



ปีการศึกษา 2544

ผลกระทบของเครื่องเติมอากาศต่อลักษณะการเคลื่อนตัว  
ของตะกอนในบ่อกึ่ง



ปศ.  
ก ๖๕๔ ก  
๖๕๔

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 45678  
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

.b.....  
.i.....

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ผลกระทบของเครื่องเติมอากาศต่อลักษณะการเคลื่อนตัวของตะกอนในบ่อกัก

ผู้จัดทำ

1. นายกิตติพงษ์ ปิยพจนารถ
2. นายคนุชวิษ ทัพยารมณ

.....  
(อาจารย์วิภา เกียรติระโนวชิระ) อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ผลกระทบของเครื่องเติมอากาศต่อลักษณะการเคลื่อนตัวของตะกอนในบ่อกัก

กิตติพงษ์ ปิยพจนารถ

คณูรัช ทิพยารมณ

ดร.วิภา เจียรระโนวิชระ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของเครื่องเติมอากาศต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนในบ่อกัก โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาผลกระทบของเครื่องเติมอากาศต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนในบ่อกักจริง ส่วนที่สองเป็นการออกแบบและสร้างบ่อจำลองทำการทดลองโดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในส่วนที่หนึ่ง และหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาพบว่าเครื่องเติมอากาศและลักษณะการติดตั้ง มีความสำคัญต่อลักษณะ และการหมุนเวียนของตะกอนภายในบ่อ ซึ่งการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้ในการจัดการบำบัดและการจัดการน้ำเสียในบ่อกักต่อไป

# The Effects of Aerators to the Settling Characteristics of Sediment in the Prawn Pond

Kittipong Piyapojjanart

Danutawat Tipayarom

Dr. Vipa Jayranaiwachira

## Abstract

This project presents the study of the effects of aerators to the settling characteristics of sediment in the prawn pond. The work was divided into 2 parts . The first part is the study of influences of aerators to the sediment in the prawn pond. In the second part, the small-scale model of the prawn pond was designed and constructed. Experimental results from the model were compared with those from the actual pond to determine the relation of involving factors. The results show importance of aerator and installation patterns to the settling characteristics of the sediment. This leads to the proper treatment and management of wastewater in this business in the future.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	( I-II )
สารบัญรูป	( III-IV )
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	( V )
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
<b>(Introduction)</b>	
1.1 บทนำและความเป็นมา	1
1.2 ขอบข่ายและวัตถุประสงค์ที่ศึกษา	2
1.3 แนวทางในการศึกษา	2
1.4 แนวทางการศึกษาที่ผ่านมา	2
<b>บทที่ 2 หลักการทั่วไปของการเลี้ยงกุ้ง</b>	
<b>(Principles of Prawn Farming)</b>	
2.1 หลักการทั่วไปของการเลี้ยงกุ้ง	4
2.2 ระบบการเลี้ยงกุ้ง	5
2.3 การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา	6
2.4 การเตรียมฟาร์มกุ้ง	6
2.5 การเตรียมน้ำ	8
2.6 การให้อาหาร	10
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง</b>	
<b>(Fundamental Theories)</b>	
3.1 ความสำคัญและหลักการทั่วไปเกี่ยวกับตะกอน	12
3.2 ทฤษฎีการตกตะกอน	15
3.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเติมอากาศ	17
3.4 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในประเทศไทย	25
3.5 จำนวนและการวางตำแหน่งเครื่องเติมอากาศ	27
<b>บทที่ 4 การดำเนินการทดลองและอุปกรณ์</b>	
<b>(Experimental Procedure and Apparatus)</b>	
4.1 การดำเนินการทดลองโดยเก็บข้อมูลจากบ่อเลี้ยงกุ้งจริง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
4.2 การสร้างแบบบ่อจำลองการเลี้ยงกุ้ง	33
4.3 การดำเนินการทดลองโดยการเก็บข้อมูลจากบ่อจำลอง	39
<b>บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
<b>(Experimental Results and Discussion)</b>	
5.1 การทดลองที่ระดับปริมาณตะกอนในบ่อ 1.5 กิโลกรัม	41
5.2 การทดลองที่ระดับปริมาณตะกอนในบ่อ 5 กิโลกรัม	41
<b>บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	
<b>(Conclusions and Recommend for the Future Work)</b>	
6.1 สรุปผลการทดลอง	46
6.2 ข้อเสนอแนะ	46
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	47
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองจากบ่อเลี้ยงกุ้งจริง ณ จังหวัดฉะเชิงเทรา	(ก.1-ก.6)
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองจากบ่อจำลอง	(ข.1-ข.4)
ภาคผนวก ค. การเขียนกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB	(ค.1-ค.5)
ภาคผนวก ง. การหาความเข้มข้นของตะกอนในบ่อจำลอง	(ง.1-ง.2)
<b>กิตติกรรมประกาศ</b>	

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	บ่อเลี้ยงกุ้งในระบบเปิดหรือระบบพัฒนา	5
รูปที่ 2.2	การเอาดินมาอัดไว้มุมบ่อเพื่อป้องกันการกัดเซาะที่ข้างบ่อ	6
รูปที่ 2.3	การไถพรวนพื้นเสร็จตากบ่อให้แห้ง	7
รูปที่ 2.4	ลักษณะบ่อที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้ง	8
รูปที่ 2.5	การใช้เครื่องเติมอากาศแบบแอร์เจ็ตและแบบใบพัดเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อ	10
รูปที่ 3.1	ตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	12
รูปที่ 3.2	ภาพพื้นบ่อที่มีการรวมตะกอนที่ดี	14
รูปที่ 3.3	เครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงกุ้ง	17
รูปที่ 3.4	เครื่องเติมอากาศทั่วไป	18
รูปที่ 3.5	เครื่องเติมอากาศแบบ Diffused Air	20
รูปที่ 3.6	เครื่องเติมอากาศแบบ Diffused Air	20
รูปที่ 3.7	เครื่องเติมอากาศแบบ Air Lift	21
รูปที่ 3.8	เครื่องเติมอากาศแบบ Aspirator	21
รูปที่ 3.9	เครื่องเติมอากาศแบบใบพัดคีน้า	22
รูปที่ 3.10	เครื่องเติมอากาศแบบ Submersible pump	22
รูปที่ 3.11	เครื่องเติมอากาศแบบ Submersible pump With Spay Bar	23
รูปที่ 3.12	ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศมุมบ่อ	23
รูปที่ 3.13	ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศระหว่างมุมบ่อ	23
รูปที่ 3.14	ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศตามความยาว	24
รูปที่ 3.15	ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศกลางบ่อตามด้านสั้นของบ่อ	24
รูปที่ 3.16	เครื่องเติมอากาศแบบแอร์เจ็ต	26
รูปที่ 3.17	การใช้แอร์เจ็ตร่วมกับเครื่องคีน้า	26
รูปที่ 3.18	การวางเครื่องเติมอากาศกลางบ่อ	27
รูปที่ 4.1	ตำแหน่งการวางของเครื่องเติมอากาศในบ่อกุ้งจริง	30
รูปที่ 4.2	คูือบ	31

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.3	กระดาศกรอง GF/C 31
รูปที่ 4.4	โถทำแห้งหรือ โถสุญญากาศ 31
รูปที่ 4.5	อุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง 32
รูปที่ 4.6	ถ้วยกรองกุช หรือ กรวยนุกเนอร์ 32
รูปที่ 4.7	แสดงรูปการต่อชุดกรองเสร็จแล้ว 32
รูปที่ 4.8	บ่อจำลองกึ่งที่ได้สร้างขึ้น 34
รูปที่ 4.9	แสดงการหมุนเวียนของน้ำในบ่อจำลอง ด้านหน้า 35
รูปที่ 4.10	ภาพด้านข้างของบ่อจำลอง 36
รูปที่ 4.11	ภาพด้านบนของบ่อจำลองที่ความเร็วรอบต่ำ 36
รูปที่ 4.12	แบบด้านบนของบ่อจำลอง 37
รูปที่ 4.13	แบบด้านหน้าของบ่อจำลอง 38
รูปที่ 4.14	แผนผังแสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำ 39
รูปที่ 5.1	แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างในบ่อจำลองมาเขียน กราฟ Contour 40
รูปที่ 5.2	การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในระดับความเร็ว รอบของใบพัดคือน้ำระดับต่างๆ กัน ที่มีตะกอนในบ่อ 1.5 kg 42
รูปที่ 5.3	การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับความเร็ว รอบของใบพัดคือน้ำที่ 56 รอบต่อนาที ณ ระดับของใบพัด กินน้ำลึกแตกต่างกันที่ปริมาณตะกอนในบ่อ 1.5 kg 43
รูปที่ 5.4	การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในระดับความเร็ว รอบของใบพัดคือน้ำระดับต่างๆ กัน ที่มีตะกอนในบ่อ 5 kg 44
รูปที่ 5.5	การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับความเร็ว รอบของใบพัดคือน้ำที่ 56 รอบต่อนาที ณ ระดับของใบพัด กินน้ำลึกแตกต่างกันที่ปริมาณตะกอนในบ่อ 5 kg 45

## คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

$\rho$	ความหนาแน่นของน้ำ	$\text{kg/m}^3$
$\rho_s$	ความหนาแน่นของอนุภาค	$\text{kg/m}^3$
$v$	ปริมาตรจำเพาะ	$\text{m}^3/\text{kg}$
$\gamma$	น้ำหนักจำเพาะ	
$g$	ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก	$\text{m/s}^2$
$V_c$	ความเร็วสุดท้ายของวัสดุ	$\text{m/s}$
$V_p$	ความเร็วของอนุภาค	$\text{m/s}$
$C_D$	Drag Coefficient	
$d$	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค	$\text{m}$
$\mu$	ความหนืดเชิงพลวัต	$\text{N-s/m}^2$
$Q$	อัตราการไหลของน้ำ	$\text{m}^3/\text{s}$
$A$	พื้นที่ของถังตกตะกอน	$\text{m}^2$
$X_c$	สัดส่วนของความเร็วจนอนุภาคกับความเร็วสุดท้าย	

# บทที่ 1

## บทนำ

### (Introduction)

#### 1.1 บทนำและความเป็นมา

กุ้งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีความสำคัญและยังเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้อย่างมาก เนื่องจากมีคุณค่าอาหารสูง มีรสชาติดี และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเป็นจำนวนมาก ในหลายๆ ประเทศจึงได้ให้ความสนใจในการเลี้ยงและการพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งในบ่อมากขึ้น เพื่อทำรายได้ให้แก่ประเทศของตนเอง การแข่งขันน่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตและประเทศไทยนับเป็นประเทศที่ประสบความสำเร็จในการส่งออกกุ้ง ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการเลี้ยงกุ้งแบบการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่น แต่ยังไม่มีการจัดการเลี้ยงอย่างเป็นระบบ การใช้ความรู้ทางวิชาการที่ได้จากการวิจัยมาพัฒนาระบบการเลี้ยงกุ้ง เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำรวมทั้งการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นยังมีไม่เพียงพอ ดังนั้นถ้าเรามีการวิจัยอย่างเพียงพอและนำการวิจัยนั้นมาใช้จริงก็จะทำให้เราสามารถเป็นผู้นำในด้านการเลี้ยงกุ้งและการส่งออกกุ้งต่อไป

ปัจจุบันนานาประเทศในโลกตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในการบริโภคอาหารจึงได้มีการจัดทำกฎหมายสิ่งแวดล้อมขึ้นมาอย่างมากมายและประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ทำให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มาก เมื่อมีการออกกฎหมายบังคับข้อมูลที่ต้องที่มาจาก การวิจัยจึงจำเป็นต้องการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยผู้เลี้ยงนั้นควรได้มีการรับทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นและตระหนักถึงการบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจัง ก็จะทำให้เราเลี้ยงกุ้งได้อย่างยั่งยืนต่อไป

ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องเติมอากาศต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนในบ่อกุ้งโดยเลือกแบบใบพัด ผลที่ได้จากการวิจัยคณะผู้จัดทำคาดว่าสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพต่อการใช้งานรวมถึงการออกแบบบ่อเพาะเลี้ยง และการจัดการทางด้านการกวาดตะกอนที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิต และสามารถควบคุมตะกอนไม่ให้ถูกปล่อยไปกับการถ่ายน้ำที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.2 ขอบข่ายและวัตถุประสงค์ที่ศึกษา

- (1) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของเครื่องเติมอากาศต่อการเคลื่อนตัวของตะกอน
- (2) เพื่อศึกษาสภาพและขนาดที่เหมาะสมของบ่อเลี้ยงกุ้งต่อการถ่ายเทของตะกอน

## 1.3 แนวทางในการศึกษา

ในการศึกษาค้างนี้ ขั้นตอนการศึกษาได้ถูกแบ่งเพื่อให้ครอบคลุมขอบข่ายและวัตถุประสงค์ดังรายละเอียดดังนี้

- (1) ศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและผลการวิจัยที่ผ่านมา เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาและใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากบ่อจำลอง
- (2) เก็บข้อมูลจากบ่อจริง เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบและสร้างแบบจำลอง
- (3) ออกแบบและสร้างแบบจำลองบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง เพื่อหาลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้รับผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งเครื่องเติมอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในบ่อจำลองที่ระดับความเร็วรอบของใบพัดเครื่องเติมอากาศต่างๆ กัน และระดับความลึกกินน้ำของใบพัดตีน้ำระดับต่างๆ กัน
- (4) ดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูลจากแบบจำลอง
- (5) ประเมินผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องและที่เหมาะสมต่อการใช้งานในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง

## 1.4 การศึกษาที่ผ่านมา

ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำมากขึ้น การเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่มีการควบคุมน้ำเสียที่ปล่อยออกมา โดยน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมานั้นจะมีความเข้มข้นสูง ซึ่งอาจมาจากสาเหตุของจำนวนกุ้งกุลาดำในบ่อหนาแน่นเกินไป การเลี้ยงกุ้งให้ได้ผลผลิตสูงจึงต้องให้อาหาร ยาและสารเคมีต่างๆ เป็นจำนวนมาก เป็นสาเหตุทำให้เกิดมลภาวะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงควรออกแบบบ่อให้มีการรวบรวมของเสียไปอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งเพื่อกำจัดตะกอนได้ง่ายและจำเป็นต้องมีการเติมอากาศในน้ำให้มีปริมาณที่มากเพียงพอต่อความต้องการของกุ้งและความต้องการของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 1990) ส่วนในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยและปริมาณตะกอนทั้งหมด ซึ่งปริมาณความเข้มข้นได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของตะกอน ในลำน้ำที่ท้องน้ำรูปลักษณะทุกลม้วนของท้องน้ำ โดยการสร้างรางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีน้ำปนตะกอนไหลตามรางนั้น จากการศึกษาพบว่าในแต่ละลักษณะของท้องน้ำ ปริมาณตะกอนแขวนลอยจะขึ้นอยู่กับระดับความลึกของน้ำของแต่ละระดับความลึก (นัฐวุฒิ สนั่นพานิช, 1992) การเลี้ยงสัตว์น้ำที่ระบบเติมอากาศจะมีผลกระทบทำให้เกิดความขุ่นในบ่อเลี้ยงเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น จึงควรมีการจัดการระบบเติมอากาศให้เหมาะสมโดยให้เกิดความขุ่นให้น้อยที่สุด (ดำรง โลหะลักษณะเดช, 1997)

ในเรื่องการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องเติมอากาศใช้ในฟาร์มกุ้ง เราสามารถที่จะผลิตขึ้นเองได้และยังสามารถที่จะลดต้นทุนในการผลิตและคุณภาพที่ดีได้ตามลักษณะการใช้งาน โดยอุปกรณ์สำคัญจะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ชุดทดกำลัง เพลาค้ออ่อน ชุดใบตีน้ำ และชุดแทนลอยน้ำ แล้วนำมาประกอบเข้าเป็นชุดเดียวกัน ลักษณะเครื่องต้นกำลังที่ใช้กับเพลามุน อาจจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลหรือมอเตอร์ไฟฟ้า ถ้าใช้เครื่องยนต์กับเพลามุนก็จะปรับความเร็วรอบได้ตามความต้องการเพราะใช้คันเร่งบังคับ แต่ถ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าก็จะไม่สามารถปรับความเร็วรอบได้เพราะความเร็วรอบคงที่พบว่าการประดิษฐ์ขึ้นนี้สามารถเติมอากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดต้นทุนได้มาก (จารุภาส พลดี และ ชัชวาล พลีสุดใจ ,1992) ในส่วนผลของใบพัดที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่น แบบหมุนเวียนตะกอน ขนาดรูปร่าง การจัดใบพัด ความเร็วรอบของใบพัดมีผลต่อการกำจัดความขุ่นของตะกอน โดยใบพัดที่มีรูเล็กจำนวนมากจะให้ผลดีกว่าใบพัดที่มีรูจำนวนน้อยกว่าในพื้นที่เปิดจำนวนที่เท่ากันและใบพัดที่มีผิวขรุขระจะให้ผลดีกว่าใบพัดที่มีผิวเรียบ (ถัดดา ธรรมการณย์,1992) จุดประสงค์หลักของการใช้เครื่องเติมอากาศก็คือ การให้ออกซิเจนและรวมตะกอนเข้าตามบ่อทำให้มีพื้นที่สะอาดสำหรับกุ้งอาศัยอยู่มากขึ้น การวางตำแหน่งที่ถูกต้องจะช่วยลดพลังงานในการรวบรวมตะกอนเข้ากลางบ่อ( ดร.ชะลอ ลิมสุวรรณ, 2000)

## บทที่ 2

### หลักการทั่วไปของการเลี้ยงกุ้ง (Principles of Prawn Farming)

#### 2.1 หลักการทั่วไปของการเพาะเลี้ยงกุ้ง

ปัจจุบันความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำธรรมชาติลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเวลาไม่ถึง 50 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิ การทำการประมงมากเกินไป การทำการประมงผิดวิธี ปัญหาจากมลภาวะต่างๆ การเพิ่มขึ้นของประชากร ดังนั้นจึงมีการเพาะเลี้ยงเพื่อชดเชยธรรมชาติ โดยการพัฒนาวิธีการขึ้นตามลำดับ

การเลี้ยงกุ้งเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้กับผู้เลี้ยงจำนวนมาก จึงได้มีการเลี้ยงกุ้งกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่ผู้เลี้ยงกุ้งในประเทศไทยมีผู้เลี้ยงกุ้งอยู่เพียงไม่กี่ชนิด อาทิเช่น การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และการเลี้ยงกุ้งแชบ๊วย เป็นต้น ซึ่งหลักการที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งก็มีขั้นตอนใหญ่ๆ มีขั้นตอนหลักๆ ไม่กี่ขั้นตอน แต่จะมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของกุ้ง ทำเลที่ตั้ง จำนวนกุ้ง และวิธีการเลี้ยงกุ้ง

