.9	17.6	17.8
120 วัน	mean ± S.D.	16.68 ± 0.36	17.31 ± 0.44	17.49 ± 0.33
	min	16.3	16.4	16.7
	max	17.6	17.9	17.9

ตารางที่ 10 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ความยาวที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
ชุดการทดลองที่ 1	118.81	14.14	0.99	3.22	87.7
ชุดการทดลองที่ 2	132.51	14.77	1.10	3.31	86.0
ชุดการทดลองที่ 3	141.33	14.95	1.18	3.36	90.3



ภาพที่ 34 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักของปลาหมอไทยของแต่ละรูปแบบการเลี้ยง



ภาพที่ 35 การเจริญเติบโตด้านความยาวตัวของปลาหมอเทศของแต่ละรูปแบบการเลี้ยง

1.2 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทย

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน วัดปริมาณค่า pH ในช่วงก่อนเลี้ยงปลาหมอไทย กระชังเลี้ยงปลาเลี้ยงปลาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากการวัดปริมาณของ DO ค่าเริ่มต้นการทดลองเลี้ยงปลาจะมีปริมาณ DO ในน้ำมีปริมาณต่ำ ช่วงสุดท้ายการเลี้ยงปลาปลายเดือนที่ 3 จะมีปริมาณ DO อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การวัดความนำไฟฟ้าในกระชังเลี้ยงปลาอยู่ในเกณฑ์ปกติมีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ และการวัดความขุ่นของน้ำในกระชังเลี้ยงปลา พบว่าอยู่ในเกณฑ์ไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาทำการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมในสระน้ำเพื่อการเกษตรที่มีคุณภาพที่เหมาะสมสามารถทำการเลี้ยงปลาได้ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของการเลี้ยงปลาหมอไทย (ชุดการทดลองที่ 3)

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ (ชุดการทดลองที่ 3)					
	เริ่มต้นการทดลอง			สิ้นสุดการทดลอง		
	(mean ± S.D.)	Min	Max	(mean ± S.D.)	Min	Max
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.46 ± 0.08	6.38	7.09	6.96 ± 0.12	6.86	7.09
ค่าความเป็นด่าง ($mgCaCO_3/L$)	250.00 ± 0.00	250.00	250.00	200 ± 70.71	150.00	250.00
ซีโอดี (mg/l)	78.00 ± 2.83	76.00	64.00	62.00 ± 2.83	60.00	64.00
ความขุ่น (NTU)	240.40 ± 26.90	220.50	250.50	629.00 ± 30.61	600.00	661.00
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/l)	0.80 ± 0.07	0.75	0.85	22.42 ± 0.00	22.42	22.42
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	1.50 ± 0.17	1.32	1.65	8.25 ± 0.05	8.20	8.30
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	13.07 ± 0.25	12.80	13.30	121.57 ± 0.40	121.20	122.00

หมายเหตุ ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำเฉพาะชุดการทดลองที่ 3 หมายถึง กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน

2. ผลการทดสอบเลี้ยงปลาทับทิม

2.1 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทับทิม

จากการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 3.14 ± 0.07 กรัม/ตัว และมีความยาวตัวเฉลี่ย 5.70 ± 0.10 เซนติเมตร/ตัว ในการทดลองนี้ได้ทำการเลี้ยงปลาทับทิมเป็นระยะเวลา 3 เดือน ระหว่างวันที่ 10 มกราคม ถึง 10 เมษายน พ.ศ. 2559 สำหรับอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารสำเร็จรูปลอยน้ำสำหรับปลาขนาดกลาง โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30% ให้วันละ 2 ครั้ง ที่เวลา 08.00-10.00 น. และ 16.00-18.00 น. ให้จนอิ่ม ทำการเลี้ยงในการทดลองที่ต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ

ชุดการทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป ทดสอบเลี้ยงปลาในกระชังแบบทั่วไป กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m และสูง 1.5 m (จำนวน 3 ซ้ำ)

ชุดการทดลองที่ 2 กระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก คลุมด้วยโรงเรือนพลาสติกมีโครงสร้างเหล็กโค้งรูปพาราโบลาและปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (0.15 mm, UV 7%) ใส่กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m และสูง 1.5 เมตร (จำนวน 3 ซ้ำ)

ชุดการทดลองที่ 3 กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน คลุมด้วยโรงเรือนพลาสติกมีโครงสร้างเหล็กโค้งรูปพาราโบลาและปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (0.15 mm, UV 7%) กระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ ขนาด กว้าง 2.1 m ยาว 3.2 m และสูง 1.5 m และใส่กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2.0 mm ขนาด กว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m และสูง 1.5 m (จำนวน 3 ซ้ำ) ไว้ด้านในกระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวน

จากการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมจากชุดการทดลองๆละ 30 ตัว (กระชังละ 10 ตัว) ตลอดระยะเวลา 3 เดือน โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งหน่วยเป็นกรัม และวัดขนาดความยาวของลำตัวด้วยไม้บรรทัดหน่วยเป็นเซนติเมตร จากการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมในทั้ง 3 ชุดการทดลองด้วยอัตราความหนาแน่น 50 ตัว/กระชัง เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 3 เดือน ปลาทับทิมมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 72.12 ± 3.44 กรัม/ตัว, 92.09 ± 6.05 กรัม/ตัว และ 104.40 ± 5.78 กรัม/ตัว ตามลำดับ มีความยาวตัวสุดท้ายเฉลี่ย เท่ากับ 15.96 ± 0.56 เซนติเมตร/ตัว 16.57 ± 0.37 เซนติเมตร/ตัว และ 16.90 ± 0.87 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ ทั้งนี้มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย เท่ากับ 0.75 ± 0.02 กรัม/วัน, 1.02 ± 0.09 กรัม/วัน และ 1.14 ± 0.06 กรัม/วัน ตามลำดับ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย เท่ากับ 3.51 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์/วัน 3.81 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน และ 3.94 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ และมีอัตรารอดตาย เท่ากับ 85.33 ± 3.06%, 90.00 ± 3.46% และ 92.67 ± 1.15% ตามลำดับ จากการทดลองยังพบอีกว่าการเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน (ชุดการทดลองที่ 3)

สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเลี้ยงในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) และการเลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2) เท่ากับ 32.27 กรัม คิดเป็น 30.91% และ 12.31 กรัม คิดเป็น 11.79% ตามลำดับ และยังพบว่าการเลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจกสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเลี้ยงในกระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป 19.96 กรัม คิดเป็น 21.67% ซึ่งการทดลองเห็นผลความแตกต่างของการเจริญเติบโตได้อย่างชัดเจน

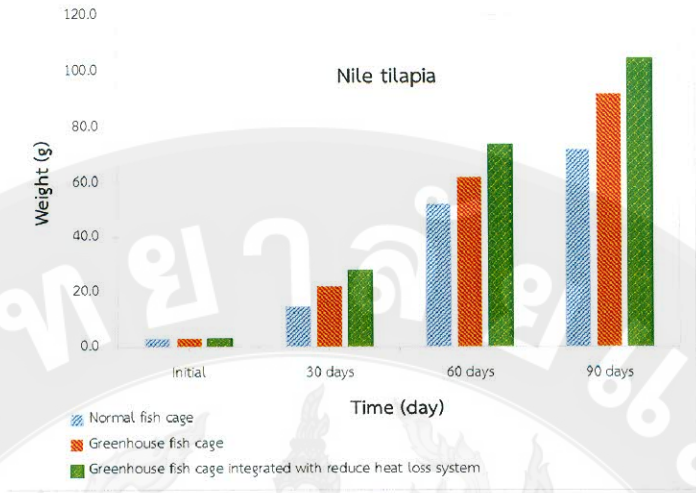
เมื่อพิจารณาผลการเจริญเติบโตของปลาทับทิมของแต่ละชุดการทดลองกับน้ำหนักเริ่มต้น พบว่า ทุกการทดลองมีแนวโน้มการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) มีการเจริญเติบโตที่เร็วกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ดังตารางที่ 12-13 และภาพที่ 37-38

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย (mean ± S.D.) ข้อมูลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของปลาทับทิมในแต่ละชุดการทดลอง

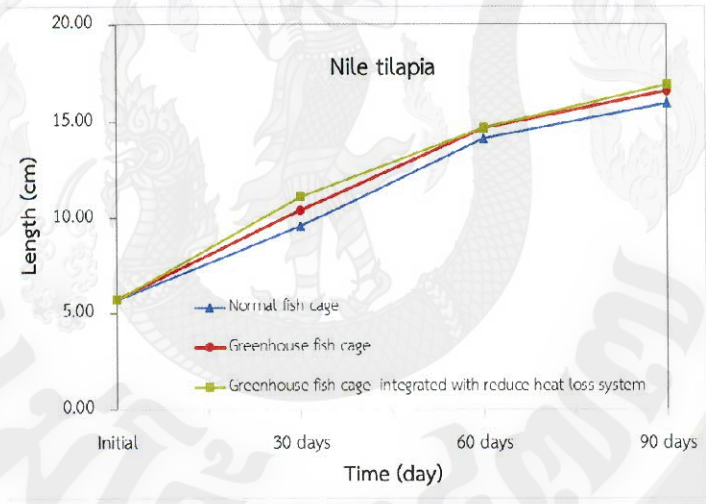
ชุดการทดลอง	เริ่มต้น	30 วัน	60 วัน	90 วัน
น้ำหนักเฉลี่ยของปลาทับทิม (กรัม)				
ชุดการทดลองที่ 1	3.14 ± 0.07	14.73 ± 3.71	52.27 ± 9.26	72.13 ± 3.44
ชุดการทดลองที่ 2	3.14 ± 0.07	22.13 ± 5.21	61.96 ± 6.20	92.09 ± 6.05
ชุดการทดลองที่ 3	3.14 ± 0.07	27.93 ± 5.38	73.55 ± 5.25	104.40 ± 5.78
ความยาวตัวเฉลี่ยของปลาทับทิม (เซนติเมตร)				
ชุดการทดลองที่ 1	5.70 ± 0.10	9.57 ± 0.79	14.15 ± 0.80	15.97 ± 0.56
ชุดการทดลองที่ 2	5.70 ± 0.10	10.42 ± 0.94	14.70 ± 0.81	16.57 ± 0.37
ชุดการทดลองที่ 3	5.70 ± 0.10	11.13 ± 0.62	14.69 ± 0.43	16.90 ± 0.87

ตารางที่ 13 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาทับทิมในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ความยาวที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
ชุดการทดลองที่ 1	68.98	10.27	0.75 ± 0.02	3.51 ± 0.07	85.33 ± 3.06
ชุดการทดลองที่ 2	88.95	10.87	1.02 ± 0.09	3.81 ± 0.08	90.00 ± 3.46
ชุดการทดลองที่ 3	101.26	11.20	1.14 ± 0.06	3.94 ± 0.08	92.67 ± 1.15



ภาพที่ 36 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักของปลาทับทิมของแต่ละรูปแบบการเลี้ยง



ภาพที่ 37 การเจริญเติบโตด้านความยาวตัวของปลาทับทิมของแต่ละรูปแบบการเลี้ยง

2.2 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงปลาทับทิม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเลี้ยงปลาทั้ง ค่าออกซิเจนในน้ำ อุณหภูมิน้ำ สารอาหาร และความขุ่นของน้ำ (Bhatnagar and Devi, 2013) และคุณภาพน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของปลา (Swann, 1993) จากการทดลองเริ่มต้นได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในสระเพื่อการเกษตร วัดคุณภาพของน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ย (mean ± S.D.) ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของการเลี้ยงปลาทับทิม

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ				ค่าอ้างอิงมาตรฐาน
	ชุดการทดลองที่ 1 และ 2		ชุดการทดลองที่ 3		
	เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.43 ± 0.01	8.45 ± 0.05	7.46 ± 0.05	7.44 ± 0.09	6.5-8.5
ค่าความเป็นด่าง ($mgCaCO_3/L$)	117.50 ± 10.61	103.30 ± 2.40	122.50 ± 3.54	101.80 ± 1.27	50-300
ซีโอดี (mg/l)	140.0 ± 28.28	192.0 ± 45.25	220.0 ± 28.28	160.0 ± 22.63	>50
ความขุ่น (NTU)	102.67 ± 0.58	236.33 ± 4.16	106.33 ± 0.58	311.00 ± 4.58	20-30
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/l)	16.81 ± 3.96	29.42 ± 1.98	15.41 ± 1.98	25.22 ± 3.96	-
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	8.45 ± 0.05	7.60 ± 0.30	8.10 ± 0.10	7.53 ± 0.17	8-10
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	0.1453	1.1326	0.1493	1.1341	0.1-1

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ทำการตรวจวัดค่าน้ำในบริเวณจุดเดียวกันเนื่องจากกระชังเลี้ยงปลามีลักษณะเปิดเหมือนกัน

ชุดการทดลองที่ 1 หมายถึง กระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป

ชุดการทดลองที่ 2 หมายถึง กระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก

ชุดการทดลองที่ 3 หมายถึง กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน

จากการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในสระเพื่อการเกษตรมีค่าที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลา ทั้งนี้ค่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับปลาอยู่ระหว่าง 6.5 และ 8.5 ผลจากการตรวจวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Araoye, 2009) ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาอยู่ที่ 50-300 $mgCaCO_3/L$ (Bhatnagar, et al., 2004) ค่าความเป็นด่างในสระน้ำที่ทำการทดลองอยู่ในค่าที่เหมาะสมและค่าที่เหมาะสมของซีโอดีสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาควรจะน้อยกว่า 50 mg/l (Bhavimani and Puttaiah., 2014) ความขุ่นเกิดจากการที่ในน้ำมีสารที่ไม่ละลายน้ำขนาดเล็กแขวนลอยซึ่งเป็นไปได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-30 NTU (Zweigh., 1989) ในสระน้ำที่ทำ

การทดลองมีความขุ่นสูงเนื่องจากดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว สระน้ำเป็นแบบปิด และมีการทิ้งเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรลงในน้ำของเกษตรกร และค่าที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลาไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในโปรตีนของพืชและสัตว์หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย เช่นในปัสสาวะ ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอด พฤติกรรมและสรีรวิทยาปลาทับทิม ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาอยู่ที่ 8-10 mg/l (Svobodová et al., 1993) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวชี้วัดความเค็มของน้ำ น้ำชลประทานควรจะมีอีซีน้อยกว่า 0.8 ds/m พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 3 ชุดการทดลองหลังจากสิ้นสุดการทดลองมีค่าสูงกว่าค่ามารตฐานสำหรับการเลี้ยงปลาเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาทำการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมในสระน้ำเพื่อการเกษตรจากการประเมินภาพรวมมีคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลาในกระชัง

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลาทับทิม

จากการทดลองตรวจวัดเนื้อปลานิลแดงสดมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยที่ 17.23-17.86% (สุนีรัตน์และคณะ, 2553) ผลการตรวจวัดคุณภาพเนื้อปลาทับทิมของแต่ละชุดการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ย (mean ± S.D.) การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลาทับทิม

ชุดการทดลอง	คุณภาพเนื้อปลาทับทิม	
	โปรตีน	ไขมัน
กระชังแบบปกติที่เกษตรเลี้ยงทั่วไป	29.10 ± 1.01	1.42 ± 0.31
กระชังเลี้ยงปลาที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก	26.54 ± 0.51	0.61 ± 0.11
กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและมีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน	22.16 ± 0.51	1.95 ± 0.23

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก กรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อนและร่วมกับการเติมอากาศร้อน

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในระบบการเลี้ยงปลาในกระชังที่มีระบบเรือนกระจกคลุมไว้ ซึ่งทำให้ง่ายในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาที่เวลาใดๆ จะสมมติให้กระชังปลามีอุณหภูมิสม่ำเสมอไม่มีการแยกชั้น

ไม่นำการระเหยของน้ำมาคิด และไม่คิดมวลของปลาเพราะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

การทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาที่เวลาใดๆ จะต้องคำนวณหาค่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนรวมของกระชังเลี้ยงปลา UA ของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของกระชังเลี้ยงปลาเท่ากับ 2,782.87 W/°C เมื่อพิจารณาข้อมูลที่เงื่อนไข $I_t > 800$, $T_{w,i} > T_{w,o}$ และ $T_{w,i}^{t+\Delta t} > T_{w,i}^{t}$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

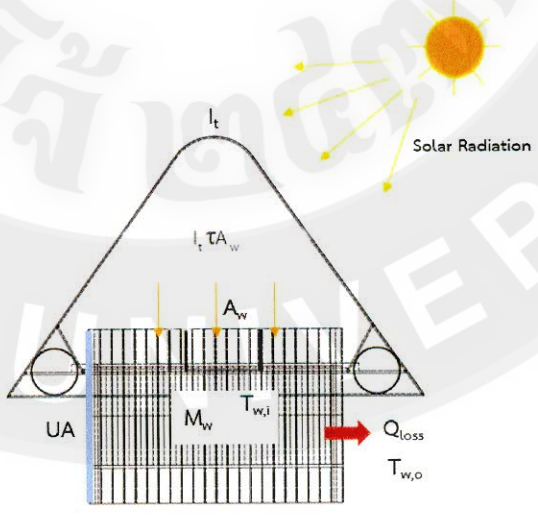
สมดุลพลังงาน $$I_t \tau A_w = M_w Cp \frac{\Delta T}{\Delta t} + UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)$$

จะได้ $$UA = \frac{I_t \tau A_w - M_w Cp \frac{\Delta T}{\Delta t}}{T_{w,i} - T_{w,o}} \quad (31)$$

เมื่อ UA คือ ค่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนรวมของกระชังเลี้ยงปลา (W/°C)

กรณีที่ 1 กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ไม่มีการเติมอากาศร้อน

จากภาพที่ 39 ซึ่งแสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อน สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกได้ดังนี้



ภาพที่ 38 กระบวนการถ่ายโอนความร้อนในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกกรณีไม่เติมอากาศร้อน

พลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์ส่องทะลุผ่านเข้าไปในเรือนกระจก องค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในจะดูดกลืนแล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนทำการแผ่รังสีอินฟาเรดออกมาแต่ไม่สามารถทะลุผ่านออกมาได้ เกิดการสะสมพลังงานในรูปของความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์คือรูปของพลังงานที่ป้อนเข้าไป Q_{input} จากนั้นเกิดการพาความร้อนลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลาเกิดการสะสมความร้อนที่เวลาใดๆ $Q_{storage}$ ทั้งนี้ฉนวนกันการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำ Q_{loss} และสมมุติให้ไม่นำการระเหยของน้ำมาคิดเนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่อยู่ภายในเรือนกระจกสูงกว่าอุณหภูมิน้ำอาจมีผลเล็กน้อยจากการระเหยของน้ำ Q_{evap} เมื่อพิจารณาและทำการสมดุลพลังงานจะได้สมาการดังต่อไปนี้

สมดุลพลังงาน $Q_{input} = Q_{storage} + Q_{loss} + Q_{evap}$

จัดรูปใหม่ได้ $I_t \tau A_w = M_w Cp \frac{dT}{dt} + UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right) + \dot{m}_w L$

จะได้ $M_w Cp \frac{dT}{dt} = I_t \tau A_w - UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right) - \dot{m}_w L$

สมมติให้ไม่นำการระเหยของน้ำมาคิด $\dot{m}_w L = 0$

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{I_t \tau A_w}{M_w Cp} - \frac{UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

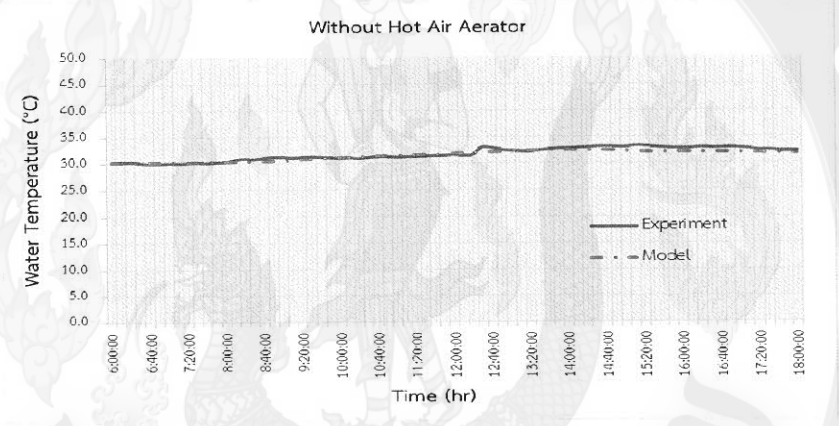
$$\frac{T_w^{t+\Delta t} - T_w^t}{\Delta t} = \frac{I_t \tau A_w}{M_w Cp} - \frac{UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

$$T_w^{t+\Delta t} - T_w^t = \frac{\Delta t I_t \tau A_w}{M_w Cp} - \frac{\Delta t UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

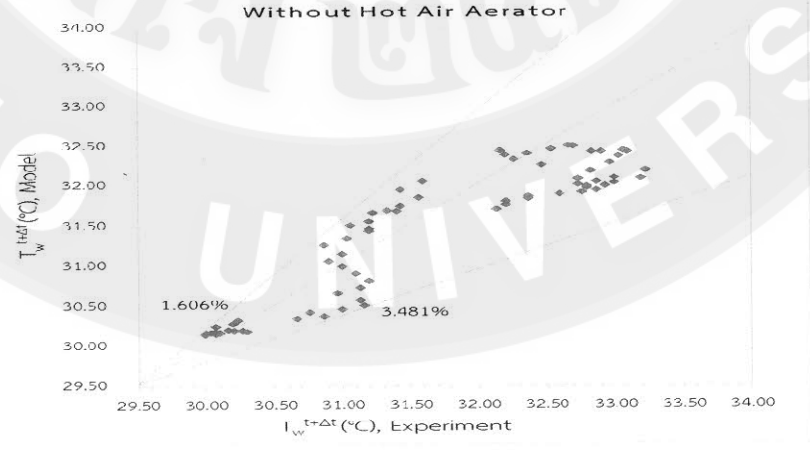
$$T_w^{t+\Delta t} = T_w^t + \frac{\Delta t I_t \tau A_w}{M_w Cp} - \frac{\Delta t UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

$$T_w^{t+\Delta t} = T_w^t + \frac{\Delta t}{M_w Cp}\left[I_t \tau A_w - UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)\right] \qquad (32)$$

จากรูปที่ 40-41 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกและผลการทดสอบจริง พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก กรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 1.12 °C นั้นคือ เมื่อน้ำในกระชังเลี้ยงปลาที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 33.20 °C และอุณหภูมิน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับ 32.08 °C อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าแตกต่างสูงสุดและต่ำสุดจากค่าที่ได้จากผลการทดสอบจริง 1.606% และ -3.481% ตามลำดับ พบว่าค่าที่ได้มีค่าความแตกต่างไม่เกิน 5% ส่วนใหญ่อยู่ต่ำกว่าผลการทดสอบจริงแต่ทั้งนี้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้



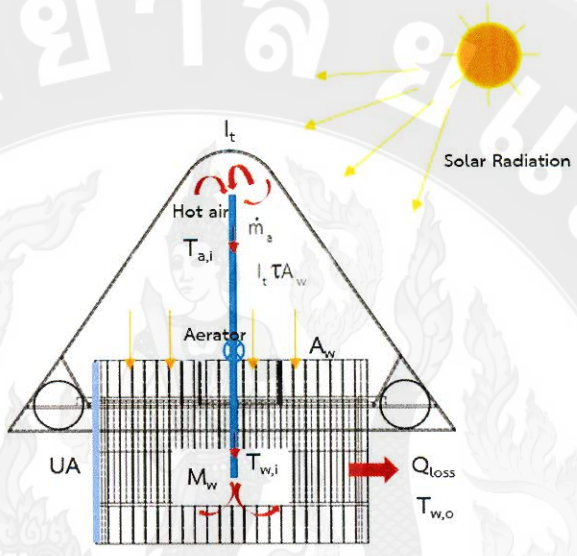
ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ได้จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีที่ไม่เติมอากาศร้อน



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการทดสอบจริง กรณีเติมอากาศร้อน

กรณีที่ 2 กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

จากภาพที่ 42 ซึ่งแสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อน สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนได้ดังนี้



ภาพที่ 41 กระบวนการถ่ายโอนความร้อนในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกกรณีเติมอากาศร้อน

เมื่อพิจารณาและทำการสมดุลพลังงานเกิดการสะสมพลังงานในรูปของความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์คือรูปของพลังงานที่ป้อนเข้าไป Q_{inpu} และเพิ่มแหล่งพลังงานที่ป้อนให้ระบบนั้นคือ ความร้อนที่ลอยตัวในเรือนกระจกถูกดูดลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลา จะได้สมาการดังต่อไปนี้

สมดุลพลังงาน $Q_{input} = Q_{storage} + Q_{loss} + Q_{evap}$

จัดรูปใหม่ได้

$$I_t \tau A_w + \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right) = M_w Cp \frac{dT}{dt} + UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right) + \dot{m}_w L$$

จะได้

$$M_w Cp \frac{dT}{dt} = I_t \tau A_w + \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right) - UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right) - \dot{m}_w L$$

สมมติให้ไม่นำการระเหยของน้ำมาคิด $\dot{m}_w L = 0$

สมมติให้ไม่นำการระเหยของน้ำมาคิด $\dot{m}_w L = 0$

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{I_t \tau A_w}{M_w Cp} + \frac{\dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right)}{M_w Cp} - \frac{UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

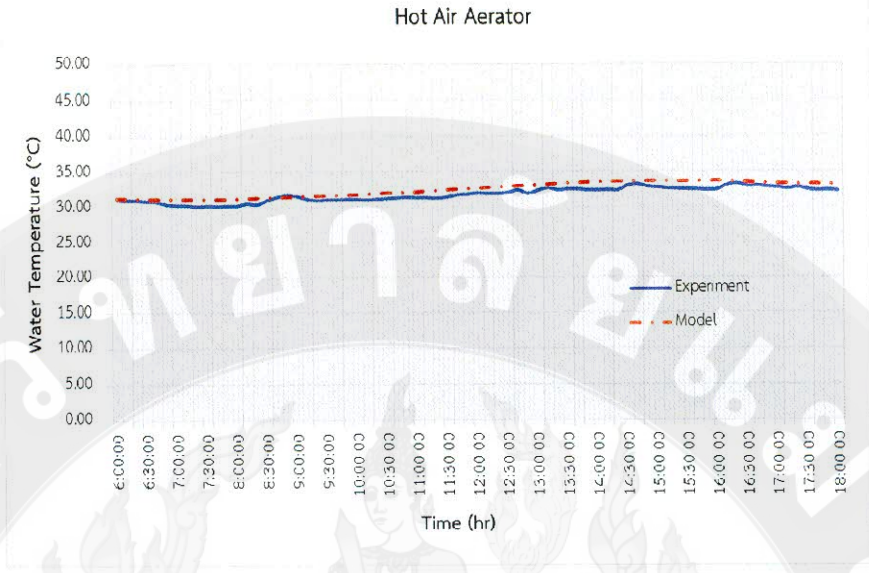
$$\frac{T_w^{t+\Delta t} - T_w^t}{\Delta t} = \frac{I_t \tau A_w}{M_w Cp} + \frac{\dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right)}{M_w Cp} - \frac{UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

$$T_w^{t+\Delta t} - T_w^t = \frac{\Delta t I_t \tau A_w}{M_w Cp} + \frac{\Delta t \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right)}{M_w Cp} - \frac{\Delta t UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

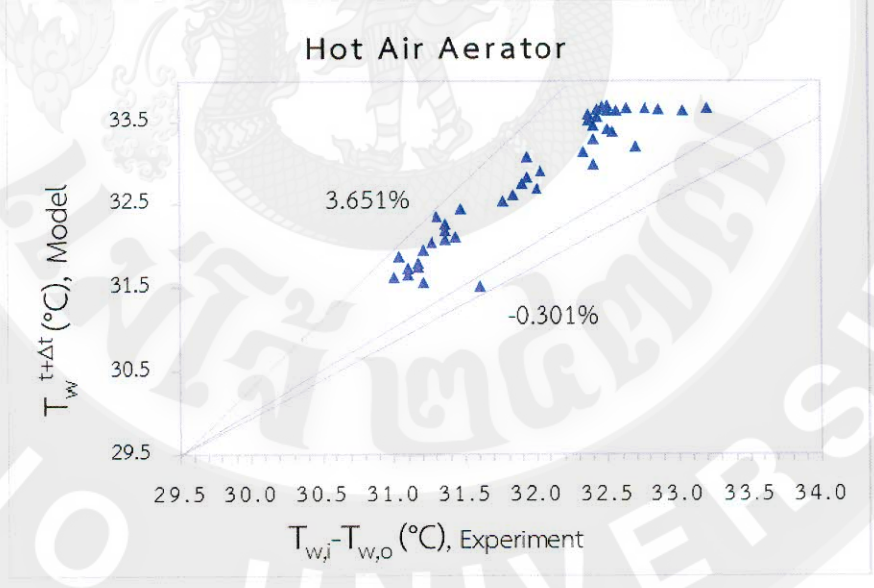
$$T_w^{t+\Delta t} = T_w^t + \frac{\Delta t I_t \tau A_w}{M_w Cp} + \frac{\Delta t \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right)}{M_w Cp} - \frac{\Delta t UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)}{M_w Cp}$$

$$T_w^{t+\Delta t} = T_w^t + \frac{\Delta t}{M_w Cp}\left[I_t \tau A_w + \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,i} - T_{w,i}\right) - UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)\right] \quad (33)$$

จากภาพที่ 43-44 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกและผลการทดสอบจริง พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก กรณีที่มีการเติมอากาศร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 1.22 °C นั้น คือ เมื่อน้ำในกระชังเลี้ยงปลาที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 32.37 °C และอุณหภูมิน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับ 33.59 °C อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าแตกต่างสูงสุดและต่ำสุดจากค่าที่ได้จากผลการทดสอบจริง 3.651% และ -0.301% ตามลำดับ พบว่าค่าที่ได้มีค่าความแตกต่างไม่เกิน 5% ส่วนใหญ่อยู่สูงกว่าผลการทดสอบจริงแต่ทั้งนี้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้



ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ได้จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีที่มีการเติมอากาศร้อน



ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการทดสอบจริง กรณีเติมอากาศร้อน

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก ร่วมกับการเติมอากาศร้อน

1. การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

จากการศึกษาได้นำข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงปลามาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะพิจารณาราคาอาหาร ราคารับซื้อปลาหมอไทย และปลาทับทิม จากราคาของตลาดกลางดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ราคาอาหาร ราคารับซื้อปลาหมอไทยและปลาทับทิม

ชนิดปลาที่เลี้ยง	ขนาด	ราคาอาหาร (Baht/kg)	ราคารับซื้อปลา (Baht/kg)
ปลาหมอไทย	เล็ก	26	65.00 - 80.00
	กลาง	24	-
	ใหญ่	22.5	85.00 - 95.00
ปลาทับทิม	เล็ก	26	60.00 - 65.00
	กลาง	24	70.00 - 76.00
	ใหญ่	22.5	80.00 - 85.00

ที่มา: ตลาดไท ตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย ณ วันที่ 8 สิงหาคม 2559

ตารางที่ 17 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางทางเศรษฐศาสตร์ และระยะคืนทุนของแต่ละชุดการทดลองการเลี้ยงปลาในกระชัง

รายการ	กรณีลงทุนของแต่ล่ะชุดการทดลอง		
	กระชังทั่วไป	กระชังทั่วไปร่วมกับเรือนกระจก	กระชังเรือนกระจกเติมอากาศร้อน
ค่าลงทุนในการซื้อกระชังเลี้ยงปลา (Baht)	800.0	800.0	1,300.0
ค่าลงทุนในการก่อสร้างเรือนกระจก (Baht)	-	6,400.0	6,400.0
ค่าแรงงานในการก่อสร้าง (Baht)	-	1,800.0	2,700.0
จำนวนปลา (fish/time/cage)	300.0	300.0	300.0
มวลปลาเริ่มต้น (kg/fish)	2.5	2.5	2.5
จำนวนวันที่เลี้ยงปลา (days)	120.0	120.0	120.0
มวลปลาที่จับขาย (kg/fish)	121.4	135.1	143.9
ปริมาณอาหาร (kg)	39.5	42.6	46.2
ราคาอาหารปลา (Baht/kg)	26.0	26.0	26.0
ราคาปลาจับขาย (Baht/kg)	65.0	75.0	95.0
ราคาลูกปลาหมอไทย (Baht/fish)	0.6	0.6	0.6
จำนวนกระชัง (cage)	1.0	1.0	1.0
จำนวนครั้งในการเลี้ยง (time/year)	2.0	3.0	3.0
อัตราการรอดตายของปลา (%)	87.7	86.0	90.3
อัตราการแลกเนื้อ FCE (%)	79.1	80.3	82.9
ต้นทุนเริ่มต้น (Baht)	800.0	9,000.0	10,400.0
มวลปลาทั้งหมด (kg/year)	63.9	104.5	116.9
ผลต่างมวลปลา กับกระชังทั่วไป (kg/year)	0	40.7	53.1
รายจ่าย (รายปี)			
ค่าพันธุ์ปลา (Baht/year)	360.0	540.0	540.0
ค่าอาหาร (Baht/year)	2,054.0	3,322.8	3,603.6
ค่าไฟฟ้าปั๊มเติมอากาศ (Baht/year)	-	-	525.1
รวมรายจ่าย (Baht/year)	2,414.0	3,862.8	4,668.7
รายรับ (รายปี)			
ค่าขายปลา (Baht/year)	4,150.5	7,839.7	11,107.7
ผลกำไรสุทธิ (Baht/year)	1,736.5	3,976.9	6,439.0
ระยะเวลาการคืนทุน	**0.46**	**2.26**	**1.62**

หมายเหตุ อายุการใช้งานของกระชังเลี้ยงปลาที่หุ้มฉนวนเท่ากับ 5 ปี และในการเปลี่ยนใช้งบประมาณ 900 บาท/ครั้ง (ไม่มีการนำมูลค่าซากมาคิด)

จากตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชัง ทั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 แบบ

1. การเลี้ยงปลาหมอเทศในกระชังแบบทั่วไป ในหนึ่งปีสามารถเลี้ยงปลาได้ 2 ครั้ง ในหนึ่งปีสามารถเลี้ยงปลาได้ 63.9 kg/year มีรายจ่ายรวมเท่ากับ 2,414.0 Baht/year มีรายรับจากการขายปลาเท่ากับ 4,150.5 Baht/year ทำให้มีกำไรสุทธิเท่ากับ 1,736.5 Baht/year และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 5 เดือน 17 วัน ซึ่งจากการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยมีการให้อาหารเท่ากับการทดลองเลี้ยงในชุดการทดลองที่ 3 แต่เมื่อนำมาคิดค่าใช้จ่ายในการซื้ออาหารได้จากการคำนวณจากน้ำหนักของตัวปลาที่ได้จากการทดลองจริง

2. การเลี้ยงปลาหมอเทศในกระชังที่คลุมด้วยเรือนกระจก ในหนึ่งปีสามารถเลี้ยงปลาได้ 3 ครั้ง ในหนึ่งปีสามารถเลี้ยงปลาได้ 104.5 kg/year มีรายจ่ายรวมเท่ากับ 3,862.8 Baht/year มีรายรับจากการขายปลาเท่ากับ 7,839.7 Baht/year ทำให้มีกำไรสุทธิเท่ากับ 3,976.9 Baht/year และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 2 ปี 3 เดือน 5 วัน ซึ่งจากการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยมีการให้อาหารเท่ากับการทดลองเลี้ยงในชุดการทดลองที่ 3 แต่เมื่อนำมาคิดค่าใช้จ่ายในการซื้ออาหารได้จากการคำนวณจากน้ำหนักของตัวปลาที่ได้จากการทดลองจริง

3. การเลี้ยงปลาเรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเติมอากาศร้อน ในหนึ่งปีสามารถเลี้ยงปลาได้ 3 ครั้ง มีการเติมอากาศร้อนเฉพาะช่วงฤดูหนาวเป็นระยะเวลา 120 วัน วันละ 3 ชั่วโมง ใช้ปั๊มเติมอากาศที่มีกำลังไฟฟ้า 345.48 W จำนวน 1 เครื่อง มีค่าใช้จ่ายเฉพาะปั๊มเติมอากาศ 525.1 Baht/year ในหนึ่งปีสามารถเลี้ยงปลาได้ 116.9 kg/year มีรายจ่ายรวมเท่ากับ 4,668.7 Baht/year มีรายรับจากการขายปลาเท่ากับ 11,107.7 Baht/year ทำให้มีกำไรสุทธิเท่ากับ 6,439.0 Baht/year และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1 ปี 7 เดือน 14 วัน แสดงให้เห็นว่ามีความน่าลงทุนสูง

2. การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทน ต้นทุน และกระแสการไหลของเงินสดตามทฤษฎี Cast-Benefit Analysis เพื่อคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนของระบบ (Internal Rate of Return: IRR) และอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit - Cost Ratio: B/C Ratio) การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนโดยใช้ตัวชี้วัดดังกล่าวจะวิเคราะห์ภายใต้ตัวแปรดังต่อไปนี้

2.1 ใช้ข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทนของระบบจากตารางที่ 17

2.2 อายุโครงการ 10 ปี

2.3 โดยใช้อัตราคิดลดเท่ากับอัตราเงินกู้ที่ 6.275% (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ MLR ธนาคารกรุงไทย ณ วันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2559)

ผลการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก พบว่าต้นทุนและผลตอบแทนของระบบ ในระยะเวลา 10 ปี มีต้นทุนรวมเท่ากับ 58,928.87 บาท และมีรายได้รวมเท่ากับ 111,076.99 บาท ซึ่งทำให้ได้รับกำไรเท่ากับ 52,148.12 บาท จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนจากการขายปลา โดยทำข้อมูลที่คำนวณได้จัดทำงบกระแสเงินสด ดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นเมื่อใช้วิธีคิดลดเพื่อหาความเป็นไปได้ในการลงทุนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกดังกล่าว พบว่า ในการลงทุนสร้างกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก ผลตอบแทนของระบบน่าลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) มากกว่า 0 ซึ่งมีค่า 35,545.49 บาท มีอัตราผลตอบแทนของระบบ (IRR) เท่ากับ 58.00% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุนหรือดอกเบี้ยเงินกู้ (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ MLR ธ.กรุงไทย เท่ากับ 6.275%) และมีอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (B/C Ratio) มีค่าเท่ากับ 1.77 ระยะเวลาคืนทุนที่ 1 ปี 7 เดือน 14 วัน แสดงว่าการลงทุนให้ผลตอบแทนคุ้มค่า

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเปรียบเทียบกับการชุดการทดลองอื่นๆ

ชุดการทดลอง	NPV (Baht)	IRR (%)	B/C Ratio	PB (year)
กระชังทั่วไป	11,951.07	212.80	1.64	0.46
กระชังทั่วไปร่วมกับเรือนกระจก	19,466.47	40.08	1.51	2.26
กระชังเรือนกระจกเติมอากาศร้อน	35,545.49	58.00	1.77	1.62

ที่มา: การคำนวณดูจากภาคผนวก

จากการการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเปรียบเทียบกับการชุดการทดลองอื่นๆ พบว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV)และอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit - Cost Ratio: B/C Ratio) ของกระชังเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนมีค่าสูงกว่าและน่าลงทุนกว่าชุดการทดลองอื่น แต่เมื่อพิจารณาอัตราผลตอบแทนของระบบ (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนจะมีค่าต่ำกว่ากระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไป แต่ทั้งนี้ในความเป็นจริงเกษตรกรใช้กระชังเลี้ยงปลาจะสามารถปล่อยปลาในจำนวนที่หนาแน่นได้ และจะนิยมเลี้ยงมากว่า 10 กระชังขั้นต่ำ การลงทุนสำหรับกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนจึงมีความเป็นได้สูง รวมทั้งสามารถเลี้ยงในช่วงฤดูหนาวที่ราคาปลาจะสูงกว่าปกติ

จากตารางที่ 18 สามารถวิเคราะห์ผลตอบแทนและความคุ้มทุนของกระชังเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ การคำนวณหาผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดว่าให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ ซึ่งจะยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 ซึ่งจากการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับ 35,545.49 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าการลงทุนได้ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า

2. อัตราผลตอบแทนของระบบ (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราการตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุน หรืออัตราที่ทำให้ค่า NPV=0 โดยยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ ค่า IRR มากกว่าอัตราคิดลดหรือดอกเบี้ยเงินกู้ จากการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าเท่ากับ 58.00% เมื่อนำมาเทียบกับอัตราคิดลดที่กำหนดไว้ คือ 6.275% แล้วนั้น แสดงว่าการลงทุนให้ผลตอบแทนมากกว่าเพราะฉะนั้นจึงคุ้มค่าควรแก่การลงทุน

3. อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit - Cost Ratio: B/C Ratio) คือ เกณฑ์ที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับผลรวมมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก ซึ่งจะยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ B/C Ratio มากกว่า 1 ในการลงทุนโครงการมีอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.77 ซึ่งมากกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับมากกว่าต้นทุนที่ได้ลงทุนไป

4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุนกล่าวได้ว่าระยะคืนทุนของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก มีระยะเวลาคืนทุนที่ 1 ปี 7 เดือน 14 วัน

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาเปรียบเทียบ 3 ชุดการทดลอง ที่สภาวะต่างๆ กรณีไม่มีการเติมอากาศร้อน

จากการทดสอบเลี้ยงปลาในกระชังเลี้ยงปลาที่สภาวะแตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1: กระชังแบบปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไป ชุดการทดลองที่ 2: กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจก และชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ พบว่าการทดสอบในช่วงฤดูฝน ชุดการทดลองที่ 3 มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 30.24 ± 0.68 °C สูงกว่าชุดการทดลองอื่น 0.85 °C คิดเป็น 2.84% และ 1.23 °C คิดเป็น 4.09% ตามลำดับ สำหรับการทดลองในช่วงฤดูหนาว ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันประมาณ 14.89 °C และอุณหภูมิน้ำแตกต่างกันประมาณ 0.2 °C อุณหภูมิน้ำในชุดการทดลองที่ 3 มีอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ย 27.58 ± 0.81 °C ซึ่งมีเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำภายนอกกระชัง (ชุดการทดลองที่ 1) สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำตลอดทั้งวันได้ 0.81 °C คิดเป็น 2.99% แต่เมื่อพิจารณาที่น้ำลึกระดับ 0.8 m วัดจากผิวน้ำ ซึ่งโดยธรรมชาติปลาจะอาศัยและหากินในช่วงระดับความลึกนี้ จากการทดลองในช่วงฤดูหนาวที่ส่วนใหญ่เกษตรกรไม่สามารถทำการเลี้ยงปลาได้ผลจากการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง อุณหภูมิน้ำยังต่ำกว่า 28-32 °C แต่มีชุดการทดลองที่ 3 ที่มีอุณหภูมิน้ำใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลามากที่สุด ทั้งนี้จำเป็นที่จะหาแนวทางที่จะดึงเอาอุณหภูมิอากาศร้อนที่ลอยตัวในเรือนกระจกลงในกระชังเลี้ยงปลาต่อไป

การศึกษาสมรรถนะของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ผลจากการพัฒนากระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกการเติมร่วมกับการอากาศร้อน (ชุดการทดลองที่ 3) เพื่อให้มีความเหมาะสำหรับเลี้ยงปลาในช่วงฤดูหนาว ด้วยการเติมอากาศร้อนลงในกระชังเลี้ยงปลาที่ระดับความลึก 0.8 m วัดจากผิวน้ำ พบว่ากระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ไม่เติมอากาศร้อนและเติมอากาศร้อนมีประสิทธิภาพของระบบ 23.66% และ 32.65% ตามลำดับ จากการทดลองการเติมอากาศร้อนในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการทำฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้วยไม้ไผ่ทำการเปรียบเทียบใน 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1: ไม่มีการการเติมอากาศร้อนในกระชัง

เลี้ยงปลาเรือนกระจก และกรณีที่ 2: มีการการเติมอากาศร้อนในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก ที่ระดับความลึกลงจากผิวน้ำ 0.1 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.49 ± 1.99 °C และ 32.08 ± 0.76 °C ตามลำดับ ที่ระดับความลึกลงจากผิวน้ำ 0.3 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.62 ± 1.23 °C และ 31.65 ± 0.77 °C ตามลำดับ และที่ระดับความลึกลงจากผิวน้ำ 0.8 m น้ำในกระชังเลี้ยงปลามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.94 ± 0.23 °C และ 31.82 ± 0.68 °C พบว่าน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาทั้ง 2 กรณี แต่เมื่อมีความเข้มแสงสูงขึ้นช่วงเวลา 11.00-13.00 น. ทำให้น้ำบริเวณผิวน้ำกรณีที่ 1 มีอุณภูมิสูงกว่า 32 °C เพื่อให้น้ำในแต่ละชั้นของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกมีความแตกต่างน้อยที่สุด จำเป็นต้องการการเติมอากาศร้อนในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเพื่อช่วยให้อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลามีความเหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลามากที่สุด

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพด้านโภชนาการของปลาที่เลี้ยงในกระชังเรือนปลาเรือนกระจก

ผลการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยในชุดการทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง ทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 2.54 ± 0.11 กรัม/ตัว และมีความยาวตัวเฉลี่ย 2.54 ± 0.16 เซนติเมตร/ตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยที่ 120 วัน ชุดการทดลองที่ 1: กระชังแบบปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไปปลาหมอไทยมีน้ำหนักเฉลี่ย 121.35 ± 5.33 กรัม/ตัว ความยาวตัวเฉลี่ย 16.68±0.36 เซนติเมตร/ตัว มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย 0.99 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 3.22 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย 87.7% สำหรับชุดการทดลองที่ 2: กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจกปลาหมอไทยมีน้ำหนักเฉลี่ย 135.05 ± 5.66 กรัม/ตัว ความยาวตัวเฉลี่ย 17.31 ± 0.44 เซนติเมตร/ตัว มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย 1.10 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 3.31 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย 86.0% และชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ปลาหมอไทยมีน้ำหนักเฉลี่ย 143.87 ± 5.07 กรัม/ตัว ความยาวตัวเฉลี่ย 17.49 ± 0.33 เซนติเมตร/ตัว มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย 1.18 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 3.36 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย 90.3% เมื่อเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาปลาหมอไทยในชุดการทดลองที่ 3 มีเจริญเติบโตได้ดียิ่งกว่าเมื่อคิดจากน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเทียบกับการเลี้ยงหมอไทยใช้ชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 เท่ากับ 22.52 กรัม คิดเป็น 15.93% และ 8.82 กรัม คิดเป็น 6.24% ตามลำดับ

ผลการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมในชุดการทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง ทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 3.14 ± 0.07 กรัม/ตัว และมีความยาวตัวเฉลี่ย 5.70 ± 0.10

เซนติเมตร/ตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่ 90 วัน ชุดการทดลองที่ 1 : กระชังแบบปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไปมีน้ำหนักเฉลี่ย 72.12 ± 3.44 กรัม/ตัว ความยาวตัวเฉลี่ย 15.96 ± 0.56 เซนติเมตร/ตัว มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย 0.75 ± 0.02 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 3.51 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย 85.33 ± 3.06% สำหรับชุดการทดลองที่ 2: กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจกมีปลาทับทิมน้ำหนักเฉลี่ย 92.09 ± 6.05 กรัม/ตัว ความยาวตัวเฉลี่ย 16.57 ± 0.37 เซนติเมตร/ตัว มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย 1.02 ± 0.09 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 3.81 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย 90.00 ± 3.46% และชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ปลาทับทิมมีน้ำหนักเฉลี่ย 104.40 ± 5.78 กรัม/ตัว ความยาวตัวเฉลี่ย 16.90 ± 0.87 เซนติเมตร/ตัว มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย 1.14 ± 0.06 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 3.94 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย 92.67 ± 1.15% เมื่อเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาปลาทับทิมในชุดการทดลองที่ 3 มีเจริญเติบโตได้ดียิ่งกว่าเมื่อคิดจากน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเทียบกับการเลี้ยงทับทิมใช้ชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 เท่ากับ 32.27 กรัม คิดเป็น 30.91% และ 12.31 กรัม คิดเป็น 11.79% ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยและปลาทับทิม เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเป็นด่าง ซีโอดี ความขุ่น ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า มีบางค่าที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน แต่มีผลต่อการเจริญเติมโตของปลาหมอไทยและปลาทับทิมเพียงเล็กน้อย เพราะค่าส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก กรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อนและร่วมกับการเติมอากาศร้อน

การหาค่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนรวม (UA) ของกระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวนด้วยไม้ไผ่หุ้มโฟม จากการคำนวณโดยการแทนค่าลงในสูตร จะได้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 2,782.87 W/°C ผลจากการคำนวณและนำผลมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกกรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อน และกรณีที่มีการเติมอากาศร้อนมีค่าใกล้เคียงกันโดยค่าความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 3.48% และ 3.65% ตามลำดับ

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เมื่อคิดการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังแตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1: กระชังแบบปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไปมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 5 เดือน 17 วัน ชุดการทดลองที่ 2: กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปที่ถูกคลุมด้วยเรือนกระจกมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 2 ปี 3 เดือน 5 วัน และชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1 ปี 7 เดือน 14 วัน เมื่อพิจารณาถึงจำนวนรอบการเลี้ยงต่อปีที่สามารถเลี้ยงปลาได้ การเพิ่มผลผลิตที่ตอบสนองความต้องการของเกษตรกร การลงทุนสำหรับกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนจึงมีความเป็นได้สูง รวมทั้งสามารถเลี้ยงในช่วงฤดูหนาวที่ราคาปลาจะสูงกว่าปกติ

เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 3: กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ พบว่าระบบมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) เท่ากับ 35,545.49 บาท มีอัตราผลตอบแทนของระบบ (IRR) เท่ากับ 58.00% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุนหรือดอกเบี้ยเงินกู้ (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ MLR ธ.กรุงไทย เท่ากับ 6.275%) และมีอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (B/C Ratio) มีค่าเท่ากับ 1.77 สรุปได้ว่าการลงทุนสร้างกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก ผลตอบแทนของระบบน่าลงทุน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเติมอากาศร้อนภายในเรือนกระจกลงสู่น้ำในกระชังเลี้ยงปลา ที่มีการตั้งเวลาสำหรับการทำงานของปั๊มเติมอากาศให้อยู่ในรูปแบบอัตโนมัติ มีการกำหนดช่วงเวลาสำหรับการเติมอากาศร้อนเพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

2. ควรศึกษาพัฒนาระบบการเติมอากาศร้อนด้วยเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกชนิดอื่น

3. ควรศึกษาการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นเพื่อดูการเจริญเติบโต นอกเหนือจากปลาหมอไทยและปลาทับทิม

4. ควรศึกษาการเลี้ยงปลาในกระชังที่สภาวะแตกต่างจากการทดลองนี้ ศึกษาที่ระดับความลึกของสระน้ำเพื่อการเกษตรที่มีระดับความลึกมากกว่า 2 m และมีลักษณะเป็นสระเปิดมีการเคลื่อนไหลของน้ำ

5. การวัดคุณภาพน้ำเพื่อความแม่นยำและถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา ควรใช้เครื่องมือที่สามารถทำการวัดและสามารถเก็บข้อมูลได้ในพื้นที่

6. สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกแก่เกษตรกรเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ สามารถลดระยะเวลาในการเลี้ยงและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

บรรณานุกรม

กรวัฒน์ วุฒิกิจ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2553. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เสริมปั๊มความร้อนในการควบคุมบ่อเลี้ยงปลา**. เชียงใหม่: สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จงจิตร์ หิรัญลาภ. 2541. **กระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เทคนิคการเลี้ยงสัตว์และสาระพันธุ์สัตว์. 2558. **ปลาทับทิมและการเลี้ยง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://pasusat.com/ปลาทับทิม/ (4 กันยายน 2559).

_____. 2558. **ปลาหมอและการเลี้ยงปลาหมอ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://pasusat.com/ปลาหมอ/ (2 กันยายน 2559).

ธรรมรักษ์ ละอองนวล. 2541. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**. อุบลราชธานี: คณะเกษตรและอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏอุดรธานี.

นงนุช ปรมาคม. 2544. **ธนกิจเกษตร**. กรุงเทพฯ: ฟันนีพับลิชชิง.

นันทนา คชเสนี. 2536. **คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. ลำปาง: คณะวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศูนย์วิจัยพลังงาน. 2555. **โครงการศึกษาพัฒนาต้นแบบระบบบ่อเลี้ยงปลาแสงอาทิตย์สำหรับชุมชน ปี 2555: รายงานฉบับสมบูรณ์**. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง**. กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง.

วันชัย ริจิรวนิช และ ชอุ่ม พลอยมีค่า. 2545. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2536. **การเลี้ยงปลาน้ำจืด**. กรุงเทพฯ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ 2557. **รายงานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2557**. เชียงใหม่: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2553. การเจริญเติบโตของปลานิลแดง (Oreochromis niloticus X O. mossambicus) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม Spirulina platensis แห้ง. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 4(1), 51-60.

หนังสือสถิติเรือประมงไทย พ.ศ. 2556. 2558. กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมประมง.

Alabaster, J. S., & Lloyd, R. (Eds.). 1982. **Water Quality Criteriafor Freshwater Fish**. 2nd ed. London: Butterworths.

APHA-AWWA-WPCF. 2005. **Standards methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington, DC: APHA-AWWA-WPCF.

Araoye, P.A. 2009. The seasonal variation of pH and dissolved oxygen (DO_2) concentration in Asa lake Ilorin, Nigeria. **International Journal of Physical Sciences**, 4(5), 271-274.

Baras, E., Prignon, C., Gohoungo, G. & Melard, C. 2000. Phenotypic sex differentiation of blue tilapia under constant and fluctuating thermal regimes and its adaptive and evolutionary implications. **Journal of Fish Biology**, 57, 210-223.

Bhatnagar, A. & Devi, P. 2013. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. **International Journal of Environmental Sciences**, 3(6), 45.

Bhatnagar, A., Jana, S.N., Garg, S.K. Patra, B.C., Singh, G. & Barman, U.K. 2004. Water quality management in aquaculture. pp 203- 210. In **Course Manual of summer school on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters**. CCS Haryana Agricultural, Hisar (India).

Bhavimani, H. & Puttaiah, E.T. 2014. Fish culture and physico-chemical characteristics of Madikoppa Pond, Dharwad Tq/Dist, Karnatak. **Hydrol Current Res**, 5, 162.

Campos, J. J., Bertenthal, B. I. & Kermoian, R. 1992. Early experience and emotional development: The emergence of wariness of heights. **Psychological Science**, 3, 61-64.

Chapra, S.C. & Canale, R.P. 1989. **Numerical Methods for Engineers**. New York: McGraw-Hill.

Department of Fisheries. 2013. **Freshwater Aquaculture Production. Fishery Statistics Analysis and Research Group**, Information and Communication Technology Center, Department of Fisheries, Thailand, No. 11/2013,1-91.

_____. 2014. **Freshwater Aquaculture Production**. Fishery Statistics Analysis and Research Group, Information and Communication Technology Center, Department of Fisheries, Thailand, No. 9/2014,1-87.

_____. 2015. **Freshwater Aquaculture Production**. Fishery Statistics Analysis and Research Group, Information and Communication Technology Center, Department of Fisheries, Thailand, No. 5/2015,1-63.

Doaa, M.A., Faten, H.F., Ninet, M.A. & Hassen, T.D. 2011. Solar Thermal Aquaculture System Controller Based on Artificial Neural Network. **Engineering**, 3, 815-822.

Dufie J. & Beckman, W. 1991. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inter science.

Fishery Statistics Analysis and Research Group, Department of Fisheries. 2015. **Freshwater Aquaculture Production Survey**. No. 5/2015

Gjedrem, T., Robinson, N., & Rye, M. 2012. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demand of animal protein: A review. **Aquaculture**, 350-353, 117-129.

Hirunlab, J., Santisirisomboon, J. & Namprakai, P. 1994. **Assessment Solar Radiation for Thailand. International Workshop**: Calculation Method for Solar Energy System. 29-30 September. France. Universite Perpignan.

Jabeena, F. & Chaudhry, A. S. 2011. Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. **Food Chemistry**, 125, 991-996.

Jain, D. 2007. Modeling the thermal performance of an aquaculture pond heating with greenhouse. **Building and Environment**, 42, 557-565.

Liu, B. & Jordan, R. 1963. A rational procedure for producing the long-term average performance of flat-plate solar energy collectors. **Solar Energy**, 7, 53.

National Accounts Office. 2015. **Gross Domestic Product: Q1/2016**. Office of the National Economic and Social Development Board, National Accounts Office.

Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. & Troell, M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, 405, 1017-1024.

Rosamond, L. N., Rebecca, J. G., Jurgenne, H. P., Nils, K., Malcolm C. M. B., Jason, C., Carl, F., Jane, L., Harold, M. & Max, T. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, 405, 1017-1024.

Santhosh, B. & Singh, N.P. 2007. **Guidelines for water quality management for fish culture in Tripura**, ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Center.

Svobodová, Z., Lloyd, R., Máchová, J., Vykusová, B. 1993. **Water quality and fish health**. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome: FAO.

Swann, LaDon. 1993. **Water sources used in aquaculture**. illinois-indiana sea grant program. AS-486. West Lafayette: Purdue University.

Temprasit, W., Pasithi, A., Wanno, S., Suwanpakdee, S., Tongsiiri, S., Dussadee, N. & Whangchai, N. 2015. Effect of solar-induced water temperature on the growth performance of African sharp tooth catfish (Clarias gariepinus). **International Journal of Sustainable and Green Energy**, 4(1-1), 39-43.

Tiwari, G., Sarkar, B. & Ghosh, L. 2006. **Observation of Common Carp (Cyprinus carpio) Fry-Fingerlings Rearing in a Greenhouse during Winter Period**. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 05 019. Vol.VIII.

Tiwari, G.N. 2003. **Greenhouse technology for controlled environment**: Narosa Publishing House. England: New Delhi and Alpha Science International Ltd.

Tribeni, D., Tiwari, G.N. & Bikash, S. 2006. Thermal Performance of a Greenhouse Fish Pond Integrated with Flat Plate Collector. **International Journal of Agricultural Research**, 1(5), 406-419.

Whangchai, N., Ungsethaphan, T., Chitmanat, C., Mengumphan, K. & Uraiwan, S. 2007. Performance of giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii de Man) reared in earthen ponds beneath plastic film shelters. **Chiang Mai journal of sciences**, 34, 89-96.

Wisely, B., Holiday, J.E. & Macdonald, R.E. 1981. Heating an aquaculture pond with a solar pool blanket. **Aquaculture**, 26(3-4), 385-387.

Wuttikit, K. & Kiatsiriroat, T. 2010. **Study the possibility of using solar heating systems extra heat pumps to control temperature in fish ponds**: The 2nd Agricultural Engineering and Environmental Science. Phayao: Phayao University.

Yongphet, P., Chaichana, T., Buochareon, S., Ramaraj, R. & Dussadee, N. 2016. **Application of Solar Energy for Increasing Efficiency of Greenhouse Nile Tilapia Fish Cage**. 12th Conference On Energy Network of Thailand (E-NETT), 8th-10th June 2016 at Wangchan Riverview Hotel, Phitsanulok.

