แบบจำลองของคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่

นาย นคร ศิริฐานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-051-5

WATER QUALITY MODELING OF FISH PONDS FED WITH CHICKEN MANURE

Mr. Nakorn Sirithanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2001

ISBN 974-533-051-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองของคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ)
ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)
กรรมการ

.....
(ดร. ธรรมรัตน์ คุตตะเทพ)
กรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิช จิตรสมบูรณ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....
(รองศาสตราจารย์ น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

นคร ศิริฐานนท์ : แบบจำลองของคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ (WATER QUALITY MODELING OF FISH PONDS FED WITH CHICKEN MANURE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ, 127 หน้า.
ISBN 974-533-051-5

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแบบจำลองของคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ซึ่งได้พิจารณาตัวแปรหลักที่สำคัญ คือ ปริมาณมูลไก่ การเจริญเติบโตของปลา และคุณภาพของน้ำที่เกิดขึ้นภายในบ่อเลี้ยงปลา เพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมูลไก่และปริมาณปลาที่เหมาะสมกัน โดยทำการทดลองเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ในระยะเวลา 3 เดือน ปลาที่ใช้ในการทดลองคือปลานิล (Tilapia) ความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยง (Stock density, SD) อยู่ที่ 5 ตัว/ม^2 มูลไก่ที่ใช้นำมาจากฟาร์มของมหาวิทยาลัย การทดลองแบ่งออกเป็นชุดการทดลองตามภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ คือ 40, 80, 160, 320 kg COD/(ha-d) เป็นการเพิ่มภาระบรรทุกแบบทวีคูณไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงภาระบรรทุกที่ปลาไม่สามารถจะดำรงชีพอยู่ได้ จากผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลา 3 เดือน ปลานิลสามารถดำรงชีพอยู่ได้ที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) โดยมีอัตราการรอดชีวิตคิดเป็นร้อยละ 100 และ 75 ซึ่งนำมาคิดเป็นผลผลิตต่อปีจะได้ 5,923 และ 7,606 kg/(ha-yr) ตามลำดับ ส่วนค่าตัวแปรทางคุณภาพน้ำในสัปดาห์สุดท้ายที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) คือ COD = 137 และ 290 mg/L, BOD = 64 และ 96 mg/L, DO_d = 2.4 และ 1.0 mg/L, TKN = 8.12 และ 19.04 mg/L, TP = 17.40 และ 23.22 mg/L, TS = 520 และ 612 mg/L, TSS = 96 และ 168 mg/L, Chlorophyll a = 0.67 และ 1.75 mg/L, Alkalinity = 236 และ 240 mg/L as $CaCO_3$, pH = 8.85 และ 8.54 และ Total coliform bacteria = 3.50×10^3 และ 1.65×10^4 MPN/100 mL ตามลำดับ

จากผลการทดลองเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกมาได้ 2 แบบจำลองคือ แบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้าสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ซึ่งใช้ในการทำนายหาค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเวลาที่วิกฤต อันเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีพของปลา และแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ ซึ่งใช้ในการทำนายปริมาณน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ระยะเวลาต่าง ๆ ทำให้สามารถทราบถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาที่เหมาะสมได้

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

NAKORN SIRITHANON : WATER QUALITY MODELING OF FISH PONDS FED WITH CHICKEN MANURE THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D. 127 PP. ISBN 974-533-051-5

CHICKEN MANURE/FISH PONDS/WATER QUALITY MODELING

The main objective of the study was to determine the water quality modeling of fish ponds fed with chicken manure. The following parameters - chicken manure, fish yield and water quality in the ponds – were determined to quantify the optimum organic loading of the ponds with respect to maximum fish yield. The experiment was conducted for 3 months. The species of fish used in this experiment was Tilapia nilotica reared at a density of 5 fish/m^2. Four experimental ponds with chicken manure loadings of 40, 80, 160 and 320 kg COD/(ha-d) were run about 3 months. The fish, after 3 months, were found to survive at the application rates of 40 and 80 kg COD/(ha-d) with the survival rates of 100 and 75 % and the maximum fish yields of 5,923 and 7,606 kg/(ha-yr), respectively. The water quality parameters for the above two application rates had the following characteristics: COD = 137 and 290 mg/L, BOD = 64 and 96 mg/L, DO_d = 2.4 and 1.0 mg/L, TKN = 8.12 and 19.04 mg/L, TP = 17.40 and 23.22 mg/L, TS = 520 and 612 mg/L, TSS = 96 and 168 mg/L, Chlorophyll a = 0.67 and 1.75 mg/L, Alkalinity = 236 and 240 mg/L as $CaCO_3$, pH = 8.85 and 8.54 and Total coliform bacteria = 3.50×10^3 and 1.65×10^4 MPN/100 mL.

Two mathematical models were developed and determined from the experimental data. Firstly, the DO-at-dawn model was formulated to predict the critical dissolved oxygen in the fish ponds, which is the important factor for fish survival. Secondly, the Tilapia growth model could be used for predicting the mean fish weight during the feed with chicken manure at any time for planning the optimum harvesting time.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- ดร. ธรรมรัตน์ คุตตะเทพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย
- ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- คุณมานพ จรโคกกรวด และพี่ ๆ ที่อาคารศูนย์เครื่องมือ F1, F3 และ F5 ที่อำนวยความสะดวกในการทดลองวิจัย
- คุณเทียนชัย เอียดแก้ว, คุณวิทิต ขอสันติวิวัฒน์, คุณปฏิกรณ์ แสนสิ่ง และเพื่อนบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา
- ห้างแว่นตาสมชัย จังหวัดสุโขทัย ที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำวิจัย

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมชัย และคุณแม่ศิริลักษณ์ ศิริฐานนท์ ตลอดจนพี่ ๆ ทุกท่าน ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

นคร ศิริฐานนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 การเลี้ยงปลาด้วยของเสียอินทรีย์ 3

2.2 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ 4

2.3 ประเภทของปลาตามชนิดของอาหาร 6

2.4 ลูกโซ่อาหารในบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยของเสียอินทรีย์ 7

2.5 ปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในบ่อเลี้ยงปลา 9

2.6 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายในบ่อปลา 11

2.7 การศึกษาแบบจำลองสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยของเสียอินทรีย์ที่ผ่านมา 17

3 การดำเนินการวิจัย 21

3.1 วิธีการวิจัย 21

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 21

3.3 สถานที่ทำการวิจัย 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 23

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 24

4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 25

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่ 25

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 26

4.2.1 ค่า COD ในบ่อเลี้ยงปลา 26

4.2.2 ค่า BOD ในบ่อเลี้ยงปลา 29

4.2.3 ค่า DO ในบ่อเลี้ยงปลา 32

4.2.4 ค่า Ammonia และ Organic Nitrogen ในบ่อเลี้ยงปลา 32

4.2.5 ค่า Phosphorus ในบ่อเลี้ยงปลา 37

4.2.6 ค่า TS และ TSS ในบ่อเลี้ยงปลา 37

4.2.7 ค่า Chlorophyll a ในบ่อเลี้ยงปลา 44

4.2.8 ค่า Alkalinity ในบ่อเลี้ยงปลา 47

4.2.9 ค่า Total Coliform Bacteria ในบ่อเลี้ยงปลา 47

4.2.10 pH ในบ่อเลี้ยงปลา 52

4.2.11 อุณหภูมิ ในบ่อเลี้ยงปลา 52

4.3 น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น 53

4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 58

4.4.1 แบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า (DO_d) 58

4.4.2 แบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ 64

4.4.3 ตัวอย่างการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้งาน 72

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 74

5.1 สรุปผลการทดลอง 74

5.2 ข้อเสนอแนะ 75

รายการอ้างอิง 76

ภาคผนวก

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก ข้อมูล 78
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบทางสถิติ 110
ภาคผนวก ค มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง 116
ภาคผนวก ง การคำนวณระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 119
ภาคผนวก จ ภาพถ่าย 122
ประวัติผู้เขียน 127

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์ (%) 4
2.2 สรุปองค์ประกอบของมูลสัตว์ และการวิเคราะห์อื่น ๆ 6
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 22
4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่ 25
4.2 ปริมาณมูลไก่ที่ใช้ต่อวันในแต่ละภาระบรรทุก และค่าภาระบรรทุกของไนโตรเจน 26
1ก ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่ 79
2ก ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 80
3ก ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 81
4ก ผลการวิเคราะห์ค่า BOD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 82
5ก ผลการวิเคราะห์ค่า BOD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 83
6ก ผลการวิเคราะห์ค่า DO (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 84
7ก ผลการวิเคราะห์ค่า DO (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 85
8ก ผลการวิเคราะห์ค่า Nitrogen (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 86
9ก ผลการวิเคราะห์ค่า Nitrogen (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 87
10ก ผลการวิเคราะห์ค่า Phosphorus (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 88
11ก ผลการวิเคราะห์ค่า Phosphorus (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 89
12ก ผลการวิเคราะห์ค่า ของแข็ง (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 90
13ก ผลการวิเคราะห์ค่า ของแข็ง (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 92
14ก ผลการวิเคราะห์ค่า Chlorophyll a (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 93
15ก ผลการวิเคราะห์ค่า Chlorophyll a (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 94
16ก ผลการวิเคราะห์ค่า Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$) และค่า pH ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 95
17ก ผลการวิเคราะห์ค่า Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$) และค่า pH ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 96
18ก ผลการวิเคราะห์ค่า Coliform Bacteria (MPN/100 mL) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 97
19ก ผลการวิเคราะห์ค่า Coliform Bacteria (MPN/100 mL) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

20ก ค่าอุณหภูมิ (°C) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก 100
21ก ค่าอุณหภูมิ (°C) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง 101
22ก ค่าน้ำหนักปลารวม และน้ำหนักปลาเฉลี่ย (g) ที่เพิ่มขึ้นในซ้ำแรก 102
23ก ค่าน้ำหนักปลารวม และน้ำหนักปลาเฉลี่ย (g) ที่เพิ่มขึ้นในซ้ำที่สอง 103
24ก Growth rate (g/d) ของปลาในซ้ำแรก 104
25ก Growth rate (g/d) ของปลาในซ้ำที่สอง 105
26ก การเปรียบเทียบค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการทดลอง กับค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำแรก 106
27ก การเปรียบเทียบค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการทดลอง กับค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำที่สอง 107
28ก การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลา (g) ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำแรก 108
29ก การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลา (g) ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำที่สอง 109
1ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 111
2ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 111
3ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 111
4ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อไม่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 111
5ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 112
6ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

7ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 112

8ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อไม่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 112

9ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 113

10ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 113

11ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 113

12ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อไม่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 113

13ข การทดสอบค่า F-test เพื่อหาค่าคงที่ของแบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า สำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ในรูปสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้น 114

14ข การทดสอบค่า F-test เพื่อหาค่าคงที่ของแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น 114

15ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 114

16ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 114

17ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 114

18ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 114

19ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

20ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 115

21ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 115

22ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 115

23ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 115

1ค มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม 117

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แผนภูมิการใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์เมื่อเติมลงในบ่อปลา 5
2.2 ลูกโซ่อาหารในบ่อปลา 8
2.3 ความสัมพันธ์ของสาหร่าย แบคทีเรีย และปลาในบ่อปลาที่มีการเติมของเสียอินทรีย์ 10
2.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ DO ในบ่อปลา 11
2.5 ผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของตะกอนบ่อเกรอะภายในบ่อที่ไม่ได้มีการเลี้ยงปลา 13
2.6 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลาที่ภาระบรรทุก 150 kg COD/(ha-d) กับความหนาแน่นของปลา (SD) ที่ระดับต่าง ๆ 15
2.7 ผลของความหนาแน่นของปลา (SD) ต่อน้ำหนักเฉลี่ยของปลา และน้ำหนักรวมทั้งหมดของปลาหลังจากเลี้ยงได้ 6 เดือน 16
2.8 ผลของ pH ต่อการเกิด H_2S 17
2.9 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักปลาที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณ 20
3.1 บ่อคอนกรีตสำหรับการทดลอง 23
3.2 ลักษณะและหลักการของแบบจำลองคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ 24
4.1 COD ในบ่อปลา ซ้ำแรก 27
4.2 COD ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 28
4.3 BOD ในบ่อปลา ซ้ำแรก 30
4.4 BOD ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 31
4.5 DO at dawn ในบ่อปลา ซ้ำแรก 33
4.6 DO at dawn ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 34
4.7 Nitrogen ในบ่อปลา ซ้ำแรก 35
4.8 Nitrogen ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 36
4.9 Phosphorus ในบ่อปลา ซ้ำแรก 38
4.10 Phosphorus ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 39
4.11 TS ในบ่อปลา ซ้ำแรก 40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.12 TS ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 41
4.13 TSS ในบ่อปลา ซ้ำแรก 42
4.14 TSS ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 43
4.15 Chlorophyll a ในบ่อปลา ซ้ำแรก 45
4.16 Chlorophyll a ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 46
4.17 Alkalinity ในบ่อปลา ซ้ำแรก 48
4.18 Alkalinity ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 49
4.19 Total Coliform Bacteria ในบ่อปลา ซ้ำแรก 50
4.20 Total Coliform Bacteria ในบ่อปลา ซ้ำที่สอง 51
4.21 ค่าน้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละบ่อ ซ้ำแรก 54
4.22 ค่าน้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละบ่อ ซ้ำที่สอง 55
4.23 Growth rate ของปลาในแต่ละบ่อ ซ้ำแรก 56
4.24 Growth rate ของปลาในแต่ละบ่อ ซ้ำที่สอง 57
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ ที่ 4.4 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 60
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ ที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 61
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ ที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 62
4.28 ความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นระหว่าง $\ln (DO_d/DO_{sat})$ กับ L.t 63
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ ที่ 4.9 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 65
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ ที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 66
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ ที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ ด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 69

4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ ด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก 70

4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณ ด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง 71

1จ บ่อคอนกรีต และตาข่ายจับปลาที่ใช้ในการทดลอง 123

2จ วิธีการจับปลา 123

3จ การเตรียมเครื่องชั่งปลา 124

4จ ปลาที่จะนำมาชั่งน้ำหนัก 124

5จ ลักษณะของน้ำในบ่อที่ทำการเลี้ยงปลา 125

6จ ลักษณะของน้ำในบ่อที่ไม่ได้ทำการเลี้ยงปลา 125

7จ มูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง 126

8จ การชั่งน้ำหนักมูลไก่ตามภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ 126

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

Alk	=	อัลคาไลนิตี้ (Alkalinity)
BOD	=	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand)
COD	=	ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี (Chemical Oxygen Demand)
DO	=	ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)
DO_d	=	ออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า (Dissolved Oxygen at dawn)
ha	=	เฮกแตร์ (10,000 $ม^2$)
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
MPN	=	Most Probable Number
SD	=	ความหนาแน่นของปลา (Stock Density)
TDS	=	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
TKN	=	ไนโตรเจนในรูป ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)
TP	=	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)
TS	=	ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)
TSS	=	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)
VS	=	ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวิธีการนำเอาของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่มีอยู่หลายวิธี โดยเฉพาะ การนำของเสียอินทรีย์มาใช้ในการเลี้ยงปลาหรือสาหร่าย เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารของคนและสัตว์ กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในด้านเกษตรกรรม เนื่องจากเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงได้ โดยเป็นการใช้ผลพลอยได้จากกิจกรรมหนึ่งไปเป็นปัจจัยการผลิตของอีกกิจกรรมหนึ่ง ซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่าเป็นการใช้หลักการเกษตรแบบผสมผสาน อันจะทำให้ระบบการผลิตโดยรวมมีต้นทุนที่ลดต่ำลง

หลักการเกษตรแบบผสมผสานที่ใช้สำหรับการเลี้ยงปลาในที่นี้มีอยู่หลายวิธี อาทิเช่น การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช เช่นการเลี้ยงปลาในนาข้าว หรือการเลี้ยงปศุสัตว์ร่วมกับการเลี้ยงปลา เช่นการเลี้ยง สุกร เป็ด ไก่ แล้วนำมูลของเสียที่ได้จากสัตว์เหล่านี้มาใช้ในการเลี้ยงปลา ซึ่งในที่นี้จะพิจารณานำเสนอเฉพาะการนำมูลไก่มาใช้ในการเลี้ยงปลา ซึ่งโดยหลักการเหล่านี้เกษตรกรได้มีการปฏิบัติกันมานานนับศตวรรษแล้วทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ อาทิเช่น จีน ไต้หวัน ฮ่องกง ญี่ปุ่น รวมทั้งบางประเทศในยุโรปตะวันออกเช่น ฮังการี ด้วยประเทศเหล่านี้ ต่างยอมรับว่าระบบการผลิตสัตว์น้ำและสัตว์บกที่ผสมผสานกันนี้ว่าเป็นการเอื้ออำนวยประโยชน์ให้แก่กันและกันเป็นอย่างดี จึงนับเป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงมากระบบหนึ่งเท่าที่มีมา

แต่ในปัจจุบัน เราพบว่ายังมีปัญหาบางประการที่จะต้องแก้ไข เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้และความเข้าใจในเรื่องการเลี้ยงปลาแบบผสมผสานที่ถูกต้อง ทำให้ประสบปัญหาในเรื่องน้ำเสีย แล้วปลาเป็นโรค จนกระทั่งปลาตายเป็นจำนวนมาก เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้มาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- มีการปล่อยปลาลงบ่อในจำนวนที่หนาแน่นมากจนเกินไป จึงทำให้ปลาไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร
- จำนวนสัตว์เลี้ยงที่มีไม่สัมพันธ์กับจำนวนปลาที่เลี้ยงในบ่อ เช่น ถ้าจำนวนสัตว์เลี้ยงมีน้อยเกินไป ทำให้มูลสัตว์ไม่เพียงพอที่จะช่วยให้ปลาเจริญเติบโตได้ ต้องเพิ่มสารอาหารเข้าไปสมทบอีกซึ่งถือเป็นการสิ้นเปลือง หรือถ้าจำนวนสัตว์เลี้ยงมีมากจนเกินไป มูลสัตว์ก็จะเป็นสาเหตุทำ

ให้แพลงค์ตอนพืชหรือสาหร่ายในน้ำเกิดขึ้นมาก ซึ่งพวกนี้จะไปดึงเอาออกซิเจนจากน้ำไปใช้ จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำนั้นมีค่าต่ำ เป็นเหตุให้เกิดน้ำเน่าเสีย และปลาตายได้ในที่สุด

จากปัญหาที่กล่าวมาเราพบว่าสามารถแก้ไขได้โดย สร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสัตว์เลี้ยง และปริมาณปลาที่เหมาะสมกัน อันไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำที่จะระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเมื่อเราสามารถสร้างแบบจำลองนี้ขึ้นมาได้เกษตรกรก็จะได้ประโยชน์ในการนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์เพื่อใช้ในพื้นที่ของตน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญของการวิจัยในครั้งนี้ คือ

1. เพื่อศึกษาหาแบบจำลองของคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้มูลไก่เป็นอาหาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณมูลไก่ ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลานิล โดย

1. เป็นการศึกษาเพื่อหาแบบจำลองของคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ซึ่ง ได้พิจารณาตัวแปรหลักที่สำคัญ คือ ปริมาณมูลไก่ การเจริญเติบโตของปลา และคุณภาพของน้ำที่เกิดขึ้นภายในบ่อเลี้ยงปลา
2. เป็นการศึกษาวิจัยคุณภาพน้ำ โดยมีการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ คือ Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), nitrogen, phosphorus, solids, chlorophyll a, alkalinity, coliform bacteria, pH, อุณหภูมิ และน้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้นในบ่อเลี้ยง
3. เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมูลไก่ การเจริญเติบโตของปลา และคุณภาพของน้ำที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลา
4. เป็นการศึกษาเพื่อเป็นการพัฒนาปรับปรุง และนำไปประยุกต์ใช้ ในงานเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเลี้ยงปลาด้วยของเสียอินทรีย์

วิธีการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่มีหลายวิธี แต่การนำมาใช้เลี้ยงปลาหรือสาหร่ายเพื่อเป็นแหล่งอาหารของคนและสัตว์ต่อไป กำลังได้รับความสนใจมาก แม้ว่าเซลล์ของสาหร่ายจะมีโปรตีนสูงถึง 50 % แต่เนื่องจากเซลล์ของสาหร่ายนั้นมีขนาดที่เล็กมาก โดยปกติจะมีขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน จึงทำให้มีปัญหายุ่งยากในการเก็บเกี่ยว เพราะต้องใช้วิธีที่มีราคาแพงซึ่งทำให้ไม่คุ้มทุน ต่อมาได้มีการทดลองนำเอาสาหร่ายไปเลี้ยงสัตว์ ซึ่งพบว่านอกจากสาหร่ายชนิด Spirulina แล้ว สาหร่ายชนิดอื่นจะมีผนังเซลล์ที่แข็ง ทำให้เกิดการย่อยยากเมื่อนำมาเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์ที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีเอ็นไซม์พิเศษในการย่อยสลายผนังเซลล์เหล่านี้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดที่จะนำสาหร่ายไปเลี้ยงปลาที่กินพืช โดยทำการเลี้ยงปลาและสาหร่ายไว้ในบ่อเดียวกัน เพื่อให้ปลาได้กินสาหร่ายซึ่งจะมีความน่าสนใจมากกว่า อีกทั้งปลาก็ยังเป็นแหล่งโปรตีน ที่เก็บเกี่ยวได้ง่าย และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของทั้งคนและสัตว์

มีวิธีการพื้นฐาน 3 แบบ ในการใช้ของเสียอินทรีย์ในการเลี้ยงปลา

1. การบำรุงเลี้ยงปลาในบ่อด้วยของเสีย อาทิเช่น อุจจาระ (Excreta), ตะกอน (Sludge) หรือมูลสัตว์ (Manure)
2. การเลี้ยงปลาในน้ำที่ออกจากบ่อที่เติมอุจจาระ ตะกอน หรือมูลสัตว์นั้น ๆ โดยตรง
3. การเลี้ยงปลาโดยตรงในบ่อปรับเสถียร เช่นในบ่อบ่ม (Maturation pond)

Edwards (1985) รายงานว่าในประเทศจีนได้มีการเลี้ยงปลาด้วยอุจจาระคนหรือมูลสัตว์ เช่น การมีส้วมไว้บนบ่อเลี้ยงปลา ในไต้หวันก็มีการเติมอุจจาระลงในบ่อเลี้ยงปลาเป็นระยะ ๆ เช่น เติมทุก ๆ 4-6 ครั้งในช่วงที่ปลากำลังเติบโต และได้มีการเติมเศษพืชผักลงไปด้วย

วิธีการที่ (2) และ (3) พบว่ามีการทำทั้งในประเทศที่กำลังพัฒนาและประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ในกัลกัตตา ประเทศอินเดีย มีบ่อที่เลี้ยงปลาด้วยน้ำเสียขนาด 2,500 เฮกแตร์ ในประเทศจีนมีขนาด 270 เฮกแตร์ ส่วนในประเทศเยอรมันมีขนาด 233 เฮกแตร์ และในประเทศอิสราเอลมีขนาด 50-100 เฮกแตร์ ซึ่งถ้าทำให้ดีแล้ว พบว่าผลผลิตปลาจะมีมากกว่าบ่อที่ใช้ปุ๋ยเคมี (Allen and Hepher, 1976)

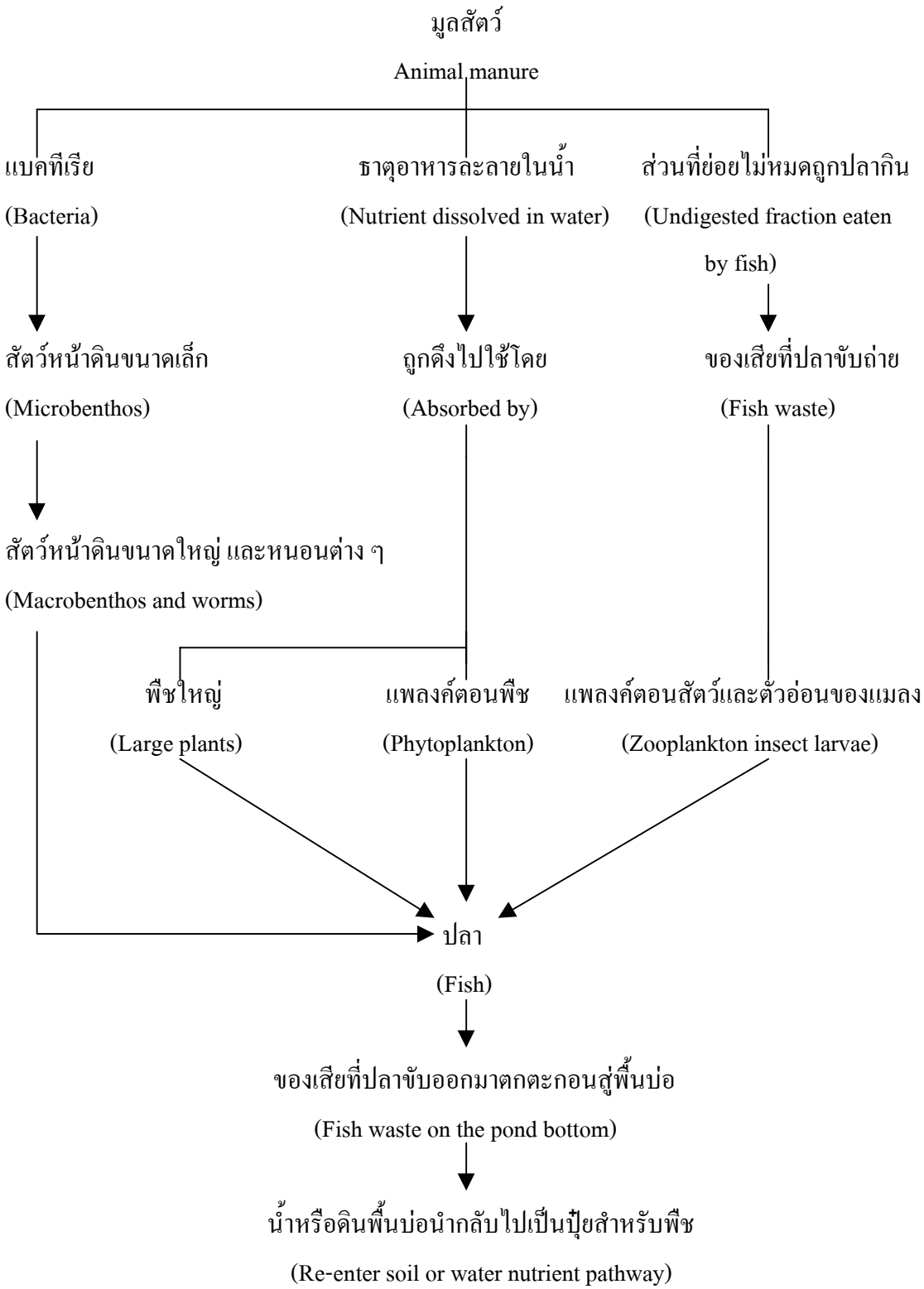
2.2 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

มูลสัตว์แต่ละชนิดนั้นมีลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไป ซึ่งล้วนแต่เป็นประโยชน์ กล่าวคือส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วย ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม, แมกนีเซียม, ทองแดง, สังกะสี และเหล็ก เป็นต้น ปริมาณของเสียที่ขับถ่ายออกมาของสัตว์แต่ละวัน และคุณลักษณะของการย่อยสลายนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ขนาด และอายุ รวมทั้งอาหารและน้ำที่ให้แก่สัตว์ในแต่ละวัน ตลอดจนสภาวะแวดล้อม จากตารางที่ 2.1 พบว่ามูลสัตว์จำพวกสัตว์ปีก อาทิเช่น เป็ด ไก่ และห่าน จะมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียมสูง จึงเป็นปุ๋ยที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงปลาได้โดยใช้หลักการผสมผสานจากพลังงานธรรมชาติ แสงแดด และอุณหภูมิ ซึ่งนิเวศน์วิทยาที่เกิดขึ้นในบ่อนั้นก็จะทำให้เกิดผลผลิตของสัตว์น้ำในรูปต่าง ๆ ได้ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์ (%)

ชื่อ		ความชื้น	อินทรียวัตถุ	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โปรแตสเซียม	จำนวนของเสียที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์หนึ่งตัวต่อปี (kg)
วัว	มูล	80.6	18.0	0.31	0.21	0.12	13,600
	ปัสสาวะ	92.5	3.1	1.1	0.1		9,000
ม้า	มูล	75.0	23.2	0.55	0.31	0.33	5,000
	ปัสสาวะ	89.1	6.9	1.2	0.05	1.5	
แกะ	มูล	68.0	29.0	0.6	0.3	0.2	750
	ปัสสาวะ	87.5	8.0	1.5	0.1	1.8	
สุกร	มูล	82.0	16.0	0.6	0.5	0.4	2,050-2,350 ช่วงการเลี้ยงถึง 8 เดือน
	ปัสสาวะ	94.0	2.5	0.4	0.05	1.0	
ไก่		50.0	25.5	1.63	1.54	0.85	5-7.5
เป็ด	มูล	56.6	26.2	1.10	1.40	0.62	7.5-10
ห่าน		77.1	23.4	0.55	0.50	0.95	12.5-15

ที่มา : ภาณุ และ พินิจ (2540)



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิการใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์เมื่อเติมลงในบ่อปลา

คุณภาพของมูลไก่นั้น มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งได้มีการวิเคราะห์ในทางวิชาการแล้วว่าดีกว่ามูลเป็ด หรือมีคุณสมบัติเท่าเทียมกับปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (Hopkins and Cruz, 1982)

ตารางที่ 2.2 สรุปองค์ประกอบของมูลสัตว์ และการวิเคราะห์อื่น ๆ

รายการ	หมู	เป็ด	ไก่
มูลขับถ่ายต่อวัน	3.5-11.5%TLW	11.7%TLW	24-106 กก./1,000 ตัว
เนื้อมูล (TS)	29.9%	43.0%	35-79%
ไนโตรเจน	1.9%TS	2.3%TS	3.5%TS
ฟอสเฟต	0.017%TLW	3.3%TS	4.6%TS
โปแตส K_2O	0.01%TLW	1.4%TS	2.1%TS
ไฟเบอร์	1.2%TS	20.0%TS	18.5%TS
BOD_5	0.22%TLW	9.2%TS	21.4%TS

หมายเหตุ TLW = Total Live Weight, TS = Total Solids

ที่มา : Hopkins and Cruz (1982)

2.3 ประเภทของปลาตามชนิดของอาหาร

การให้อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลี้ยงปลา เช่นเดียวกันกับสัตว์ชนิดอื่น ๆ โดยปลาต่างชนิดกันย่อมที่จะกินอาหารต่างกัน การแบ่งประเภทของปลาตามปัจจัยการกิน และชนิดของอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. ปลากินพืช (Herbivorous fish) ปลาในกลุ่มนี้กินพืชรวมทั้งสาหร่าย และพืชชั้นสูงเป็นอาหาร ได้แก่ ปลาจีน (Grass carp) และปลาเกล็ดเงิน (Silver carp)

พบว่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ปลาจีนที่มีขนาดเล็กกว่า 1.2 กก. จะสามารถกินพืชได้มากกว่าน้ำหนักตัวมันเองได้หลายเท่า (National Academy of Sciences, 1976) นอกจากนี้พวกปลากินพืช เช่น ปลาจีน และปลาเกล็ดเงินส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำที่มีพืชน้ำ ทั้งนี้ทำให้สามารถช่วยในการควบคุมปริมาณพืชน้ำได้ เช่น การเพิ่มขึ้นของแพลงค์ตอนพืช (Phytoplankton bloom) และพืชน้ำชนิดอื่นในแหล่งน้ำ

2. ปลากินเนื้อ (Carnivorous fish) ปลาในกลุ่มนี้กินแพลงค์ตอนสัตว์ แมลง แบคทีเรีย ปลาเล็ก และสัตว์อื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กกว่าตัวของมันเป็นอาหารปลา ได้แก่ ปลาช่อน (Snakehead fish)

ปลาจำพวกปลาช่อน (Snakehead fish) ส่วนมากเป็นปลาที่กินเนื้อ จึงมักกินปลาเล็ก, สัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็งหุ้ม (Crustaceans) เช่น กุ้งหรือกั้ง, แมลง และหนอนต่าง ๆ โดยทั่วไปคนจะชอบรับประทานปลากินเนื้อ เพราะคุณค่าทางอาหารสูงและมีรสดี แต่การลงทุนในการเลี้ยงปลาประเภทนี้จะสูงกว่าปลาประเภทอื่น ๆ

3. ปลาที่กินทั้งเนื้อและพืช (Omnivorous fish) ปลาในกลุ่มนี้จึงสามารถกินได้ทั้งพืช และสัตว์ เช่นปลาไน (Chinese common carp) และปลานิล (Tilapia)

โดยทั่วไปปลาส่วนมากจะปรับตัวเก่งในเรื่องอาหาร มีเพียงไม่กี่ชนิดที่เป็นประเภทกินพืชหรือกินเนื้อเพียงอย่างเดียวเท่านั้น นิสัยการกินอาหารของปลาก็จะเปลี่ยนไปเมื่อปลาเจริญขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบทางเดินอาหารที่พัฒนาขึ้นด้วย ดังนั้นอาหารที่ปลากินจึงเปลี่ยนไปตามชนิดของปลาและอายุของปลาด้วย

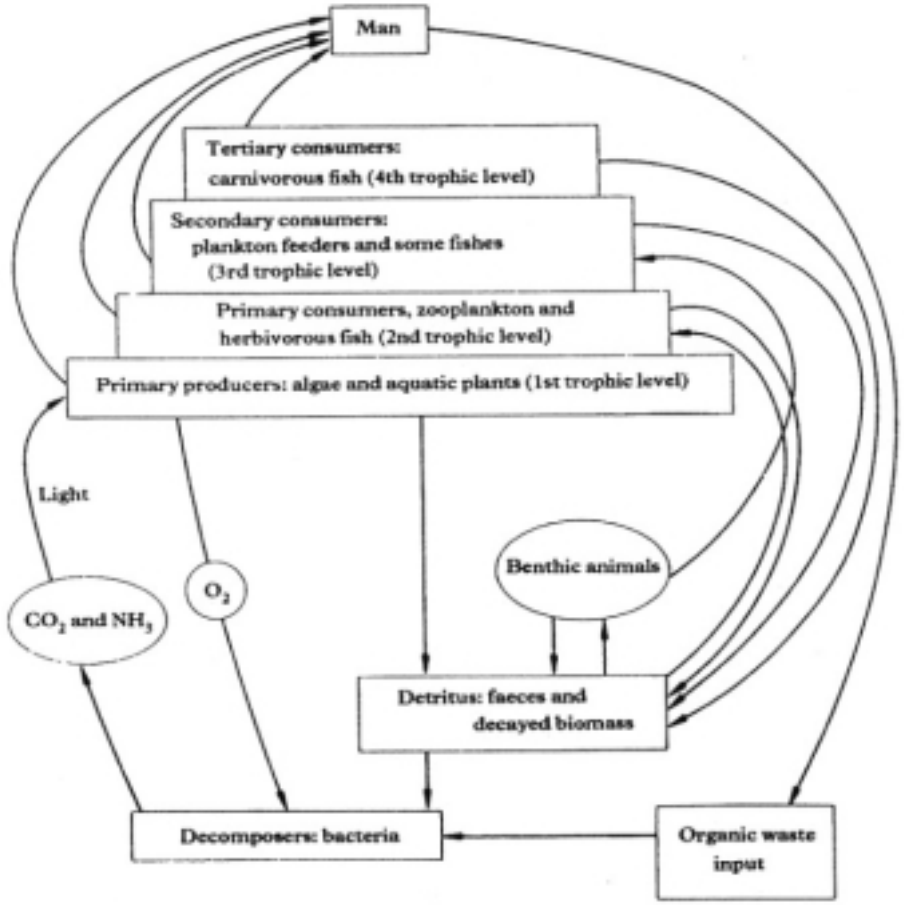
ปลาที่เลี้ยงในบ่อที่เติมของเสีย (Waste-fed pond) ควรมีลักษณะดังนี้

- ทนทานต่อที่สภาวะมีออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ต่ำ ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในตอนกลางคืน หรือเวลาเช้ามืด เมื่อไม่มีการสร้างออกซิเจน จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช
- ทนทานต่อโรค และสภาพแวดล้อมที่ไม่ดีได้
- สามารถกินแพลงค์ตอนที่เจริญเติบโตในบ่อน้ำเสียได้

ปลาบางชนิด เช่น ปลานิล (Tilapia) และปลาไน (Chinese carp) ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการใช้ประโยชน์จากของเสียมาก เนื่องจากของเสียอินทรีย์ อาทิเช่น มูลสัตว์นั้นมีสารอาหารมากพอที่จะทำให้แพลงค์ตอนพืช และแพลงค์ตอนสัตว์เจริญเติบโตได้ดี ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับปลา ซึ่งในกลุ่มปลาเหล่านี้พบว่า ปลานิลเป็นปลาที่นิยมนำมาเลี้ยงในบ่อน้ำเสียมากที่สุด เนื่องจากปลานิลสามารถกินของเสีย และสาหร่ายได้โดยตรงรวมทั้งพืชน้ำชนิดอื่น ๆ และแพลงค์ตอนสัตว์ นอกจากนี้ยังโตเร็วและแพร่พันธุ์ได้มาก มีความทนทานต่อสภาวะที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ต่ำ ๆ และทนทานต่อโรคมากกว่าปลาชนิดอื่น ๆ (Polprasert et al, 1984)