##### 2.1.1 แนวทางการเลี้ยงกุ้งให้มีประสิทธิภาพ

- (1) ลดต้นทุนในการผลิต โดยใช้ความรู้และวิชาการต่างๆมาพัฒนาการเลี้ยงให้สามารถแข่งขันกับต่างประเทศในอนาคต
- (2) คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในโลกปัจจุบันสภาพแวดล้อมของเราเสื่อมโทรมลงมาก ดังนั้นเราจึงต้องตระหนักถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับการเลี้ยงกุ้งและควรวางวิธีการป้องกันหรือให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
- (3) คุณภาพดีและปลอดภัยกับผู้บริโภค การเลี้ยงกุ้งนับวันจะมีการใช้สารเคมีเพิ่มขึ้น ทำให้เป็นสาเหตุให้สุขภาพของผู้บริโภคทรุดโทรมอย่างรวดเร็วและอาจก็ให้เกิดโรคร้ายตามมากับผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้จึงต้องหามาตรการที่ป้องกันไม่ให้เกิดสารตกค้างในกุ้งขึ้น

##### 2.1.2 แนวทางการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

- (1) เลือกกุ้งที่มีคุณภาพดี การเลือกลูกกุ้งเป็นจุดเน้นในการเลี้ยงกุ้ง โดยถ้าลูกกุ้งมีสุขภาพดีและมันกินอาหารตามขนาดที่เหมาะสม อัตราการรอดก็มากขึ้นด้วย รวมทั้งขนาดของกุ้ง ในบางครั้งถ้าเราใช้ลูกกุ้งที่ไม่มีคุณภาพกล่าวคือ ลูกกุ้งจะกินอาหารแต่จะไม่ค่อยโต และอัตราการรอดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) เตรียมอาหารธรรมชาติก่อนปล่อยกุ้งลงในบ่อ ควรมีการเตรียมน้ำก่อนที่ปล่อยกุ้งให้มีอาหารธรรมชาติและแพลงก์ตอนที่เหมาะสม ลูกกุ้งจะมีอัตราการรอดสูงขึ้นลูกกุ้งโตดี ประหยัดค่าอาหาร

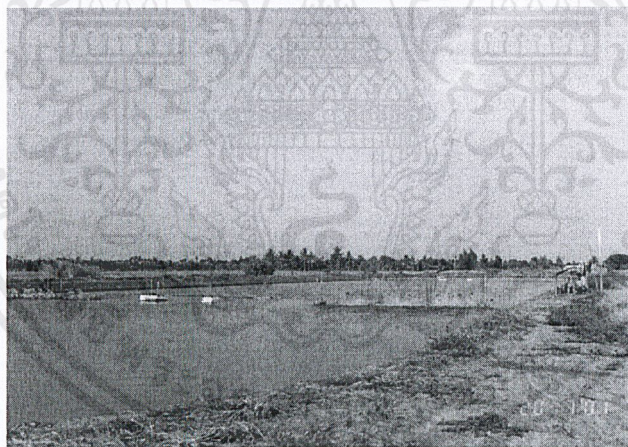
(3) การใช้อาหารที่มีคุณภาพดี อาหารคุณภาพดี คือ ใช้อาหารปริมาณน้อยแต่ได้ผลผลิตหรือน้ำหนักกุ้งมาก

(4) การจัดการที่เหมาะสมในที่นี้หมายถึง การจัดการในด้านคุณภาพน้ำ การเติมอากาศ แพลงก์ตอน การจัดการพื้นบ่อ และการใช้สารเคมีและยาอย่างเหมาะสม

## 2.2 ระบบการเลี้ยงกุ้ง

การเลี้ยงกุ้งมีอยู่ 2 แบบ คือ

**2.2.1 ระบบเปิด (Open System)** หรือแบบพัฒนา ซึ่งใช้วิธีการจัดเลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำทิ้งระหว่างฟาร์มกับแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ทั้งลักษณะโครงสร้างขั้นพื้นฐานและวิธีการจัดการระบบกุ้งแบบเปิดก็ไม่เอื้ออำนวยต่อสภาวะภายนอก ซึ่งหากเลี้ยงกุ้งระบบเปิดต่อไปก็จะมีแนวโน้มประสบปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับประเทศอื่น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บ่อเลี้ยงกุ้งในระบบเปิดหรือระบบพัฒนา

**2.2.2 ระบบปิด (Closed System)** หรือรีไซเคิล ซึ่งเป็นการเลี้ยงโดยป้องกันมลภาวะจากภายนอก พร้อมกับการดำเนินการบำบัด ควบคุมและรักษาความสมดุลของสภาพแวดล้อม ภายในฟาร์มอย่างต่อเนื่อง โดยไม่เปลี่ยนและระบายทิ้งจึงเป็นแนวทางใหม่ต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งซึ่งสามารถลดปัญหามลพิษแก่แหล่งน้ำธรรมชาติ

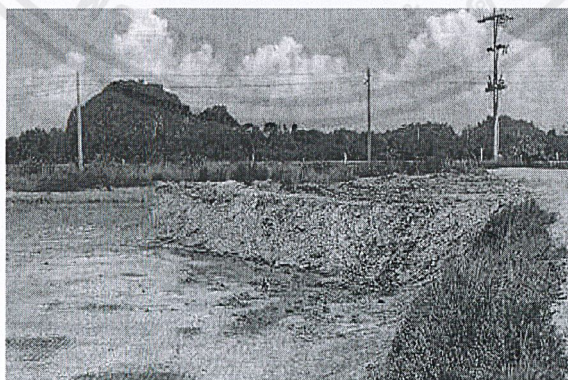
ลักษณะการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบการเลี้ยงกุ้งระบบเปิดหรือระบบแบบพัฒนา จึงได้มีการศึกษาลักษณะ โดยทั่วไปในระบบเลี้ยงกุ้งระบบพัฒนา

### 2.3 การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา

ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนิยมการเลี้ยงแบบพัฒนากันเป็นส่วนใหญ่ เป็นการเลี้ยงแบบอุตสาหกรรมที่ดำเนินการโดยเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งรายใหญ่มีเงินทุนมาก หรือเลี้ยงโดยเอกชนในรูปแบบหุ้นส่วนและบริษัทสร้างบ่อเลี้ยง โดยส่วนใหญ่จะขุดบ่อขนาด 3-6 ไร่ การเลี้ยงแบบนี้ต้องซื้อลูกกุ้งกุลาดำจากโรงเพาะฟักมาปล่อย อัตราการปล่อยกุ้ง 15-20 ตัวต่อตารางเมตร ลูกกุ้งมีขนาด 1-1.5 เซนติเมตร อาหารหลักที่ใช้เลี้ยงคืออาหารสำเร็จรูปและมีการให้อาหารพวกปลาสด หอยสด สับละเอียดเสริม มีการใช้เครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มมวลของน้ำหมุนเวียนและเพิ่มออกซิเจนในน้ำ ในช่วงที่ลมสงบหรือช่วงที่กุ้งโตเกิดความหนาแน่นภายในบ่อเลี้ยง ก่อนปล่อยลูกกุ้งลงเลี้ยงอาจจะทำเป็นคอกสี่เหลี่ยมโดยรอบด้วยผ้าไนล่อนสีเขียวไว้กกลางบ่อเพื่ออนุบาลลูกกุ้งก่อน 15-20 วันจึงปล่อยเลี้ยงในบ่อต่อไป การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะใช้เวลาประมาณ 4-5 เดือน จึงจับกุ้งขายได้

### 2.4 การเตรียมฟาร์มกุ้ง

การบำบัดฟาร์มกุ้งก่อนเลี้ยงรุ่นต่อไป หลังจบการเลี้ยงกุ้งแต่ละรุ่นแล้วภายในฟาร์มทั้งพื้นดิน ตะกอน เสน ก็จะถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งขับถ่าย เศษอาหาร ซาก สิ่งมีชีวิต สารพิษ จุลินทรีย์ ตลอดจนเชื้อโรค ดังนั้นถ้าหากยังทำความสะอาดฟาร์ม โดยการล้างแล้วเปลี่ยนถ่ายระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือเก็บกักไว้ในฟาร์มโดยมิได้รับการบำบัดก่อนที่จะใช้เพาะเลี้ยงรุ่นต่อไป ก็จะมีผลกระทบต่อกลับมาทำลายกิจการของตนเองและผู้อื่นด้วย ดังนั้นถ้าจะเลี้ยงกุ้งโดยไม่มีที่ตะกอนและเลนออกจากฟาร์มนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดการย่อยสลายสิ่งปฏิภูลต่าง ๆ ภายในฟาร์มนั้นให้กลับมาคืนสู่ภาวะสมดุล สะอาด ก่อนที่จะเลี้ยงกุ้งรุ่นต่อไปและทำการอัดดินที่มูบ่อ ดังรูปที่ 2.2



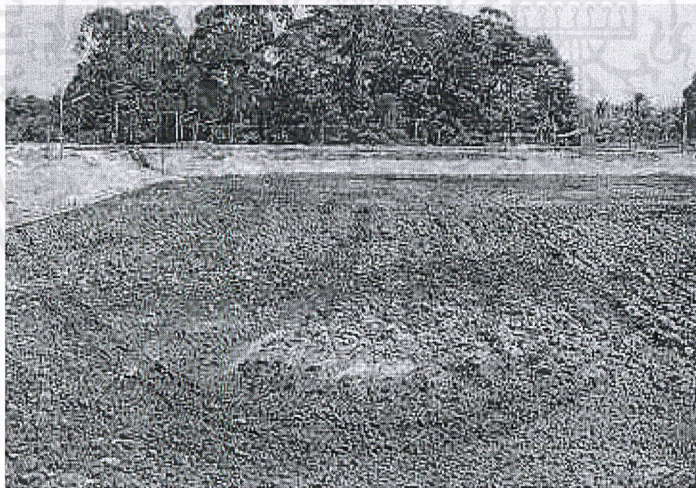
รูปที่ 2.2 การเอาดินมาอัดไว้มูบ่อเพื่อป้องกันการกักเชื้อที่ข้างบ่อ

#### 2.4.1 การบำบัดและปรับปรุงเลนในบ่อ

หลังจากการจับกุ้งแล้วระบายน้ำเข้าบ่อท่วมเลนที่พื้นบ่อ (5-30 ซม.) แล้วคราดเลนที่พื้นเพื่อให้กระจายอยู่เฉพาะในบ่อ โดยคราดให้เลนแตกกระจายผสมกับน้ำสัมผัสกับอากาศในหลักการเดียวกับการเตรียมน้ำหวานน้ำต้ม และการทำปุ๋ยหมักซึ่งระยะห่างแต่ละครั้งที่ทำการปล่อยพักไว้ระหว่าง 5-7 วัน/ครั้ง พร้อมปรับ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เสร็จแล้วปล่อยให้ตกตะกอนก่อนระบายเฉพาะน้ำออกให้หมด ตากให้แห้ง แล้วเลนก็จะกลับเป็นดินแข็งพร้อมกับขูดลอกเสริมตกแต่งภายในฟาร์มให้อยู่ในสภาพที่ดีพร้อมก่อนที่จะดำเนินการขั้นที่ 2 ต่อไป

#### 2.4.2 การปรับปรุงผิวดินในบ่อ

หลังจากตากบ่อแห้งแล้วระบายน้ำเข้าบ่อท่วมพื้นพร้อมคราดผิวดินที่พื้นบ่อให้แตกกระจายผสมกับน้ำแล้วปล่อยพักไว้ประมาณ 3-5 วัน หลังจากนั้นหว่านปูนขาวแล้วคราดอีกครั้ง พร้อมปรับปรุง pH ให้เหมาะสมจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอน ระบายน้ำออกให้หมด ตากบ่อแห้งพร้อมบดอัดพื้นบ่อให้แน่น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การไถพรวนพื้นเสร็จตากบ่อให้แห้ง

#### 2.4.3 ขนาดของบ่อเลี้ยง

ขนาดของบ่อเลี้ยงแต่ละบ่อจะมีขนาด 3-6 ไร่ เพื่อที่จะควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ง่าย ขุดบ่อลึกประมาณ 2 เมตร ขุดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีคันล้อมรอบกว้าง 3-4 เมตร คันบ่ออัดดินให้แน่นและความลาดชันของผนังบ่อประมาณ 1:2 ให้ประตูน้ำเข้ากับประตูน้ำออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทแยงกัน นอกจากนี้อาจขุดร่องรอบบ่อลึกประมาณ 30 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เมตร เพื่อไว้คักขี้เลน และง่ายต่อการดูที่ภายหลัง ความลึกของบ่อเมื่อปล่อยน้ำในนาุ้งระดับน้ำสูงสุดในบ่อประมาณ 1.6 เมตร และอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลสูงสุดประมาณ 0.40-0.50 เมตร เพื่อสามารถระบายน้ำในบ่อเลี้ยงออกให้หมดได้รวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำ ดังรูปที่ 2.4

บ่อที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือวงกลมจะเป็นบ่อที่เหมาะสมในการการบั้งคักการหมุนเวียนของน้ำ ส่วนบ่อที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบจะไม่เหมาะต่อการเลี้ยงเพราะการบั้งคักการหมุนเวียนของน้ำเป็นไปอย่างลำบากและความลึกของระดับน้ำที่ 1.5 เมตรเป็นระดับที่เหมาะสมที่ทำให้น้ำหมุนเวียนได้ดีขึ้นและควรมีการลบบวมบ่อเพื่อลดจุดที่เกิดน้ำนิ่ง (ไม่มีการไหลเวียนของน้ำที่จุดนั้น)



รูปที่ 2.4 ลักษณะบ่อที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้ง

## 2.5 การเตรียมน้ำ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนใช้เลี้ยงกุ้งรุ่นต่อไป เนื่องจากน้ำที่ใช้มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นแหล่งรองรับสิ่งปฏิกูลต่างๆ ที่มีการบำบัดซึ่งเป็นอันตรายต่อการเพาะเลี้ยงกุ้ง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องนำมาบำบัดก่อนที่จะไปใช้ในการเลี้ยง

### 2.5.1 ความเค็ม

กุ้งสามารถทนความเค็มได้ประมาณ 3-45 ส่วนในพัน (ppt) ทนอยู่ในน้ำจืดได้ระยะเวลาหนึ่ง ส่วนความเค็มที่เหมาะสม 10-30 (ppt) ช่วงที่ดีที่สุด คือ 10-25 (ppt)

### 2.5.2 สารแขวนลอยและสารอินทรีย์

น้ำที่สูบเข้ามาในบ่อกุ้งเพื่อเลี้ยงส่วนมากจะมีพวกสารแขวนลอยมาก ซึ่งสารนี้จะประกอบด้วยอนุภาคดินและสารอินทรีย์ ซึ่งถูกพัดพามาตามกระแสน้ำจากแม่น้ำลำคลอง ตะกอนก็จะตกสู่ก้นบ่อ ตะกอนส่วนมากจะเป็นสารอินทรีย์ เมื่อถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียก็อาจจะเป็นตัวที่ใช้ออกซิเจนที่สำคัญและทำให้เกิดแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์บริเวณพื้นบ่อซึ่งอาจเป็นอันตรายกับลูกกุ้ง

### 2.5.3 ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวสำคัญที่สุดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง ออกซิเจนเป็นก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของอากาศ ซึ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์เพื่อใช้ในการหายใจ สัตว์น้ำใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งส่วนหนึ่งจะแพร่จากอากาศอีกส่วนหนึ่งได้จากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายและพืชน้ำ การละลายน้ำของออกซิเจนขึ้นอยู่กับความกดอากาศ อุณหภูมิ และความเค็มของน้ำ กุ้งทะเลและสัตว์น้ำทุกชนิดต้องการน้ำที่มีออกซิเจนสูงพอเพียง ถ้าปริมาณออกซิเจนลดต่ำลงมาก ๆ กุ้งก็จะเริ่มอ่อนแอ ชะงักการเจริญเติบโตและเริ่มทยอยตาย ถ้าออกซิเจนในน้ำลดลงถึงจุดอันตราย กุ้งจะตายยกบ่อ ปริมาณของออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันจะมีค่าต่ำสุดในตอนเช้า ส่วนในเวลากลางวันการสังเคราะห์แสงที่เกิดจากพืชเล็กๆในน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นมักจะพบปริมาณออกซิเจนสูงสุดในช่วงบ่าย ในเวลากลางคืนการสังเคราะห์แสงจะหยุดและการหายใจโดยพวกสิ่งมีชีวิตในบ่อ ซึ่งต้องการออกซิเจนจะทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำลง ปริมาณออกซิเจนจะลดตามระดับความลึกของบ่อ ค่าออกซิเจนอาจจะเป็น 0 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับ 1.5 หรือ 2 เมตร อัตราการลดลงของออกซิเจนตามระดับความลึกจะสัมพันธ์เพิ่มขึ้น เมื่อความขุ่นมากขึ้นและในบ่อโดยทั่วไปแพลงก์ตอนพืชจะเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำขุ่น ดังนั้นต้องมีการเติมอากาศในช่วงเวลานี้ ดังรูปที่ 2.5

ซึ่งปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามักจะขุดบ่อค่อนข้างลึกโดยเฉพาะประมาณ 1.5 ถึง 2 เมตร จึงควรมีเครื่องตีน้ำเพื่อช่วยการละลายของออกซิเจนลงในน้ำมากขึ้น ส่วนการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำจะดี ถ้าออกซิเจนในน้ำไม่ลดลง ต่ำกว่า 25 ถึง 30 % ของปริมาณที่จุดอิ่มตัวในเวลากลางคืน

สาเหตุปัจจัยของการขาดออกซิเจน

(1) มีการเน่าเสียของเศษอาหารที่เหลือ

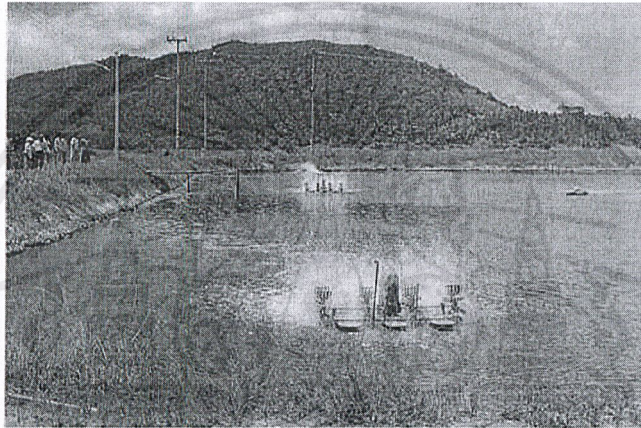
(2) เกิดการตายอย่างฉับพลันของแพลงก์ตอนพืชออกซิเจนจะถูกใช้ไปในการย่อยสลาย

แพลงก์ตอนพืช

- (3) พื้นบ่อเฝ้าจากการหมักหมมของตะกอนสารอินทรีย์
- (4) น้ำที่สูบจากแหล่งน้ำอาจมีออกซิเจนต่ำ

#### 2.5.4 ค่าความเป็นกรดความเป็นด่าง (pH)

ค่า pH ปกติจะมีค่าประมาณ 7 ถึง 8 ในน้ำกร่อย ส่วนใหญ่ ค่า pH ไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับกุ้งมากนัก ส่วนที่มีปัญหาที่เป็นบริเวณที่เป็นดินเปรี้ยวที่มีอันตรายต่อกุ้ง ในเวลากลางวัน pH มักจะสูง เพราะพวกแพลงก์ตอนจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ไปในการสังเคราะห์แสงส่วนกลางคืน pH ต่ำลง



รูปที่ 2.5 การใช้เครื่องเติมอากาศแบบแอร์เจ็ตและแบบไบพัตต์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อ