Yongphet, P., Dussadee, N., Polvongsri, S., Ramaraj, R. & Whangchai, N. 2015. **Thermal Performance of Greenhouse Fish Cages Integrated with Hot Air Aerator using Solar Energy**: The 22nd Tri-U International Joint Seminar and Symposium, Jiangsu University, China.

Yongphet, P., Ramaraj, R. & Dussadee, N. 2015. **Effect of Greenhouse Cages Integrated with using Solar Energy on the Growth Performance on Freshwater Fish**. International Journal of New Technology and Research (IJNTR), 2(3), 100-107.

Zhu, S., Deltour, J. & Wang, S. 1998. Modeling the thermal characteristics of greenhouse pond systems. **Aqua cultural Engineering**, 18, 201-217.

Zweigh, R.D. 1989. Evolving water quality in a common carp and blue tilapia high production pond. **Hydrobiologia**, 171, 11-21.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณและตารางข้อมูลการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณ

ประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน

จากการทดสอบเก็บข้อมูลการเติมอากาศร้อนในกระชังเลี้ยงปลาที่มีกระชังขนาด 3.2× 2.1× 1.0 m ใช้ปั๊มเติมอากาศที่มีค่ากระแสไฟฟ้า 1.8 A และ 226 V ช่วงเวลา 10.00-11.00 น. มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย 751.57 W/m^2

จากสูตร $$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100$$

จะได้ $$\eta = \frac{\frac{m}{\Delta t} Cp \Delta T}{IA_c + IV\cos\theta} \times 100$$

แทนค่า $$\eta = \frac{\frac{5.409 \times 1,000}{3,600} 4,180 \times (31.51 - 31.24)}{(751.57 \times 6.72) + (1.8 \times 226 \times 0.85)} \times 100$$

$$\eta = \frac{1,695.72}{5,050.55 + 345.78} \times 100 = 31.42\%$$

ดังนั้นจะได้ $\eta = 31.42\%$ <u>Ans</u>

∴ ค่าประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน ณ เวลา 10.00-11.00 น. มีค่าเท่ากับ 38.92%

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก

การทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาที่เวลาใดๆ จะต้องคำนวณหาค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของกระชังเลี้ยงปลา UA ของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก เมื่อพิจารณาข้อมูลที่เงื่อนไข $I_t > 800, T_{w,i} > T_{w,o}$ และ $T_{w,i}^{t+\Delta t} > T_{w,i}^{t}$ และคิดมวลของน้ำโดยไม่คำนวณรวมเนื้อที่ของกระชัง $M_w = 2.94 \times 1.84 \times 1 \times 1{,}000 = 5{,}409.6$ kg จะได้สมการดังต่อไปนี้

จากสูตร $$UA = \frac{I_t \tau A_w - M_w Cp \dfrac{\Delta T}{\Delta t}}{T_{w,i} - T_{w,o}}$$

แทนค่า $$UA = \frac{(871 \times 0.93 \times 6.72) - \left(5{,}409.6 \times 4{,}186 \dfrac{(32.03 - 31.93)}{600}\right)}{32.0 - 31.4}$$

จะได้ $$UA = \frac{5{,}443.40 - 3{,}774.13}{0.6}$$

$\therefore$ $UA = 2{,}782.85$ W/°C <u>Ans</u>

กรณีที่ 1 กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่ไม่มีการเติมอากาศร้อน

สามารถคำนวณหาค่าจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกช่วงเวลา 11.00 น. จะได้ดังนี้

จากสูตร $$T_w^{t+\Delta t} = T_w^{t} + \frac{\Delta t}{M_w Cp}\left[I_t \tau A_w - UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)\right]$$

แทนค่าในสมาการจะได้

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.46 + \frac{600}{5{,}409.6 \times 4{,}186}\left[529 \times 0.93 \times 5.409 - 2{,}782.85(31.07 - 30.43)\right]$$

จะได้ $$T_w^{t+\Delta t} = 31.46 + \left(2.649\times10^{-5}\times(2{,}661.066 - 1{,}781.024)\right)$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.46 + \left(2.649\times10^{-5}\times880.042\right)$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.46 + 0.023$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.483$$

∴ อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นช่วงเวลา 11.00 น. เท่ากับ 31.483 °C <u>Ans</u>

กรณีที่ 2 กระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกที่มีการเติมอากาศร้อน

สามารถคำนวณหาค่าจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกช่วงเวลา 11.00 น. จะได้ดังนี้

จาก $$T_w^{t+\Delta t} = T_w^{t} + \frac{\Delta t}{M_w Cp}\left[I_t \tau A_w + \dot{m}_a Cp_a\left(T_{a,i} - T_{w,i}\right) - UA\left(T_{w,i} - T_{w,o}\right)\right]$$

แทนค่าในสมาการจะได้

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.37 + \frac{3{,}600}{5{,}409.6\times4{,}186}\left[\begin{array}{l}(763\times0.93\times5.409) + \left(0.0016\times1{,}020(45.10 - 31.37)\right) \\ -\left(2{,}782.85(31.37 - 31.03)\right)\end{array}\right]$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.37 + 1.589\times10^{-4}\left[3{,}838.17 + \left(0.0016\times1{,}020(13.73)\right) - \left(2{,}782.85(0.34)\right)\right]$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.37 + 1.589\times10^{-4}\left[3{,}838.17 + 22.407 - 946.169\right]$$

จะได้ $$T_w^{t+\Delta t} = 31.37 + \left(1.589\times10^{-4}\times2{,}914.408\right)$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.37 + 0.463$$

$$T_w^{t+\Delta t} = 31.83$$

$\therefore$ อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นช่วงเวลา 11.00 น. เท่ากับ 31.83 °C <u>Ans</u>

ตารางผนวกที่ 1 ค่าทดสอบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเปรียบเทียบทั้ง 3 ชุดการทดลอง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่างๆ ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในช่วงฤดูฝน

Time	Ambient Temperature (°C)	Normal fish cage (°C)	Greenhouse fish cage (°C)	Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
6:00	29.20	28.54	28.49	29.08	79
6:10	29.13	28.64	28.65	29.11	90
6:20	29.15	28.54	28.6	29.12	86
6:30	29.17	28.66	28.67	29.08	141
6:40	29.15	28.66	28.73	29.13	137
6:50	29.17	28.67	28.73	29.20	97
7:00	29.15	28.69	28.73	29.20	105
7:10	29.18	28.71	28.79	29.22	125
7:20	29.15	28.75	28.85	29.25	146
7:30	29.13	28.73	28.82	29.28	116
7:40	29.18	28.71	28.82	29.28	239
7:50	29.18	28.79	28.88	29.33	270
8:00	29.20	28.82	28.92	29.35	248
8:10	29.18	28.78	28.90	29.34	161
8:20	29.18	28.73	28.89	29.3	184
8:30	29.18	28.85	28.89	29.31	243
8:40	29.18	28.84	28.91	29.33	200
8:50	29.16	28.98	29.09	29.36	271
9:00	29.18	28.91	29.12	29.35	179
9:10	29.23	28.81	29.08	29.37	300
9:20	29.18	28.97	29.11	29.40	340
9:30	29.34	28.92	29.12	29.79	456
9:40	29.50	28.96	29.13	30.13	566
9:50	29.25	28.96	29.13	30.13	487
10:00	29.15	29.04	29.23	30.23	362
10:10	29.36	29.04	29.24	30.24	520
10:20	29.30	29.06	29.29	30.29	461
10:30	29.35	29.08	29.26	30.26	310
10:40	29.51	29.04	29.30	30.30	512
10:50	29.61	29.06	29.31	30.31	436
11:00	29.38	29.09	29.35	30.35	504
11:10	29.35	29.02	29.29	30.29	335
11:20	29.26	28.97	29.23	30.23	367
11:30	29.46	29.02	29.30	30.30	508

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Time	Ambient Temperature (°C)	Normal fish cage (°C)	Greenhouse fish cage (°C)	Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
11:40	29.41	29.22	29.52	30.52	571
11:50	29.54	29.17	29.50	30.5	851
12:00	29.60	29.15	29.50	30.5	739
12:10	29.76	29.17	29.54	30.54	868
12:20	29.75	29.17	29.55	30.55	716
12:30	29.98	29.09	29.51	30.51	824
12:40	29.78	29.12	29.59	30.59	773
12:50	29.85	29.15	29.64	30.64	748
13:00	29.66	29.20	29.73	30.73	741
13:10	29.92	29.18	29.76	30.76	780
13:20	29.87	29.18	29.76	30.76	699
13:30	29.86	29.17	29.78	30.78	704
13:40	29.97	29.20	29.78	30.80	720
13:50	29.79	29.18	29.80	30.81	674
14:00	29.69	29.22	29.81	30.89	691
14:10	29.72	29.22	29.89	30.87	693
14:20	29.69	29.22	29.87	30.81	667
14:30	29.80	29.24	29.81	30.91	680
14:40	29.85	29.22	29.91	30.91	642
14:50	29.83	29.22	29.92	30.92	604
15:00	29.72	29.22	29.96	30.96	622
15:10	29.96	29.20	29.92	30.92	608
15:20	29.92	29.22	29.94	30.94	396
15:30	29.91	29.20	29.94	30.94	402
15:40	29.76	29.24	29.96	30.96	542
15:50	29.96	29.20	29.92	30.92	527
16:00	30.00	29.22	29.92	30.92	603
16:10	29.74	29.28	29.96	30.96	411
16:20	29.79	29.26	29.98	30.98	457
16:30	29.73	29.25	29.92	30.92	442
16:40	29.71	29.24	29.89	30.89	376
16:50	29.64	29.24	29.88	30.88	114
17:00	29.68	29.23	29.87	30.87	220
17:10	29.18	29.18	29.75	30.85	123
17:20	29.20	28.98	29.56	30.83	112

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Time	Ambient Temperature (°C)	Normal fish cage (°C)	Greenhouse fish cage (°C)	Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
17:30	29.11	28.87	29.53	30.79	108
17:40	29.12	28.85	29.49	30.75	89
17:50	29.11	28.64	29.33	30.64	98
18:00	29.08	28.64	29.29	30.51	68
S.D.	0.30	0.22	0.44	0.68	242.05
Average	29.48	29.01	29.40	30.25	414.85
minimum	29.08	28.54	28.49	29.08	68.00
maximum	30.00	29.28	29.98	30.98	868.00

ตารางผนวกที่ 2 ค่าทดสอบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกเปรียบเทียบทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0.1 m, 0.3 m และ 0.8 m อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมต่างๆ ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในช่วงฤดูหนาว

Time	Normal fish cage (°C)			Greenhouse fish cage (°C)				Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)				Soil Surface in lagoon (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G1}	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G2}			
6:00:00	25.5	25.4	25.3	25.6	25.5	25.4	21.6	26.0	26.1	25.6	21.7	25.6	18.2	0
6:30:00	25.2	25.2	25.1	25.6	25.5	25.5	21.4	26.2	26.2	25.6	21.6	25.5	18.3	14
7:00:00	25.3	25.1	25.1	25.6	25.6	25.4	21.7	26.5	26.5	25.5	21.7	25.5	18.2	25
7:30:00	25.3	25.1	24.9	25.5	25.5	25.3	23.8	26.8	26.8	25.5	23.3	25.6	20.0	51
8:00:00	25.3	25.2	24.7	25.7	25.7	25.2	26.1	27.6	27.3	25.8	25.5	25.8	21.0	79
8:30:00	26.4	26.1	24.6	26.4	26.1	25.5	29.0	28.4	27.7	26.0	30.1	26.3	25.1	146
9:00:00	26.4	26.1	25.1	26.8	26.1	26.1	32.0	29.1	28.0	26.3	35.7	26.8	26.5	248
9:30:00	26.8	26.5	25.1	27.5	27.1	26.3	34.9	29.8	28.3	26.5	37.4	27.3	26.3	486
10:00:00	27.5	26.5	25.4	28.1	27.4	26.5	41.0	30.6	28.9	26.8	40.2	27.8	28.1	655
10:30:00	27.8	27.0	25.1	28.1	27.3	26.2	42.4	31.7	29.1	26.4	42.9	27.6	29.7	696
11:00:00	27.3	26.2	25.2	27.4	26.2	26.1	44.5	29.5	27.0	26.2	44.3	26.4	30.0	743
11:30:00	27.5	26.2	25.2	27.7	26.3	25.9	46.6	29.6	26.8	25.8	45.3	26.1	31.4	761
12:00:00	28.0	26.1	25.3	28.0	26.3	25.9	47.7	29.9	27.0	25.9	46.4	26.1	31.4	782

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Time	Normal fish cage (°C)			Greenhouse fish cage (°C)				Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)				Soil Surface in lagoon (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G1}	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G2}			
12:30:00	28.1	26.3	25.3	28.4	26.3	25.9	48.5	31.0	27.0	25.9	47.0	26.1	32.7	796
13:00:00	28.1	26.5	25.5	28.9	26.5	26.0	48.1	31.5	27.2	25.9	46.9	26.2	32.3	815
13:30:00	28.4	26.5	25.4	28.4	26.5	25.4	48.0	31.8	27.3	25.9	47.4	26.0	33.0	808
14:00:00	28.6	26.5	25.5	29.4	26.6	25.9	47.6	31.3	27.1	26.0	46.0	26.0	33.1	761
14:30:00	28.8	26.6	25.5	29.7	26.9	25.9	45.5	31.2	27.5	26.0	41.7	26.0	31.8	681
15:00:00	28.8	26.7	25.6	29.4	27.0	25.8	43.7	30.7	27.7	26.1	38.9	26.0	32.0	638
15:30:00	28.6	26.7	25.6	29.2	27.0	26.0	41.4	29.6	27.7	26.1	35.9	26.1	31.2	425
16:00:00	28.7	27.0	25.5	29.2	27.2	25.9	36.2	29.2	27.9	26.1	33.4	26.2	29.8	348
16:30:00	28.4	26.9	25.6	28.7	27.1	25.9	29.8	28.7	27.8	26.2	29.8	26.1	29.1	269
17:00:00	28.2	27.2	26.0	28.5	27.2	26.0	27.9	28.4	27.9	26.3	27.9	26.0	27.4	44
17:30:00	28.1	27.3	26.2	28.2	27.3	26.1	26.3	28.0	27.8	26.4	26.3	26.0	25.1	15
18:00:00	27.8	27.3	26.3	28.2	27.3	26.0	25.6	27.9	27.8	26.6	25.4	26.0	23.9	0
18:30:00	27.5	27.2	26.4	27.9	27.3	26.2	25.3	27.8	27.7	26.6	25.1	26.0	23.4	0
19:00:00	27.4	27.1	26.3	27.6	27.2	26.2	24.9	27.6	27.5	26.6	24.9	26.0	23.1	0

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Time	Normal fish cage (°C)			Greenhouse fish cage (°C)				Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)				Soil Surface in lagoon (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G1}	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G2}			
19:30:00	27.3	27.0	26.4	27.5	27.2	26.3	24.7	27.4	27.4	26.6	24.6	26.0	22.9	0
20:00:00	27.0	26.8	26.2	27.3	27.1	26.3	24.6	27.3	27.2	26.7	24.4	25.9	22.7	0
20:30:00	26.8	26.7	26.4	26.9	26.9	26.3	24.2	27.0	27.0	26.6	24.1	25.9	22.1	0
21:00:00	26.6	26.6	26.2	26.9	26.8	26.2	23.9	27.0	27.0	26.5	24.1	25.9	21.6	0
21:30:00	26.5	26.5	26.3	26.8	26.7	26.3	23.7	26.8	26.8	26.5	23.8	25.9	21.2	0
22:00:00	26.4	26.4	26.4	26.8	26.6	26.4	23.7	26.7	26.8	26.7	23.6	25.9	21.7	0
22:30:00	26.4	26.4	26.4	26.6	26.6	26.3	23.6	26.6	26.6	26.6	23.7	25.9	21.6	0
23:00:00	26.4	26.4	26.3	26.6	26.5	26.4	23.4	26.6	26.6	26.6	23.5	25.9	21.6	0
23:30:00	26.3	26.3	26.2	26.4	26.4	26.3	23.3	26.6	26.6	26.6	23.6	25.9	21.6	0
0:00:00	26.3	26.3	26.1	26.6	26.5	26.4	23.2	26.6	26.6	26.6	23.4	26.0	20.6	0
0:30:00	26.2	26.2	26.0	26.4	26.3	26.2	23.0	26.5	26.5	26.5	23.2	26.0	20.1	0
1:00:00	26.0	26.0	25.9	26.3	26.3	26.2	22.7	26.5	26.5	26.4	23.1	25.9	20.0	0
1:30:00	26.0	25.9	25.7	26.3	26.3	26.2	22.5	26.4	26.4	26.3	22.9	26.0	19.5	0
2:00:00	25.9	25.8	25.7	26.2	26.2	26.0	22.4	26.3	26.3	26.2	22.7	26.0	19.4	0

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Time	Normal fish cage (°C)			Greenhouse fish cage (°C)				Greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss (°C)				Soil Surface in lagoon (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G1}	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	T_{G2}			
2:30:00	25.9	25.7	25.7	26.1	26.1	26.0	22.2	26.3	26.3	26.1	22.6	26.0	19.3	0
3:00:00	25.8	25.6	25.6	26.1	26.0	26.0	22.4	26.2	26.2	26.0	22.4	25.9	19.4	0
3:30:00	25.8	25.8	25.6	26.1	26.0	26.0	22.1	26.1	26.1	26.0	22.2	25.8	19.1	0
4:00:00	25.7	25.7	25.4	25.9	25.8	25.6	21.9	26.0	26.0	25.8	22.2	25.7	18.8	0
4:30:00	25.6	25.5	25.3	25.9	25.8	25.7	21.7	26.0	26.0	25.8	22..1	25.7	18.7	0
5:00:00	25.5	25.5	25.3	25.8	25.8	25.7	21.7	26.0	26.0	25.8	22.1	25.7	19.0	0
5:30:00	25.5	25.4	25.3	25.6	25.5	25.4	21.6	25.9	25.8	25.7	22.0	25.6	18.7	0
Average	26.9	26.3	25.7	27.2	26.5	26.0	29.9	28.0	27.0	26.2	29.7	26.1	24.2	411.4
maximum	28.8	27.3	26.4	29.7	27.4	26.5	48.5	31.8	29.1	26.8	47.4	27.8	33.1	815.0
minimum	25.2	25.1	24.6	25.5	25.5	25.2	21.4	25.9	25.8	25.5	21.6	25.5	18.2	0.0

ตารางผนวกที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน กรณีที่ไม่มีการเติมอากาศร้อน

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
6:00:00	30.2	30.3	30.3	30.2	30.1	30.3	27.1	24.3	10
6:10:00	30.2	30.1	30.2	30.3	30.1	30.4	27.1	24.4	19
6:20:00	30.1	29.7	30.4	30.3	30.2	30.4	24.4	27.1	25
6:30:00	30.1	29.5	29.9	30.1	30.0	30.2	24.4	27.1	36
6:40:00	29.9	29.5	29.8	30.0	30.0	30.0	24.7	27.6	60
6:50:00	29.8	29.2	29.8	30.0	30.0	30.0	24.7	28.1	92
7:00:00	29.8	29.7	30.0	30.2	29.9	30.1	28.5	24.4	167
7:10:00	29.8	29.7	29.7	30.2	29.8	30.1	29.8	25.6	203
7:20:00	29.7	29.7	29.8	30.4	29.9	29.9	32.1	24.9	168
7:30:00	29.8	29.7	29.8	30.6	30.0	29.9	34.3	25.5	370
7:40:00	29.8	29.7	29.7	30.5	30.1	29.6	33.2	27.7	415
7:50:00	29.6	29.4	30.0	31.0	30.0	29.6	37.8	29.0	447
8:00:00	29.4	29.2	30.5	31.2	29.9	29.6	41.9	29.7	474
8:10:00	29.4	29.6	30.5	31.9	30.4	29.7	44.7	29.7	496
8:20:00	29.9	29.9	30.6	32.4	30.6	29.6	47.9	29.3	502
8:30:00	30.2	29.9	30.6	32.0	30.5	29.8	48.0	29.9	521

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
8:40:00	30.1	30.1	30.6	32.3	30.7	30.0	48.9	29.8	567
8:50:00	30.4	30.5	30.7	32.4	31.0	30.1	47.0	30.6	593
9:00:00	30.8	30.5	30.6	32.4	30.8	30.2	44.4	30.2	643
9:10:00	30.9	30.3	30.4	32.6	30.5	29.8	50.3	31.6	678
9:20:00	30.7	30.5	30.6	32.7	30.7	30.0	52.5	31.4	654
9:30:00	31.0	30.6	30.8	32.7	30.9	30.0	51.5	31.7	718
9:40:00	31.0	30.3	30.7	32.7	30.7	29.9	50.2	31.4	729
9:50:00	30.8	29.9	30.5	32.4	30.6	30.0	52.5	30.9	798
10:00:00	30.3	29.9	30.3	32.2	30.6	29.9	52.7	32.7	733
10:10:00	30.4	30.2	30.3	32.6	30.5	29.9	52.2	32.2	832
10:20:00	30.9	30.1	30.1	32.4	30.5	29.7	54.5	33.4	903
10:30:00	30.7	30.0	30.0	32.7	30.7	29.7	55.1	34.2	869
10:40:00	30.8	30.3	30.2	32.8	30.8	30.0	52.9	32.9	897
10:50:00	31.0	30.4	29.9	32.9	30.8	29.9	53.2	33.9	498
11:00:00	31.1	30.2	30.0	32.8	30.6	29.8	52.3	35.1	529
11:10:00	31.0	30.3	30.3	32.6	30.9	30.1	48.0	32.8	613

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
11:20:00	31.2	30.3	30.1	32.7	31.0	30.0	47.4	31.6	922
11:30:00	31.2	30.4	30.2	33.0	31.2	29.8	50.0	34.7	483
11:40:00	31.4	30.4	30.1	33.3	31.1	29.8	54.6	34.3	340
11:50:00	31.4	30.7	30.0	33.1	31.2	30.0	51.8	34.2	687
12:00:00	31.4	30.6	30.4	33.2	31.4	30.1	49.2	33.2	968
12:10:00	31.8	30.5	30.4	32.9	31.4	30.0	46.0	32.6	846
12:20:00	31.5	30.7	30.4	33.3	31.5	30.0	55.0	35.5	942
12:30:00	31.8	31.6	31.1	35.1	32.9	31.0	57.2	36.8	948
12:40:00	32.8	31.6	30.8	35.1	32.9	30.5	58.9	36.5	955
12:50:00	33.0	31.2	30.5	34.9	32.3	30.2	58.0	35.4	895
13:00:00	32.8	31.1	30.4	34.9	32.0	29.9	60.2	37.2	790
13:10:00	32.3	31.0	29.9	34.5	32.5	29.6	56.1	35.3	812
13:20:00	32.2	30.9	30.3	34.6	32.0	29.9	58.5	36.1	826
13:30:00	32.2	31.0	30.3	35.0	32.1	30.0	55.9	36.4	309
13:40:00	32.3	30.9	30.4	35.5	32.1	30.0	55.2	34.9	978
13:50:00	32.1	31.2	30.2	35.6	32.3	30.1	48.9	34.0	904

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
14:00:00	32.3	30.8	30.5	35.7	32.4	30.0	49.3	35.0	625
14:10:00	32.2	31.0	30.3	36.0	32.4	30.1	56.3	37.9	328
14:20:00	32.4	31.1	30.4	36.1	32.7	29.9	54.7	36.6	687
14:30:00	32.5	31.2	30.3	36.4	32.7	30.1	48.5	34.4	858
14:40:00	32.4	31.4	30.0	36.5	32.9	29.9	49.4	35.2	742
14:50:00	32.6	31.1	30.0	36.6	32.7	29.8	52.0	36.0	464
15:00:00	32.5	31.1	30.2	36.2	33.0	29.7	52.9	36.7	243
15:10:00	32.7	31.3	30.2	36.9	33.1	29.7	53.4	35.3	200
15:20:00	32.8	31.4	30.3	36.5	33.1	30.0	47.5	34.1	180
15:30:00	32.8	31.6	30.0	35.8	33.1	30.1	43.3	32.7	377
15:40:00	32.9	31.5	30.0	35.5	33.0	30.1	42.0	32.2	718
15:50:00	32.8	31.7	30.0	35.4	33.0	29.8	43.2	33.5	726
16:00:00	32.9	31.5	29.9	35.3	33.1	29.8	47.3	33.8	603
16:10:00	32.9	31.8	29.6	35.3	33.1	29.8	55.3	38.0	142
16:20:00	32.7	31.7	29.7	35.9	33.2	29.7	55.5	37.1	636
16:30:00	32.8	31.4	29.9	35.3	33.2	29.9	45.7	33.0	564

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
16:40:00	32.9	31.5	29.9	35.4	33.2	29.8	49.7	35.8	512
16:50:00	32.9	31.7	29.7	35.4	33.4	29.8	52.0	37.3	456
17:00:00	33.0	31.9	29.6	35.2	33.3	29.8	51.0	34.6	412
17:10:00	33.0	31.6	29.6	34.7	33.3	29.8	48.5	34.4	368
17:20:00	32.8	31.6	29.5	34.2	33.1	29.8	45.8	33.6	317
17:30:00	32.9	31.8	29.3	34.1	33.2	29.8	41.2	33.7	304
17:40:00	32.7	31.7	29.2	33.8	33.1	29.7	38.9	32.6	244
17:50:00	32.7	31.8	29.4	33.6	33.2	29.8	37.8	31.8	147
18:00:00	32.5	31.9	29.2	33.5	32.9	30.0	35.8	31.6	68
Average	31.5	30.7	30.1	33.5	31.6	29.9	46.7	32.5	531
minimum	29.4	29.2	29.2	30.0	29.8	29.6	24.4	24.3	10
maximum	33.0	31.9	31.1	36.9	33.4	31.0	60.2	38.0	978

ตารางผนวกที่ 4 ประสิทธิภาพของระบบกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน กรณีที่มีการเติมอากาศร้อน

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
6:00:00	30.7	30.7	31.1	31.3	31.2	31.4	27.4	24.6	9
6:10:00	30.6	30.5	31.1	31.3	30.9	31.3	27.6	24.7	10
6:20:00	30.5	30.5	31.0	31.2	30.8	31.2	27.9	24.9	10
6:30:00	30.5	30.5	30.9	31.0	30.8	31.1	28.0	24.9	12
6:40:00	30.5	30.4	30.9	30.9	30.7	31.1	28.3	25.1	13
6:50:00	30.2	30.2	30.5	30.5	30.2	30.8	28.0	25.1	18
7:00:00	30.1	30.2	30.3	30.4	30.3	30.5	28.1	25.1	31
7:10:00	30.0	30.0	30.2	30.4	30.2	30.5	28.3	25.1	48
7:20:00	30.0	30.1	30.2	30.4	30.0	30.3	28.9	25.5	59
7:30:00	30.0	30.0	30.2	30.5	30.1	30.3	29.5	25.8	82
7:40:00	30.0	30.0	30.2	30.5	30.0	30.3	29.9	26.2	117
7:50:00	29.9	30.0	30.2	30.6	30.1	30.2	30.6	26.3	246
8:00:00	29.9	30.0	30.2	31.0	29.9	30.0	33.4	26.5	435
8:10:00	30.1	30.1	30.3	31.4	30.1	30.3	35.5	27.8	731
8:20:00	29.8	29.8	30.2	30.7	30.2	30.5	42.4	28.4	783
8:30:00	30.3	30.2	30.7	31.4	30.9	30.9	47.0	29.2	815

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
8:40:00	30.9	30.7	31.1	31.9	31.4	31.2	50.6	30.7	496
8:50:00	31.3	31.0	31.4	32.2	31.7	31.6	47.4	30.8	624
9:00:00	31.0	30.8	31.0	31.9	31.5	31.4	51.0	31.7	742
9:10:00	31.1	30.8	30.1	31.5	31.0	31.1	53.6	32.8	657
9:20:00	30.6	30.4	30.7	31.3	30.9	30.8	56.2	32.2	636
9:30:00	30.8	30.7	30.8	31.2	31.0	31.1	53.6	34.6	402
9:40:00	30.9	30.7	30.7	31.1	30.9	31.3	46.1	31.4	762
9:50:00	30.8	30.6	30.7	31.1	30.9	31.5	44.9	32.6	472
10:00:00	30.9	30.8	30.8	31.1	30.9	31.5	53.5	33.4	492
10:10:00	30.9	30.7	30.8	30.9	30.8	31.4	55.9	34.8	689
10:20:00	31.0	30.8	30.8	31.1	31.0	31.5	55.7	32.7	783
10:30:00	31.1	30.9	30.8	31.3	31.0	31.5	55.4	34.6	796
10:40:00	31.2	31.0	31.0	31.6	31.0	31.5	56.2	37.0	476
10:50:00	31.4	31.1	31.1	31.5	31.2	31.6	53.0	35.5	365
11:00:00	31.3	31.0	30.8	31.3	31.2	31.6	45.1	32.8	763
11:10:00	31.2	30.8	30.8	31.6	31.0	31.5	54.8	36.5	816

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
11:20:00	31.3	30.9	30.8	31.5	31.0	31.4	53.3	34.4	864
11:30:00	31.4	31.1	30.7	31.6	31.2	31.6	55.7	34.8	922
11:40:00	31.7	31.4	30.8	31.9	31.6	31.8	58.9	36.3	924
11:50:00	31.7	31.3	31.0	32.2	31.4	31.9	60.3	38.0	842
12:00:00	31.9	31.5	31.0	32.3	31.8	31.9	54.0	36.1	815
12:10:00	31.7	31.3	30.8	32.3	31.5	31.9	52.9	36.3	852
12:20:00	32.0	31.3	30.9	32.3	31.6	31.9	56.6	37.5	896
12:30:00	32.0	31.5	30.8	32.3	31.8	32.0	57.6	37.4	871
12:40:00	32.4	32.0	30.9	32.7	32.3	32.2	49.8	35.4	922
12:50:00	32.1	31.7	30.7	32.4	31.3	32.1	57.7	38.2	931
13:00:00	32.0	31.8	30.7	32.3	32.3	32.4	59.9	38.3	870
13:10:00	32.6	32.3	31.1	32.6	32.6	32.9	59.7	39.6	952
13:20:00	32.4	32.0	31.3	32.5	32.3	32.4	60.1	38.6	924
13:30:00	32.6	32.2	31.1	32.7	32.5	32.4	62.0	41.6	946
13:40:00	32.4	32.1	31.1	32.6	32.6	32.3	52.3	35.7	650
13:50:00	32.4	31.8	31.1	32.6	32.3	32.3	56.9	36.8	704