2.4 ลูกโซ่อาหารในบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยของเสียอินทรีย์

ระบบนิเวศน์ของบ่อปลาจะมีสิ่งมีชีวิตหลักอยู่ด้วยกัน 3 กลุ่ม ซึ่งจะคล้ายกับระบบนิเวศน์ในทะเล และในน้ำจืดธรรมชาติ คือ มีผู้ผลิตลำดับที่ 1 ผู้กินลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 ลำดับที่ 3 และตัวย่อยสลาย ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลูกโซ่อาหารในบ่อปลา (Polprasert, 1996)

ในตอนเริ่มต้นของลูกโซ่อาหารผู้ผลิตลำดับแรก (สาหร่าย และพืชน้ำ) จะเป็นระดับการกินอาหารลำดับแรก (First trophic level) โดยจะสังเคราะห์สารอินทรีย์ หรือมวลชีวภาพของเซลล์ จากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้สารอาหารในน้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์

ผู้กินลำดับแรก เช่น แพลงค์ตอนสัตว์ และสัตว์กินพืช จะกินผู้ผลิตลำดับแรกแล้วหลังจากนั้นก็จะถูกกินโดยผู้กินลำดับที่ 2 เช่น ปลาเล็ก และสัตว์ที่กินแพลงค์ตอนอื่น ๆ ในชั้นนี้ปลาบางชนิดจะกินสัตว์ซึ่งเจริญเติบโตที่ก้นบ่อ ปลาที่กินพืชบางชนิด เช่น ปลาเกล็ดเงิน จะกินแพลงค์ตอนพืชโดยตรง ต่อมาผู้กินลำดับที่ 3 เช่น ปลาช่อน จะกินปลาเล็กซึ่งลำดับการกินนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของปลาที่เลี้ยงไว้ว่าเป็นปลาประเภทไหน และกินอาหารอย่างไร

ของเสียที่เกิดจากปลา และการย่อยสลายเน่าเปื่อยของมวลชีวภาพจะตกลงสู่ก้นบ่อ และอาจถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (Decomposer) ทำให้มีการปลดปล่อยสารอาหาร เช่น CO_2 , NH_3 ซึ่งจะถูกนำกลับมาใช้โดยผู้ผลิตลำดับที่ 1 ต่อไป

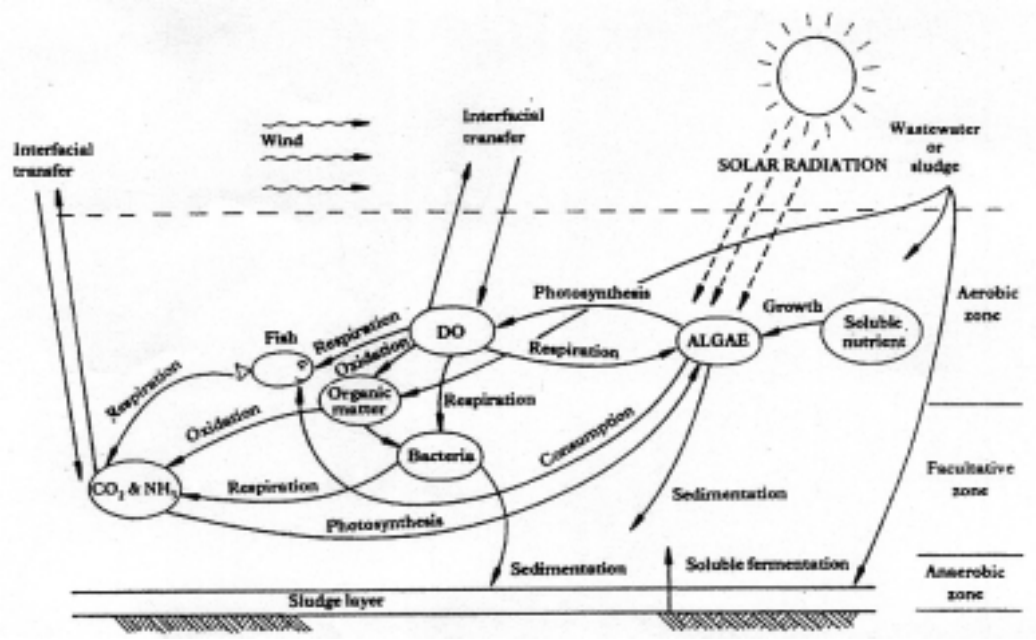
เมื่อทำการเปรียบเทียบปลาที่เลี้ยงในบ่อธรรมชาติ และในบ่อน้ำเสีย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเลย (Polprasert, 1996) อย่างไรก็ตามเพื่อให้ปลากินพืชเจริญเติบโตได้ดี และมีผลผลิตสูงสุด จึงไม่ควรเลี้ยงปลากินเนื้อร่วมกับปลาที่กินพืชในบ่อน้ำเสียนั้น เพราะปลากินเนื้อจะไปกินปลาอื่น นอกจากนี้พบว่าในบ่อน้ำเสียจะมีสารอาหารมากกว่าในบ่อธรรมชาติ โดยเฉพาะสารอาหารสำหรับพืชผู้ผลิตลำดับที่ 1 ทั้งนี้เนื่องมาจากของเสียที่เติม และจากการย่อยสลายของตัวมันเอง ลูกโซ่อาหารในบ่อเลี้ยงปลานั้นจะขึ้นอยู่กับผลผลิตของพืชในบ่อซึ่งขึ้นอยู่กับสารอาหาร และแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญ

2.5 ปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในบ่อเลี้ยงปลา

ในบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยของเสียอินทรีย์ความสัมพันธ์ของสาหร่าย แบคทีเรีย และปลาเป็นไปแบบพึ่งพาอาศัยกัน ออกซิเจน และอาหารสำหรับปลาจะสร้างโดยสาหร่าย ในขณะที่ของเสียจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ภาพที่ 2.3 แสดงถึงความสัมพันธ์ในบ่อปลา

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีในบ่อปลาจะคล้าย ๆ กับบ่อแฟคัลเททีฟซึ่งสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จำพวกแอโรบิค, แฟคัลเททีฟ และแอนแอโรบิค ทำให้เกิดเขตความลึกของน้ำต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

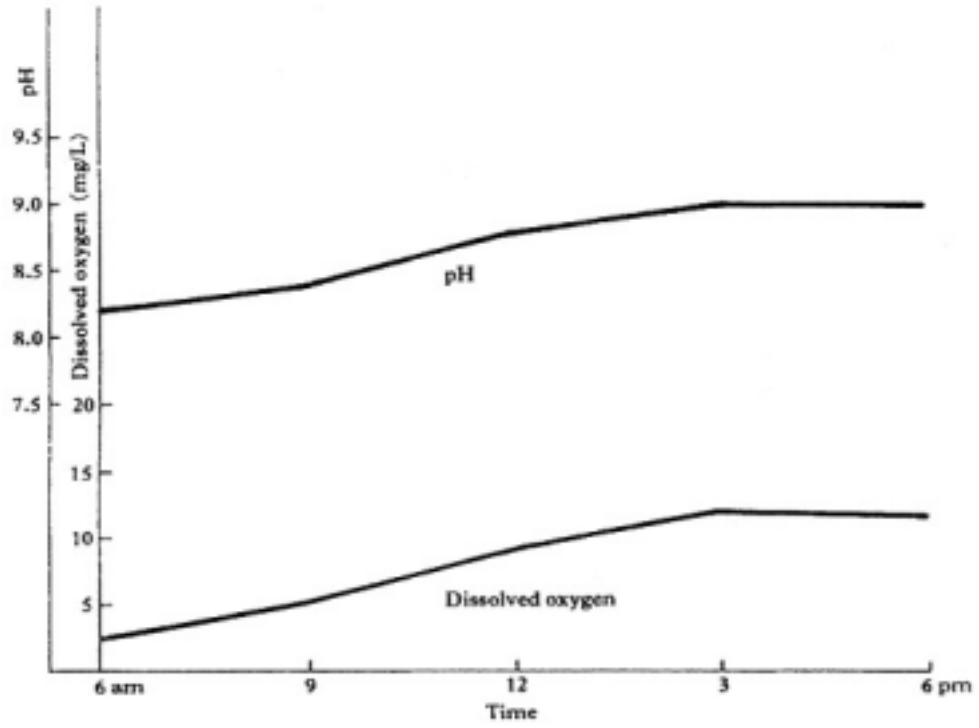
- เขตแอโรบิค จะมีแบคทีเรียแอโรบิค และสาหร่ายอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัย ออกซิเจนในบ่อส่วนหนึ่งมาจากบรรยากาศ และจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ซึ่งจะถูกใช้โดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนสารอาหาร (N และ P) และ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกปล่อยออกมาในปฏิกิริยาการย่อยสลาย และถูกใช้โดยสาหร่าย
- เขตแฟคัลเททีฟจะมีส่วนหนึ่งที่มีออกซิเจน และอีกส่วนหนึ่งไม่มีออกซิเจน การย่อยสลายเกิดโดยแบคทีเรียพวกแฟคัลเททีฟ
- เขตแอนแอโรบิคที่ก้นบ่อ บริเวณนี้จะมีการสะสมของแข็ง และถูกย่อยสลาย โดยแบคทีเรียแอนแอโรบิค โดยปกติปลามักจะอยู่ในเขตแอโรบิค และแฟคัลเททีฟ ซึ่งมีออกซิเจน และอาหาร (เช่น สาหร่าย) อย่างเพียงพอ



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของสาหร่าย แบคทีเรีย และปลาในบ่อปลาที่มีการเติมของเสียอินทรีย์ (Bhattarai, 1985)

เมื่อของเสียถูกทิ้งลงสู่บ่อ ส่วนที่เป็นสารละลาย และคอลลอยด์ ที่รวมกันจนเกิดเป็นสารแขวนลอยจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียพวกแอโรบิค และแฟคัลเททีฟ ของเสียส่วนที่ตกตะกอนจะตกลงสู่ก้นบ่อรวมกับมวลชีวภาพที่เน่าเปื่อย รวมกันเกิดเป็นชั้นตะกอน ซึ่งจะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียแอนแอโรบิค จะได้สารประกอบในรูปของสารละลาย เช่น กรดอะมิโน, กรดไขมันระเหย และแก๊ส เช่น มีเธน (CH_4), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ในเวลากลางคืน เมื่อการสังเคราะห์แสงสิ้นสุดลง และสาหร่ายหยุดใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สร้างจากการย่อยสลายของแบคทีเรีย จะก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิค (H_2CO_3) จึงทำให้ค่า pH ลดลง และจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย และการหยุดสังเคราะห์แสงในตอนกลางคืนของพืชน้ำก็จะทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลงด้วยเช่นกัน ในขณะที่เวลาเช้าเริ่มมีแสงอาทิตย์ สาหร่ายก็จะเริ่มใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกในการสังเคราะห์แสง และสร้างแก๊สออกซิเจน (O_2) พร้อมกับการสังเคราะห์เซลล์ เป็นผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น และค่า DO ก็สูงขึ้นจนถึงระดับอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation level) จากปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ DO ในแต่ละวัน (Diurnal change) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ DO ในบ่อปลา (Polprasert et al, 1982)

เนื่องจากปลาค่อนข้างที่จะไวต่อสภาวะที่ DO ต่ำ ๆ ดังนั้นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่จะปล่อยลงไปในบ่อปลาควรที่จะต้องควบคุมอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้ค่า DO ในตอนเช้าอยู่ต่ำจนเกินไป ไม่เช่นนั้นอาจต้องมีการเติมอากาศ เพื่อไม่ให้ปลาขาดออกซิเจน และตายได้

2.6 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายในบ่อปลา

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายในบ่อปลามีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้ปลาเจริญเติบโตได้ดี จึงต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ดังนี้

1. แสงสว่าง : แสงควรมีความเข้มที่พอเหมาะ และนานพอในช่วงกลางวัน เพราะว่าแสงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ซึ่งจะเป็นการสร้างแหล่งอาหารที่สำคัญให้แก่ปลา อันได้แก่ เซลล์สาหร่าย และแก๊สออกซิเจนสำหรับให้ปลาใช้หายใจ โดยทั่วไปในเขตร้อนจะขุดบ่อให้ลึกประมาณ 1 เมตร เพื่อให้แสงส่องถึงตลอดความลึก

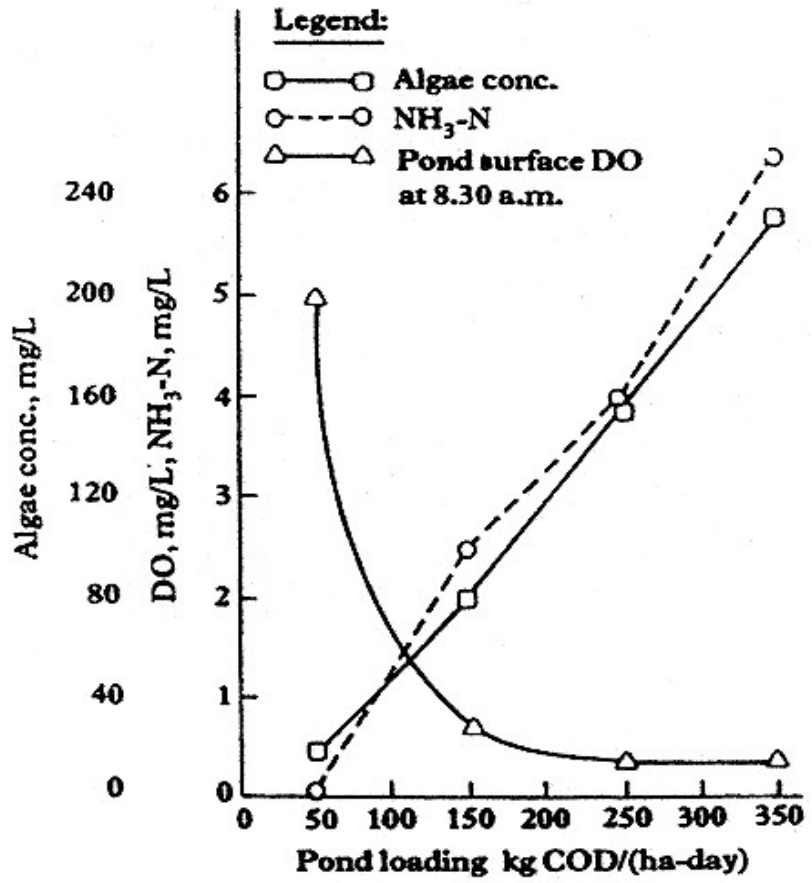
2. อุณหภูมิ : อัตราการเผาผลาญอาหารของปลา จะสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำ Huet and Timmermans (1971) รายงานว่า อุณหภูมิมีผลต่อการดำรงชีวิตของปลา เช่น การหายใจ การเจริญเติบโต และการสืบพันธ์ โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปลดค่า DO ในน้ำ เนื่องจากไปเพิ่มอัตราในการเผาผลาญอาหารของปลา ซึ่งต้องการใช้ออกซิเจนมากขึ้น ความทนต่ออุณหภูมิของปลาจะต่างกัน อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ปลาเกิดความเครียด เช่น ในสภาพที่เย็นจะทำให้ปลาเกิดโรคได้ง่าย อุณหภูมิยังมีผลต่อการเผาผลาญอาหารเช่นเดียวกับการกินอาหาร Hickling (1971) พบว่าปลาคาร์พหยุดกินอาหารที่อุณหภูมิ 10 ^{o}C และซึมที่ 5 ^{o}C ส่วนปลาเทราท์จะหยุดกินอาหารที่ 8 ^{o}C

3. ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) : DO เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของปลา เพราะว่าปฏิกิริยาการเผาผลาญอาหารทั้งหมดของปลา ขึ้นอยู่กับการใช้ออกซิเจนในขณะหายใจ โดยค่า DO ในบ่อที่มีการเติมของเสียจะเกิดการแปรผันในแต่ละวัน ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรผันของ DO นั้น ได้แก่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปริมาณสาหร่าย ชนิดของปลา ความหนาแน่นของปลาในบ่อ การสะสมของตะกอน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของคลอไรด์

ภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ในบ่อปลามีผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย และการใช้แก๊สออกซิเจน ดังนั้นในการออกแบบบ่อปลาจะต้องเลือกปริมาณความหนาแน่นของปลา และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้พอเหมาะ เพื่อมิให้ DO ต่ำเกินความทนทานของปลาซึ่งเกิดขึ้นในตอนเช้า

พบว่าปลามีอัตราการใช้แก๊สออกซิเจนที่แตกต่างกันตามช่วงอายุของปลา เช่น ลูกปลาจะต้องการแก๊สออกซิเจนมากกว่าปลาที่มีอายุมาก และในบรรดาปลาที่มีชนิดต่าง ๆ กัน พบว่าปลานิลจะทนทานต่อสภาวะที่ DO ต่ำได้ดีที่สุด ส่วนในบรรดาปลาคาร์พนั้น ปลาตะเพียน (Common carp) จะทนทานกว่าปลาเกล็ดเงิน บ่อปลาที่มีการเติมของเสียจะมีค่า DO ที่เปลี่ยนแปลงมาก ปลาอาจทนทานต่อ DO ที่ต่ำมาก ๆ ได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น ดังนั้นบ่อปลาควรออกแบบให้มีระดับ DO ต่ำสุดประมาณ 1-2 mg/L ในตอนเช้ามืด (Polprasert, 1996)

Polprasert et al (1984) ได้ทำการทดลองที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเติมของเสียจากตะกอนบ่อเกรอะ (Septage sludge) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 50, 150, 250, และ 350 kg COD/(ha-day) โดยทำการทดลองในบ่อคอนกรีตขนาด $2 \times 2 \times 0.9$ เมตร แล้วทำการเติมน้ำตะกอนลงไปวันละหนึ่งครั้ง ภาพที่ 2.5 เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองในช่วงที่สภาวะเสถียร (ค่า COD คงที่) ความเข้มข้นของสาหร่าย และแอมโมเนีย จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ในขณะที่ DO ในตอนเช้าลดลงเมื่อมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูง จากการทดลองพบว่าในสภาวะธรรมชาติ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 50-150 kg COD/(ha-day) จะให้ค่า DO ในตอนเช้าในระดับที่ปลานิลสามารถเจริญเติบโตได้



ภาพที่ 2.5 ผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของตะกอนบ่อเกรอะภายในบ่อที่ไม่ได้มีการเลี้ยงปลา (Polprasert et al, 1984)

Sharma et al (1987) พบว่าในบ่อที่ไม่มีปริมาณอัตราการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่า COD จะเพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งจะทำให้ค่า DO ในตอนเช้าลดลง ซึ่งการที่ค่า COD เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในบ่อเลี้ยงปลา โดยสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จำพวกแอโรบิค, แฟคัลเททีฟ และแอนแอโรบิค ในแต่ละเขตตามระดับความลึกของน้ำ โดยเริ่มจากการย่อยสลายในสภาพแอนแอโรบิคของตะกอนที่ก้นบ่อ จากนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายต่อไปโดยแบคทีเรียแฟคัลเททีฟ ส่วนปฏิกิริยาแบบพึ่งพาอาศัยกันของสาหร่ายกับแบคทีเรียในเขตความลึกแอโรบิค นั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่า DO ลดลง

บ่อที่เลี้ยงปลาด้วยน้ำเสีย หรือบ่อสาหร่าย การแปรผันในแต่ละวันของค่า DO จะคล้าย ๆ กับบ่อที่มีการเติมด้วยของเสียจากตะกอนบ่อเกรอะ แต่จะมีการสะสมของตะกอนน้อยกว่า และค่า COD จะแปรผันน้อยกว่าบ่อที่เติมด้วยของเสียจากตะกอนบ่อเกรอะ

4. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย : แอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัว (NH_3) จะเป็นพิษต่อปลา แต่แอมโมเนียอิออน (NH_4^+) นั้นจะไม่มีพิษ จากการทดลองระยะสั้น ๆ ในหลาย ๆ การทดลอง พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหมาะสมสำหรับปลาควรอยู่ในช่วง 0.2-2.0 mg/L (Alabaster and Lloyd, 1980)

แอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัว (NH_3) จะเป็นพิษมากเมื่อระดับ DO ต่ำ อย่างไรก็ตาม พิษจะไม่เกิดขึ้นถ้ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในปริมาณที่มาก

ความสัมพันธ์ระหว่าง NH_3, NH_4^+ และ pH มีดังนี้

$$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+ \quad ; pKa = 9.3 \text{ @ } 25\ ^oC \qquad (2.1)$$

จากสมการ 2.1 จะเห็นว่า NH_3 จะเพิ่มขึ้นที่ pH สูงขึ้น หรือในสภาพที่ความเป็นด่างสูงความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมด ($NH_3 + NH_4^+$ หรือ NH_3–N) สามารถเกิดขึ้นหลังจากที่แพลงค์ตอนพืชตาย แต่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมากจากสภาพนี้จะไปช่วยลด pH ลง และเป็นสัดส่วนกับแอมโมเนียทั้งหมดที่มีอยู่ในรูปของ NH_3 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ NH_3 นี้ทำให้เกิดการระบาดของโรค Blue-sac ในลูกปลา (Wolf, 1957)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดค่าความปลอดภัยให้มี NH_3 ในน้ำได้ไม่เกิน 0.02 mg/L มีรายงานว่าพิษของแอมโมเนียนั้นจะไม่เกิดปัญหาในน้ำที่มีค่า pH น้อยกว่า 8 และ NH_3–N น้อยกว่า 1 mg/L (Sawyer et al, 1994)

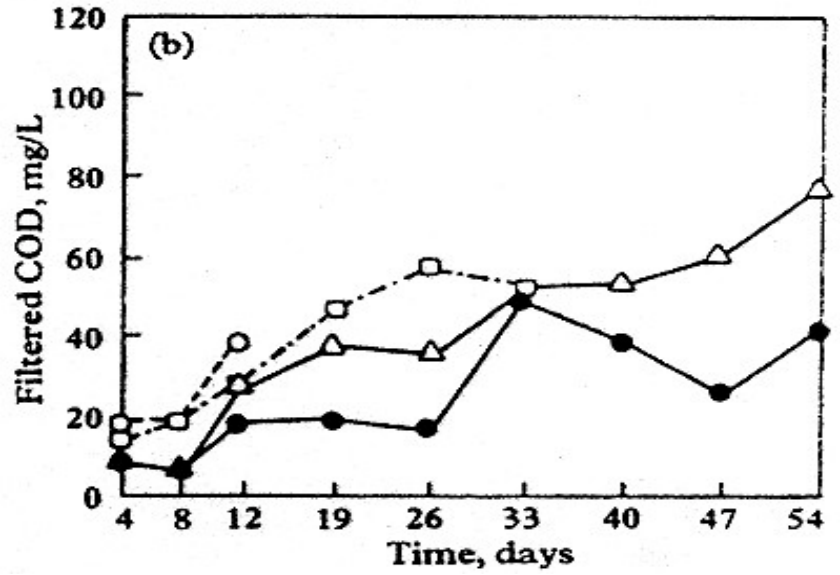
5. pH : น้ำที่เหมาะแก่การเลี้ยงปลาคือน้ำที่มีสภาพเป็นกลาง หรือเป็นด่างเล็กน้อย โดยมีค่า pH อยู่ที่ระหว่าง 7 ถึง 8 ส่วนการขยายพันธุ์จะลดลงที่ pH ต่ำกว่า 6.5 และอัตราการเจริญเติบโตจะต่ำลงที่ pH ระหว่าง 4 ถึง 6.5 (Huet and Timmerman, 1971)

6. CO_2 : ในสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ จะไปลดปริมาณแก๊สออกซิเจนในเลือดของปลา โดยปลาสามารถรู้สึกไวต่อความแตกต่างของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพียงเล็กน้อย และจะหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 10 mg/L หรือมากกว่านั้นปลาอาจพอทนได้ถ้ามี DO ที่สูงพอ และน้ำที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยกว่า 5 mg/L จะเหมาะสมต่อการดำรงชีพของปลา ผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นเมื่อค่า DO ในน้ำลดต่ำลง (Boyd, 1979)

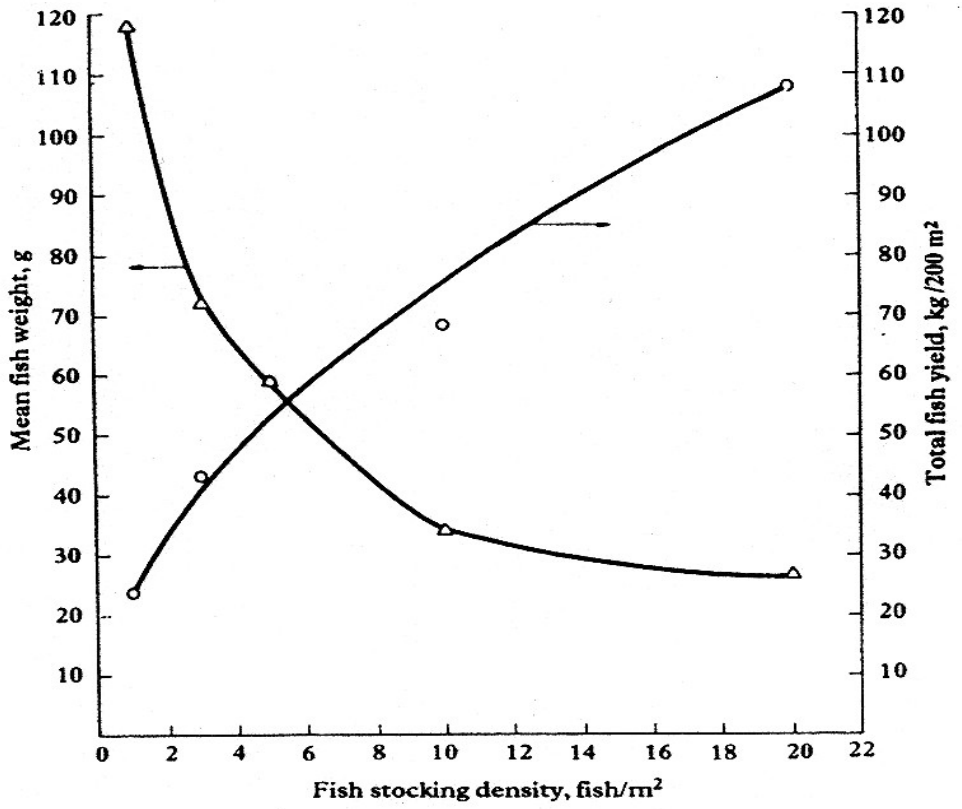
7. ความหนาแน่นของปลา (Stock density, SD) : ฝูงปลาที่หนาแน่นมากเกินไป จะเป็นเหตุทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลง เนื่องมาจากความเครียด การแข่งขันกันเพื่อหาอาหาร ปริมาณออกซิเจน และที่อยู่อาศัย ทำให้การกินอาหารได้ไม่ดีเท่าที่ควร และเป็นที่ทราบกันว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมจะมีอยู่ที่จุด ๆ หนึ่งซึ่งถ้าเกินจุดนี้ไปแล้วจะทำให้ปลานั้นเจริญเติบโตช้า

ภาพที่ 2.6 จะแสดงผลการทดลองระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่เลี้ยงกับความหนาแน่นของปลา (SD) ที่ระดับต่าง ๆ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 150 kg COD/(ha-day) จะเห็นได้ชัดว่าความหนาแน่นของปลามีผลต่อน้ำหนักของปลา หลังจากทำการทดลอง 6 เดือน พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลาเท่ากับ 118 g ในบ่อที่ SD 1 ตัว/ม^2 ในขณะที่พบน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 27 g ในบ่อที่ SD 20 ตัว/ม^2 (Edwards et al, 1984)

เมื่อนำผลที่ได้ในภาพที่ 2.6 มาทำเป็นกราฟในภาพที่ 2.7 ซึ่งแสดงผลของความหนาแน่นของปลา (SD) ต่อน้ำหนักเฉลี่ยของปลา และน้ำหนักปลาที่ได้ทั้งหมด จะเห็นว่าความหนาแน่นของปลาที่ต่ำกว่าจะให้น้ำหนักปลาที่สูง แต่จะให้ปริมาณน้ำหนักปลารวมที่ต่ำ และความหนาแน่นของปลาที่สูงก็จะให้ผลตรงกันข้าม จึงสรุปได้ว่าปลาจะใช้เป็นอาหารของคน ควรเลี้ยงด้วยความหนาแน่นของปลาที่ต่ำเพื่อให้มีขนาดใหญ่ แต่ปลาที่จะใช้เลี้ยงเพื่อเป็นอาหารสัตว์สามารถเลี้ยงได้ที่ความหนาแน่นของปลาที่สูง ๆ เพื่อให้ผลผลิตรวมของปลาสูง คือจะได้ปลาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสามารถนำมาให้แก่สัตว์ได้โดยตรงหรือนำไปผ่านกระบวนการผลิตอย่างอื่นต่อไปก็ได้



ภาพที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลาที่ภาระบรรทุก 150 kg COD/(ha-day) กับความหนาแน่นของปลา (SD) ที่ระดับต่าง ๆ (Edwards et al, 1984)



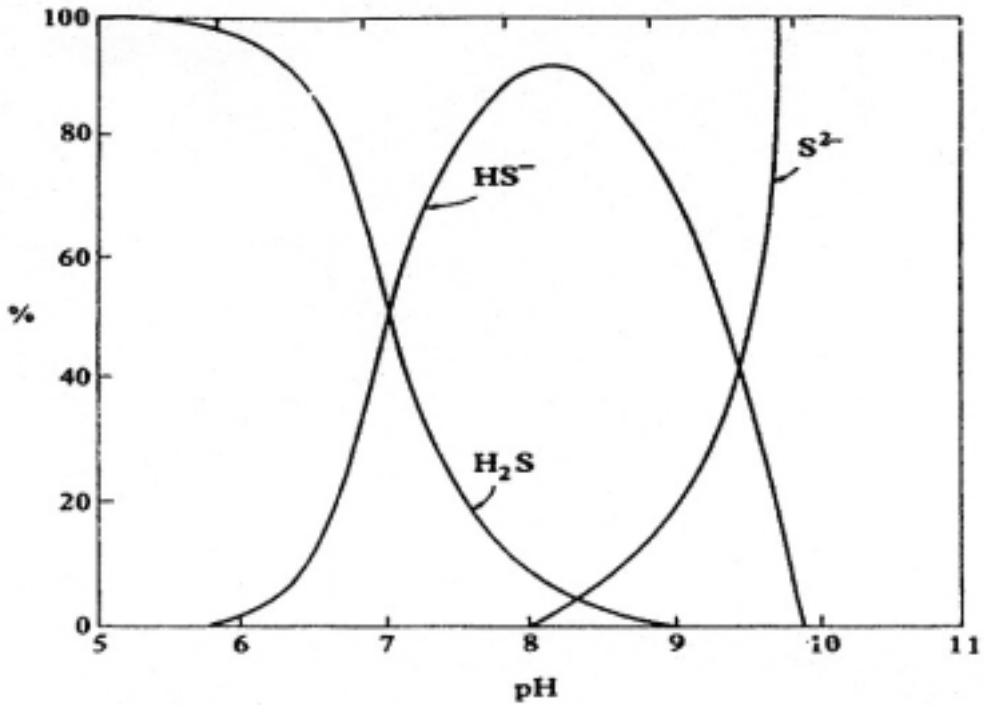
ภาพที่ 2.7 ผลของความหนาแน่นของปลา (SD) ต่อน้ำหนักเฉลี่ยของปลา และน้ำหนักรวมทั้งหมดของปลาหลังจากเลี้ยงได้ 6 เดือน (Polprasert, 1996)

8. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) : ไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งได้จากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิคในชั้นตะกอนที่ก้นบ่อ จะเป็นพิษต่อปลามากในความเข้มข้นที่อาจเกิดขึ้นได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติ การเกิดซัลไฟด์มีการพบในสภาพที่ขาดออกซิเจน และในบ่อผึ่งแฟคัลเททีฟ เนื่องจากการลดซัลเฟตภายใต้สภาวะแอนแอโรบิค ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + \text{organic matter} \xrightarrow{\text{anaerobic bacteria}} S^{2-} + H_2O + CO_2 \qquad (2.2)$$

$$S^{2-} + 2H^{+} \rightarrow H_2S \qquad (2.3)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง H_2S, HS^- และ S^{2-} ที่ระดับ pH ต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 2.8 พบว่าที่ pH=8 และที่สูงกว่านี้ จะอยู่ในรูป HS^- และ S^{2-} อิออน และมีเพียงเล็กน้อยที่พบในรูปของ H_2S ที่ไม่แตกตัว ซึ่งจะมีกลิ่นเหม็น



ภาพที่ 2.8 ผลของ pH ต่อการเกิด H_2S (Sawyer et al, 1994)

การเกิด H_2S ที่ไม่แตกตัวจะเห็นชัดที่ pH < 8 ซึ่งมีผลต่อการเลี้ยงปลา และทำให้น้ำเกิดกลิ่นเหม็น แม้จะพบว่าการเพิ่ม pH > 8 จะช่วยลดการสร้าง H_2S แต่ที่ pH ระดับนี้จะทำให้เกิดสารประกอบ แอมโมเนียที่คงรูปซึ่งมีพิษต่อปลาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

อย่างไรก็ตามควรควบคุมภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้ดีเพื่อป้องกันการเกิดสภาพขาดออกซิเจน และการลดของ DO เช่น พวกตะกอนที่ก้นบ่อควรจะมีการกำจัดเป็นระยะ ๆ เพื่อให้เกิดสภาพการขาดออกซิเจนที่ก้นบ่อน้อยที่สุด

2.7 การศึกษาแบบจำลองสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยของเสียอินทรีย์ที่ผ่านมา

2.7.1 แบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า (DO_d)

DO จะลดลงมากในช่วงเวลากลางคืนหรือตอนเช้ามืด ดังนั้นแบบจำลองที่สามารถใช้ทำนายปริมาณออกซิเจนในช่วงวิกฤตจึงมีประโยชน์มากต่อการดำเนินการบ่อปลา Boyd (1979) ได้เสนอสมการสมดุลของมวลเพื่อประมาณค่า DO ที่เหลือในตอนเช้า ดังนี้

$$DO_d = DO_{dusk}\ 6\ DO_{df} - DO_f - DO_m - DO_p \quad (2.4)$$

โดยที่ DO_d = DO ในตอนเช้า, mg/L

DO_{dusk} = DO ในตอนกลางคืน, mg/L

DO_{df} = DO ที่ซึมสู่น้ำหรือการผ่านสู่บรรยากาศ, mg/L

DO_f = DO ที่ถูกใช้โดยปลา, mg/L

DO_m = DO ที่ถูกใช้ในชั้นตะกอน, mg/L

DO_p = DO ที่ถูกใช้โดยแพลงค์ตอนพืช, mg/L

การหา DO_d จากสมการ 2.4 จะต้องหาค่าทางขวามือก่อน ไม่ว่าจะได้มาจากการทดลองหรือจากที่มีคนทำมาก่อน Boyd (1979) ได้ศึกษากับปลาดุก (Catfish) และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการศึกษา ซึ่งได้การแปรผันของ DO_d เป็นที่น่าพอใจ

นอกจากนี้ Bhattarai (1985) ได้เสนอแบบจำลองของ DO_d สำหรับบ่อที่ใช้ของเสียในการเลี้ยงปลาดังนี้

$$DO_d = 10.745 \exp [-(0.017t + 0.002L_c)] \quad (2.5)$$

โดยที่ exp = exponential

t = ช่วงเวลาที่มีการเติมของเสียลงบ่อปลา, วัน

L_c = ความเข้มข้นสะสมของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในบ่อปลาช่วงเวลา t, kg COD (ต่อขนาดบ่อ 200 ม^2)

สมการ 2.5 ได้มาจากผลการทดลองของ Edwards et al (1984) ซึ่งใช้น้ำเสียจากตะกอนบ่อเกรอะเลี้ยงปลา โดยมีขนาดบ่อ 20x10x1 m. และเติมของเสียที่มีภาระบรรทุกตั้งแต่ 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 kg COD/(ha-day) วันละครั้ง และเลี้ยงปลานิลในบ่อ โดยมีความหนาแน่นของปลาเท่ากับ 1, 3, 5, 10 และ 20 ตัว/ม^2 บ่อที่เลี้ยงปลาเป็นบ่อน้ำขังไม่มีการไหลล้นของน้ำจากบ่อ และทำการเติมน้ำคลองเป็นระยะ ๆ เพื่อชดเชยน้ำที่ระเหย และซึม พบว่าสมการ 2.5 ใช้ได้กับสภาพดังกล่าวนี้เท่านั้น บ่อปลาแบบอื่น ๆ จะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างไป แต่ผลของ t และ L_c ต่อ DO_d จะคล้ายกัน