## 2.6 การให้อาหาร

### 2.6.1 อาหารกุ้ง

อาหารกุ้งสำหรับกุ้งกุลาดำวัยอ่อนนั้น(1เดือน) ให้เคยผสมอาหารให้กิน โดยหว่านลงไปในวันละ 3 เวลา ต่อเมื่อกุ้งโตขึ้นบ้าง แล้วจึงให้อาหารสำเร็จรูป พร้อมทั้งให้อาหารพวกปลาหรือปลาหมึกสดสับเป็นชิ้นละเอียดหรือหอยกะพงเป็นๆ หว่านให้ทั่วบ่อ

### 2.6.2 การหว่านอาหาร

สำหรับกุ้งขนาดเล็กต้องปิดเครื่องให้อากาศทุกตัวเพราะอาหารจะถูกกระแสน้ำพัดไปรวมกันกลางบ่อลูกกุ้งอาจจะกินไม่ทัน แต่กุ้งขนาดใหญ่อาหารจะมีขนาดใหญ่กว่าอาจจะเปิดเครื่องเติมอากาศขณะหว่านอาหาร

### 2.6.3 การตรวจสอบการกินอาหารของกุ้ง

เราสามารถตรวจเช็คปริมาณอาหารที่ว่าจะมากหรือน้อยเกินไปก็ได้โดยใส่อาหารลงไปในยอที่วางไว้ข้างบ่อ โดยแต่ละบ่อจะมียอใส่อาหาร 2 อัน ถ้าอาหารใส่ในยอนั้นหมดแสดงว่าหว่านอาหารให้น้อยเกินไปหรือถ้าเหลืออยู่ในยอมากแสดงว่าให้อาหารมากเกินไปจำเป็นต้องลดปริมาณอาหารลงให้พอดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

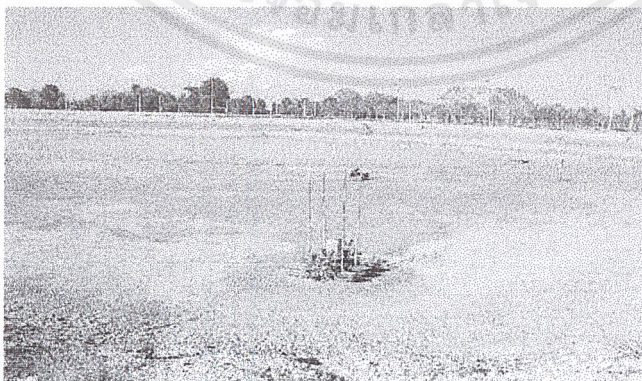
## บทที่ 3

### ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

#### (Fundamental Theories)

#### 3.1 ความสำคัญและหลักการทั่วไปเกี่ยวกับตะกอน

ตะกอน (Sediment) หมายถึง สารที่เจือปนอยู่ในน้ำ อาจมีทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้ (Dissolved) และชนิดที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (Suspended) ซึ่งตะกอนในบ่อกึ่ง (รูปที่ 3.1) จะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิเช่น อาหารกึ่ง ฤดูกาล เป็นต้น กล่าวคือในฤดูร้อนปัญหาการขาดแคลนน้ำมักจะส่งผลกระทบต่อสัดส่วนปริมาณของตะกอนในแหล่งน้ำธรรมชาติให้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการระเหยของน้ำจากความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ช่วงฤดูฝนเมื่อฝนตก ตะกอนในบ่อเลี้ยงจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการกัดเซาะพังทลายของคันบ่อ ตลอดจนการเปิดเครื่องตีน้ำเพื่อผสมมวลน้ำเข้าด้วยกัน ทำให้ปริมาณตะกอนในบ่อเลี้ยงกึ่งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาหารกึ่งที่ให้กุ้งกินในแต่ละวันจะเหลือตกค้างและสะสมในบ่อเลี้ยง เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุของ การเกิดตะกอนในบ่อเลี้ยงกึ่งทั้งสิ้น ด้วยสาเหตุนี้ส่งผลให้เกิดปัญหาในการจัดการการเลี้ยงกึ่งของเกษตรกร ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเลี้ยงกึ่งในระบบพัฒนา (ปริมาณกึ่งต่อพื้นที่มีความหนาแน่นมาก) จึงกล่าวได้ว่าฤดูกาล ปริมาณตะกอนและการเกิดโรคในกุ้งกุลาดำ มีความสัมพันธ์อย่างยิ่ง ซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงกึ่งจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับตะกอนและการจัดการเกี่ยวกับตะกอนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงกึ่ง เพื่อความสำเร็จในการเลี้ยงกึ่งแบบยั่งยืนต่อไป



รูปที่ 3.1 ตะกอนในบ่อเลี้ยงกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ผลกระทบของตะกอนต่อสุขภาพกุ้ง

บ่อกุ้งที่มีตะกอนมากจนเกินไปจะส่งผลเสียต่อสุขภาพกุ้ง ทำให้กุ้งไม่เจริญเติบโตและอาจตายในที่สุด ผลของตะกอนจะส่งผลต่อกุ้งในด้านต่างๆพอสรุปได้ดังนี้

(1) ผลต่อเหงือกกุ้ง ในกรณีที่ตะกอนเข้าเหงือกมากจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง จนพบอาการเหงือกอักเสบได้

(2) ผลต่อการระบายอากาศของกุ้ง เมื่อตะกอนเข้าเหงือกกุ้งจะส่งผลให้ กุ้งแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยลง ถ้าคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในเลือดมากกว่าออกซิเจนจะทำให้กุ้งเคลื่อนไหวช้าลง กินอาหารมากขึ้นเนื่องจากต้องใช้พลังงานในการขับเหงือกเพื่อแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและทำความสะอาดเหงือกมากขึ้นส่งผลให้กุ้งโตช้า

(3) ผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมกุ้งจะเผาผลาญสารอาหารได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากเหงือกแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนได้น้อย การสันดาปพลังงานทำได้ไม่ดี ส่งผลให้กุ้งได้รับสารอาหารไม่เพียงพอทำให้กุ้งไม่โตเปลี่ยนนํ้าหนักตัวลงเร็วที่สุดในที่สุด

(4) ตะกอนเป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคต่างๆ เช่น ซูโอแทมเนียมและไวรัสเนื่องจากไวรัสสามารถใช้อินทรีย์และอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานได้ จึงสามารถเจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้ในสภาพน้ำที่มีตะกอนมาก เมื่อตะกอนซึ่งมีไวรัสและซูโอแทมเนียมสะสมอยู่มากๆ เข้าสู่เหงือกกุ้ง กุ้งจึงมี โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคเหงือกอักเสบ และการติดเชื้อในระบบเลือด ซูโอแทมเนียมเมื่อเข้าเกาะเหงือกจะส่งผลให้ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของเหงือกกุ้งได้น้อยลง

(5) การแลกเปลี่ยนอิออนต่างๆ ระหว่างเหงือกกุ้งกับสิ่งแวดล้อม กรณีที่เหงือกกุ้งมีตะกอนมากเหงือกจะไม่สามารถนำแร่ธาตุไปใช้ได้เลย ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต เช่น โซเดียม แคลเซียม คลอไรด์ แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ในกรณีที่ขาดแร่ธาตุเหล่านี้จะทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตช้า แคระแกรน เปลือกบางนุ่ม กรณีที่ขาดโซเดียมและคลอไรด์กุ้งจะเบื่ออาหารและเอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งได้น้อย ดังนั้นกุ้งจะใช้ประโยชน์จากสารอาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตได้น้อยลง อันเป็นผลกระทบในทางอ้อม หากเราปล่อยให้ตะกอนเข้าเกาะเหงือกกุ้งมากๆ ตะกอนจะขัดขวางการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุที่จำเป็นในการสันดาปสารอาหาร ที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของกุ้ง ตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งส่งผลทั้งในทางตรงและในทางอ้อมต่อสุขภาพกุ้งและคุณภาพน้ำ ด้านสุขภาพกุ้ง ตะกอนส่งผลให้เกิดโรคเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะ โรคเหงือกอักเสบ เหงือกสีน้ำตาล จากตะกอน แพลงก์ตอน



รูปที่ 3.2 ภาพพื้นที่ที่มีการรวมตะกอนที่ดีโดยรอบๆบ่อจะไม่มีตะกอน

### 3.1.2 คุณสมบัติของน้ำและตะกอน

ในการศึกษาเรื่องการเคลื่อนตัวของตะกอนต้องมีความเข้าใจในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำและตะกอน โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- (1) น้ำหนักจำเพาะ ( Specific Weight ) คือ น้ำหนัก / ปริมาตร
- (2) ความถ่วงจำเพาะ ( Specific gravity ) คือ ปริมาตรจำเพาะของวัสดุต่อปริมาตรจำเพาะของน้ำที่  $4^{\circ}\text{C}$  หรือ  $39.2^{\circ}\text{F}$  ความถ่วงจำเพาะของตะกอนโดยเฉลี่ยประมาณ 2.65
- (3) เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง ( Nominal Diameter ) คือเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับตะกอน
- (4) Sieve Diameter คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีความยาวเท่ากับขนาดของตะแกรงที่วัสดุสามารถผ่านได้ตะแกรงนั้นได้
- (5) Fall Diameter คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 และมีความเร็วสุดท้ายของวัสดุตกตะกอนอย่างอิสระ
- (6) Fall Velocity คือความเร็วสุดท้ายเฉลี่ยของวัสดุที่ตกอิสระในน้ำกลั่น (Distilled water)
- (7) Angle of Repose คือมุมเอียงก่อนที่ทำให้วัสดุมีการเลื่อนไถล
- (8) Porosity คือ การวัดปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรของตัวตะกอน
- (9) Viscosity คือ ความหนืดค่าที่บอกการต้านทานของการไหลภายใต้แรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 คุณสมบัติของตัวตะกอนแบบเดี่ยว (A Single Sediment Particle)

- (1) ขนาด (Size) เราสามารถหาขนาดโดยใช้ตะแกรงหรือวิเคราะห์โดย visual accumulation tube
- (2) รูปร่าง (Shape) บอกขนาดโดย Shape Factor
- (3) ความหนาแน่น (Density)
- (4) ความเร็วในการตก

### 3.1.4 คุณสมบัติของตัวตะกอนแบบกลุ่มก้อน (A Bulk Properties of Sediment particle)

- (1) การกระจายของขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution)
- (2) ขนาดอนุภาค โดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่ากลาง
- (3) น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight)
- (4) ความพรุน (Porosity)

## 3.2 ทฤษฎีการตกตะกอน (Sedimentation Theory)

การตกตะกอน คือ กระบวนการแยกตะกอนของแข็ง โดยกระบวนการนี้แบ่งออกเป็นประเภทการตกตะกอนออกเป็น 4 ประเภทตามความเข้มข้นของตะกอนและความโน้มเอียงของตะกอนที่จับกัน ได้ดังนี้

**3.2.1 Free Settling** คือ การจมตัวของอนุภาคไม่จับตัวกัน โดยแต่ละอนุภาคจะจมตัวลงตามลำพังโดยน้ำหนักของตัวเอง

การตะกอนประกอบด้วยแรงที่กระทำต่ออนุภาค 3 แรง คือ

$$\text{- แรงโน้มถ่วง (Body Force)} \quad f_g = \rho_s gV \quad (3.1)$$

$$\text{- แรงลอยตัว (Bouyant Force)} \quad f_b = \rho gV \quad (3.2)$$

$$\text{- แรง (Drag force)} \quad f_d = C_D A_p \rho \frac{V_c^2}{2} \quad (3.3)$$

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\text{เมื่อสมดุลแรงทั้งหมดจะได้} \quad f_g - f_b - f_d = ma \quad (3.4)$$

ในการคำนวณหาความเร็วของการตกตะกอนของอนุภาคได้จะสูตร

$$\text{ความเร็วในการตกตะกอน} \quad V_C = \left[ \frac{4 g(\rho_s - \rho)}{3 C_D \rho} \right] \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกฎของ Newton และ Stoke ค่าของ  $C_D$  (Drag Coefficient) ขึ้นอยู่กับลักษณะการไหล ดังนี้

เมื่อ $Re < 1$	$C_D = 24 / Re$	(Laminar Flow)
เมื่อ $Re > 1$	$C_D = 24 / Re + 3/Re^{1/2} + 0.34$	(Transitional Flow)
เมื่อ $Re > 10,000$	$C_D = 0.4$	(Turbulent Flow)

โดย 
$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (6)$$

การหาประสิทธิภาพการตกตะกอนมีวิธีอยู่ 2 วิธี

(1) ใช้ Sieve analysis และ Hydrometer test ร่วมกับสมการการหาความเร็วในการตกตะกอน

(2) ใช้ Settling Column ในการหาค่ามาเขียนกราฟของค่าระหว่าง Setting Velocity กับ Fraction of particles (สัดส่วนของความเร็วในการตกตะกอนกับความเร็วของอนุภาคถูกกำจัด)

วิธี Settling Column ในการหาความเร็วการตกตะกอนและสัดส่วนของอนุภาค วิธีนี้ต้องสร้าง Sampling port เพื่อใช้ในการหาค่าต่าง ความเร็วตกตะกอนใน Sampling Port ( $V_C$ ) หาได้จาก ระยะระหว่างผิวน้ำถึง Sampling Port ( $Z_C$ )หารด้วยเวลาที่อนุภาคเริ่มเคลื่อนถึง Port ( $t_0$ ) ให้  $X_C = V_p/V_C = C$  (ความเข้มข้นขณะวัดค่า)/ $C_0$  (ความเร็วเริ่มต้น) คือสัดส่วนที่มีความเร็วของอนุภาคน้อยกว่าความเร็ว  $V_C$  ในการหาความเร็ว  $V_p$  เราจะใช้ระยะทางเฉลี่ย โดย  $Z_p/2$  ดังนั้น  $V_p = Z_p/(2t_0)$

$$\text{Fraction removed (R)} = (1 - X_C) + \int_0^{X_C} \frac{V_p}{V_C} dx \quad (3.7)$$

วิธีทาง Numerical

$$\text{Fraction removed} = (1 - X_C) + \frac{1}{V_C} \sum v_p \Delta x \quad (3.8)$$

เมื่อ  $1 - X_C$  คือ สัดส่วนของอนุภาคที่มีความเร็วของอนุภาคมากกว่าความเร็วสุดท้าย

$\int_0^{X_C} \frac{V_p}{V_C} dx$  คือ สัดส่วนของอนุภาคเอาออกที่มีความเร็วของอนุภาคน้อยกว่าความเร็วสุดท้าย

**3.2.2 Flocculate Settling** คือ ตะกอนประเภทนี้เป็นตะกอนเบา และจะจับตัวกันเป็นตะกอนใหญ่ให้มันมีน้ำหนักมากขึ้น และจะจมตัวพร้อมกัน โดยพบในน้ำที่มีความเข้มข้นไม่มาก

การหาลักษณะของการตกตะกอน จะใช้ Multiple Sampling Port ซึ่งในการทดลองจะมีการควบคุมอุณหภูมิ และมีการวิเคราะห์ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ตัวอย่างตะกอนตกลงที่ Sampling Ports

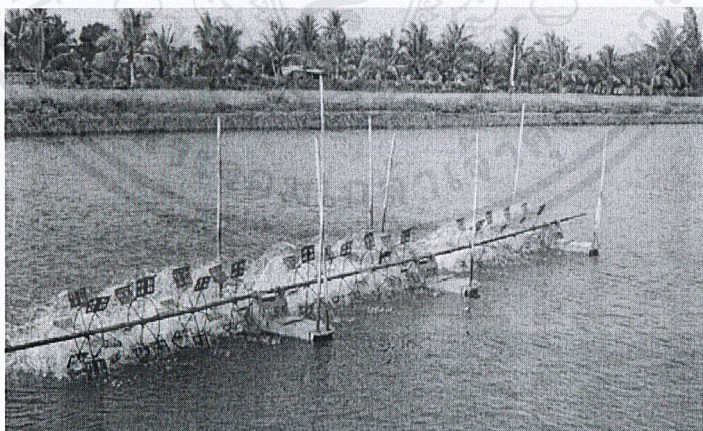
**3.2.3 Zone Settling** คือ ตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตะกอนค่อนข้างสูง เกินกว่าตะกอนจะจับตัวกันและจมตัวกันพร้อมกันทั้งหมด ทำให้เกิดการแยกชั้นที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างชั้นน้ำใสตอนบน และชั้นตะกอนตอนล่างจะยุบตัวลงเรื่อยๆ การหาลักษณะการตกตะกอนหาได้ 2 แบบคือ

- (1) Single (batch) settling test
- (2) Solids - flux method

**3.2.4 Compression Settling** คือ ตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตะกอนสูง มากจนตะกอนเกาะกันแน่น ทำให้ชั้นตะกอนอัดกันแน่นขึ้นและมีปริมาตรน้อยลง การหาการตกตะกอนแบบนี้จะเป็นการหาปริมาตรของ sludge ใน Compression region หาได้จากการใช้ Settling Tests ซึ่งขอบเขตของอัตราที่ทำให้แข็งตัวขึ้นอยู่กับผลต่างของความลึกกับเวลา

### 3.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเติมอากาศ

เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่น จึงจำเป็นต้องมีการให้อากาศหรือให้ออกซิเจนโดยการใช้เครื่องเติมอากาศ

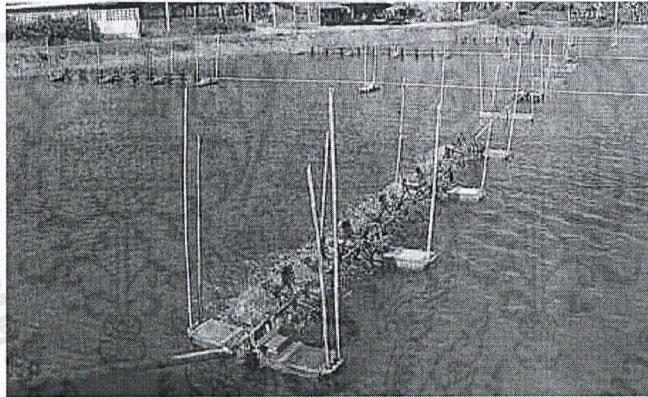


รูปที่ 3.3 เครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งที่เก็บตัวอย่างมาทดลอง

### 3.3.1 วัตถุประสงค์ของการเติมอากาศ

(1) เพิ่มออกซิเจนหรือรักษาระดับของออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ความสำคัญของการใช้เครื่องเติมอากาศจะเห็นได้ชัดเจนในตอนกลางคืนหลังจากที่ระดับปกติ ทั้งวันออกซิเจนจะลดต่ำกว่าจุดอิ่มตัว การเปิดเครื่องเติมอากาศจึงมีความจำเป็นและมีประโยชน์มากหลังจากจุดนี้จนถึงเช้ามีดึกที่มักเป็นเวลาที่ระดับออกซิเจนต่ำที่สุดและในบางวันที่อากาศมีดึกครึ้มไม่มีแสงแดด

(2) ทำให้พื้นบ่อสะอาด เนื่องจากกุ้งกลาดำใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณพื้นบ่อ ถ้าพื้นบ่อสะอาดกุ้งก็จะแข็งแรง โดยจำนวนเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนว่าต้องมีเครื่องเติมอากาศกี่เครื่องต่อไร่ แต่ต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้พื้นบ่อสะอาดสำหรับปริมาณกุ้งในบ่อ ดังนั้นต้องวางเครื่องเติมอากาศให้ถูกต้องกับลักษณะรูปร่างของบ่อและมีจำนวนที่เพียงพอ