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
14:00:00	32.4	32.1	31.2	32.4	32.4	32.3	50.5	36.1	729
14:10:00	32.3	31.8	31.1	32.4	32.6	32.3	57.8	37.1	690
14:20:00	32.0	31.5	31.6	32.2	32.6	32.3	59.4	38.9	620
14:30:00	32.9	32.5	32.3	33.4	32.5	33.2	59.8	37.0	610
14:40:00	33.5	32.5	32.3	33.8	32.7	33.1	53.7	36.9	373
14:50:00	33.1	32.2	31.8	33.5	32.4	32.7	45.0	33.2	192
15:00:00	33.0	32.2	31.8	33.2	32.6	32.5	41.0	33.1	323
15:10:00	32.9	32.2	31.8	32.9	32.4	32.6	41.0	31.4	245
15:20:00	32.6	31.9	31.5	32.8	32.6	32.3	43.3	31.5	94
15:30:00	32.8	32.0	31.9	32.9	32.3	32.3	37.4	29.4	62
15:40:00	32.8	31.9	31.7	32.9	32.3	32.2	35.6	28.8	513
15:50:00	32.4	31.8	31.6	32.6	32.3	32.4	35.3	28.5	126
16:00:00	32.6	31.8	31.7	33.2	32.4	31.9	39.8	29.9	574
16:10:00	32.3	31.8	31.6	35.5	32.1	31.8	45.6	31.7	627
16:20:00	32.4	31.9	31.6	36.1	32.1	31.7	49.7	34.6	561
16:30:00	32.3	31.9	31.8	35.2	31.9	31.7	51.2	36.3	470

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Time	Water Temperature (°C)			Greenhouses Fish Cage Integrated with Reduce Heat Loss (°C)			Greenhouse Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m^2)
	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$	$T_{10\ cm}$	$T_{50\ cm}$	$T_{100\ cm}$			
16:40:00	32.4	31.9	32.0	35.1	31.9	32.0	50.8	34.3	467
16:50:00	32.5	32.0	32.0	34.4	32.3	31.8	48.4	36.2	402
17:00:00	32.5	32.0	31.9	34.2	32.3	31.8	46.4	36.3	163
17:10:00	32.6	32.0	32.0	33.7	32.3	31.8	43.4	33.6	342
17:20:00	32.6	32.2	32.1	34.2	32.3	31.9	41.2	32.6	102
17:30:00	32.5	32.1	32.0	33.1	32.3	32.0	38.1	31.5	82
17:40:00	32.6	32.1	31.9	32.8	32.3	31.9	35.7	30.9	69
17:50:00	32.4	32.0	32.0	32.6	32.3	32.2	34.1	30.3	54
18:00:00	32.4	32.0	31.9	32.5	32.3	32.1	33.5	30.1	51
Average	31.6	31.3	31.1	32.2	31.5	31.7	46.0	32.5	491
minimum	29.8	29.8	30.1	30.4	29.9	30.0	27.4	24.6	9
maximum	33.5	32.5	32.3	36.1	32.7	33.2	62.0	41.6	952

ตารางผนวกที่ 5 หนักหนักปลาหมอไทยของแต่ละชุดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้น และทำการวัดหลังจากการเลี้ยง 10 วัน 20 วัน และ 30 วัน (กรัม)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	10 วัน (กรัม)			20 วัน (กรัม)			30 วัน (กรัม)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
1	2.5	5.2	8.9	10.5	12.9	16.6	23.5	36.1	39.8	46.5
2	2.7	5.7	8.2	11.2	8.1	27.4	30.8	23.3	61.8	70.9
3	2.4	4.7	9.2	10.8	13.7	22.5	35.3	30.2	36.5	38.2
4	2.7	4.5	8.2	10.3	11.8	20.6	25.5	25.6	46.8	98.7
5	2.6	5.6	10.3	10.3	18.3	18.9	30.5	24.1	44.2	38.6
6	2.5	5.4	9.5	11.7	19.8	20.4	38.1	23.9	29.3	43.2
7	2.3	5.7	9.3	12.2	12.2	17.7	27.7	38.7	36.8	43.3
8	2.6	5.5	9.6	11.1	9.0	14.7	19.8	34.4	62.5	40.1
9	2.4	6.9	10.4	11.6	14.3	20.3	27.3	38.2	56.3	40.8
10	2.7	4.6	10.1	10.8	8.7	26.3	22.7	36.0	59.7	63.6
11	2.5	5.2	9.7	11.8	5.9	21.6	34.1	29.7	52.3	40.5
12	2.5	5.5	9.1	10.0	13.3	17.5	21.0	36.2	52.7	34.6
13	2.6	5.7	10.3	12.5	11.6	13.7	19.2	23.3	35.4	41.1
14	2.6	5.8	8.8	11.4	6.5	13.4	18.8	26.6	55.7	45.2
15	2.7	6.2	8.1	10.9	18.8	14.4	18.1	23.1	44.2	50.5

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	10 วัน (กรัม)			20 วัน (กรัม)			30 วัน (กรัม)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
16	2.5	5.2	10.2	10.8	22.0	19.2	27.2	22.3	36.2	45.7
17	2.4	4.8	10.2	11.4	11.5	18.5	23.4	26.4	39.8	66.3
18	2.6	5.1	8.6	10.3	7.3	20.3	20.2	23.5	37.2	56.9
19	2.6	6.4	8.8	12.4	6.7	24.2	32.1	31.6	34.7	53.6
20	2.6	5.9	9.2	10.9	21.1	19.8	23.6	26.6	36.8	42.0
S.D.	0.11	0.61	0.75	0.72	5.05	3.87	5.95	5.72	10.28	15.20
Average	2.54	5.48	9.33	11.14	12.68	19.40	25.95	28.99	44.94	50.02
minimum	2.34	4.50	8.10	9.99	5.90	13.40	18.10	22.30	29.30	34.60
maximum	2.69	6.91	10.40	12.48	22.00	27.40	38.10	38.70	62.50	98.70

ตารางผนวกที่ 6 น้ำหนักปลาหมอไทยของแต่ละชุดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้น และทำการวัดหลังจากการเลี้ยง 60 วัน 90 วัน และ 120 วัน (กรัม)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	60 วัน (กรัม)			90 วัน (กรัม)			120 วัน (กรัม)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
1	2.5	57.4	85.5	104.1	77.5	111.2	122.8	117.6	126.9	143.4
2	2.7	51.2	77.6	85.8	81.5	105.6	128.4	115.9	134.9	139.8
3	2.4	53.2	79.6	98.3	77.8	102.1	116	125.6	139.3	144.7
4	2.7	78.4	82.4	82.2	95.7	101.6	113.6	126.8	132.9	142.9
5	2.6	73.2	91.7	83.9	85.0	98.5	111.8	118.3	128	142.8
6	2.5	72.7	87.0	106.1	86.2	97.3	124.8	123.5	132.1	136.7
7	2.3	70.1	85.5	91.7	103.1	112.6	117.9	122.3	143.8	148.7
8	2.6	81.6	89.4	91.1	72.6	97.4	121.4	117.1	134.7	143.9
9	2.4	66.3	78.0	99.9	77.9	116.6	123.8	113.6	135.2	148.1
10	2.7	66.6	82.6	102.1	95.3	95.6	112.9	127.8	141.8	147.7
11	2.5	81.3	89.6	87.2	88.3	107.5	119.4	114.8	138.8	147.1
12	2.5	58.6	91.7	111.8	81.9	89.9	111.1	126.9	138.5	157.3
13	2.6	72.7	77.6	91.5	74.9	92.9	124.6	119.7	136.7	143.7

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	60 วัน (กรัม)			90 วัน (กรัม)			120 วัน (กรัม)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
14	2.6	60.4	82.9	85.9	91.4	98.4	121.9	132.3	122.7	139.9
15	2.7	88.4	78.6	113.9	78.3	100.9	116.7	114.3	129.9	142.9
16	2.5	58.3	74.7	99.8	74.9	89.7	119.6	126.9	139.9	138.7
17	2.4	60.8	83.6	95.5	101.6	104.9	128.7	121.6	142.1	132.9
18	2.6	58.8	80.7	87.2	76.8	98.9	112.5	116.4	134.9	145.6
19	2.6	60.4	76.3	93.9	75.3	109.2	126.4	120.8	128.7	145.6
20	2.6	70.4	98.7	95.7	89.4	116.3	118.8	124.8	139.2	144.9
S.D.	0.11	10.27	6.22	9.08	9.26	8.00	5.55	5.33	5.66	5.07
Average	2.54	67.04	83.69	95.38	84.27	102.36	119.66	121.35	135.05	143.87
minimum	2.34	51.20	74.70	82.20	72.60	89.70	111.10	113.60	122.70	132.90
maximum	2.69	88.40	98.70	113.90	103.10	116.60	128.70	132.30	143.80	157.30

ตารางผนวกที่ 7 ความยาวปลาหมอไทยของแต่ละชุดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้น และทำการวัดหลังจากการเลี้ยง 10 วัน 20 วัน และ 30 วัน (เซนติเมตร)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (เซนติเมตร)	10 วัน (เซนติเมตร)			20 วัน (เซนติเมตร)			30 วัน (เซนติเมตร)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
1	2.5	4.6	5.6	6.1	7.0	7.2	8.2	9.7	13.0	11.1
2	2.4	5.2	5.0	6.5	6.5	8.5	8.7	10.2	11.6	11.2
3	2.8	4.2	6.3	5.6	7.5	7.6	9.5	9.1	9.2	10.6
4	2.3	5.6	5.6	7.2	6.3	7.4	8.1	8.2	10.5	10.9
5	2.6	4.1	5.9	6.2	7.7	8.2	9.2	9.5	10.3	10.6
6	2.9	4.4	5.3	6.5	8.0	7.5	10.5	8.9	9.6	11.2
7	2.6	4.2	5.8	6.6	6.0	6.5	9.1	9.6	10.2	9.7
8	2.5	4.6	6.2	6.3	6.3	6.9	7.6	9.2	10.6	10.7
9	2.6	4.6	6.4	6.3	7.2	8.2	8.6	10.2	10.7	9.4
10	2.5	4.1	6.1	6.2	5.6	8.2	8.5	9.6	11.0	9.8
11	2.5	4.1	6.1	6.5	5.2	7.7	9.6	9.2	10.4	10.8
12	2.4	5.1	5.9	7.1	7.5	6.8	8.4	10.2	11.1	10.2
13	2.5	4.9	5.5	6.6	6.4	6.5	7.4	8.6	10.1	9.7

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (เซนติเมตร)	10 วัน (เซนติเมตร)			20 วัน (เซนติเมตร)			30 วัน (เซนติเมตร)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
14	2.5	5.1	5.7	6.6	5.5	6.8	6.8	8.6	10.1	9.9
15	2.4	4.4	5.4	5.9	7.7	7.0	7.2	8.2	9.9	9.7
16	2.5	4.7	5.4	6.8	8.3	8.5	9.0	8.0	10.3	9.2
17	2.9	5.8	5.4	6.6	5.8	8.1	8.6	9.1	9.8	10.2
18	2.3	5.2	5.6	6.4	5.5	8.3	7.8	8.4	9.6	10.1
19	2.5	5.4	5.2	6.7	4.8	8.7	9.1	9.8	9.7	10.2
20	2.5	5.9	5.3	6.9	7.5	7.9	6.7	8.4	9.9	9.8
S.D.	0.16	0.58	0.39	0.38	1.03	0.71	0.98	0.71	0.84	0.61
Average	2.54	4.81	5.68	6.48	6.62	7.63	8.43	9.14	10.38	10.25
minimum	2.30	4.10	4.95	5.62	4.80	6.50	6.70	8.00	9.20	9.20
maximum	2.90	5.90	6.40	7.22	8.30	8.70	10.50	10.20	13.00	11.20

ตารางผนวกที่ 8 ความยาวปลาหมอไทยของแต่ละชุดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้น และทำการวัดหลังจากการเลี้ยง 60 วัน 90 วัน และ 120 วัน (เซนติเมตร)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (เซนติเมตร)	60 วัน (เซนติเมตร)			90 วัน (เซนติเมตร)			120 วัน (เซนติเมตร)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
1	2.5	15.2	16.3	16.7	16.6	17.1	17.2	16.3	17.2	17.9
2	2.4	13.4	15.6	16.1	15.8	16.2	17.2	16.7	16.4	17.8
3	2.8	16.2	15.2	16.3	15.7	17.2	17.6	16.4	17.9	17.8
4	2.3	13.5	14.9	15.9	16.2	16.3	16.9	16.4	17.4	17.4
5	2.6	13.7	16.2	14.7	15.1	17.3	17.4	17.2	16.9	17.4
6	2.9	14.1	16.1	15.2	16.2	16.6	17.8	16.9	17.5	17.8
7	2.6	15.0	16.1	16.3	15.2	17.6	17.7	17.6	17.5	17.2
8	2.5	16.2	14.9	14.9	16.1	16.5	17.1	16.4	17.6	17.2
9	2.6	14.1	14.6	15.7	16.1	16.2	16.8	16.8	16.7	16.9
10	2.5	14.4	14.8	15.7	16.1	16.2	16.8	16.4	17.8	17.2
11	2.5	14.3	14.3	16.1	15.1	17.4	16.6	16.7	17.4	17.8
12	2.4	15.6	14.7	15.7	15.3	16.5	16.7	16.4	17.3	17.6
13	2.5	14.1	15.7	16.2	15.7	16.3	16.4	16.4	17.9	16.7

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

ลำดับ (ตัวที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (เซนติเมตร)	60 วัน (เซนติเมตร)			90 วัน (เซนติเมตร)			120 วัน (เซนติเมตร)		
		ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3
14	2.5	14.2	16.2	15.2	16.6	16.8	17.3	17.1	17.7	17.8
15	2.4	15.1	14.8	14.5	15.9	17.1	16.7	17.2	17.8	17.8
16	2.5	14.9	15.6	15.2	16.9	16.9	17.8	16.3	17.1	17.5
17	2.9	13.9	16.1	13.9	15.8	17.5	16.6	16.6	16.9	17.4
18	2.3	14.2	15.2	15.2	16.2	16.8	17.1	16.5	16.6	17.8
19	2.5	13.1	14.2	14.2	16.5	16.3	16.4	16.8	17.1	17.4
20	2.5	13.9	14.5	16.1	15.6	16.3	16.2	16.4	17.4	17.4
S.D.	0.16	0.87	0.70	0.77	0.51	0.48	0.48	0.36	0.44	0.33
Average	2.54	14.46	15.30	15.49	15.94	16.76	17.02	16.68	17.31	17.49
minimum	2.30	13.10	14.20	13.90	15.10	16.20	16.20	16.30	16.40	16.70
maximum	2.90	16.20	16.30	16.70	16.90	17.60	17.80	17.60	17.90	17.90

ตารางผนวกที่ 9 น้ำหนักปลาทับทิมของแต่ละชุดการทดลองหลังจากการเลี้ยง 30 วัน 60 วัน และ 90 วัน (เซนติเมตร)

ช่วงเวลา	ลำดับที่	กระชังธรรมดา (กรัม)			กระชังเรือนกระจก (กรัม)			กระชังโรงเรือน+ฉนวน (กรัม)		
	1	15	10	14	13	25	20	29	36	29
	2	13	17	15	30	20	25	29	27	30
เดือนที่ 1	3	18	13	23	19	21	33	20	31	22
	4	10	12	13	25	26	19	27	40	29
	5	12	21	15	16	20	20	23	21	26
	1	48.5	47.6	60.4	64.8	64.3	63.7	78.4	78.4	71.5
	2	61.4	63.2	59.7	62.9	63.2	56.7	65.9	72.6	69.8
เดือนที่ 2	3	49.2	65.4	57.9	65.7	68.7	59.7	77.6	85.4	79.2
	4	35.7	52.7	54.8	65.7	57.4	65.7	72.1	72.1	72.4
	5	36.8	47.9	42.9	71.2	49.8	49.9	70.9	70.6	66.4
	1	68.9	71.1	79.6	89.6	85.3	86.5	105.6	104.9	94.8
	2	73.5	77.5	69.5	96.4	89.4	96.4	113.5	98.7	103.6
เดือนที่ 3	3	69.7	72.5	75.4	104.2	92.4	83.7	109.6	108.6	112.7
	4	68.5	75.1	71.4	99.1	97.4	92.4	99.1	99.7	109.7
	5	71.2	72.8	68.3	83.5	95.3	89.8	102.3	96.8	106.4

ตารางผนวกที่ 10 ความยาวตัวปลาทับทิมของแต่ละชุดการทดลองหลังจากการเลี้ยง 30 วัน 60 วัน และ 90 วัน (เซนติเมตร)

ช่วงเวลา	ลำดับที่	กระชังธรรมดา (เซนติเมตร)			กระชังเรือนกระจก (เซนติเมตร)			กระชังโรงเรือน+ฉนวน (เซนติเมตร)		
เดือนที่ 1	1	10.6	8.2	10.9	8.7	12.9	10.4	11.6	11.2	11.4
	2	9.9	8.9	9.6	11.4	10.9	10.2	11.7	11.3	11.8
	3	9.7	9.9	8.7	10.4	10.9	9.6	11.2	11.4	10.6
	4	8.2	9.7	9.7	10.9	10.2	10.1	10.1	12.3	10.7
	5	9.4	10.3	9.9	9.8	10.1	9.8	10.4	10.3	11.0
เดือนที่ 2	1	14.3	14.7	14.6	16.5	14.9	13.9	15.1	14.7	14.7
	2	15.2	13.4	14.4	15.7	14.6	14.5	14.7	15.4	14.3
	3	14.2	14.1	14.3	15.2	15.2	14.5	14.6	14.6	15.1
	4	13.6	14.3	14.2	14.7	14.2	14.2	15.3	14.3	14.4
	5	12.5	15.6	12.9	15.4	13.4	13.6	15.1	13.9	14.2
เดือนที่ 3	1	15.5	15.5	16.3	16.5	16.3	15.7	17.1	16.0	15.9
	2	16.0	15.3	17.1	17.2	16.7	16.3	16.9	16.5	16.4
	3	15.4	16.5	16.3	16.5	16.9	16.7	16.8	16.9	16.9
	4	15.6	15.9	16.7	16.9	17.1	16.5	16.4	17.3	17.2
	5	15.2	16.3	15.9	16.4	16.5	16.4	16.8	16.7	19.7

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1-i)^t} - \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)} + C_0 \right)$$

NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
B_t	=	ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)
C_t	=	ต้นทุนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)
C_0	=	ต้นทุนในปีเริ่มแรก
i	=	อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนคิดลด (Discount rate)
n	=	อายุโครงการ

2. อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit - Cost Ratio : B/C Ratio)

$$B/C\ ratio = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\frac{C_t}{\sum_{t=1}^{n} (1+i)^t} + C_0}$$

B/C ratio	=	อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน
B_t	=	ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)
C_t	=	ต้นทุนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)
C_0	=	ต้นทุนในปีเริ่มแรก
i	=	อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนคิดลด (Discount rate)
n	=	อายุโครงการ

3. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

$$\text{IRR หรือ r ที่ทำให้} \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t} + C_0 \right) = 0$$

IRR	=	อัตราผลตอบแทนของโครงการ
B_t	=	ผลตอบแทนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)
C_t	=	ต้นทุนในปีที่ t (t = 1, 2, 3, ..., n)
C_0	=	ต้นทุนในปีเริ่มแรก
i	=	อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนคิดลด (Discount rate)
n	=	อายุโครงการ

4. การประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / ผลกำไรสุทธิรายปี

เมื่อ	เงินลงทุน	คือ	มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนในการซื้อและก่อสร้างของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน
	ผลกำไรสุทธิรายปี	คือ	ผลต่างกำไรสุทธิต่อปี ที่ได้จากการขายปลาของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อนและกระชังที่เลี้ยงตามปกติ หักจากค่าใช้จ่ายทั้งหมด ค่าพันธุ์ปลา และอาหาร

ตารางผนวกที่ 11 กระแสต้นทุนและกระแสรายรับตลอดอายุของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก 10 ปี ณ อัตราคิดลดที่ 6.275% (หน่วย:บาท) ของกระชังทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1)

ปีที่	ต้นทุน (C)	รายรับ (B)	รายรับสุทธิ (B-C)	อัตราส่วนคิดลด 6.275%	PV ของ C	PV ของ B	PV ของ B-C
0	800.00	0.00	-800.00	1	800.00	0.00	-800.00
1	2,464.20	4150.53	1686.33	0.94	2316.348	3,901.50	1585.15
2	2,414.00	4150.53	1,736.53	0.89	2148.46	3693.97	1545.52
3	2,414.00	4150.53	1736.53	0.84	2027.76	3,486.45	1458.69
4	2,414.00	4150.53	1,736.53	0.79	1907.06	3,278.92	1371.86
5	2,414.00	4150.53	1736.53	0.75	1810.5	3,112.90	1302.41
6	2,414.00	4150.53	1,736.53	0.71	1713.94	2,946.88	1232.94
7	2,414.00	4150.53	1736.53	0.67	1617.38	2,780.86	1163.48
8	2,414.00	4150.53	1,736.53	0.63	1520.82	2,614.84	1094.02
9	2,414.00	4150.53	1736.53	0.59	1424.26	2,448.82	1024.56
10	2,414.00	4150.53	1,736.53	0.56	1351.84	2,324.29	972.46
รวม	**24,990.20**	**41,505.34**	**16,515.14**		**18,638.37**	**30,589.44**	

ตารางผนวกที่ 12 กระแสต้นทุนและกระแสรายรับตลอดอายุของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก 10 ปี ณ อัตราคิดลดที่ 6.275% (หน่วย:บาท) ของกระชังทั่วไปร่วมกับเรือนกระจก (ชุดการทดลองที่ 2)

ปีที่	ต้นทุน (C)	รายรับ (B)	รายรับสุทธิ (B-C)	อัตราส่วนคิดลด 6.275%	PV ของ C	PV ของ B	PV ของ B-C
0	9,000.00	0.00	-9,000.00	1	9,000.00	0.00	-9,000.00
1	4,427.55	7,839.65	3,412.10	0.94	4,161.89	7,369.27	3,207.38
2	4,213.44	7,839.65	3,626.21	0.89	3,749.96	6,977.29	3,227.33
3	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.84	3,244.75	6,585.31	3,340.56
4	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.79	3,051.612	6,193.33	3,141.71
5	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.75	2,897.10	5,879.74	2,982.64
6	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.71	2,742.59	5,566.15	2,823.57
7	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.67	2,588.076	5,252.57	2,664.49
8	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.63	2,433.564	4,938.98	2,505.42
9	3,862.80	7,839.65	3976.85	0.59	2279.052	4625.39	2,346.34
10	3,862.80	7,839.65	3,976.85	0.56	2163.168	4390.21	2,227.04
รวม	**48,543.39**	**78,396.53**	**29,853.13**		**38,311.77**	**57,778.24**	

ตารางผนวกที่ 13 กระแสต้นทุนและกระแสรายรับตลอดอายุของกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก 10 ปี ณ อัตราคิดลดที่ 6.275% (หน่วย:บาท) ของกระชังเรือนกระจกร่วมกับการเติมอากาศร้อน (ชุดการทดลองที่ 3)

ปีที่	ต้นทุน (C)	รายรับ (B)	รายรับสุทธิ (B-C)	อัตราส่วนคิดลด 6.275%	PV ของ C	PV ของ B	PV ของ B-C
0	10,400.00	0.00	-10,400.00	1.00	10,400.00	0.00	-10,400.00
1	5,321.28	11,107.70	5,786.42	0.94	5,002.00	10,441.24	5,439.24
2	4,958.18	11,107.70	6,149.52	0.89	4,412.78	9,885.85	5,473.07
3	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.84	3,921.69	9,330.47	5,408.78
4	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.79	3,688.25	8,775.08	5,086.83
5	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.75	3,501.51	8,330.77	4,829.27
6	5,568.68	11,107.70	5,539.02	0.71	3,953.76	7,886.47	3,932.71
7	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.67	3,128.01	7,442.16	4,314.14
8	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.63	2,941.27	6,997.85	4,056.58
9	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.59	2,754.52	6,553.54	3,799.02
10	4,668.68	11,107.70	6,439.02	0.56	2,614.46	6,220.31	3,605.85
รวม	**58,928.87**	**111,076.99**	**52,148.12**		**46,318.25**	**81,863.74**	

ภาคผนวก ข

ผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

The 22nd Tri-U International Joint Seminar and Symposium
Jiangsu University, China, October 18 – October 23, 2015

Thermal Performance of Greenhouse Fish Cages Integrated with Hot Air Aerator using Solar Energy

Piyaphong Yongphet[1,*], Natthawud Dussadee[1,3], Sarawut Polvongsri[1], Rameshprabu Ramaraj[1,3] and Niwooti Whangchai[2]

[1]School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand
[2]Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand
[3]Energy Research Center, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand
*E-mail: n_n1112@hotmail.com

Abstract: At present, careers aquaculture has gained attention in Thailand. Cage fish farming are the most popular cultivation in the Northern part of Thailand which has contributed substantially to livelihoods, food demand, employment and income. However, the temperature is relatively low in the Northern part of Thailand especially in winter, the air temperature drops below 15 °C and the temperature difference between day and night about 15-20 °C. In general, the suitable and optimum temperature for the fish culture was 28-32 °C. Therefore this study aim was focused on increasing and provides the optimum temperature using thermal performance of greenhouse fish cages integrated with hot air aerator through solar energy. In this study, Climbing perch (Anabas testudineus) fish was used. The study system was developed for heating the fish cages with hot air aerator by greenhouse cage design equipped with insulation to reduce heat loss by used foam and covered with bamboo which is economically helpful for fish farmer. Fish cage was allowed to depths of 1 meter from the water surface of lagoon. Therefore, the study results demonstrated that possible to apply and increase water temperature by greenhouse with hot air aerator set up using solar energy through the solar panel system.

Key words: Climbing perch, Fish Cage, Greenhouse, Temperature, Solar Energy, Hot Air Aerator

1. Introduction

Aquaculture is the fastest growing food production industry, and the vast majority of aquaculture products are derived from Asia. The quantity of aquaculture products directly consumed is now greater than that resulting from conventional fisheries (Gjedrem et al., 2012). As aquaculture production continues to increase and intensify, both its reliance and its impact on ocean fisheries are likely to expand even further (Rosamond et al., 2000). Fish are a source of high quality protein, vitamins and essential minerals but, above all, a virtually unique, rich source of omega-3 long-chain poly-unsaturated fatty acids (Jabeena and Chaudhry, 2011). Thailand has a growing population (1 percent growth rate per annum in 2013–14) and needs large sources of protein foods. The present per capita availability of protein is necessary in daily requirements. Fish is an excellent and relatively a cheaper source of animal protein of high biological value.

Since there are many freshwater farms were increasing yearly basis in Thailand. Freshwater fish as a protein source is very importance source especially Northern part of Thailand. On 2012, freshwater fish farm areas containing 936,553 acres at Thailand, northern region freshwater fish farms had 142,055 acres. It was producing 673,700 tons with total value of approximately 36,264.9 million THB (1,032.81 million USD) in the northern part of Thailand (Department of Fisheries, 2012). Recently the using poly cage net on the river or lagoon have been increased, moreover in the nation poly cage net culture on the river or lagoon up to 703 acres and in northern part of Thailand up to 103 acres. In addition, farmers very interested in the freshwater fish farming and increased 14.56% last two years (Department of Fisheries, 2014). At present, the climbing perch fish have much successful business due to the development of improved varieties in Thailand. Because climbing perch have high growth rate, grow big size, resistance to disease and popular in local markets.

However, the influence of water temperature affects the fish growth. The fish will thrive in temperature range of 28-32 °C. If temperature is higher or lower it could affect the growth rate of fish (Baras, 2000). Especially in the Northern part of Thailand, temperature is relatively low. In winter, air temperature drops below 15 °C and the temperature difference between day and night about 15-20 °C (Temprasit et al., 2015). The fishes were cultured in the winter and raining seasons there was dwindling number. In contrast, the price of fish was increasing during this season 50-80% from regular price. Farmers have to manage and increase the quality for culturing fish in cages. The temperature is effects of culture fishes in the winter or raining season directly. Low water temperature is affecting the fish growth rates. If low temperature occur fishes could not eat. That's main reason, fish had a dwindling number.

According to Tribeni et al. (2006) open and inside greenhouse condition can identify the influence of water temperature on fish growth during winter period and temperature can increase (3.58 – 6.79 °C) compared with outside tanks. Zhu et al. (1998) stated that from the simulation results, in a 1-m pond, a passive polyethylene greenhouse pond systems can be achieved 5.2°C increasing in water temperature compared with outside air temperature.

In general, farmers have to cultured fish until growth to mature around 6-8 months to be sold But it can shorten the time to culture with about 3-4 months which must to control water temperature is in range of 28-32 °C at winter and rainy seasons. This approach could reduce production costs and save time. However, different types growing methods and detailed information of culturing climbing perch still not fully developed. Cultured cage fishes in river or lagoon for space-saving and water usage studies needed. In addition, the solar energy could be applicable for low-cost energy to keep the water temperature maintenance around culturing area. Several researchers reported open air-pond temperature system, greenhouse or plastic shelter pond and greenhouse thermal environment under both steady and transient condition (Wisely et al., 1981; Zhu et al., 1998; Tiwari, 2003). Furthermore, greenhouse fish cages by integrated with hot air aerator using solar energy along with insulation to reduce heat loss by using foam and covered with bamboo. Bamboo is very strong and can use in side river or lagoon for long time. and can find in area which is economically helpful for fish farmer.