DO_d จะลดลงตามระยะเวลา ภายในบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยของเสียอินทรีย์ เช่น น้ำเสียจากตะกอนบ่อเกรอะ หรือมูลสัตว์ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดจากสภาวะทางชลศาสตร์ภายในบ่อ และความต้องการออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสะสมของสารประกอบที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในน้ำ และในชั้นตะกอน

หลังจากดำเนินการไประยะหนึ่ง DO_d จะเริ่มคงที่ และมีการลดลงของ DO_d เพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงถึงภาวะเสถียรของการแปรผันของ DO_d ในบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยของเสียอินทรีย์

2.7.2 แบบจำลองการเติบโตของปลานิล

Bhattarai (1985) ได้สร้างแบบจำลองของปลานิลที่เลี้ยงด้วยน้ำเสียจากตะกอนบ่อเกรอะ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองของ Edwards et al (1984) โดยคำนึงถึงผลของความหนาแน่นของปลา ภาระบรรทุกไนโตรเจนซึ่งเป็นแหล่งอาหารของปลา และเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงปลา ซึ่งผลของน้ำหนักปลาเริ่มต้นจะไม่นำมาคิด เพราะปลาในตอนเริ่มต้นมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน คือประมาณ 2-7 กรัม และสมมุติอุณหภูมิคงที่ที่ 30 ^{0}C

$$W_t = 12.032\ (t.N/SD)^{0.707} \qquad (2.6)$$

โดยที่ W_t = น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่เวลา t, กรัม

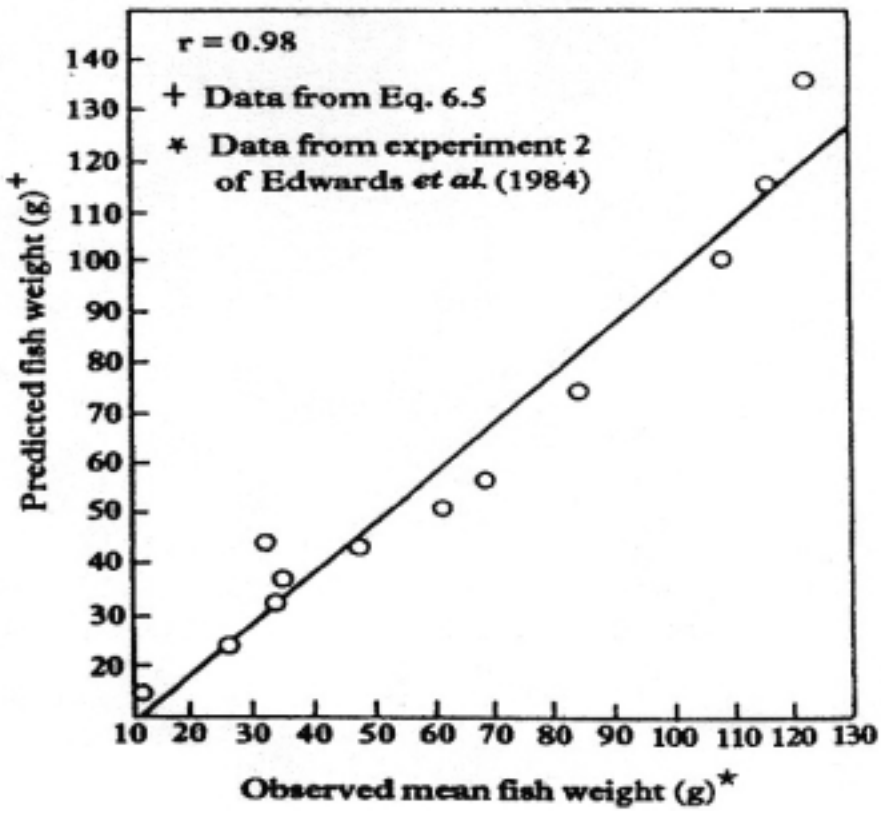
t = เวลาที่ใช้เลี้ยงปลา, เดือน

N = ภาระบรรทุกไนโตรเจน, kg-N/(ha-day)

SD = ความหนาแน่นของปลา, ตัว/ม^2

สมการที่ 2.6 จะใช้ได้เมื่อ N, t และ SD มีค่า > 0 และ (t.N/SD) สามารถแสดงในรูปของน้ำหนักไนโตรเจนต่อปลาหนึ่งตัว ในภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของปลาที่ได้จริง กับที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.6 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ที่ดีพอควร

การพัฒนาสมการที่ 2.5 และ 2.6 ได้มาจากผลการทดลองคนละชุด อย่างไรก็ตามถ้าจะให้แบบจำลองนี้สามารถใช้ได้ทั่ว ๆ ไป ควรมีการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ และจากบ่อปลาที่มีการดำเนินการที่แตกต่างกันตลอดจนการใช้ปลา และชนิดของของเสียที่แตกต่างออกไป



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักปลาที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (Bhattarai, 1985)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

การทดลองทั้งหมดกระทำ ณ บริเวณอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเป็นการทดลองเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ในระยะเวลา 3 เดือน ปลาที่ใช้คือปลานิล (Tilapia) เนื่องจากปลานิลกินสาหร่ายได้โดยตรงรวมทั้งพืชน้ำชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังโตเร็วแพร่พันธุ์ได้มาก ทนทานต่อสภาวะที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ ๆ ได้ และทนทานต่อโรคมากกว่าปลาชนิดอื่น ๆ โดยความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยง (Stock density, SD) อยู่ที่ 5 ตัว/ม^2 ส่วนมูลไก่ที่ใช้ได้ทำการสั่งซื้อจากฟาร์มของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แล้วทำการตรวจวัดหาค่า COD ของมูลไก่ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณมูลไก่ที่จะใช้ในแต่ละวันตามภาระบรรทุกที่กำหนด

การทดลองแบ่งออกเป็นชุดการทดลองตามภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ คือ 40, 80, 160, 320 kg COD/(ha-d) ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระบรรทุกแบบทวีคูณไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงภาระบรรทุกที่ปลาไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ โดยแต่ละชุดทำการเติมมูลไก่ตามภาระบรรทุกที่กำหนดลงไปในบ่อ ซึ่งเป็นบ่อคอนกรีตขนาด $2 \times 2 \times 1$ เมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ ลึก) นอกจากนี้ที่ภาระบรรทุก 80 และ 160 kg COD/(ha-d) ได้กระทำการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำที่เกิดขึ้นภายในบ่อ ระหว่างบ่อที่มีการเลี้ยงปลา และบ่อที่ไม่ได้มีการเลี้ยงปลา ทั้งนี้การเติมมูลไก่ลงในบ่อกระทำทุกวันในช่วงเวลา 10 นาฬิกา วันละครั้ง จนกระทั่งครบ 3 เดือน หากพบว่าที่ภาระบรรทุกใดปลาไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ถึง 3 เดือน แสดงว่าที่ภาระบรรทุกนั้นปลาไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ จึงหยุดทำการทดลองที่ภาระบรรทุกนั้น และทำการทดลองซ้ำอีกครั้งเพื่อยืนยันว่าที่ภาระบรรทุกนั้น ๆ ปลาไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้จริง นอกจากนั้นเนื่องด้วยการระเหยของน้ำ และการเก็บตัวอย่างน้ำ จึงจำเป็นต้องคอยรักษาระดับน้ำให้คงที่เสมอที่ระดับความลึก 0.90 เมตร

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละบ่อได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อละ 3 จุด เก็บแบบจ้วงตัก (Grab sampling)โดยเก็บบริเวณใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 เซนติเมตรในช่วงเวลา 9.30 นาฬิกา แล้วนำมา

ผสมกันเป็นหนึ่งตัวอย่างผสม (Constant-Volume Composite Sample) กระทำสัปดาห์ละครั้ง ค่าตัวแปรที่ทำการวัด ได้แก่ COD, BOD, nitrogen, phosphorus, solids, chlorophyll a, alkalinity, coliform bacteria, pH, อุณหภูมิ และน้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า DO ทำการวัดในช่วงเวลา 6.30-7.30 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงที่วิกฤต รายละเอียดการวิเคราะห์ตัวแปรแสดงในตารางที่ 3.1 ตามวิธีการใน “Standard Methods” (APHA et al, 1992)

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
Total COD	Dichromate Open Reflux
BOD	5-Days BOD test
DO	Winkler Method
Ammonia-N Total-N	Digestion and Colorimetric Analysis
Phosphorus	Digestion and Colorimetric Analysis
TS TSS	Gravimetric Analysis
Phytoplankton	Chlorophyll-a
Phenolphthalein Alk Total Alk	Titration
Coliform bacteria	Membrane Filter Technique
pH	pH meter
Temperature	Thermometer
Fish weight	Weighing

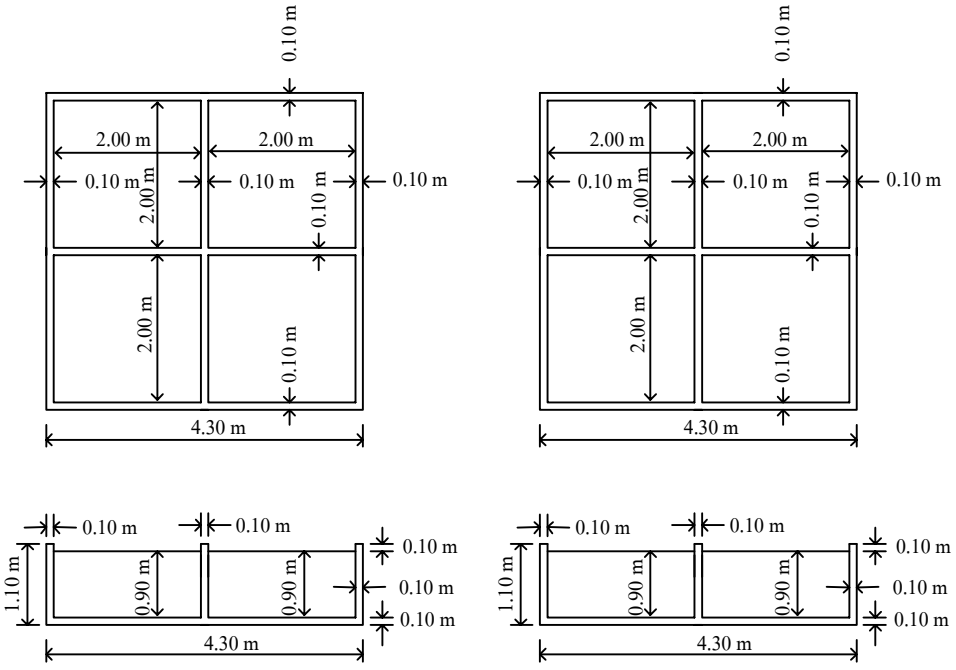
3.3 สถานที่ทำการวิจัย

สถานที่ทำการทดลอง การทดลองทั้งหมดกระทำที่บริเวณอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมภายในอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลา มีดังต่อไปนี้

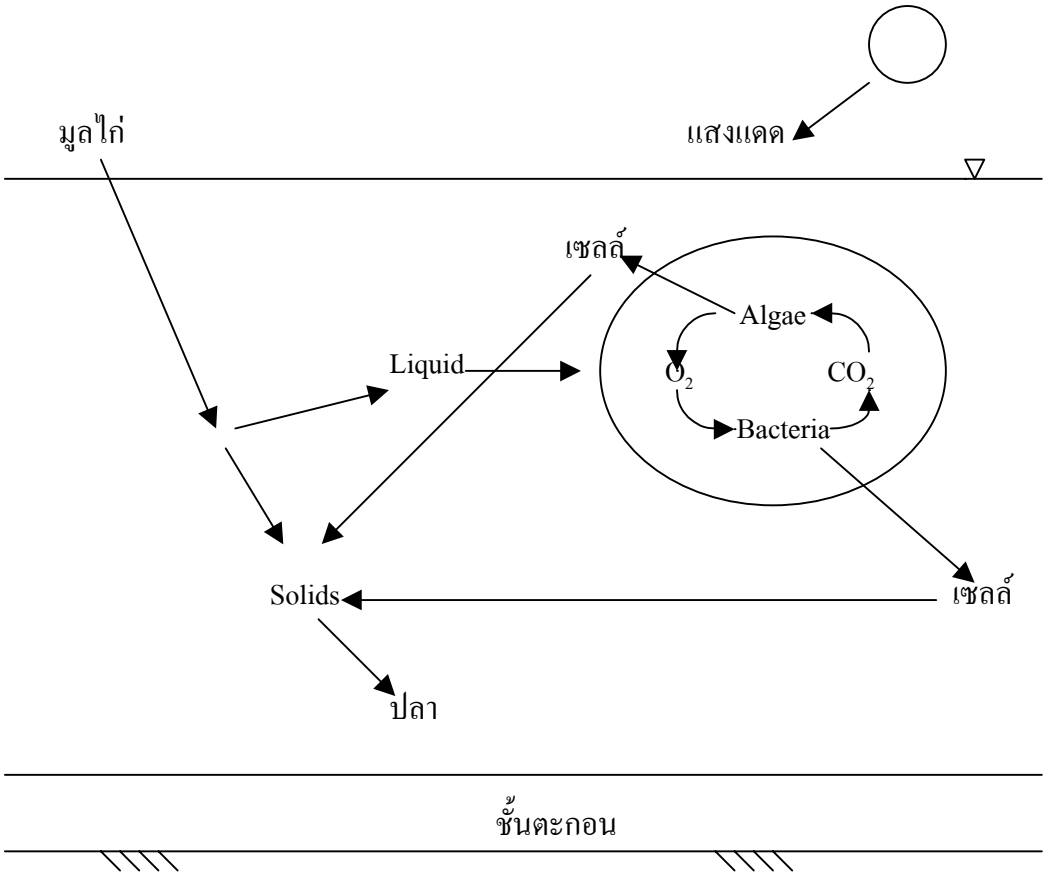
1. ถังพลาสติกขนาดความจุ 800 L จำนวน 1 ใบ
2. ถังพลาสติกขนาดความจุ 100 L จำนวน 3 ใบ
3. บ่อคอนกรีตขนาด 23231 เมตร (กว้าง3ยาว3ลึก) จำนวน 8 บ่อ ดูภาพที่ 3.1
4. สวิงจับปลา
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. DO meter
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. pH meter
9. สายยาง



ภาพที่ 3.1 บ่อคอนกรีตสำหรับการทดลอง

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณมูลไก่ การเจริญเติบโตของปลา และคุณภาพของน้ำที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลา โดยแสดงออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ในการทดลองสามารถนำมาอธิบายได้ดังภาพที่ 3.2 เริ่มจากมูลไก่เมื่อถูกทิ้งลงสู่บ่อ จะถูกแยกออกเป็น 2 สถานะ คือส่วนที่เป็นสารละลายจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียแอโรบิค โดยจะใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะถูกสาหร่ายนำไปใช้ต่อในกระบวนการสังเคราะห์แสง และสร้างแก๊สออกซิเจนพร้อมกับการสังเคราะห์เซลล์ออกมา กลายเป็นวัฏจักรแบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรีย และสาหร่าย มูลไก่อีกส่วนที่ไม่ละลายในน้ำจะถูกปลากินไปบางส่วน และที่เหลือจะกลายเป็นส่วนที่ตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อรวมกันเกิดเป็นชั้นตะกอน



ภาพที่ 3.2 ลักษณะและหลักการของแบบจำลองคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่ที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยได้นำมูลไก่มาจากฟาร์มไก่ไข่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่

ตัวแปร	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
COD (mg/g)	107.02 - 173.91	135.12 ± 23.97
TS (%)	48.59 - 52.53	51.51 ± 1.16
MS (%)	47.47 - 51.41	48.49 ± 1.16
VS (%)	62.80 - 68.75	65.06 ± 1.79
Ash (%)	31.25 - 37.20	34.94 ± 1.79
Nitrogen (%TS)	2.20 - 3.50	2.80 ± 0.44
Phosphorus (%TS)	1.72 - 2.02	1.87 ± 0.10

จากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ นำไปคำนวณหาปริมาณมูลไก่ต่อวันที่ใช้ในแต่ละภาระบรรทุก และคำนวณหาภาระบรรทุกของไนโตรเจนได้โดย

การคำนวณหาปริมาณมูลไก่ที่ใช้ต่อวัน (g/d) ในแต่ละภาระบรรทุกสามารถคำนวณจาก

$$\text{ปริมาณมูลไก่ที่ใช้} = \frac{\text{ค่าภาระบรรทุก} \times \text{พื้นที่ของบ่อ}}{\text{ค่า COD ของมูลไก่}}$$

เช่น ที่ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) และพื้นที่บ่อ 4×10^{-4} ha

$$\text{ปริมาณมูลไก่ที่ใช้} = \frac{40 \times 10^{6} \text{ mg/(ha-d)} \times 4 \times 10^{-4} \text{ ha}}{135.12 \text{ mg/g}}$$

$$= 118.41 \text{ g/d}$$

ส่วนการคำนวณหาภาระบรรทุกของไนโตรเจน kg-N/(ha-d) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ภาระบรรทุกของไนโตรเจน} = \frac{\text{ปริมาณมูลไก่ที่ใช้} \times \text{ปริมาณไนโตรเจนที่มีในมูลไก่}}{\text{พื้นที่ของบ่อ}}$$

เช่น ที่ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ใช้ปริมาณมูลไก่ที่ใช้ 118.41 g/d มีเนื้อมูลคิดเป็นร้อยละ 51.51 และมีไนโตรเจนในเนื้อมูลคิดเป็นร้อยละ 2.8

$$\text{ภาระบรรทุกของไนโตรเจน} = \frac{118.41\ (g/d) \times 0.5151 \times 0.028 \times 10^{-3}\ kg/g}{4 \times 10^{-4}\ ha}$$

$$= 4.27\ \text{kg-N/(ha-d)}$$

ที่ภาระบรรทุกอื่น ๆ ก็คำนวณเช่นเดียวกันโดยแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณมูลไก่ที่ใช้ต่อวันในแต่ละภาระบรรทุก และค่าภาระบรรทุกของไนโตรเจน

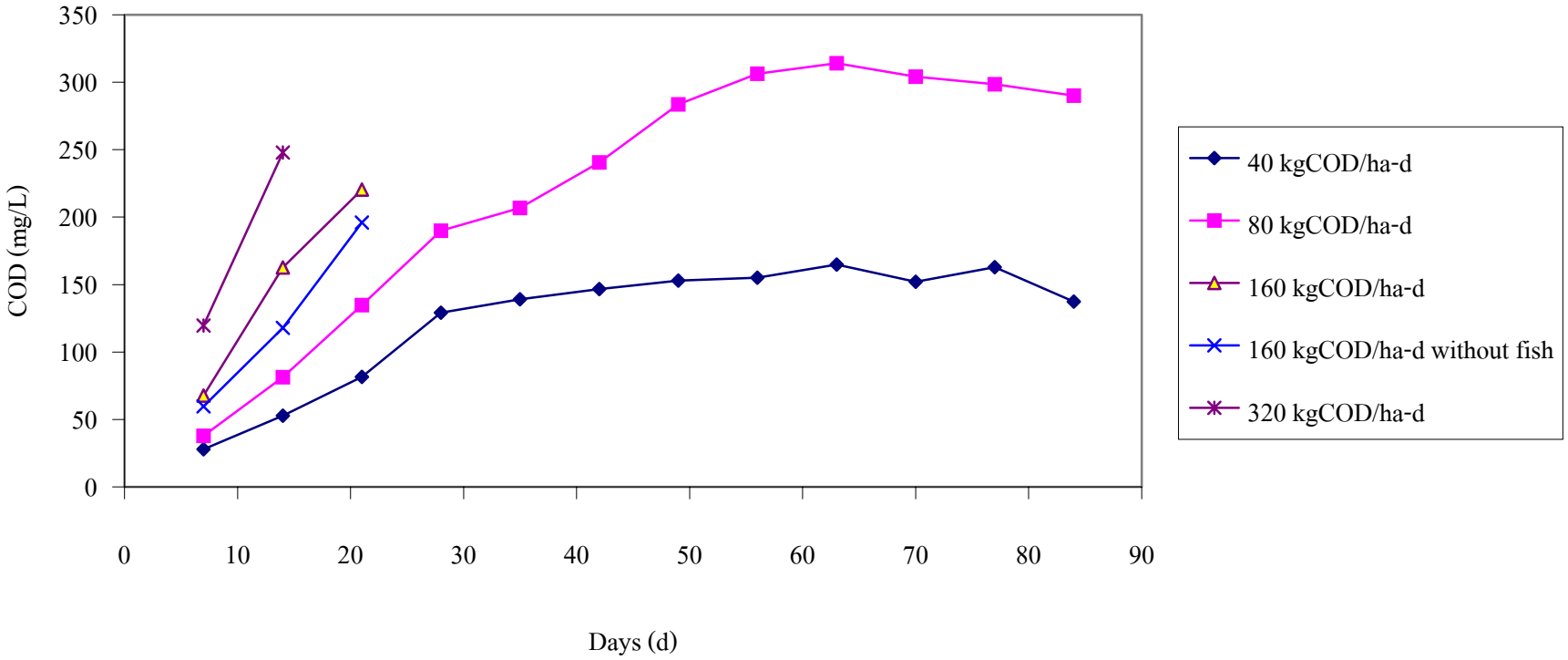
ภาระบรรทุก kg COD/(ha-d)	ปริมาณมูลไก่ที่ใช้ g/d	ภาระบรรทุกไนโตรเจน kg N/(ha-d)
40	118.41	4.27
80	236.83	8.54
160	473.65	17.08
320	947.31	31.16

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

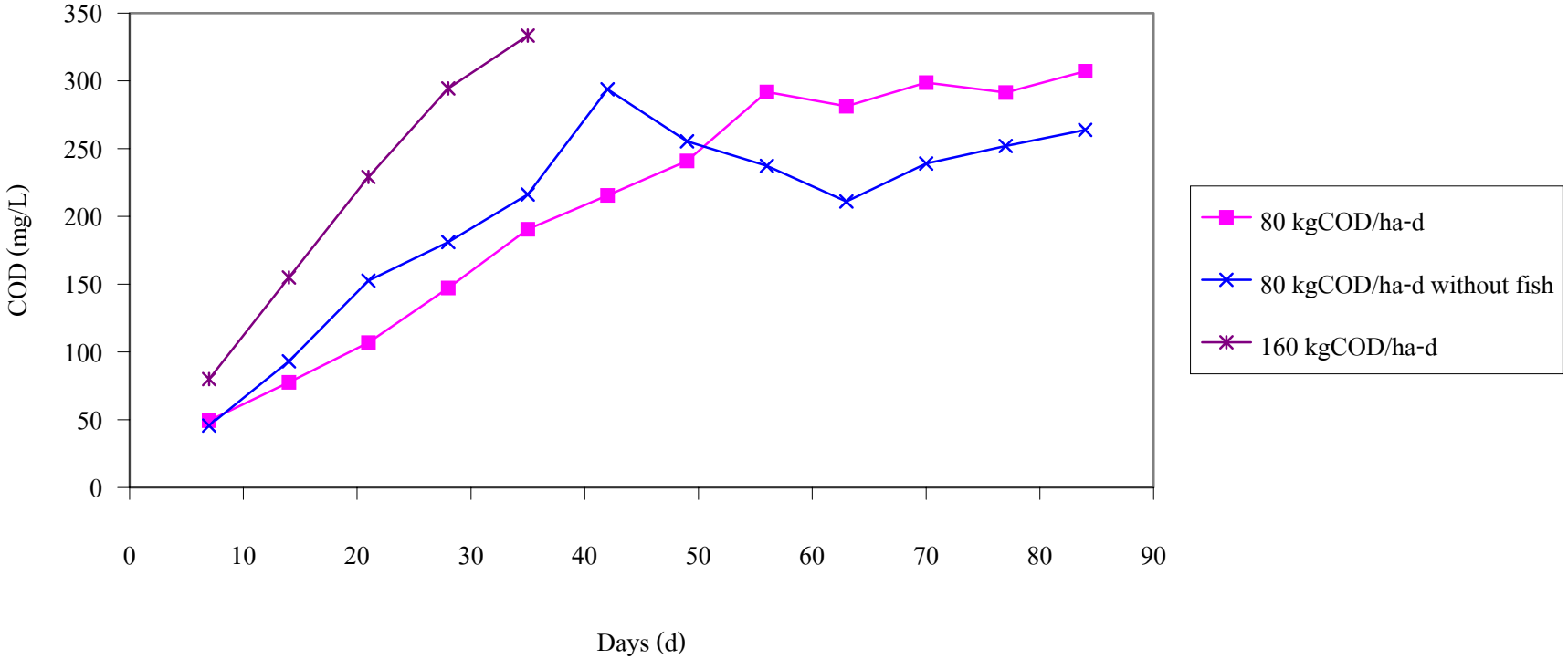
1.2.1 ค่า COD ในบ่อเลี้ยงปลา

ผลการทดลองพบว่าค่า COD ในแต่ละบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.1 และ 4.2 ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมาจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพแอนแอโรบิคที่เกิดขึ้นที่ก้นบ่อ (Sharma et al, 1987)

ในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าปลาตายหมดบ่อเมื่อการทดลองผ่านไป 23 และ 18 วัน ตามลำดับ จึงหยุดทำการวิเคราะห์น้ำ โดยค่า COD ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 220.41 และ 247.97 mg/L ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 เดือนปลายังสามารถดำรงชีพอยู่ได้ โดยมีอัตราการรอดชีวิตคิดเป็นร้อยละ 100 และ 75 ซึ่งพบว่าค่า COD ในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นและค่อย ๆ เข้าสู่สภาวะ



ภาพที่ 4.1 COD ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.2 COD ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

คงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 4 และ 6 สัปดาห์ ตามลำดับ จากการทดสอบค่า t-test (zero slope test) ซึ่งพบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยค่า COD ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 137.40 และ 290.08 mg/L ตามลำดับ

ในการทดลองซ้ำที่สองเพื่อตรวจสอบดูว่าปลาตาย เนื่องจากภาระบรรทุกของมูลไก่หรือไม่ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.2 พบว่าที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ปลาตายหมดบ่อเมื่อการทดลองผ่านไป 37 วัน โดยค่า COD ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 333.33 mg/L ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ปลาสามารถดำรงชีพอยู่ได้ โดยมีอัตราการรอดชีวิตคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า COD ในบ่อใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก และเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 7 สัปดาห์ โดยจากการทดสอบค่า t-test (zero slope test) ซึ่งค่า COD ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 307.09 mg/L

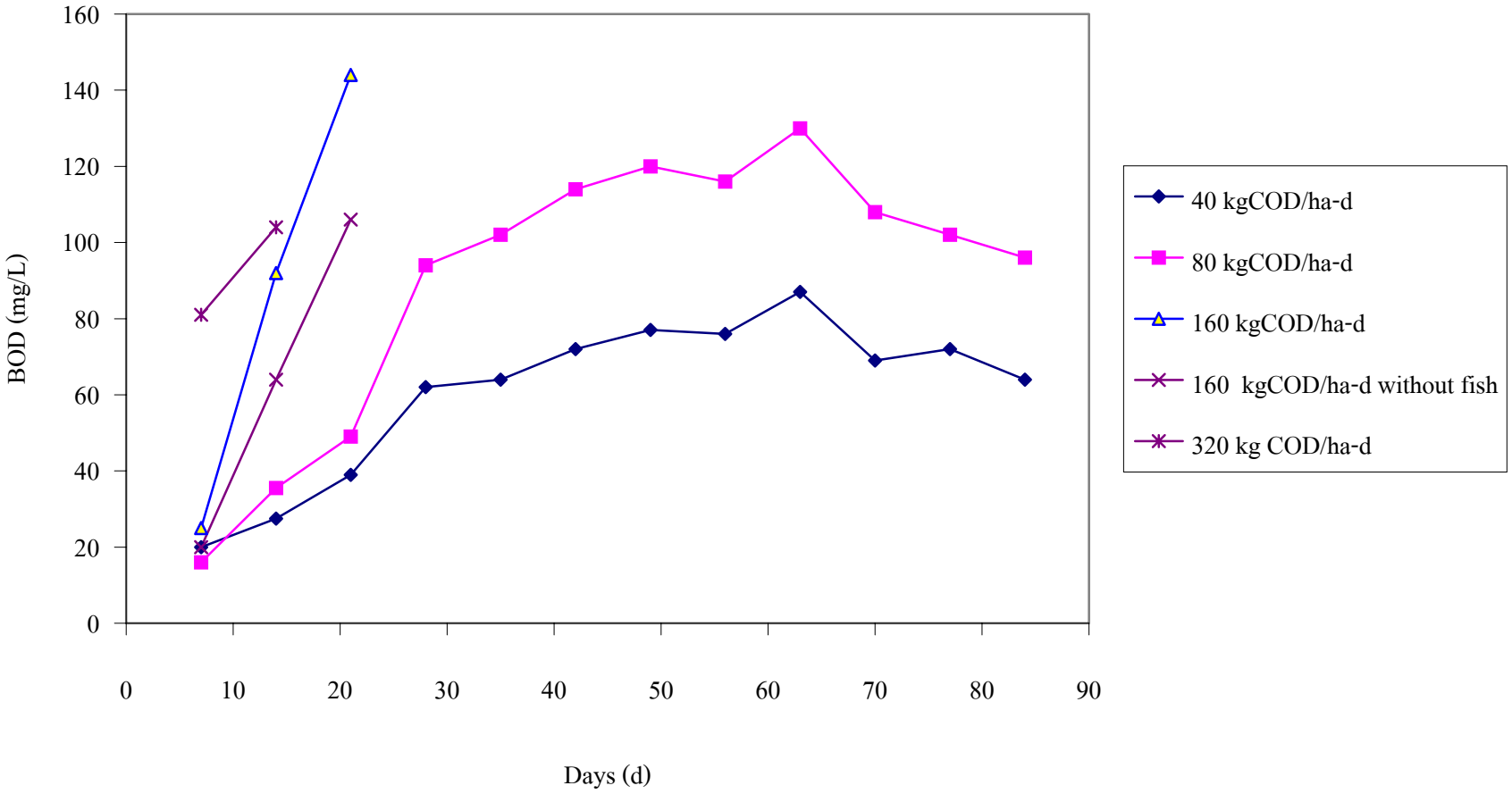
ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกัน พบว่าค่า COD ในช่วงแรกจะสูงกว่าในบ่อที่มีปลาแต่เมื่อพอเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วค่า COD จะเริ่มค่อย ๆ มีค่าน้อยกว่าในบ่อที่มีปลา ที่เป็นเช่นนี้เพราะในบ่อที่ไม่มีปลาจะมีทั้งสาหร่าย และแบคทีเรียคอยช่วยในการบำบัด

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการเติมมูลไก่ลงไป เป็นระยะเวลา 3 เดือน ปลาสามารถดำรงชีพอยู่ได้ที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d)

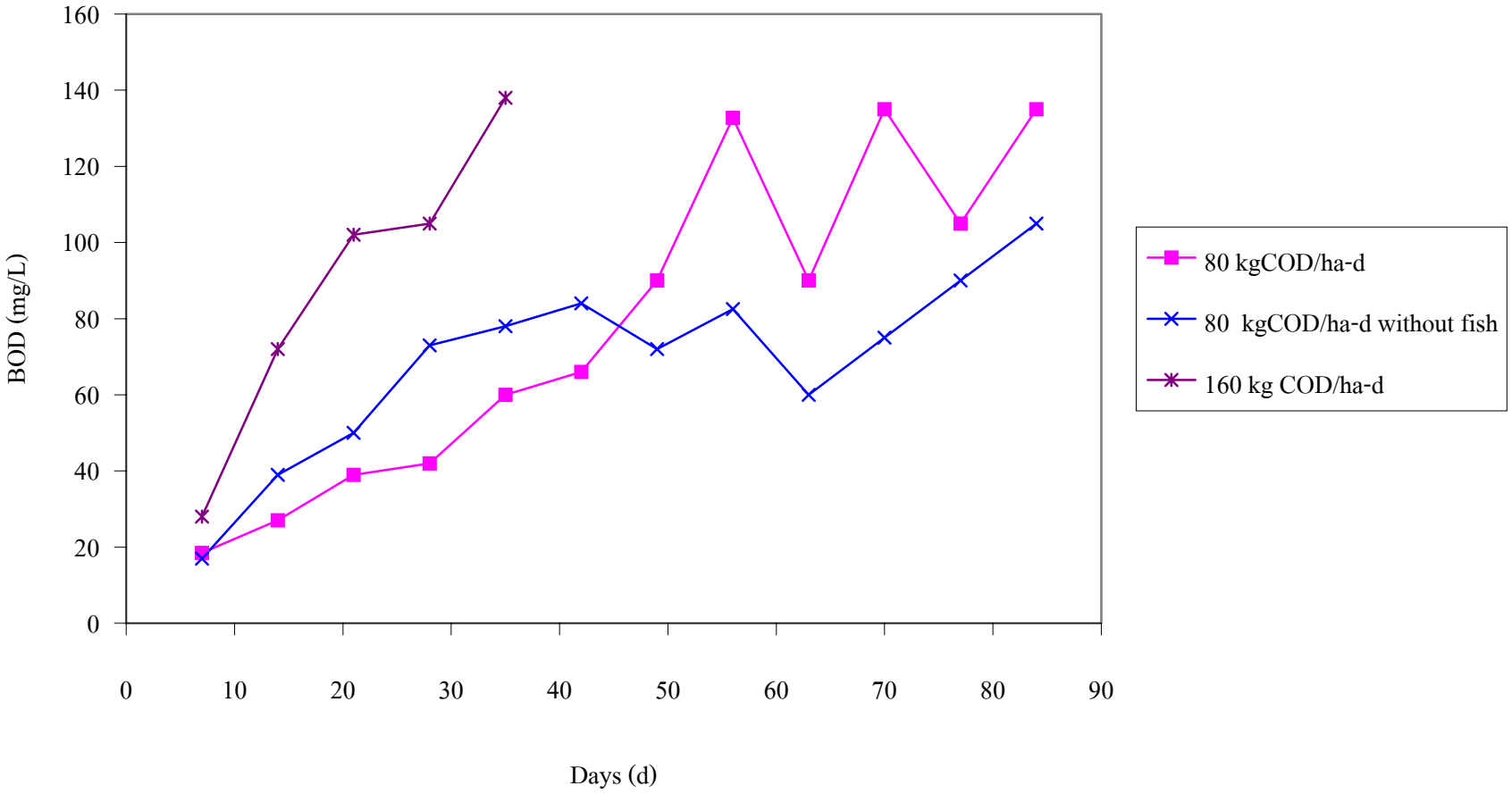
1.2.2 ค่า BOD ในบ่อเลี้ยงปลา

ผลการทดลองพบว่าค่า BOD ในแต่ละบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเช่นเดียวกันกับค่า COD ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.3 และ 4.4 เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุในน้ำ โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) ค่า BOD ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 144 และ 104 mg/L ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า BOD ในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นและค่อย ๆ เข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 3 สัปดาห์ จากการทดสอบค่า t-test (zero slope test) ซึ่งพบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยค่า BOD ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 64 และ 96 mg/L ตามลำดับ

ในการทดลองซ้ำที่สองที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ค่า BOD ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 138 mg/L ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า BOD ในบ่อใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก และเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 6 สัปดาห์ โดยจากการทดสอบค่า t-test (zero slope test) ซึ่งค่า BOD ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 135 mg/L



ภาพที่ 4.3 BOD ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.4 BOD ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกัน พบว่าค่า BOD ในช่วงแรกจะสูงกว่าในบ่อที่มีปลาแต่เมื่อพอเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วค่า BOD จะเริ่มค่อย ๆ มีค่าน้อยกว่าในบ่อที่มีปลา สาเหตุก็เช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในกรณีของค่า COD ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

1.2.3 ค่า DO ในบ่อเลี้ยงปลา

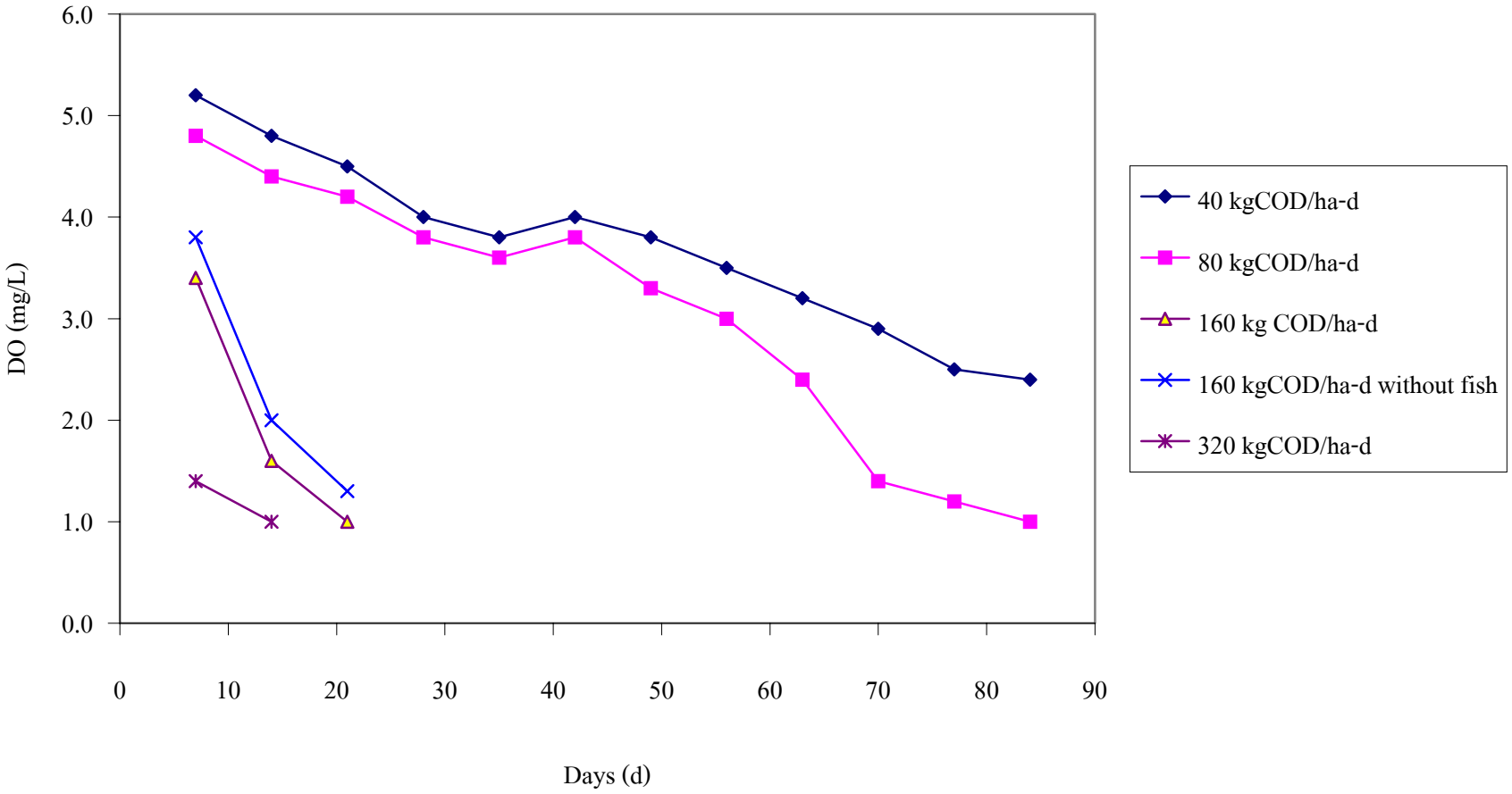
ผลการทดลองพบว่าค่า DO ในตอนเช้ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.5 และ 4.6 โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 40, 80, 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า DO ในตอนเช้าที่ต่ำที่สุดคือ 2.4, 1.0, 1.0 และ 1.0 mg/L ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเวลา 6.30 ถึง 7.30 น. ที่ได้ทำการวิเคราะห์หาค่า DO นั้นจะสังเกตเห็นว่าในบ่อที่มีค่า DO ที่ต่ำปลาจะขึ้นมาลอยอยู่ที่ผิวน้ำเพื่อหายใจรับเอาแก๊สออกซิเจนที่ผิวน้ำ ซึ่งในสภาวะที่มีค่า DO ต่ำ ๆ จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลาไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้

ในการทดลองซ้ำที่สองก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับผลการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก โดยพบว่าที่ภาระบรรทุก 80 และ 160 kg COD/(ha-d) จะมีค่า DO ในตอนเช้าที่ต่ำที่สุดคือ 1.2 และ 0.2 mg/L ตามลำดับ ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันนั้นพบว่าค่า DO ในตอนเช้าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกันกับในบ่อที่มีปลา

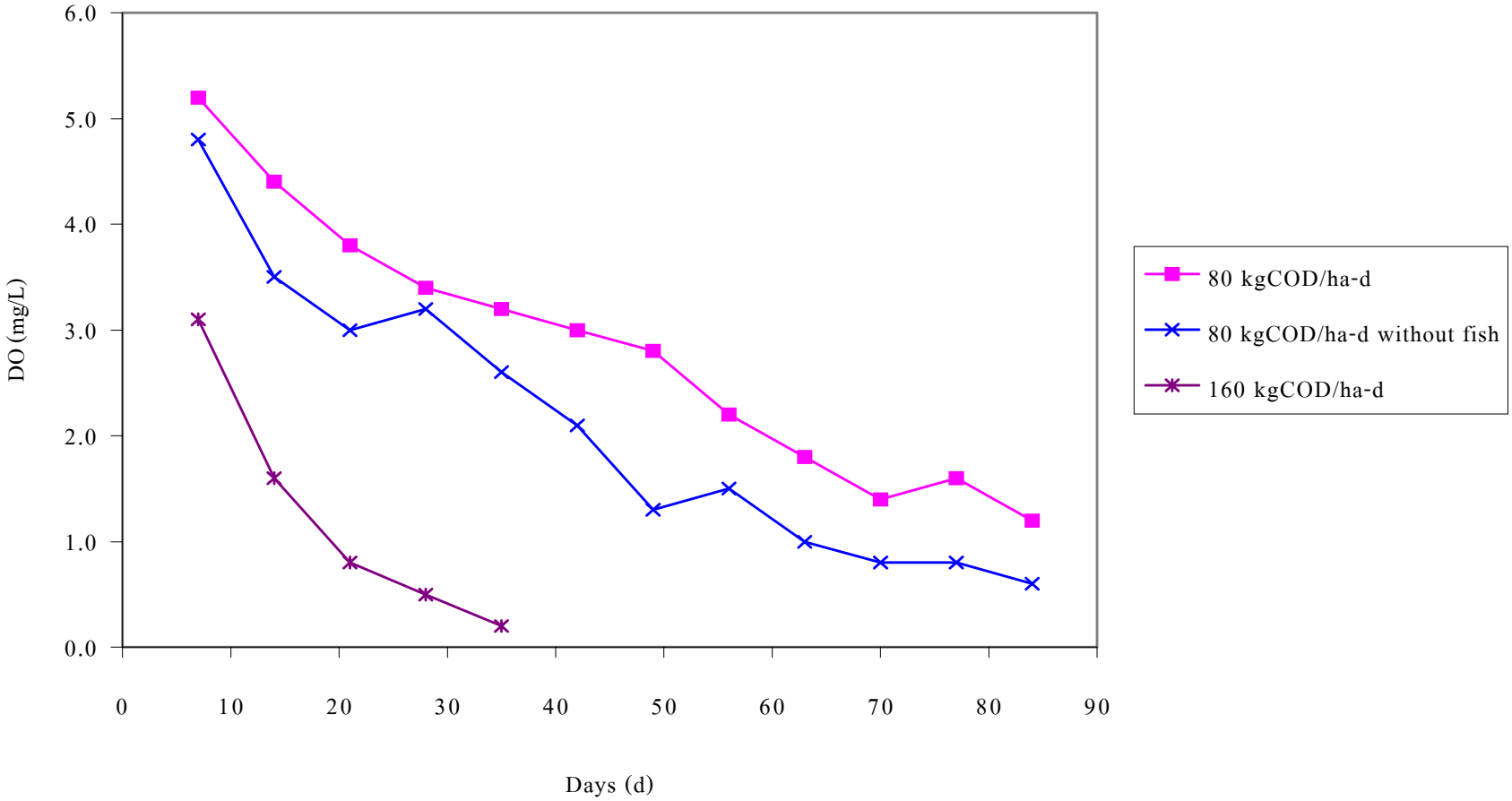
1.2.4 ค่า Ammonia และ Organic Nitrogen ในบ่อเลี้ยงปลา

ผลการทดลองพบว่าค่า NH_3-N และ Org-N ในแต่ละบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.7 และ 4.8 โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า NH_3-N ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 17.64 และ 20.16 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่า Org-N คือ 9.24 และ 12.32 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า NH_3-N สูงกว่า Org-N มาก ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลาตายเนื่องจากพิษของแอมโมเนียที่สูงเกินไป ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า NH_3-N ต่ำกว่า Org-N มากปลาสามารถทนได้ โดยค่า NH_3-N ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 0.84 และ 4.2 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่า Org-N คือ 7.28 และ 14.84 ตามลำดับ

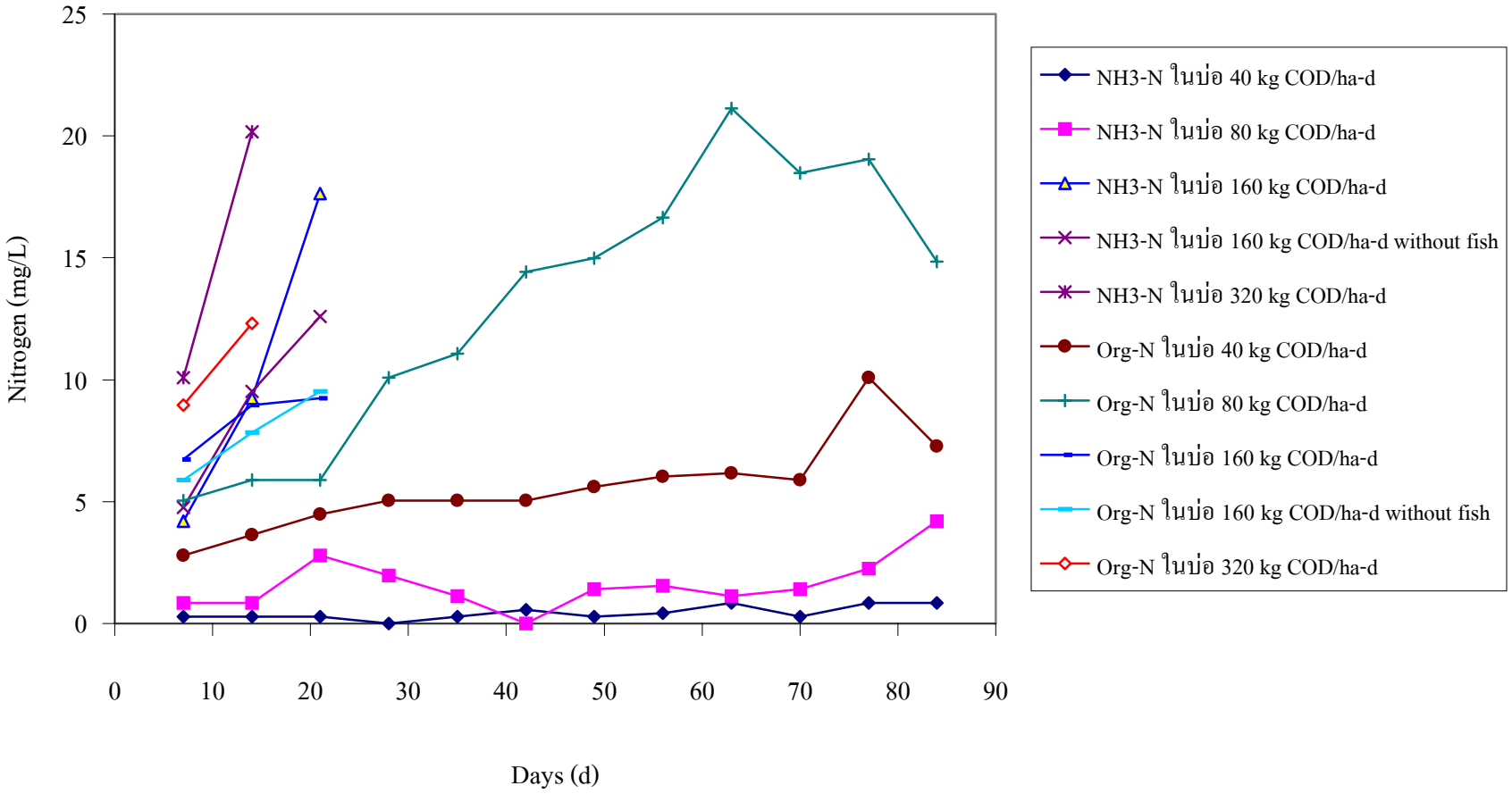
ในการทดลองซ้ำที่สองที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ค่า NH_3-N และ Org-N ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 5.88 และ 22.40 mg/L ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าไนโตรเจนในบ่อ ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก โดยที่



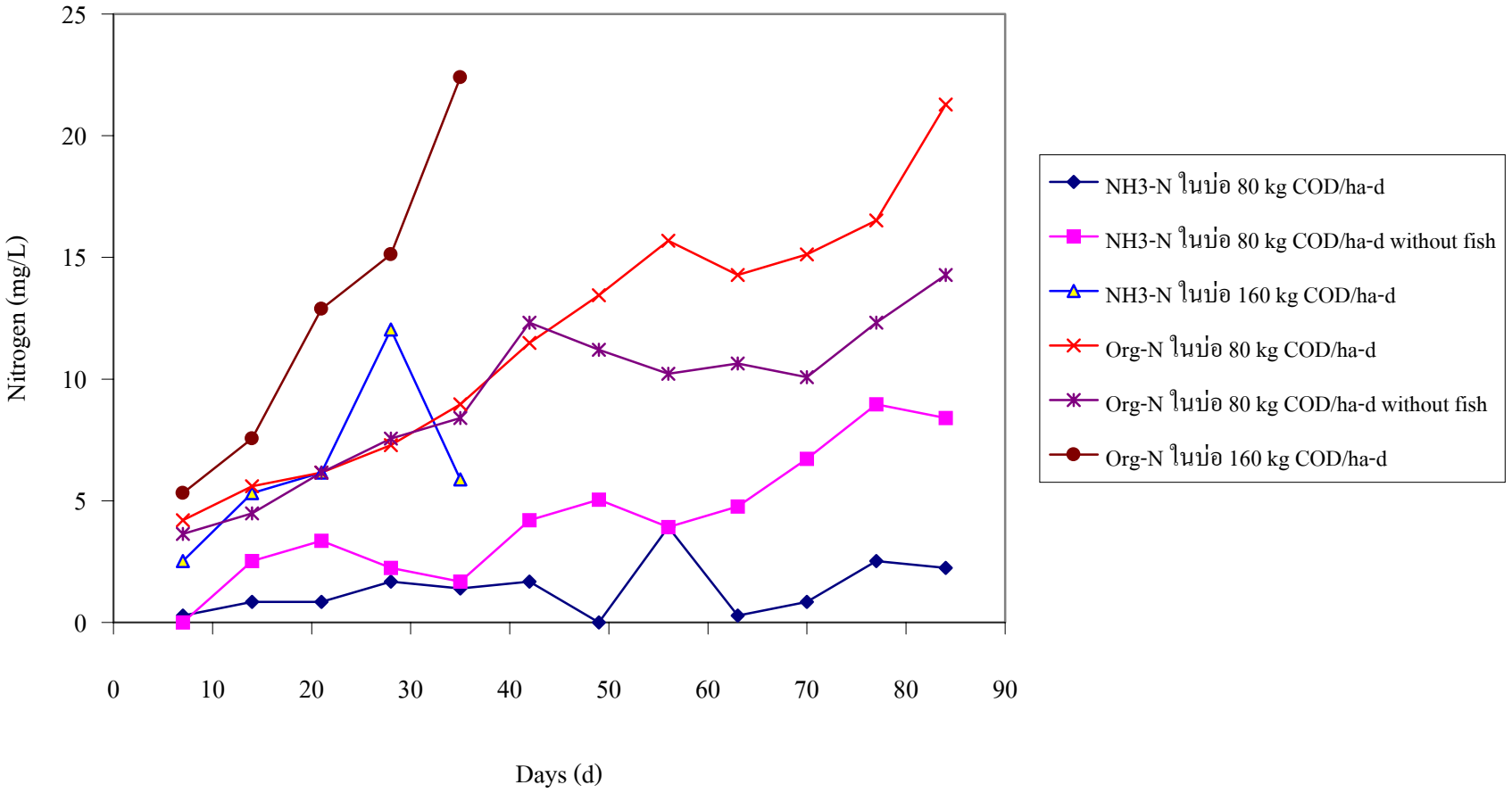
ภาพที่ 4.5 DO at dawn ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.6 DO at dawn ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง



ภาพที่ 4.7 Nitrogen ในบ่อเลี้ยงปลา ช้ำแรก



ภาพที่ 4.8 Nitrogen ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

ค่า NH_3-N และ Org-N ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 2.24 และ 21.28 mg/L ตามลำดับ ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันนั้นพบว่าจะมีค่า NH_3-N สูงกว่าในบ่อที่มีปลา แต่ค่า Org-N นั้นจะน้อยกว่าในบ่อที่มีปลา เนื่องมาจากอินทรียวัตถุในมูลไก่ที่เติมลงไปในน้ำ

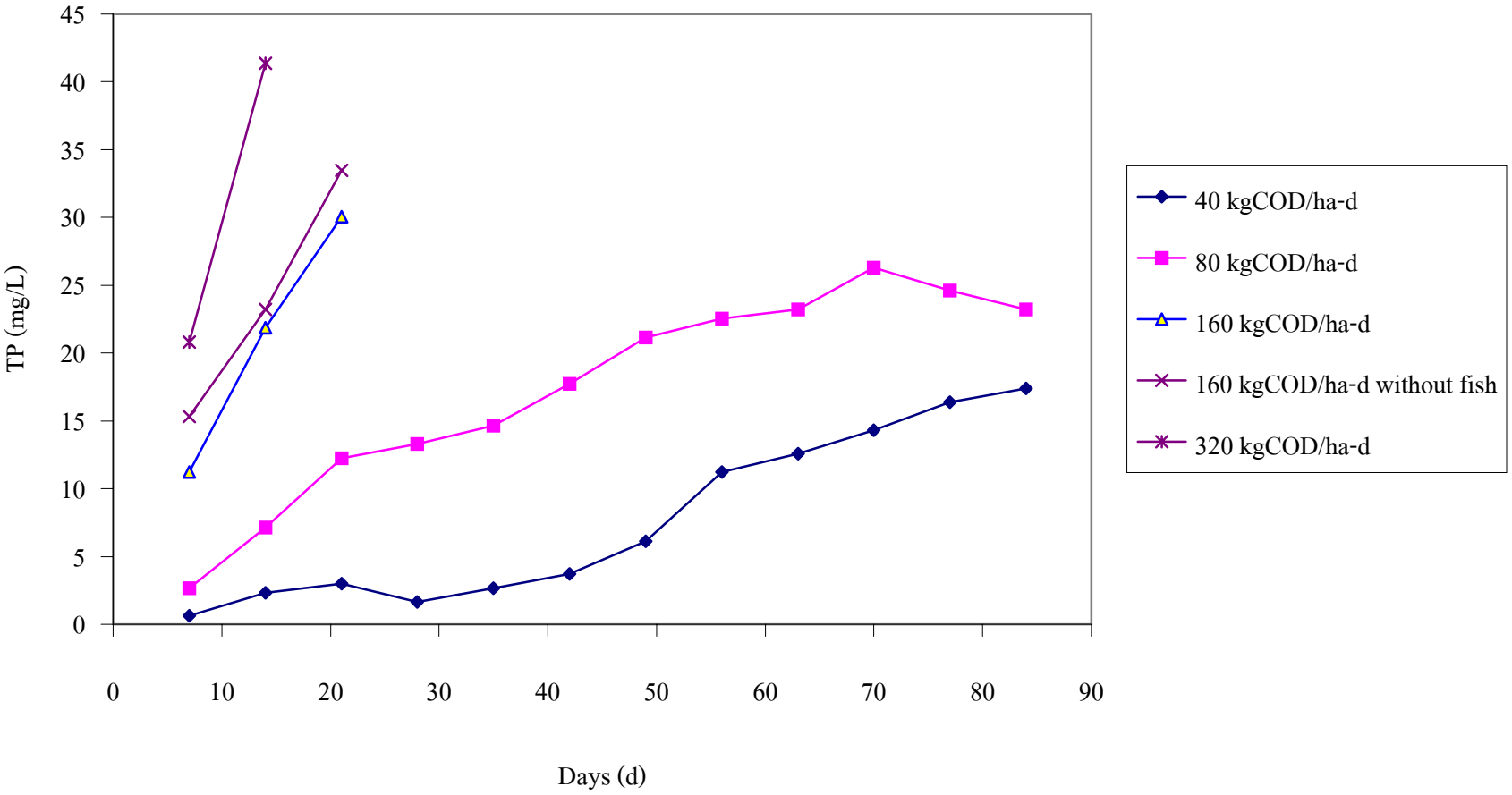
1.2.5 ค่า Phosphorus ในบ่อเลี้ยงปลา

ในการทดลอง ค่าฟอสฟอรัสจะทำการวิเคราะห์ออกมาในรูปของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยจากการทดลองพบว่าค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.9 และ 4.10 โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 30.07 และ 41.37 mg/L ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 17.40 และ 23.22 mg/L ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสูงมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในมูลไก่ที่เติมลงในบ่อมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สูง สามารถสังเกตได้จากปริมาณของสาหร่ายที่เกิดขึ้นมากในบ่อ (โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อของค่าคลอโรฟิลล์ เอ) ซึ่งแสดงว่าในบ่อมีสารอาหารสำหรับสาหร่ายอย่างพอเพียง

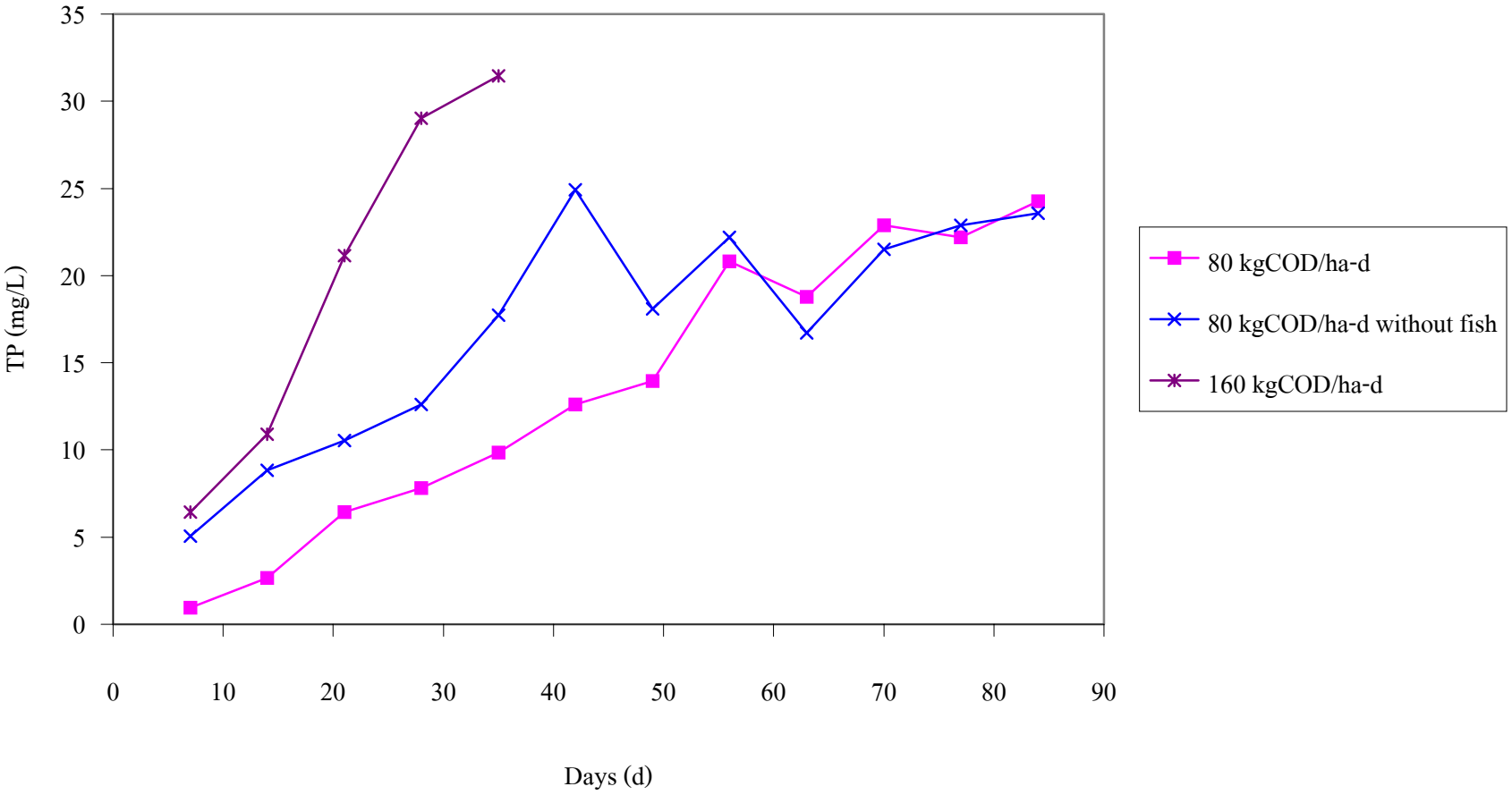
ในการทดลองซ้ำที่สองที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 31.44 mg/L ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าฟอสฟอรัสในบ่อ ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก โดยค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 24.25 mg/L ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันนั้นพบว่าจะมีค่าฟอสฟอรัสในบ่อ ค่อนข้างใกล้เคียงกันกับในบ่อที่มีปลา

1.2.6 ค่า TS และ TSS ในบ่อเลี้ยงปลา

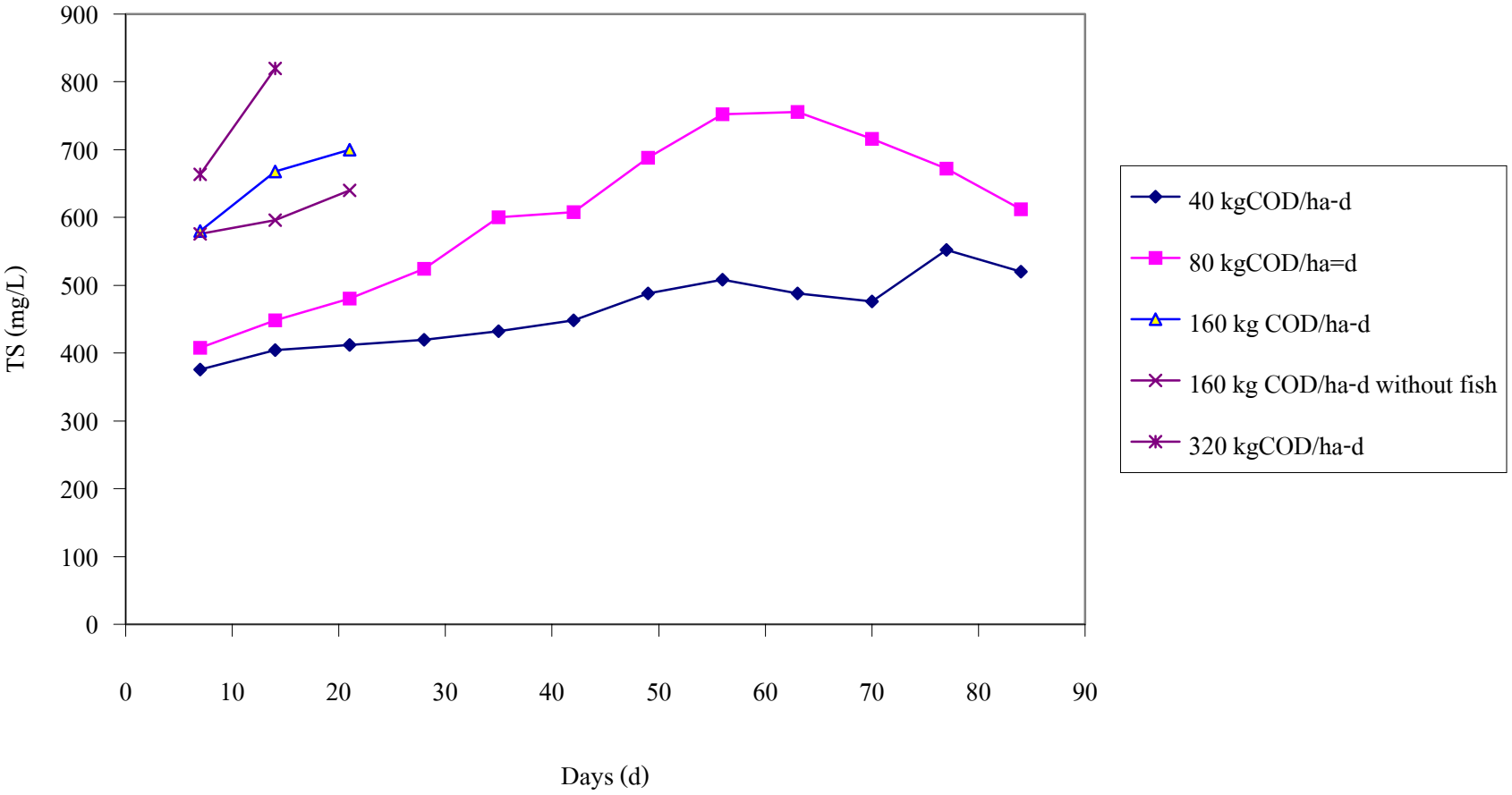
ผลการทดลองพบว่าค่า TS และ TSS จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.11 ถึง 4.14 เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุในน้ำ โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) ค่า TS ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 700 และ 820 mg/L ค่า TSS มีค่า 124 และ 116 mg/L ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า TS จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 6 และ 4 สัปดาห์ โดยจากการทดสอบค่า t-test (zero slope test) ซึ่งพบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมี



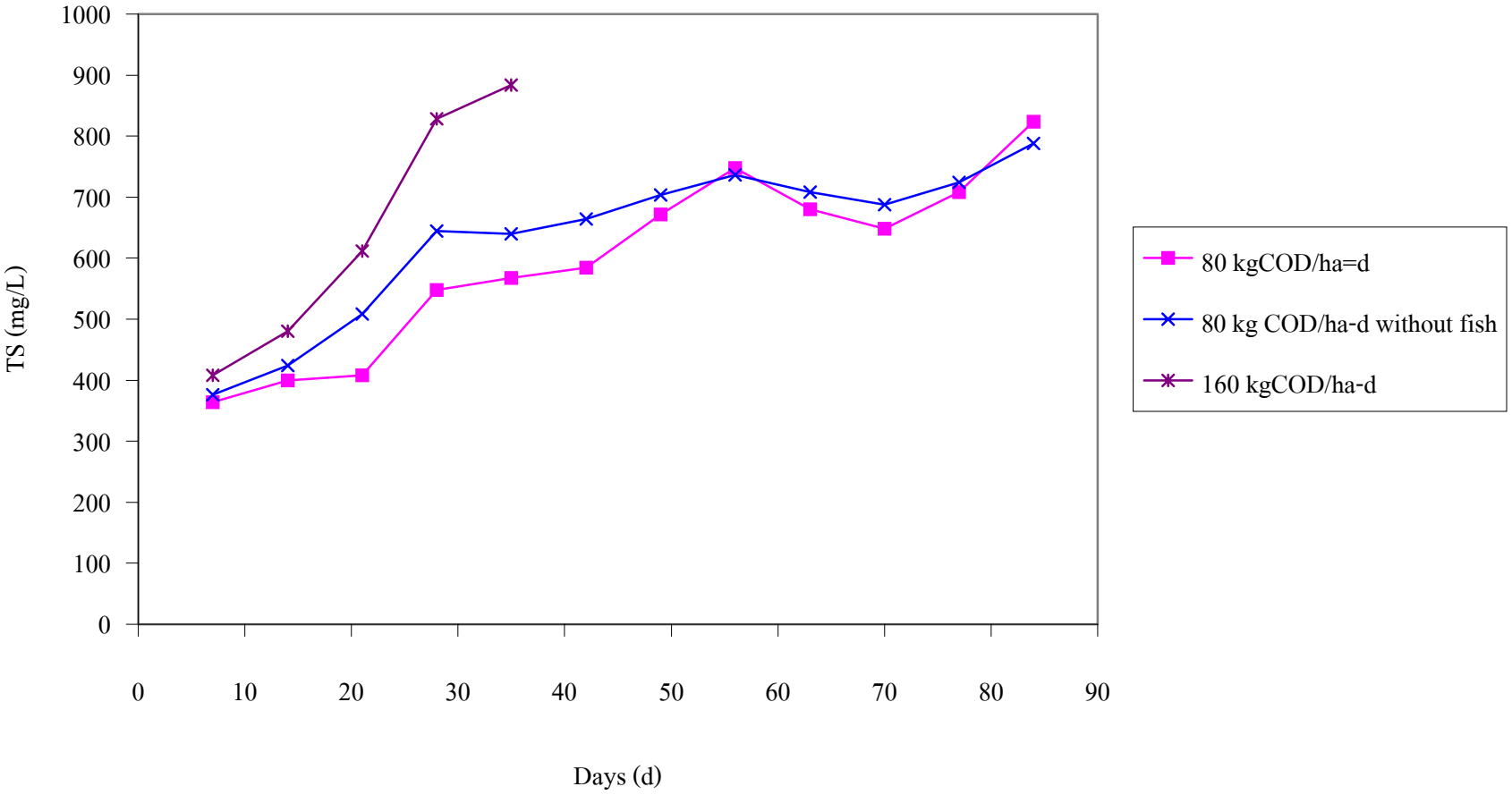
ภาพที่ 4.9 Phosphorus ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



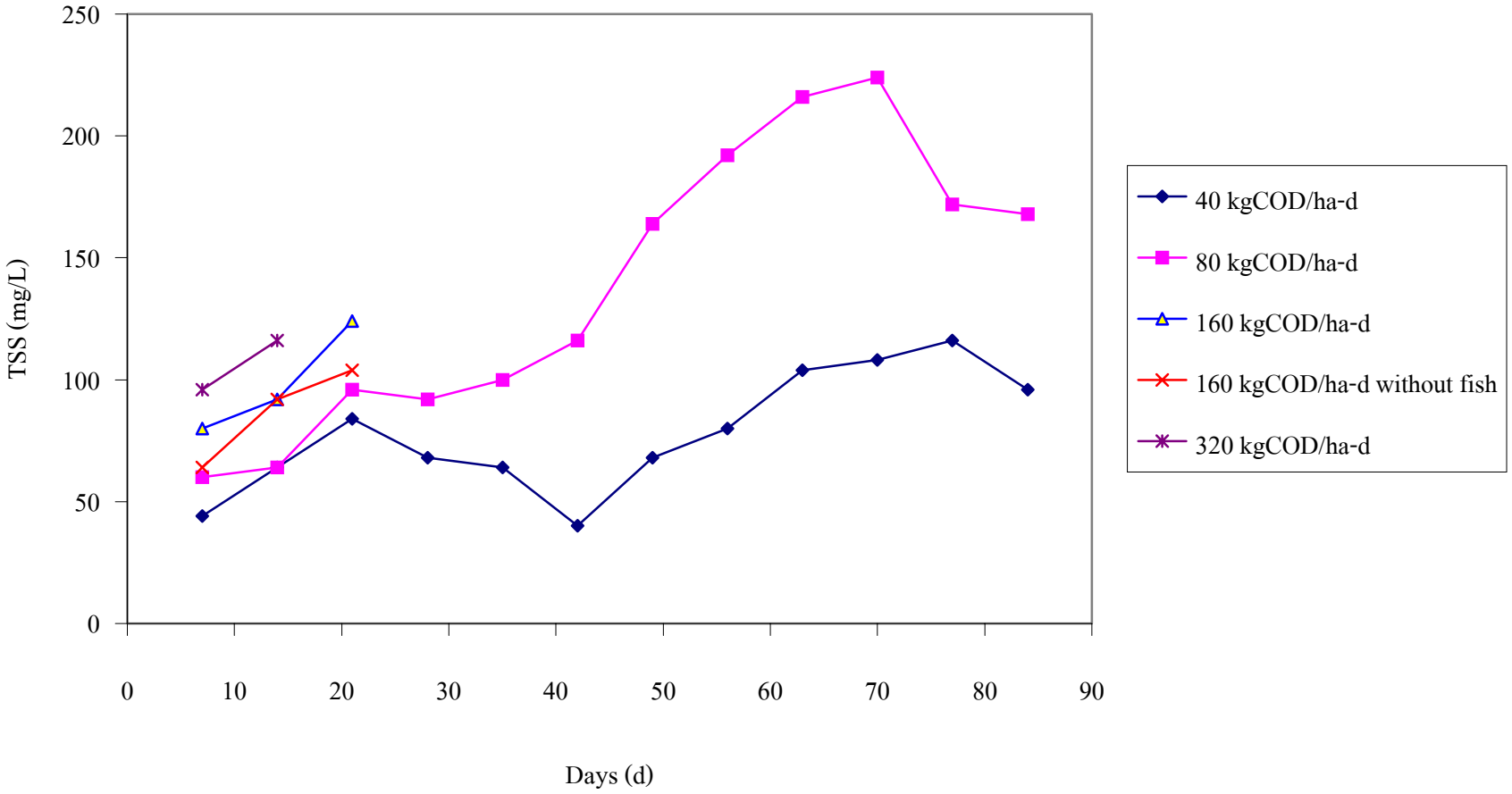
ภาพที่ 4.10 Phosphorus ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง



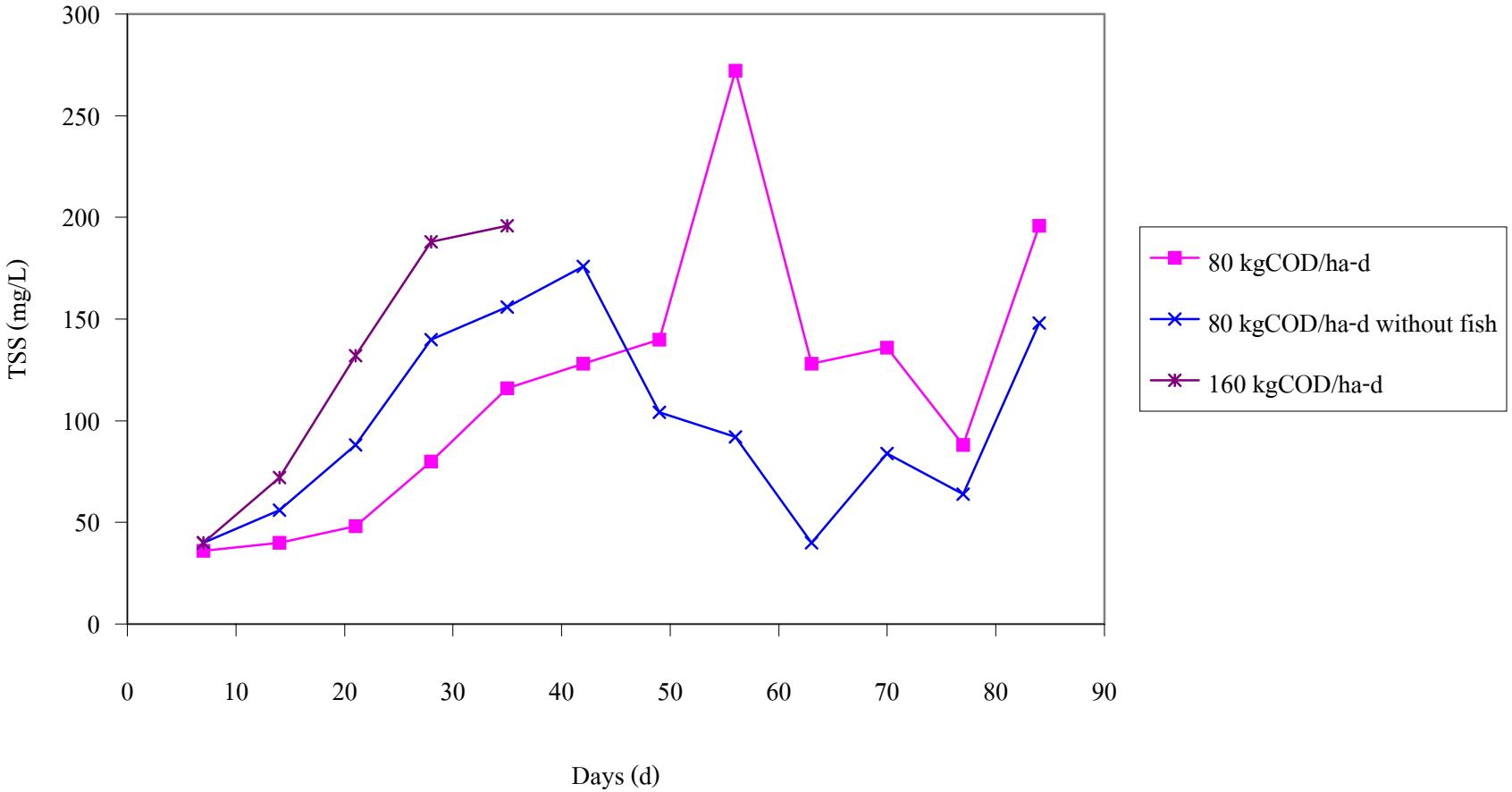
ภาพที่ 4.11 TS ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.12 TS ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง



ภาพที่ 4.13 TSS ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.14 TSS ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

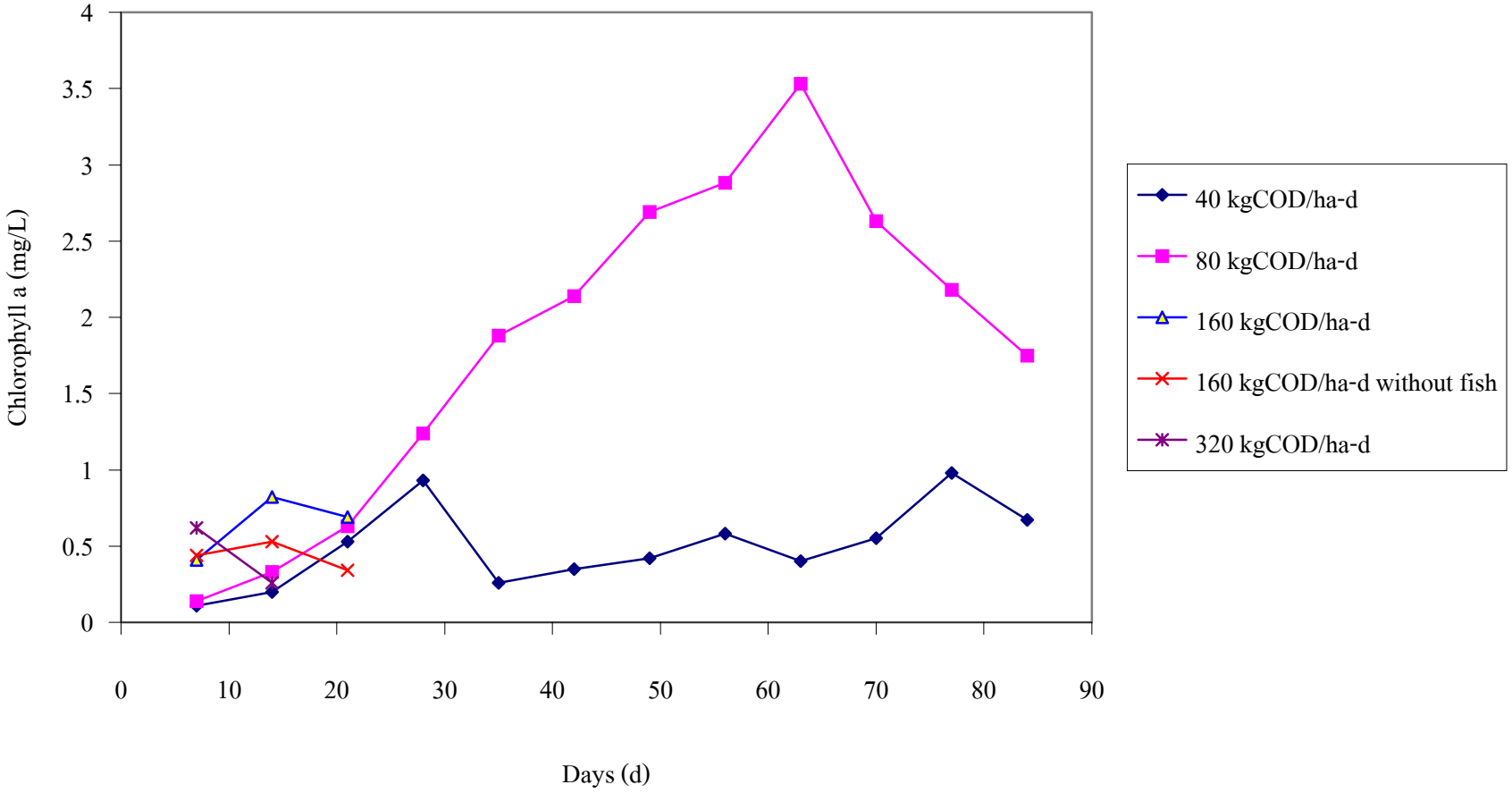
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05โดยพบว่าค่า TS ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 520 และ 612 mg/L ค่า TSS มีค่า 96 และ 168 mg/L ตามลำดับ

ในการทดลองซ้ำที่สองที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ค่า TS และ TSS ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 884 และ 196 mg/L ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า TS ในบ่อใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก และเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 6 สัปดาห์ โดยจากการทดสอบค่า t-test (zero slope test) ซึ่งค่า TS ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 824 mg/L ส่วนค่า TSS มีค่า 196 mg/L และในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกัน พบว่าค่า TS และ TSS ค่อนข้างใกล้เคียงกันกับในบ่อที่มีปลา

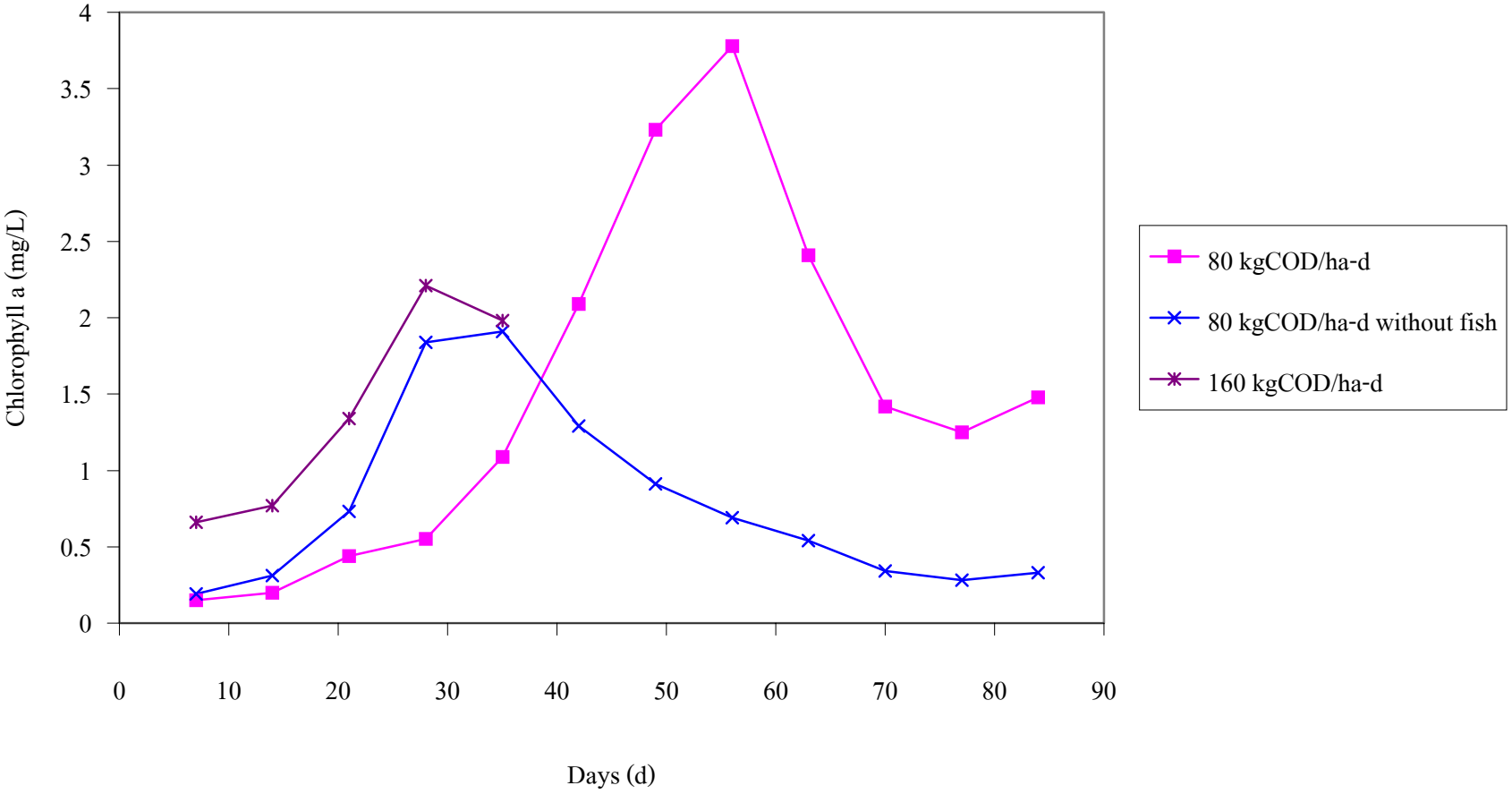
1.2.7 ค่า Chlorophyll a ในบ่อเลี้ยงปลา

ในการทดลอง ค่าปริมาณสาหร่ายจะทำการวิเคราะห์ออกมาในรูปของคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) โดยจากการทดลองพบว่าค่าคลอโรฟิลล์ เอ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.15 และ 4.16 โดยจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก สังเกตได้จากค่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งทำให้น้ำในบ่อจะมีลักษณะเป็นสีเขียวเข้มขึ้น และในช่วงปลายของการทดลองค่าของคลอโรฟิลล์ เอ จะมีแนวโน้มที่ลดลงซึ่งน้ำในบ่อจะมีสีค่อนข้างเป็นสีน้ำตาล โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า คลอโรฟิลล์ เอ ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 0.69 และ 0.26 mg/L ตามลำดับ สังเกตเห็นว่าสีของน้ำในบ่อเปลี่ยนสีจากสีเขียวเข้มไปเป็นสีน้ำตาลแดง และมีกลิ่นเหม็น แสดงว่าสาหร่ายก็ไม่สามารถอยู่ได้ที่สภาวะเช่นนี้ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า คลอโรฟิลล์ เอ จะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ค่า คลอโรฟิลล์ เอ จะค่อนข้างคงที่ สีของน้ำในบ่อจะเป็นสีเขียวอ่อน ๆ ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) นั้นจะมีค่า คลอโรฟิลล์ เอ ที่สูงกว่ามากโดยเฉพาะในช่วงแรก ๆ น้ำจะมีสีเขียวเข้ม และมีตะกอนลอยของสาหร่ายเกิดขึ้นที่ผิวน้ำ พอช่วงปลายของการทดลองเมื่อตะกอนลอยของสาหร่ายลดลง พบว่าค่าคลอโรฟิลล์ เอ ก็ลดลงด้วย น้ำจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยค่า คลอโรฟิลล์ เอ ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 0.67 และ 1.75 mg/L ตามลำดับ

ในการทดลองซ้ำที่สองก็ให้ผลที่ใกล้เคียงกับที่ได้ในซ้ำแรก คือที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) พบว่าค่า คลอโรฟิลล์ เอ ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 1.98 mg/L ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ค่า คลอโรฟิลล์ เอ ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 1.48 mg/L และในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกัน พบว่าค่า คลอโรฟิลล์ เอ ในช่วงแรกจะสูงกว่าในบ่อที่มีปลาแต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งค่า คลอโรฟิลล์ เอ จะเริ่มค่อย ๆ มีค่าน้อยกว่าในบ่อที่มีปลา ที่เป็นเช่นนี้เพราะ



ภาพที่ 4.15 Chlorophyll a ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.16 Chlorophyll a ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

สาหร่ายที่เกิดขึ้นในบ่อที่ไม่มีปลานั้นเป็นอาหารที่เหมาะสมกับแพลงค์ตอนสัตว์ และตัวอ่อนของแมลงที่ผิวน้ำซึ่งเกิดขึ้นในบ่อที่ไม่มีปลา (Sharma, 1985)

4.2.8 ค่า Alkalinity ในบ่อเลี้ยงปลา

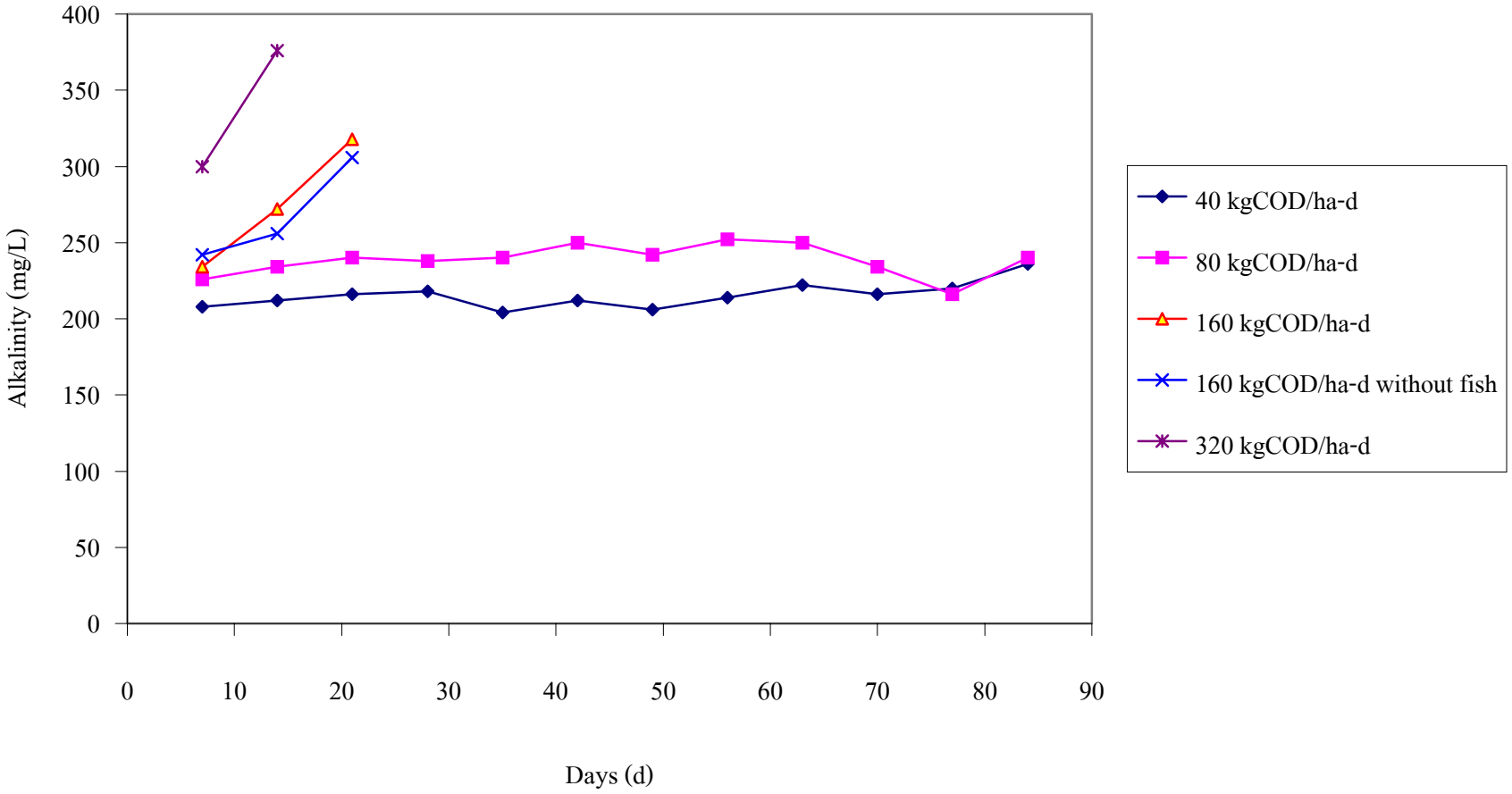
ผลการทดลองพบว่า อัลคาไลนิตี้ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และตามภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.17 และ 4.18 โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าอัลคาไลนิตี้จะเพิ่มขึ้นเร็วมาก โดยอัลคาไลนิตี้ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 318 และ 376 mg/L as $CaCO_3$ ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) อัลคาไลนิตี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และค่อนข้างคงที่ โดยอัลคาไลนิตี้ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 236 และ 240 mg/L as $CaCO_3$ ตามลำดับ

ในการทดลองซ้ำที่สองแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัลคาไลนิตี้ในบ่อ ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก โดยที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) อัลคาไลนิตี้ในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อมีค่า 284 mg/L as $CaCO_3$ ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) อัลคาไลนิตี้ในสัปดาห์สุดท้ายมีค่า 320 mg/L as $CaCO_3$ ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันนั้นพบว่าจะมีค่าสภาพด่างในบ่อ ค่อนข้างใกล้เคียงกันกับในบ่อที่มีปลา

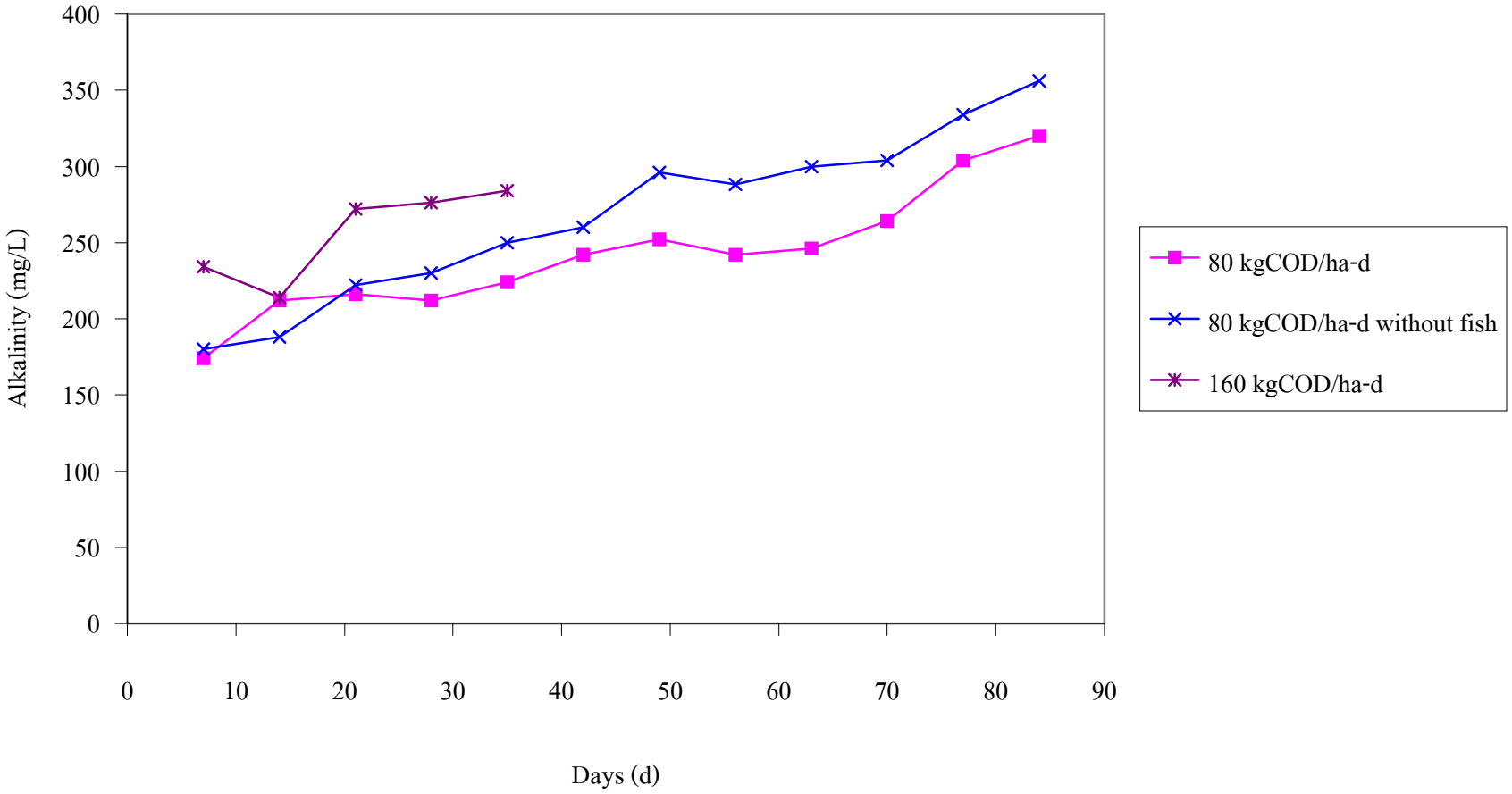
4.2.9 ค่า Total Coliform Bacteria ในบ่อเลี้ยงปลา

ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด ค่อนข้างที่จะไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.19 และ 4.20 โดยในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.33×10^3-1.97×10^4 และ 3.33×10^3-3.13×10^4 MPN/100 mL ตามลำดับ ค่าอี.โคไล อยู่ในช่วง 0-2.67×10^3 และ 0-4.33×10^3 MPN/100 mL ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.33×10^3-2.65×10^4 และ 2.67×10^3-5.20×10^4 MPN/100 mL ตามลำดับ ค่าอี.โคไล อยู่ในช่วง 0-5.00×10^2 และ 0-4.50×10^3 MPN/100 mL ตามลำดับ

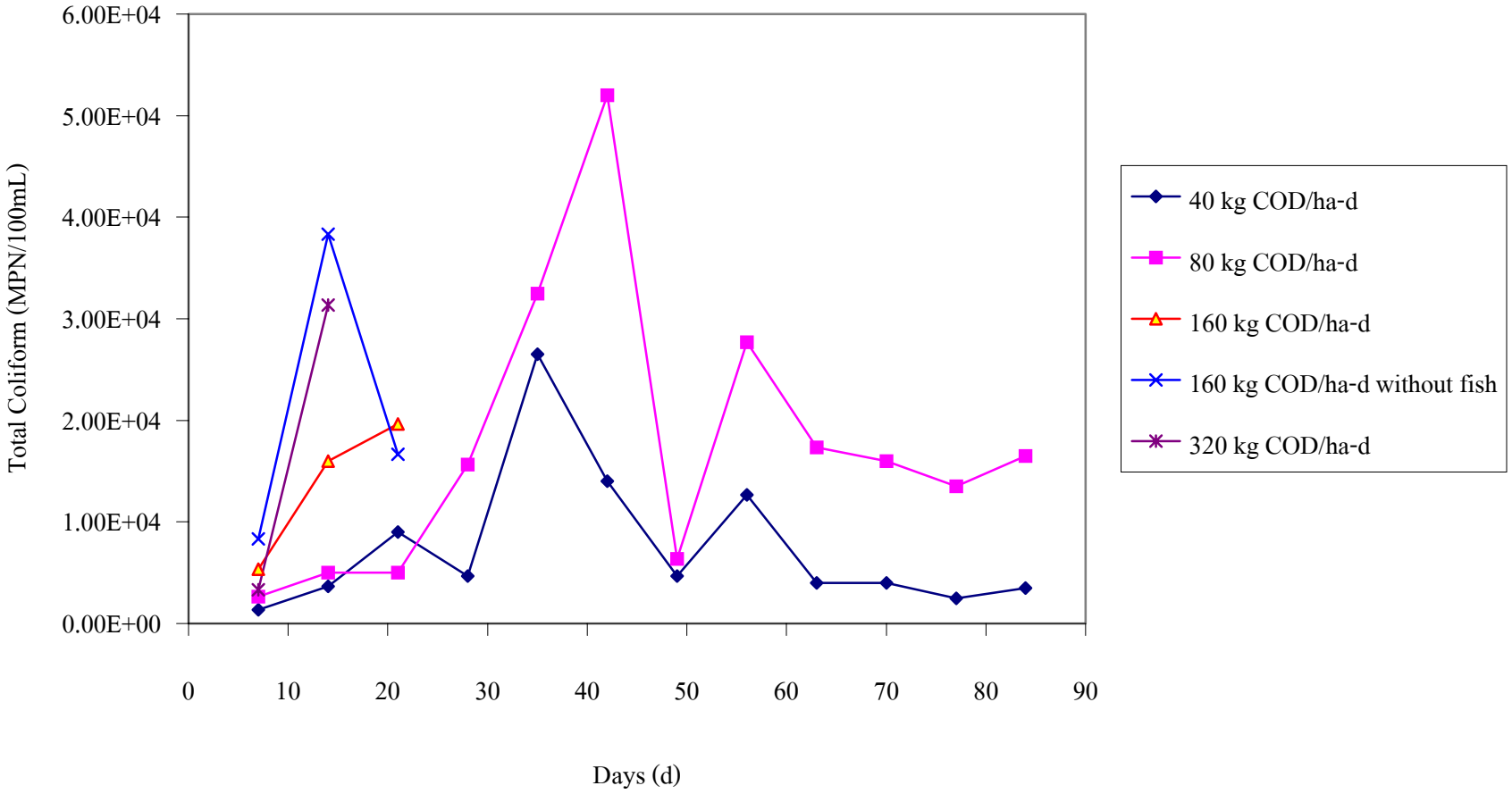
ในการทดลองซ้ำที่สองแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มในบ่อ ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอเช่นเดียวกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก โดยที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และค่าค่าอี.โคไล อยู่ในช่วง 7.50×10^3-4.05×10^4 และ 0-5.50×10^3



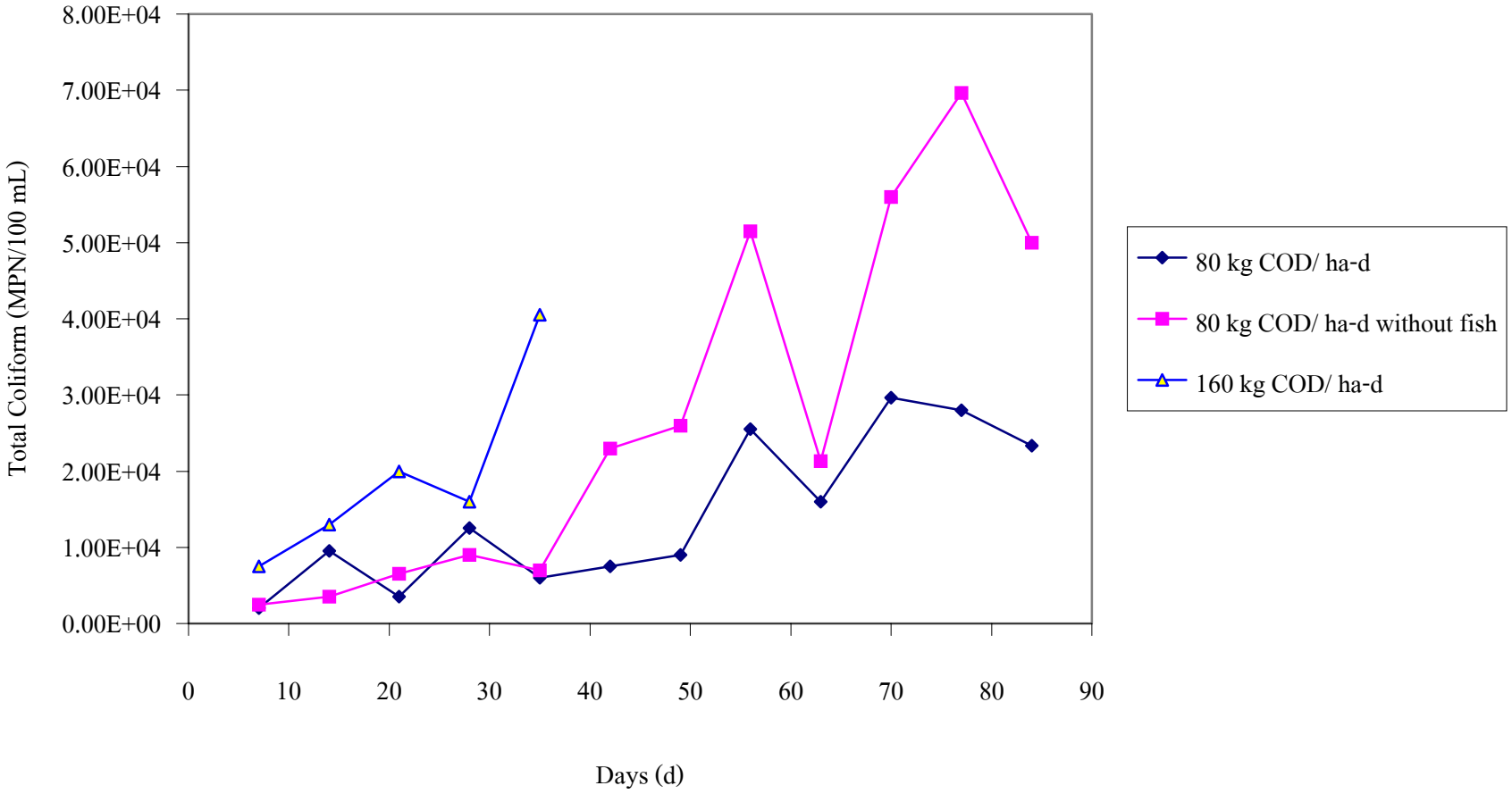
ภาพที่ 4.17 Alkalinity ในบ่อเลี้ยงปลา ช้ำแรก



ภาพที่ 4.18 Alkalinity ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง



ภาพที่ 4.19 Total Coliform Bacteria ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.20 Total Coliform Bacteria ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

MPN/100 mL ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และค่าค่าอี.โคไล อยู่ในช่วง 2.00×10^{3}-2.97×10^{4} และ 0-8.67×10^{3} MPN/100 mL ตามลำดับ ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันพบว่าจะมีค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และค่าค่าอี.โคไล ค่อนข้างสูงกว่าในบ่อที่มีปลา เนื่องมาจากโคลิฟอร์มแบคทีเรียเหล่านี้จะปนเปื้อนอยู่ในมูลไก่ค่อนข้างสูง

4.2.10 pH ในบ่อเลี้ยงปลา

ในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.27-8.35 และ 7.51-8.56 ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.82-9.48 และ 7.60-8.64 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา คือเป็นน้ำที่มีสภาพเป็นกลาง หรือเป็นด่างเล็กน้อย

ในการทดลองซ้ำที่สองค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก โดยที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.87-9.24 ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.75-9.22 ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันนั้นพบว่าจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกับในบ่อที่มีปลา

4.2.11 อุณหภูมิ ในบ่อเลี้ยงปลา

การทดลองครั้งนี้ได้กระทำในช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม อุณหภูมิที่ได้ จึงค่อนข้างเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ และฤดูกาล โดยทำการวัดอุณหภูมิทุกสัปดาห์ในช่วงเวลา 9.30 น.

พบว่าในการทดลองซ้ำแรกที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 31.0-34.3 และ 30.5-31.1 ^{o}C ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.7-32.1 และ 29.1-34.7 ^{o}C ตามลำดับ

ในการทดลองซ้ำที่สองค่าอุณหภูมิที่วัดได้ค่อนข้างต่ำกว่าการทดลองที่ได้ในซ้ำแรก เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ช่วงฤดูหนาว โดยที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 30.2-33.2 ^{o}C ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.2-31.8

°C ส่วนในบ่อที่ไม่มีปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกันพบว่าจะมีอุณหภูมิค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกับในบ่อที่มีปลา

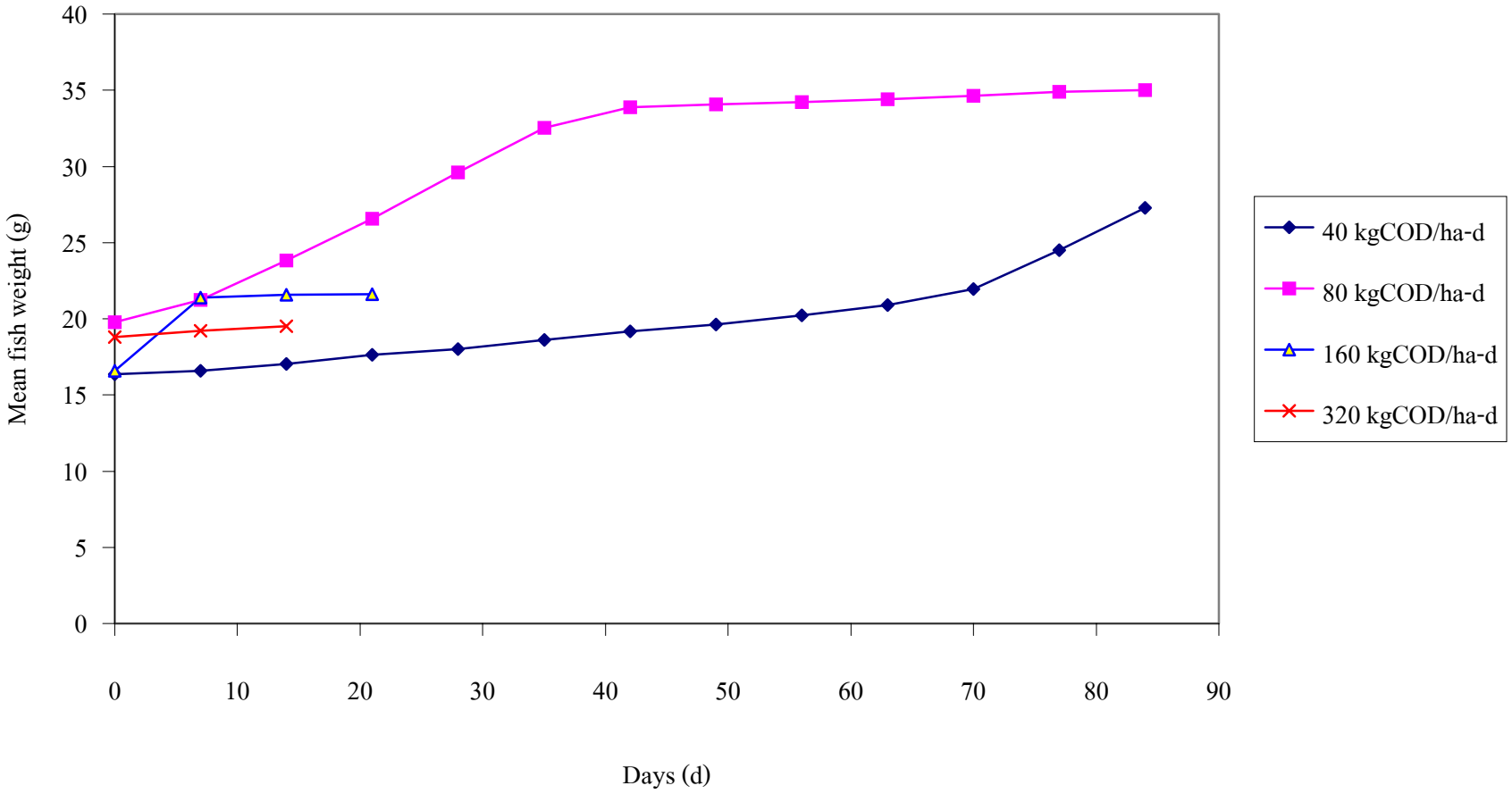
4.3 น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

ในการทดลองได้ทำการชั่งหาน้ำหนักปลารวมที่เพิ่มขึ้นสัปดาห์ละครั้ง โดยในแต่ละบ่อจะมีปลาทั้งหมด 20 ตัว โดยคำนวณจากความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยง 5 ตัว/ม^2 จากนั้นจึงทำการหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลาต่อตัวโดยน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละบ่อ แสดงในกราฟภาพที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของปลา (Growth rate) แสดงในกราฟภาพที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ

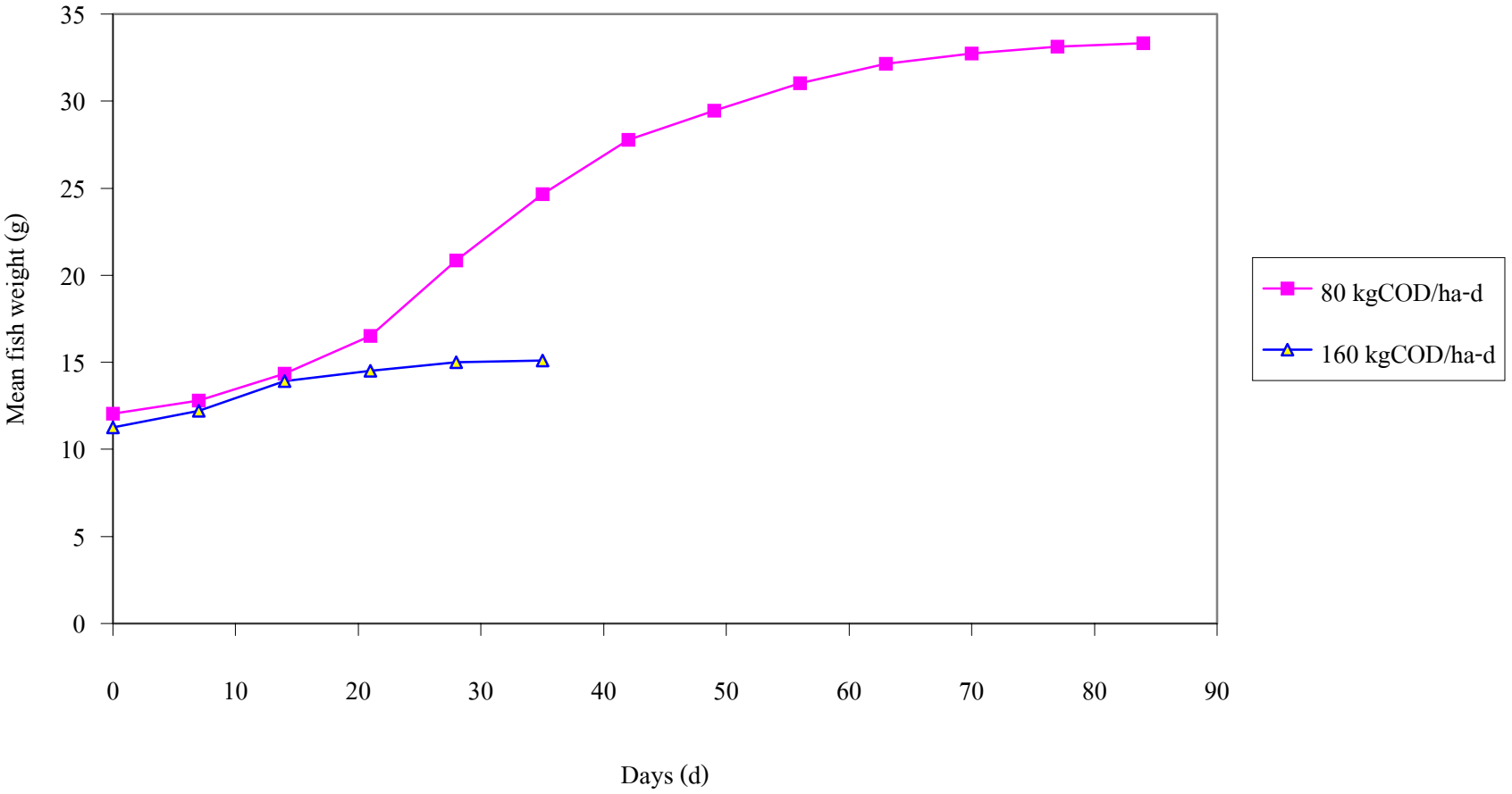
โดยการทดลองซ้ำแรกน้ำหนักปลารวมในตอนเริ่มต้นที่ภาระบรรทุก 40, 80, 160 และ 320 kg COD/(ha-d) มีค่า 327.46, 395.46, 331.46 และ 375.66 g พบว่าที่ภาระบรรทุก 160 และ 320 kg COD/(ha-d) ปลาตายหมดบ่อเมื่อการทดลองผ่านไป 23 และ 18 วัน ตามลำดับ โดยน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อคือ 21.62 และ 19.49 g ตามลำดับ ส่วนที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 เดือนปลายังสามารถอยู่ได้ โดยมีอัตราการรอดชีวิตคิดเป็นร้อยละ 100 และ 75 ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์สุดท้ายคือ 27.26 และ 35.01 g และเมื่อนำมาคิดเป็นผลผลิตต่อปีจะได้ 5,923 และ 7,606 kg/(ha-yr) ตามลำดับ

ส่วนในการทดลองซ้ำที่สองน้ำหนักปลารวมในตอนเริ่มต้นที่ภาระบรรทุก 80 และ 160 kg COD/(ha-d) คือ 241.22 และ 225.42 g โดยที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ปลาตายหมดบ่อเมื่อการทดลองผ่านไป 37 วัน และน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์ที่ปลาตายหมดบ่อคือ 15.10 g ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ปลาสามารถอยู่ได้เมื่อครบ 3 เดือน โดยมีอัตราการรอดชีวิตคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์สุดท้ายคือ 33.31 g และเมื่อนำมาคิดเป็นผลผลิตต่อปีจะได้ 7,237 kg/(ha-yr)

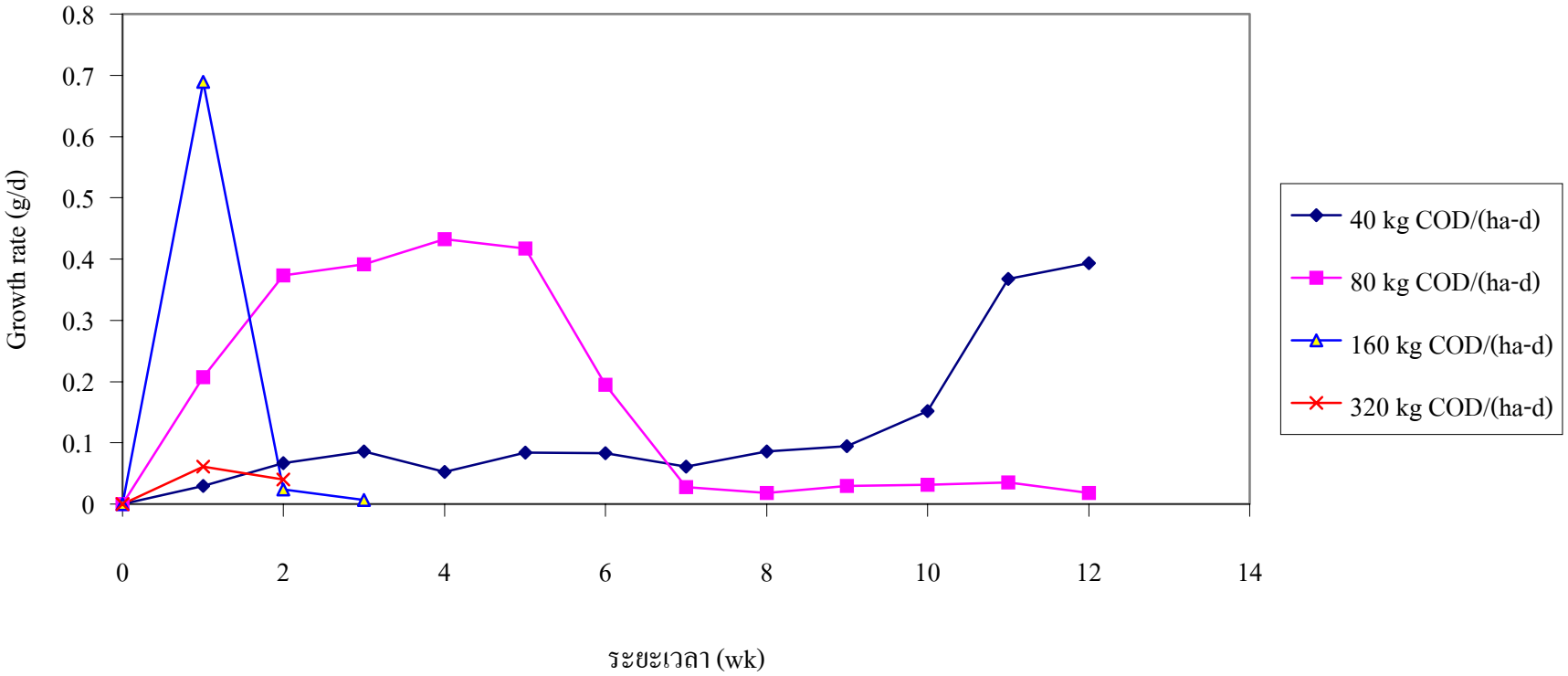
จากผลการทดลองสังเกตเห็นว่าที่ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) จะมีอัตราการเจริญเติบโตของปลาในช่วงแรกน้อยกว่าที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) เนื่องมาจากสารอาหารในบ่อช่วงแรกยังมีน้อย แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปสารอาหารในบ่อเพิ่มขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของปลาก็จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงปลายของการทดลอง ส่วนที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) พบว่าช่วงแรกที่มีสารอาหารมากพอ อัตราการเจริญเติบโตของปลาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่พอช่วงปลายของการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของปลากลับลดลง เนื่องจากสารอาหารในบ่อที่มีมากจนเกินไป และจากคุณภาพของน้ำที่ต่ำลง



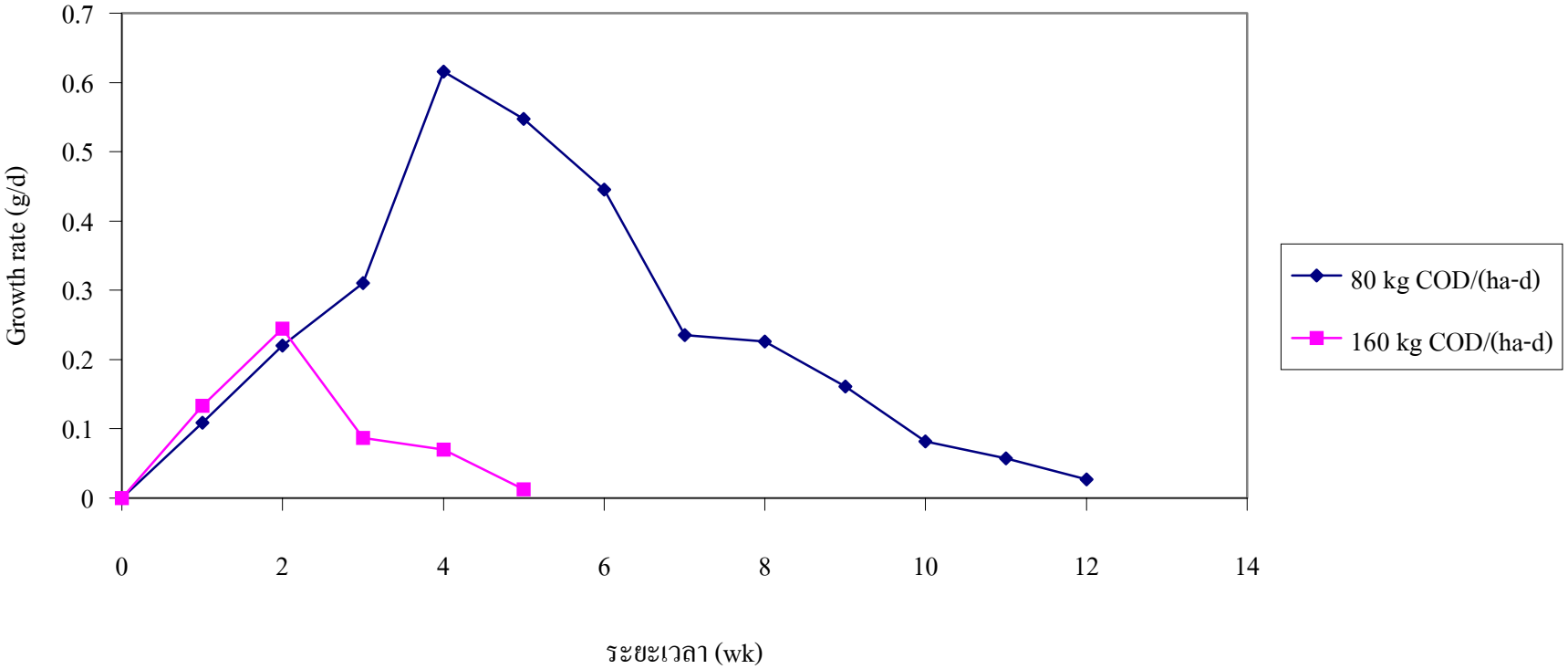
ภาพที่ 4.21 ค่าน้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละบ่อ ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.22 ค่าน้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละบ่อ ซ้ำที่สอง



ภาพที่ 4.23 Growth rate ของปลาในแต่ละบ่อ ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.24 Growth rate ของปลาในแต่ละบ่อ ซ้ำที่สอง

4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.4.1 แบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า (DO_d)

DO เป็นตัวแปรทางคุณภาพน้ำที่สำคัญตัวแปรหนึ่งสำหรับกระบวนการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ซึ่ง DO จะลดลงมากในช่วงเวลากลางคืนจนถึงตอนเช้ามืด จากการทดลองพบว่าในสภาวะที่มีค่า DO ต่ำ ๆ จะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปลาไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ ดังนั้นหากมีแบบจำลองที่สามารถทำนายปริมาณออกซิเจนในช่วงวิกฤตนี้ได้ จะมีประโยชน์อย่างมากต่อกระบวนการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่

Bhattarai (1985) ได้เสนอแบบจำลองของ DO_d สำหรับบ่อที่ใช้น้ำเสียจากตะกอนบ่อเกรอะเลี้ยงปลา ดังสมการที่ 2.5

$$DO_d = 10.745 \exp [-(0.017t+0.002L_c)] \quad (2.5)$$

เพื่อที่จะหาแบบจำลองของ DO_d สำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ จึงต้องทำการจัดรูปสมการที่ 2.5 ใหม่เพื่อหาค่าคงที่ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองในครั้งนี้ ดังสมการที่ 4.1

$$DO_d = a \exp [-(bt + cL_c)] \quad (4.1)$$

โดยที่ exp = exponential

t = ช่วงเวลาที่มีการเติมมูลไก่ลงในบ่อปลา, วัน

L_c = ความเข้มข้นสะสมของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในบ่อปลาในช่วงเวลา t, kg COD (ต่อขนาดบ่อ 4 $ม^2$)

a, b, c = ค่าคงที่

ในการหาค่าคงที่ a, b และ c ต้องทำการจัดรูปสมการที่ 4.1 ให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น ดังสมการที่ 4.2

$$\ln (DO_d) = \ln (a) - bt - cL_c \quad (4.2)$$

สมการที่ 4.2 เมื่ออยู่ในรูปของสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Linear Multiple Regression) สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ได้ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (ภาคผนวก ก.) โดยได้ผลดังแสดงในสมการที่ 4.3 และ 4.4

$$\ln (DO_d) = 1.816 - (4.141E\text{-}3)t - (0.438)L_c \quad (4.3)$$

หรือ

$$DO_d = 6.147 \exp [-(4.141E\text{-}3t + 0.438L_c)] \quad (4.4)$$

ซึ่งสมการที่ 4.4 คือสมการของแบบจำลองออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า สำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ สามารถใช้ทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้าที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ โดยกราฟภาพที่ 4.25 ถึง 4.27 จะแสดงการเปรียบเทียบค่า DO_d ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.4 ในการทดลองแต่ละซ้ำ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการไปทำการทดสอบทางสถิติ t-test พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ มีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แต่จากการสังเกตพบว่าสมการที่ 4.4 ยังไม่สามารถให้คำอธิบายหรือให้คำจำกัดความกับค่าตัวแปรที่ทำการหามาได้ ซึ่งเราพบว่าค่าคงที่ a = 6.147 มีแนวโน้มค่อนข้างใกล้เคียงกับค่า DO ในสภาวะอิ่มตัว (DO_{sat}) ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงที่ทำการทดลอง คือ 7.54 mg/L (Metcalf & Eddy, 1991) จึงทำการตั้งสมมติฐานใหม่โดยระบุให้ค่าคงที่ a คือค่า DO_{sat} แล้วจึงทำการกำหนดความสัมพันธ์ใหม่ให้อยู่ในรูปฟังก์ชัน ดังสมการที่ 4.5

$$DO_d = f(DO_{sat}, L, t) \quad (4.5)$$

โดยที่ t = ช่วงเวลาที่มีการเติมมูลไก่ลงในบ่อปลา, วัน

L = อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของมูลไก่ที่เติม, kg COD/(ha-d)

ซึ่งจากการทดลองพบว่าการลดลงของค่า DO_d มีการลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสัมพันธ์กับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จึงเสนอให้ใช้รูปแบบสมการการลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential decay model) เพื่อหาแบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำตอนเช้ามืด สำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ดังสมการที่ 4.6

$$DO_d = DO_{sat} \exp(-k.L.t) \quad (4.6)$$

โดยที่ k = ค่าคงที่ส่วนกลับของภาระบรรทุก, ha/kg COD

โดยในการหาค่า k ต้องทำการจัดรูปสมการ 4.5 ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นดังสมการที่ 4.7

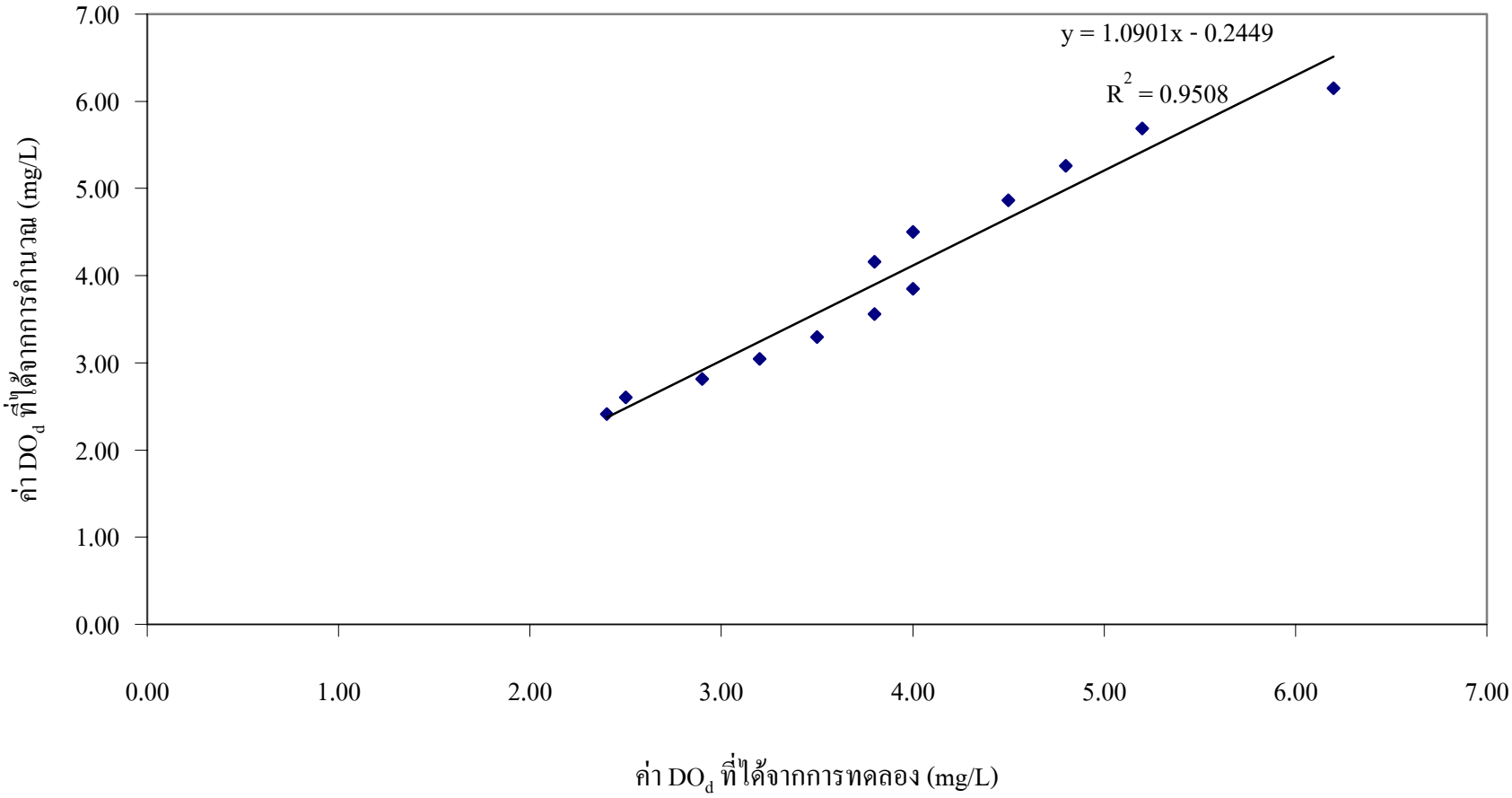
$$\ln(DO_d/DO_{sat}) = (-k.L.t) \quad (4.7)$$

สมการที่ 4.7 เมื่ออยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นแล้ว สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Excel วิเคราะห์ได้ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.28 โดยระบุโปรแกรมให้ทำการกำหนดค่าจุดตัดแกนเป็นศูนย์ ค่า DO_{sat} ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงที่ทำการทดลอง คือ 7.54 mg/L และใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (ภาคผนวก ก.) ซึ่งได้ผลดังแสดงในสมการที่ 4.8 และ 4.9

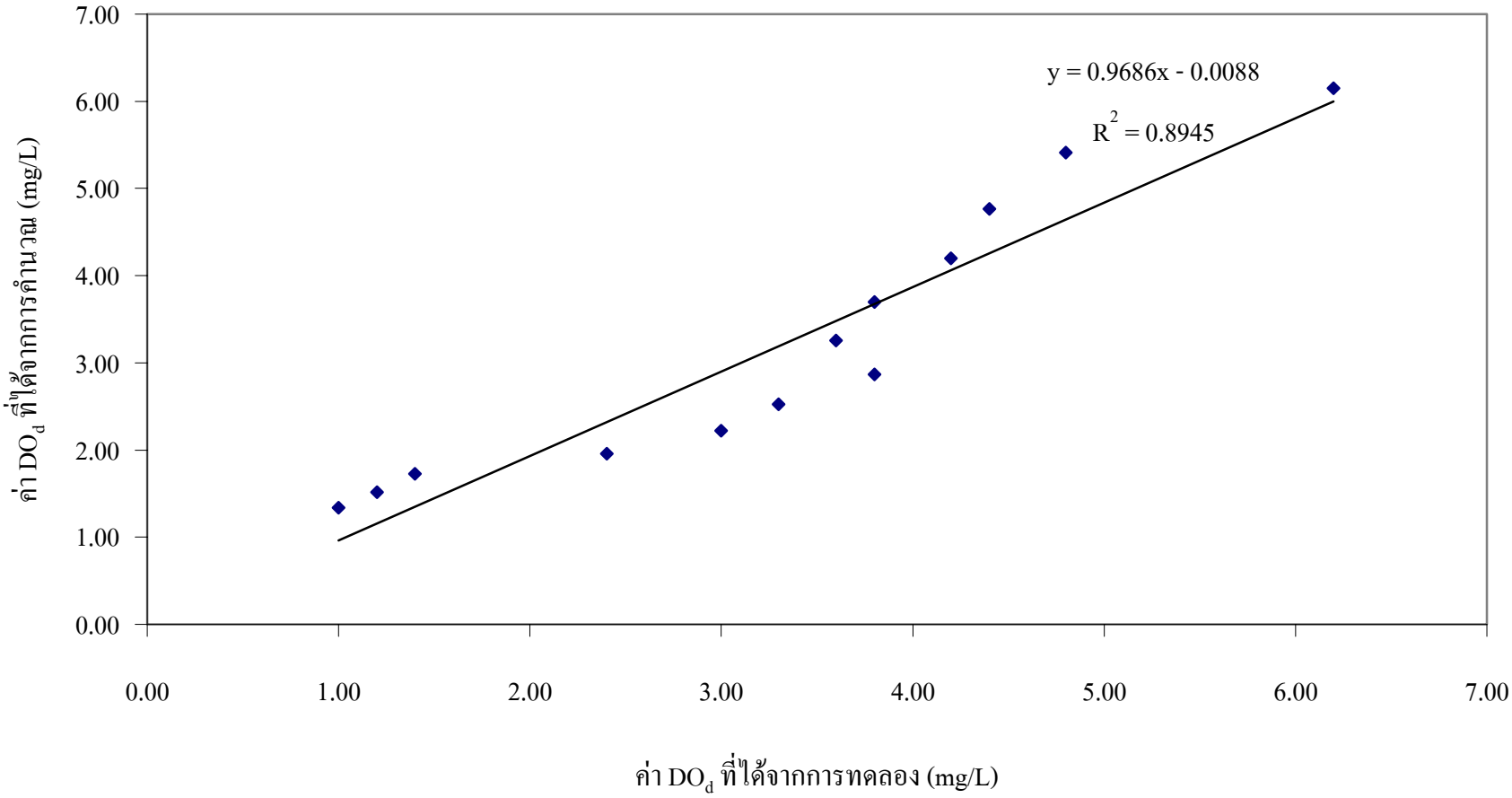
$$\ln(DO_d/DO_{sat}) = (-0.0003.L.t) \quad (4.8)$$

หรือ

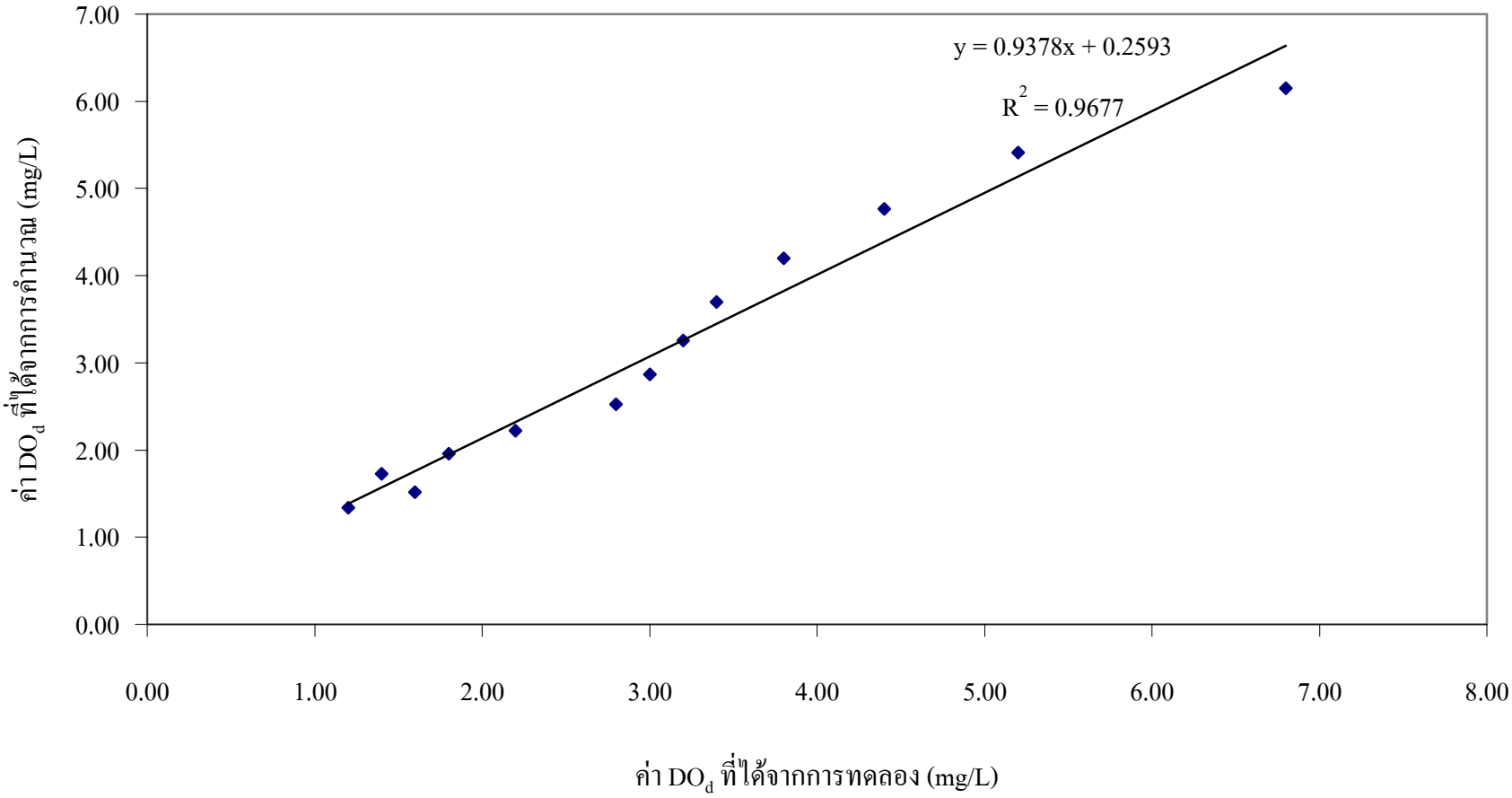
$$DO_d = DO_{sat} \exp[-(0.0003.L.t)] \quad (4.9)$$



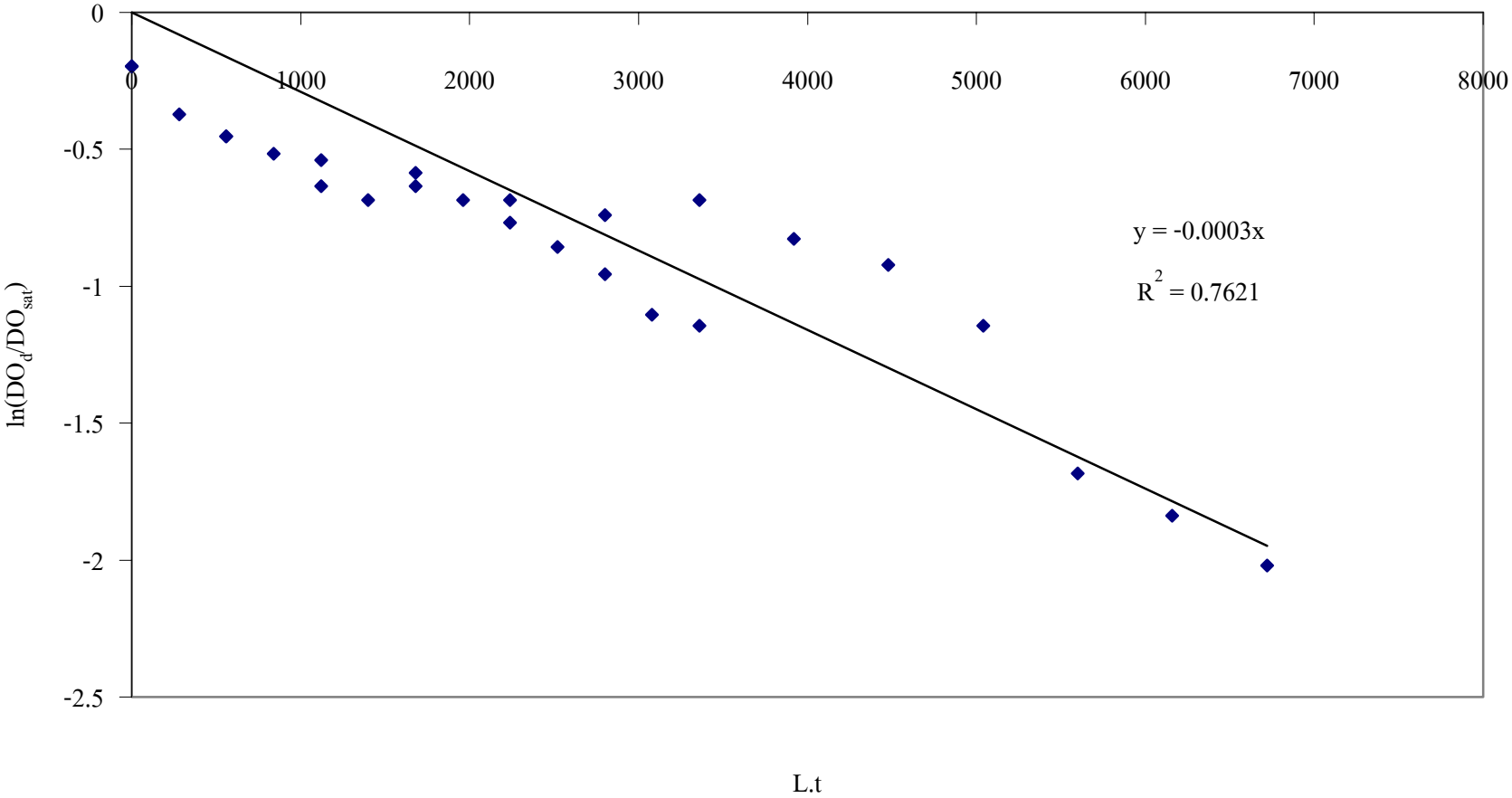
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นระหว่าง ln (DO_d/DO_{sat}) กับ L.t

ซึ่งสมการที่ 4.9 สามารถให้คำอธิบายได้ชัดเจนขึ้นตามสมมติฐานมากกว่าสมการที่ 4.4 โดยจะสังเกตเห็นว่าที่ระยะเวลาเริ่มต้นการทดลองซึ่ง t = 0 เมื่อแทนลงในสมการที่ 4.9 จะทำให้ได้ค่า $DO_d = DO_{sat}$ ซึ่งยอมรับได้ในความเป็นจริง ส่วนกราฟภาพที่ 4.29 ถึง 4.31 จะแสดงการเปรียบเทียบค่า DO_d ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.9 ในการทดลองแต่ละซ้ำ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติ t-test พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ มีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยอมรับได้เช่นเดียวกันกับสมการที่ 4.4 ดังนั้นจึงถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองแบบ สามารถนำไปใช้ได้กับกระบวนการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่

4.4.2 แบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่

เนื่องจากปลานิลสามารถกินของเสียอินทรีย์ สาหร่าย และแพลงค์ตอนพืชในน้ำชนิดอื่น ๆ ได้โดยตรง ซึ่งแพลงค์ตอนพืชเหล่านี้ต้องการสารอาหารจากของเสียอินทรีย์ อาทิเช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และกลายมาเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับปลานิล

Edwards et al (1984) กล่าวว่าในการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชที่เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับปลานิลนั้น จะใช้สารอาหารไนโตรเจน มากกว่าฟอสฟอรัส ดังนั้นในสมมติฐานสำหรับหาแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิล จึงไม่พิจารณาถึงผลกระทบของสารอาหารฟอสฟอรัส ส่วนค่าความหนาแน่นของปลา (SD) ไม่ได้นำมาพิจารณาเป็นตัวแปรในสมมติฐานสำหรับหาแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิล เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดให้ค่าความหนาแน่นของปลาอยู่ที่ 5 ตัว/$ม^2$ ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ในการเลี้ยงปลาโดยทั่วไป และผลของน้ำหนักปลาในตอนเริ่มต้นก็ไม่ต้องนำมาคิด เพราะปลาในตอนเริ่มต้นมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 16-20 กรัม

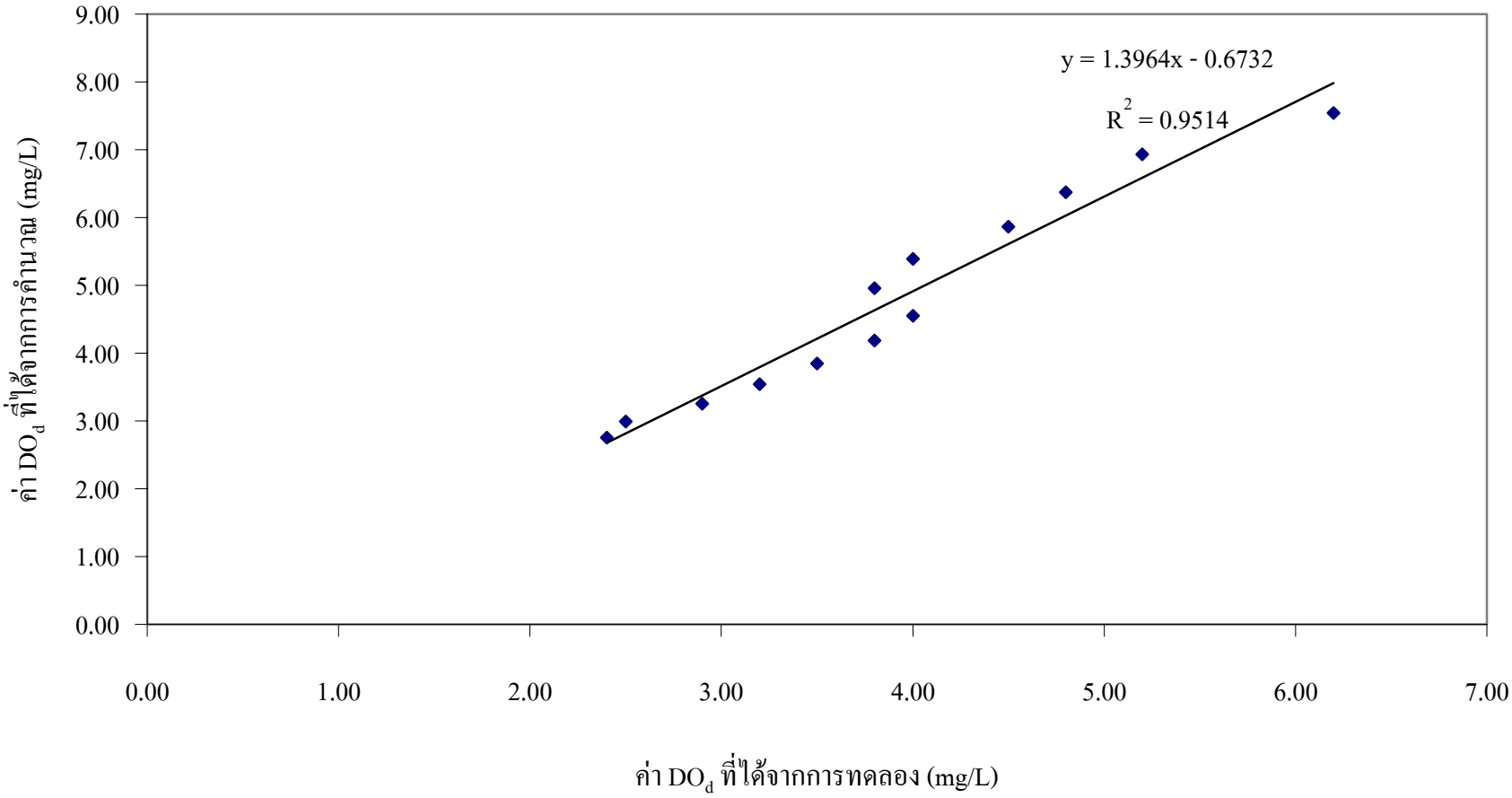
ดังนั้นจึงมีเพียง 2 ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องในการหาแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ คือ ภาระบรรทุกไนโตรเจนของมูลไก่ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของปลา และระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงปลา สามารถอธิบายในรูปแบบของฟังก์ชันดังสมการที่ 4.10

$$W_t = f(N, t) \qquad (4.10)$$

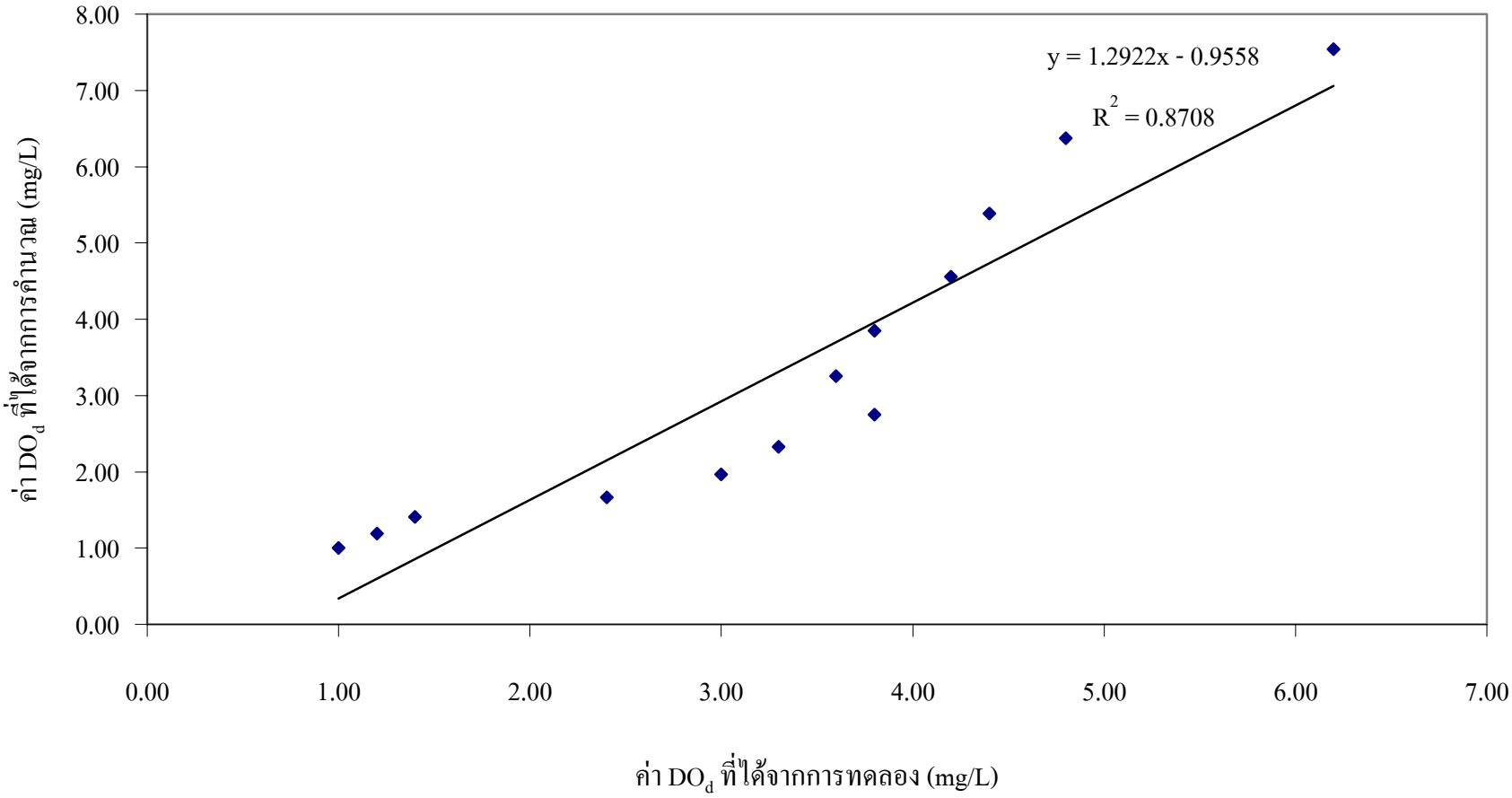
โดยที่ W_t = น้ำหนักเฉลี่ยของปลา (g) ที่เพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาใด ๆ

t = ระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงปลา, เดือน

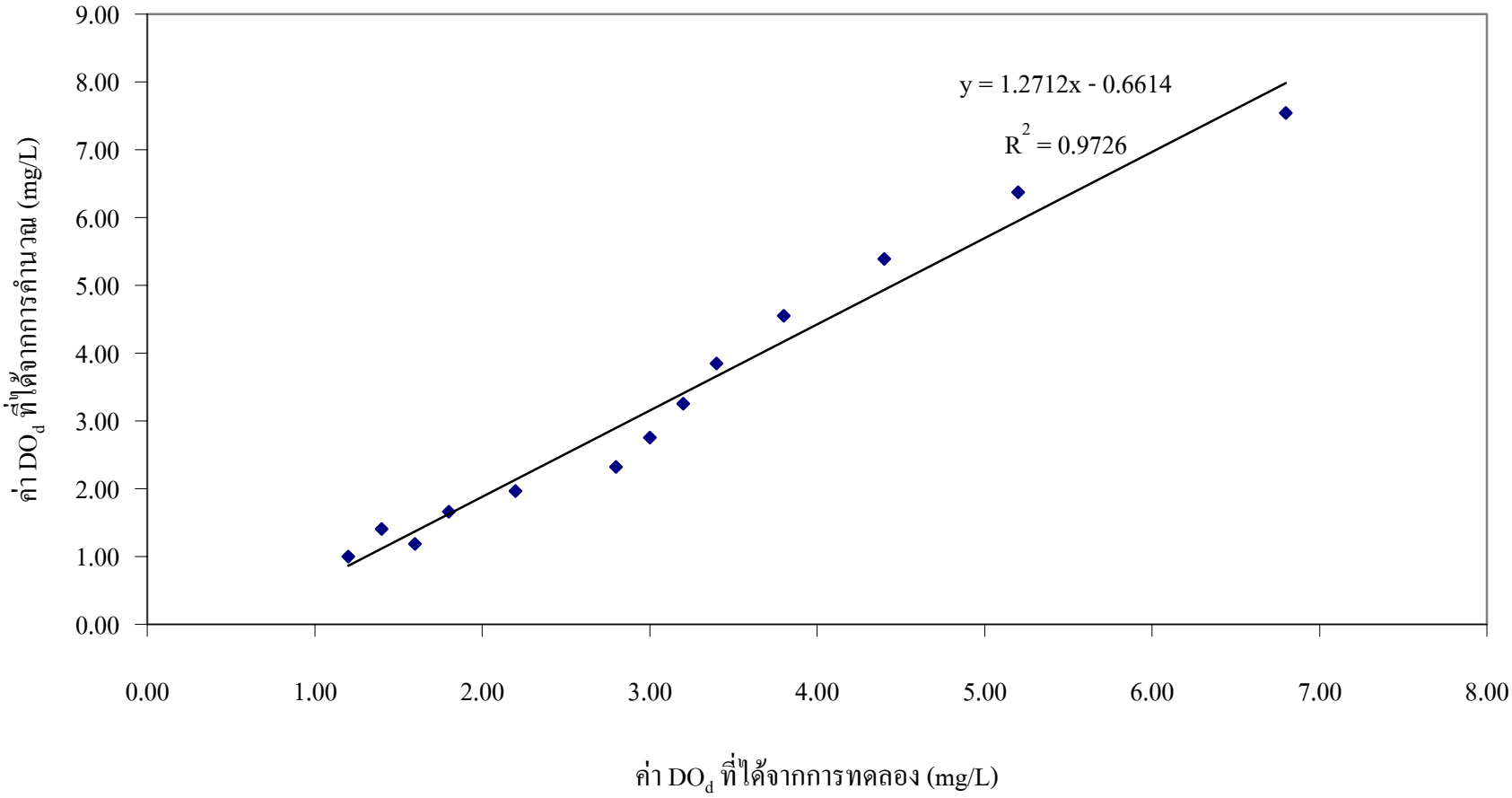
N = ภาระบรรทุกไนโตรเจนของมูลไก่ที่ใช้, kg-N/(ha-d)



ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

จากผลการทดลองเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่เพิ่มขึ้น กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง ดังกราฟภาพที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าลักษณะของกราฟที่ได้ค่อนข้างเป็นรูปตัวเอส (S-shape) ซึ่งเป็นแนวโน้มการเจริญเติบโตแบบโลจิสติค (Logistic growth) แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถนำรูปแบบการเจริญเติบโตแบบโลจิสติค มาประยุกต์ใช้ได้กับรูปแบบการเจริญเติบโตของปลาได้ เนื่องจากไม่สามารถทราบระยะเวลาที่น้ำหนักปลามีค่าสูงสุด (W_∞) และรูปแบบการเจริญเติบโตในระยะแรกเริ่มตั้งแต่เป็นตัวอ่อนของปลาได้ จึงเสนอให้ใช้รูปแบบการเจริญเติบโตแบบพาราโบลิค (Parabolic growth model) เพื่อหาแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ ดังสมการ 4.11

$$W_t = d\,(N \times t)^e \qquad (4.11)$$

โดยที่ d และ e = ค่าคงที่

ในการหาค่าคงที่ d และ e ต้องทำการจัดรูปสมการที่ 4.11 ให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น ดังสมการที่ 4.12

$$\ln (W_t) = \ln (d) + e \ln (Nt) \qquad (4.12)$$

สมการที่ 4.12 เมื่ออยู่ในรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (ภาคผนวก ก.) ซึ่งได้ผลดังแสดงในสมการที่ 4.13 และ 4.14

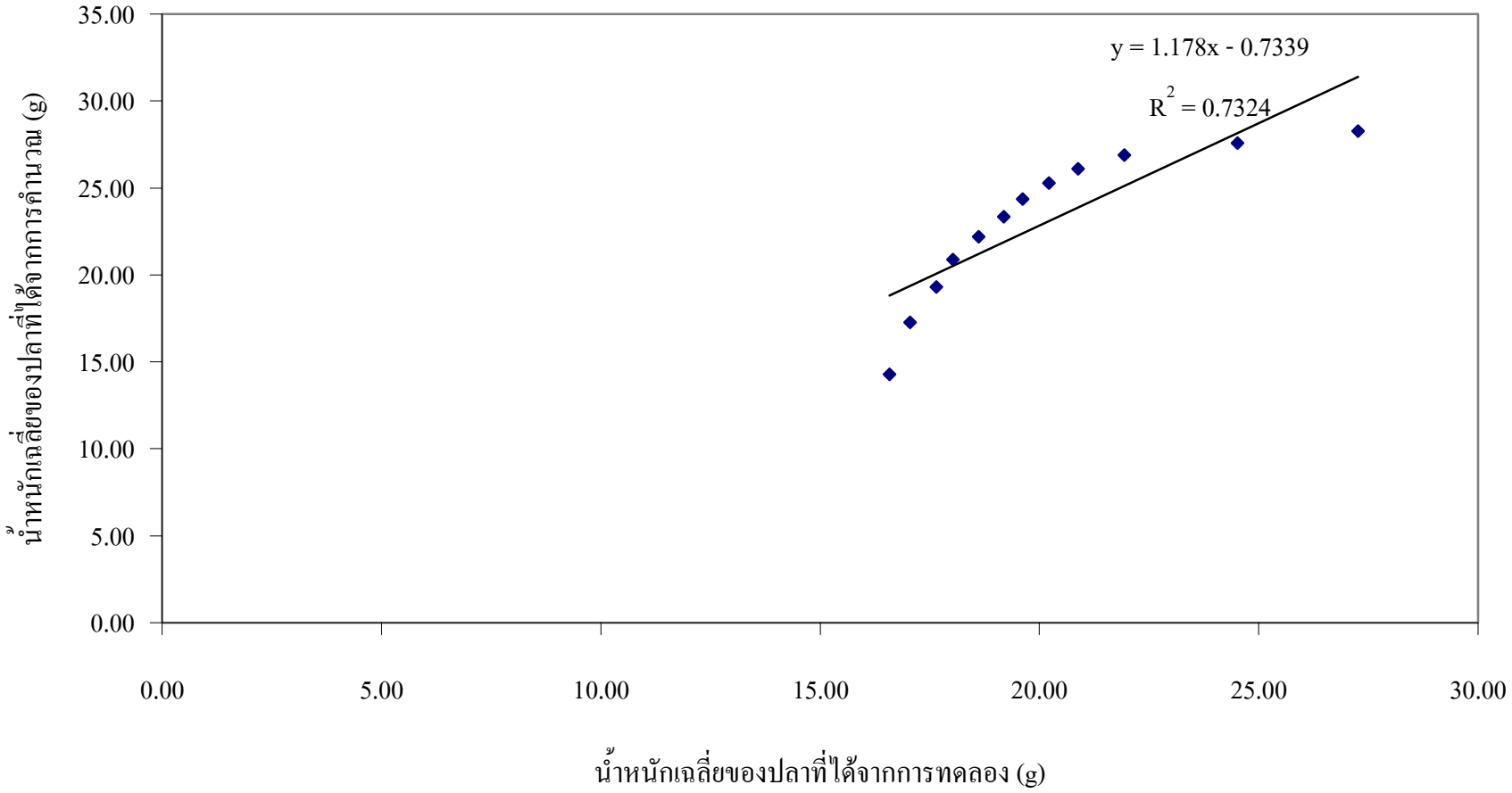
$$\ln (W_t) = 2.659 + 0.275 \ln (Nt) \qquad (4.13)$$

หรือ

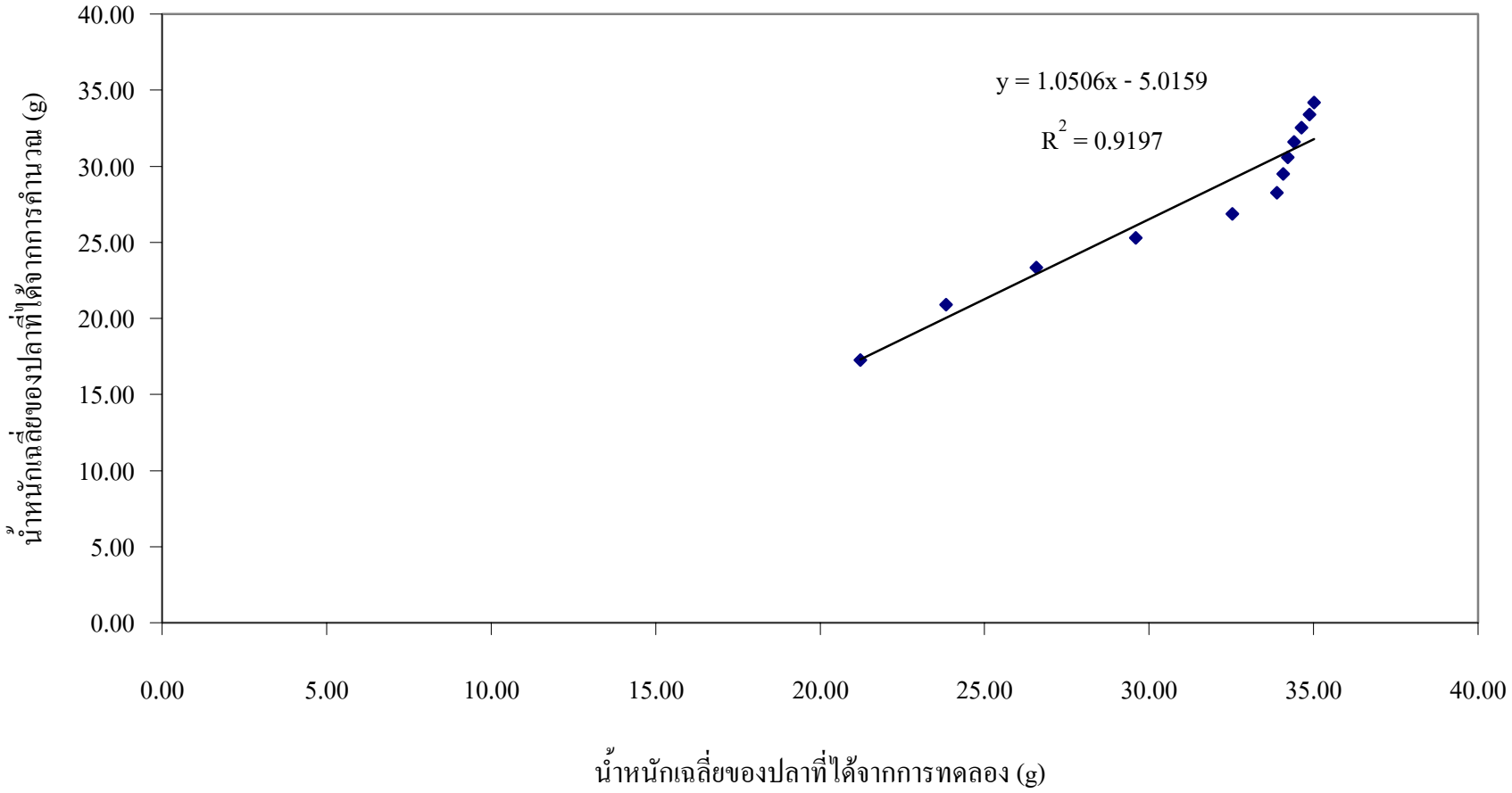
$$W_t = 14.282\,(Nt)^{0.275} \qquad (4.14)$$

ซึ่งสมการที่ 4.14 คือสมการของแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ สามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ ทำให้สามารถทราบถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาที่เหมาะสมได้ โดยกราฟภาพที่ 4.32 ถึง 4.34 จะแสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่คำนวณได้จากสมการ จากการทดลองในแต่ละซ้ำ

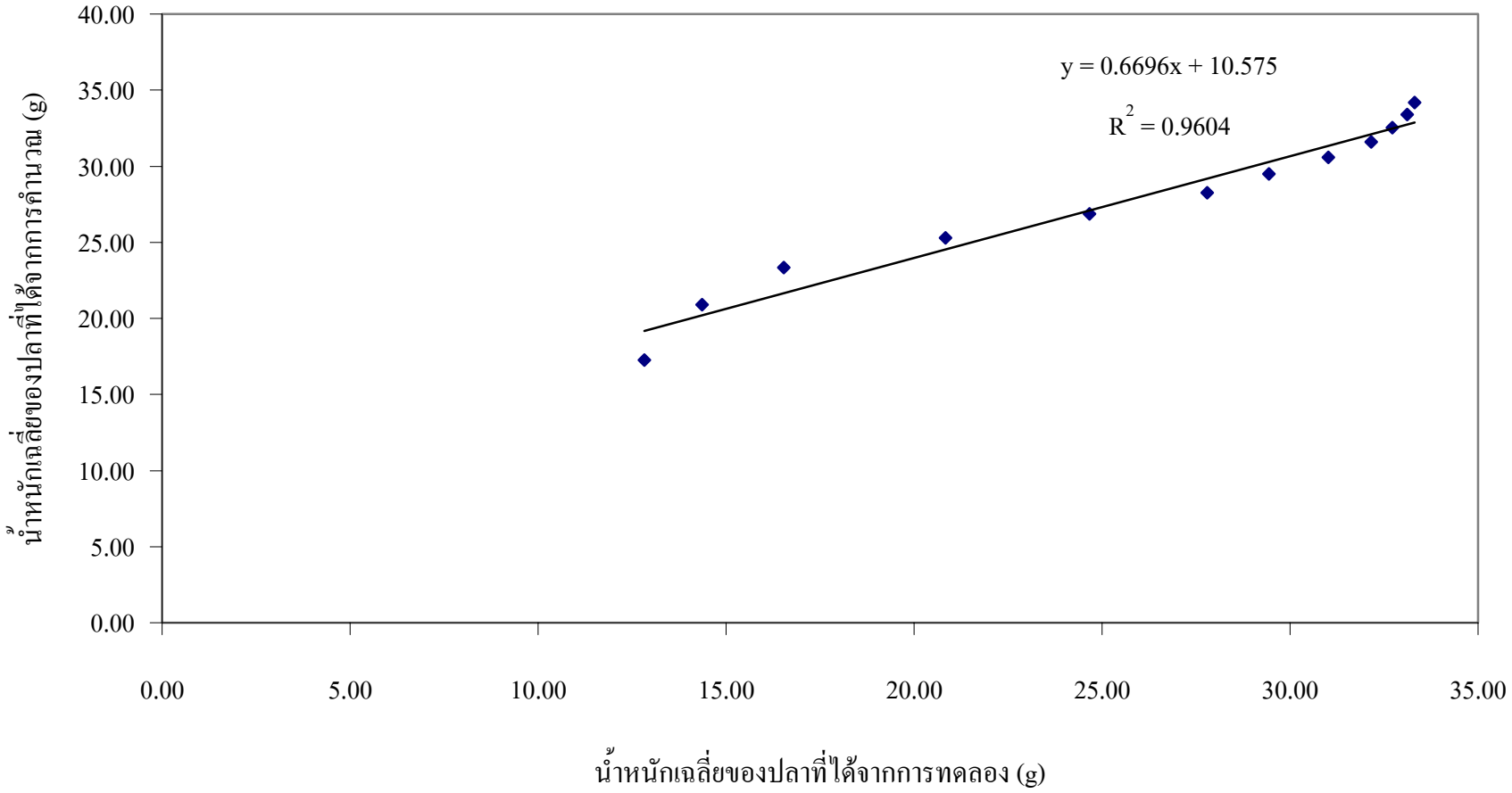
และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการไปทำการทดสอบทางสถิติ t-test พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการ มีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้นสามารถนำไปใช้ได้กับกระบวนการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่



ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก



ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

4.4.3 ตัวอย่างการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้งาน

เกษตรกรต้องการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน คือต้องการเลี้ยงไก่ร่วมกับปลานิล โดยต้องการมีบ่อปลาขนาดกว้าง 25 เมตร ยาว 50 เมตร และลึก 1.5 เมตร กำหนดระดับน้ำลึก 1 เมตร อยากทราบว่าจะต้องเลี้ยงปลา และเลี้ยงไก่กี่ตัว โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของปลาอยู่ที่ 5 ตัว/$ม^2$ และอยากทราบว่าควรทำการเปลี่ยนน้ำที่ระยะเวลาเท่าใด และผลผลิตที่ได้จะเป็นเท่าใด

โดยกำหนดให้

มูลขับถ่ายของไก่ต่อวัน	=	100 กรัม/ตัว
COD	=	135.12 mg/g
TS	=	51.51 %
N	=	2.8 % TS
อุณหภูมิน้ำ	=	30 ^{o}C
DO_{sat}	=	7.54 mg/L

1. เลือกภาระบรรทุกที่จะใช้ หากไม่ต้องการเปลี่ยนน้ำบ่อยให้ใช้ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d)

2. คำนวณหาปริมาณปลา และปริมาณไก่ที่ต้องการจากภาระบรรทุกที่กำหนด

$$\text{จำนวนปลาที่เลี้ยง} = \text{พื้นที่บ่อ} \times SD$$
$$= 25 \times 50 \times 5$$
$$= 6{,}250 \text{ ตัว}$$
$$\text{ปริมาณมูลไก่ที่ใช้ต่อวัน} = \frac{40 \times 10^{6} \text{ mg/(ha-d)} \times 1{,}250 \times 10^{-4} \text{ ha}}{135.12 \text{ mg/g}}$$
$$= 37{,}000 \text{ g/d}$$
$$\text{จำนวนไก่ที่เลี้ยง} = \frac{37{,}000 \text{ g/d}}{100 \text{ g/ตัว}}$$
$$= 370 \text{ ตัว}$$

ดังนั้นต้องทำการเลี้ยงไก่ 370 ตัว ต่อ ปลา 6,250 ตัว

3. คำนวณหาระยะเวลาที่ DO_d มีค่าวิกฤต

เนื่องจากปลานิลสามารถมีชีวิตอยู่ได้ดีที่ DO_d = 2 mg/L

ดังนั้นสามารถใช้สมการที่ 4.8 คำนวณหาระยะเวลาที่ DO_d มีค่า 2 mg/L

$$\ln (DO_d/DO_{sat}) = -(0.0003.L.t) \quad (4.8)$$

โดย L = อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของมูลไก่ที่เติม, kg COD/(ha-d)

$\ln (2.0/7.54) = -(0.0003 \times 40t)$

t = 110.60 วัน ประมาณ 111 วัน

หมายความว่าที่ระยะเวลา 111 วัน จะมีค่า DO_d เป็น 2 mg/L หลังจากนั้นควรทำการเปลี่ยนน้ำ

4. คำนวณหาผลผลิตปลาที่ระยะเวลา 111 วัน หรือ 3.7 เดือน จากสมการ 4.14

$$W_t = 14.282 (Nt)^{0.275} \quad (4.14)$$

$$N = \frac{37 \text{ kg/d} \times 0.5151 \times 0.028}{1{,}250 \times 10^{-4} \text{ ha}}$$

$$= 4.27 \text{ kg N/ha-d}$$

$$W_t = 14.282 (4.27 \times 3.7)^{0.275}$$

= 30.51 g ต่อปลา 1 ตัว

สมมติให้อัตราการตายของปลา 20 %

ดังนั้นผลผลิตของปลา ณ เวลา 100 วัน $= \frac{6{,}250 \times 0.8 \times 30.51}{1000}$

= 152.55 kg

ซึ่งสามารถจับขายเป็นอาหารสัตว์เพื่อลดอันตรายจากการบริโภคโดยตรงได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. พบว่าที่ระยะเวลา 3 เดือนปลานิลสามารถดำรงชีพอยู่ได้ที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) โดยมีอัตราการรอดชีวิตคิดเป็นร้อยละ 100 และ 75 ซึ่งน้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัวในสัปดาห์สุดท้ายคือ 27.26 และ 35.01 g เมื่อนำมาคิดเป็นผลผลิตต่อปีจะได้ 5,923 และ 7,606 kg/(ha-yr) ตามลำดับ

2. ค่าตัวแปรทางคุณภาพน้ำในสัปดาห์สุดท้ายที่ภาระบรรทุก 40 และ 80 kg COD/(ha-d) คือ COD = 137 และ 290 mg/L, BOD = 64 และ 96 mg/L, DO_d = 2.4 และ 1.0 mg/L, TKN = 8.12 และ 19.04 mg/L, TP = 17.40 และ 23.22 mg/L, TS = 520 และ 612 mg/L, TSS = 96 และ 168 mg/L, Chlorophyll a = 0.67 และ 1.75 mg/L, Alkalinity = 236 และ 240 mg/L as $CaCO_3$ pH = 8.85 และ 8.54 และ Total coliform bacteria = 3.50×10^3 และ 1.65×10^4 MPN/100 mL ตามลำดับ นอกจากนี้ในบ่อที่ไม่ได้ทำการเลี้ยงปลาที่ภาระบรรทุกเดียวกัน พบว่าเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วจะมีค่า COD และ BOD ต่ำกว่าในบ่อที่ทำการเลี้ยงปลา เนื่องจากมีสาหร่าย และแบคทีเรียช่วยในกระบวนการบำบัด

3. คุณภาพน้ำที่ระยะเวลา 3 เดือน ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ (ภาคผนวก ค.) จึงยังไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ควรมีการบำบัดคุณภาพน้ำขั้นต้นก่อน (Pre-treatment) เช่น บ่อพักน้ำเสีย ซึ่งควรมีระยะเวลาเก็บกักไม่น้อยกว่า 40 วัน (ภาคผนวก ง.)

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้า สำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่คือ $DO_d = DO_{sat} \exp [- (0.0003Lt)]$ สามารถใช้ทำนายหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตอนเช้ามืดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่คือ $W_t = 14.282 (Nt)^{0.275}$ สามารถใช้ทำนายหาปริมาณน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ โดยพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องเป็นไปตามการคำนวณด้วยสมการ มีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงถือว่าแบบจำลองข้างต้น สามารถนำไปใช้ได้กับกระบวนการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองเลี้ยงปลาในบ่อดินที่มีขนาดใหญ่ เพราะอาจเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้
2. ควรทำการแปรเปลี่ยนค่าความหนาแน่นของปลา เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความหนาแน่นของปลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่
3. ควรมีการทดลองเลี้ยงปลาที่มีผู้นิยมบริโภค เช่น ปลาดุก ซึ่งเป็นปลาที่มีราคา
4. ควรมีการศึกษาถึงผลกระทบจากปริมาณสารปนเปื้อนในเนื้อปลา
5. ควรมีการทดลองนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานจริง เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้

รายการอ้างอิง

กรมประมง. (2539). **การเลี้ยงปลานิล**. กรุงเทพฯ: กองประมงน้ำจืด. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมประมง. (2540). **การเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน**. กรุงเทพฯ: กองประมงน้ำจืด. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล และ พินิจ สีห์พิทักษ์เกียรติ. (2540). **การพัฒนาการเลี้ยงปลาแบบผสมผสานในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: เอกสารเผยแพร่ ฉบับที่ 32. กองประมงน้ำจืด. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. (2540). **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุมน. (2535). **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. (2525). **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2540). **เทคโนโลยีการหมุนเวียนทรัพยากรมาใช้ใหม่**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Alabaster, J.S. and Lloyd, R. (1980). **Water Quality Criteria for Freshwater Fish**. Butterworths, London.

Allen, G. H. and Hepher, B. (1976). **Recycling of Waste through Aquaculture and Constraints to Wider Application**. FAO Technical Conference on Aquaculture, Japan.

APHA, AWWA and WPCF. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. (18^{th} Edition) American Public Health Association. Washington D.C.

Bhattarai, K. K. (1985). **Septage Recycling in Waste Stabilization Ponds**. Doctoral dissertation No. EV-85-1, Asian Institute of Technology, Thailand.

Boyd, C. E. (1979). **Water Quality in Warmwaters Fish Ponds**. Craftmaster Printers, Alabama.

Edwards, P. (1985). **Aquaculture: a Component of Low Cost Sanitation Technology**. UNDP Project Management Report No. 3, World Bank, Washington D.C.

Hickling, C. F. (1971). **Fish Culture.** (revised edition) Faber & Faber, London.

Hopkins, K. D. and Cruz, E. M. (1982). **The ICLARM-CLSU Integrated Animal-Fish Farming Project: Final Report**. ICLARM Technical Reports No. 5, Central Luzon State University, Philippines.

Huet, M. and Timmermans, J. A. (1971). **Breeding and Cultivation of Fish**. Fishing News (Book) Ltd., London.

Metcalf & Eddy, Inc. (1991). **Wastewater Engineering:Treatment Disposal Reuse.** (3rd ed) McGraw-Hill, Singapore.

National Academy of Sciences. (1976). **Making Aquatic Weeds Useful: Some Perspectives for Developing Countries**. National Academy of Sciences, Washington D.C.

Polprasert, C. (1996). **Organic Waste Recycling**. (2nd ed) Wiley, Chichester.

Polprasert, C., Edwards, P., Pacharaprakiti, C., Rajput, V. S., and Suthirawat, S. (1982). **Recycling Rural and Urban Nightsoil in Thailand**. AIT research Report No. 143. Asian Institute of Technology, Thailand.

Polprasert, C., Udom, S., and Choudry, K. H. (1984). **Septage Disposal in Waste Recycling Ponds**. Water Research., Vol. 18, No. 5, pp. 519-528.

Sawyer, C. N., McCarty, P. L., and Parkin, G. F. (1994). **Chemistry for Environmental Engineering**. (4th ed) McGraw-Hill, New York.

Sharma, H. P., Polprasert, C., and Bhattalai, K. K. (1987). **Physico-chemical Characteristics of Fish Ponds fed with Septage**. Resources and Conservation, Vol. 13, pp. 207-215.

Sharma, H. P. (1985). **Physico-chemical Parameters in Sludge Loaded Fish Ponds**. M.S.thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.

Stickney, H. S. (1979). **Principles of Warmwater Aquaculture**. Willey-Intersciences New York, Toronto.

Swingle, H. S. (1969). **Method of Analysis for Waters, Organic Matter and Pond Bottom Solid Used in Fisheries Research**. Auburn University, Alabama.

Udom, S. (1979). **Septic Tank Sludge Recycling into Fish.** M.S.thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.

Wolf, K. (1957). **Blue-sac Disease Investigations, Microbiology and Laboratory Induction**. Progressive Fish Culturist, Vol.19, pp. 14-18.

ภาคผนวก ก
ข้อมูล

ตารางที่1ก ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลไก่

Sample	COD (mg/g)	TS (%)	MS (%)	VS (%)	Ash (%)	N (%)	P (%)
1	133.78	48.59	51.41	63.85	36.15	3.19	1.81
2	107.02	51.86	48.14	63.49	36.51	3.00	1.92
3	107.02	52.11	47.89	68.75	31.25	2.61	2.00
4	147.16	52.43	47.57	64.86	35.14	3.50	2.02
5	173.91	50.98	49.02	62.80	37.20	2.20	1.98
6	107.02	52.42	47.58	65.31	34.69	2.40	1.84
7	147.16	51.53	48.47	64.70	35.30	2.20	1.84
8	147.16	51.38	48.62	66.97	33.03	2.80	1.72
9	120.40	52.53	47.47	65.97	34.03	3.00	1.76
10	160.54	51.23	48.77	63.87	36.13	3.10	1.81
Average	135.12	51.51	48.49	65.06	34.94	2.80	1.87
Std. Deviation	23.97	1.16	1.16	1.79	1.79	0.44	0.10

อัตราส่วนระหว่าง COD : N : P = 100 : 10.8 : 7.2

ตารางที่ 2ก ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]				
		40	80	160		320
		มีปลา	มีปลา	มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
28/7/44	7	27.89	37.85	67.73	59.76	119.52
4/8/44	14	52.85	81.30	162.60	117.89	247.97
11/8/44	21	81.63	134.69	220.41	195.92	
18/8/44	28	129.16	189.82			
25/8/44	35	139.10	206.77			
1/9/44	42	146.62	240.60			
8/9/44	49	152.99	283.58			
15/9/44	56	155.04	306.20			
22/9/44	63	164.75	314.18			
29/9/44	70	152.09	304.18			
6/10/44	77	162.79	298.45			
13/10/44	84	137.40	290.08			

ตารางที่ 3ก ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]		
		80		160
		มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
29/9/44	7	49.43	45.63	79.85
6/10/44	14	77.52	93.02	155.04
13/10/44	21	106.87	152.67	229.01
20/10/44	28	147.17	181.13	294.34
27/10/44	35	190.48	216.12	333.33
3/11/44	42	215.61	293.68	
10/11/44	49	240.88	255.47	
17/11/44	56	291.83	237.35	
24/11/44	63	281.25	210.94	
1/12/44	70	298.80	239.04	
8/12/44	77	291.34	251.97	
15/12/44	84	307.09	263.78	

ตารางที่ 4ก ผลการวิเคราะห์ค่า BOD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]				
		40	80	160		320
		มีปลา	มีปลา	มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
28/7/44	7	20.00	16.00	25.00	20.00	81.00
4/8/44	14	27.50	35.50	92.00	64.00	104.00
11/8/44	21	39.00	49.00	144.00	106.00	
18/8/44	28	62.00	94.00			
25/8/44	35	64.00	102.00			
1/9/44	42	72.00	114.00			
8/9/44	49	77.00	120.00			
15/9/44	56	76.00	116.00			
22/9/44	63	87.00	130.00			
29/9/44	70	69.00	108.00			
6/10/44	77	72.00	102.00			
13/10/44	84	64.00	96.00			

ตารางที่ 5ก ผลการวิเคราะห์ค่า BOD (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]		
		80		160
		มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
29/9/44	7	18.50	17.00	28.00
6/10/44	14	27.00	39.00	72.00
13/10/44	21	39.00	50.00	102.00
20/10/44	28	42.00	73.00	105.00
27/10/44	35	60.00	78.00	138.00
3/11/44	42	66.00	84.00	
10/11/44	49	90.00	72.00	
17/11/44	56	132.75	82.50	
24/11/44	63	90.00	60.00	
1/12/44	70	135.00	75.00	
8/12/44	77	105.00	90.00	
15/12/44	84	135.00	105.00	

ตารางที่ 6ก ผลการวิเคราะห์ค่า DO (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]				
		40	80	160		320
		มีปลา	มีปลา	มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
21/7/44	0	6.2	6.2	6.4	6.0	6.0
28/7/44	7	5.2	4.8	3.4	3.8	1.4
4/8/44	14	4.8	4.4	1.6	2.0	1.0
11/8/44	21	4.5	4.2	1.0	1.3	
18/8/44	28	4.0	3.8			
25/8/44	35	3.8	3.6			
1/9/44	42	4.0	3.8			
8/9/44	49	3.8	3.3			
15/9/44	56	3.5	3.0			
22/9/44	63	3.2	2.4			
29/9/44	70	2.9	1.4			
6/10/44	77	2.5	1.2			
13/10/44	84	2.4	1.0			

ตารางที่ 7ก ผลการวิเคราะห์ค่า DO (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]		
		80		160
		มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
22/9/44	0	6.8	6.9	7.4
29/9/44	7	5.2	4.8	3.1
6/10/44	14	4.4	3.5	1.6
13/10/44	21	3.8	3.0	0.8
20/10/44	28	3.4	3.2	0.5
27/10/44	35	3.2	2.6	0.2
3/11/44	42	3.0	2.1	
10/11/44	49	2.8	1.3	
17/11/44	56	2.2	1.5	
24/11/44	63	1.8	1.0	
1/12/44	70	1.4	0.8	
8/12/44	77	1.6	0.8	
15/12/44	84	1.2	0.6	

ตารางที่ 8ก ผลการวิเคราะห์ค่า Nitrogen (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]														
		40			80			160			160			320		
		มีปลา			มีปลา			มีปลา			ไม่มีปลา			มีปลา		
		NH_3-N	Org-N	Total	NH_3-N	Org-N	Total	NH_3-N	Org-N	Total	NH_3-N	Org-N	Total	NH_3-N	Org-N	Total
28/7/44	7	0.28	2.80	3.08	0.84	5.04	5.88	4.20	6.72	10.92	4.76	5.88	10.64	10.08	8.96	19.04
4/8/44	14	0.28	3.64	3.92	0.84	5.88	6.72	9.24	8.96	18.20	9.52	7.84	17.36	20.16	12.32	32.48
11/8/44	21	0.28	4.48	4.76	2.80	5.88	8.68	17.64	9.24	26.88	12.60	9.52	22.12			
18/8/44	28	0.00	5.04	5.04	1.96	10.08	12.04									
25/8/44	35	0.28	5.04	5.32	1.12	11.06	12.18									
1/9/44	42	0.56	5.04	5.60	0.00	14.42	14.42									
8/9/44	49	0.28	5.60	5.88	1.40	14.98	16.38									
15/9/44	56	0.42	6.02	6.44	1.54	16.66	18.20									
22/9/44	63	0.84	6.16	7.00	1.12	21.14	22.26									
29/9/44	70	0.28	5.88	6.16	1.40	18.48	19.88									
6/10/44	77	0.84	10.08	10.92	2.24	19.04	21.28									
13/10/44	84	0.84	7.28	8.12	4.20	14.84	19.04									

ตารางที่ 9ก ผลการวิเคราะห์ค่า Nitrogen (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]								
		80			80			160		
		มีปลา			ไม่มีปลา			มีปลา		
		NH_3-N	Org-N	Total	NH_3-N	Org-N	Total	NH_3-N	Org-N	Total
29/9/44	7	0.28	4.20	4.48	0.00	3.64	3.64	2.52	5.32	7.84
6/10/44	14	0.84	5.60	6.44	2.52	4.48	7.00	5.32	7.56	12.88
13/10/44	21	0.84	6.16	7.00	3.36	6.16	9.52	6.16	12.88	19.04
20/10/44	28	1.68	7.28	8.96	2.24	7.56	9.80	12.04	15.12	27.16
27/10/44	35	1.40	8.96	10.36	1.68	8.40	10.08	5.88	22.40	28.28
3/11/44	42	1.68	11.48	13.16	4.20	12.32	16.52			
10/11/44	49	0.00	13.44	13.44	5.04	11.20	16.24			
17/11/44	56	3.92	15.68	19.60	3.92	10.22	14.14			
24/11/44	63	0.28	14.28	14.56	4.76	10.64	15.40			
1/12/44	70	0.84	15.12	15.96	6.72	10.08	16.80			
8/12/44	77	2.52	16.52	19.04	8.96	12.32	21.28			
15/12/44	84	2.24	21.28	23.52	8.40	14.28	22.68			

ตารางที่ 10ก ผลการวิเคราะห์ค่า Phosphorus (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]				
		40	80	160		320
		มีปลา	มีปลา	มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
28/7/44	7	0.62	2.67	11.23	15.34	20.82
4/8/44	14	2.33	7.12	21.85	23.22	41.37
11/8/44	21	3.01	12.26	30.07	33.49	
18/8/44	28	1.64	13.29			
25/8/44	35	2.67	14.66			
1/9/44	42	3.70	17.74			
8/9/44	49	6.10	21.16			
15/9/44	56	11.23	22.53			
22/9/44	63	12.60	23.22			
29/9/44	70	14.32	26.30			
6/10/44	77	16.37	24.59			
13/10/44	84	17.40	23.22			

ตารางที่ 11ก ผลการวิเคราะห์ค่า Phosphorus (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]		
		80		160
		มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
29/9/44	7	0.96	5.07	6.44
6/10/44	14	2.67	8.84	10.89
13/10/44	21	6.44	10.55	21.16
20/10/44	28	7.81	12.6	29.04
27/10/44	35	9.86	17.74	31.44
3/11/44	42	12.6	24.93	
10/11/44	49	13.97	18.08	
17/11/44	56	20.82	22.19	
24/11/44	63	18.77	16.71	
1/12/44	70	22.88	21.51	
8/12/44	77	22.19	22.88	
15/12/44	84	24.25	23.56	

ตารางที่ 12ก ผลการวิเคราะห์ค่า ของแข็ง (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]											
		40 มีปลา						80 มีปลา					
		TS		TSS		TDS		TS		TSS		TDS	
		Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat
28/7/44	7	376	80	44	12	332	68	408	84	60	24	348	60
4/8/44	14	404	140	64	20	340	120	448	112	64	28	384	84
11/8/44	21	412	220	84	60	328	160	480	208	96	88	384	120
18/8/44	28	420	168	68	44	352	124	524	244	92	76	432	168
25/8/44	35	432	192	64	44	368	148	600	296	100	92	500	204
1/9/44	42	448	192	40	28	408	164	608	248	116	72	492	176
8/9/44	49	488	196	68	52	420	144	688	376	164	132	524	244
15/9/44	56	508	280	80	60	428	220	752	428	192	148	560	280
22/9/44	63	488	248	104	68	384	180	756	432	216	160	540	272
29/9/44	70	476	172	108	80	368	92	716	360	224	180	492	180
6/10/44	77	552	252	116	72	436	180	672	304	172	116	500	188
13/10/44	84	520	148	96	60	424	88	612	248	168	72	444	176

ตารางที่ 12ก (ต่อ)

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]																	
		160 มีปลา						160 ไม่มีปลา						320 มีปลา					
		TS		TSS		TDS		TS		TSS		TDS		TS		TSS		TDS	
		Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat
28/7/44	7	580	128	80	28	500	100	576	124	64	44	512	80	664	172	96	40	568	132
4/8/44	14	668	336	92	80	576	256	596	236	92	52	504	184	820	336	116	80	704	256
11/8/44	21	700	320	124	88	576	232	640	284	104	76	536	208						

ตารางที่ 13ก ผลการวิเคราะห์ค่า ของแข็ง (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]																	
		80 มีปลา						80 ไม่มีปลา						160 มีปลา					
		TS		TSS		TDS		TS		TSS		TDS		TS		TSS		TDS	
		Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat	Total	Volat
29/9/44	7	364	80	36	20	328	60	376	96	40	16	336	80	408	112	40	28	368	84
6/10/44	14	400	108	40	24	360	84	424	140	56	24	368	116	480	184	72	36	408	148
13/10/44	21	408	152	48	20	360	132	508	176	88	72	420	104	612	224	132	72	480	152
20/10/44	28	548	236	80	64	468	172	644	308	140	100	504	208	828	384	188	144	640	240
27/10/44	35	568	268	116	84	452	184	640	292	156	104	484	188	884	432	196	148	688	284
3/11/44	42	584	348	128	88	456	260	664	360	176	136	488	224						
10/11/44	49	672	316	140	124	532	192	704	340	104	100	600	240						
17/11/44	56	748	392	272	200	476	192	736	320	92	40	644	280						
24/11/44	63	680	360	128	112	552	248	708	308	40	28	668	280						
1/12/44	70	648	292	136	124	512	168	688	284	84	60	604	224						
8/12/44	77	708	340	88	72	620	268	724	296	64	56	660	240						
15/12/44	84	824	392	196	180	628	212	788	352	148	108	640	244						

ตารางที่ 14ก ผลการวิเคราะห์ค่า Chlorophyll a (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]				
		40	80	160		320
		มีปลา	มีปลา	มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
28/7/44	7	0.11	0.14	0.41	0.44	0.62
4/8/44	14	0.20	0.33	0.82	0.53	0.26
11/8/44	21	0.53	0.63	0.69	0.34	
18/8/44	28	0.93	1.24			
25/8/44	35	0.26	1.88			
1/9/44	42	0.35	2.14			
8/9/44	49	0.42	2.69			
15/9/44	56	0.58	2.88			
22/9/44	63	0.40	3.53			
29/9/44	70	0.55	2.63			
6/10/44	77	0.98	2.18			
13/10/44	84	0.67	1.75			

ตารางที่ 15ก ผลการวิเคราะห์ค่า Chlorophyll a (mg/L) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]		
		80		160
		มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
29/9/44	7	0.15	0.19	0.66
6/10/44	14	0.20	0.31	0.77
13/10/44	21	0.44	0.73	1.34
20/10/44	28	0.55	1.84	2.21
27/10/44	35	1.09	1.91	1.98
3/11/44	42	2.09	1.29	
10/11/44	49	3.23	0.91	
17/11/44	56	3.78	0.69	
24/11/44	63	2.41	0.54	
1/12/44	70	1.42	0.34	
8/12/44	77	1.25	0.28	
15/12/44	84	1.48	0.33	

ตารางที่ 16ก ผลการวิเคราะห์ค่า Alkalinity (mg/L as $CaCo_3$) และค่า pH ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]														
		40 มีปลา			80 มีปลา			160 มีปลา			160 ไม่มีปลา			320 มีปลา		
		Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น	Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น	Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น	Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น	Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น
28/7/44	7	20	208	8.75	28	226	8.64	0	234	8.35	0	242	7.90	28	300	8.56
4/8/44	14	22	212	8.96	0	234	7.81	0	272	7.69	0	256	7.63	0	376	7.51
11/8/44	21	52	216	9.48	0	240	8.16	0	318	7.27	0	306	7.57			
18/8/44	28	72	218	8.57	12	238	8.41									
25/8/44	35	28	204	8.49	0	240	7.98									
1/9/44	42	16	212	8.39	0	250	7.78									
8/9/44	49	0	206	7.82	0	242	7.53									
15/9/44	56	14	214	8.44	0	252	8.01									
22/9/44	63	20	222	8.69	12	250	8.53									
29/9/44	70	0	216	8.15	18	234	8.52									
6/10/44	77	0	220	8.01	0	216	7.6									
13/10/44	84	16	236	8.85	24	240	8.54									

ตารางที่ 17ก ผลการวิเคราะห์ค่า Alkalinity (mg/L as $CaCo_3$) และค่า pH ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุก 80 kgCOD/(ha-d) มีปลา			ภาระบรรทุก 80 kgCOD/(ha-d) ไม่มีปลา			ภาระบรรทุก 160 kgCOD/(ha-d) มีปลา		
		Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น	Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น	Phe.Alk.	Total Alk.	pH เริ่มต้น
29/9/44	7	20	174	9.22	26	180	9.65	30	234	9.24
6/10/44	14	0	212	7.75	32	188	8.99	16	214	8.43
13/10/44	21	8	216	8.44	26	222	9.43	4	272	8.32
20/10/44	28	6	212	8.30	14	230	8.45	0	276	7.87
27/10/44	35	10	224	8.37	18	250	8.58	6	284	8.40
3/11/44	42	16	242	8.40	36	260	8.78			
10/11/44	49	0	252	8.05	0	296	8.09			
17/11/44	56	20	242	8.81	20	288	8.47			
24/11/44	63	62	246	8.97	24	300	8.50			
1/12/44	70	14	264	8.48	32	304	8.62			
8/12/44	77	0	304	7.96	0	334	8.00			
15/12/44	84	24	320	8.37	48	356	8.38			

ตารางที่ 18ก ผลการวิเคราะห์ค่า Coliform Bacteria (MPN/100 mL) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุก 40 kgCOD/(ha-d)			ภาระบรรทุก 80 kgCOD/(ha-d)		
		มีปลา			มีปลา		
		โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total	โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total
28/7/44	7	1.33E+03	0.00E+00	1.33E+03	2.67E+03	0.00E+00	2.67E+03
4/8/44	14	3.67E+03	0.00E+00	3.67E+03	4.33E+03	6.67E+02	5.00E+03
11/8/44	21	9.00E+03	0.00E+00	9.00E+03	5.00E+03	0.00E+00	5.00E+03
18/8/44	28	4.67E+03	0.00E+00	4.67E+03	1.57E+04	0.00E+00	1.57E+04
25/8/44	35	2.60E+04	5.00E+02	2.65E+04	3.15E+04	1.00E+03	3.25E+04
1/9/44	42	1.40E+04	0.00E+00	1.40E+04	4.75E+04	4.50E+03	5.20E+04
8/9/44	49	4.67E+03	0.00E+00	4.67E+03	6.33E+03	0.00E+00	6.33E+03
15/9/44	56	1.27E+04	0.00E+00	1.27E+04	2.77E+04	0.00E+00	2.77E+04
22/9/44	63	4.00E+03	0.00E+00	4.00E+03	1.63E+04	1.00E+03	1.73E+04
29/9/44	70	3.50E+03	5.00E+02	4.00E+03	1.55E+04	5.00E+02	1.60E+04
6/10/44	77	2.50E+03	0.00E+00	2.50E+03	1.35E+04	0.00E+00	1.35E+04
13/10/44	84	3.50E+03	0.00E+00	3.50E+03	1.55E+04	1.00E+03	1.65E+04

ตารางที่ 18ก (ต่อ)

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุก 160 kgCOD/(ha-d) มีปลา			ภาระบรรทุก 160 kgCOD/(ha-d) ไม่มีปลา			ภาระบรรทุก 320 kgCOD/(ha-d) มีปลา		
		โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total	โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total	โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total
28/7/44	7	5.33E+03	0.00E+00	5.33E+03	8.33E+03	0.00E+00	8.33E+03	3.33E+03	0.00E+00	3.33E+03
4/8/44	14	1.50E+04	1.00E+03	1.60E+04	3.17E+04	6.67E+03	3.83E+04	2.70E+04	4.33E+03	3.13E+04
11/8/44	21	1.70E+04	2.67E+03	1.97E+04	1.40E+04	2.67E+03	1.67E+04			

ตารางที่ 19ก ผลการวิเคราะห์ค่า Coliform Bacteria (MPN/100 mL) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุก 80 kgCOD/(ha-d) มีปลา			ภาระบรรทุก 80 kgCOD/(ha-d) ไม่มีปลา			ภาระบรรทุก 160 kgCOD/(ha-d) มีปลา		
		โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total	โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total	โคโลนีสีแดง	โคโลนีสีเงิน	Total
29/9/44	7	2.00E+03	0.00E+00	2.00E+03	2.50E+03	0.00E+00	2.50E+03	5.00E+03	2.50E+03	7.50E+03
6/10/44	14	7.50E+03	2.00E+03	9.50E+03	2.00E+03	1.50E+03	3.50E+03	1.30E+04	0.00E+00	1.30E+04
13/10/44	21	3.50E+03	0.00E+00	3.50E+03	6.50E+03	0.00E+00	6.50E+03	2.00E+04	0.00E+00	2.00E+04
20/10/44	28	1.25E+04	0.00E+00	1.25E+04	9.00E+03	0.00E+00	9.00E+03	1.60E+04	0.00E+00	1.60E+04
27/10/44	35	3.50E+03	2.50E+03	6.00E+03	7.00E+03	0.00E+00	7.00E+03	3.50E+04	5.50E+03	4.05E+04
3/11/44	42	5.50E+03	2.00E+03	7.50E+03	1.80E+04	5.00E+03	2.30E+04			
10/11/44	49	7.50E+03	1.50E+03	9.00E+03	2.20E+04	4.00E+03	2.60E+04			
17/11/44	56	2.25E+04	3.00E+03	2.55E+04	4.25E+04	9.00E+03	5.15E+04			
24/11/44	63	1.13E+04	4.67E+03	1.60E+04	1.93E+04	2.00E+03	2.13E+04			
1/12/44	70	2.70E+04	2.67E+03	2.97E+04	4.87E+04	7.33E+03	5.60E+04			
8/12/44	77	1.93E+04	8.67E+03	2.80E+04	5.70E+04	1.27E+04	6.97E+04			
15/12/44	84	2.23E+04	1.00E+03	2.33E+04	5.00E+04	0.00E+00	5.00E+04			

ตารางที่ 20ก ค่าอุณหภูมิ (°C) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]				
		40	80	160		320
		มีปลา	มีปลา	มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
21/7/44	0	31.10	34.70	34.30	30.40	31.10
28/7/44	7	30.70	29.10	32.90	29.20	29.40
4/8/44	14	31.00	31.50	31.00	31.00	30.50
11/8/44	21	32.10	31.40	31.40	32.30	
18/8/44	28	31.00	30.10			
25/8/44	35	29.80	30.50			
1/9/44	42	29.70	30.10			
8/9/44	49	30.40	30.80			
15/9/44	56	29.80	30.50			
22/9/44	63	31.40	31.10			
29/9/44	70	30.00	30.40			
6/10/44	77	30.10	30.20			
13/10/44	84	31.00	30.80			

ตารางที่ 21ก ค่าอุณหภูมิ (°C) ในบ่อเลี้ยงปลา ซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]		
		80		160
		มีปลา	ไม่มีปลา	มีปลา
22/9/44	0	31.80	30.50	33.20
29/9/44	7	31.40	30.10	30.20
6/10/44	14	30.70	29.70	31.00
13/10/44	21	30.50	30.20	31.10
20/10/44	28	30.10	31.00	31.60
27/10/44	35	30.30	30.40	32.50
3/11/44	42	29.70	30.10	
10/11/44	49	29.20	30.20	
17/11/44	56	28.60	28.80	
24/11/44	63	28.20	29.10	
1/12/44	70	29.70	29.50	
8/12/44	77	31.40	30.30	
15/12/44	84	30.80	32.10	

ตารางที่ 22ก ค่าน้ำหนักปลารวม และน้ำหนักปลาเฉลี่ย (g) ที่เพิ่มขึ้นในซ้ำแรก

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]							
		40		80		160		320	
		นน.รวม	นน.เฉลี่ย	นน.รวม	นน.เฉลี่ย	นน.รวม	นน.เฉลี่ย	นน.รวม	นน.เฉลี่ย
20/7/44	0	327.46	16.37	395.46	19.77	331.46	16.57	375.66	18.78
27/7/44	7	331.66	16.58	424.46	21.22	428.00	21.40	384.26	19.21
3/8/44	14	341.06	17.05	476.66	23.83	431.39	21.57	389.87	19.49
10/8/44	21	353.06	17.65	531.47	26.57	345.85	21.62		
17/8/44	28	360.46	18.02	592.07	29.60				
24/8/44	35	372.26	18.61	650.47	32.52				
31/8/44	42	383.86	19.19	677.75	33.89				
7/9/44	49	392.46	19.62	681.64	34.08				
14/9/44	56	404.46	20.22	684.16	34.21				
21/9/44	63	417.66	20.88	688.27	34.41				
28/9/44	70	438.86	21.94	519.50	34.63				
5/10/44	77	490.26	24.51	523.24	34.88				
12/10/44	84	545.27	27.26	525.17	35.01				

<u>หมายเหตุ</u> ที่ภาระบรรทุก 320 kg COD/(ha-d) ปลาตาย วันที่ 4/8/44 จำนวน 3 ตัว
วันที่ 5/8/44 จำนวน 6 ตัว
วันที่ 6/8/44 จำนวน 2 ตัว
วันที่ 7/8/44 จำนวน 9 ตัว
ที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ปลาตาย วันที่ 10/8/44 จำนวน 4 ตัว
วันที่ 11/8/44 จำนวน 8 ตัว
วันที่ 12/8/44 จำนวน 8 ตัว
ที่ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ปลาตาย วันที่ 22/9/44 จำนวน 3 ตัว
วันที่ 23/9/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 25/9/44 จำนวน 1 ตัว

ตารางที่ 23ก ค่าน้ำหนักปลารวม และน้ำหนักปลาเฉลี่ย (g) ที่เพิ่มขึ้นในซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์[kgCOD/(ha-d)]			
		80		160	
		นน.รวม	นน.เฉลี่ย	นน.รวม	นน.เฉลี่ย
21/9/44	0	241.22	12.06	225.42	11.27
28/9/44	7	256.42	12.82	244.02	12.20
5/10/44	14	287.22	14.36	278.22	13.91
12/10/44	21	330.63	16.53	290.42	14.52
19/10/44	28	416.83	20.84	225.15	15.01
26/10/44	35	493.43	24.67	120.83	15.10
2/11/44	42	555.84	27.79		
9/11/44	49	588.84	29.44		
16/11/44	56	620.44	31.02		
23/11/44	63	643.04	32.15		
30/11/44	70	654.44	32.72		
7/12/44	77	662.44	33.12		
14/12/44	84	666.24	33.31		

<u>หมายเหตุ</u> ที่ภาระบรรทุก 160 kg COD/(ha-d) ปลาตาย วันที่ 15/10/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 16/10/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 17/10/44 จำนวน 2 ตัว
วันที่ 18/10/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 21/10/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 23/10/44 จำนวน 2 ตัว
วันที่ 25/10/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 26/10/44 จำนวน 3 ตัว
วันที่ 27/10/44 จำนวน 1 ตัว
วันที่ 28/10/44 จำนวน 7 ตัว

ตารางที่ 24ก Growth rate (g/d) ของปลา ในซ้ำแรก

วันที่	จำนวนสัปดาห์ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ kgCOD/(ha-d)			
		40	80	160	320
20/7/44	0	0.00	0.00	0.00	0.00
27/7/44	1	0.03	0.21	0.69	0.06
3/8/44	2	0.07	0.37	0.02	0.04
10/8/44	3	0.09	0.39	0.01	
17/8/44	4	0.05	0.43		
24/8/44	5	0.08	0.42		
31/8/44	6	0.08	0.19		
7/9/44	7	0.06	0.03		
14/9/44	8	0.09	0.02		
21/9/44	9	0.09	0.03		
28/9/44	10	0.15	0.03		
5/10/44	11	0.37	0.04		
12/10/44	12	0.39	0.02		

ตารางที่ 25ก Growth rate (g/d) ของปลา ในซ้ำที่สอง

วันที่	จำนวนสัปดาห์ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ kgCOD/(ha-d)	
		40	80
21/9/44	0	0.00	0.00
28/9/44	1	0.11	0.13
5/10/44	2	0.22	0.24
12/10/44	3	0.31	0.09
19/10/44	4	0.62	0.07
26/10/44	5	0.55	0.01
2/11/44	6	0.45	
9/11/44	7	0.24	
16/11/44	8	0.23	
23/11/44	9	0.16	
30/11/44	10	0.08	
7/12/44	11	0.06	
14/12/44	12	0.03	

ตารางที่ 26ก การเปรียบเทียบค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการทดลอง กับค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำแรก

จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ [kg COD/(ha-d)]					
	40			80		
	การทดลอง	สมการที่ 4.4	สมการที่ 4.9	การทดลอง	สมการที่ 4.4	สมการที่ 4.9
0	6.20	6.15	7.54	6.20	6.15	7.54
7	5.20	5.69	6.93	4.80	5.41	6.37
14	4.80	5.26	6.37	4.40	4.77	5.39
21	4.50	4.86	5.86	4.20	4.20	4.55
28	4.00	4.50	5.39	3.80	3.70	3.85
35	3.80	4.16	4.95	3.60	3.26	3.26
42	4.00	3.85	4.55	3.80	2.87	2.75
49	3.80	3.56	4.19	3.30	2.53	2.33
56	3.50	3.29	3.85	3.00	2.22	1.97
63	3.20	3.05	3.54	2.40	1.96	1.66
70	2.90	2.82	3.26	1.40	1.72	1.41
77	2.50	2.61	2.99	1.20	1.52	1.19
84	2.40	2.41	2.75	1.00	1.34	1.00

ตารางที่ 27ก การเปรียบเทียบค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการทดลอง กับค่า DO_d (mg/L) ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำที่สอง

จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ [kg COD/(ha-d)]		
	80		
	การทดลอง	สมการที่ 4.4	สมการที่ 4.9
0	6.80	6.15	7.54
7	5.20	5.41	6.37
14	4.40	4.77	5.39
21	3.80	4.20	4.55
28	3.40	3.70	3.85
35	3.20	3.26	3.26
42	3.00	2.87	2.75
49	2.80	2.53	2.33
56	2.20	2.22	1.97
63	1.80	1.96	1.66
70	1.40	1.72	1.41
77	1.60	1.52	1.19
84	1.20	1.34	1.00

ตารางที่ 28ก การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลา (g) ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำแรก

จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ [kg COD/(ha-d)]			
	40		80	
	จากการทดลอง	จากสมการ 4.14	จากการทดลอง	จากสมการ 4.14
7	16.58	14.27	21.22	17.26
14	17.05	17.26	23.83	20.89
21	17.65	19.30	26.57	23.35
28	18.02	20.89	29.60	25.28
35	18.61	22.21	32.52	26.88
42	19.19	23.35	33.89	28.26
49	19.62	24.36	34.08	29.48
56	20.22	25.28	34.21	30.58
63	20.88	26.11	34.41	31.59
70	21.94	26.88	34.63	32.52
77	24.51	27.59	34.88	33.38
84	27.26	28.26	35.01	34.19

ตารางที่ 29ก การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลา (g) ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ ในซ้ำที่สอง

จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ [kg COD/(ha-d)]	
	80	
	จากการทดลอง	จากสมการ 4.14
7	12.82	17.26
14	14.36	20.89
21	16.53	23.35
28	20.84	25.28
35	24.67	26.88
42	27.79	28.26
49	29.44	29.48
56	31.02	30.58
63	32.15	31.59
70	32.72	32.52
77	33.12	33.38
84	33.31	34.19

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ 1ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
4-12	131.985	0.302	1.472	0.184
3-12	103.124	0.743	2.454	0.040

ตารางที่ 2ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
6-12	234.416	0.899	1.493	0.196
5-12	185.163	1.602	2.648	0.038

ตารางที่ 3ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
7-12	190.977	1.417	2.619	0.059
6-12	152.365	1.951	3.970	0.011

ตารางที่ 4ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า COD ในบ่อไม่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
3-12	169.118	1.164	2.102	0.069
2-12	131.322	1.764	3.097	0.013

ตารางที่ 5ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
3-12	51.655	0.315	1.752	0.118
2-12	39.968	0.501	2.755	0.022

ตารางที่ 6ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
3-12	77.964	0.479	1.465	0.181
2-12	57.850	0.798	2.461	0.036

ตารางที่ 7ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
6-12	40.205	1.098	1.807	0.131
5-12	24.670	1.320	2.804	0.031

ตารางที่ 8ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า BOD ในบ่อไม่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
4-12	62.078	0.319	1.455	0.189
3-12	52.518	0.465	2.395	0.043

ตารางที่ 9ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
6-12	396.857	1.592	2.330	0.067
5-12	379.714	1.837	3.475	0.013

ตารางที่ 10ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
4-12	545.067	2.029	1.518	0.173
3-12	490.255	2.868	2.449	0.040

ตารางที่ 11ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อที่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
6-12	472.429	3.531	2.192	0.080
5-12	449.095	3.864	3.178	0.019

ตารางที่ 12ข การทดสอบค่า t-test (zero slope test) เพื่อพิจารณาสภาวะคงที่ ของค่า TS ในบ่อไม่มีปลา ภาระบรรทุก 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

ช่วงระยะเวลา (สัปดาห์)	β_0	β_1	t	Sig. of t
6-12	599.000	1.857	2.265	0.073
5-12	579.000	2.143	3.385	0.015

ตารางที่ 13ข การทดสอบค่า F-test เพื่อหาค่าคงที่ของแบบจำลองของออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้ามืด สำหรับการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ในรูปสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

r	β_0	β_1	β_2	F	Sig. of F
0.945	1.816	-4.141E-3	-0.438	95.470	.000

ตารางที่ 14ข การทดสอบค่า F-test เพื่อหาค่าคงที่ของแบบจำลองการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยการเติมมูลไก่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น

r	β_0	β_1	F	Sig. of F
0.826	2.659	0.275	47.199	.000

ตารางที่ 15ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.975	-0.243	1.090	14.594	.000

ตารางที่ 16ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.946	-9.014E-3	0.969	9.680	.000

ตารางที่ 17ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.984	0.260	0.938	18.224	.000

ตารางที่ 18ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.975	-0.673	1.396	14.694	.000

ตารางที่ 19ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.933	-0.954	1.292	8.617	.000

ตารางที่ 20ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO_d ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.9 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.986	-0.660	1.271	19.811	.000

ตารางที่ 21ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 40 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.856	-0.739	1.178	5.234	.000

ตารางที่ 22ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำแรก

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.959	-5.011	1.051	10.706	.000

ตารางที่ 23ข การทดสอบค่า t-test เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.14 ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ซ้ำที่สอง

r	β_0	β_1	t	Sig. of t
0.980	10.575	0.670	15.574	.000

ภาคผนวก ค
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ตารางที่ 1ค มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ตัวแปร	มีค่าไม่เกิน
1. ความเป็นกรดด่าง	5-9
2. ค่าเปอร์มังกาเนต (Permanganate Value), mg/L	60
3. สารที่ละลายได้ (Dissolved Solids), mg/L	2000
4. ซัลไฟด์ (Sulphide), mg/L as H_2S	1
5. ไซยาไนด์ (Cyanide), mg/L as HCN	0.2
6. โลหะหนัก	
- สังกะสี (Zinc), mg/L	5
- โครเมียม (Chromium), mg/L	0.5
- อาร์เซนิค (Arsenic), mg/L	0.25
- ทองแดง (Copper), mg/L	1
- ปรอท (Mercury), mg/L	0.005
- แคดเมียม (Cadmium), mg/L	0.03
- บาเรียม (Barium), mg/L	1
- เซเลเนียม (Selenium), mg/L	0.02
- ตะกั่ว (Lead), mg/L	0.2
- นิกเกิล (Nickel), mg/L	0.2
- แมงกานีส (Manganese), mg/L	5
7. น้ำมันทาร์ (Tar)	ไม่มีเลย
8. น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease), mg/L	5
9. ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde), mg/L	1
10. ฟีนอลและ/หรือครีโซลส์ (Phenols and/or Cresols), mg/L	1
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine), mg/L	1
12. ยาฆ่าแมลง (Insecticide) และสารกัมมันตรังสี (Radioactive Substances)	ไม่มีเลย
13. สารที่ลอยเจือปน (Suspended Solids), ppm	ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะ

ตารางที่ 1ค (ต่อ)

ตัวแปร	มีค่าไม่เกิน
14. บีโอดี (BOD ≡ Biochemical Oxygen Demand) (5 วัน 20 ^{o}C), mg/L	20
15. อุณหภูมิ, ^{o}C	40
16. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

หมายเหตุ จาก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (2525)

ภาคผนวก ง
การคำนวณหาระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย

ง.1 การคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาลำดับที่ 1 ของบ่อที่มีการเติมมูลไก่

จากการทดลองสามารถหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาได้โดยการทำสมดุลมวลสาร ที่เกิดขึ้นในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ที่ไม่มีปลา โดยสมมติให้เป็นปฏิกิริยาลำดับที่ 1

สมดุลมวลสาร

สะสม = เข้า – ออก ± สร้าง หรือทำลาย

$\frac{dM}{dt} = M_0 - 0 - kCV$

ที่สภาวะคงที่ $\frac{dM}{dt} = 0$

จะได้ สมการที่ 1

$M_0 = kCV$ (1)

โดย M_0 คือ อัตราภาระบรรทุกของมูลไก่ที่เติม, mg COD/d

C คือ ค่า COD เฉลี่ยที่สภาวะคงที่, mg/L

V คือ ปริมาตรของบ่อ, m^3

k คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาลำดับที่ 1, d^{-1}

แทนค่าลงในสมการที่ 1 โดยใช้ข้อมูลจากบ่อ 80 kg COD/(ha-d) ที่ไม่มีปลา จะได้

$236.83 \text{ g/d} \times 135.12 \text{ mg/g} = k \times 230.22 \text{ mg/L} \times 1000 \text{ L/m}^3 \times 3.6 \text{ m}^3$

$k = 0.04 \text{ d}^{-1}$

ง.2 การคำนวณหาระยะเวลาเก็บกักในบ่อพักน้ำเสีย

สามารถคำนวณได้โดย สมมติว่าบ่อพักน้ำเสียเป็นถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch reactor) และการกำจัด BOD เป็นไปตามปฏิกิริยาลำดับที่ 1

$$r_c = -kC$$

จากสมดุลมวลสาร

$$V\frac{dC}{dt} = -kCV$$

จัดรูปอินทิเกรชั่น

$$\int_{c_0}^{c} \frac{dC}{C} = -k\int_{0}^{t} dt$$

จะได้สมการที่ 2

$$\ln(C_0/C) = kt \qquad (2)$$

โดย C คือ ความเข้มข้นของ BOD_{out}, mg/L

C_0 คือ ความเข้มข้นของ BOD_{in}, mg/L

t คือ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย, d

k คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาลำดับที่ 1, d^{-1}

สามารถคำนวณหาระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียได้โดยใช้สมการที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลในภาคผนวก ก

โดย BOD น้ำเสียจากบ่อปลาที่ระยะเวลา 3 เดือน ในบ่อ 80 kg COD/(ha-d) คือ 96 mg/L

BOD น้ำเสียตามมาตรฐานน้ำทิ้ง (ภาคผนวก ค.) คือ 20 mg/L

k จากการทดลองคือ 0.04 d^{-1}

ดังนั้น $t = (1/0.04)\ln(96/20)$

$= 39.21\ d \cong 40\ d$

ดังนั้นควรทำการพักน้ำเสียไว้ในบ่อเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 40 วันจึงจะสามารถระบายน้ำทิ้งได้

ภาคผนวก จ

ภาพถ่าย

ภาพที่ 1จ บ่อคอนกรีต และตาข่ายจับปลาที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 2จ วิธีการจับปลา

ภาพที่ 3จ การเตรียมเครื่องชั่งปลา

ภาพที่ 4จ ปลาที่จะนำมาชั่งน้ำหนัก

ภาพที่ 5จ ลักษณะของน้ำในบ่อที่ทำการเลี้ยงปลา

ภาพที่ 6จ ลักษณะของน้ำในบ่อที่ไม่ได้ทำการเลี้ยงปลา

ภาพที่ 7จ มูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 8จ การชั่งน้ำหนักมูลไก่ตามภาระบรรทุกของสารอินทรีย์

ประวัติผู้เขียน

นายนคร ศิริฐานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2520 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี ในสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2538 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2541 ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาจึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2542