รูปที่ 3.4 เครื่องเติมอากาศทั่วไป

### 3.3.2 หน้าที่ของเครื่องเติมอากาศ (Aerator Function)

การเติมอากาศและการไหลเวียนของน้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดในการเกษตรแบบบ่อน้ำจืดทั้งแบบหนาแน่นและแบบกึ่งหนาแน่น การเติมอากาศและการไหลเวียนมักจะกระทำในเวลาเดียวกันด้วยอุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดี หน้าที่ของเครื่องเติมอากาศที่ดีที่กระทำในบ่อคือ

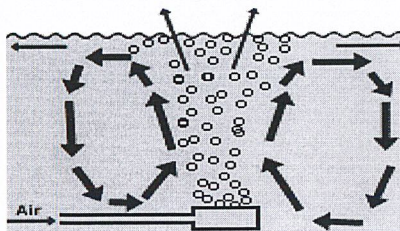
- (1) เพิ่มออกซิเจนเข้าไปในน้ำโดยตรงให้เปรียบเทียบ รูปที่ 3.5, รูปที่ 3.6, รูปที่ 3.7, รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 (การเพิ่มออกซิเจนในระดับต่างๆไปถึงระดับที่ดี)
- (2) ไหลเวียนหรือผสมน้ำจากด้านบนกับน้ำจากด้านล่างเพื่อให้แน่ใจว่าออกซิเจนได้กระจายทั่วทั้งบ่อ ภาพตั้งแต่ รูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.7 แสดงการผสมในแนวตั้ง
- (3) นำเอาน้ำที่เติมอากาศแล้วออกไปจากพื้นที่ที่อยู่ติดกันรอบๆเครื่องเติมอากาศในขณะเดียวกับที่พัดพาไปในน้ำที่ยังไม่ได้เติมอากาศให้มาเติมอากาศ
- (4) สำหรับชั้นตะกอนอินทรีย์ที่ลึกลงไป เครื่องจะสร้างชั้นผิวหน้าที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งก๊าซและสารเคมีที่มีพิษ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์(Hydrogen Sulfide)และแอมโมเนีย(Ammonia)ไม่สามารถผ่านเข้าไปในน้ำที่อยู่ด้านบนได้
- (5) การไหลเวียนจะทำให้เกิดก๊าซที่เป็นอันตราย เช่น ก๊าซไนโตรเจน(Nitrogen)และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon dioxide) และก๊าซที่เป็นอันตรายอื่น ๆ เพื่อปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

### 3.3.3 ชนิดเครื่องเติมอากาศ

#### (1) เครื่องเติมอากาศที่แพร่กระจายออกไป (Diffused Air)

เป็นการเติมอากาศชนิดหนึ่งในบ่อตั้งขนาดใหญ่ซึ่งเกือบจะไร้ประสิทธิภาพโดยสิ้นเชิง เมื่อการเติมอากาศชนิดนี้สามารถทำงานได้จำกัดรูปแบบการเติมอากาศแบบนี้มักจะนำมาใช้ในรูปแบบของการเติมอากาศที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดประสิทธิภาพของการเติมอากาศแบบนี้ขึ้นอยู่กับฟองอากาศและวิธีการติดตั้งการเติมอากาศชนิดนี้ โดยทั่วไปบ่อที่ใช้จะทำการเกษตรบ่อน้ำจืดมักตื้น (1-2เมตร)และการเติมอากาศชนิดนี้ขึ้นอยู่กับเวลาสัมผัสระหว่างน้ำกับฟองอากาศ อย่างไรก็ตามการเติมอากาศชนิดนี้ยังเป็นระบบที่ใช้ได้ดีในน้ำลึกมากกว่า 5 เมตร เช่น เชื้อนเก็บน้ำ การติดตั้งตัวแพร่กระจายอากาศจำนวนมากทั่วทั้งบ่อ อาจเป็นระบบที่ไม่มีประสิทธิภาพที่สุดและผลจากการเติมอากาศถูกจำกัดอย่างมากรอบตัวแพร่กระจายอากาศ

การเติมอากาศสามารถนำมาใช้ปรับปรุงการผสมและสร้างกระแส น้ำ รูปที่ 3.5 Boyd(2538) ได้อธิบายว่า บ่อน้ำตื้นที่มีระบบเติมอากาศจะดี แต่บางที่อาจไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตกุ้ง โดยทั่วไปแล้วอากาศที่แพร่กระจายเป็นวิธีที่ไร้ประสิทธิภาพที่สุดในการเติมอากาศลงไปบ่อ ไม่นำมาให้ใช้อากาศที่แพร่กระจายหรือการเติมอากาศแบบหยดในบ่อตั้งขนาดใหญ่ (Trickle Aeration) หรือในบ่ออนุบาลขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามการเติมอากาศแบบนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับถังฟักไข่และถังทำความสะอาด เพราะถังมีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 3.5



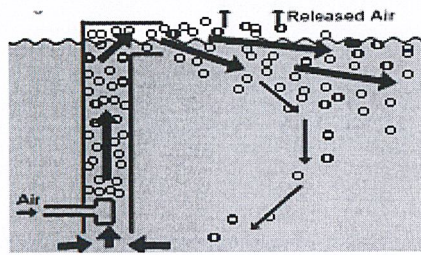
รูปที่ 3.5 เครื่องเติมอากาศแบบDiffused Air



รูปที่ 3.6 เครื่องเติมอากาศแบบDiffused Air

(2) เครื่องเติมอากาศปั๊มแบบ (Submersible)

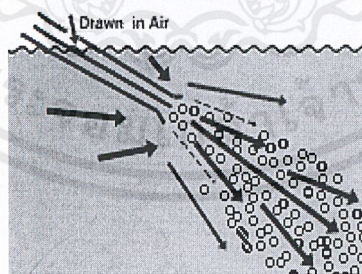
ประโยชน์ของปั๊มชนิดนี้ที่มีตัวปั๊มอยู่ใกล้กับก้นบ่อและมีจุดออกที่ผิวน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของปั๊ม ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำในบ่อ เช่นเดียวกับตัวแพร่กระจายของอากาศ คือถูกจำกัดให้อยู่ในบริเวณแคบ ดังรูปที่ 3.7 อย่างไรก็ตามปั๊มจะไม่เพิ่มออกซิเจนเข้าไปในน้ำโดยตรง ยกเว้นแต่การแพร่กระจายโดยตลอดด้วยการเปิดน้ำที่มีคุณภาพต่ำกว่าเข้าไปยังผิวหน้า ถ้าคุณใช้อุปกรณ์ชนิดนี้คุณควรจะขยายทางออกเหนือผิวหน้าและใช้คานพ่นน้ำกลับเข้าไปในบ่อนี้เป็นวิธีเติมอากาศลงในบ่อที่ไร้ประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ไม่แนะนำให้อาศัยการเติมอากาศชนิดนี้สำหรับบ่อขนาดใหญ่(1000 ตารางเมตร) แต่หากมีคานพ่นน้ำเหมาะสำหรับบ่อผสมพันธุ์และบ่ออนุบาลขนาดเล็ก (100-200 ตารางเมตร)



รูปที่ 3.7 เครื่องเติมอากาศแบบ Air Lift

(3) เครื่องเติมอากาศแบบปั๊ม (Propeller Aspirator)

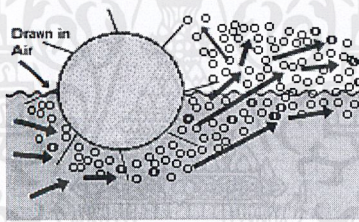
ปั๊มชนิดนี้เป็นเครื่องไหลเวียนและเครื่องเติมอากาศที่ดีในบ่อ ดังรูปที่ 3.8 แต่ได้รับการออกแบบมาสำหรับน้ำลึกมากกว่า(1-5เมตร) และประสิทธิภาพของมันก็คล้ายกับรูปแบบ Paddlewheel ของNan Rong (เป็นบริษัทไต้หวันซึ่งผลิตอุปกรณ์สำหรับบ่อการเกษตรน้ำจืด พร้อมทั้งทำฟาร์มบ่อเกษตรน้ำจืดด้วย) ซึ่งในปัจจุบันเป็นผู้ส่ง Propeller Aspirator และPaddlewheel บริษัทผลิตเครื่องชนิดเฟสเดียวขนาด 1 แรงม้าหรือชนิดสามเฟส 2 แรงม้า ราคาประมาณ 760 เหรียญออสเตรเลีย ซึ่งจะแพงกว่าราคาของ Paddlewheel เล็กน้อย แต่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ 6เครื่อง/เฮกเตอร์ (1800ตารางเมตร)/เครื่อง ซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นในบ่อปกติ (1000 ตารางเมตร) เมื่อใช้ในบ่อตื้นมีแนวโน้มที่ก้นบ่ออาจถูกกระแสน้ำฟุ้งชน ซึ่งต้องได้รับการดูแลหลังจากการติดตั้งแล้วเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้



รูปที่ 3.8 เครื่องเติมอากาศแบบ Aspirator

(4) เครื่องเติมอากาศแบบใบพัดตีน้ำ (Paddlewheel)

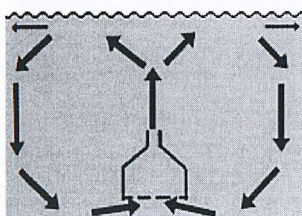
เครื่องเติมอากาศแบบนี้เป็นวิธีการเติมอากาศที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางและได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพและเหมาะสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ในปัจจุบันนี้ paddlewheel ถือเป็นเครื่องเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดรวมทั้งวิธีที่นำมาใช้ร่วมกัน มันจะสลายชั้นของบ่ออย่างรวดเร็วทั่วถึงด้วยกระแสน้ำที่ไหลอย่างแรงและเติมอากาศโดยการพ่นน้ำขึ้นไปในอากาศพร้อมทั้งการดึงเอาอากาศเข้าไปในน้ำ ก่อให้เกิดพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ของส่วนสัมผัสอากาศและน้ำทำให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซอย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากการไหลเวียนอย่างแรงและการอัดอากาศทำให้ออกซิเจนของชั้นตะกอนพื้นผิวที่มีการออกซิไดซ์ ไม่มีระบบการเติมอากาศอื่นๆที่ทำหน้าที่เหล่านี้ได้ทุกหน้าที่หรือทำหน้าที่เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Nan Rong ทำ paddlewheel ชนิด เฟสเดี่ยว 1 แรงม้า หรือ 3 เฟส 1 แรงม้าและpaddlewheel เพียง 1 เครื่องทำงานได้ดีในบ่อมาตรฐาน 1000 ตารางเมตร และลึกสุด 1.5-2 เมตร ต่างจากระบบอื่นๆ (ซึ่งอาจทำงานตลอด 24 ชม.เพื่อให้ได้ผลเช่นเดียวกัน) ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องเติมอากาศแบบใบพัดตีน้ำ

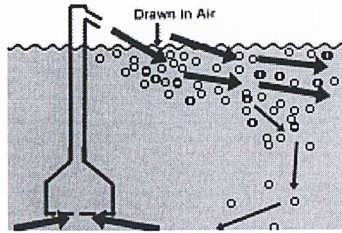
เมื่อติดตั้ง Paddlewheel และอุปกรณ์ตัวอื่นๆเรียบร้อยแล้ว ต้องมีการดูแลรักษาเพื่อความปลอดภัยเป็นเรื่องสำคัญมากจึงต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

นอกจากนี้เครื่องเติมอากาศมีหลายแบบนอกเหนือจากข้างต้น ซึ่งสามารถแสดงลักษณะต่างๆ โดยรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 เครื่องเติมอากาศแบบ Submersible pump

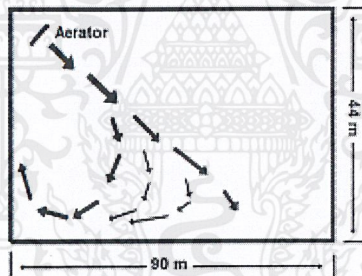
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เครื่องเติมอากาศแบบ Submersible pump With Spray Bar

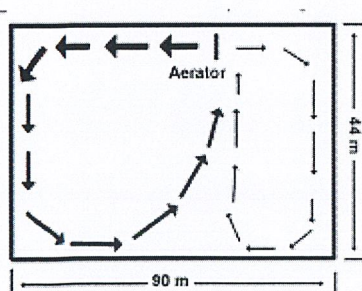
### 3.3.4 การวางตำแหน่งเครื่องเติมอากาศ

การวางเครื่องเติมอากาศมีความสำคัญมาก เนื่องจากถ้าวางไม่ถูกลักษณะจะทำให้เกิดจุด dead point (จุดที่ไม่ถูกการเติมอากาศ) ตามที่ Claude Boyd (2535) ได้มีการศึกษากันในบ่อเลี้ยงปลา ขนาด 44x90 เมตร พบว่าการวางเครื่องเติมอากาศให้อยู่ในลักษณะต่าง ๆ จากรูปที่ 3.12 ตำแหน่งการวางเครื่องหมบ่อ จะทำให้เกิดจุดที่ไม่เติมอากาศบริเวณมุมบ่อที่ไม่มีวางเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศมุมบ่อ

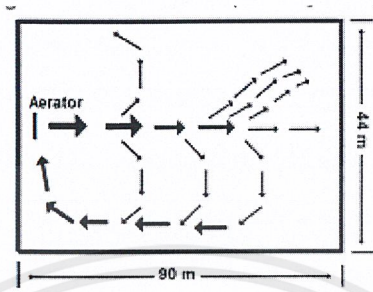
การวางตำแหน่งเครื่องเติมอากาศในตำแหน่งขอบบ่อระหว่างมุมบ่อทั้ง 2 ข้าง จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ห่างจากเครื่องเติมอากาศจะเกิดจุด Dead point ขึ้น



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศระหว่างมุมบ่อ

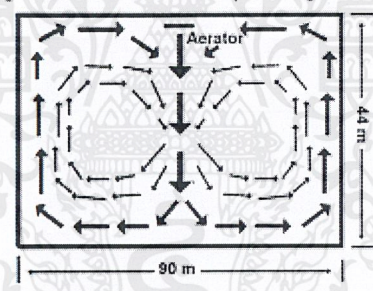
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางตำแหน่งเครื่องเติมอากาศตำแหน่งตามความยาว เกิดจุด Dead point บริเวณด้านยาวของบ่อที่ความแรงของเครื่องเติมอากาศไม่สามารถไปถึงทำให้เกิดจุด Dead point ที่มุมบ่อด้านยาว ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศตามความยาว

จากลักษณะการวางเครื่องเติมอากาศ ควรวางเครื่องเติมอากาศให้อยู่ตรงกลางบ่อตามด้านสั้นของบ่อ จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งได้จากการศึกษาบ่อเลี้ยงปลา Claude Boyd (2535) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งเครื่องเติมอากาศกลางบ่อตามด้านสั้นของบ่อ

3.3.5 ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเติมอากาศส่วนจะกล่าวถึงเรื่องประสิทธิภาพของในการเติมอากาศซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการเติมอากาศ ( Kg O}_2\text{/kW - hr)} = \frac{\text{ปริมาณออกซิเจน (Kg O}_2\text{)}}{\text{กำลังงานที่ใช้ (kW -hr)}} \quad (3.1)$$

โดยความสามารถในการเติมอากาศขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องเติมอากาศอุณหภูมิ , ออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำ,ออกซิเจนละลายน้ำในเวลาที่กำหนด โดยแสดงดังข้อมูลในหน้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศแต่ละชนิด**

	Lb. O <sub>2</sub> /hp-hr
1. Paddlewheel (Auburn Uni. Spiral design)	4.5
2. Paddlewheel (average)	3.5
3. Paddlewheel (Nan Rong type)	2.5
4. Propeller Aspirator	2.6
5. Pump sprayer	2.1
6. Diffused air	1.6

**3.4 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในประเทศไทย**

เครื่องเติมอากาศที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย แต่แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

**3.4.1 เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ (paddle wheel)**

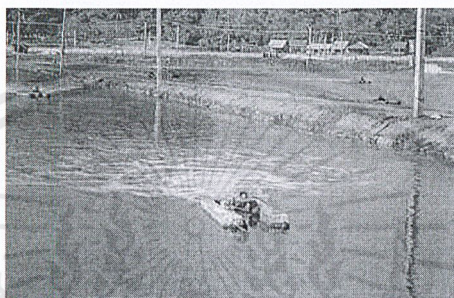
เครื่องเติมอากาศแบบนี้นิยมเรียกกันทั่วไปว่าเครื่องตีน้ำ มีทั้งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและแบบเครื่องยนต์

(1) มอเตอร์ ที่มีขายทั่วไปมีกำลัง 2 แรงม้า มี 4 ใบ เป็นแบบที่มีในวงการเลี้ยงกุ้งมาตั้งแต่ยุคแรก ๆ และยังมีให้เห็นทั่วไปในปัจจุบันนี้หลายฟาร์ม มีการนำมาดัดแปลงให้เป็นแขนยาวโดยเพิ่มจำนวนใบพัดมากขึ้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ทำความสะอาดพื้นบ่อ สำหรับเครื่องตีน้ำที่ชาวนากุ้งนำมาดัดแปลงในแต่ละฟาร์มจะแตกต่างกันออกไปทั้งในด้านจำนวนใบพัดตีน้ำและจำนวนแขน มอเตอร์ 3 แรงม้า บางฟาร์มใช้เพียงแขนเดียว แต่บางฟาร์มติดตั้งได้ 3 แขนยาวแต่ละแขนจะมีใบพัด 16 ใบรวมได้ 48 ใบความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที มอเตอร์ 5 แรงม้า บางฟาร์มดัดแปลงเป็น 4 แขน แต่ละแขนมีใบพัด 16 ใบ รวมกันทั้งหมด 64 ใบ ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที หรืออาจจะประกอบเป็น 5 แขน จำนวนใบพัดแขนละ 13 ใบรวมทั้ง 65 ใบ

(2) แบบเครื่องยนต์ ส่วนมากจะใช้เครื่องขนาด 11 แรงม้า สามารถติดตั้งได้เช่นเดียวกับมอเตอร์ ขนาด 5 แรงม้า สำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ สามารถติดตั้งได้จำนวนถึง 8 แขนในแต่ละแขนจะมีใบพัด 16-20 ใบรวมกันทั้งหมดได้ถึง 128-160 ใบ บ่อขนาด 3-4 ไร่ อาจจะใช้เครื่อง 4 สูบ เพียง 1 เครื่องก็พอ

### 3.4.2 เครื่องให้อากาศแบบแอร์เจ็ต

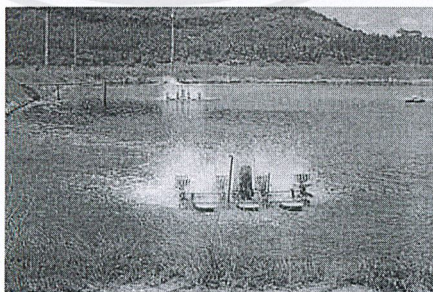
เครื่องให้อากาศแบบนี้เหมาะสมกับบ่อที่มีระดับน้ำลึกและพื้นบ่อแข็งมีเฉพาะที่ใช้มอเตอร์สามารถปรับมุมของกระแสน้ำในการทำความสะดวกพื้นบ่อได้ล่อทั่วไปขนาด 5-6 ไร่ บางฟาร์มจะใช้เครื่องให้อากาศแบบแอร์เจ็ตร่วมกับการใช้เครื่องตีน้ำแบบใบพัด โดยมากมักจะติดตั้งแอร์เจ็ตที่มุมบ่อเพื่อต้องการรวมตะกอนไว้กลางบ่อ บ่อที่มีความลึก 1.5 เมตรควรใช้เครื่องเติมอากาศแบบนี้ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องเติมอากาศแบบแอร์เจ็ต

### 3.4.3 เครื่องเติมอากาศแบบคลื่นน้ำ

เครื่องให้อากาศแบบนี้จะมีใบพัดใต้น้ำ ใช้มอเตอร์พลังงานน้อยกว่าพื้นบ่อสะอาดเป็นบริเวณกว้างได้ดีกว่า และในตอนกลางวันยังทำให้ระดับน้ำบนและล่างเคล้ากัน เพื่อให้อุณหภูมิต่ำและออกซิเจนไม่ต่างกันมากและยังช่วยรวมเลนด้วย เครื่องประเภทนี้ยังเหมาะกับบ่อที่มีพื้นแข็งลึกไม่เกิน 1.4 เมตร ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การใช้แอร์เจ็ตร่วมกับเครื่องตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 เครื่องเติมอากาศแบบชุปเปอร์ซาร์จ

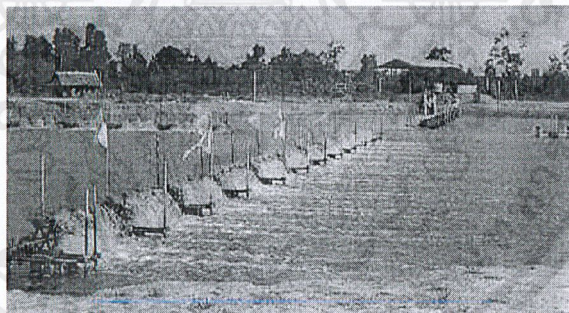
เครื่องแบบนี้เป็นแบบเดียวกับชุปเปอร์ซาร์จของรถยนต์ โดยนำเครื่องชุปเปอร์ซาร์จเป็นเครื่องดูดลมเข้าไปยังบ่อกึ่งทางท่อจ่าย และงานจ่าย เพื่อเพิ่มอากาศในบ่อเลี้ยงกุ้ง

### 3.4.5 ระบบท่อลม และระบบงานจ่ายอากาศ

ระบบนี้จะเป็นการวางท่ออากาศและงานอากาศที่พื้นบ่อ สูงจากพื้นประมาณ 6 นิ้ว โดยต่อกับเครื่องชุปเปอร์ซาร์จ ที่มีเครื่องต้นกำลัง 11 แรงม้า เพื่อเพิ่มออกซิเจนระดับล่างทั่วบ่อจะช่วยให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ดี แต่ควรมีเครื่องเติมอากาศอื่นๆ ช่วยรวมตะกอนกลางบ่อ

## 3.5 จำนวนและการวางตำแหน่งเครื่องเติมอากาศ

โดยทั่วไปการวางตำแหน่งเครื่องเติมอากาศเพื่อต้องการให้รวมเลนได้ดีที่สุด คือเมื่อเปิดเครื่องเติมอากาศหมดทุกเครื่องแล้ว น้ำจะวนรอบบ่อมีความแรงพอที่จะทำให้พื้นบ่อในแนวหว่านอาหารสะอาดมากเป็นบริเวณกว้าง



รูปที่ 3.18 การวางเครื่องเติมอากาศกลางบ่อ

โดยทั่วไปถ้าใช้เครื่องเติมอากาศแบบใช้ไฟฟ้า จำนวนแรงม้าของเครื่องเติมอากาศ 4 แรงม้า ต่อไร่ ก็พอ แต่ถ้ามีปริมาณกุ้งหนาแน่นมาก อาจต้องเพิ่มเป็น 6 แรงม้าต่อไร่

จากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำแล้ว paddlewheel ทำงานเพียงแค่วันไม่เกิน 1 ชม.(20-30 นาทีก็เพียงพอแล้ว) สามครั้งต่อวัน (ก่อนพระอาทิตย์ขึ้น, หลังช่วงบ่าย, ตอนหัวค่ำ) ปริมาณของเครื่องเติมอากาศที่ต้องใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนั้นสายพันธุ์ต่างๆ ที่นำมาเลี้ยง

อาจต้องการเครื่องเติมอากาศมากกว่าหรือน้อยกว่าขนาดบ่อมาตรฐาน โดยทั่วไปแล้ว paddlewheel เพิ่มออกซิเจนได้มากที่สุดต่อแรงม้าต่อชม. เครื่องเติมอากาศชนิดนี้ขอแนะนำให้ใช้สำหรับบ่อต้นขนาดใหญ่ (1,000 ตารางเมตร) ในบ่อที่ใช้มาหลายปีมีหลายตำแหน่งสำหรับวางเครื่องเติมอากาศ ตำแหน่งเหล่านี้บางตำแหน่งนั้นไร้ประสิทธิภาพหรือก่อให้เกิดจุดตายภายในบ่อควรวางเครื่องเติมอากาศไว้ตรงกลางของแกนยาวไปยังด้านหนึ่งของบ่อและตามแนวทแยงบ่อเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่เราจะวาง paddlewheel ไว้ในด้านที่ลึก (มักจะอยู่ตรงกลางของแกนที่สั้นที่สุด) และติดเอาไว้ตามแกนยาวของบ่อ เมื่อติดตั้งเครื่องเติมอากาศเรียบร้อยแล้ว สิ่งสำคัญคือ จะต้องตรวจสอบเครื่องให้แน่ใจว่ามีประสิทธิภาพ ควรตรวจสอบพารามิเตอร์ชุดหนึ่งที่ช่วงปกติ ทั้งยังต้องการรวมเอาการทดสอบความเข้มข้นของออกซิเจน, Redox Potential และ ปริมาณของตะกอน ควรใช้มิเตอร์วัดออกซิเจนแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชื่อเสียงและได้รับการดูแลอยู่เสมอ ออกซิเจนจะดีที่สุดที่มีตัววัดอุณหภูมิและร้อยละของการอิ่มตัวและมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ควรตรวจสอบออกซิเจนที่หลายๆตำแหน่งและระดับความลึกภายในบ่อที่เวลาต่างกัน

## บทที่ 4

### การดำเนินการทดลองและอุปกรณ์ (Experimental Procedure and Apparatus)

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

- 4.1. การดำเนินการทดลอง โดยเก็บข้อมูลจากบ่อเลี้ยงกุ้งจริง
- 4.2. การสร้างแบบจำลองการเลี้ยงกุ้ง
- 4.3. การดำเนินการทดลอง โดยเก็บข้อมูลจากบ่อจำลอง

#### 4.1 การดำเนินการทดลอง โดยเก็บข้อมูลจากบ่อเลี้ยงกุ้งจริง

ผู้จัดทำได้เดินทางไปเก็บตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงกุ้งจริง ณ จังหวัดฉะเชิงเทราซึ่งเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด พื้นที่ประมาณ 3 ไร่ ขนาด 40x80 เมตร ความลึกน้ำประมาณ 1.5 เมตร โดยใช้เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า เครื่องเติมอากาศมีจำนวนแกนทั้งหมด 4 แกนๆละ 8 ใบและการให้อาหารโดยปกติจะแบ่งตามขนาดของกุ้ง ขนาดกุ้งเล็กจะเติมอากาศในช่วงเวลา 14.00 - 18.00 น. และเวลา 03.00 - 07.00 น. โดยขนาดกุ้งใหญ่จะเติมอากาศในช่วงเวลา 14.00-18.00 น. และ เวลา 20.00-09.00 น. การเลี้ยงกุ้งในบ่อชุดนี้จะเลี้ยงไว้ในบ่อประมาณ 2 เดือน โดยจะจับขายกันอายุประมาณ 3.5 - 4 เดือน และใส่ยาเคมีเพื่อทำให้บ่อมีน้ำเป็นสีเขียว ในบ่อนี้จะใส่น้ำเค็ม 1 คันรถขนาด 20,000 ลิตร ความเค็มประมาณ 50 ppm (หนึ่งในล้านส่วน) หลังจากนั้นเติมน้ำจืดทำให้ความเค็มลดลง และเติมน้ำจืดทุกๆอาทิตย์และมีการใส่ลูกกุ้งในบ่อประมาณ 170,000 ตัว ตัวอย่างน้ำที่นำมาทดลองถูกเก็บจาก 2 จุดบริเวณน้ำนิ่งและบริเวณที่เติมอากาศ โดยการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดจะเก็บที่ความลึก 4 ระดับ คือ

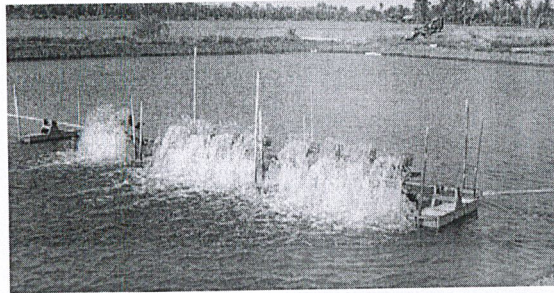
- ระดับที่ 1 ที่ความลึก 25 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ
- ระดับที่ 2 ที่ความลึก 50 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ
- ระดับที่ 3 ที่ความลึก 75 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ
- ระดับที่ 4 ที่ความลึก 100 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ

โดยจะเก็บปริมาณน้ำใส่ขวดพลาสติก ประมาณ 0.5 ลิตรในแต่ละระดับความลึกที่กำหนดไว้ การเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 จุด แบ่งเป็น 1. แบบไม่เติมอากาศ แบ่งเป็น 3 จุด ความลึก 4 ระดับ

- 2. แบบเติมอากาศ แบ่งเป็น 3 จุด ความลึก 4 ระดับ

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจริงใน ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการวางของเครื่องเติมอากาศในบ่อกึ่งจริง

จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย สามารถคำนวณหาปริมาณสารแขวนลอยเพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลอง เพื่อหารูปแบบการตกตะกอน

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ( Total Suspended Solids)

กรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่ทราบน้ำหนักตะกอนที่ติดอยู่บนกระดาษกรอง จะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C และทำให้เย็นในโถทำแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่ม คือ น้ำหนักของของแข็งที่แขวนลอยต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง

##### วิธีการทดลอง

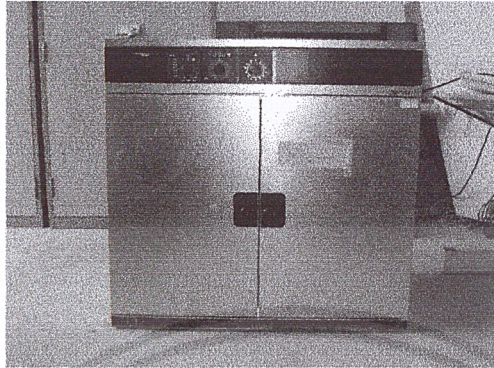
ควรเก็บตัวอย่างน้ำในขวดแก้วหรือขวดพลาสติกที่สะอาดในขวด และควรรีบนำมาวิเคราะห์ทันที

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

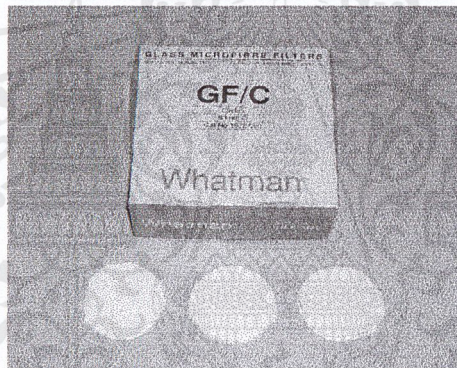
- (1) กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 เซนติเมตร
- (2) ปากคืบ
- (3) โถทำแห้ง
- (4) ตู้อบ ที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- (5) ตาชั่งละเอียด สามารถชั่งได้ถึง 0.0001 กรัม
- (6) ถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์
- (7) เครื่องดูดสุญญากาศ พร้อมขวด Flask ขนาด 500-1000 มิลลิลิตร
- (8) เครื่องชั่งละเอียด

- (9) ชุดกรอง Membrane filter funnel หรือ ถ้วยกรองกูช หรือ กรวยบุคเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตู้อบ

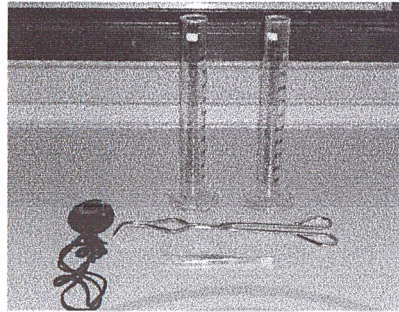


รูปที่ 4.3 กระดาษกรอง GF/C

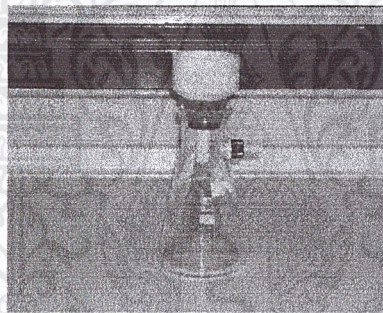


รูปที่ 4.4 โถทำแห้งหรือโถดูดสูญญากาศ

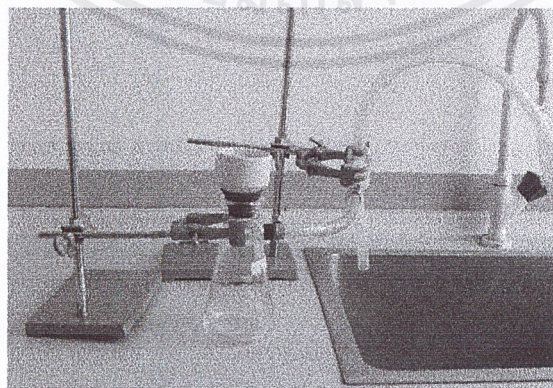
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง



รูปที่ 4.6 ถ้วยกรองกวน หรือ กรวยนุกเนอร์



รูปที่ 4.7 แสดงรูปการต่อชุดกรองเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีทดลอง

(1) นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถทำแห้ง

(2) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมติมีน้ำหนัก A กรัม วางบนถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์

(3) ต่อชุดเครื่องมือสำหรับกรองใช้ปากครีบหีบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอรัเปิดเครื่องดูดอากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งติดต่อกัน ใช้ครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดอากาศต่อให้ดูจนน้ำแห้งทิ้งน้ำล้าง

(4) เลือกปริมาณน้ำตัวอย่างที่จะใช้โดยพิจารณาจากลักษณะของน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมีของแข็งแขวนลอยมากควรใช้ปริมาณน้อยๆ แต่ถ้าน้ำใสควรใช้ปริมาณน้ำเท่าที่มากที่สุด (ควรเลือกให้มีค่าของแข็งแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มิลลิกรัม และไม่ควรมากกว่า 1 มิลลิกรัม เนื่องจากถ้ามีของแข็งปริมาณมากเกินไปอาจจะจับเอาน้ำไว้) เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันดี เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรลงกรองโดยค่อย ๆ เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมด ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตัวตัวอย่าง เทลงกรอง และฉีดน้ำกลั่นลงที่ด้านข้างบุคเนอรัรวมทั้งกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกจนแห้ง ปิดเครื่อง

(5) ใช้ปากครีบหีบขอบกระดาษกรอง สมมติมีน้ำหนัก B กรัม

### การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด ( มก. /ล. )} = (A-B)/C \quad (4.1)$$

A = น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

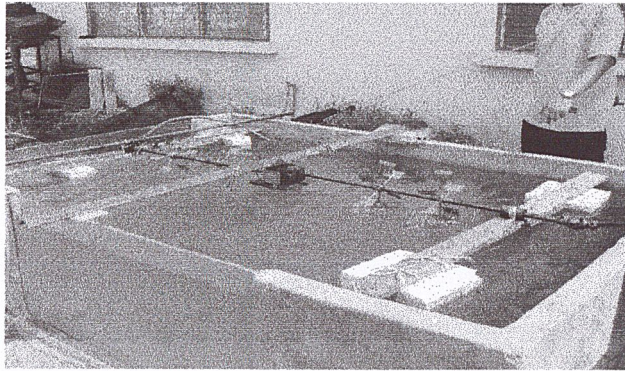
B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

## 4.2. วิธีการสร้างแบบจำลองการเลี้ยงกุ้ง

### 4.2.1 การหาขนาดบ่อจำลอง

จากการสำรวจบ่อเลี้ยงกุ้งจริงจากจังหวัดฉะเชิงเทรา การเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาดบ่อเลี้ยงแต่ละบ่อมีขนาด 3-4 ไร่ และจำนวนใบพัด 32 ใบ ขนาดใบพัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร เครื่องต้นกำลัง 11 แรงม้า (ชูศักดิ์ 2541) การย่อส่วนจากบ่อจริงได้โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาตร (Requirement Power per Volume) (Metcalf and Eddy ,1999)



รูปที่ 4.8 บ่อจำลองกึ่งที่ได้สร้างขึ้น

$$\text{Requirement power/ volume} = \frac{\text{Power (hp)}}{\text{Volume(m}^3\text{)}} \quad (4.2)$$

โดยเทียบจากบ่อจริงขนาด 3 ไร่ (4,800 ตารางเมตร) บ่อจริงที่มีความลึก 1.5 เมตรจะมีปริมาตรเท่ากับ 7200 ลูกบาศก์เมตร เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (5) จะได้ค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาตรเท่ากับ  $1.53 \times 10^{-3}$  แรงม้า/ลูกบาศก์เมตร เนื่องจากปัจจัยทางด้านพื้นที่และค่าใช้จ่าย ทำให้ขนาดของบ่อจำลองจึงถูกกำหนดให้มีขนาด  $1.7 \times 2.4 \times 0.7$  เมตร และมีความลึกของน้ำ 0.5 เมตร (รูปที่ 4.8) จากสมการที่ (5) โดยคำนวณกำลังงานดังนี้

$$\frac{11}{7200} = \frac{\text{Power}(hp)}{2.04}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้บ่อจำลอง (แรงม้า)} = 0.00312 \text{ แรงม้า}$$

แต่เนื่องจากขนาดมาตรฐานมอเตอร์ตามท้องตลาดที่สามารถใช้ร่วมกับเครื่องปรับรอบความเร็ว ทำให้เลือกมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ส่วนขนาดใบพัดได้ลดลง 3 เท่า ประมาณ 20 เซนติเมตร และลดจำนวนใบพัดลงเหลือประมาณ 4 ใบ ในการทดลองมีการปรับความเร็วรอบให้ใกล้เคียงกับบ่อจริงที่ปกติใช้ความเร็วรอบที่ 56 รอบต่อนาที ในการศึกษาได้ทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 30, 40 และ 56 รอบต่อนาที และได้เปรียบเทียบการตีน้ำแบบใบพัดเต็มใบ และการตีน้ำแบบใบพัดครึ่งใบ โดยเปรียบเทียบที่ความเร็วของบ่อจริงคือ ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 56 รอบต่อนาที

#### 4.2.2 การติดตั้งเครื่องเติมอากาศ

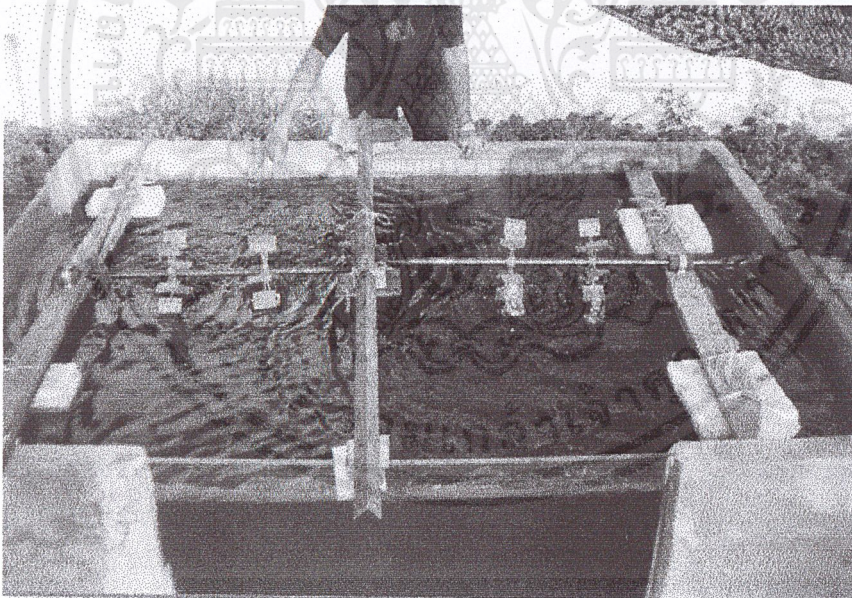
จากการศึกษาพบว่า การติดตั้งเครื่องเติมอากาศควรติดตั้งให้เครื่องเติมอากาศสามารถทำให้น้ำในบ่อมีเคลื่อนตัวแบบน้ำวนทั่วทั้งบ่อ และพยายามให้เกิดจุดที่น้ำนิ่ง (Stagnant zone) น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงได้มีการทดลองวางเครื่องเดิมอากาศในบ่อจำลอง จนสังเกตเห็นลักษณะการวนของน้ำในบ่อ ดังนั้นการวางตำแหน่งเครื่องเดิมอากาศจึงมีลักษณะดังรูปที่ 4.8 และความลึกของใบตื้นน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.9

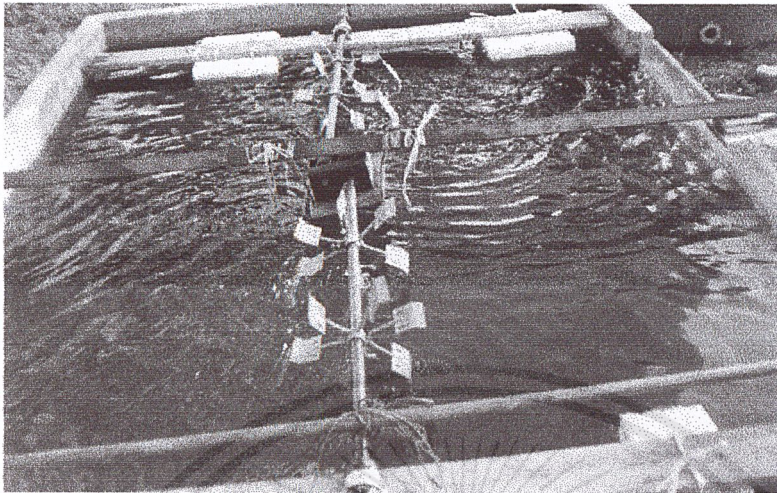
#### 4.2.3. วิธีการหาปริมาณตะกอนที่ใช้ในบ่อจำลอง

จากการทดลองหาความเข้มข้นของตะกอนในบ่อจำลอง จากตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อกึ่งจริงในช่วงอายุกึ่ง 1 เดือน พบว่ามีปริมาณตะกอนแขวนลอย ประมาณ 0.06 กรัม/ลิตร และจากค่าปริมาณตะกอนจมตัวที่หาได้จาก Imhoff Cone (ภาคผนวกที่ ง. วิธี Imhoff Cone) ดังนั้นปริมาณตะกอนแห้งที่ใช้ประมาณ 1.6 กิโลกรัม และเนื่องจากค่าที่ใช้ดังกล่าวอยู่ในช่วงต้นของการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งปริมาณตะกอนนี้จะมาขึ้นตามอายุของกุ้ง จากการสะสมของของเสียและอาหารที่ตกค้าง ดังนั้นจึงควรทำการทดลองที่ความเข้มข้นของตะกอน 2 ค่า คือ 1.5 กิโลกรัม/บ่อ และ 5 กิโลกรัม/บ่อ

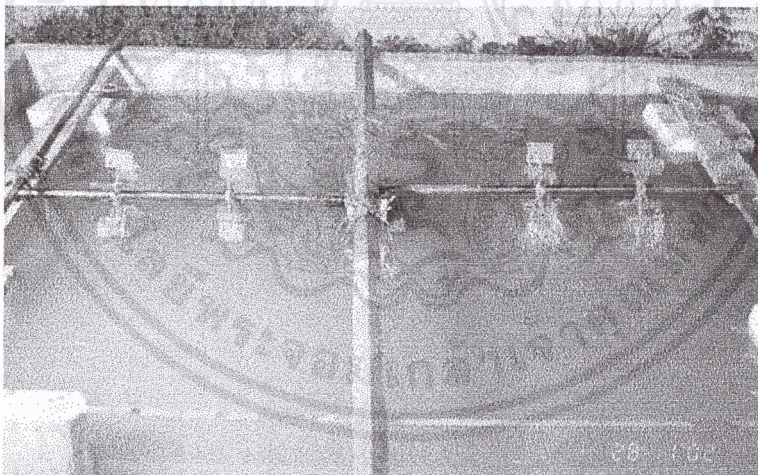


รูปที่ 4.9 การหมุนเวียนของน้ำในบ่อจำลอง ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

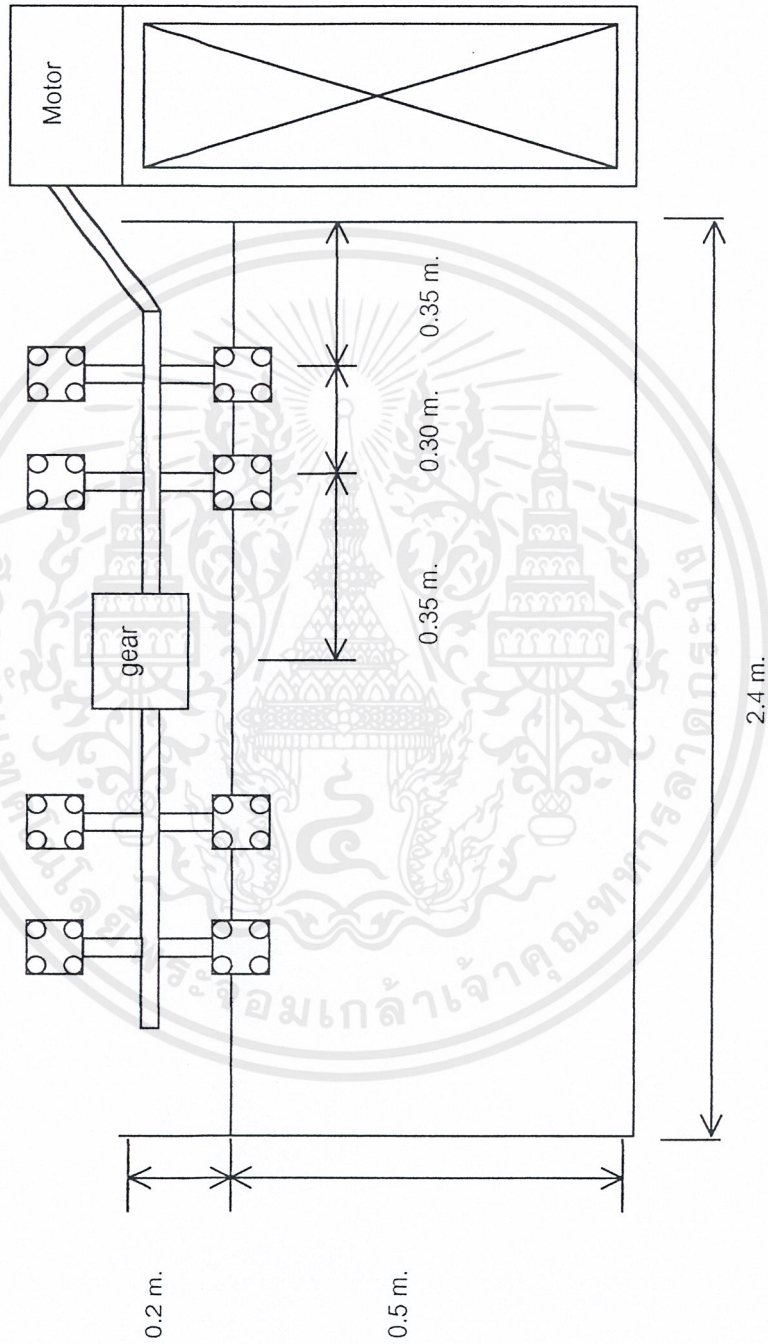


รูปที่ 4.10 ภาพด้านข้างของบ่อจำลอง



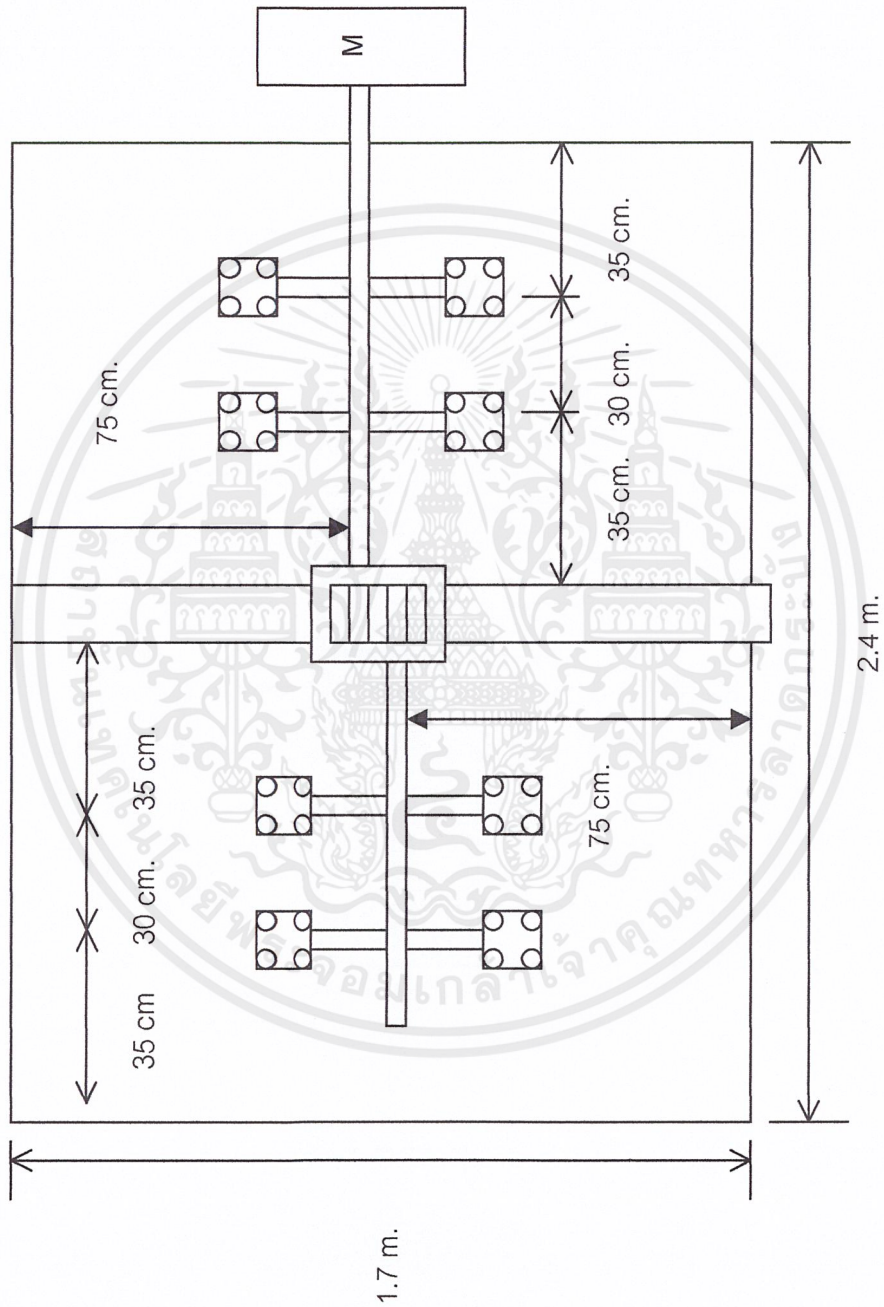
รูปที่ 4.11 รูปถ่ายด้านบนของบ่อจำลองที่ความเร็วรอบต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แบบคำนวณของบ่อจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

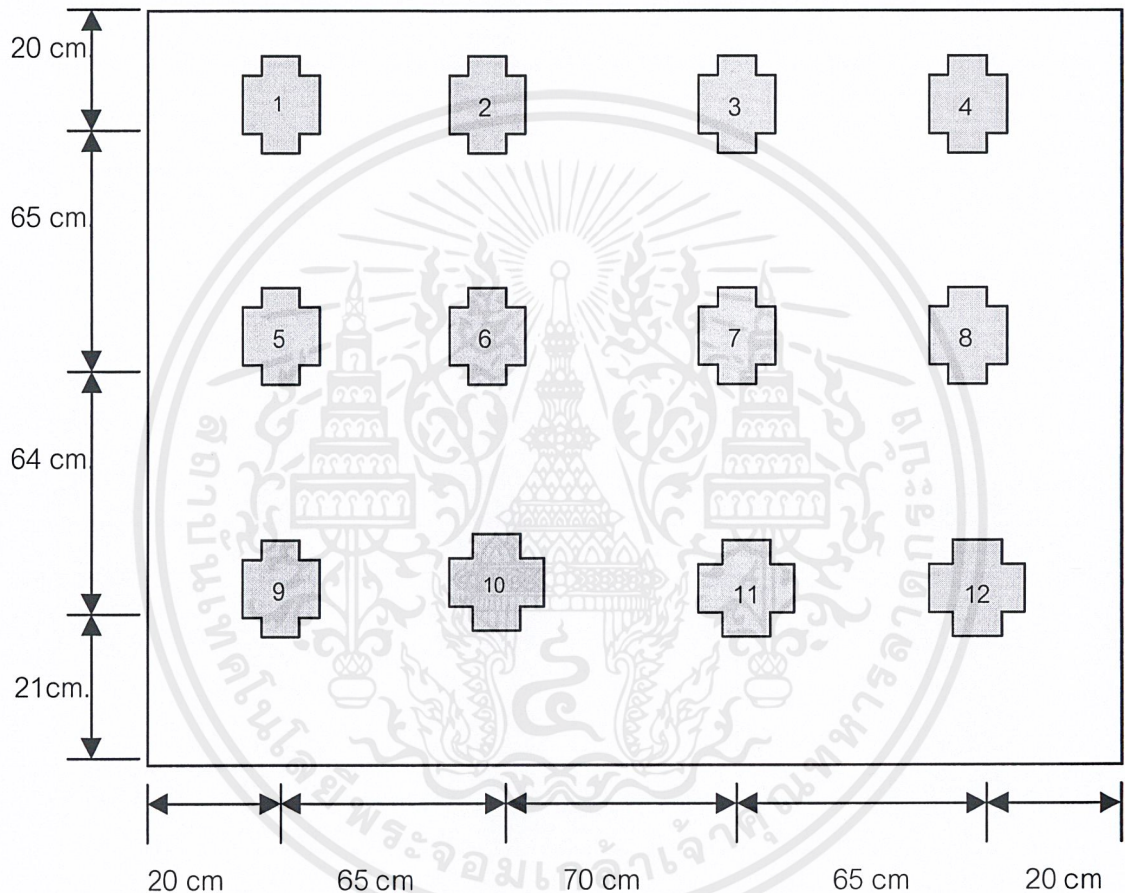


รูปที่ 4.13 แบบด้านหน้าของบ่อจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3. การดำเนินการทดลองโดยเก็บข้อมูลจากบ่อจำลอง**

เมื่อสร้างแบบจำลองการเลี้ยงกุ้งเสร็จก็ดำเนินการเก็บตัวอย่างในบ่อ 12 จุด โดยเก็บตัวอย่างจากความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาทำการทดลองหาปริมาณของแข็งแขวนลอย โดยวิธีการทดลองและอุปกรณ์การหาปริมาณสารแขวนลอยอยู่ดังหัวข้อที่ 4.1.1. ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างในบ่อจำลอง



**รูปที่ 4.14** แผนผังแสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำ

## บทที่ 5

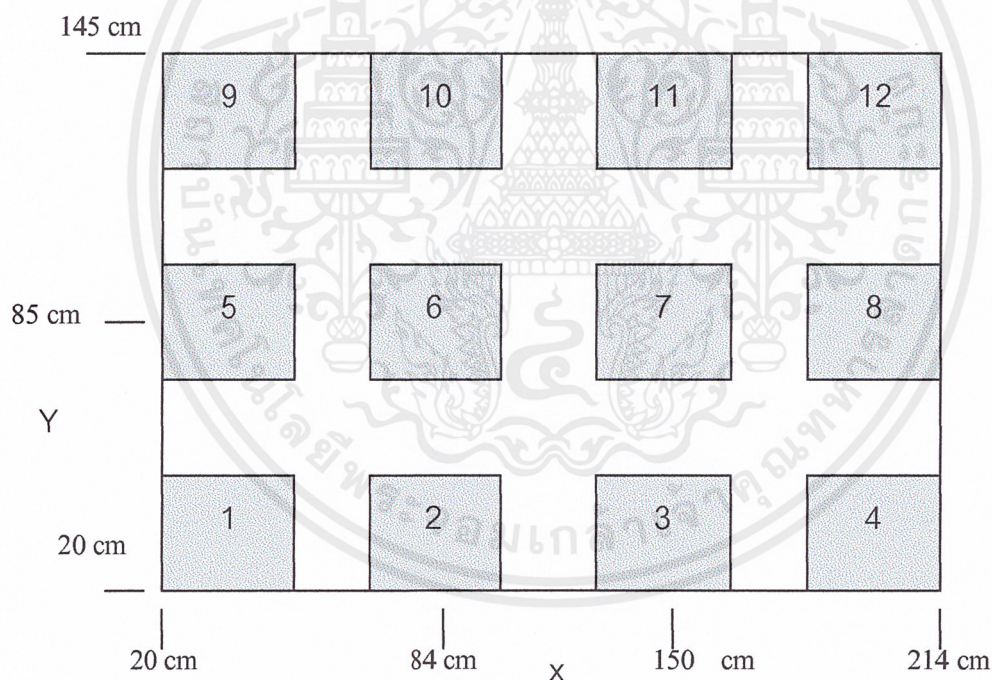
### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง (Experimental Results and Discussion)

การทดลองเราแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ

5.1 การทดลองที่ระดับปริมาณตะกอนในบ่อ 1.5 กิโลกรัม

5.2 การทดลองที่ระดับปริมาณตะกอนในบ่อ 5 กิโลกรัม

จากข้อมูลผลการทดลองที่ได้การทดลองหาปริมาณตะกอนแขวนลอยในบ่อจำลองที่ได้สร้างขึ้น และจากนั้นนำข้อมูลมาเขียนกราฟในลักษณะของกราฟแบบ Contour โดยตำแหน่งในบ่อจำลอง ดังรูปที่ 4.14 เป็นตำแหน่งที่นำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 5.1 ด้านล่างนี้



รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างในบ่อจำลองมาเขียนกราฟ Contour

### 5.1 การทดลองที่ระดับปริมาณตะกอนในบ่อ 1.5 กิโลกรัม

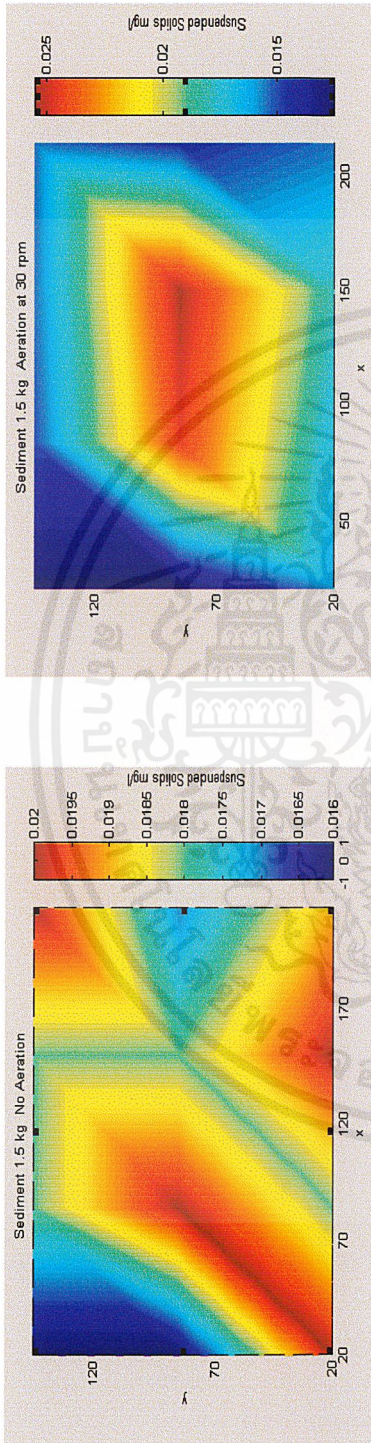
ปริมาณตะกอนที่ 1.5 กิโลกรัมเป็นปริมาณตะกอนที่คำนวณได้จากการทดลองหาปริมาณตะกอนจากบ่อกึ่งจริงดังมีการคำนวณในหัวข้อที่ 4. ที่ผ่านมา ส่วนการทดลองในบ่อจำลองนั้นเราแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนหนึ่งระดับความเร็วรอบใบพัดตีน้ำที่แตกต่างกัน และสองระดับกินน้ำลึกของใบพัดตีน้ำที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองอยู่ในภาคผนวก ข. และแสดงผลดังรูปที่ 5.2 (ก.), (ข.), (ค.) และ (ง.) และรูปที่ 5.3 (ก.) และ (ข.)

การวิเคราะห์ผลการทดลองจากกราฟ ดังรูปที่ 5.2 (ก.) ไม่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศจะมีการกระจายของของตะกอนทั่วทั้งบ่อในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนรูปที่ 5.2 (ข.), (ค.) และ (ง.) จะมีการรวมตะกอนจากริมบ่อเข้ากลางบ่อมากขึ้นเรื่อยๆตามระดับความเร็วรอบยิ่งมากก็ยิ่งมีการรวมตะกอนเข้าตรงกลางบ่อได้ดี ส่วนที่มีการใช้ความเร็วรอบที่ 56 RPM ในการเปรียบเทียบครั้งใบกับเติมใบในรูปที่ 5.3 (ก.) และ (ข.) เพราะเป็นความเร็วรอบที่ใกล้เคียงกับของจริง ผลที่ได้ในรูปก็จะทำให้รู้ว่าในการจุ่มใบพัดตีน้ำตีน้ำครั้งใบจะมีการรวมตะกอนที่อยู่ริมบ่อเข้ากลางบ่อดีกว่าจุ่มใบพัดตีน้ำกินเติมใบ

### 5.2 การทดลองที่ระดับปริมาณตะกอนในบ่อ 5 กิโลกรัม

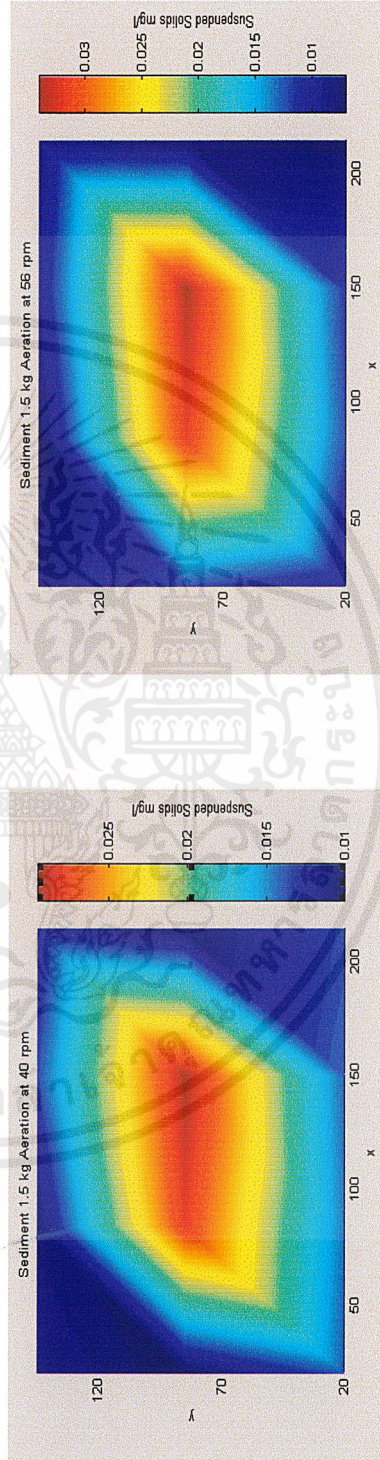
ปริมาณตะกอนที่ 5 กิโลกรัมเป็นปริมาณตะกอนกำหนดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณตะกอนที่ 1.5 กิโลกรัม หากความสัมพันธ์ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งระดับความเร็วรอบใบพัดตีน้ำที่แตกต่างกัน และสองระดับกินน้ำลึกของใบพัดตีน้ำที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองอยู่ในภาคผนวก ข. และแสดงผลดังรูปที่ 5.4 (ก.), (ข.), (ค.) และ (ง.) และรูปที่ 5.5 (ก.) และ (ข.)

การวิเคราะห์ผลการทดลองจากกราฟ ดังรูปที่ 5.4 (ก.) ไม่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศจะมีการกระจายของของตะกอนทั่วทั้งบ่อในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนรูปที่ 5.4 (ข.), (ค.) และ (ง.) จะมีการรวมตะกอนจากริมบ่อเข้ากลางบ่อมากขึ้นเรื่อยๆตามระดับความเร็วรอบยิ่งมากก็ยิ่งมีการรวมตะกอนเข้าตรงกลางบ่อได้ดี ส่วนที่มีการใช้ความเร็วรอบที่ 56 RPM ในการเปรียบเทียบครั้งใบกับเติมใบ รูปที่ 5.5 (ก.) และ (ข.) เพราะเป็นความเร็วรอบที่ใกล้เคียงกับของจริง ผลที่ได้ในรูปก็จะทำให้รู้ว่าในการจุ่มใบพัดตีน้ำตีน้ำครั้งใบจะมีการรวมตะกอนที่อยู่ริมบ่อเข้ากลางบ่อดีกว่าจุ่มใบพัดตีน้ำกินเติมใบ



(ก.) ไม่มีการเปิดเครื่องไปพัดตีน้ำ

(ข.) ความเร็วรอบใบพัดตีน้ำ 30 รอบต่อนาที

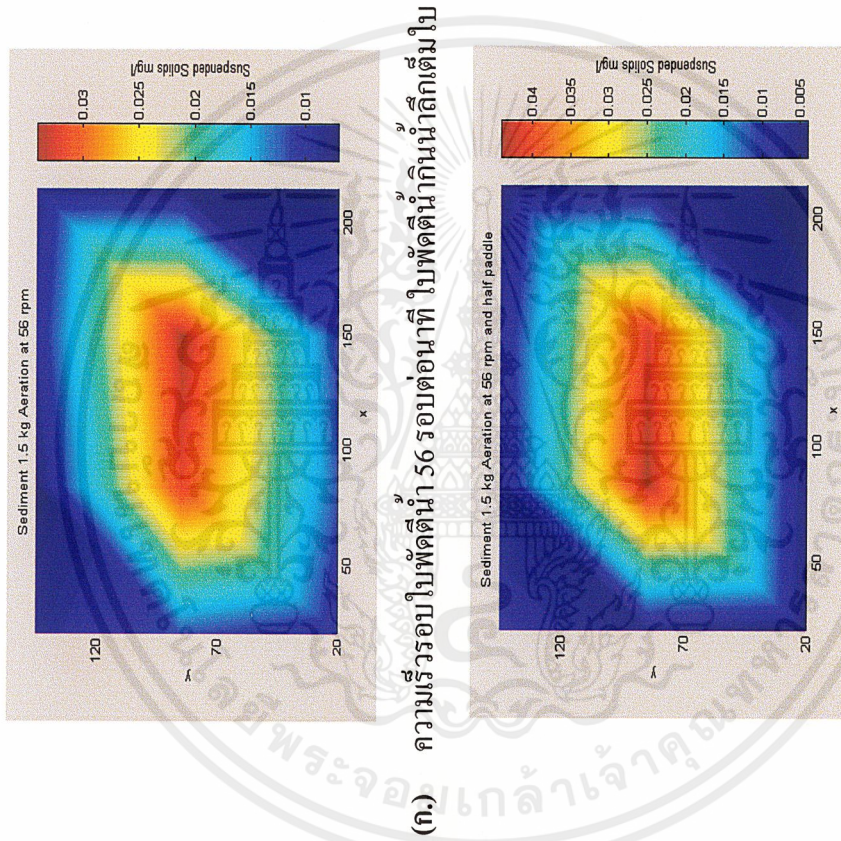


(ค.) ความเร็วรอบใบพัดตีน้ำ 40 รอบต่อนาที

(ง.) ความเร็วรอบใบพัดตีน้ำ 56 รอบต่อนาที

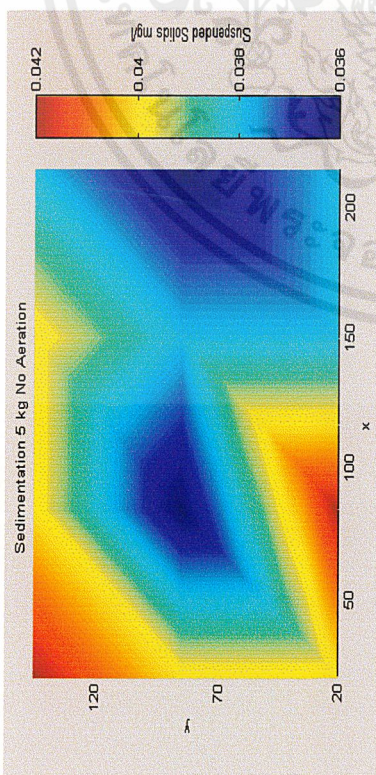
รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในระดับความเร็วรอบของใบพัดตีน้ำระดับต่างๆ กัน ที่มีตะกอนในบ่อ 1.5 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

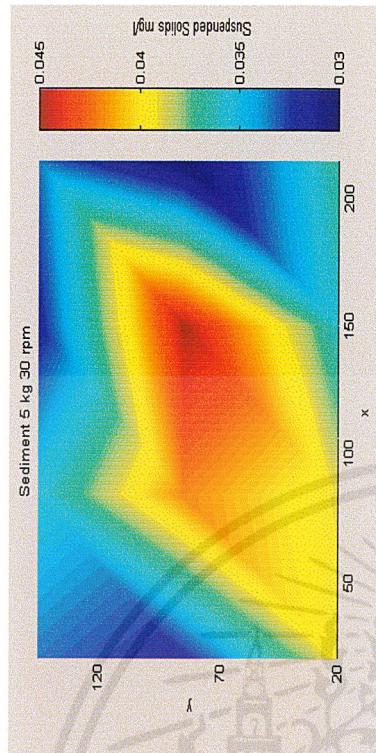


**รูปที่ 5.3** การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับความเร็วนรอบของใบพัดตีน้ำที่ 56 รอบต่อนาที ณ ระดับของใบพัดกึ่งน้ำลึกแตกต่างกันที่ปริมาณตะกอนในเบอ 1.5 kg

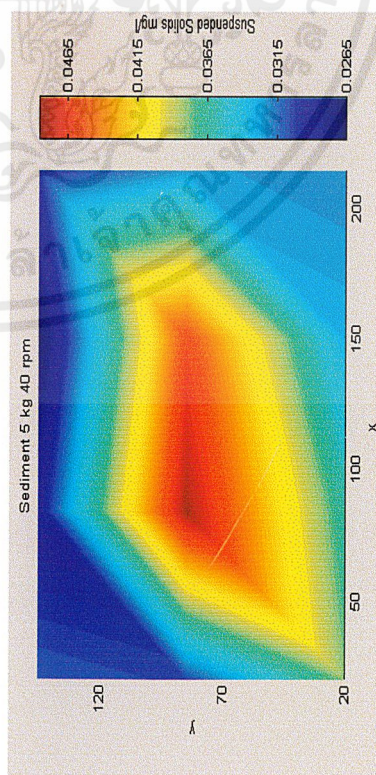
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



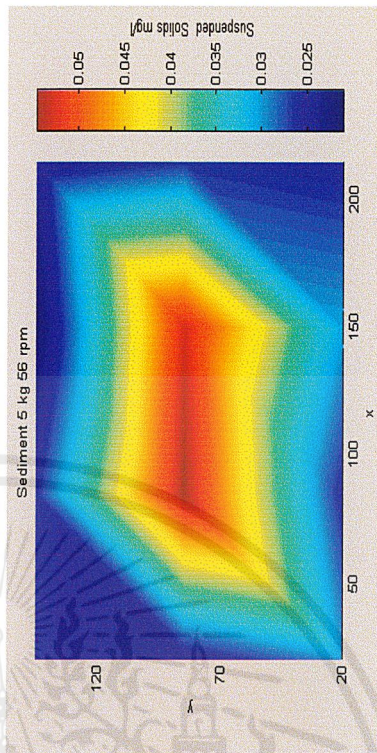
(ก.) ไม่มีการเปิดเครื่องใบพัดน้ำ



(ข.) ความเร็วรอบใบพัดน้ำ 30 รอบต่อนาที



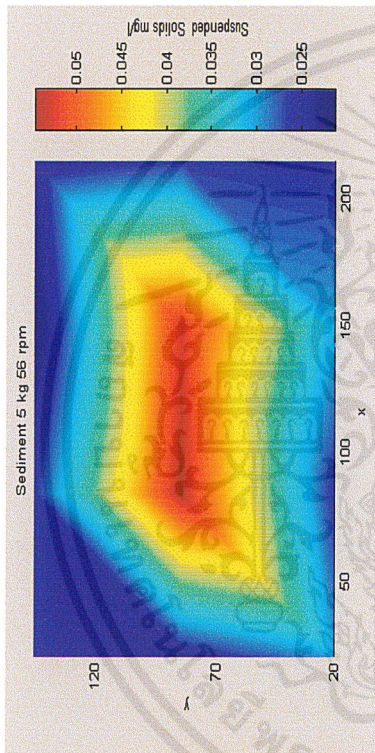
(ค.) ความเร็วรอบใบพัดน้ำ 40 รอบต่อนาที



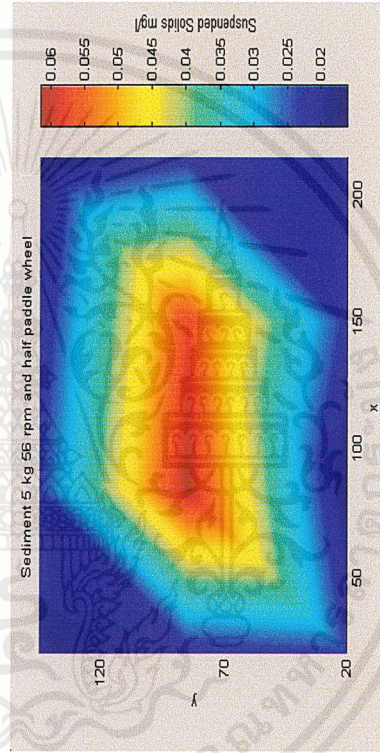
(ง.) ความเร็วรอบใบพัดน้ำ 56 รอบต่อนาที

รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในระดับความเร็วรอบของใบพัดน้ำระดับต่างๆ กัน ที่มีตะกอนในบ่อ 5 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก.) ความเร็วรอบใบพัดตีน้ำ 56 รอบต่อนาที ใบพัดตีน้ำกินน้ำลึกเต็มใบ



(ข.) ความเร็วรอบใบพัดตีน้ำ 56 รอบต่อนาที ใบพัดตีน้ำกินน้ำลึกครึ่งใบ

**รูปที่ 5.5** การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับความเร็รรอบของใบพัดตีน้ำที่ 56 รอบต่อนาที ณ ระดับของใบพัดกินน้ำลึกแตกต่างกันที่ปริมาณตะกอนในบ่อ 5 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### (Conclusions and Recommend for the Future Work)

##### 6.1 สรุปผลการทดลอง (Conclusions)

ผู้ทำการศึกษาได้ทดลองปริมาณความเข้มข้น 2 อันคือที่ 1.5 kg, 5 kg ซึ่งผลการทดลองก็จะได้ผลในลักษณะเดียวกันว่าการเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีผลต่อการรวมตะกอน โดยการเติมอากาศจะมีการรวมตะกอนอยู่ตรงกลาง แต่ถ้าไม่เติมอากาศก็จะมีตะกอนกระจุกกระจายตะกอนอยู่ทั่วบ่อและความเร็วรอบก็มีผลต่อการรวมตะกอนซึ่งถ้าใช้ความเร็วรอบมากก็จะมีผลการรวมตะกอนที่ดีกว่าการใช้ความเร็วรอบที่ต่ำกว่า แต่ก็จะมีความเร็วรอบที่ดีที่สุดเพียงอันเดียวที่สามารถรวบรวมตะกอนและทำให้ตะกอนที่พื้นบ่อไม่เกิดการฟุ้งกระจายขึ้นมาด้านบน ความเร็วรอบที่ว่านั้นก็ประมาณ 56 RPM ซึ่งทำให้ผู้ทำการศึกษาใช้ความเร็วรอบนี้ในการเปรียบเทียบการจุ่มใบพัดลงในน้ำครึ่งใบและเติมใบซึ่งสรุปได้ว่าการจุ่มใบพัดลงในน้ำครึ่งใบจะมีการรวบรวมตะกอนอยู่ตรงกลางบ่อและรอบๆบ่อจะมีตะกอนน้อย ได้ดีกว่าการจุ่มใบพัดลงในน้ำเต็มใบ

##### 6.2 ข้อเสนอแนะ (Recommends for the Future Work)

นอกเหนือจากความเร็วรอบ และระดับความลึกในการกินน้ำของใบพัดที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ อาทิเช่น ลักษณะรูปแบบใบพัด จำนวนใบพัด ลักษณะพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นต้น และในการสร้างแบบจำลองควรสร้างบ่อจำลองให้มีขนาดใหญ่และรูปร่างบ่อเหมือนของจริงมากที่สุด เพื่อไม่ทำให้เกิดปัญหาปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องมีผลต่อการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

1. จารุภาส พลดี และ ชัชวาล พลีสุดใจ, เครื่องเติมอากาศ, การประดิษฐ์เครื่องเติมอากาศเพื่อใช้ในฟาร์มกุ้ง, 1992.
2. ชูศักดิ์ แสงธรรม , เครื่องเติมอากาศ, การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ, สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม , พิมพ์ครั้งที่ 3 , 1998.
3. คำรง โลหะลักษาเดช, เครื่องเติมอากาศและการจัดการพื้นที่บ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ, การศึกษาเปรียบเทียบระบบการให้อากาศต่างกันๆ เพื่อจัดคุณภาพน้ำและพื้นที่บ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ, 1997.
4. ประจวบ หล้าอุบล , กุ้งกุลาดำ, ศรีรวิทยาของกุ้ง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 110-130, 1994.
5. มั่นสิน คัมภพเวศน์ , ไพพรรณ พรประภา, เครื่องเติมอากาศ, การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ , 1993.
6. นัฐวุฒิ สนั่นพานิช , การเคลื่อนตัวของตะกอนในท้องน้ำลักษณะต่างๆ, การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนโดยใช้ทรายละเอียดเป็นวัสดุท้องน้ำ, 1992.
7. พุทธ ส่องแสงจินดาและคณะ, ตะกอนในบ่อกุ้ง, หลักของ สารประกอบไนโตรเจนที่ผิวสัมผัสของน้ำ- ตะกอนใน บ่อเลี้ยงกุ้ง. เอกสารประกอบการประชุม กุ้งทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 1, กรมประมง. หน้า 255-265, 2001.
8. ลัดดา ธรรมการณีย์ , ผลของใบพัดต่อการจัดความขุ่น, ด้วยถังน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน”, 1992 .
9. อนันต์ ต้นสุตะพานิช , สุทธิศ ทองรอด และ ธนัญชี่ สังกะรณกิจ , ศึกษาฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสถานะแวดล้อมระบบรีไซเคิล, 1997.
10. อนันต์ ต้นสุตะพานิช, การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ, เลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดหรือระบบรีไซเคิล , เอกสารกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 1997.
11. Chard- BK, Principle of Aeration, Effect of aeration on Water Quality ,Growth and Production of Prawn in commercial Farming, 2000.
12. Metcalf & Eddy, Theory of sedimentation, Waste Water Engineering ,Third Edition ,Inc., Revised by George Tcholnoglous Franklin L. burton, McGraw Hill, Inc., 1999.
13. Website; Technical Aquaculture Information of Fisheries Western Australia, 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองจากบ่อเลี้ยงกุ้งจริง ณ จังหวัดระยอง  
การทดลองจากบ่อ

โดยการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดจะเก็บที่ความลึก 4 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 ที่ความลึก 25 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ

ระดับที่ 2 ที่ความลึก 50 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ

ระดับที่ 3 ที่ความลึก 75 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ

ระดับที่ 4 ที่ความลึก 100 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ

แบ่งตำแหน่งในการเก็บออกเป็น 3 ตำแหน่งในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ตำแหน่ง A คือตำแหน่งริมบ่อ

ตำแหน่ง B คือตำแหน่งกลางเครื่องเติมอากาศ

ตำแหน่ง C คือตำแหน่งกลางบ่อ

ครั้งที่ 1 (ก) ไม่เติมอากาศ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย				
	น้ำหนักกระดาศ (กรัม)	น้ำหนักกระดาศ+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณน้ำตัว อย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณตะกอน (กรัม)/ น้ำตัวอย่าง 50 (มิลลิลิตร)	
1	25	0.0908	0.0945	50	3.7
	50	0.0930	0.0966	50	3.6
	75	0.0919	0.0954	50	3.5
	75	0.0938	0.1024	50	8.6
2	25	0.0910	0.0954	50	4.4
	50	0.0914	0.0934	50	2
	75	0.0924	0.0950	50	2.6
	100	0.0911	0.0952	50	4.1
3	25	0.0932	0.0963	50	3.1
	50	0.0913	0.0935	50	2.2
	75	0.0929	0.0930	50	0.1
	100	0.0907	0.0949	50	4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 1 (ข) การเติมอากาศ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย				
	น้ำหนักกระดาษ (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณน้ำตัว อย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณตะกอน (กรัม)/ น้ำตัวอย่าง 50 (มิลลิลิตร)	
1	25	0.0913	0.0945	50	3.2
	50	0.0923	0.0961	50	3.8
	75	0.0918	0.0934	50	1.6
	75	0.0900	0.0944	50	4.4
2	25	0.0936	0.0936	50	0
	50	0.0917	0.0936	50	1.9
	75	0.0932	0.0948	50	1.6
	100	0.0928	0.0975	50	4.7
3	25	0.0920	0.0930	50	1
	50	0.0923	0.0927	50	0.4
	75	0.0899	0.0920	50	2.1
	100	0.0927	0.0946	50	1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 2 (ก) ไม่เติมอากาศ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย				
	น้ำหนักกระดาษ (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณน้ำตัว อย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณตะกอน (กรัม)/ น้ำตัวอย่าง 50 (มิลลิลิตร)	
1	25	0.0915	0.0954	50	3.9
	50	0.0910	0.0945	50	3.5
	75	0.0920	0.0952	50	3.2
	75	0.0948	0.1022	50	7.4
2	25	0.0915	0.0953	50	3.8
	50	0.0914	0.0934	50	2
	75	0.0920	0.0947	50	2.7
	100	0.0916	0.0952	50	3.6
3	25	0.0935	0.0960	50	2.5
	50	0.0913	0.0932	50	1.9
	75	0.0929	0.0931	50	0.2
	100	0.0909	0.0949	50	4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 2 (ข) เติมอากาศ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย				
	น้ำหนักกระดาษ (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณน้ำตัว อย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณตะกอน (กรัม)/ น้ำตัวอย่าง 50 (มิลลิลิตร)	
1	25	0.0916	0.0949	50	3.3
	50	0.0925	0.0964	50	3.9
	75	0.0948	0.0960	50	1.2
	75	0.0911	0.0952	50	4.1
2	25	0.0940	0.0944	50	4.4
	50	0.0915	0.0934	50	1.9
	75	0.0930	0.0946	50	1.6
	100	0.0930	0.0976	50	4.6
3	25	0.0920	0.0931	50	1.1
	50	0.0922	0.0928	50	0.6
	75	0.0899	0.0923	50	2.4
	100	0.0928	0.0947	50	1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 3 ขณะไม่เติมอากาศ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย				
	น้ำหนักกระดาษ (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณน้ำตัว อย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณตะกอน (กรัม)/ น้ำตัวอย่าง 50 (มิลลิลิตร)	
1	25	0.0928	0.0963	50	3.5
	50	0.0935	0.0961	50	2.6
	75	0.0919	0.0953	50	3.4
	75	0.0936	0.1025	50	8.9
2	25	0.0917	0.0959	50	4.2
	50	0.0911	0.0938	50	2.7
	75	0.0922	0.0952	50	3.0
	100	0.0923	0.0959	50	3.6
3	25	0.0940	0.0970	50	3
	50	0.0915	0.0933	50	1.8
	75	0.0930	0.0932	50	0.2
	100	0.0907	0.0946	50	3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 3 (ข) เต็มอากาศ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย				
	น้ำหนักกระดาษ (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณน้ำตัว อย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณตะกอน (กรัม)/ น้ำตัวอย่าง 50 (มิลลิลิตร)	
1	25	0.0912	0.0947	50	3.5
	50	0.0923	0.0964	50	3.7
	75	0.0920	0.0932	50	1.2
	75	0.0902	0.0946	50	4.4
2	25	0.0936	0.0939	50	0.3
	50	0.0916	0.0934	50	1.8
	75	0.0933	0.0950	50	1.7
	100	0.0927	0.0976	50	4.9
3	25	0.0920	0.0932	50	1.2
	50	0.0924	0.0933	50	0.9
	75	0.0902	0.0924	50	2.2
	100	0.0925	0.0948	50	2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองจากบ่อจำลอง

(ก) การทดลองจากบ่อจริงปริมาณตะกอนในบ่อ 1.5 kg ที่ความเร็วรอบต่างๆ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย mg/l								
	0 รอบต่อนาที			30 รอบต่อนาที			40 รอบต่อนาที		
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย
1	0.0200	0.0200	0.0200	0.015	0.017	0.016	0.016	0.012	0.014
2	0.0180	0.0180	0.0180	0.016	0.018	0.017	0.015	0.014	0.0145
3	0.0200	0.0200	0.0200	0.018	0.018	0.018	0.014	0.014	0.014
4	0.0190	0.0190	0.0190	0.015	0.016	0.0155	0.014	0.013	0.0135
5	0.0160	0.0160	0.0160	0.013	0.012	0.0125	0.01	0.01	0.01
6	0.0200	0.0200	0.0200	0.025	0.024	0.0245	0.027	0.029	0.028
7	0.0180	0.0180	0.0180	0.026	0.025	0.0255	0.029	0.03	0.0295
8	0.0170	0.0170	0.0170	0.015	0.014	0.0145	0.01	0.011	0.0105
9	0.0160	0.0160	0.0160	0.013	0.012	0.0125	0.012	0.01	0.011
10	0.0180	0.0180	0.0180	0.016	0.014	0.015	0.01	0.011	0.0105
11	0.0180	0.0180	0.0180	0.016	0.015	0.0155	0.013	0.014	0.0135
12	0.0200	0.0200	0.0200	0.017	0.014	0.0155	0.011	0.013	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การทดลองจากบ่อจริงปริมาณตะกอนในบ่อ 1.5 kg ที่ระดับใบพัดต่างกัน

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย mg/l					
	56 รอบต่อนาทีใบพัดเต็มใบ			56 รอบต่อนาทีใบพัดครึ่งใบ		
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย
1	0.01	0.008	0.009	0.004	0.004	0.004
2	0.012	0.012	0.012	0.006	0.004	0.005
3	0.01	0.012	0.011	0.004	0.006	0.005
4	0.008	0.006	0.007	0.004	0.004	0.004
5	0.012	0.012	0.012	0.006	0.006	0.006
6	0.031	0.033	0.032	0.044	0.044	0.044
7	0.033	0.035	0.034	0.042	0.042	0.042
8	0.008	0.007	0.0075	0.006	0.006	0.006
9	0.007	0.01	0.0085	0.008	0.008	0.008
10	0.006	0.008	0.007	0.006	0.006	0.006
11	0.009	0.01	0.0095	0.006	0.008	0.007
12	0.008	0.008	0.008	0.004	0.004	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) การทดลองจากบ่อจริงปริมาณตะกอนในบ่อ 5 kg ที่ความเร็วรอบต่างๆ

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย mg/l								
	0 รอบต่อนาที			30 รอบต่อนาที			40 รอบต่อนาที		
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย
1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.039	0.0395	0.037	0.039	0.038
2	0.042	0.042	0.042	0.04	0.038	0.039	0.036	0.037	0.0365
3	0.038	0.038	0.038	0.036	0.036	0.036	0.032	0.034	0.033
4	0.038	0.038	0.038	0.038	0.036	0.037	0.032	0.032	0.032
5	0.04	0.04	0.04	0.032	0.032	0.032	0.031	0.03	0.0305
6	0.036	0.036	0.036	0.04	0.044	0.042	0.046	0.051	0.0485
7	0.038	0.038	0.038	0.042	0.048	0.045	0.044	0.048	0.046
8	0.036	0.036	0.036	0.03	0.03	0.03	0.033	0.032	0.0325
9	0.042	0.042	0.042	0.034	0.033	0.0335	0.03	0.032	0.031
10	0.04	0.04	0.04	0.035	0.036	0.0355	0.028	0.03	0.029
11	0.04	0.04	0.04	0.032	0.032	0.032	0.026	0.027	0.0265
12	0.038	0.038	0.038	0.033	0.034	0.0335	0.03	0.03	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การทดลองจากบ่อจริงปริมาณตะกอนในบ่อ 5 kg ที่ระดับใบพัดต่างกัน

จุด	ปริมาณสารแขวนลอย mg/l					
	56 รอบก่อนที่ใบพัดเต็มใบ			56 รอบก่อนที่ใบพัดครึ่งใบ		
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	เฉลี่ย
1	0.03	0.03	0.03	0.022	0.024	0.023
2	0.024	0.027	0.0255	0.014	0.018	0.016
3	0.03	0.031	0.0305	0.022	0.022	0.022
4	0.026	0.025	0.0255	0.02	0.02	0.02
5	0.024	0.024	0.024	0.02	0.021	0.0205
6	0.054	0.055	0.0545	0.063	0.06	0.0615
7	0.052	0.054	0.053	0.059	0.057	0.058
8	0.026	0.027	0.0265	0.021	0.023	0.022
9	0.024	0.028	0.026	0.018	0.018	0.018
10	0.026	0.026	0.026	0.026	0.02	0.023
11	0.022	0.02	0.021	0.02	0.02	0.02
12	0.024	0.024	0.024	0.016	0.016	0.016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. ข้อมูลการเขียนกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB (ข้อมูลจากภาคผนวก ข.)

```
x=[20
    84
    150
    214
]
y=[20
    85
    145
]
z=[0.0200 0.0180 0.0200 0.0190
0.0160 0.0200 0.0180 0.0170
0.0160 0.0180 0.0180 0.0200
]
contour(x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')
```

---

```
x=[20
    84
    150
    214
]
y=[20
    85
    145
]
z=[0.016 0.017 0.018 0.0155
0.0125 0.0245 0.0255 0.0145
0.0125 0.015 0.0155 0.0155
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')
```

```

x=[20
    84
    150
    214
]
y=[20
    85
    145
]
z=[0.014 0.0145 0.014 0.0135
0.01 0.028 0.0295 0.0105
0.011 0.0105 0.0135 0.012
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

```

x=[20
    84
    150
    214
]
y=[20
    85
    145
]
z=[0.009 0.012 0.011 0.007
0.012 0.032 0.034 0.0075
0.0085 0.007 0.0095 0.008
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

```

x=[20
   84
   150
   214
]
y=[20
   85
   145
]
z=[0.004 0.005 0.005 0.004
   0.006 0.044 0.042 0.006
   0.008 0.006 0.007 0.004
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

```

x=[20
   84
   150
   214
]
y=[20
   85
   145
]
z=[0.04 0.042 0.038 0.038
   0.04 0.036 0.038 0.036
   0.042 0.04 0.04 0.038
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

```

x=[20
    84
    150
    214
]
y=[20
    85
    145
]
z=[0.0395 0.039 0.036 0.037
0.032 0.042 0.045 0.03
0.0335 0.0355 0.032 0.0335
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

```

x=[20
    84
    150
    214
]
y=[20
    85
    145
]
z=[0.038 0.0365 0.033 0.032
0.0305 0.0485 0.046 0.0325
0.031 0.029 0.0265 0.03
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x=[20
   84
   150
   214
]
y=[20
   85
   145
]
z=[0.03 0.0255 0.0305 0.0255
   0.024 0.0545 0.053 0.0265
   0.026 0.026 0.021 0.024
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

```

x=[20
   84
   150
   214
]
y=[20
   85
   145
]
z=[0.023 0.016 0.022 0.02
   0.0205 0.0615 0.058 0.022
   0.018 0.023 0.02 0.016
]
contour (x,y,z)
hold on
pcolor(x,y,z)
shading interp
colorbar('vert')
colorbar('horiz')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง. การหาความเข้มข้นของตะกอนในบ่อจำลอง

### วิธีการหาปริมาณความเข้มข้นของปริมาณตะกอนในบ่อจำลองโดยการใช้ Imhoff Cone

#### วิธีการทดลอง

1. นำตะกอนในบ่อกึ่งจากบ่อจริงมาตากแห้งแล้วมาทุบให้ละเอียด
2. นำตะกอนกึ่งที่ทุบละเอียดแล้วมาผสมกับน้ำในบีกเกอร์ โดยใช้ปริมาณน้ำ 1,000 มิลลิลิตร กับปริมาณตะกอนที่ต้องการทดสอบ
3. นำน้ำที่ผสมกับตะกอนกึ่งแล้วมาเทใส่ลง Imhoff Cone แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. จากนั้นนำแท่งแก้วครอบๆ Imhoff Cone ให้ตะกอนกึ่งที่อยู่รอบกรวยมาอยู่ตรงกลาง แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 30 นาที
5. ใช้หลอดแก้วดูดน้ำจากกลาง Imhoff Cone มา 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์ตะกอนแขวนลอย โดยให้ได้ใกล้เคียงกับบ่อกึ่งจริง

#### อุปกรณ์

1. กรวย Imhoff Cone
2. แท่งแก้ว
3. บีกเกอร์ 1,000 มิลลิลิตร
4. หลอดดูด
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ค้อน

ผลการทดลอง

ปริมาณความเข้มข้น ของตะกอน(กรัม)/ ปริมาณน้ำที่ใช้1,000 (มิลลิลิตร)	น้ำหนักกระดวยกรอง (กรัม)	น้ำหนักกระดวย กรอง+ ตะกอน (กรัม)	ปริมาณตะกอนแขวนลอย (กรัมต่อน้ำ150มิลลิลิตร)
0.5	0.091	0.0925	0.0015
0.7	0.096	0.0986	0.0026
0.8	0.098	0.1014	0.0034
0.9	0.091	0.0978	0.0068
1.0	0.090	0.0970	0.0070
3.0	0.104	0.121	0.017
6.0	0.094	0.134	0.040

หมายเหตุ

ปริมาณตะกอนจริงมีค่าเท่ากับ 0.003 กรัม ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 50 มิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงปริมาณความเข้มข้นตะกอน 0.8 ๒ปริมาณน้ำที่ผสม1,000 มิลลิลิตร ในบ่อจำลองปริมาตร 2.04 m<sup>3</sup> = 2004 ลิตร โดยน้ำ1ลิตร= 1 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำในบ่อจริง 2004 กิโลกรัม จะต้องใช้ปริมาณตะกอนแห้ง=  $0.8 \text{ กรัม} \times 2004 \text{ กิโลกรัม} \times \frac{1 \text{ กิโลกรัม}}{1000} \times 1 \text{ ลิตร} = 1.6 \text{ กิโลกรัม}$

1000\*10<sup>-3</sup> ลิตร

1000 กรัม 1กิโลกรัม

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคุณแม่ ขอขอบพระคุณอาจารย์วิภา เจียรระโนวจิระ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆ และอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ช่วยเหลือ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือกันตลอด  
4 ปี ขอขอบคุณป้าตุ๋ คุณลุงเจ้าฟาร์มกุ่มกุลาคำ ที่ได้ช่วยเหลือเรื่องการเก็บข้อมูลจากบ่อกุ่มกุลาคำ และพี่  
ประสิทธิ์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์การทดลอง และขอขอบคุณทุกคนที่ทำให้กำลังใจ  
จนทำให้งานนี้สำเร็จสมบูรณ์

นายกิตติพงษ์ ปิยพจนารถ  
นายธนุรัช ทิพยารมณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้