Accordingly, this paper describes an experimental study of the impact of net cages culturing, detailed information of culturing climbing perch with outdoor fish cage, greenhouse

fish cage and greenhouse fish cage with hot air aerator. In addition, in this study applied solar energy as a source of low-cost energy to keep the water temperature increases using plastic greenhouses to raise the temperature.

2. Materials and methods

2.1. Location of experimental area and fish cage setting

The study was carried out between July and August 2015 in a lagoon (18° 53' 24" N 99° 2' 16" E), near to Maejo University, Chiang Mai, Northern part of Thailand. Figure 1 demonstrated the layout diagram of experimental greenhouse with fish cages. And the experiment cages were shown in figure 2.

The experiment was divided into three units including 1) normal fish cage i.e. outdoor fish cage (Treatment A, T-A), spread a poly cage net, nylon net was used (pour size= 2 cm, length = 200, width = 300, height=150 cm), 2) greenhouse fish cage (Treatment B, T-B), was construct by parabolic roof structure made from poly ethylene (0.15 mm) and four blue plastic tanks (keep UV 7%) for floats on water surface. The system size (width= 330 cm, length=400 cm, and height= 205 cm) along with covered and spread a poly cage net (layer =2 mm, size length= 200, width =300 and height =150 cm). Inside greenhouse fish cage was allowed to 1 meter depths from the water surface. and greenhouse fish cage was integrated with hot air aerator (Treatment C, T-C). Furthermore, treatment 2 (T-B) was used foam and covered with bamboo to reduce heat loss and size including length = 210, width =320 and height =150 cm; as well as in side water having hot air aerator using solar energy.

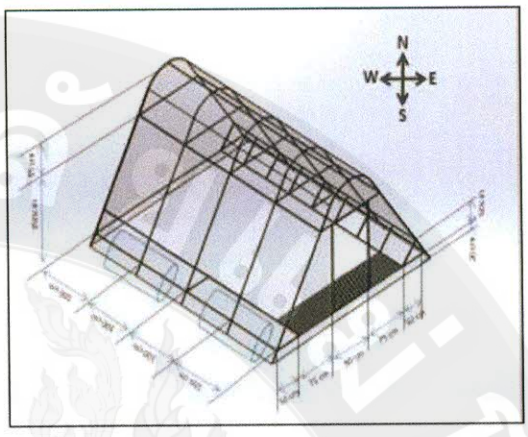


Figure 1. Layout diagram of the experimental greenhouse with fish cage.

Figure 2. Experiment Cages: Outdoor fish cage (A), Greenhouse fish cage (B) and Greenhouse fish cage with hot air aerator (C):

2.2 Organism

Climbing perch (Anabas testudineus) was used. The initial weight of fish average was 2.55 ± 0.15 g/fish. Three hundred climbing perch fishes were used in this experimental study.

2.3 Experimental diets and feeding

Climbing perch fish were fed by floating food (manual) method during the entire experimental period. Fish feed was formulated with locally available materials including soybean, rice Bran, compressed coconut meal, steamed soybeans and corn. Feed containing protein 25%, fat 3% and other nutritious 8% with humidity 12%. Feeds were supplied to fish at a frequency of 3 times per day (06:00-7:00 am; 12:00-13:00 pm; and 05:00-06:00 pm).

2.4 Data analysis

All physico-chemical analyses were carried out during study period and detailed methods were presented in Table 1. The length of experimental fish was measured in centimeters with an ordinary scale. Weight was measured to the nearest g by a sensitive portable electronic balance (Model SF-400A AFD), with the help of small plastic bucket. Solar radiation was measured by a solar power meter (Model DT - 1307), and it placed on the roof of the greenhouse fish cage. Thermocouples (Type K) used to measure air temperatures and water temperatures. Water temperatures were measured 30.0 cm depths from water surface of lagoon. Thermocouples were recorded every 10 minutes by a multi-channel data logger (Yokogawa, Model DX220-1-2). The

experiments were started at 6.00 am and continued till 6.00 pm. Water samples were collected from the experimental zone at lagoon for nutritional and physiochemical analyzes. The sample was transferred to the laboratory at the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai, Thailand.

Table 1. Physiochemical and fish growth parameter in lagoon.

Parameter	Equipment or method
Growth condition	
Fish weight (g)	Electronic Compact Scale (SF-400A)
Fish length (cm)	Ruler
Environment	
Solar radiation W/m²)	Solar Power Meter (DT - 1307)
Humidity (%)	Thermo-Hygrometer (HC 520)
Water quality	
pH	pH meter (HI 9812)
DO (mg/l)	DO meter (YSI Model 59)
Temperature (°C)	Data logger (Yokogawa, Model DX220-1-2), and Thermocouples (Type K)
Conduct. (mg/l)	DO meter (YSI Model 59)
Turbidity (mg/l)	DO meter (YSI Model 59)
PO_4-P (mg/l)	Method 424D (Standard Methods)
NH_4-N_2 (mg/l)	Method 417D (Standard Methods)
Chl-a (mg/l)	Becker Method
NO_2-N (mg/l)	Method 419 (Standard Methods)
NO_3-N (mg/l)	Method 418A (Standard Methods)
Alkalinity (mg/l)	Method 508B (standard methods)
COD (mg/l)	Method 2320 (Standard methods)

3. Results and discussion

Climbing perch (Anabas testudineus) is a freshwater perch in tropical and subtropical Asia. Climbing perch has high fecundity. It is an anabantid which occurs mainly in lakes, swamps and estuaries sluggish flowing canals, medium to large rivers, flooded fields and stagnant waters in most tropical and subtropical Asia (Perera et al., 2013). Climbing perch is an economically important fish species in Thailand. Fish growth conditions and physicochemical parameters results were presented in Table 2. Fish average weight and length of this study experiment cages shown in Figure 2.

3.1. Growth Performance of Climbing perch

Table 2 Fish growth conditions and physicochemical parameters.

No.	Parameter	Mean ± SD	Minimum	Maximum
1.	**Growth condition (20 days)**			
	Fish weight (g), T-A	12.68 ± 5.05	5.9	22.0
	Fish weight (g), T-B	19.40 ± 3.87	13.4	27.4
	Fish weight (g), T-C	25.95 ± 5.95	18.1	38.1
	Fish length (cm), T-A	6.62 ± 1.03	4.8	8.3
	Fish length (cm), T-B	7.63 ± 0.71	6.5	8.7
	Fish length (cm), T-C	8.43 ± 0.98	6.7	10.5
2.	**Environment**			
	Solar radiation (W/m²)	414.85 ± 242.05	68	868
	Humidity (%)	50.8 ± 10.0	40.0	69.0
	Ambient Temperature (°C)	29.48 ± 0.31	29.08	30.00
3.	**Water quality in lagoon**			
	pH	6.46 ± 0.08	6.38	6.53
	DO (mg/l)	0.17 ± 1.50	1.32	1.65
	Water Temperature (°C), T-A	29.01 ± 0.22	28.54	29.28
	Water Temperature (°C), T-B	29.40 ± 0.44	28.49	29.98
	Water Temperature (°C), T-C	30.25 ± 0.68	29.08	30.98
	Conduct. (mg/l)	13.07 ± 0.25	12.80	13.30
	Turbidity (mg/l)	240.40 ± 26.90	220.5	271.0
	PO_4-P (mg/l)	0.024 ± 0.003	0.021	0.027
	NH_4-N_2 (mg/l)	0.121 ± 0.003	0.118	0.180
	Chl-a (mg/l)	0.233 ± 0.040	0.210	0.280
	NO_2-N (mg/l)	0.121 ± 0.018	0.621	0.654
	NO_3-N (mg/l)	0.013 ± 0.001	0.013	0.014
	Alkalinity (mg/l)	5000 ± 2500	2500	7500
	COD (mg/l)	1066.67 ± 461.88	800	1600

The experimental study, Climbing perch (Anabas testudineus, Bloch) average initial weight was 2.547 ± 0.154 g/fish and the initial length was 2.541 ± 0.202 cm. At 10 days, in normal fish cage (T-A), fishes average weight was 5.596 ± 0.841 g/fish and length was 4.7364 ± 0.643 cm. In the present observation in greenhouse fish cage (T-B), average weight was 9.6942 ± 0.539 g/fish and length was 5.6706 ± 0.483 cm. Furthermore, greenhouse through insulation fish cage integrated with hot air aerator (T-C), average weight was 11.113 ± 0.917 g/fish and length was 6.324 ± 0.596 cm. From the 20 days grown fish in normal fish cage (T-A), average weight 12.68 ± 5.05 g/fish and average length was 6.615 ± 1.028 cm;, greenhouse fish cage (T-B), average weight was19.40 ± 3.87 g/fish and length was 7.625 ± 0.707 cm; and greenhouse through insulation fish cage integrated with hot air aerator (T-C), average weight was 25.95 ± 5.95 g/fish and length was 8.430 ± 0.979 cm. In general, the favorable temperature could make proper process of fish eating and digestion. From the study results greenhouse through insulation fish cage integrated with hot air aerator experiments provide better results than others (T-A and T-B).

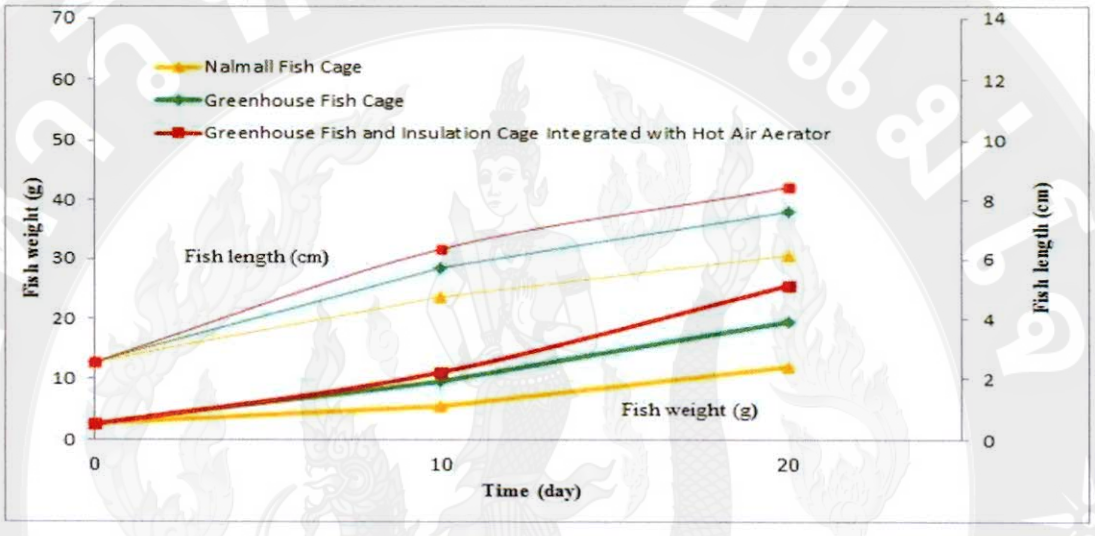


Figure 2. Fish weight and length of this study experiment cages

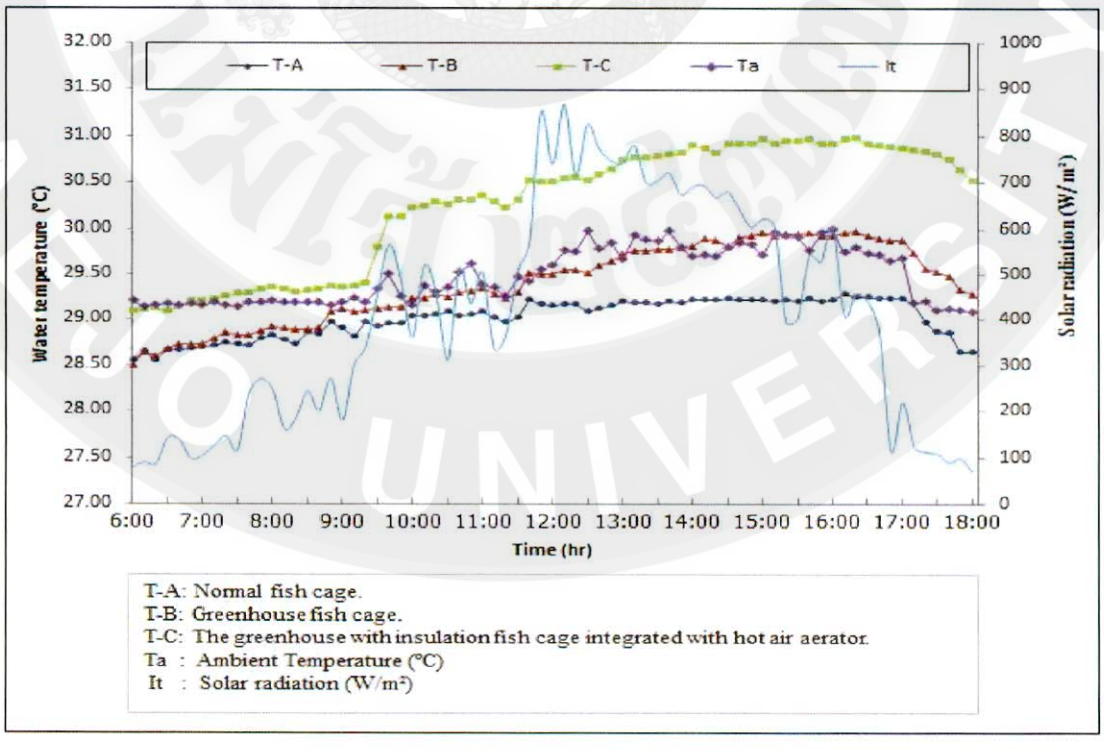


Figure 3. Water temperatures in this study experiment cages

3.2. Temperature difference in three types of cage system

Temperature may even play a part since many fish species are known to become more aggressive under warm and very cold conditions. Furthermore, survival of fish larvae is determined by the interplay of various environmental factors, such as temperature, food supply with a suite of species-specific characteristics (Amornsakun et al., 2000). The study results of water temperatures in three types of cages illustrated in figure 3. The average solar radiation was 414.85 ± 242.05 (W/m²) and humidity was 50.8 ± 10.0% also ambient temperature was 29.48 ± 0.31 °C, respectively. From 20 days study period, normal fish cage (T-A), greenhouse fish cage (T-B) greenhouse with insulation fish cage integrated with hot air aerator (T-C) were observed. The water temperature was shown in difference between these three experiments including normal fish cage (T-A) 29.01 ± 0.22 °C, greenhouse fish cage (T-B) 29.40 ± 0.44 °C and greenhouse with insulation fish cage integrated with hot air aerator (T-C) 30.25 ± 0.68 °C, respectively (Figure 3). During growth period, most water parameters in three types of cages were in suitable ranges for fish growth. However the greenhouse with insulation fish cage integrated with hot air aerator (T-C) system experessd the better results, due to reasonable higher temperature which is favorable fish intake more. It could helpful to fish growth rate higher than others (T-A and T-B). Consequently, this study is recommended the cage system with hot air aerator.

4. Conclusions

The climbing perch (Anabas testudineus), is a highly priced air breathing, freshwater food fish species. They are also well known for their taste, high nutritive value, and recuperative and other medicinal qualities. Climbing perch is a much demanded fish in Thailand. In this study, mainly focused on temperatures on three types of cage systems namely (1) normal fish cage, (2) greenhouse fish cage and (3) greenhouse with insulation fish cage integrated with hot air aerator were observed. The study experimental results suggested that greenhouse through insulation fish cage integrated with hot air aerator could helpful for higher fish growth rate also helpful for fish farmers.

References

Amornsakun T., Sriwatana W. and Promkaew P. (2005). Some aspects in early life stage of climbing perch, Anabas testudineus larvae. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 27(Suppl. 1), 403-418.

Baras E., Prignon C., Gohoungo G and Melard C. (2000). Phenotypic sex differentiation of blue tilapia under constant and fluctuating thermal regimes and its adaptive and evolutionary implications. Journal of Fish Biology. 57, 210-223.

Bikash Sarkar. and Tiwari G N. (2005). Thermal modeling of a greenhouse fish pond system. Agricultural engineering international: the CIGR ejournal. 8, 1-18.

Becker, E.W. (1994). Microalgae Biotechnology and Microbiology, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

Chapra, S.C. and Canale, R.P. (1989). Numerical methods for engineers. McGraw-Hill: New York.

Department of Fisheries. (2012). Information Technology Center., and Ministry of Agriculture and Cooperatives. Fisheries Statistics of Thailand, 2010. 12, 1-91.

Department of Fisheries. (2014). Information Technology Center., and Ministry of Agriculture and Cooperatives. Fisheries Statistics of Thailand, 2012. 9, 1-87.

Doaa M.A., Faten H.F., Ninet M.A. and Hassen T.D. (2011) Solar thermal aquaculture system controller based on artificial neural network. Engineering. 3, 815-822.

Dufie J. and Beckman W. (1991) Solar engineering of thermal processes. Second ed. John Wiley & Sons. Interscience. New York.

Gjedrem, T., Robinson, N., and Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demand of animal protein: A review. Aquaculture. 350-353,117-129.

Hirunlab J., Santisirisomboon J. and Namprakai P. (1994). Assessment solar radiation for Thailand. international workshop: calculation method for solar energy system. 29-30 September. Universite. Perpignan. France. 14 p.

Jabeen, F. and Chaudhry, A. S. (2011). Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. Food Chemistry. 125, 991-996.

Jain D. (2007) Modeling the thermal performance of an aquaculture pond heating with greenhouse. Building and Environment. 42, 557-565.

Liu, B. and Jordan, R. (1963) A rational procedure for producing the long-term average performance of flat-plate solar energy collectors. Solar Energy. 7, 53.

Perera P.A.C.T., Kodithuwakku, K.A.H.T., Sundarabarathy T.V., and Edirisinghe, U. 2013. Captive Breeding of Anabas testudineus (Climbing Perch) under Semi-artificial Conditions for the Mass Production of Fish Seed for Conservation and Aquaculture. Insight Ecology. 2: 8-14

Rosamond, L. N., Rebecca J. G, Jurgenne, H. P., Nils, K., Malcolm C. M. B., Jason, C., Carl, F., Jane, L., Harold, M., and Max, T. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature. 405, 1017-1024.

Temprasit W., Pasithi A., Wanno S., Suwanpakdee S., Tongsiiri S., Dussadee N. and Whangchai N. (2015) Effect of solar-induced water temperature on the growth performance of african sharp tooth catfish (Clarias gariepinus). International Aournal of Sustainable and Green Energy. 4(1-1), 39-43.

Tiwari, G.N. (2003). Greenhouse Technology for Controlled Environment: Narosa Publishing House, New Delhi and Alpha Science International Ltd, England.

Tribeni D., Tiwari G.N. and Bikash S. (2006). Thermal performance of a greenhouse fish pond integrated with flat plate collector. International Journal of Agricultural Research. 1 (5), 406-419.

Wisely, B., Holiday, J.E. and Macdonald, R.E. (1981). Heating an aquaculture pond with a solar pool blanket. Aquaculture. 26 (3-4), 385-387.

Whangchai N., Ungsethaphan T., Chitmanat C., Mengumphan K. and Uraiwan S. (2007). Performance of giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii de Man) reared in earthen ponds beneath plastic film shelters. Chiang Mai journal of sciences. 34, 89-96.

Wuttikit K. and Kiatsiriroat T. (2010) Study the possibility of using solar heating systems extra heat pumps to control temperature in fish ponds. The 2nd Agricultural Engineering and Environmental Science. Phayao University. Phayao. Thailand.

Zhu, S., Deltour J. and Wang, S. (1998). Modeling the thermal characteristics of greenhouse pond systems. Aqua cultural Engineering. 18, 201-217.

Mr. Piyaphong Yongphet[1],
Graduate Student,
(Master of Renewable Energy engineering),
School of Renewable Energy,
Maejo University, Sansai,
Chiang Mai-50290, Thailand.

Educational details:
B.Sc (Renewable Energy)
School of Renewable Energy,
Maejo University, Sansai,
Chiang Mai-50290, Thailand.

Dr. Natthawud Dussadee[2],
Assistant Professor & Director,
School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand.

Professional : 1. Agricultural Processes (Drying of Foods and Cereal Grains), 2. Energy Conservation (Energy Conservation in building and Industry), 3. Solar energy and Thermal Process (Solar Heating, Heat exchanger), 4. Computer Application (Computer Simulation, Computer Programming) and 5. Renewable Energy (Wind, Hydro, Biomass, Biofuel).

International Journal of New Technology and Research (IJNTR)
ISSN:2454-4116, Volume-2, Issue-3, March 2016 Pages 100-107

Effect of Greenhouse Cages Integrated with using Solar Energy on the Growth Performance on Freshwater Fish

Piyaphong Yongphet, Rameshprabu Ramaraj, Natthawud Dussadee*

Abstract— Currently, aquaculture based employment has been impact on fishery industry and gained awareness in worldwide. Northern parts of Thailand, cage fish farming are very important cultivation. It has contributed substantially to livelihoods, food demand, employment and income. Environmental factors are significant role in the fish culture especially, the temperature. It is fairly low in the Northern part of Thailand during in the winter, air temperature drops below 15 °C and difference between day and night about 15-20 °C. Generally, the appropriate and optimum temperature of fish culture was 28-32 °C. The average initial weight of fishes were 2.54±0.11 g at cultured for 120 days in 3 treatments, normal fish cage (T-A), greenhouse fish cage (T-B) and greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (T-C). The study investigation revealed that average water temperature and highest value were observed in treatments (T-C) (27.6 °C), followed by treatments (T-B) (26.7 °C) and treatments (T-A) (26.4 °C), respectively. After 120 days of culture, fishes in treatments (T-A) had significantly higher weight (121.35±5.33 g/fish) then treatments (T-B) (135.05±5.66 g/fish) and treatments (T-C) (143.87±5.07g/fish). Compared with treatment (T-C) with treatments (T-A) and (T-B) achieved more daily weight gain, equal to 16.1% and 6.8%, respectively. Also the specific growth rate was equal to 4.17% and 1.49%, respectively. Furthermore, the study focused on increasing and provides the optimum temperature using thermal performance of greenhouse fish cages integrated with hot air aerator through solar energy. In this study, Climbing perch (Anabas testudineus) fish was used. The system was developed for heating the fish cages with solar energy by greenhouse cage design is equipped with insulation to reduce heat loss by used foam and covered with bamboo which is economically helpful for fish farmer. Consequently, the results confirmed that possible to apply and increase water temperature through greenhouse fish cage integrated with reducing heat loss system.

Index Terms— Climbing perch, Fish Cage, Greenhouse, Temperature, Solar Energy.

I. Introduction

Aquaculture is the fastest growing food production industry and the vast majority of aquaculture products are derived from Asia. The quantity of aquaculture products directly consumed is now greater than that resulting from conventional fisheries [1]. As aquaculture production continues to increase and intensify, both its reliance and its impact on ocean fisheries are likely to expand even further [2]. Fish are a source of high quality protein, vitamins and essential minerals but, above all, a virtually unique, rich source of omega-3 long-chain poly-unsaturated fatty acids [3]. Thailand has a growing population (1 percent growth rate per annum in 2013-14) and needs large sources of protein foods. The present per capita availability of protein is necessary in daily requirements. Fish is an excellent and relatively a cheaper source of animal protein of high biological value.

Since there are many freshwater farms were increasing yearly basis in Thailand. Freshwater fish as a protein source is very importance source especially Northern part of Thailand. On 2012, freshwater fish farm areas containing 936,553 acres at Thailand, northern region freshwater fish farms had 142,055 acres. It was producing 673,700 tons with total value of approximately 36,264.9 million THB (1,032.81 million USD) in the northern part of Thailand [4]. Recently the using poly cage net on the river or lagoon have been increased, moreover in the nation poly cage net culture on the river or lagoon up to 703 acres and in northern part of Thailand up to 103 acres. In addition, farmers very interested in the freshwater fish farming and increased 14.56% last two years [5]. At present, the climbing perch fish have much successful business due to the development of improved varieties in Thailand. Because climbing perch have high growth rate, grow big size, resistance to disease and popular in local markets.

However, the influence of water temperature affects the fish growth. The fish will thrive in temperature range of 28-32 °C. If temperature is higher or lower it could affect the growth rate of fish [6]. Especially in the Northern part of Thailand, temperature is relatively low. In winter, air temperature drops below 15 °C and the temperature difference between day and night about 15-20 °C [7]. The fishes were cultured in the winter and raining seasons there was dwindling number. In contrast, the price of fish was increasing during this season 50-80% from regular price. Farmers have to manage and increase the quality for culturing fish in cages. The temperature is effects of culture fishes in the winter or raining season directly. Low water temperature is affecting the fish growth rates. If low temperature occur fishes could not eat. That's main reason, fish had a dwindling number.

According to [8] open and inside greenhouse condition can identify the influence of water temperature on fish growth during winter period and temperature can increase (3.58-6.79

Piyaphong Yongphet, School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand;
Rameshprabu Ramaraj, School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand; and Energy Research Center, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand;
Natthawud Dussadee, School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand; and Energy Research Center, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand; ***Corresponding author**

°C) compared with outside tanks. Zhu et al. [9] stated that from the simulation results, in a 1-m pond, a passive polyethylene greenhouse pond systems can be achieved 5.2°C increasing in water temperature compared with outside air temperature.

In general, farmers have to cultured fish until growth to mature around 6-8 months to be sold But it can shorten the time to culture with about 3-4 months which must to control water temperature is in range of 28-32 °C at winter and rainy seasons. This approach could reduce production costs and save time. However, different types growing methods and detailed information of culturing climbing perch still not fully developed. Cultured cage fishes in river or lagoon for space-saving and water usage studies needed. In addition, the solar energy could be applicable for low-cost energy to keep the water temperature maintenance around culturing area. Several researchers reported open air-pond temperature system, greenhouse or plastic shelter pond and greenhouse thermal environment under both steady and transient condition [9-11]. Furthermore, greenhouse fish cages by integrated with hot air aerator using solar energy along with insulation to reduce heat loss by using foam and covered with bamboo. Bamboo is very strong and can use in side river or lagoon for long time. And also can find in area which is economically helpful for fish farmer. Accordingly, this paper describes an experimental study of the impact of net cages culturing, detailed information of culturing climbing perch with outdoor fish cage, greenhouse fish cage and greenhouse fish cage with hot air aerator. In addition, in this study applied solar energy as a source of low-cost energy to keep the water temperature increases using plastic greenhouses to raise the temperature.

II. Materials and Methods

A. Location of experimental area and fish cage setting

The study was carried out between July and November 2015 in a lagoon (18° 53' 24" N 99° 2' 16" E), near to Maejo University, Chiang Mai, Northern part of Thailand. The experiment cages were shown in figure 1. And demonstrated the layout diagram of experimental greenhouse with fish cages were shown in figure 2.

The experiment was divided into three units including 1) normal fish cage i.e. outdoor fish cage (treatment A, T-A), spread a poly cage net, nylon net was used (pour size = 2 cm, length = 200, width = 300, height=150 cm), 2) greenhouse fish cage (treatment B, T-B), was construct by parabolic roof structure made from poly ethylene (0.15 mm, UV 7%) and five blue plastic tanks for floats on water surface. The system size (width= 330 cm, length=400 cm, and height= 205 cm) along with covered and spread a poly cage net (layer = 2 mm, size length = 200 cm, width =300 cm and height =150 cm). Inside greenhouse fish cage was allowed to 1 meter depths from the water surface. And greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (treatment C, T-C) were shown in figure 2. Furthermore, treatment 2 (T-B) was used foam and covered with bamboo to reduce heat loss and size including length = 210 cm, width =320 cm and height =150 cm.

B. Organism

Climbing perch (Anabas testudineus) was used. The initial weight of fish average was 2.55 ± 0.11 g/fish. Three hundred climbing perch fishes were used in this experimental study. The study found that climbing perch have the patience, afforded and pet-friendly. An area of 1-2 m2 can be fed for consumption or sell it. Because in area 1 m × 1 m × 0.8 m (width × length × deep) can release the fish were 35-50 fishes

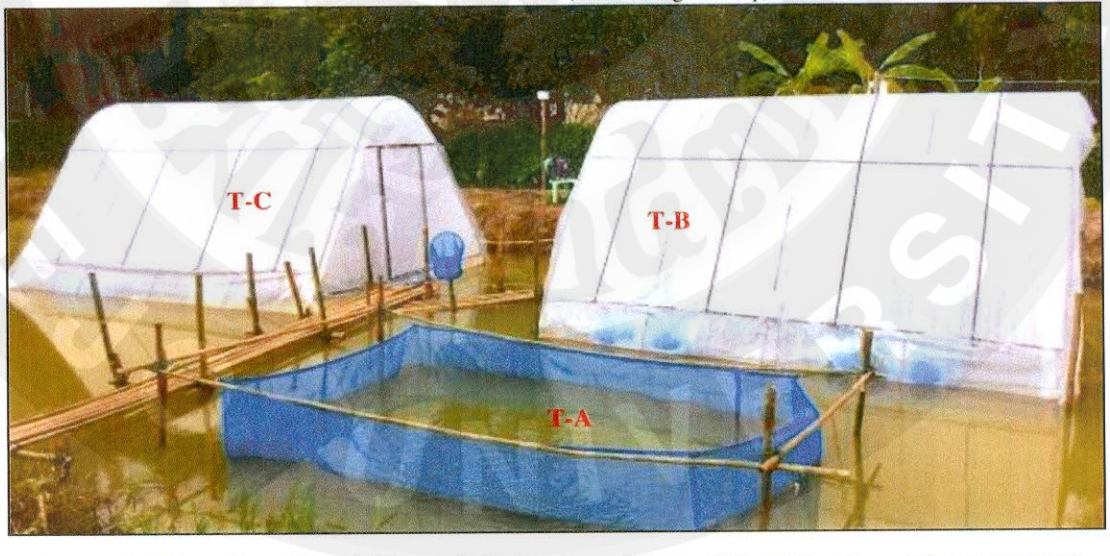


Figure 1. Experiment Cages: Normal fish cage (T-A), Greenhouse fish cage (T-B) and Greenhouse fish cage integrated with reduce heat loss system (T-C)

International Journal of New Technology and Research (IJNTR)
ISSN:2454-4116, Volume-2, Issue-3, March 2016 Pages 100-107

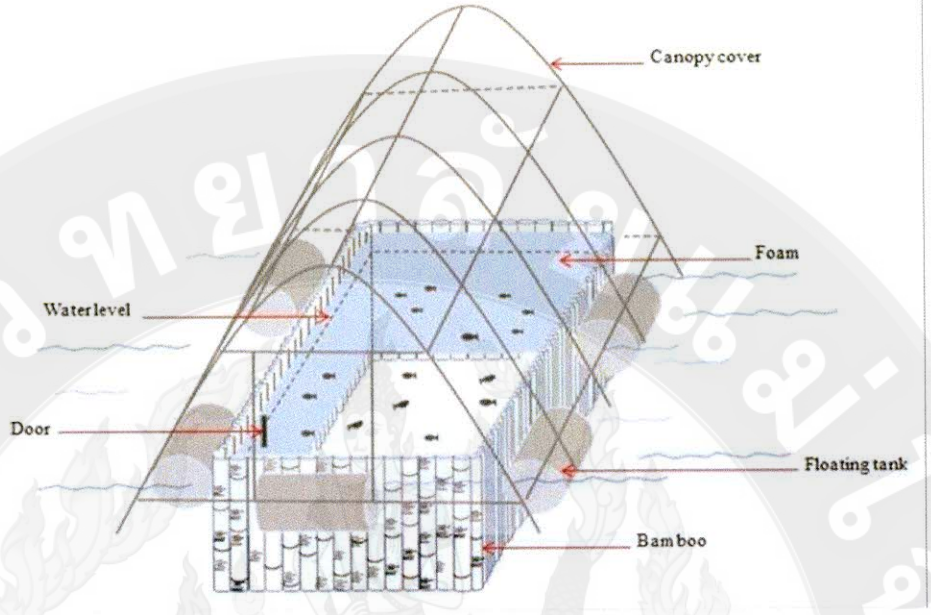


Figure 2. Greenhouse fish cage integrated with reduce heat loss system

C. Experimental diets and feeding

Climbing perch fish were fed by floating food (manual) method during the entire experimental period. Fish feed was formulated with locally available materials including soybean, rice Bran, compressed coconut meal, steamed soybeans and corn. Feed containing protein 25%, fat 3% and other nutritious 8% with humidity 12%. Feeds were supplied to fish at a frequency of 3 times per day (06:00-07:00 am; 12:00-13:00 pm; and 05:00-06:00 pm) and 3% by weight.

D. Data analysis

All physico-chemical analyses were carried out during study period and detailed methods were presented in Table 1. The length of experimental fish was measured in centimeters with an ordinary scale. Weight was measured to the nearest by electronic balance (Model SF-400A AFD), with the help of small plastic bucket. Solar radiation was measured by a solar power meter (Model DT-1307), and it placed on the roof of the greenhouse fish cage. Thermocouples (Type K) used to measure air temperatures and water temperatures. Water temperatures were measured 10.0, 30.0, 100.0 cm and soil surface in lagoon depths from water surface of lagoon. Thermocouples were recorded every 10 minutes by a multi-channel data logger (Lega, Model TM-947SD). The experiments were started at 6.00 am and continued till 6.00 am another day (24 h). Water samples were collected from the experimental zone at lagoon for nutritional and physiochemical analyzes. The sample was transferred to the laboratory at the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai, Thailand.

Table 1: Physiochemical parameter in lagoon.

Parameter	Equipment or method
pH	Method 423 (pH value)
DO (mg/l)	Method 421B (azide modification)
EC (ds/m) Turbidity (mg/l)	DO meter (YSI Model 59)
TKN (mg/L)	Method 420A (macro-kjeldahl method) with Method 417B (nesslerization method (direct & following distillation)) for final ammonia.
Alkalinity ($mgCaCO_3/L$)	Method 403 (alkalinity)
Temperature (°C)	Data logger (Lega, Model TM-947SD), and Thermocouples (Type K)
COD (mg/l)	Method 508B (closed reflux, titrimetric method)

a All processes follow standard method.

E. Experimental procedure:

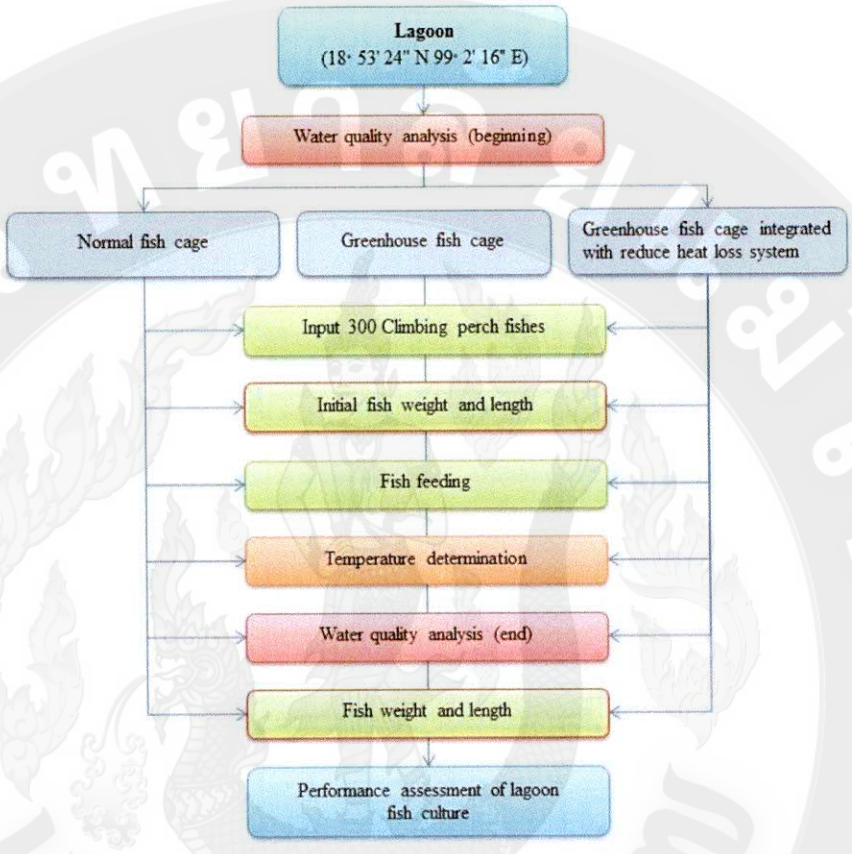


Figure 3. Experimental procedure

III. Results and Discussion

A. Growth Performance of Climbing perch

Climbing perch (Anabas testudineus) is a freshwater perch in tropical and subtropical Asia. Climbing perch has high fecundity. It is an Anabantidae (family of perciform fish) which occurs mainly in lakes, swamps and estuaries sluggish flowing canals, medium to large rivers, flooded fields and stagnant waters in most tropical and subtropical Asia [12]. Climbing perch is an economically important fish species in Thailand. Fish growth conditions and physicochemical parameters results were presented in Table 2. Fish average weight and length of this study experiment cages shown in Figure 4 and 5.

Table 2: Physiochemical parameter in lagoon.

No.	Elements	Before feeding fish			After feeding fish		
		Mean ± SD	Minimum	Maximum	Mean ± SD	Minimum	Maximum
1.	pH	6.46±0.08	6.38	7.09	6.96±0.12	6.86	7.09
2.	DO (mg/L)	1.50±0.17	1.32	1.65	8.25±0.05	8.20	8.30
3.	EC (ds/m)	13.07±0.25	12.80	13.30	121.57±0.40	121.20	122.00
4.	Turbidity (NTU)	240.40±26.90	220.50	220.50	629.00±30.61	600.00	661.00
5.	TKN (mg/L)	0.80±0.07	0.75	0.85	22.42±0.00	22.42	22.42
6.	Alkalinity (mg_{CaCO_3}/L)	250.00±0.00	250.00	250.00	200±70.71	150.00	250.00
7.	COD (mg/L)	78.00±2.83	76.00	64.00	62.00±2.83	60.00	64.00

* Note: water features of Greenhouse fish cage integrated with reduce heat loss system (T-C) for four mounts.

International Journal of New Technology and Research (IJNTR)
ISSN:2454-4116, Volume-2, Issue-3, March 2016 Pages 100-107

Environmental factors affecting fish culture including adequate oxygen, proper temperature, transparency, limited levels of metabolites [13] and water quality has influence on fishes [14]. For understating on the fish cultivation important factor is water determinations. It could help us know the success or failure of an aquaculture operation [15]. The study was carried out between rainy seasons to start winter on lagoon for agriculture. Form beginning to inspect water quality analysis before release the fish. From 120 days culture, the results of water quality analysis show that pH was 6.46±0.08 to 6.96±0.12, DO was 1.50±0.17 mg/l to 8.25±0.05 mg/l, turbidity was 240.40±26.90 NTU to 629.00±30.61 NTU. The optimum pH for fish is between 6.5 and 8.5. The pH distribution of the surface waters showed that it was slightly alkaline. High pH values of 8.0/8.1 were during the dry season while pH dropped during the rainy and harmattan seasons. This drop in pH from 8.1 - 7.3 was probably due to the stirring effect of the raining that have more waters [16]. Dissolved oxygen affects the growth, survival, distribution, behavior and physiology of the aquatic animals [17].

Their optimum concentration is 8-10 mg per liter, and if the level declines below 3 mg per liter could affect the fish growth [18]. Turbidity is the resultant effect of several factors such as suspended clay particles, dispersion of plankton organisms, particulate organic matters and also the pigments caused by the decomposition of organic matter [19-20]. Fish culture during 20-30 NTU is suitable. In this study is observed over more turbidity and during 20-30 NTU is suitable for fish culture [21]. From the experimental results were observed over more turbidity because the lagoon is clay and closed. The alkalinity results were 250±0.00 mg$CaCO_3$/L to 200±70.71 mgCaCO3/L. Good value for fish culture is 50-300 mg L^{-1} [22]. Higher than 20ppm indicates poor status of water quality, 20-50 ppm shows low to medium, 80-200 ppm is desirable for fish/prawn and less than 300 ppm is undesirable due to non-availability of CO_2 [23]. The Electrical conductivity of water was 13.07±0.25 ds/m to 121.57±0.40 ds/m, total Kjeldahl nitrogen were 0.80±0.07 mg/L to 22.42±0.00 mg/L. And the COD of water confirmed that 78.00±2.83 mg/L to 62.00±2.83 mg/L; and the ideal value of COD should be less than 50 mg/l for fish culture [24]. Consequently, the water quality results were encouraged the fish cultivation in this lagoon.

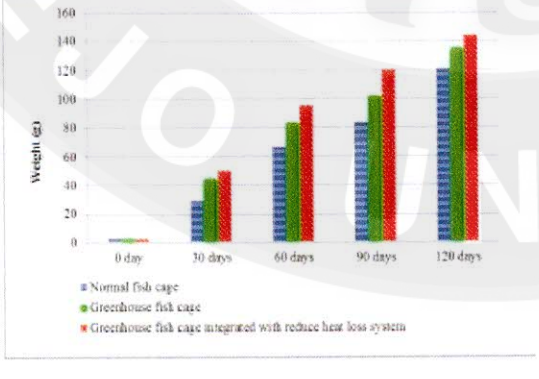


Figure 4. Fish weight of this experimental study

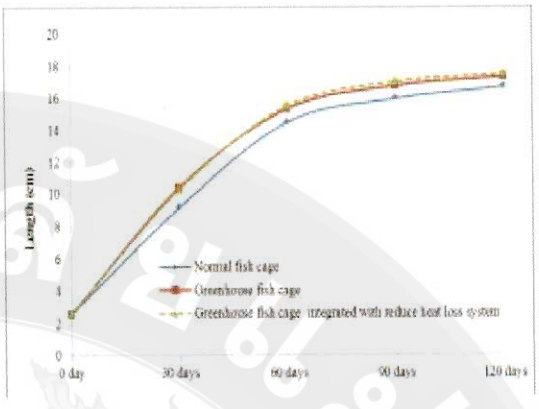


Figure 5. Fish length of this experimental study

There are very few reports available of common climbing perch fish rearing in greenhouse fish cage in Thailand and abroad. The temperature is an important parameter for fish growth. Greenhouse water showed uniform water temperature throughout the day and night and observed that fish under greenhouse had elevated consumption and activity [25]. Temperature variation of only a few degrees represents a proportionally large change for fish growth and survivability [26]. The growth of the fish on different sample is consistent with culture for eating food. Water temperature contributes to the appearance of eating fish. Cultured for 120 days in 3 treatments, normal fish cage (T-A), greenhouse fish cage (T-B) and greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (T-C) were cultured for 120 days in 3 treatments, normal fish cage (T-A), greenhouse fish cage (T-B) and greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (T-C). Will see clearly Compared treatments (T-C) with treatments (T-A) and (T-B) will grow well over 15.65% and 6.13%, respectively were shown in Table 3. Since the metabolism of fish is affected by temperature and other environmental factors [27]. Therefore, using plastic film covering over ponds resulted in higher growth performance and lower production cost. It is therefore a promising method for farmers to culture the freshwater during the cold season [28].

The initial weight of fish average was 2.54±0.11g/fish and the initial length of fish average was 2.54±0.16 g/fish for Experiment Cages: Normal fish cage (T-A), Greenhouse fish cage (T-B) and greenhouse fish cage integrated with reduce heat loss system (T-C). After four mounts that finally weight of fish average was 121.35±5.33, 135.05±5.66, and 143.87±5.07 g/fish, respectively. And finally length of fish average was 16.68±0.36, 17.31±0.44, and 17.49±0.33 g/fish, respectively. So daily weight gain (DWG) was 0.99, 1.10, and 1.18 g/day, respectively. Specific growth rate (SRG) was 3.22, 3.31, and 3.36 %/day, respectively. And Survival Rate was 87.7, 86.0, and 90.3%, respectively.

Table 3: Fish growth analysis .

Simple code	Weight (g)		Length (cm)		DWG (g/day)	SGR (%/day)	Survival Rate (%)
	Start	End	Start	End			
T-A	2.54±0.11	121.35±5.33	2.54±0.16	16.68±0.36	0.99	3.22	87.7
T-B	2.54±0.11	135.05±5.66	2.54±0.16	17.31±0.44	1.10	3.31	86.0
T-C	2.54±0.11	143.87±5.07	2.54±0.16	17.49±0.33	1.18	3.36	90.3

* Note: Daily weight gain (DWG), Specific growth rate (SRG)

B. Temperature difference in three types of cage system

Temperature may even play a part since many fish species are known to become more aggressive under warm and very cold conditions. Furthermore, survival of fish larvae is determined by the interplay of various environmental factors, such as temperature, food supply with a suite of species-specific characteristics [29]. The study results of water temperatures in three types of cages illustrated in figure 6. The average solar radiation was 429 (W/m²) and ambient temperature average was 27.4 °C on day time and 20.7 °C on night time also soil surface in lagoon temperature average was 26.2 °C on day time and 25.9 °C on night time, respectively. The average temperatures inside greenhouse fish cage and greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system was 36.1°C, and 35.8 °C on day time and 23.2 °C, and 23.3 °C on night time, respectively.

From 120 days study period, normal fish cage (T-A), greenhouse fish cage (T-B) greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (T-C) were observed. The average water temperature was shown in difference between these three experiments including normal fish cage (T-A) 26.4 °C on day time and 26.2 °C on night time, greenhouse fish cage (T-B) 26.7 °C on day time and 26.4 °C on night time and greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (T-C) 27.6 °C on day time and 26.5 °C on night time, respectively (Figure 7). During growth period, most water parameters in three types of cages were in suitable ranges for fish growth. However the greenhouse with insulation fish cage integrated with reduce heat loss system (T-C) system expressed the better results, due to reasonable higher temperature which is favorable fish intake more. It could helpful to fish growth rate higher than others (T-A and T-B). Consequently, this study is recommended the greenhouse fish cage integrated with reduce heat loss system.

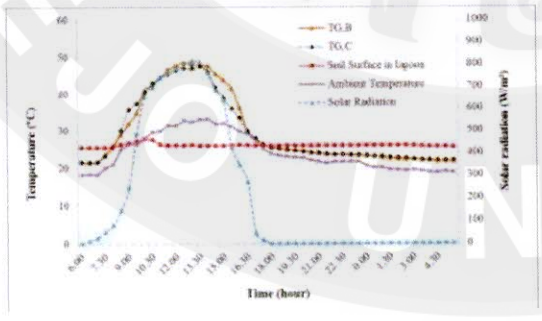


Figure 6. Temperatures in this study experiment cages. TG, B = Temperatures inside greenhouse fish cage and TG,C = Temperatures inside greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system.

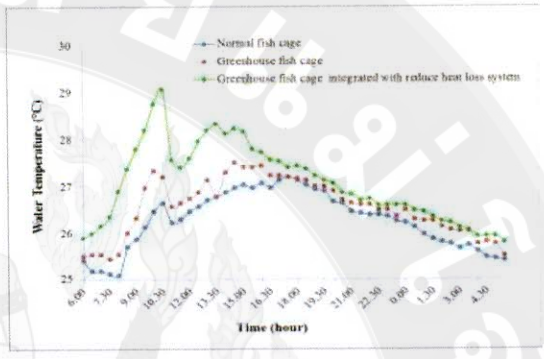


Figure 7. Water temperatures in this experimental study.

Adding water temperature suitable for the growth of the fish by using a greenhouse is the one of the best alternative. Water temperature attains maximum at 16:00 and minimum in the early morning 4:00 to 5:00 for greenhouse [30]. Water temperature can be maintained higher in greenhouse system [9],[10],[31]. In greenhouse systems, water is an excellent medium for the collection and storage of solar energy, thus an aquaculture system can function as a passive solar collector and heat stored in solar architecture [32]. From our study, It can be observed that inside greenhouse fish cage (T-B and T-C) air temperature higher than open condition (T-A). The rise in temperature due to greenhouse effect and reduced heat losses from greenhouse to ambient condition are responsible for the increase of greenhouse air temperature [26]. Water temperature inside greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system (T-C) showed higher temperature than normal fish cage (T-A) and greenhouse fish cage (T-B). However, possible to using foam and covered with bamboo to reduce heat loss in system; and greenhouse system can provide the favorable water for fish farming during the winter season [33]. The water temperature is close to ideal water temperature for culture fish. Finally, additions of other technologies are might be assist in raising the water temperature further. Solar heating systems reduce conventional energy requirements for water heating in recirculation aquaculture systems [34]. Consequently, an excellent system could be display as resource recovery, energy conservation, reduces time for culturing fishes, water sparingly and maintenance of high water quality for active fish growth.

IV. Conclusions

The climbing perch (Anabas testudineus), is a highly priced air breathing, freshwater food fish species. They are also well known for their taste, high nutritive value, and

International Journal of New Technology and Research (IJNTR)
ISSN:2454-4116, Volume-2, Issue-3, March 2016 Pages 100-107

recuperative and other medicinal qualities. Climbing perch is a much demanded fish in Thailand. In this study, mainly focused on temperatures on three types of cage systems namely (T-A) normal fish cage, (T-B) greenhouse fish cage and (T-C) greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system were observed. Compared treatments (T-C) with treatments (T-A) and (T-B) results were presented an excellent growth over 15.65% and 6.13%, respectively. Therefore, using plastic film covering over ponds resulted in higher growth performance and lower production cost. Therefore, our study systems confirm that could be a promising method for farmers to culture the freshwater during the cold season. The study experimental results suggested that greenhouse through insulation fish cage integrated with hot air aerator could helpful for higher fish growth rate also helpful for fish farmers.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are thankful to Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand for providing scholarship support to carry out this experiment. Thankful to School of Renewable Energy and Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University for providing experimental equipment and instructions to this study.

REFERENCES

[1] Gjedrem, T., Robinson, N., and Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demand of animal protein: A review. Aquaculture. 350-353,117-129.

[2] Rosamond, L. N., Rebecca J. G., Jurgenne, H. P., Nils, K., Malcolm C. M. B., Jason, C., Carl, F., Jane, L., Harold, M., and Max, T. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature. 405, 1017-1024.

[3] Jabeena, F. and Chaudhry, A. S. (2011). Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. Food Chemistry. 125, 991-996.

[4] Department of Fisheries. (2012). Information Technology Center and Ministry of Agriculture and Cooperatives. Fisheries Statistics of Thailand, 2010. 12, 1-91.

[5] Department of Fisheries. (2014). Information Technology Center, and Ministry of Agriculture and Cooperatives. Fisheries Statistics of Thailand, 2012. 9, 1-87.

[6] Baras E., Prignon C., Gohoungo G. and Melard C. (2000). Phenotypic sex differentiation of blue tilapia under constant and fluctuating thermal regimes and its adaptive and evolutionary implications. Journal of Fish Biology. 57, 210-223.

[7] Temprasit W., Pasithi A., Wanno S., Suwanpakdee S., Tongsiiri S., Dussadee N. and Whangchai N. (2015) Effect of solar-induced water temperature on the growth performance of african sharp tooth catfish (Clarias gariepinus). International Aournal of Sustainable and Green Energy. 4(1-1), 39-43.

[8] Tribeni D., Tiwari G.N. and Bikash S. (2006). Thermal performance of a greenhouse fish pond integrated with flat plate collector. International Journal of Agricultural Research. 1 (5), 406-419.

[9] Zhu, S., Deltour J. and Wang, S. (1998). Modeling the thermal characteristics of greenhouse pond systems. Aqua cultural Engineering. 18, 201-217.

[10] Tiwari, G.N. (2003). Greenhouse technology for controlled environment: Narosa Publishing House, New Delhi and Alpha Science International Ltd, England.

[11] Wisely, B., Holiday, J.E. and Macdonald, R.E. (1981). Heating an aquaculture pond with a solar pool blanket. Aquaculture. 26 (3-4), 385-387.

[12] Perera P.A.C.T., Kodithuwakku, K.A.H.T., Sundarabarathy T.V., and Edirisinghe, U. 2013. Captive Breeding of Anabas testudineus (Climbing Perch) under semi-artificial conditions for the mass production of fish seed for conservation and aquaculture. Insight Ecology. 2: 8-14.

[13] Bhatnagar, A. and Devi, P. (2013). Water quality guidelines for the management of pond fish culture. International Journal of Environmental Sciences. Volume 3, No.6.

[14] Swann, LaDon. (1993). Water sources used in aquaculture. illinois-indiana sea grant program. AS-486. Purdue University, West Lafayette, IN. 4pp.

[15] Swann, L.D., (1997). A fish farmer's guide to understanding water quality, aquaculture extension Illinois, Purdue University, Indiana Sea Grant Program Fact Sheet AS-503.

[16] Araoye PA (2009). The seasonal variation of pH and dissolved oxygen (DO2) concentration in Asa lake Ilorin, Nigeria. International Journal of Physical Sciences. Vol. 4 (5), pp. 271-274.

[17] Solis, N.B., (1988). The biology and culture of Penaeus Monodon, Department Papers. SEAFDEC Aquaculture Department, Tigbouan, Boilo Philippines, pp 3-36.

[18] Svobodová, Z.; Lloyd, R.; Máchová, J.; Vykusová, B.Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

[19] Araoye PA (2007). Aspect of meteorological factors and temperature regime of Asa lake, Ilorin Nigeria. The Zoologist. pp.39-46.

[20] Bhatnagar, A., Jana, S.N., Garg, S.K. Patra, B.C., Singh, G. and Barman, U.K., (2004). Water quality management in aquaculture, In: Course Manual of summer school on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters, CCS Haryana Agricultural, Hisar (India), pp 203- 210.

[21] Zweigh, RD. (1989) Evolving water quality in a common carp and blue tilapia high production pond. Hydrobiologia 171: 11-21.

[22] Santhosh, B. and Singh, N.P., (2007), Guidelines for water quality management for fish culture in Tripura, ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Center, Publication no.29.

[23] Bhatnagar, A., Jana, S.N., Garg, S.K. Patra, B.C., Singh, G. and Barman, U.K., (2004). Water quality management in aquaculture, In: Course Manual of summerschool on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters, CCS Haryana Agricultural, Hisar (India), pp 203- 210.

[24] Bhavimani, H. and Puttaiah, ET. (2014) Fish culture and physico-chemical characteristics of Madikoppa Pond, Dharwad Tq/Dist, Karnatak. Hydrol Current Res 5: 162. doi:10.4172/2157-7587.1000162.

[25] Musal S., Orina P.S., Aura C.M., Kundu R., Ogello E.O., and Munguti J.M. (2012). The effects of dietary levels of protein and greenhouse on growth, behaviour and fecundity of Nile tilapia (Oreochromis niloticus L.) Broodstock. International Journal of Science and Research (IJSR). 2271-2278.

[26] Tiwari, G. Sarkar, B., and Ghosh, L. 2006. observation of common carp (Cyprinus carpio) fry-fingerlings rearing in a greenhouse during winter period. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 05 019. Vol.VIII.

[27] Gardeur JN, Mathis N, Kobilinsky A, Brun-Bellut J.(2007) Simultaneous effects of nutritional and environmental factors on growth and flesh quality of Perca fluviatilis using a fractional factorial design study. Aquaculture, 273: 50-63.

[28] Whangchai N., Ungsethaphan T., Chitmanat C., Mengumphan K. and Uraiwan S. (2007). Performance of giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii de Man) reared in earthen ponds beneath plastic film shelters. Chiang Mai journal of sciences. 34, 89-96.

[29] Amornsakun T., Sriwatana W. and Promkaew P. (2005). Some aspects in early life stage of climbing perch, Anabas testudineus larvae. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 27(Suppl. 1), 403-418.

[30] Mohapatra, B.C., Sing, S.K., Sarkar, B., Majhi, D., and Sarangi, N. 2007. Observervation of Carp Polyculture with Giant Freshwater Prawn in Solar Heated Fish Pond. Journal of Fisheries and Aquatic Science. 2 (2), 149-155.

[31] Li S., Willits D.H., Browdy C.L., Timmons M.B., and Losordo T.M. 2009. Thermal modeling of greenhouse aquaculture raceway systems. Aquacultural Engineering. 41, 1–13.

[32] Zweig, R..D. (1986). An integrated fish culture hydroponic vegetable production system. Agricultural Magazine. 34-40.

[33] Jain D. (2007) Modeling the thermal performance of an aquaculture pond heating with greenhouse. Building and Environment. 42, 557-565.

[34] Fuller R.J. (2006). Solar heating systems for recirculation aquaculture. Aquacultural Engineering. 36, 250-260.

Effect of Greenhouse Cages Integrated with using Solar Energy on the Growth Performance on Freshwater Fish

Mr. Piyaphong Yongphet, Graduate Student, (Master of Renewable Energy engineering), School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand. **Educational details:** B.Sc (Renewable Energy) School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand.

Dr. Rameshprabu Ramaraj, M.Sc., M.Phil., Ph.D., Lecturer, School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand and Energy Research Center, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand; **Professional in scientific and engineering field:** biology (animal, plant & microbes), aquatic insects, medical entomology, ecology and environmental science, algae cultivation, isolation, identification and biomass analysis, algae growth fermenters and reactor analysis, biochemical analysis and water quality analysis, sustainable resource engineering, environment and ecological engineering, bio-statistical analysis and related software applications, biofuels (biodiesel, hydrogen, ethanol & biogas) and solid fuels.
List of publications:
https://www.researchgate.net/profile/Rameshprabu_Ramaraj/publications

Dr. Natthawud Dussadee, M.Eng., M.Sc., Ph.D., Assistant Professor & Director, School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai-50290, Thailand. **Professional:** 1. Agricultural Processes (Drying of Foods and Cereal Grains), 2. Energy Conservation (Energy Conservation in building and Industry), 3. Solar energy and Thermal Process (Solar Heating, Heat exchanger), 4. Computer Application (Computer Simulation, Computer Programming) and 5. Renewable Energy (Wind, Hydro, Biomass, Biofuel).
List of publications:
https://www.researchgate.net/profile/Natthawud_Dussadee/publications

การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระชังเลี้ยงปลาทับทิมในโรงเรือน

Application of Solar Energy for Increasing Efficiency of Greenhouse Nile Tilapia Fish Cage

ปิยะพงษ์ ยงเพชร[1], ธเนศ ไชยชนะ[2], สราวุธ พลวงษ์ศรี[2], เสริมสุข บัวเจริญ[2], Rameshprabu Ramaraj[2] และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี[2,*]

[1]สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[2]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

* E-mail: natthawud92@gmail.com; natthawu@mju.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอีกอาชีพที่เกษตรกรให้ความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องด้วยกลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญตามกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ เนื้อปลาจัดเป็นอาหารปริมาณไขมันต่ำเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่นและเนื้อปลาทับทิมการเป็นเมนูอาหารที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความนิยม โดยปลาทับทิมมีปริมาณไขมันเพียง 0.9 เปอร์เซ็นต์ ยังพบว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 มีมากถึง 4.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการประมงและได้รับการให้ความสำคัญในระดับโลก การเพิ่มปริมาณผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการ การลดระยะเวลาในการเลี้ยง และการลดต้นทุนในการผลิต ทั้งนี้การควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้เข้าใกล้ช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ในฤดูหนาวและฤดูฝน จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและประหยัดเวลาในการเพาะเลี้ยงปลาทำให้เพิ่มจำนวนผลผลิต ในงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังโดยการสร้างโรงเรือนพลาสติกมีโครงสร้างเหล็กโค้งรูปพาราโบลาและปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนคลุมกระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนของอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์ออกสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ ทดลองเลี้ยงปลาทับทิมจำนวน 3 ซ้ำ ระยะเวลา 90 วัน ทำการเปรียบเทียบกับการเลี้ยงในกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไป ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 10.68 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยเมื่อคิดจากน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.94 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน และการเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์มีอัตรารอดตายเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 92.67 ± 1.15 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองยังพบอีกว่าปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์มีเจริญเติบโตได้ดียิ่งกว่าการเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังทั่วไป 44.76 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้กระชังเลี้ยงปลาในโรงเรือนแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 28.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมากกว่าการเลี้ยงในกระชังแบบทั่วไปที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 8.86 เปอร์เซ็นต์ วัสดุที่นำมาใช้สะดวกต่อเกษตรกรเพราะสามารถหาได้ในท้องถิ่นและมีราคาถูก เป็นการประยุกต์นำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้พบว่าการเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ดีในช่วงฤดูหนาวทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนและระยะเวลาในการเลี้ยงปลาทับทิม สร้างรายได้เพิ่มมากขึ้น

คำหลัก: พลังงานแสงอาทิตย์, กระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์, อุณหภูมิน้ำ, ปลาทับทิม และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Abstract

Currently, aquaculture farming career is the more popular worldwide due to the majority of consumers turn to focus on the consumption of healthy food. The fish is a low fat diet compared with other meats, and Nile tilapia is the most popular with consumers. It has fat content 0.9%, the rich source of omega-3 long-chain, poly-unsaturated fatty acids contains up to 4.0%. These details are making the rate of economic growth is rapidly increasing. Rate of economic growth has been impact on fishery industry and gained awareness in universal. Therefore, increase the productivity to meet the demand, reducing the duration of the culturing and production costs. Generally, the control water temperature for appropriate and optimum

temperature of fish culture was 28-32 °C in winter and rainy seasons. That can reduces manufacturing cost and time savings, increased production of culturing fish. In this study, the research was conducted to optimize the application of renewable energy for culturing Nile tilapia in fish cage. The improvements include the installation of greenhouse plastic parabolic roof structure covered with poly ethylene was integrated with reduce heat loss system was used foam and covered with bamboo to reduce heat loss. The experiment was conducted with three replications, cultured of 90 days and compared to raising fish in normal fish cages. The results showed that the water temperature increased an average of 10.68%, specific growth rate were 3.94 ± 0.08 percent/day, and survival rate was 92.67 ± 1.15%. The trial also found that fish reared in the greenhouse fish cage are growing better than raising fish in normal fish cages 44.76%. The thermal efficiency of the greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system was 28.31% and the thermal efficiency of normal fish cages was 8.86% .This is efficient more than conventional culturing. The used material are easy to find and cheap, furthermore the application of renewable energy utilization as well. Moreover, the greenhouse fish cage was integrated with reduce heat loss system can work well in the winter season.
Keywords: Solar energy, Greenhouse fish cage, Water temperature, Nile tilapia, Aquaculture.

1. บทนำ/วัตถุประสงค์ของงาน

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นแหล่งอาหารที่มีขนาดใหญ่และส่วนใหญ่มีแหล่งการผลิตอยู่ในทวีปเอเชีย[1] ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นตามกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ[2] ทั้งนี้ปลาถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโปรตีนสูง วิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายอุดมไปด้วยโอเมก้า 3 สายโซ่ยาวกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีความสำคัญสำคัญต่อสมองและจอประสาทตา[3] จากสถิติประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556-2557 มีอัตราการเพิ่มประชากรร้อยละ 1 ต่อปี ดังนั้นความต้องการในการบริโภคอาหารที่มีโปรตีนสูงจึงมีความจำเป็นต่อประชาชนในแต่ละวันและเนื้อปลานั้นก็ถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมสำหรับคนไทยเนื่องจากมีราคาต่ำกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นและคุณค่าทางอาหารสูง อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยสภาพภูมิประเทศทางภาคเหนือของประเทศไทยเป็นภูเขาสูงทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำซึ่งช่วงในฤดูหนาวเฉลี่ยต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ประกอบกับในช่วงกลางวันและกลางคืนก็จะมีอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส[4] จึงส่งผลให้เกษตรกรผู้ประกอบอาชีพเลี้ยงปลาไม่สามารถเลี้ยงปลาได้ทันต่อการบริโภคและยังคงต้องนำเข้าปลามาจากจังหวัดอื่นส่งผลให้ราคาปลาเพิ่มสูงขึ้นและคุณค่าทางก็อาหารลดลง

จากเศรษฐกิจการผลิตและการตลาดรวมถึงการเพิ่มจำนวนกลุ่มลูกค้า ส่งผลให้มีจำนวนเกษตรกรนิยมประกอบอาชีพการเพราะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น ในปี 2556 ประเทศไทยมีผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเท่ากับ 435,765 ตัน และภาคเหนือของประเทศไทยมีผลผลิตเป็น 23.38 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผลผลิตทั้งหมด แต่ยังมีผลผลิตลดน้อยลง 6.41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบผลผลิตจากสองปีที่ผ่านมา[5] การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความแปรปรวนของสภาพอากาศส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา จำนวนผลผลิตปลาน้ำจืดไม่เพียงพอเมื่อเทียบต่อความต้องการของผู้บริโภคจึงเกิดจากนำเข้าจากต่างจังหวัดรวมถึงประเทศเพื่อนบ้านอย่างเช่น ประเทศลาว และประเทศพม่า เป็นต้น เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิต่ำ ปลาท้องถิ่นส่วนใหญ่มีขนาดเล็กและไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ประกอบกับราคาปลาที่มาจากแหล่งอื่นมีราคาค่อนข้างสูงโดยเฉพาะช่วงฤดูหนาวราคาปลาน้ำจืดจะสูงกว่าราคาในช่วงอื่นประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผลผลิตปลาลดลง[6] หากมีวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเลี้ยงปลาน้ำจืดคงเป็นแนวทางที่ดีต่อเกษตรกรสำหรับการเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค

โดยทั่วไปเกษตรกรต้องใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงปลาประมาณ 6-8 เดือน/รอบการผลิต ทั้งนี้สามารถลดระยะเวลาในการเลี้ยงให้เหลือประมาณ 3-5 เดือน/รอบการผลิต โดยวิธีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ในฤดูหนาวและฤดูฝน วิธีการนี้จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและประหยัดเวลาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทำให้เพิ่ม

จำนวนผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการได้ จากงานวิจัยเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิน้ำมีผลต่อสภาวะการเจริญเติบโตของปลา ทำให้น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน) มีค่าสูงขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิน้ำในการเลี้ยงปลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชังช่วงฤดูหนาว การเพิ่มอุณหภูมิน้ำบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอีกเทคโนโลยีที่ประสบผลความสำเร็จมาแล้ว และมีความเป็นไปได้สูง[7-10] ถ้าสามารถเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิน้ำในช่วง 28-33 องศาเซลเซียส ปลาจะมีอัตราการเจริญเติบโตดี มีอัตราการเปลี่ยนเนื้อสูง ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงสั้นลง ซึ่งจะทำให้ผลิตปลาเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ [10] ดังนั้นบทความนี้อธิบายการศึกษาทดลองการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด โดยการนำโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์มาการประยุกต์ใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน) อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในสระเพื่อการเกษตรเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมในการลี้ยงปลา ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำในแต่ล่ะการทดลอง นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งของพลังงานที่มีต้นทุนต่ำเพื่อช่วยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นเพื่อช่วยการลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลาและเพิ่มผลผลิตปลาให้กับเกษตรกร

2. อุปการณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมสถานที่และอุปกรณ์ทดลอง

การศึกษาได้ดำเนินการทดสอบระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน 2016 ในสระน้ำเพื่อการเกษตร (18 ° 53 '24' 'N 99 ° 2' 16 "E) อยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย (ดังแสดงในรูปที่ 1)

รูปที่ 1 กระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์

การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ทดสอบเลี้ยงปลาในกระชังแบบทั่วไป กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2 เซนติเมตร ขนาด กว้าง 1 เมตร x ยาว 1 เมตร x และสูง 1.5 เมตร (จำนวน 3 ซ้ำ) และการทดลองที่ 2 คลุมด้วยโรงเรือนพลาสติกมีโครงสร้างเหล็กโค้งรูปพาราโบลาและปิดคลุมรอบด้านด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (0.15 มิลลิเมตร, UV 7%) กระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่ (ดังแสดงในรูปที่ 2) ขนาด กว้าง 2.1 เมตร x ยาว 3.2 เมตร x และสูง 1.5 เมตร และใส่กระชังอวนโพลีขนาดอวน 2 เซนติเมตร ขนาด กว้าง 1 เมตร x ยาว 1 เมตร x และสูง 1.5 เมตร (จำนวน 3 ซ้ำ) ไว้ด้านในกระชังเลี้ยงปลาแบบหุ้มฉนวน

รูปที่ 2 หุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกด้วยโฟมที่ห่อหุ้มด้วยไม้ไผ่

2.2 ชนิดของปลาที่ใช้ในการทดลอง

ปลาทับทิม (Nile tilapia) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Oreochromis niloticus mossambicus เป็นปลาที่นำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 3.14 ± 0.07 กรัม/ตัว ซึ่งปลาทับทิมมีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูง มีอัตราเจริญเติบโตเร็ว มีปริมาณไขมันเพียง 0.9 เปอร์เซ็นต์ และค่าโอเมก้า-3 ในปลา

ทับทิมมีมากถึง 4.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เป็นปลาที่ได้รับความนิยมสูงจากกลุ่มผู้บริโภคในปัจจุบัน

2.3 ชนิดและช่วงเวลาในการให้อาหาร

อาหารและการให้อาหาร อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารสำเร็จรูปลอยน้ำสำหรับปลาขนาดกลาง โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ให้วันละ 2 ครั้ง ที่เวลา 08.00-10.00 น. และ 16.00-18.00 น. ให้จนอิ่ม ตลอดระยะเวลาการทดลอง 90 วัน ตลอดการทดลองพร้อมจดบันทึกข้อมูลและงดให้อาหารปลาในวันสุ่มเก็บข้อมูล

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตขอปลาที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโต ทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของปลาทับทิมทั้งหมดทุก 30 วัน ในแต่ละชุดการทดลอง โดยการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมจากชุดการทดลองๆละ 30 ตัว (กระชังละ 10 ตัว) ตลอดระยะเวลา 90 วัน โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งหน่วยเป็นกรัม และวัดขนาดความยาวของลำตัวด้วยไม้บรรทัดหน่วยเป็นเซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของทับทิมดังนี้

ก. น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาทดลองสุดท้าย} - \text{น้ำหนักปลาทดลองเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}} \quad (1)$$

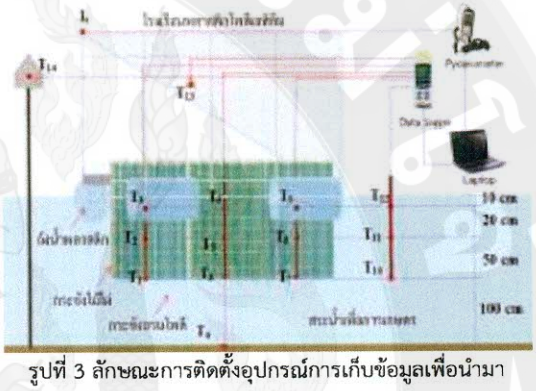
ข. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน)

$$= \frac{(\ln \text{น้ำหนักปลาทดลองสุดท้าย} - \ln \text{น้ำหนักปลาทดลองเริ่มต้น})}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}} \times 100 \quad (2)$$

ค. อัตรารอดตาย (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาทดลองเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง}}{\text{จำนวนปลาทดลองเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3)$$

การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพทางกายภาพและเคมีถูกดำเนินการในช่วงระยะเวลาการทดลองตลอด 90 วัน วัดขนาดความยาวของปลาด้วยระดับการวัดในหน่วยเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลหน่วยเป็นกรัม (Charge รุ่น HX-Z1 15kg × 0.5g) เก็บค่ารังสีแสงอาทิตย์โดยวัดจากเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ Solar Power Meter 1 W/m^2 Resolution, BTU w/m^2 (รุ่น DT-1307) เก็บค่าอุณหภูมิของน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 10.0 เซนติเมตร, 50.0 เซนติเมตร และ 100.0 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 3) วัดจากผิวน้ำด้านบนลงมา อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน และอุณหภูมิผิวดินใต้น้ำ บันทึกไว้ทุก 10 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์ (Lega รุ่น TM-947SD, สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K) การทดลองเก็บบันทึกข้อมูลเริ่มต้นที่เวลา 08:00 น. และต่อเนื่องจนถึง 16:00 น. เก็บตัวอย่างน้ำจากบริเวณที่ทำการทดลองสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้วยวิธีการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดลองสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและวิธีการทดสอบ

รายการ	วิธีการทดสอบ
pH	pH meter
Alkalinity	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed.,2012, Method 403
COD	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, Method 508B
Turbidity	Turbidimeter
TKN	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, Method 402A
DO	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, Method 421B
EC	Conductivity meter

2. การประเมินประสิทธิภาพทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาในโรงเรือนเบื้องต้น

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100 \qquad (3)$$

เมื่อ: η คือ ประสิทธิภาพ

Q_{output} คือ พลังงานที่ใช้ในการอุ่นน้ำในโรงเรือน

Q_{input} คือ พลังงานที่ตกกระทบพื้นที่กระชัง

โดยที่ $Q_{output} = \frac{m}{\Delta t} Cp\Delta T$ หน่วยวัตต์ (4)

m คือ มวลของน้ำในกระชัง (กิโลกรัม)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

Cp คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4,187 จูลต่อกิโลกรัม · องศาเซลเซียส

Δt คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา (วินาที)

และ $Q_{input} = IA_c$ หน่วยวัตต์ (5)

I_t คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

A_c คือ พื้นที่กระชังเลี้ยงปลา (ตารางเมตร) ทั้งนี้ใช้พื้นที่กระชังเลี้ยงปลามาคำนวณ

2.5 ขั้นตอนสำหรับการทดลอง

ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพและครบถ้วนตามขอบเขตที่ต้องการทดลอง มีขั้นตอนสำหรับการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 4)

รูปที่ 4 ขั้นตอนสำหรับการทดลอง

3. ผลการทดลอง

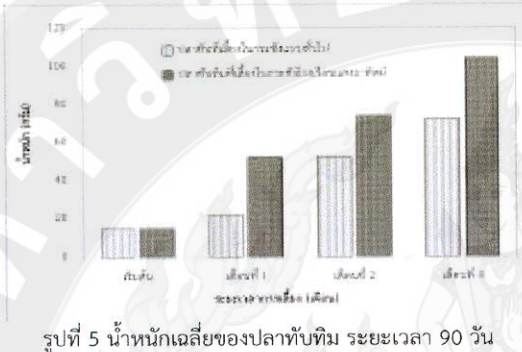
I. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตขอปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับการเลี้ยงในกระชังแบบทั่วไป

จากการทดลองได้ศึกษาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาทับทิม น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย (กรัม/วัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์/วัน) และเปอร์เซ็นต์อัตรารอดตายของปลาทับทิมที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียมกัน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

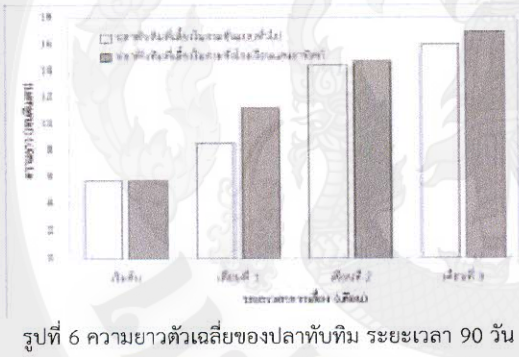
3.1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิม

การทดลองเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์และเลี้ยงในกระชังแบบทั่วไปด้วยอัตราความหนาแน่น 50 ตัว/กระชัง ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 3.14 ± 0.07 กรัม/ตัว และมีความยาวตัวเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 5.70 ± 0.10 เซนติเมตร/ตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 90 วัน ปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์และเลี้ยงในกระชังแบบทั่วไปมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย เท่ากับ 104.40 ± 5.78 กรัม/ตัว และ 72.12 ± 3.44 กรัม/ตัว ตามลำดับ มีความยาวตัวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 16.90 ± 0.87 เซนติเมตร/ตัว และ 15.96 ± 0.56 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 5-6) ทั้งนี้มีน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย เท่ากับ 1.14 ± 0.06 กรัม/วัน และ 0.75 ± 0.02 กรัม/วัน ตามลำดับ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย เท่ากับ 3.94 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน และ 3.51 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ และมีอัตรารอดตาย เท่ากับ

92.67 ± 1.15 เปอร์เซ็นต์ และ 85.33 ± 3.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองยังพบอีกว่าปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์มีเจริญเติบโตได้ดียิ่งกว่าเมื่อคิดจากน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยเทียบกับการเลี้ยงทับทิมในกระชังแบบทั่วไป เท่ากับ 44.76 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาทับทิม ระยะเวลา 90 วัน



รูปที่ 6 ความยาวตัวเฉลี่ยของปลาทับทิม ระยะเวลา 90 วัน

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเลี้ยงปลาทั้ง ค่าออกซิเจนในน้ำ อุณหภูมิน้ำ สารอาหาร และความขุ่นของน้ำ [11] และคุณภาพน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของปลา[12] จากการทดลองเริ่มต้นได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในสระเพื่อการเกษตร วัดคุณภาพของน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.46
ค่าความเป็นด่าง	122 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	220 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความขุ่น	106 NTU
ไนโตรเจนทั้งหมด	15.41 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	8.10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าการนำไฟฟ้า	0.1493 เดซีซีเมนต่อเมตร

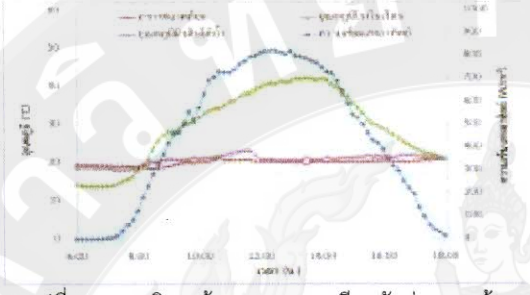
จากการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในสระเพื่อการเกษตรมีค่าที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลา ทั้งนี้ค่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับปลาอยู่ระหว่าง 6.5 และ 8.5[13] ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาอยู่ที่ 50-300 มิลลิกรัมต่อลิตร[14] ค่าความเป็นด่างในสระน้ำที่ทำการทดลองอยู่ในค่าที่เหมาะสม และค่าที่เหมาะสมของซีโอดีสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาควรจะน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร [15] ความขุ่นเกิดจากการที่ในน้ำมีสารที่ไม่ละลายน้ำขนาดเล็กแขวนลอยซึ่งเป็นไปได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-30 NTU[16] ในสระน้ำที่ทำการทดลองมีความขุ่นสูงเนื่องจากดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว สระน้ำเป็นแบบปิด และมีการทิ้งเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรลงในน้ำของเกษตรกร และค่าที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลา ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในโปรตีนของพืชและสัตว์หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย เช่นในปัสสาวะ ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอด พฤติกรรมและสรีรวิทยาปลาทับทิม ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาอยู่ที่ 8-10 มิลลิกรัมต่อลิตร[17] ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวชี้วัดความเค็มของน้ำ น้ำชลประทานควรจะมีอีซีน้อยกว่า 0.8 เดซีซีเมนต่อเมตร จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเริ่มต้นในสระน้ำเพื่อการเกษตรที่ทำการทดลองเลี้ยงปลามีคุณภาพที่เหมาะสมอย่างยิ่ง

II. การประเมินประสิทธิภาพทางความร้อนของกระชังเลี้ยงปลาในโรงเรือนเบื้องต้น

3.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในแต่ละการทดลอง

อุณหภูมิน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดตายของปลา จากการทดลองในช่วงเริ่มฤดูหนาวระหว่างเดือนมกราคม และสิ้นสุดการทดลองในช่วงเริ่มต้นของฤดูร้อนเดือนเมษายน ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 444.08 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิภายในโรงเรือนพลาสติกมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 42.2 องศาเซลเซียส และ 14.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 21.2 องศาเซลเซียส และ 18.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เก็บ

ข้อมูลในเวลากลางวัน ทั้งนี้จากการทดลองค่าอุณหภูมิน้ำในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.8 องศาเซลเซียส และ 20.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 7 อุณหภูมิแวดล้อมการทดลองเทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ในช่วงฤดูหนาว

ในช่วงเวลา 10.00 น.- 14.00 น. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์ต่างจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย เท่ากับ 18.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์ต่างจากอุณหภูมิน้ำภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย 7.0 องศาเซลเซียส

รูปที่ 8 อุณหภูมิน้ำต่างระดับของการเลี้ยงปลาในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์และแบบทั่วไป ในช่วงฤดูหนาว

3.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโรงเรือน

จากตารางที่ 3 แสดงประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นระหว่างกระชังในโรงเรือนแสงอาทิตย์กับกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไป พบว่ากระชังในโรงเรือนแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 28.31 เปอร์เซ็นต์ และกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไปมีประสิทธิภาพเท่ากับ 8.86 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นระหว่างกระชังในโรงเรือนแสงอาทิตย์กับกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไป

Time	M/ Δt (kg/s)	Cp (J/kg-°C)	T (°C)	ΔT (°C)	I_t (W/m^2)	Ac (m^2)	Input (W)	Output (W)	η (%)	Ave η (%)
กระชังในโรงเรือนสงอาทิตย์										
11.00-12.00 น.	1.86	4,180	30.384	0.102	553.571	6.7	3708.925	793.503	21.39	28.31
12.00-13.00 น.	1.86	4,180	30.580	0.196	772.714	6.7	5177.183	1524.771	29.45	
13.00-14.00 น.	1.86	4,180	30.790	0.210	715.571	6.7	4794.325	1633.683	34.07	
กระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไป										
11.00-12.00 น.	1.86	4,180	29.091	0.033	553.571	6.7	3708.925	256.721	6.92	8.86
12.00-13.00 น.	1.86	4,180	29.150	0.059	772.714	6.7	5177.183	458.987	8.86	
13.00-14.00 น.	1.86	4,180	29.190	0.040	715.571	6.7	4794.325	311.177	6.49	

4. สรุปผลการทดลอง

การทดลองเลี้ยงปลาทับทิมในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์ในสระน้ำเพื่อการเกษตรช่วงฤดูหนาว สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำบริเวณกระชังเลี้ยงปลาเฉลี่ยสูงขึ้น จาก 20.6 องศาเซลเซียส เป็น 22.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 10.68 เปอร์เซ็นต์ เทียบระหว่างอุณหภูมิน้ำในกระชังเลี้ยงปลาโรงเรือนแสงอาทิตย์กับกระชังเลี้ยงปลาแบบทั่วไป ช่วยทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของปลาทับทิมมากขึ้นและสามารถกินอาหารได้ดี มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันเฉลี่ย เท่ากับ 1.14 ± 0.06 กรัม/วัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย เท่ากับ 3.94 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์/วัน และมีอัตรารอดตาย เท่ากับ 92.67 ±

1.15 เปอร์เซ็นต์ ปลาทับทิมที่เลี้ยงในกระชังโรงเรือนแสงอาทิตย์มีเจริญเติบโตได้ดียิ่งกว่าเมื่อคิดจากน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย จาก 72.12 ± 3.44 กรัม/ตัว เป็น 104.40 ± 5.78 กรัม/ตัว สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าเท่ากับ 44.76 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการทดลองนี้ประสบความสำเร็จอย่างยิ่งจากกระชังเลี้ยงปลาในโรงเรือนแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 28.31 เปอร์เซ็นต์ และมีความเหมาะสมต่อเกษตรกรเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงปลา เป็นการเพิ่มรายได้และช่วยลดค่าใช้จ่าย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยแม่โจ้, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณทีมปฏิบัติการลูกแม่เดียว วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับความช่วยเหลือในการสร้างแลปทดลอง จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Gjedrem, T., Robinson, N., and Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demand of animal protein: A review. Aquaculture. 350-353,117-129.

[2] Rosamond, L. N., Rebecca J. G., Jurgenne, H. P., Nils, K., Malcolm C. M. B., Jason, C., Carl, F., Jane, L., Harold, M., and Max, T. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature. 405, 1017-1024.

[3] Jabeena, F. and Chaudhry, A. S. (2011). Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. Food Chemistry. 125, 991-996.

[4] ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อ.เมือง จ.เชียงใหม่. (2557) รายงานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำเดือน มกราคม ธันวาคม พ.ศ.2557 (ค.ศ.2014).

[5] หนังสือสถิติเรือประมงไทย พ.ศ. 2556 ,กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมประมง, เอกสารฉบับที่ 2/2558

[6] Whangchai N., Ungsethaphan T., Chitmanat C., Mengumphan K. and Uraiwan S. (2007). Performance of giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii de Man) reared in earthen ponds beneath plastic film shelters. Chiang Mai journal of sciences. 34, 89-96.

[7] Wisely, B., Holiday, J.E. and Macdonald, R.E. (1981). Heating an aquaculture pond with a solar pool blanket. Aquaculture. 26 (3-4), 385-387.

[8] Zhu, S., Deltour J. and Wang, S. (1998). Modeling the thermal characteristics of greenhouse pond systems. Aqua cultural Engineering. 18, 201-217.

[9] Tiwari, G.N. (2003). Greenhouse technology for controlled environment: Narosa Publishing House, New Delhi and Alpha Science International Ltd, England.

[10] ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2555) โครงการศึกษาพัฒนาต้นแบบระบบบ่อเลี้ยงปลาแสงอาทิตย์สำหรับชุมชน ปี 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. ประเทศไทย.

[11] Bhatnagar, A. and Devi, P. (2013). Water quality guidelines for the management of pond fish culture. International Journal of Environmental Sciences. Volume 3, No.6.

[12] Swann, LaDon. (1993). Water sources used in aquaculture. illinois-indiana sea grant program. AS-486. Purdue University, West Lafayette, IN. 4pp.

[13] Araoye PA (2009). The seasonal variation of pH and dissolved oxygen (DO2) concentration in Asa lake Ilorin, Nigeria. International Journal of Physical Sciences. Vol. 4 (5), pp. 271-274.

[14] Bhatnagar, A., Jana, S.N., Garg, S.K. Patra, B.C., Singh, G. and Barman, U.K., (2004), Water quality management in aquaculture, In: Course Manual of summerschool on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters, CCS Haryana Agricultural, Hisar (India), pp 203-210.

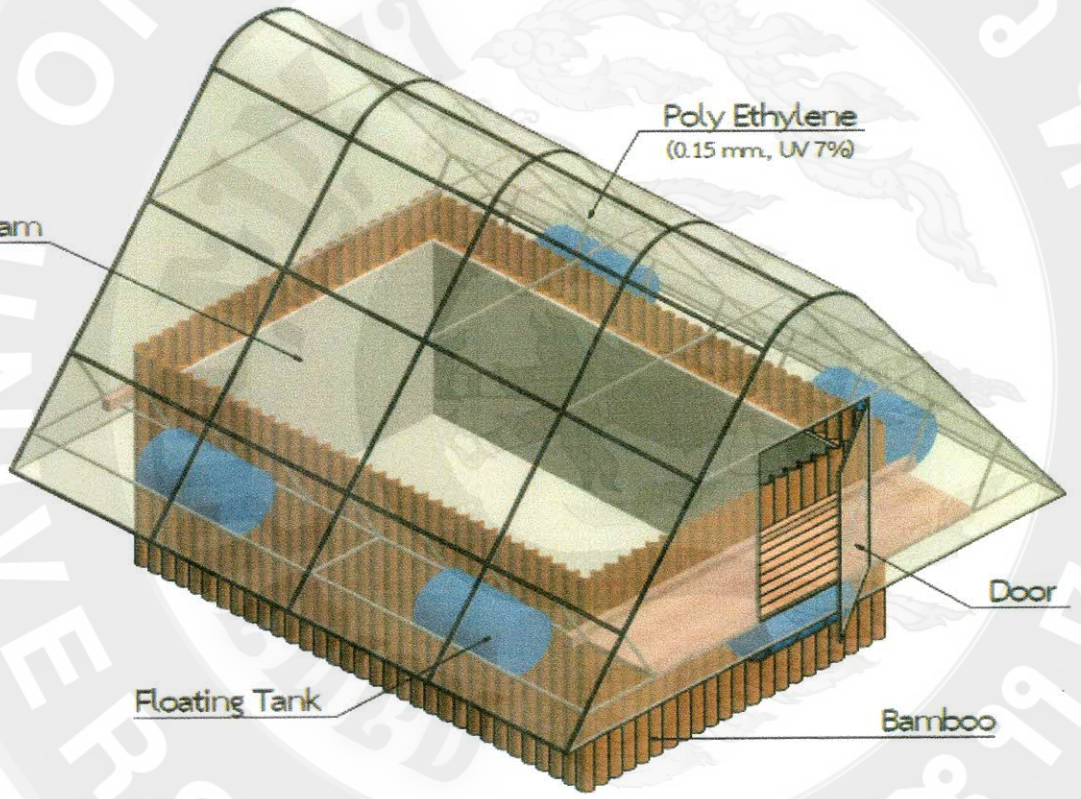
[15] Bhavimani, H. and Puttaiah, ET. (2014) Fish culture and physico chemical characteristics of Madikoppa Pond, Dharwad Tq/Dist, Karnatak. Hydrol Current Res 5: 162. doi:10.4172/2157 7587.1000162.

[16] Zweigh, RD. (1989) Evolving water quality in a common carp and blue tilapia high production pond. Hydrobiologia 171: 11 21.

[17] Svobodová, Z.; Lloyd, R.; Máchová, J.; Vykusová, B.Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

ภาคผนวก ค

แบบโครงสร้างกระชังเลี้ยงปลาเรือนกระจก



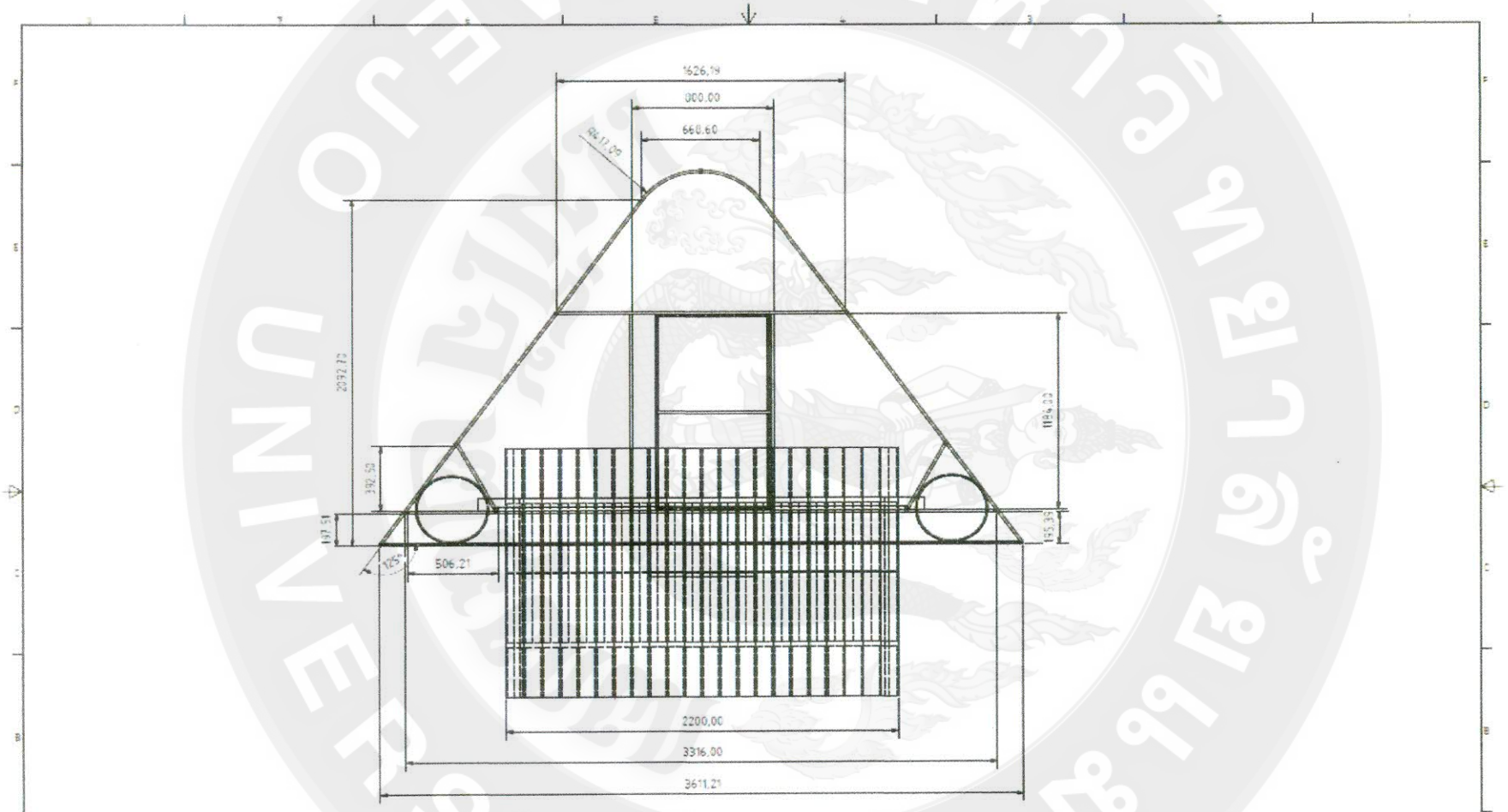
Isometric Greenhouse Fish Cage View

THERMAL PERFORMANCE OF GREENHOUSE FISH CAGES INTEGRATED WITH HOT AIR AERATOR

Advisor: Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee

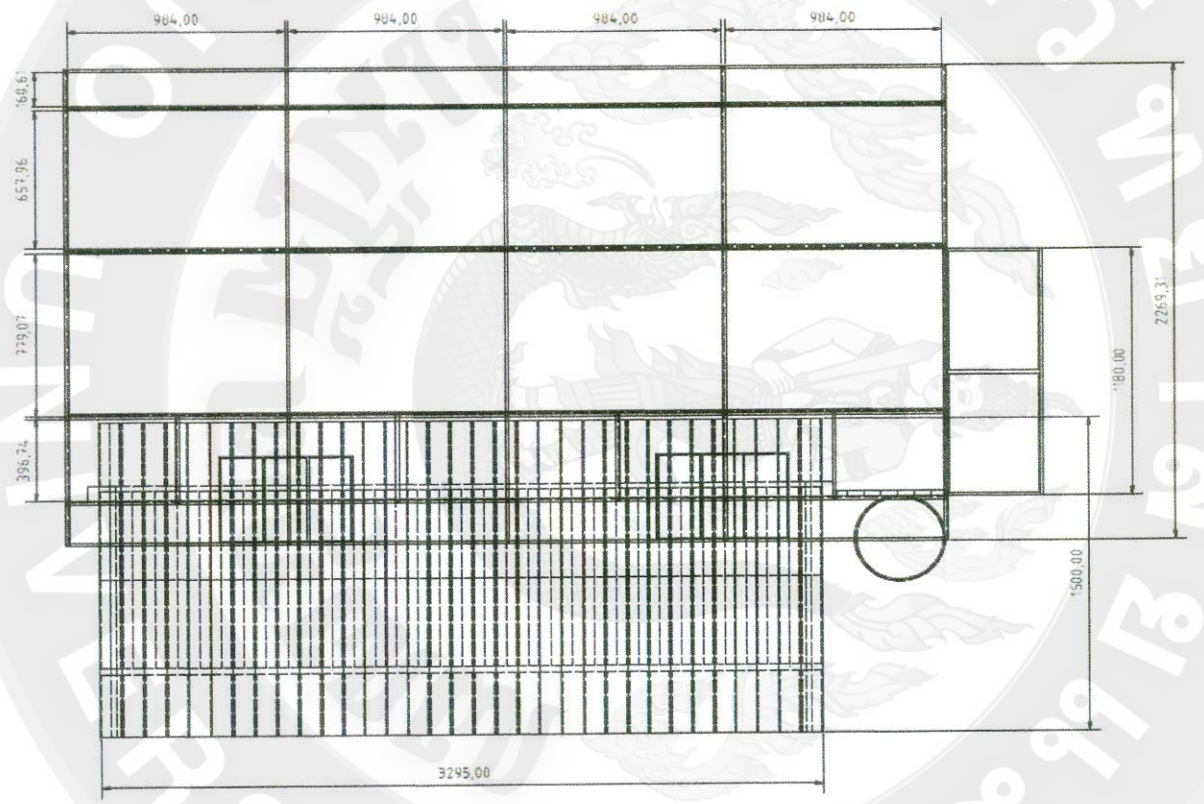
Drawn: Acting Sub Lt. Piyaphong Yongphet

Part No. 1	Scale 1:15	30/07/16



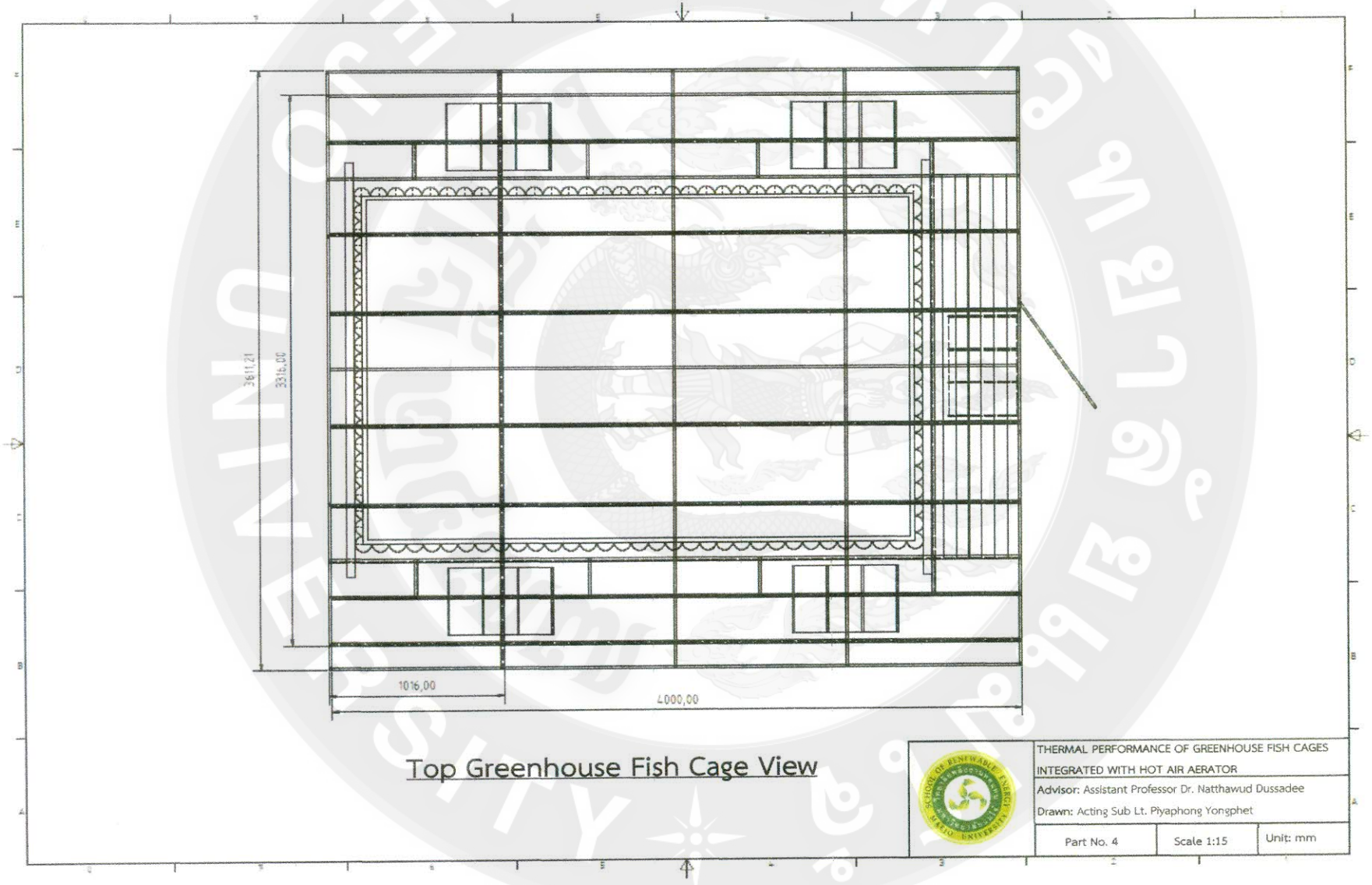
Front Greenhouse Fish Cage View

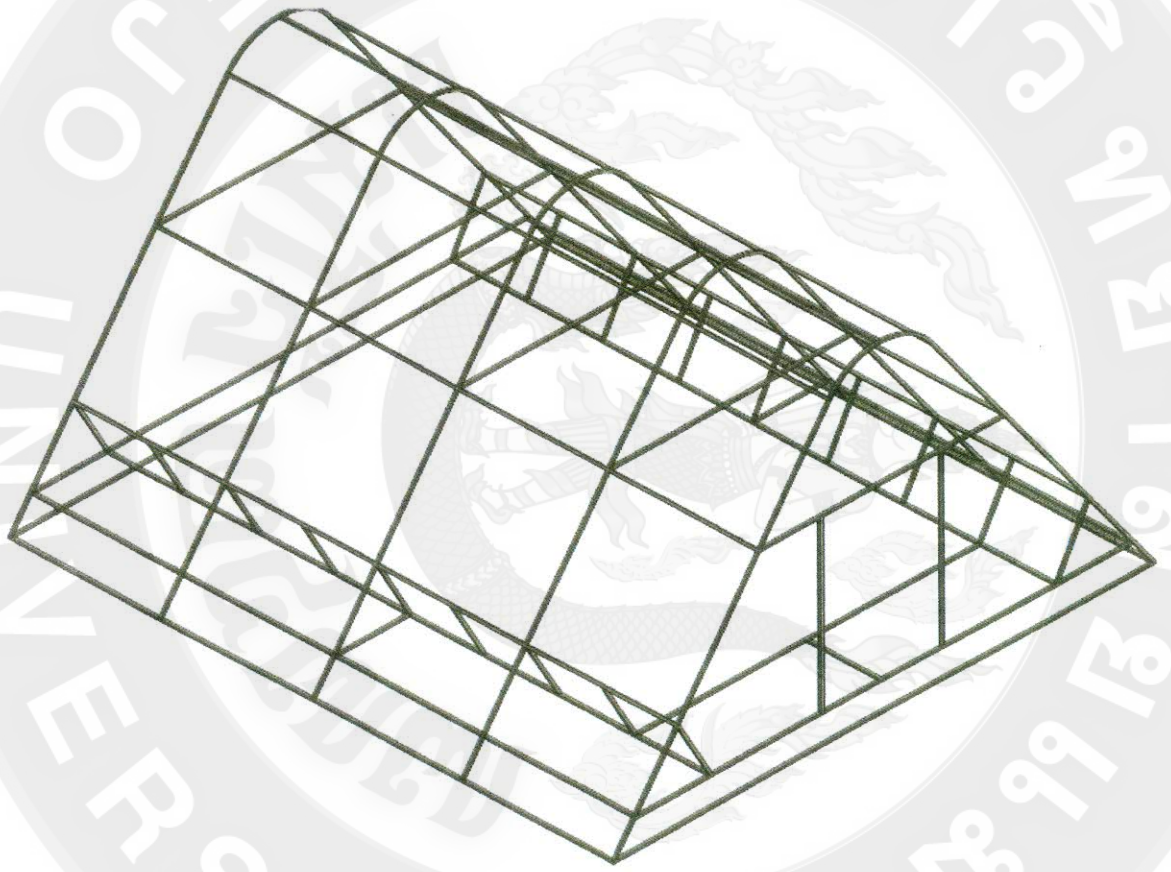
THERMAL PERFORMANCE OF GREENHOUSE FISH CAGES INTEGRATED WITH HOT AIR AERATOR	
Advisor: Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee	
Drawn: Acting Sub Lt. Piyaphong Yongphet	
Part No. 2	Scale 1:15	Unit: mm



Side Greenhouse Fish Cage View

THERMAL PERFORMANCE OF GREENHOUSE FISH CAGES INTEGRATED WITH HOT AIR AERATOR	
Advisor: Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee	
Drawn: Acting Sub Lt. Piyaphong Yongphet	
Part No. 3	Scale 1:15	Unit: mm


3611,21
3316,00
1016,00
4000,00
Top Greenhouse Fish Cage View
THERMAL PERFORMANCE OF GREENHOUSE FISH CAGES
INTEGRATED WITH HOT AIR AERATOR
Advisor: Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee
Drawn: Acting Sub Lt. Piyaphong Yongphet
Part No. 4
Scale 1:15
Unit: mm



Isometric Structure Greenhouse Fish Cage View

THERMAL PERFORMANCE OF GREENHOUSE FISH CAGES INTEGRATED WITH HOT AIR AERATOR	
Advisor: Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee	
Drawn: Acting Sub Lt. Piyaphong Yongphet	
Part No. 5	Scale 1:15	Unit: mm

ภาคผนวก ง

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับเลี้ยงปลา

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ

รายงานผลการทดสอบหมายเลขที่ 0619/59 **หน้า 1/1**

หมายเลขปฏิบัติการ 59/C-00427

ชื่อที่อยู่ของผู้ขอรับบริการ ปิยะพงษ์ ยงเพชร
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รายละเอียดตัวอย่าง น้ำ : น้ำบ่อปลา

หมายเลขตัวอย่าง -

ลักษณะ และสภาพของตัวอย่าง บรรจุขวดพลาสติก ปิดสนิท จำนวน 1 ขวด
ปริมาตร 1.5 ลิตร/ขวด ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ

วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 4 พฤศจิกายน 2558

วันเดือนปีที่ทดสอบ 5-12 พฤศจิกายน 2558

วิธีทดสอบ วิธีทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

ผลการทดสอบ ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ
ความขุ่น	Turbidimeter	629 NTU
ไนโตรเจนทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012	22.41 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	AWWA, 22nd ed., 2012 part 5320	8.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	0.1216 เดซิซีเมนต่อเมตร

ผู้ทดสอบ
(นางสาวศศิธร อินเขียน)
นักวิทยาศาสตร์
13 / พ.ย. / 2558

ผู้รับรอง
(นางสาวสุปราณี แก้วเทียน)
รองผู้จัดการวิชาการ
13 / พ.ย. / 2558

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 053-873842
Institute of Product Quality and Standardization, Biotechnology Centre, Maejo University T. Nonghan, A.Sansai, Chiangmai, Thailand 50290 Tel : +66(0)5387 3842

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ

รายงานผลการทดสอบหมายเลขที่ 1532/59 หน้า 1/1

หมายเลขปฏิบัติการ 59/C-01492

ชื่อที่อยู่ของผู้ขอรับบริการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ที่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

รายละเอียดตัวอย่าง น้ำ : น้ำบ่อปลา A,B

หมายเลขตัวอย่าง -

ลักษณะ และสภาพของตัวอย่าง บรรจุขวดพลาสติก ปิดสนิท จำนวน 1 ขวด
ปริมาตร 1.5 ลิตร/ขวด ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ

วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 20 มกราคม 2559

วันเดือนปีที่ทดสอบ 20 มกราคม 2559 – 12 กุมภาพันธ์ 2559

วิธีทดสอบ วิธีทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

ผลการทดสอบ ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	7.43
ค่าความเป็นด่าง	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 2320	118 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 5220	140 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความขุ่น	Turbidimeter	130 NTU
ไนโตรเจนทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012	16.81 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012 part 5320	8.45 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	0.1453 เดซิซีเมนต่อเมตร

ผู้ทดสอบ
(นางสาวสุปราณี แก้วเทียน)
นักวิทยาศาสตร์
SI
15 / ก.พ. / 2559

ผู้รับรอง
(ดร. ภัทธนาวรรณ์ ฉันท์รัตนโยธิน)
ผู้จัดการวิชาการ
15 / ก.พ. / 2559

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 053-875643
Institute of Product Quality and Standardization, Biotechnology Centre, Maejo University T. Nongham, A.Sansai, Chiangmai, Thailand 50290 Tel : +66(0)53875643

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ

รายงานผลการทดสอบหมายเลขที่ 1533/59 หน้า 1/1

หมายเลขปฏิบัติการ 59/C-01493

ชื่อที่อยู่ของผู้ขอรับบริการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ที่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

รายละเอียดตัวอย่าง น้ำ : น้ำบ่อปลา C

หมายเลขตัวอย่าง -

ลักษณะ และสภาพของตัวอย่าง บรรจุขวดพลาสติก ปิดสนิท จำนวน 1 ขวด
ปริมาตร 1.5 ลิตร/ขวด ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ

วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 20 มกราคม 2559

วันเดือนปีที่ทดสอบ 20 มกราคม 2559 – 12 กุมภาพันธ์ 2559

วิธีทดสอบ วิธีทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

ผลการทดสอบ ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	7.46
ค่าความเป็นด่าง	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 2320	122 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 5220	220 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความขุ่น	Turbidimeter	106 NTU
ไนโตรเจนทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012	15.41 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012 part 5320	8.10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	0.1493 เดซิซีเมนต่อเมตร

ผู้ทดสอบ
(นางสาวสุปราณี แก้วเทียน)
นักวิทยาศาสตร์
SI
15 / ก.พ. / 2559

ผู้รับรอง
(ดร. ภัทธนาวรรณ์ ฉันท์รัตนโยธิน)
ผู้จัดการวิชาการ
15 / ก.พ. / 2559

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 053-875643
Institute of Product Quality and Standardization, Biotechnology Centre, Maejo University T. Nonghan, A.Sansai, Chiangmai, Thailand 50290 Tel : +66(0)5387 5643

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ

รายงานผลการทดสอบหมายเลขที่ 2217/59 หน้า 1/1

หมายเลขปฏิบัติการ 59/C-02267

ชื่อที่อยู่ของผู้ขอรับบริการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ที่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

รายละเอียดตัวอย่าง น้ำ : น้ำบ่อปลา A,B

หมายเลขตัวอย่าง -

ลักษณะ และสภาพของตัวอย่าง บรรจุขวดพลาสติก ปิดสนิท จำนวน 1 ขวด
ปริมาตร 1.5 ลิตร/ขวด ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ

วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 20 เมษายน 2559

วันเดือนปีที่ทดสอบ 26 เมษายน 2559 – 16 พฤษภาคม 2559

วิธีทดสอบ วิธีทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

ผลการทดสอบ ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	7.31
ค่าความเป็นด่าง	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 2320	103.3 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 5220	192 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความขุ่น	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 2130	236 NTU
ไนโตรเจนทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012	29.42 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012 part 5320	7.60 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	1.1326 เดซิซีเมนต่อเมตร

ผู้ทดสอบ
(นางสาวสุปราณี แก้วเทียน)
นักวิทยาศาสตร์
SN
27 / พ.ค. / 2559

ผู้รับรอง
(ดร. ภัทธนาวรรณ์ ฉันท์รัตนโยธิน)
ผู้จัดการวิชาการ
27 / พ.ค. / 2559

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 053-875643
Institute of Product Quality and Standardization, Biotechnology Centre, Maejo University T. Nongham, A.Sansai, Chiangmai, Thailand 50290 Tel : +66(0)5387 5643

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ

รายงานผลการทดสอบหมายเลขที่ 2218/59 **หน้า 1/1**

หมายเลขปฏิบัติการ 59/C-02268

ชื่อที่อยู่ของผู้ขอรับบริการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ที่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

รายละเอียดตัวอย่าง น้ำ : น้ำบ่อปลา C

หมายเลขตัวอย่าง -

ลักษณะ และสภาพของตัวอย่าง บรรจุขวดพลาสติก ปิดสนิท จำนวน 1 ขวด
ปริมาตร 1.5 ลิตร/ขวด ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ

วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 20 เมษายน 2559

วันเดือนปีที่ทดสอบ 26 เมษายน 2559 – 16 พฤษภาคม 2559

วิธีทดสอบ วิธีทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

ผลการทดสอบ ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในตาราง

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	7.44
ค่าความเป็นด่าง	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 2320	101.8 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 5220	160 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความขุ่น	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, part 2130	311 NTU
ไนโตรเจนทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012	25.21 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012 part 5320	7.53 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	1.1341 เดซิซีเมนต่อเมตร

ผู้ทดสอบ
(นางสาวสุปราณี แก้วเทียน)
นักวิทยาศาสตร์
SN
27 พ.ค. 2559

ผู้รับรอง
(ดร. ภัทธนาวรรณ์ ฉันท์รัตนโยธิน)
ผู้จัดการวิชาการ
27 พ.ค. 2559

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 053-875643
Institute of Product Quality and Standardization, Biotechnology Centre, Maejo University T. Nonghan, A.Sansai, Chiangmai, Thailand 50290 Tel : +66(0)5387 5643

ภาคผนวก จ

เอกสารรับรองผลงานวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12

12th Conference on Energy Network of Thailand

วันที่ 8 – 10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมวังจันทน์วิเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก

คณะวิทยาศาสตร์ และวิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ปิยะพงษ์ ยงเพชร ธเนศ ไชยชนะ สราวุธ พลวงษ์ศรี
เสริมสุข บัวเจริญ Rameshprabu Ramaraj และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี

เป็นผู้นำเสนอบทความแบบบรรยาย เรื่อง
"การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระชังเลี้ยงปลาทับทิมในโรงเรือน"

8 - 10 JUNE 2016
ENERGY NETWORK OF THAILAND 12th
www.e-nett.org

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จินายน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยนเรศวร

22nd TRI-U2015 @Jiangsu University, China

Certificate of Participation

Piyaphong Yongphet

Has taken part in

The 22nd Tri-U International Joint Seminar & Symposium

Role of Asia in the World

Oct. 18-23, 2015

Organized and hosted by Jiangsu University, China

Professor Yuan Shouqi

Chair of the 22nd Organizing Committee

President of Jiangsu University

22nd TRI-U2015
@Jiangsu University, China

Certificate of the 22nd Tri-U Workshop

Piyaphong Yongphet

and his team have won

3rd Prize of Workshop

The 22nd Tri-U International Joint Seminar & Symposium

Role of Asia in the World

Oct. 18-23, 2015

Organized and hosted by Jiangsu University, China

Professor Yuan Shouqi

Chair of the 22nd Organizing Committee

President of Jiangsu University

ภาคผนวก ฉ

ประวัตินักศึกษา

ประวัตินักศึกษา

ชื่อ-นามสกุล ว่าที่ร้อยตรี ปิยะพงษ์ ยงเพชร

เกิดเมื่อ 11 ธันวาคม พ.ศ.2533

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2556 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2557 – ปัจจุบัน เจ้าหน้าที่พลังงานชุมชน ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ช่องทางการติดต่อ n_n1112@hotmail.com, piyaphong_yp@mju.ac.th
https://www.researchgate.net/profile/Piyaphong_Yongphet

ผลงานดีเด่น

[1] นักเรียนผู้ที่มีความประพฤติดีเด่น ของพุทธสมาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูประถัมภ์ ประจำปี พ.ศ. 2550

[2] นักเรียนตัวอย่างที่มีความประพฤติตน ตามแนวพระราชดำรัส 9 ประการ ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เนื่องในงานวันต่อต้านยาเสพติด ปี พ.ศ. 2550 จากผู้ว่าราชการจังหวัดนครสวรรค์

[3] นักเรียนดีเด่นด้านคุณธรรม จริยธรรม จากธนาคารออมสินร่วมกับสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ปี พ.ศ. 2550

[4] ยุวชนประชาธิปไตย รุ่นที่ 1/2551 ได้รับเกียรติบัตรจากสำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร

[5] รางวัลชมเชยในการคัดเลือกนักเรียน นักศึกษา และสถานศึกษา เพื่อรับรางวัลพระราชทาน ประจำปีการศึกษา 2551

[6] รับโล่รางวัลยกย่องให้เป็นเยาวชนดีเด่น ด้านศาสนาและจริยธรรม ปี 2554 จาก ฯพณฯ ท่านนายกรัฐมนตรี นางสาวยิ่งลักษณ์ ชินวัตร

[7] รับประทานโล่เกียรติคุณรางวัลลูกที่มีความกตัญญูกตเวทีอย่างสูงต่อแม่ ประจำปี 2556 จาก พระเจ้าวรวงศ์เธอ พระองค์เจ้าโสมสวลี พระวรราชาทินัดดามาตุ

[8] รับโล่รางวัลชนะเลิศรางวัล “ช่ออินทนิล” พ.ศ. 2556 รับจาก ดร.อำนวย ยศสุข นายกสภามหาวิทยาลัยแม่โจ้

[9] รางวัล MJU AWARDS 2013 งาน “แม่โจ้ 80 ปี ฝากความดีไว้ ในแผ่นดิน”

[10] รางวัลเยาวชนดีเด่นแห่งชาติ ปีการศึกษา 2557 สาขาพัฒนาเยาวชนบำเพ็ญประโยชน์ และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของเยาวชน เข้ารับพระราชทานโล่เกียรติคุณจากสมเด็จพระบรมโอรสาธิราช เจ้าฟ้ามหาวชิราลงกรณ สยามมกุฎราชกุมาร

[11] รางวัลนักศึกษาสหกิจศึกษานานาชาติดีเด่น การประกวดผลรางวัลสหกิจศึกษาดีเด่น ระดับเครือข่าย งานวันสหกิจศึกษาไทย ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2557

[12] Good News Corps Volunteer ทวีปแอฟริกา ประเทศ GHANA เป็นเวลา 1 ปี และได้ทำกิจกรรมต่างๆ ร่วมกับตัวแทนเยาวชนจากทั่วโลก เช่น Volunteers' program the 2012 IYF World Camp, Ghana 20th - 26th July, 2012 /Volunteers' program the 2012 IYF Youth Camp at Sogakopa, Ghana 25th - 29th December, 2012/ Volunteers' program the 2012 IYF West Africa Camp, Ghana 31st December - 4th January, 2013

ผลงานทางด้านวิชาการ

[1] Unpaprom, Y., Intasaen, O., Yongphet, P., Ramaraj, R.(2015) "Cultivation of Microalga Botryococcus Braunii Using Red Nile Tilapia Effluent Medium for Biogas Production". Journal of Ecology and Environmental Sciences, Vol 3 (2), 58-65.

[2] Yongphet, P., Dussadee, N., Polvongsri, S.,Ramaraj, R.,Whangchai, N., (2015)"Thermal Performance of Greenhouse Fish Cages Integrated with Hot Air Aerator using Solar Energy".The 22nd Tri-U International Joint Seminar and Symposium, Jiangsu University, China, 135.

[3] Yongphet, P., Ramaraj, R., Dussadee, N., (2015) "Effect of Greenhouse Cages Integrated with using Solar Energy on the Growth Performance on Freshwater Fish" International Journal of New Technology and Research (IJNTR), Vol2 (3), 100-107.

[4] **ปิยะพงษ์ ยงเพชร** ธเนศ ไชยชนะ สราวุธ พลวงษ์ศรี เสริมสุข บัวเจริญ Rameshprabu Ramaraj และณัฐวุฒิ ดุษฎี (2559) การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระชังเลี้ยงปลาทับทิมในโรงเรือน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย 8-10 มิถุนายน 2559 จ.พิษณุโลก ในวันที่ 8 – 10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรม วังจันทน์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก.

[5] ปาณิศา อ่อนดอกไม้ **<u>ปิยะพงษ์ ยงเพชร</u>** นิกราน หอมดวง Rameshprabu Ramaraj เสริมสุข บัวเจริญ และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2559) การศึกษาการใช้พลังงานในการแปรรูปข้าวอินทรีย์ของชุมชนบ้านวังป้อง จังหวัดเชียงใหม่ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย 8-10 มิถุนายน 2559 จ.พิษณุโลก ในวันที่ 8 – 10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมวังจันทน์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก.