บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิจัยนี้เริ่มการวิจัย โดยการติดตั้งอุปกรณ์อันประกอบด้วย ตู้เลี้ยงปลา จำนวน 4 ตู้ ตู้ที่ 1 ติดตั้งเครื่องกรองภายในตู้ปลา อีก 3 ตู้ติดตั้งเครื่องกรองภายนอกตู้เลี้ยงปลา ซึ่งเปลี่ยนแปลงตัวกลางกรองดังนี้คือ ใช้หินกรวดในตู้ที่ 2 หินปะการังในตู้ที่ 3 และหินกรวดผสมกำมะถันในตู้ที่ 4 ตามลำดับ เริ่มบรรจุน้ำประปาที่ได้เติมอากาศทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน เพื่อไล่คลอรีนออกจากน้ำประปา และคุณสมบัติของน้ำประปาได้วิเคราะห์แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 ปริมาณ 54 ลิตร เท่ากันทุกตู้ปลา และเมื่อดำเนินการทดลองก็จะมีการเติมน้ำประปาทดแทนเป็นครั้งคราว เพื่อให้ปริมาณน้ำในตู้ปลามีปริมาณใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง และทดแทนปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยออกสู่อากาศรวมถึงการเก็บน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำประปาเติมทดแทนแสดงในตารางที่ 4.1 เช่นกัน เริ่มการเลี้ยงปลาทองจำนวน 7 ตัว ซึ่งมีขนาดน้ำหนักและลำตัวใกล้เคียงกันต่อ 1 ตู้ปลา ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่า ๆ กันในทุกตู้ปลา ให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ เวลา 9.00 นาฬิกา และ 18.00 นาฬิกา ปริมาณอาหารที่ให้เดือนแรกจำนวน 2 กรัม และเพิ่มปริมาณเป็น 4, 6, 8 กรัม ตามลำดับ จนสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 110 ผลการทดลองที่ได้ดังนี้

4.1 อุณหภูมิตลอดการทดลอง

ในรูปที่ 4.1 จะแสดงว่าอุณหภูมิที่วัดได้ตลอดการทดลอง ซึ่งค่าอุณหภูมินี้เป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้เนื่องจากขึ้นกับสภาพอากาศภายนอกของสิ่งแวดล้อม ความสำคัญของอุณหภูมิที่มีต่อปลาที่เลี้ยง คือปลาแต่ละชนิด หรือแต่ละพันธุ์มีความชอบในน้ำที่มีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการดำรงชีพของปลาเท่านั้น และมีผลต่อค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำ ซึ่งอุณหภูมิสูงจะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง ซึ่งปลาทองที่เลี้ยงไว้สามารถอาศัยอยู่ในน้ำช่วง 20 - 35 องศาเซียส และจากการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอดการทดลองคือ 28 องศาเซลเซียส ค่าสูงสุด คือ 31 องศาเซลเซียส ค่าต่ำสุดคือ 23 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติน้ำประปาเมื่อแรกทดลอง และน้ำประปาที่ใช้เติมทดแทน (วิเคราะห์ตั้งแต่ พฤศจิกายน - มีนาคม 2535)

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ค่าพิสัย	หน่วย
1. DO	7.20 - 8.40	mg/L
2. TEMPERATURE	25 - 28	°C
3. pH	7.0 - 8.3	
4. ORP	+70 - +80	mV
5. ALKALINITY	180 - 200	mg/L as $CaCO_3$
6. TURBIDITY :	0.10 - 0.20	NTU
7. COD	nd*	mg/L
8. NH_3-N	nd*	mg/L N
9. NO_2-N	nd*	mg/L N
10. NO_3-N	nd*	mg/L N
11. TOTAL HARDNESS	196 - 200	mg/L as $CaCO_3$
12. COLOR	0 - 5	Units
13. Cl_2	nd*	mg/L

* nd = non detect

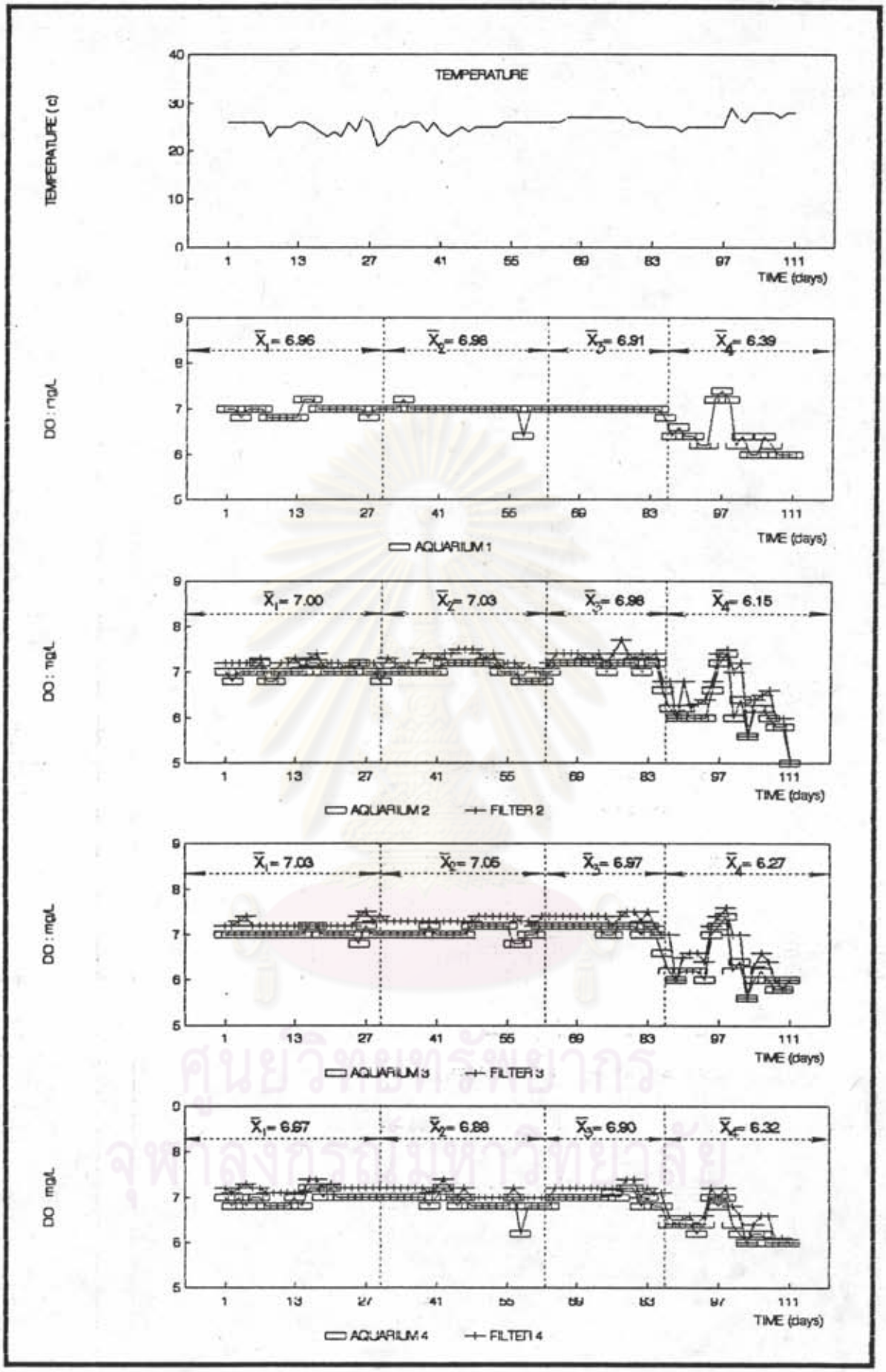
หมายเหตุ น้ำประปานำมาตั้งทิ้งไว้ 2 วัน พร้อมกับการเป่าอากาศตลอดเวลา และทำการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญมากในการเลี้ยงปลาทุกชนิด เนื่องจากปลาเป็นสิ่งมีชีวิต ดังนั้นย่อมจะขาดออกซิเจนไม่ได้ ความสามารถในการละลายน้ำได้ของกาซออกซิเจนขึ้นอยู่กับความดันอากาศอุณหภูมิและเกลือแร่ที่ละลายในน้ำนั้น ในการทดลองนี้ตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้ จะถูกกำหนดให้ได้รับออกซิเจนในปริมาณที่เท่า ๆ กัน หรือใกล้เคียงกันจากการให้อากาศโดยเครื่องให้อากาศเครื่องเดียวกัน และทำการวัดค่าออกซิเจนในตู้เลี้ยงปลาทุกตู้ โดยเฉลี่ยให้เท่า ๆ กันทุกตู้ และบันทึกค่าออกซิเจนละลายน้ำ ตลอดการทดลองได้ผลดังแสดงตามตาราง ก-2 ในภาคผนวก ก และแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลองแสดงตามตารางที่ 4.2 และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนจะแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ ข-1 ในภาคผนวก ข.

จากรูปที่แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำในตู้ปลาทุกตู้ จะเห็นได้ว่าภายในช่วงเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่พอช่วงเดือนที่ 4 จะสังเกตุได้ว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำในทุก ๆ ตู้มีค่าลดลงและแปรปรวนเกิดขึ้น สาเหตุอาจจะเกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำตู้ปลา ซึ่งพิจาณาได้จากรูป 4.1 ในส่วนของค่าอุณหภูมิ (Temperature) จะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงกว่า 3 เดือนแรก และอาหารที่ป้อนให้ปลากิน ในเดือนที่ 4 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 8 กรัมต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่เกินที่ปลาจะกินหมด จึงเหลืออาหารตกค้างมาก ดังนั้นจึงมีการย่อยสลายอาหารที่เกิดขึ้นในตู้ปลาทุกตู้มากขึ้น และใช้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากขึ้น ดังนั้นค่าออกซิเจนละลายน้ำจึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในเดือนที่ 4 ของทุกตู้ปลา และในตู้ที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 6.15 mg/L และตู้ปลาที่ 3 สูงขึ้นมาเป็น 6.27 mg/L ตู้ปลาที่ 4 เป็น 6.32 mg/L และตู้ปลาที่ 1 เป็น 6.39 mg/L และเมื่อรวมสรุปจากข้อมูลตลอดการทดลอง จะได้ค่าเฉลี่ยรวมของออกซิเจนละลายน้ำของตู้ปลาที่ 3 มีค่าสูงสุดคือ 6.83 mg/L รองลงมาคือ ตู้ที่ 1 6.81 mg/L และตู้ที่ 2 เป็น 6.79 mg/L ตู้ที่ 4 เป็น 6.77 mg/L ซึ่งปลาทองส่วนใหญ่จะชอบอาศัยอยู่ในช่วงของค่าออกซิเจนละลายน้ำ 6-8 mg/L และขีดอันตรายของค่าออกซิเจนละลายน้ำต่อปลาทอง คือ 2.0 mg/L และเป็นช่วงเวลานาน ๆ (ดูขีดจำกัดที่ตารางที่ 2.7)



รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลองของตู้ปลาทุกตู้

AVERAGE DO (mg/l)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	6.96	7.00	7.18	7.03	7.25	6.97	7.20
2	6.98	7.03	7.27	7.05	7.33	6.88	7.11
3	6.91	6.98	7.24	6.97	7.24	6.90	7.16
4	6.39	6.15	6.49	6.27	6.57	6.32	6.55
AVERAGE	6.81	6.79	7.05	6.83	7.10	6.77	7.01
STD. DEV.	0.24	0.37	0.32	0.32	0.31	0.26	0.26
NUMBER (n)	4	4	4	4	4	4	4

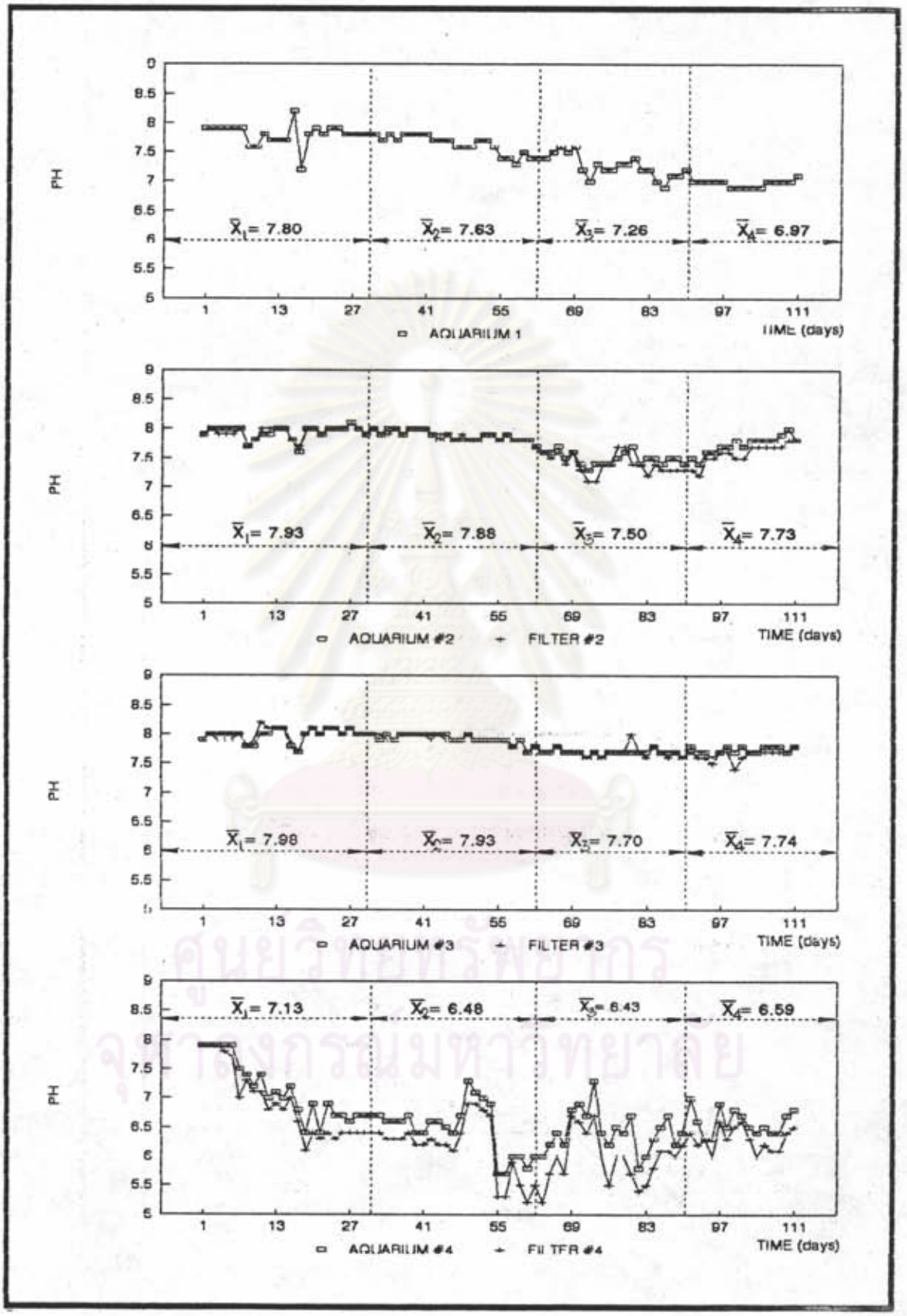
4.3 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชบ่งบอกถึง การเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำนั้น ปลาส่วนใหญ่จะชอบอยู่ในน้ำที่มีช่วงของพีเอช 6.5 - 9.0 ถ้าพีเอชสูงกว่ามาก ๆ หรือต่ำกว่านี้มาก ๆ ในเวลานาน ๆ จะทำให้ปลาหยุดการเจริญเติบโตและตายได้ ปลาทองชอบอยู่ในน้ำที่มีพีเอชในช่วง 6.5 ถึง 7.8 ผลการทดลองมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชดังนี้

จากรูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของตู้ปลาทุกตู้ และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน และสรุปผลรวมอยู่ในตารางที่ 4.3

ตู้ปลาที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลพีเอช เมื่อตลอดการทดลองมีแนวโน้มลดต่ำลงเรื่อย ๆ ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองคือ 7.42 และในแต่ละเดือนของการทดลอง จะมีค่าพีเอช ลดลงทุกเดือนจากเดือนแรก ค่าพีเอชเฉลี่ยคือ 7.80 เดือนที่ 2, 3, 4 เป็น 7.63, 7.26 และ 6.97 ตามลำดับ

ตู้ปลาที่ 2 และตู้ปลาที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงพีเอชน้อยมากรูปที่ 4.2 จากค่าเฉลี่ยของพีเอชตู้ที่ 2 ตลอดการทดลองคือ 7.76 และพีเอชตู้ที่ 3 ตลอดการทดลองเฉลี่ยคือ 7.84



รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอชตลอดการทดลองของตู้ปลาทุกตู้

AVERAGE pH

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	7.80	7.93	7.93	7.98	7.99	7.13	6.91
2	7.63	7.88	7.88	7.93	7.92	6.48	6.16
3	7.26	7.50	7.40	7.70	7.70	6.43	6.02
4	6.97	7.73	7.57	7.74	7.63	6.59	6.30
AVERAGE	7.42	7.76	7.70	7.84	7.81	6.66	6.35
STD. DEV.	0.32	0.17	0.22	0.12	0.15	0.28	0.34
NUMBER (n)	4	4	4	4	4	4	4

ตู้ปลาที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงพีเอชมากอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะมีช่วงของเดือนที่ 3 จะเห็นว่าค่าพีเอชลดลงต่ำมากคือ เฉลี่ยประมาณ 6.43 และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันก็จะลดต่ำถึง 6.02 สาเหตุที่น้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันมีค่าพีเอชลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจจะเป็นเพราะการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในเครื่องกรอง แล้วมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนออกมาจากกระบวนการ ซึ่งความเป็นด่างที่จะใช้สะเทินมีไม่เพียงพอ เพราะในเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันนี้มีสัดส่วนการผสมระหว่างหินกรวด ซึ่งเป็นแหล่งสะสมคาร์บอเนต กับปริมาณกำมะถันที่ใส่เข้าไปในเครื่องกรอง มีอัตราส่วน 50 : 50 ทำให้ปริมาณคาร์บอนเนตที่จะไปจับกับตัวไฮโดรเจนอิออนมีปริมาณที่น้อยกว่าเครื่องกรองอื่น ๆ และสาเหตุของการใส่กำมะถันเข้าไปผสมกับหินกรวดในเครื่องกรองตัวที่ 4 เพื่อที่จะให้เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียที่ใช้กำมะถัน และใช้ไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนไนตริฟิเคชั่นเป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนออกซิเจน โดยมุ่งหวังว่าจะลดไนเตรตไนโตรเจน ที่เกิดจากกระบวนไนตริฟิเคชั่นของการกรองชีวภาพของเครื่องกรอง และลดปริมาณการสะสมตัวของไนเตรตไนโตรเจนในน้ำตู้ปลา แต่ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น จะเห็นว่าในตู้ปลาที่ 4 จะมีการเพิ่มของปริมาณไฮโดรเจนอิออน จนทำให้ค่าของพีเอชน้ำตู้ปลาลดลงตลอดการทดลอง ในขณะที่ตู้ที่ 1, 2, 3 ค่าของพีเอชถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงถึงความสามารถในการมีปริมาณคาร์บอเนตที่จะป้อนเข้าสู่ระบบเพียงพอต่อการผลิตไฮโดรเจนอิออนที่ออกมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น

4.4 ค่าโออาร์พี

ค่าโออาร์พีคือที่จะบอกถึงอัตราส่วนสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ สารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ต่อสารที่เป็นตัวรีดิวซ์รวมในระบบ ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบเป็นปฏิกริยารีดอกซ์ (redox reaction) จะมีการถ่ายเทอิเลคตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง และวัดออกมาได้ด้วยความแตกต่างทางศักยภาพของอิเลคตรอน ซึ่งถ้าวัดออกมาได้เป็นบวกแสดงว่าแนวโน้มของปฏิกิริยาจะเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าค่าที่วัดเป็นลบแสดงว่าแนวโน้มของปฏิกิริยาจะเป็นปฏิกิริยารีดักชั่น

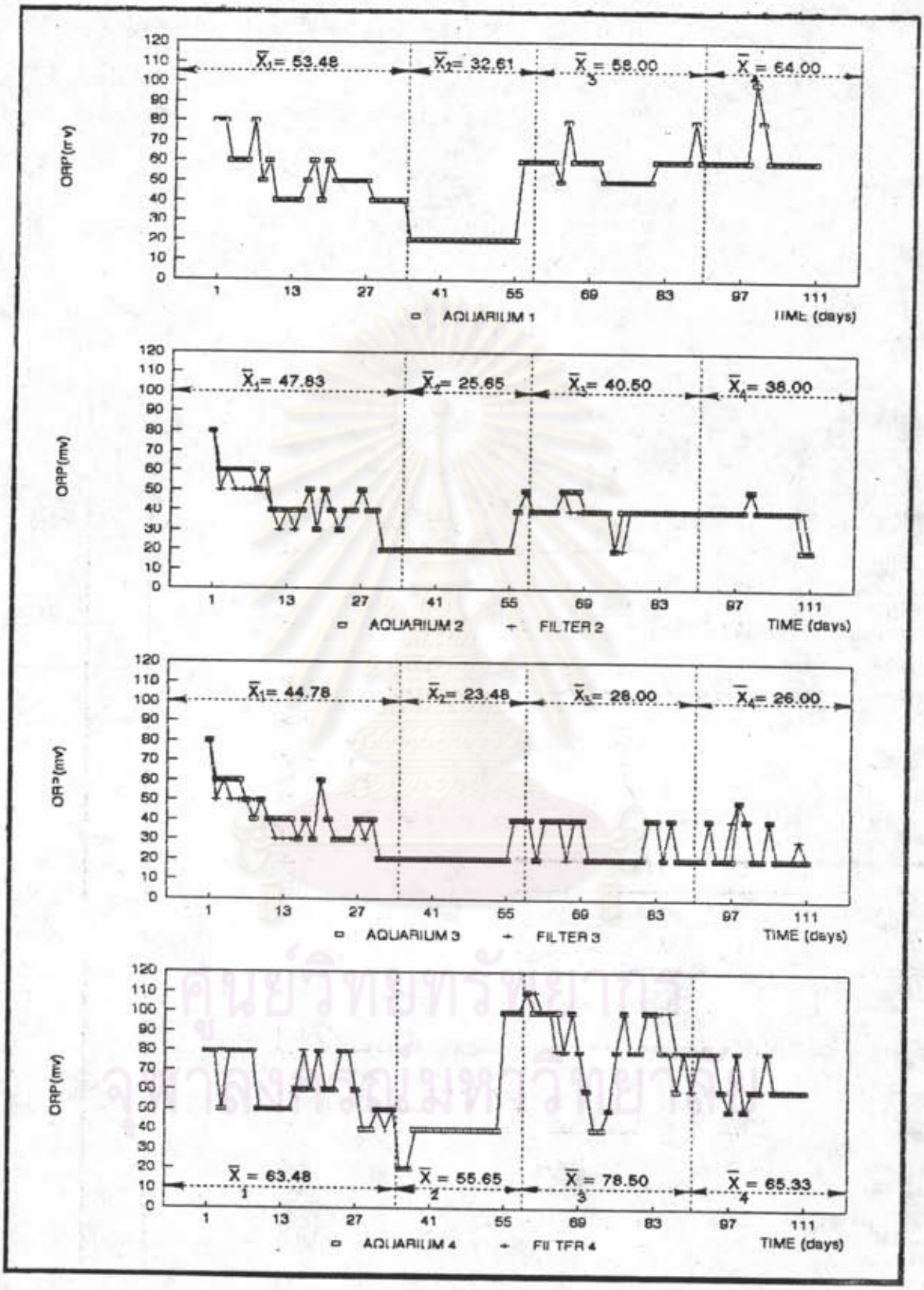
ผลการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.3 ที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ผ่านไปของค่าโออาร์พี ของตู้ปลาทุกตู้ และตารางที่ 4.4 จะแสดงค่าสรุปผลค่าเฉลี่ยของโออาร์พี ของตู้ปลาในแต่ละเดือน และผลลัพธ์รวมตลอดการทดลอง

ในตู้ปลาที่ 1 มีแนวโน้มของค่าโออาร์พีเป็นบวก เฉลี่ยรวมหมด คือ +52.02 mV. และในแต่ละเดือนไม่ว่าเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ก็จะมีค่าเป็นบวก และใกล้เคียงกัน ยกเว้นในช่วงของเดือนที่ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำลงไป +32.61 mV. ซึ่งเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเหมือน ๆ กับตู้ปลาที่ 2, 3, 4 เช่นเดียวกัน และเกิดในช่วงเดือนเดียวกันด้วย ตู้ปลาที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยรวมของค่าโออาร์พีเป็น +38.00 mV. และจะมีค่าโออาร์พีช่วงเดือนแรกสูงที่สุดคือ +47.83 mV. ต่ำสุดคือเดือนที่สอง ส่วนตู้ปลาที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ยรวมของค่าโออาร์พีเป็น +30.57 mV. และค่าต่ำสุดของโออาร์พี ตู้ปลาที่ 3 คือ +23.48 mV. ในเดือนที่ 2 และค่าสูงสุดของโออาร์พีตู้ที่ 3 คือ +44.78 mV. ในช่วงเดือนที่ 1 และจะค่อย ๆ ลดลง ตู้ปลาที่ 4 จะมีค่าโออาร์พีโดยเฉลี่ยคือ +65.74 mV. ซึ่งดูโดยรวมจากทั้ง 4 ตู้ปลาแล้ว ค่าโออาร์พีของตู้ปลาที่ 4 จะมีค่าสูงที่สุดในบรรดาตู้ปลา และมีค่าเฉลี่ยโออาร์พีสูงสุดในเดือนที่สามคือ +78.5 mV. และค่าต่ำสุดคือเดือนที่ 2 +55.65 mV. ซึ่งแสดงว่าในตู้ปลาที่ 4 และเครื่องกรองที่ 4 มีปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นมากกว่าตู้ปลาอื่น ๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยโออาร์พีตลอดการทดลองของตู้ปลาทุกตู้

AVERAGE ORP (mV)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	53.48	47.83	44.78	44.78	42.17	63.48	65.65
2	32.16	25.65	24.78	23.48	23.48	55.65	55.65
3	58.00	40.50	38.50	28.00	27.00	78.50	79.50
4	64.00	38.00	36.67	26.00	28.00	65.33	65.33
AVERAGE	51.91	38.00	36.18	30.57	30.16	65.74	66.53
STD. DEV.	12.00	7.99	7.24	8.36	7.13	8.21	8.50
NUMBER (n)	4	4	4	4	4	4	4



รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

4.5 ค่าความขุ่น (Turbidity)

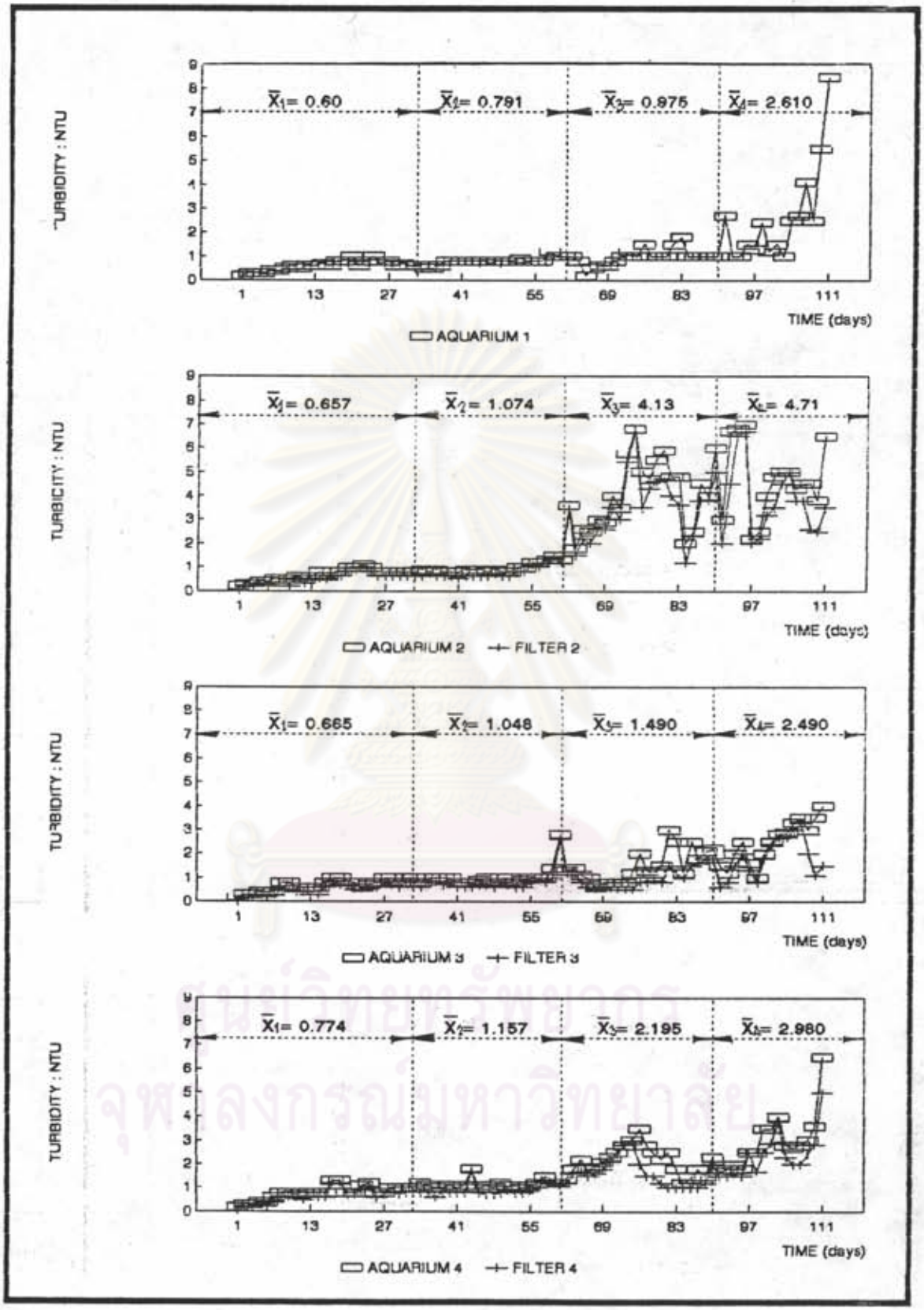
ค่าความขุ่นในน้ำจะแสดงถึงว่า มีสิ่งต่าง ๆ เจือปนในน้ำนั้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งความขุ่นนั้นอาจมีสาเหตุมาจากสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ในน้ำนั้นเช่น พวกแพลงค์ตอน หรือ แอลจี และอาจเกิดจากตะกอนดินต่าง ๆ ความขุ่นก่อให้เกิดการบดบังแสงสว่างที่จะส่องผ่านไปยังตู้ปลา ทำให้เกิดความสกปรกและบดบังการมองเห็นของปลาได้ โดยทั่วไปปลาสวยงามที่เลี้ยงไว้จะไม่นิยมให้น้ำที่เลี้ยงปลามีความขุ่นจนมองไม่เห็นตัวปลา

รูปที่ 4.4 จะแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นตลอดการทดลอง ของทุกตู้ปลา และจะสรุปผลค่าเฉลี่ยของ ความขุ่นตลอดการทดลองของตู้ปลาทุกตู้ และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองด้วย ในตารางที่ 4.5 ส่วนข้อมูลจากการทดลองจะแสดงในตารางที่ ข-4 ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยความขุ่นตลอดการทดลองของตู้ปลาทุกตู้

AVERAGE TURBIDITY (NTU)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	0.6	0.657	0.509	0.665	0.486	0.774	0.632
2	0.791	1.074	0.87	1.048	0.83	1.157	0.909
3	0.975	4.13	3.52	1.49	0.97	2.195	1.645
4	2.61	4.71	3.75	2.49	1.83	2.98	2.4
AVERAGE	1.244	2.643	2.162	1.423	1.029	1.777	1.397
STD.DEV.	0.800	1.795	1.481	0.682	0.495	0.868	0.688
NUMBER(n)	4	4	4	4	4	4	4

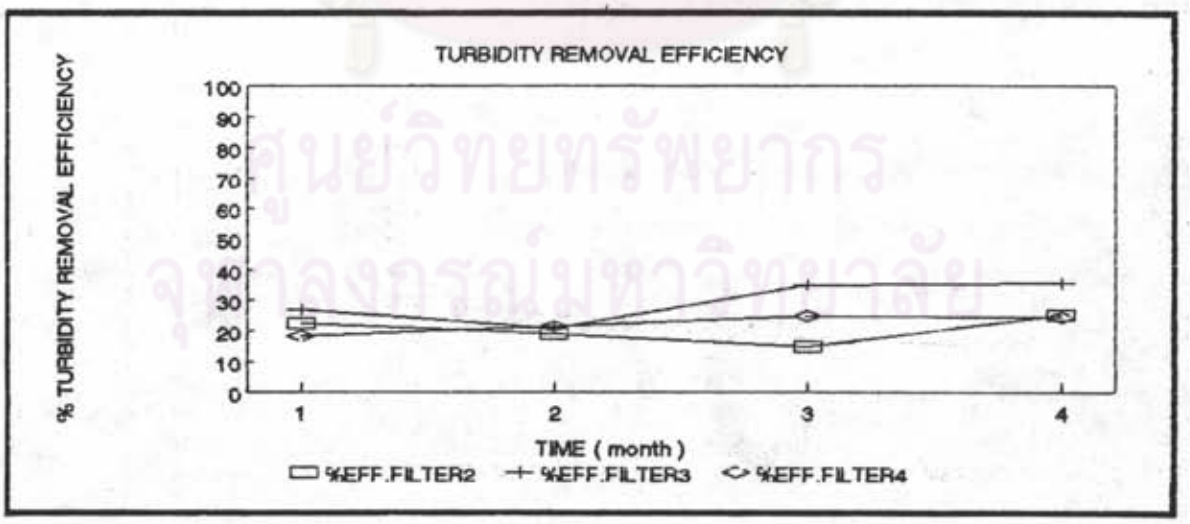


รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตู้ปลาที่ 1 จะมีค่าความขุ่นแรกเริ่ม จาก 0.2 NTU และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามรูปที่ 4.4 ของตู้ปลาที่ 1 และมีความเฉลี่ยในแต่ละเดือน คือ เดือนแรก 0.6 NTU เดือนที่ 2 ค่าเฉลี่ยคือ 0.791 NTU เดือนที่ 3 ค่าเฉลี่ยคือ 0.975 NTU และเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยคือ 2.61 NTU ค่าเฉลี่ยรวมของตู้ปลาคือ 1.244 NTU ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความขุ่นของเดือนที่ 4 จะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นทันที สาเหตุอาจเกิดจากการใส่อาหารเพื่อให้ปลาทองกินนั้นเพิ่มมากขึ้นถึง 8 กรัมต่อวัน และปริมาณอาหารคงค้างนั้นเหลือเยอะมาก ๆ และประสิทธิภาพในการกรองความขุ่นของเครื่องกรองที่อยู่ภายในตู้ปลาที่ 1 นั้นลดลง เพราะแรงต้านทานเพิ่มมากขึ้น ในตัวกลางกรอง รวมถึงการสะสมตัวของตะกอนต่าง ๆ ดังนั้นความขุ่นจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนปลาทนไม่ได้

ตู้ปลาที่ 2 จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของความขุ่นในตู้ปลาที่ 2 ตลอดการทดลองคือ 1.795 NTU โดยมีความขุ่นเฉลี่ยในเดือนแรก คือ 0.657 NTU และ 1.074 NTU, 4.13 NTU, 4.71 NTU เป็นของเดือนที่ 2, 3, 4 ตามลำดับ และในช่วงเดือน 3 และเดือน 4 จะมีค่าความขุ่นแปรปรวนเพิ่มสูงขึ้นมาก เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณอาหารให้ตู้ปลาเพิ่มมากขึ้น และเครื่องกรองหินกรวดของตู้ปลาที่ 2 เริ่มมีปัญหาคือ มีการตันเกิดขึ้นเนื่องจากเศษอาหารตกค้างอยู่มาก รวมถึงแผ่นฟิล์มชีวะที่เกาะติดอยู่กับตัวกลางกรองในเครื่องกรองที่ 2 มีความหนาขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการกรองความขุ่นได้ลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.5 ดังนั้นจึงต้องมีการล้างย้อน เครื่องกรองหินกรวดขึ้น และนำกลับมาใช้ทำให้มีประสิทธิภาพในการกรองเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนที่ 4 อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่นของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดความขุ่นของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY

MONTH	% EFFICIENCY FILTER 2	% EFFICIENCY FILTER 3	% EFFICIENCY FILTER 4
1	22.46	26.89	18.36
2	19.03	20.75	21.43
3	14.77	34.9	25.06
4	25.4	35.64	24.71
AVERAGE	20.42	29.55	22.39
STD.DEV.	3.96	6.13	2.72
NUMBER(n)	4	4	4

ตู้ปลาที่ 3 นั้นจะเป็นตู้ปลาที่เครื่องกรองหินปะการังมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด โดยรวมคือ 29.55% และน้ำในตู้ปลาโดยรวมแล้วมีค่าความขุ่นเฉลี่ย 1.423 NTU และจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าตู้อื่น ๆ คือ ไม่มีการเพิ่มอย่างกระทันหัน และมีอายุการใช้งานนานที่สุดในการล้างย้อน คือ จะเกิดการตันของเครื่องกรองเมื่อเข้าสู่เดือนที่ 4 และเมื่อมีการให้อาหารในเดือนที่ 4 ซึ่งถือว่าได้ให้อาหารมากที่สุด แต่ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำในตู้ปลายังต่ำกว่าตู้ปลาตู้อื่น ๆ คือ มีค่าเฉลี่ยความขุ่น เดือนที่ 4 คือ 2.49 NTU และประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องกรองเดือนที่ 4 คือ 35.64%

ตู้ปลาที่ 4 จะมีความขุ่นแปรเปลี่ยนตลอด และมีการตันของเครื่องกรองเกิดขึ้นมากที่สุดในเครื่องกรองนี้ คือ ต้องมีการล้างย้อน เครื่องกรองทุกเดือนตลอดการทดลอง โดยเฉพาะเดือนที่ 3 และเดือนที่ 4 จะมีการตันของเครื่องกรองเกิดขึ้นเร็ว เนื่องจากการตกค้างของเศษอาหารที่ให้ปลาในเดือนที่ 3 และเดือนที่ 4 มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และโดยเฉลี่ยแล้วตู้ปลาที่ 4 จะมีความขุ่นของน้ำมากกว่าตู้ปลาใด ๆ และค่าเฉลี่ยสุดท้ายคือ รวมคือ 1.777 NTU เฉพาะน้ำในตู้ปลา

และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองความขุ่นจะสูงถึง 1.337 NTU เช่นกัน แต่เมื่อดูประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของเครื่องกรองแล้วจะมีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับสองรองจากตู้ปลาที่ 3 ที่ใช้เครื่องกรองหินปะการัง คือ 22.39% โดยจะมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นจากช่วงเดือนแรก สาเหตุอาจจากการล้างย้อนเครื่องกรองบ่อย ๆ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการกรองมากขึ้นทุกครั้งหลังการล้างย้อน ดังจะเห็นในรูปที่ 4.4 ของตู้ปลาที่ 4 ช่วงกลางเดือนที่ 3 ไปเดือนที่ 4 และแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

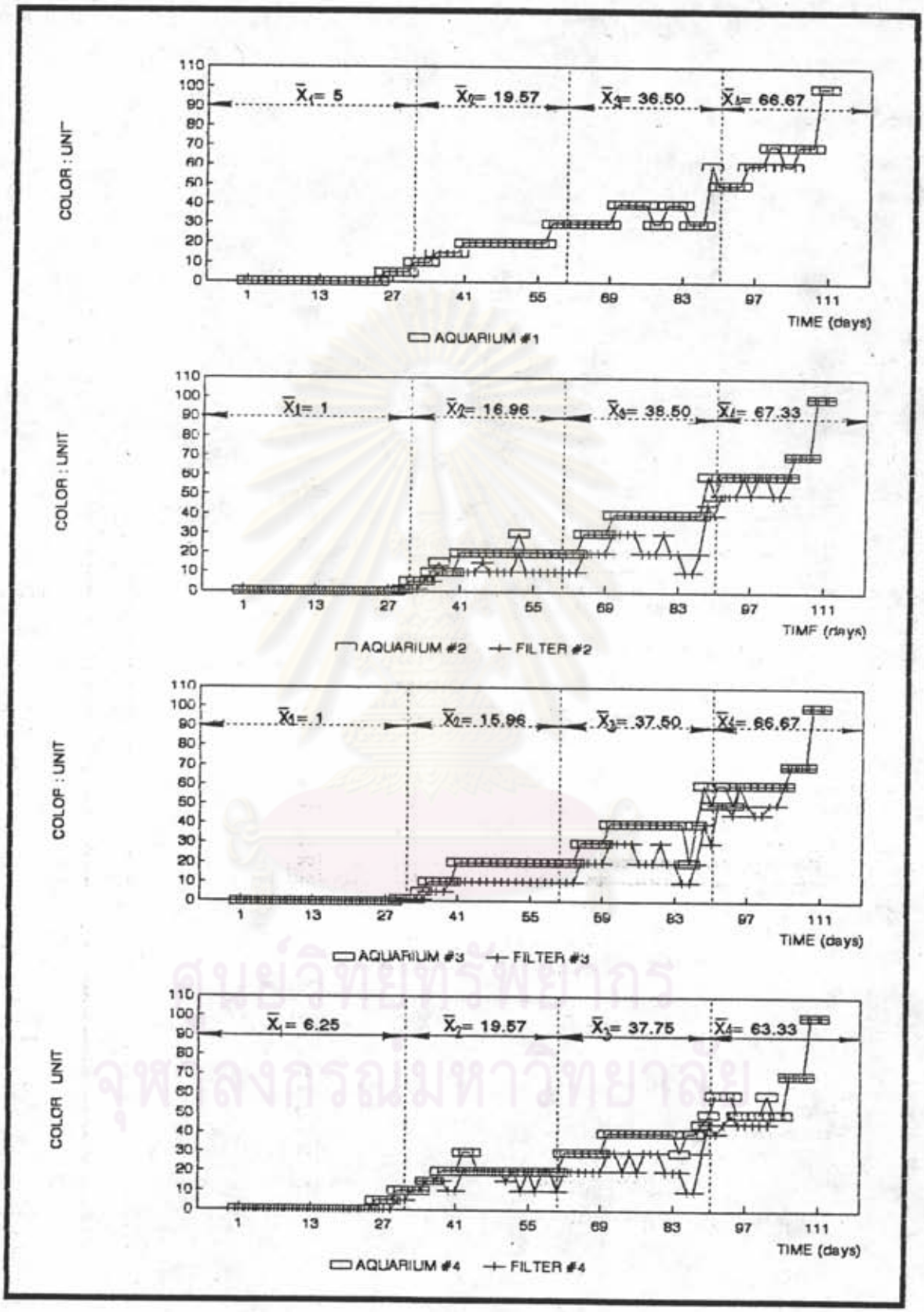
4.6 สี

สี เป็นคุณลักษณะทางกายภาพแบ่งเป็นสีแท้จริง และสีปรากฏ น้ำในตู้ปลาจะมีสีเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นในการทดลองซึ่งอาจจะเป็นสีที่เกิดขึ้นจากอาหารลำเร็จรูป จากตะกอนความขุ่น จากปฏิกิริยาทางชีวเคมีในตู้ปลา ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้คือ

จากรูปที่ 4.6 และตาราง ก-6 จะแสดงผลการทดลองของค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดการทดลอง

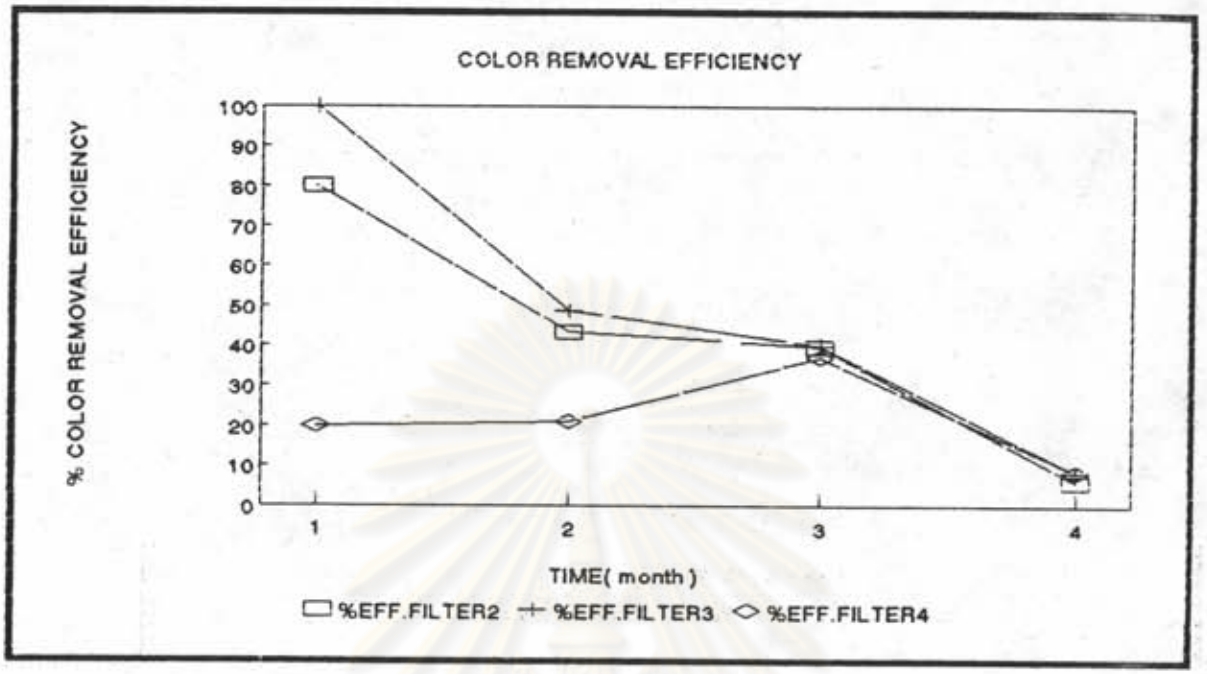
ในตู้ปลาที่ 1 ในช่วงเดือนแรกของการทดลอง น้ำในตู้ปลาจะไม่มีสีเกิดขึ้นเลย และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นที่ละน้อย เมื่อมีการเพิ่มปริมาณอาหารในแต่ละเดือนของการทดลอง และปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในตู้ปลาก็เพิ่มขึ้นด้วยค่าเฉลี่ยของสีในน้ำตู้ปลาที่ 1 คือ 31.94 ยูนิต เมื่อนับค่าสีในเดือนที่ 1 วิเคราะห์ร่วมด้วย 100 ยูนิต และค่าต่ำสุดคือ 0 ยูนิต ดังรูปที่ 4.27

ตู้ปลาที่ 2 ตู้ปลาที่ 3 และตู้ปลาที่ 4 มีผลการทดลองคล้าย ๆ กันคือเริ่มแรก จะไม่มีสีในน้ำเลย จนกระทั่งมีการเพิ่มของปริมาณอาหาร สีของน้ำในตู้ปลาก็จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของสีในตู้ปลาที่ 2,3,4 คือ 30.95, 30.28, 31.73 ยูนิต ส่วนค่าของประสิทธิภาพในการกำจัดสีเป็น 42.24%, 49.32%, 21.66% ในตู้ปลาที่ 2, 3, 4 ตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.7 จะแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ และตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ที่ตัดข้อมูลช่วงเดือนแรกจะได้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดสีเป็น 29.65%, 32.42%, 22.21% ของตู้ที่ 2, 3, 4, ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4



รูปที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

COLOR REMOVAL EFFICIENCY OF FILTER

MONTH	% EFFICIENCY FILTER 2	% EFFICIENCY FILTER 3	% EFFICIENCY FILTER 4
1	80	100	20
2	43.39	48.77	21.11
3	39.61	40	37.09
4	5.94	8.5	8.42
AVERAGE	42.24	49.32	21.66
STD.DEV.	26.23	32.87	10.20
NUMBER (n)	4	4	4

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีของเครื่องกรองภายนอก (เมื่อตัดค่าเฉลี่ย เดือนแรกออก)

COLOR REMOVAL EFFICIENCY OF FILTER

MONTH	% EFF. FILTER 2	% EFF.FILTER 3	% EFF. FILTER 4
2	43.39	48.77	21.11
3	39.61	40	37.09
4	5.94	8.5	8.42
AVERAGE	29.65	32.42	22.21
STD.DEV.	16.83	17.29	11.73
NUMBER (n)	3	3	3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 ค่าความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่าง เป็นตัวบ่งบอกถึงการมีเสถียรภาพในการต้านทาน การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของระบบเนื่องจากในน้ำเลี้ยงปลานั้นจะมีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นขึ้นเสมอ และจะมีการใช้ความเป็นด่างคือสารพวกไบคาร์บอเนตอิออน คาร์บอเนตอิออน ในการสมดุลย์กับไฮโดรเจนอิออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาน้ำที่มีความเป็นด่างมากกว่า 20-40 mg/L as $CaCO_3$ จะเหมาะสมกับการเลี้ยงปลา และจากค่าพิสัยของน้ำประปาที่ใส่ในตู้ปลาเริ่มต้นนั้นคือประมาณ 196 - 200 mg/L as $CaCO_3$ จากตารางที่ 4.1 เมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีเกิดขึ้นในเครื่องกรองจะสังเกตุเห็นว่าค่าความเป็นด่างเปลี่ยนแปลง ดังนี้คือ

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่างตลอดการทดลอง และตามตาราง ก-7 ในภาคผนวก ก และค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นด่างตลอดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.9

ในตู้ปลาที่ 1 ในรูปที่ 4.8 มีช่วงการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลาและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ค่าเฉลี่ยของความเป็นด่างคือ 192 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนแรก และลดเป็น 139.71 mg /L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 2 และค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 คือ 135 mg/L as $CaCO_3$ และเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 4 เป็น 157.78 mg/L as $CaCO_3$ และค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลอง คือ 156.12 mg/L as $CaCO_3$

ตู้ปลาที่ 2 มีช่วงการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดเวลา ค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นด่างคือ 186.33 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนแรกคือ 175.43 mg/L as $CaCO_3$ และในเดือนที่ 2 คือ 152.57 mg/L as $CaCO_3$ เดือนที่ 3 คือ 198 mg/L as $CaCO_3$ และเดือนที่ 4 คือ 219.33 mg/L as $CaCO_3$ เป็นของน้ำในตู้เลี้ยงปลา ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวด จะได้ค่าเฉลี่ยความเป็นด่างคือ 164.30 mg/L as $CaCO_3$ ซึ่งจะมีช่วงการลดลงของค่าความเป็นด่างของน้ำผ่านเครื่องกรองในเดือนที่ 2 คือ 136.00 mg/L as $CaCO_3$ อาจจะเป็นสาเหตุในช่วงนั้นมีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นมาก จึงใช้ความเป็นด่างมาก และแหล่งคาร์บอเนตอาจจะไม่เพียงพอจนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นไนเตรดหมด ค่าความเป็นด่างจึงเพิ่มขึ้นและลดลงอีกตามการเกิดไนตริฟิเคชั่น

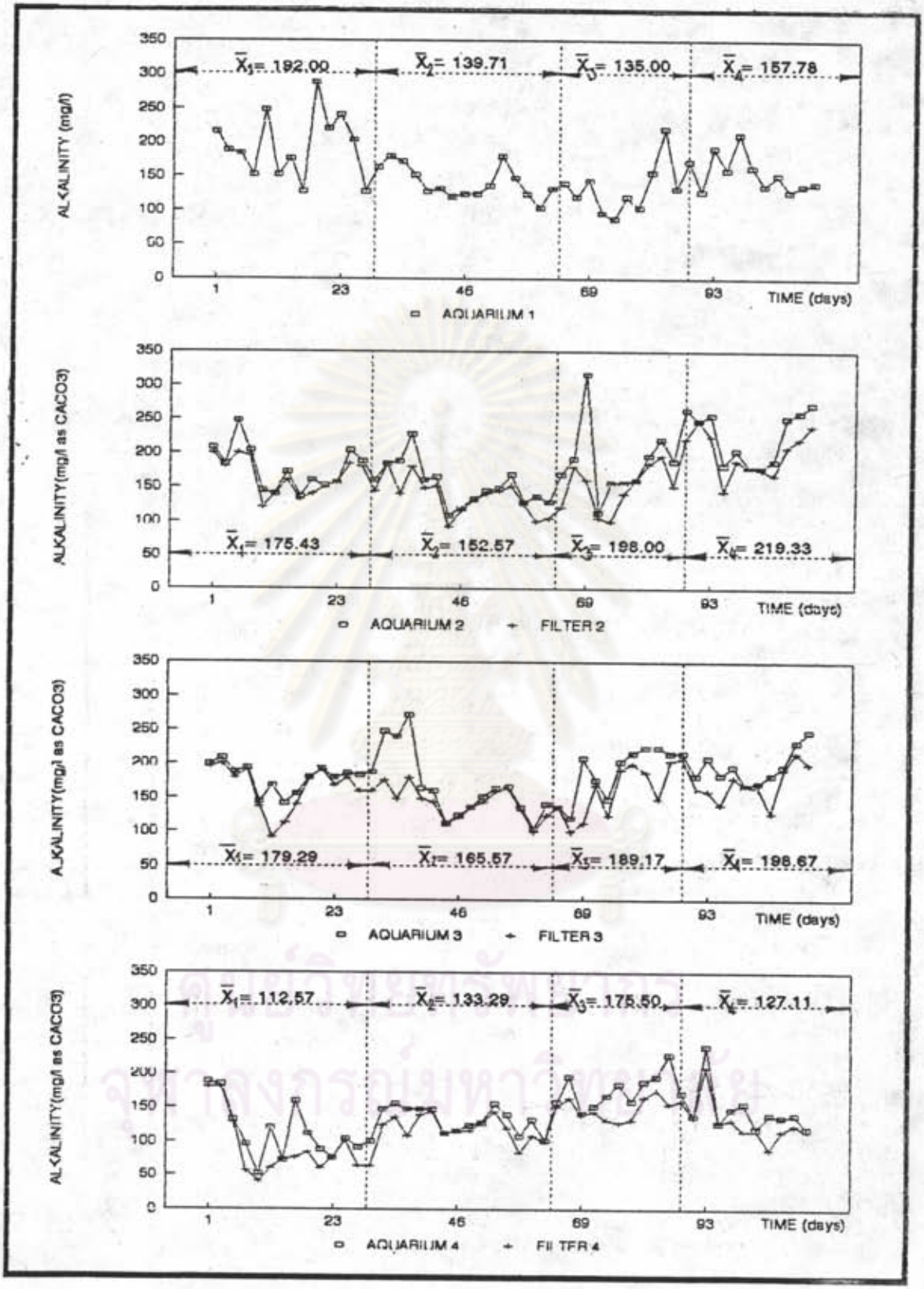
ตู้ปลาที่ 3 ช่วงของการเปลี่ยนแปลงไม่มาก ค่อนข้างจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ค่าเฉลี่ยรวมความเป็นด่างคือ 183.17 mg/L as $CaCO_3$ ค่าสูงสุดในเดือนที่ 3 คือ 198.67 mg/L as $CaCO_3$ ค่าต่ำสุดในเดือนที่ 2 คือ 165.57 mg/L as $CaCO_3$ เป็นของน้ำในตู้เลี้ยงปลา ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการัง จะได้ ค่าเฉลี่ยความเป็นด่างคือ 154 mg/L as $CaCO_3$ ค่าเฉลี่ยต่ำสุด เกิดขึ้นในเดือนที่ 2 เช่นกัน คือ 120.0 mg/L as $CaCO_3$ ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในตู้ที่ 2

ตู้ปลาที่ 4 ค่อนข้างจะมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงไม่มาก ค่าเฉลี่ยรวมความเป็นด่างคือ 141.73 mg/L as $CaCO_3$ ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 173.50 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 3 ค่าต่ำสุดคือ 112.73 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ เป็นของน้ำในตู้เลี้ยงปลา ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการัง จะได้ ค่าเฉลี่ยรวมความเป็นด่างคือ 121.16 mg/L as $CaCO_3$ ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 148.83 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 3 ค่าต่ำสุด คือ 88.71 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 1 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.11 เนื่องจากการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นที่มาก และแหล่งที่จะป้อนคาร์บอเนต มีปริมาณไม่เพียงพอ จึงทำให้ค่าความด่างลดลงต่ำกว่าตู้เลี้ยงปลาอื่น ๆ รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีจากแบคทีเรียใช้กำมะถันก็ก่อให้เกิดการใช้ความเป็นด่างหรือสารคาร์บอเนตมาก ในปฏิกิริยาจึงทำให้ค่าความเป็นด่างตู้ที่ 4 ต่ำกว่าตู้เลี้ยงปลาอื่นอีกสาเหตุหนึ่ง

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นด่าง ๆ ตลอดการทดลอง

AVERAGE ALKALINITY (mg/l as CaCO3)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	192.00	175.43	163.00	179.29	163.43	112.57	88.71
2	139.71	152.57	136.29	165.57	120.00	133.29	120.00
3	135.00	198.00	163.67	189.17	162.00	173.50	148.83
4	157.78	219.33	194.22	198.67	172.00	147.56	127.11
AVERAGE	156.12	186.33	164.30	183.17	154.36	141.73	121.16
STD. DEV.	22.39	24.92	20.51	12.26	20.20	22.16	21.54
NUMBER (n)	4	4	4	4	4	4	4



รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่าง ตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

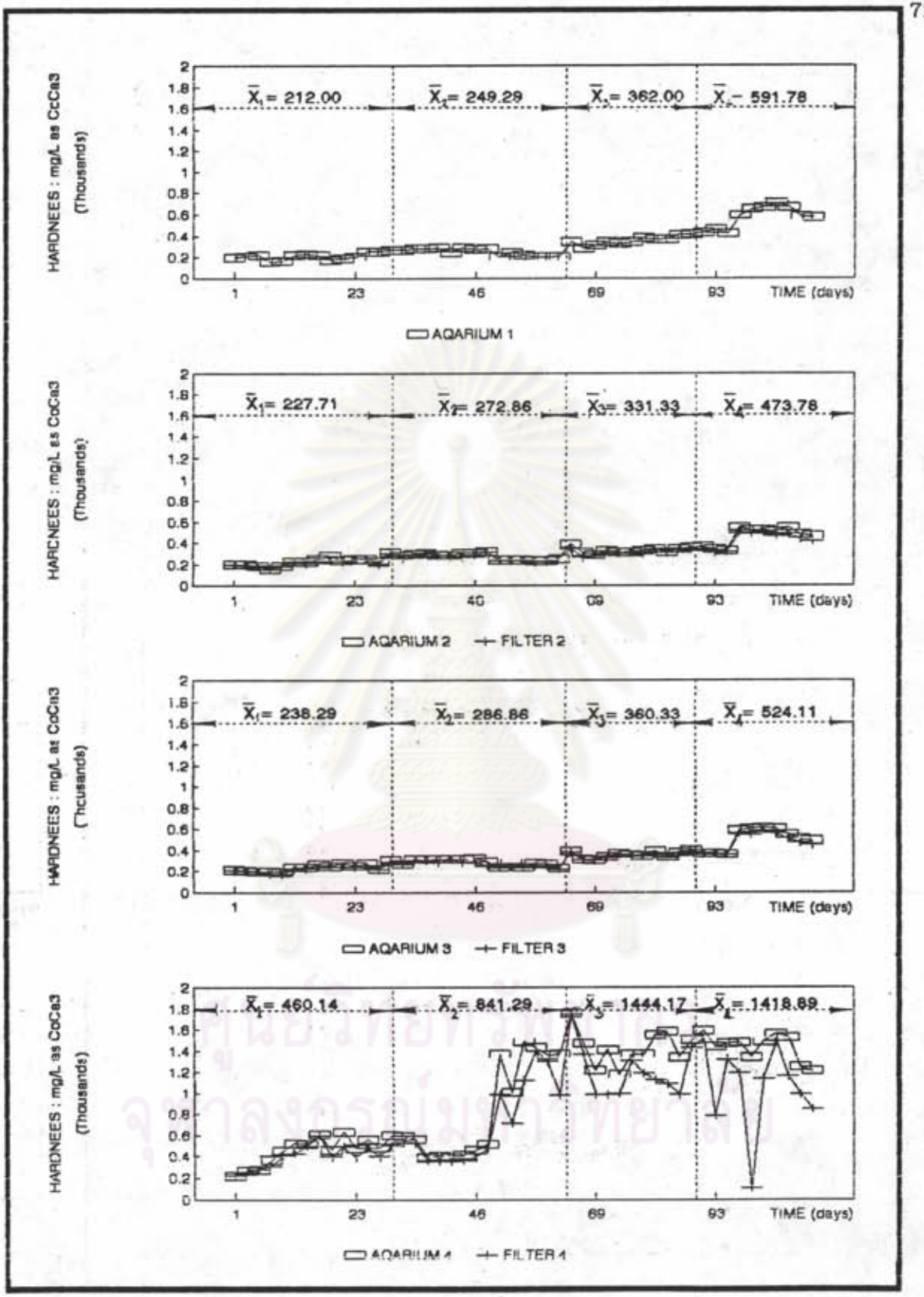
4.8 ค่าความกระด้าง

ค่าความกระด้างควรจะต้องมีบ้างในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลา และมีค่าตั้งแต่ประมาณ 20 mg/L as $CaCO_3$ ขึ้นไป ความกระด้างมีอยู่ 2 ประเภท คือ ความกระด้างคาร์บอเนต และความกระด้างถาวร ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอิออนต่าง ๆ ที่ละลายปะปนน้ำนั้น ๆ

จากรูปที่ 4.9 จะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างตลอดการทดลองของตู้ปลาทั้ง 4 และตารางที่ 4.10 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของความกระด้างตลอดการทดลองเช่นกัน

ตู้ปลาที่ 1 จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ค่าความกระด้างของตู้ปลามีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป และมีค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมด 353.77 mg/L as $CaCO_3$ ค่าสูงสุดคือ 591 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 3 ค่าต่ำสุดคือ 212 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 1 ซึ่งสาเหตุการเพิ่มขึ้นน่าจะมาจากความกระด้างที่ถาวร หรือความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนต เนื่องจากค่าความกระด้างทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าความเป็นด่าง ซึ่งจะเป็นปริมาณ Ca^{++} ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดไนตริฟิเคชั่น ทำให้มีการใช้คาร์บอเนตมากขึ้น จึงมีปริมาณ Ca อิออนที่หลงเหลือจากการถูกดึงเอาคาร์บอเนตไปใช้ จึงมีผลทำให้ตู้ปลาที่ 1 มีความกระด้างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาและในขณะเดียวกัน ค่าความเป็นด่างในเดือนที่ 4 จะลดลงมากซึ่งแสดงว่าความเป็นด่างที่อยู่ในระบบเหลือน้อย จนต้องไปดึงมาจากหินกรวดกรอง ทำให้ Ca อิออนหลงเหลือมาก และไปจับตัวกับ NO^{-}_{3}-N เกิดเป็นความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนต ดังนั้นความกระด้างจึงเพิ่มขึ้น

ตู้ปลาที่ 2 ผลจากการทดลอง ในช่วงแรก ๆ ของการทดลองที่มีการให้อาหารในปริมาณไม่มาก ค่าความกระด้างก็มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณอาหารในเดือนหลัง ๆ ค่าความกระด้างก็เริ่มเพิ่มตาม เนื่องจากเมื่อมีอาหารมากปลาจะกินมากขึ้น ขับถ่ายพวกแอมโมเนียออกมามาก รวมถึงโปรตีนในอาหารที่ตกค้างจะกลายไป กรดอะมิโน และแอมโมเนียไนโตรเจนโดยตรงค่าสูงสุดคือ 473.78 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 4 ค่าต่ำสุดคือ 227.71 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนแรกส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดนั้น ก็มีค่าใกล้เคียงและลดต่ำกว่า คือ มีค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมด 306.65 mg/L as $CaCO_3$ และค่าสูงสุดคือ 434.89 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 4 ค่าต่ำสุดคือ 216.14 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และตาราง ก-8 ในภาคผนวก-ก



รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตู้ปลาที่ 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับตู้ปลาที่ 2 ตามรูปที่ 4.9 และตาราง 4.10 และมีค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมดค่า 352.40 mg/L as $CaCO_3$ และมีการเพิ่มของความกระด้างทั้งหมดตามเวลาที่ผ่านไป ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการัง จะมีค่าเฉลี่ยของความกระด้างทั้งหมด คือ 331.11 mg/L as $CaCO_3$ ค่าสูงสุดคือ 492 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 4 ค่าต่ำสุดคือ 221.74 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 1

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยของความกระด้างตลอดการทดลอง

AVERAGE HARDNESS (mg/l as CaCO3)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	212.00	227.71	216.14	238.29	221.74	460.14	405.79
2	249.29	272.86	262.57	266.86	265.71	841.29	707.29
3	362.00	331.33	313.00	360.33	345.00	1444.17	1229.17
4	591.78	473.78	434.89	524.11	492.00	1418.89	1114.44
AVERAGE	353.77	326.42	306.65	352.40	331.11	1041.12	864.17
STD. DEV.	148.10	92.67	81.58	108.24	102.86	413.11	328.09
NUMBER (n)	4	4	4	4	4	4	4

ตู้ปลาที่ 4 จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความกระด้างทั้งหมดมาก และมีค่าความกระด้างเพิ่มขึ้นในปริมาณที่สูงมาก แตกต่างจากค่าของการเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และค่าเฉลี่ยสูงสุดของความกระด้างทั้งหมดคือ 1041.12 mg/L as $CaCO_3$ ค่าสูงสุดคือ 1,440 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 3 ค่าต่ำสุดคือ 460 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนแรก ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรอง ก็มีความกระด้างเฉลี่ยลดลงเป็น 864.17 mg/L as $CaCO_3$ ค่าสูงสุดเป็น 1229.17 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 3 ค่าต่ำสุดเป็น 405 mg/L as $CaCO_3$ ในเดือนที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าความกระด้างในตู้ปลาที่ 4 นี้มีความเข้มข้นที่สูงมาก สาเหตุอาจมาจากปริมาณ Ca อิออนที่ออกมาจากเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันนั้น มีปริมาณ Ca อิออนที่เป็นสาเหตุของความกระด้างอยู่เป็นปริมาณสูง ซึ่งมาจากปฏิกริยาทางชีวเคมีที่ทำให้มี Ca อิออน ตัวสาเหตุความกระด้างออกจากปฏิกิริยามาก เพราะถูกดึงคาร์บอเนตไปใช้ และสะสมอยู่ในตู้ปลาที่ 4 แม้ว่าในเครื่องกรองที่ 4 นี้จะมีการลดอิออนของไนเตรตไนโตรเจนลง แต่ก็ไม่ได้ทำให้ความกระด้างทั้งหมดลดลงไปได้ และปริมาณค่าความเป็นด่างทั้งหมดก็น้อยกว่าความกระด้างทั้งหมดมาก เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ความกระด้างทั้งหมดก็จะยิ่งทวีค่าสูงขึ้นอีกเช่นกัน เนื่องจากว่าคาร์บอเนตถูกดึงไป

ใช้ในปฏิกิริยาทั้งไนตริฟิเคชั่นและชีวเคมีอื่น ๆ ซึ่งจะเห็นจากค่าความเป็นด่างในตู้ที่ 4 ลดต่ำลงมาก และแหล่งป้อนคาร์บอเนตก็มีน้อยกว่าตู้อื่น ๆ ในขณะที่ความต้องการใช้คาร์บอเนตมีมากกว่าตู้อื่น ๆ จึงมีเหลือ Ca อิออน มาจับกับอิออนตัวอื่น ๆ เป็นความกระด้างถาวรเกิดขึ้นในระบบ

4.9 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน

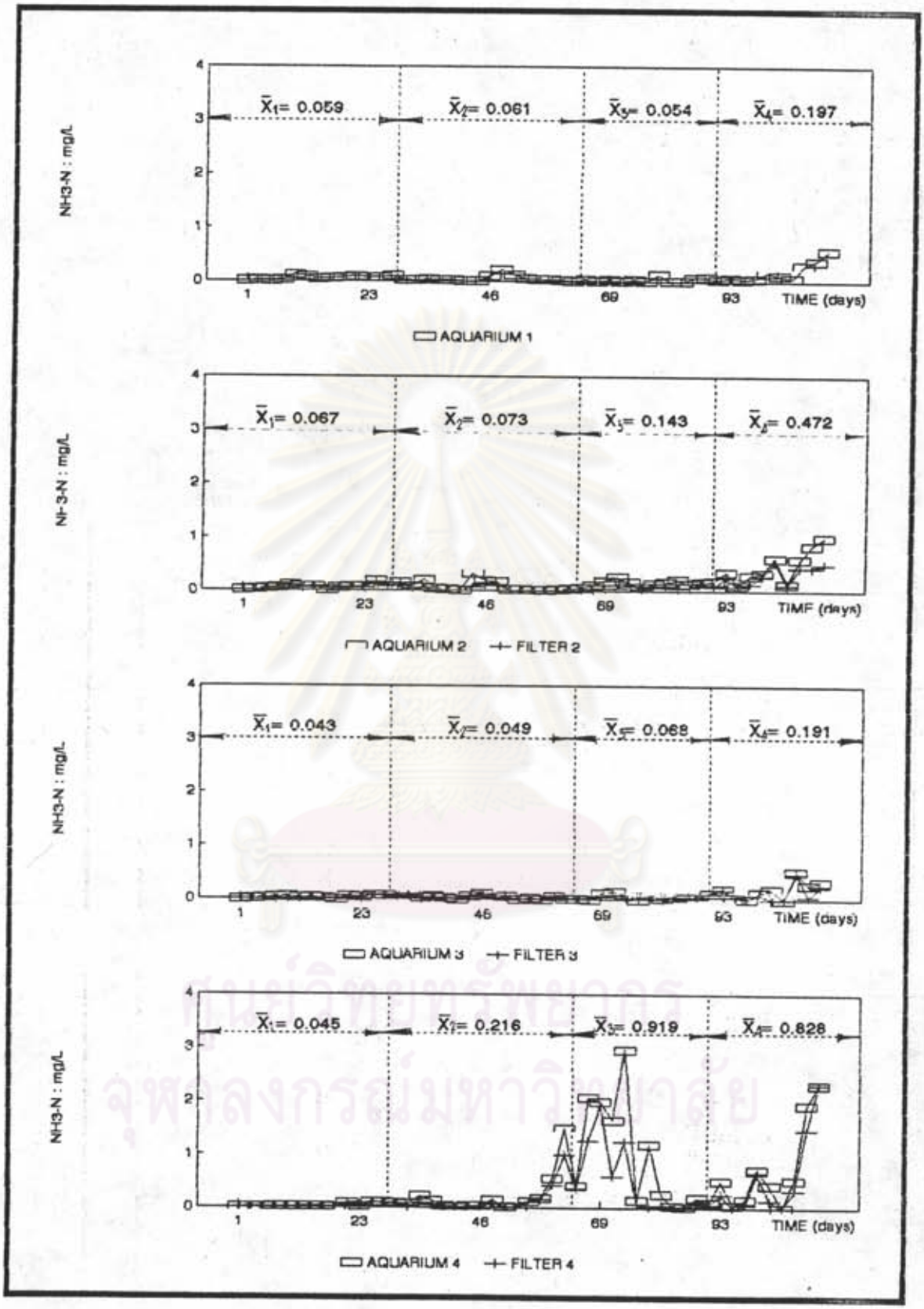
ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน มีอยู่เสมอในตู้ปลาทั่ว ๆ ไป ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์ต่าง ๆ จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน ก่อนที่เปลี่ยนแปลงเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ ต่อไป ซึ่งปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้น ภายในน้ำตู้ปลาก่อนที่จะสัมผัสกับก้อนหินหรือเครื่องกรองต่าง ๆ แอมโมเนียไนโตรเจนมีพิษต่อสัตว์น้ำต่าง ๆ มาก และจะอยู่ในน้ำเป็น 2 รูป แบบคือ แอมโมเนียอิสระ หรือ NH_3 เป็นพิษอย่างมากต่อปลา และแอมโมเนียอิออน หรือ NH^+_4 ไม่มีพิษต่อปลา สัดส่วนของ NH_3 และ NH^+_4 ในน้ำจะขึ้นอยู่กับพีเอช อุณหภูมิและเกลือแร่ ปริมาณ NH_3 จะเพิ่มขึ้นตามระดับพีเอช และอุณหภูมิที่เพิ่ม แต่พีเอชมีอิทธิพลต่อปริมาณของแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิและเกลือแร่ แต่ถ้ามีเกลือแร่สูงขึ้นจะมีอิทธิพลต่อแอมโมเนียคือมีค่าน้อยลงในทางกลับกัน ดังนั้นในน้ำทะเลจะมีปริมาณแอมโมเนียน้อยกว่าน้ำจืด แอมโมเนียอิสระควรจะมีอยู่ในน้ำตู้ปลาไม่เกิน 0-0.25 mg/L เพื่อมิให้เป็นอันตรายต่อปลา

จากรูปที่ 4.10 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในการทดลอง และตามตาราง ก-8 ในภาคผนวก ก และค่าเฉลี่ยของ NH_3-N ตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของ NH_3-N ตลอดการทดลอง

AVERAGE NH3-N : mg/L

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	0.059	0.067	0.063	0.043	0.041	0.045	0.041
2	0.061	0.073	0.045	0.049	0.042	0.216	0.199
3	0.054	0.143	0.073	0.066	0.054	0.919	0.479
4	0.197	0.472	0.3	0.191	0.183	0.828	0.74
AVERAGE	0.093	0.189	0.120	0.068	0.080	0.502	0.365
STD.DEV.	0.060	0.166	0.104	0.060	0.060	0.378	0.267
NUMBER(n)	4	4	4	4	4	4	4



รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไนโตรเจน ตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตู้ปลาที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียไนโตรเจน คือ มีค่าสูงสุด แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงในเวลาผ่านไป โดยช่วงแรกเริ่มจะมีปริมาณแอมโนเนียไนโตรเจนนละสมและขึ้นไปสูง เมื่อเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นแล้ว แอมโมเนียจะค่อย ๆ ลดลง และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอาหารเพิ่มขึ้น ก็จะมีช่วงสูงสุดของแอมโมเนียเกิดขึ้นอีกและลดลงตามเวลา ดังรูปที่ 4.10 และผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจนคือ 0.093 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.197 mg/L ในเดือนที่ 4 และค่าต่ำสุดคือ 0.059 mg/L ในเดือนแรก ซึ่งพิจารณาจากค่าพีเอชที่อยู่ในช่วงประมาณ 7-8 จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำนั้นจะเป็น NH^{+}_{4}-N มากกว่าแอมโมเนียคงตัวคือ NH_3-N

ตู้ปลาที่ 2 การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเช่นเดียวกับตู้ปลาที่ 1 มีค่าสูงสุดแล้วลดลงสลับกันไป และค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจนคือ 0.189 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.472 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.067 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนในน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดนั้น มีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจน 0.12 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.300 mg/L N ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.045 mg/L ในเดือนที่ 2 และประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนคือ 32.45% ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

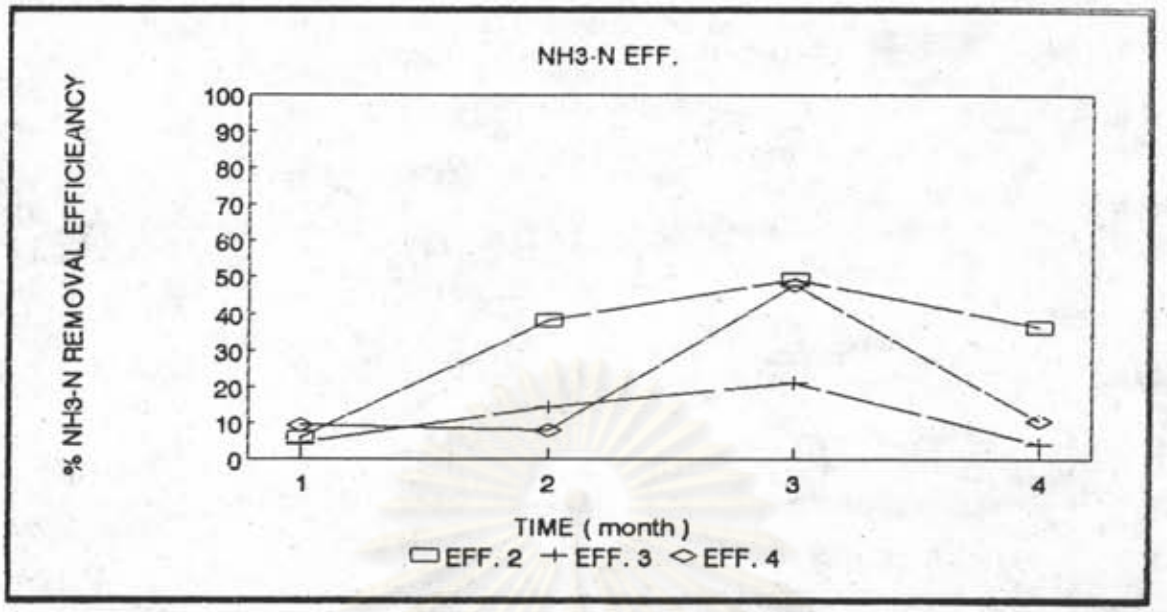
ตู้ปลาที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแสดงถึงการเกิดกระบวนไนตริฟิเคชันคือ มีปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน เกิดขึ้นสูงและลดน้อยลงไป และมีเกิดขึ้นอีกและลดน้อยลง ดังรูปที่ 4.10 และเมื่อเทียบกับตู้ปลาอื่นๆ จะมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่าตู้อื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนีย 0.088 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.191 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.042 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการังมีค่าเฉลี่ย แอมโมเนียคือ 0.080 mg/L ค่าสูงสุด 0.183 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.041 mg/L ในเดือนที่ 1 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด 10.99% ดังรูปที่ 4.11 ตามตาราง 4.12 ถึงแม้ค่าการกำจัดแอมโมเนียของเครื่องกรองปะการังจะน้อย แต่คุณภาพน้ำที่ผ่านออกจากถังกรองจะมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนน้อยที่สุดในบรรดาตู้ปลาทั้ง 4 ตู้ และช่วงของ pH ของตู้ที่ 3 อยู่ในช่วง 7-8 ดังนั้น ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำจะอยู่ในรูปของ NH^{+}_{4}-N มากกว่า NH_3-N

ตู้ปลาที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียในปริมาณที่มากกว่าตู้ปลาทุกตู้ แต่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงคล้าย ๆ กับตู้ปลาตู้อื่น มีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจนคือ 0.502 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.919 mg/L ในเดือนที่ 3 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.045 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน มีค่าเฉลี่ยรวมคือ 0.365 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด

คือ 0.74 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.041 mg/L ในเดือนที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดคือ 18.91% ดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

ถึงแม้ว่าการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในแง่ประสิทธิภาพการกำจัด ซึ่งได้ตัดเอาความผิดพลาดจากเครื่องมือ และความผิดพลาดจากการวิเคราะห์แล้วออกไปแล้ว เครื่องกรองที่ 4 จะดีกว่าเครื่องกรองตู้ที่ 3 แต่คุณภาพของน้ำที่ต้องการในตู้ปลา เครื่องกรองตู้ที่ 3 จะดีที่สุด แม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่า เครื่องกรองตู้ที่ 2 และตู้ที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.12 แสดงรายการคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

NH3-N REMOVAL EFFICIENCY OF FILTER

MONTH	% EFFICIENCY FILTER 2	% EFFICIENCY FILTER 3	% EFFICIENCY FILTER 4
1	5.837	4.526	9.256
2	38.235	14.249	7.963
3	49.271	21.042	47.865
4	36.456	4.133	10.574
AVERAGE	32.45	10.99	18.91
STD.DEV.	16.13	7.08	16.74
NUMBER(n)	4	4	4

สรุปผลการทดลองได้ดังนี้คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ดีที่สุดตลอดการทดลองคือ เครื่องกรองหินกรวด 32.45% รองลงมาคือเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน 18.19% และเครื่องกรองหินปะการัง ด้วยที่สุด 10.99%

4.10 ไนไตรต์ไนโตรเจน

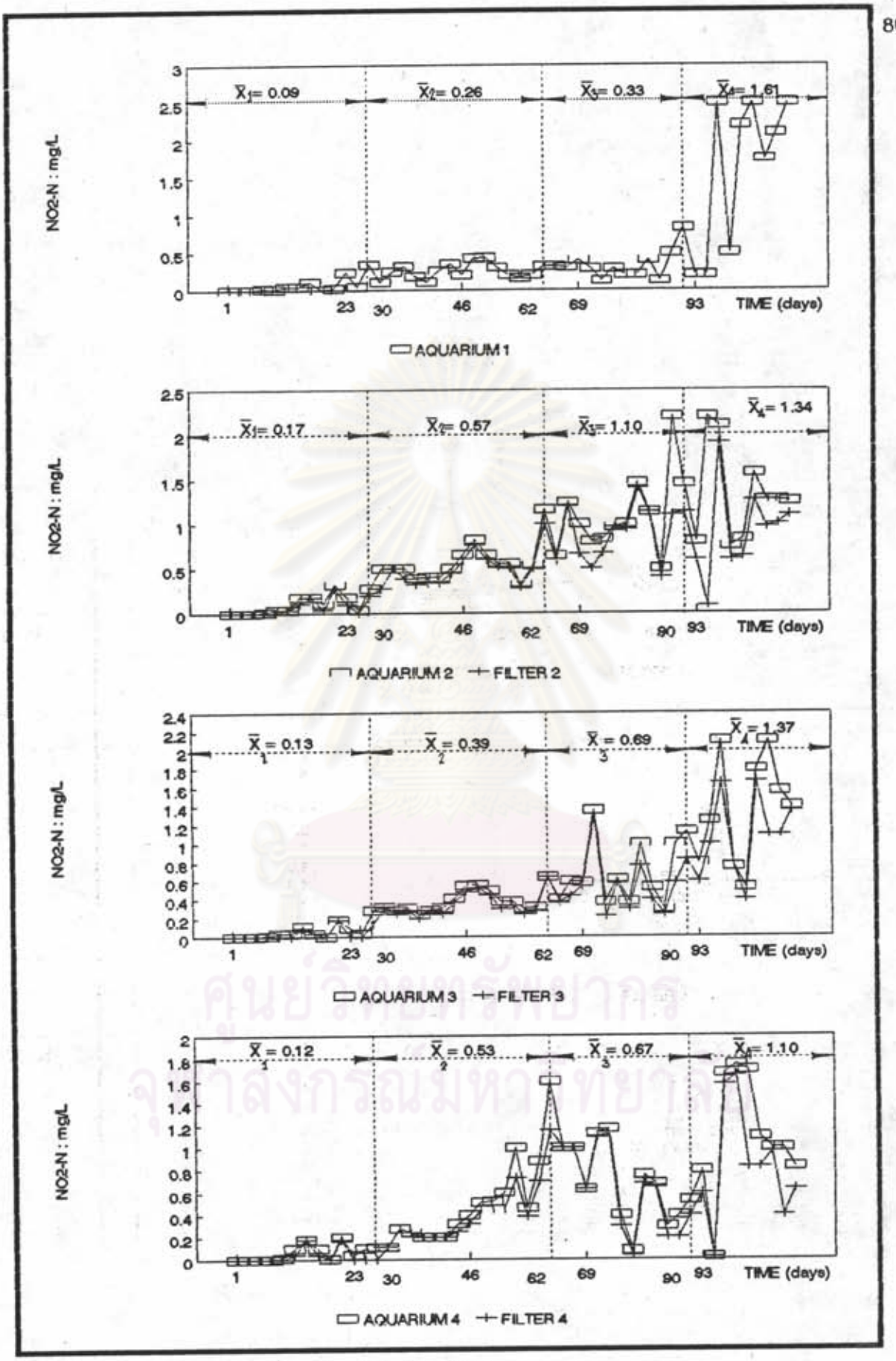
ไนไตรต์ไนโตรเจน จะเป็นไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปมาจากแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ขั้นที่ 2 โดยการกระทำของแบคทีเรีย ไนโตรโซโมนาส ซึ่งไนไตรต์นี้จะเป็นอันตรายต่อปลา ทำให้เกิดภาวะโรคเลือดน้ำตาล เนื่องจาก ตัวไนไตรต์ไนโตรเจน จะไปจับกับฮีโมโกลบิน ในเม็ดเลือดแทนที่ออกซิเจน ทำให้ปลาขาดออกซิเจน และตายได้ ไนไตรต์ไนโตรเจน จะยอมให้มีได้ในน้ำตู้เลี้ยงปลาไม่เกิน 0.5 mg/L

จากรูปที่ 4.12 จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของไนไตรต์ที่ได้จากการทดลอง และตามตารางที่ ก-10 ในภาคผนวก ก. และค่าเฉลี่ยของไนไตรต์ไนโตรเจนตลอดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของไนไตรต์ไนโตรเจนตลอดการทดลอง

AVERAGE NO2-N (mg/L)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	0.09	0.17	0.15	0.13	0.11	0.12	0.11
2	0.26	0.57	0.51	0.39	0.35	0.53	0.43
3	0.33	1.10	0.89	0.69	0.55	0.67	0.61
4	1.61	1.34	0.91	1.37	1.07	1.10	0.83
AVERAGE	0.57	0.80	0.62	0.65	0.52	0.61	0.50
STD.DEV.	0.61	0.46	0.31	0.46	0.35	0.35	0.26
NUMBER(n)	4	4	4	4	4	4	4



รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรต์ไนโตรเจนตลอดการทดลอง

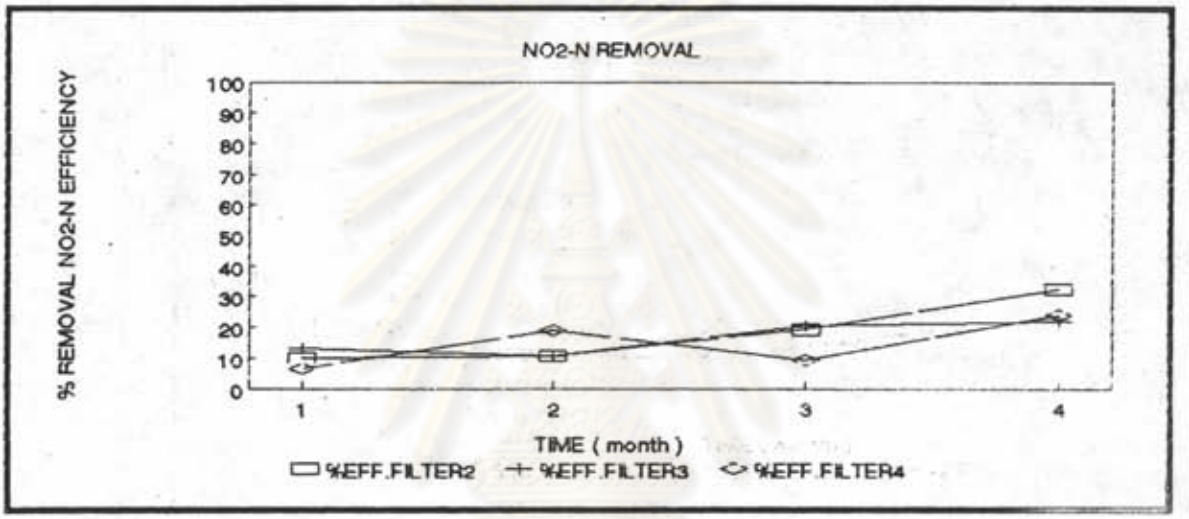
$\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$ = ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตู้ปลาที่ 1 จะมีการเปลี่ยนแปลงของไนไตรต์ จากช่วงแรกของการทดลอง จะยังไม่มีไนไตรต์เกิดขึ้นจนกระทั่งเวลาผ่านไปจะมีปริมาณของไนไตรต์ไนโตรเจน เกิดขึ้นสะสมไปจนในช่วงที่มีการเพิ่มปริมาณอาหารมากขึ้น ไนไตรต์ก็จะไม่ลดลง ดังรูปที่ 4.12 และค่าเฉลี่ยรวมที่ได้คือ 0.57 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.61 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.09 mg/L ในเดือนที่ 1 ซึ่งในช่วงท้าย ๆ การทดลองไนไตรต์จะเพิ่มขึ้นสูงมาก อาจจะมีสะสมของไนไตรต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงเข้ากระบวนการไนตริฟิเคชั่นแล้ว แบคทีเรียที่จะเปลี่ยนรูปไนไตรต์เป็น ไนเตรต มีน้อยเกินไป เนื่องจากมีปริมาณการเพิ่มประชากรน้อยกว่าแบคทีเรียที่เปลี่ยนรูปแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นไนไตรต์ หรือเนื่องจากเครื่องกรองภายในตู้เกิดภาวะแรงเสียดทาน จากผิวฟิล์มชีวะมากจนกรองน้ำได้น้อยลง และอาจจะมีภาวะขาดแคลนออกซิเจนในชั้นกรองที่อยู่ลึกลงไปจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้มีไนไตรต์ไนโตรเจนสะสมมากขึ้น

ตู้ปลาที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงของไนไตรต์จากช่วงแรกของการทดลอง จะยังไม่มีไนไตรต์เกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันยังไม่เกิดขึ้น จนเวลาผ่านไป แต่ก็มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงขึ้น ๆ ลง ๆ ตลอดการทดลอง ดังในรูปที่ 4.12 และค่าเฉลี่ยรวมที่ได้จากการทดลองคือ 0.80 mg/L มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.34 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.17 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการัง จะได้ค่าเฉลี่ยคือ 0.62 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.91 mg/L ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.15 mg/L และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรต์ไนโตรเจนได้คือ 18.03% ตามรูปที่ 4.13 และตามตารางที่ 4.14 และสาเหตุการเพิ่มขึ้นไนไตรต์ไนโตรเจนสูงขึ้นไปในช่วงเดือนที่ 4 เนื่องจากอาจจะเกิดจากการสะสมไนไตรต์ไนโตรเจน ในตู้ปลานั้น หรืออาจจะเกิดจากการใส่อาหารปลาที่มากในช่วงเดือนที่ 4 และจากการที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงด้วย ในช่วงนั้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจนมีไนไตรต์ไนโตรเจนสะสมมากขึ้น

ตู้ปลาที่ 3 จะมีผลการทดลองคล้าย ๆ ตู้ปลาที่ 2 และค่าเฉลี่ยรวมของไนไตรต์ไนโตรเจนคือ 0.65 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.37 mg/L ในเดือนที่ 4 และค่าต่ำสุด 0.13 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการัง จะได้ไนไตรต์ลดลง คือได้ค่าเฉลี่ยรวม 0.52 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 1.07 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.11 mg/L ในเดือนที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และความสามารถในการกำจัดไนไตรต์ไนโตรเจน ของเครื่องกรองหินปะการังคือ 16.14% ตามรูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดไนไตรต์ตลอดการทดลอง และตามตารางที่ 4.14 ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงมีเหตุผลคล้ายกับตู้ที่ 2

ตู้ปลาที่ 4 จากรูปที่ 4.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงไนไตรต์ไนโตรเจน ในตู้ปลาที่ 4 ซึ่งมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับ ตู้ที่ 2, 3 และมีค่าเฉลี่ยรวมที่ได้จากการทดลองคือ 0.61 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 1.10 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.12 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน จะได้ค่าเฉลี่ยรวมไนไตรต์ไนโตรเจน 0.50 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.83 mg/L ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.11 mg/L ในเดือนที่ 1 และความสามารถในการกำจัดไนไตรต์ไนโตรเจน จะแสดงในรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพที่ได้คือ 14.64%



รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรต์ไนโตรเจนของเครื่องกรองชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.14 แสดงรายการค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนไตรต์ไนโตรเจนของเครื่องกรองชนิดต่าง ๆ

% NO2-N REMOVAL EFFICIENCY OF FILTER

MONTH	% EFFICIENCY FILTER 2	% EFFICIENCY FILTER 3	% EFFICIENCY FILTER 4
1	10.04	12.93	6.38
2	10.58	10.62	18.89
3	19.21	20.40	9.29
4	32.30	21.81	23.98
AVERAGE	18.03	16.44	14.64
STD.DEV.	9.01	4.76	7.11
NUMBER(n)	4	4	4

4.11 ค่าไนเตรตไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen)

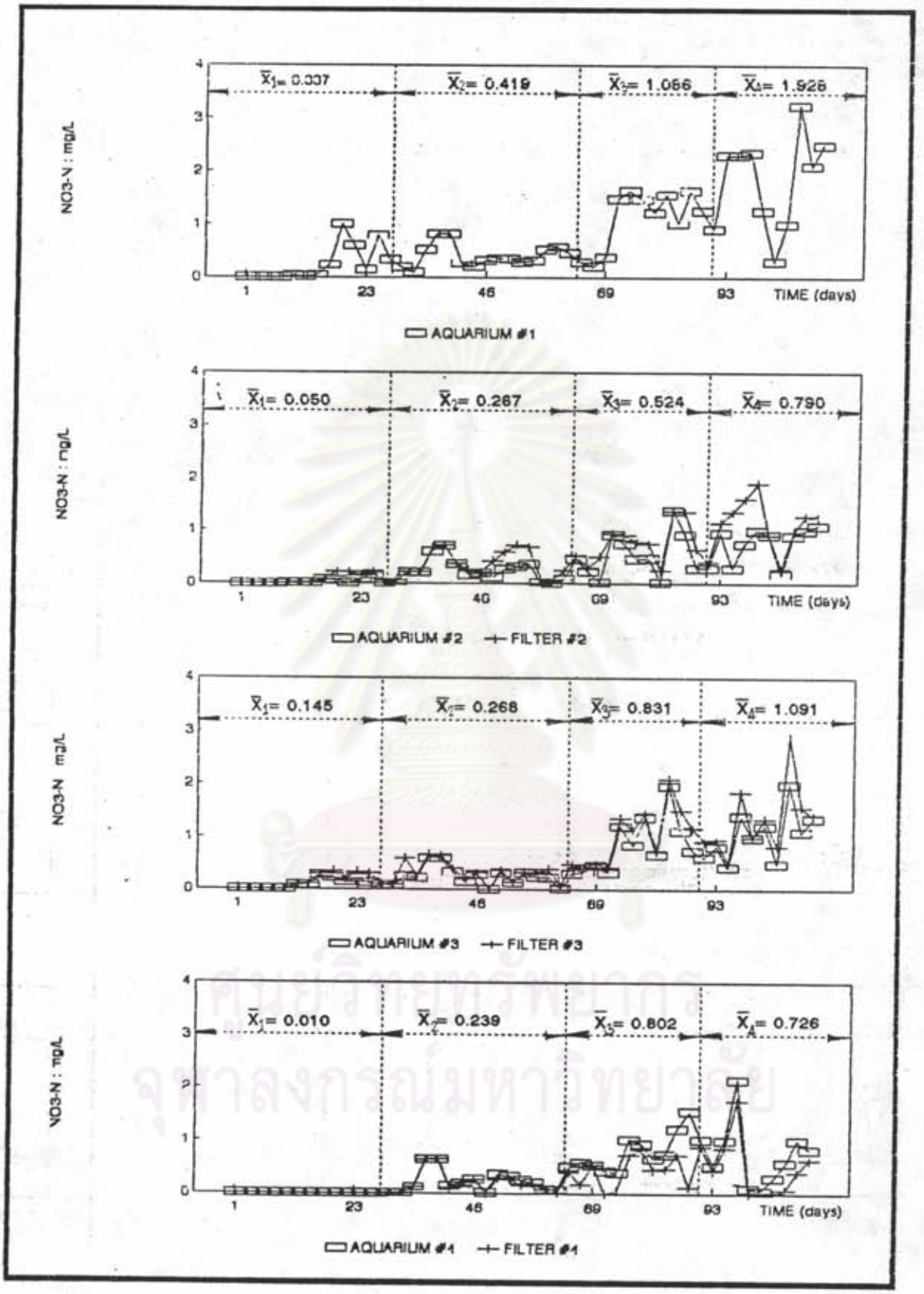
ไนเตรตไนโตรเจน เป็นตัวสุดท้ายของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการกระทำของไนตริฟายอิง แบคทีเรีย ชื่อไนโตรแบคเตอร์ แบคทีเรียที่จะออกซิไดซ์ไนไตรตไนโตรเจน เป็นไนเตรตไนโตรเจน และจะมีการสะสมตัวของไนเตรตไนโตรเจนในตู้ปลานั้น เพราะว่าตัวของไนเตรตไนโตรเจน จะไม่เป็นอันตรายต่อปลาที่เลี้ยง จนปริมาณสะสมสูงสุดถึง 400 mg/L ขีดจำกัดของปริมาณไนไตรตไนโตรเจน แสดงในตารางที่ 2.6

ตู้ปลาที่ 1 จากรูปที่ 4.14 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงไนเตรตไนโตรเจน ตลอดการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกจะยังไม่มีปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเกิดขึ้นจนเวลาผ่าน ๆ ไปปริมาณของไนเตรตจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการมีสารอาหารอินทรีย์เข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเคชัน และมีแอมโมเนียมากขึ้น ออกซิเจนที่เพียงพอปฏิกริยาการเกิดไนเตรตจึงเกิดและสะสมในตู้ปลานั้น โดยจะมีค่าเฉลี่ยคือ 0.343 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.928 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.337 mg/L ในเดือนที่ 1 ค่าเฉลี่ยไนเตรตไนโตรเจน แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยไนเตรตไนโตรเจนตลอดการทดลอง

AVERAGE NO3-N (mg/L)

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	0.337	0.05	0.106	0.145	0.211	0.01	0.01
2	0.419	0.267	0.396	0.268	0.34	0.239	0.206
3	1.086	0.524	0.733	0.831	1.02	0.802	0.488
4	1.928	0.79	1.188	1.091	1.372	0.726	0.524
AVERAGE	0.943	0.408	0.606	0.584	0.736	0.444	0.307
STD.VEA.	0.639	0.277	0.403	0.391	0.479	0.331	0.211
NUMBER(n)	4	4	4	4	4	4	4



รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตไนโตรเจนตลอดการทดลอง

$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตู้ปลาที่ 2 ไนเตรตในตู้ปลาที่ 2 มีการสะสมตัวขึ้นทีละน้อย จากแรกเริ่มไม่มีไนเตรตอยู่จนเพิ่มขึ้น ๆ ตามปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้น และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดเช่นกัน จะมีการเพิ่มขึ้นของไนเตรตจากน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวด เนื่องจากการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ขึ้นในเครื่องกรอง จึงทำให้ปริมาณไนเตรตเกิดขึ้นและสะสมอยู่ในตู้ปลา ค่าเฉลี่ยรวมของไนเตรตไนโตรเจนคือ 0.408 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.79 mg/L ในเดือนที่ 4 และค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.05 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดจะได้ค่าเฉลี่ยรวม 0.606 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 1.188 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.106 mg/L ในเดือนที่ 1 ประสิทธิภาพของการเกิดไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มขึ้นคือ 23.66% ดังแสดงตามตารางที่ 4.16 และไม่มีการลดไนเตรตไนโตรเจน

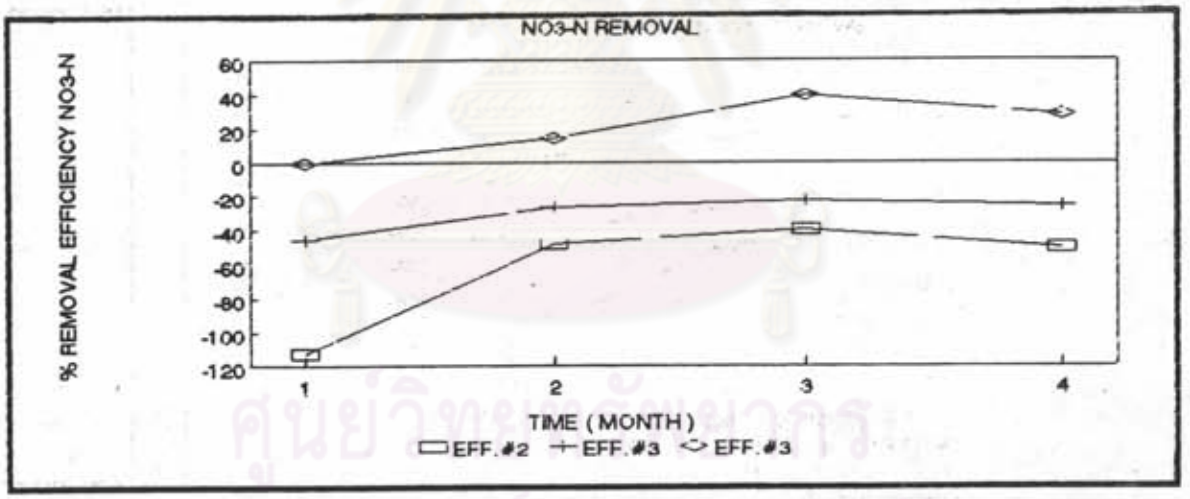
ตู้ปลาที่ 3 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับตู้ปลาที่ 2 เนื่องจากการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้นเช่นกัน ของเครื่องกรองหินปะการัง ดังนั้นจะได้ผลการทดลองคือ ค่าเฉลี่ยรวมของไนโตรเจนคือ 0.584 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.091 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.145 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการัง จะได้ค่าเฉลี่ยรวมคือ 1.372 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.372 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.211 mg/L ในเดือนที่ 1 และการเพิ่มขึ้นของไนเตรตเท่ากับ 22.83% ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งแสดงถึงไม่มีการลดไนเตรตไนโตรเจนเลย

ตู้ปลาที่ 4 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางกรองของเครื่องกรองตู้ปลาที่ 4 เป็นหินกรวดผสมกำมะถัน จึงมีความสามารถในการรีดิวซ์ไนเตรตไนโตรเจน ที่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ ทำให้ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน สามารถลดลงได้หลังจากที่ผ่านเครื่องกรองตู้ปลาที่ 4 ดังนั้น ปริมาณไนเตรตที่จะสะสมในตู้ปลาที่ 4 จึงมีน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.12 มีค่าเฉลี่ยของไนเตรตไนโตรเจนคือ 0.444 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.726 mg/L ในเดือนที่ 4 และค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.01 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันจะมีค่าไนเตรตลดลงคือ ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเฉลี่ยค่า 0.307 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.524 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.01 mg/L ในเดือนที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรตไนโตรเจนคือ 20.25% ตามรูปที่ 4.15 และตาราง 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพการเพิ่มและลดไนเตรตไนโตรเจนของเครื่องกรองชนิดต่างๆ

NO3-N REMOVAL EFFICIENCY OF FILTER

MONTH	% PRODUCTION 2	% PRODUCTION 3	% EFFICIENCY FILTER 4
1	52.96	31.14	0
2	32.551	21.218	14.01
3	26.54	18.47	39.14
4	33.54	20.51	27.85
AVERAGE	23.66	22.83	20.25
STD.DEV.	13.79	4.90	14.69
NUMBER(n)	4	4	4



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรตไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.12 ค่าซีโอดี (COD)

ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) คือ ค่าความสกปรกในน้ำนั้น ซึ่งจะคิดความหมายออกมาเป็นปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการที่จะกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้นให้เป็นน้ำสะอาดโดยการใช้สารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงในการวิเคราะห์หา

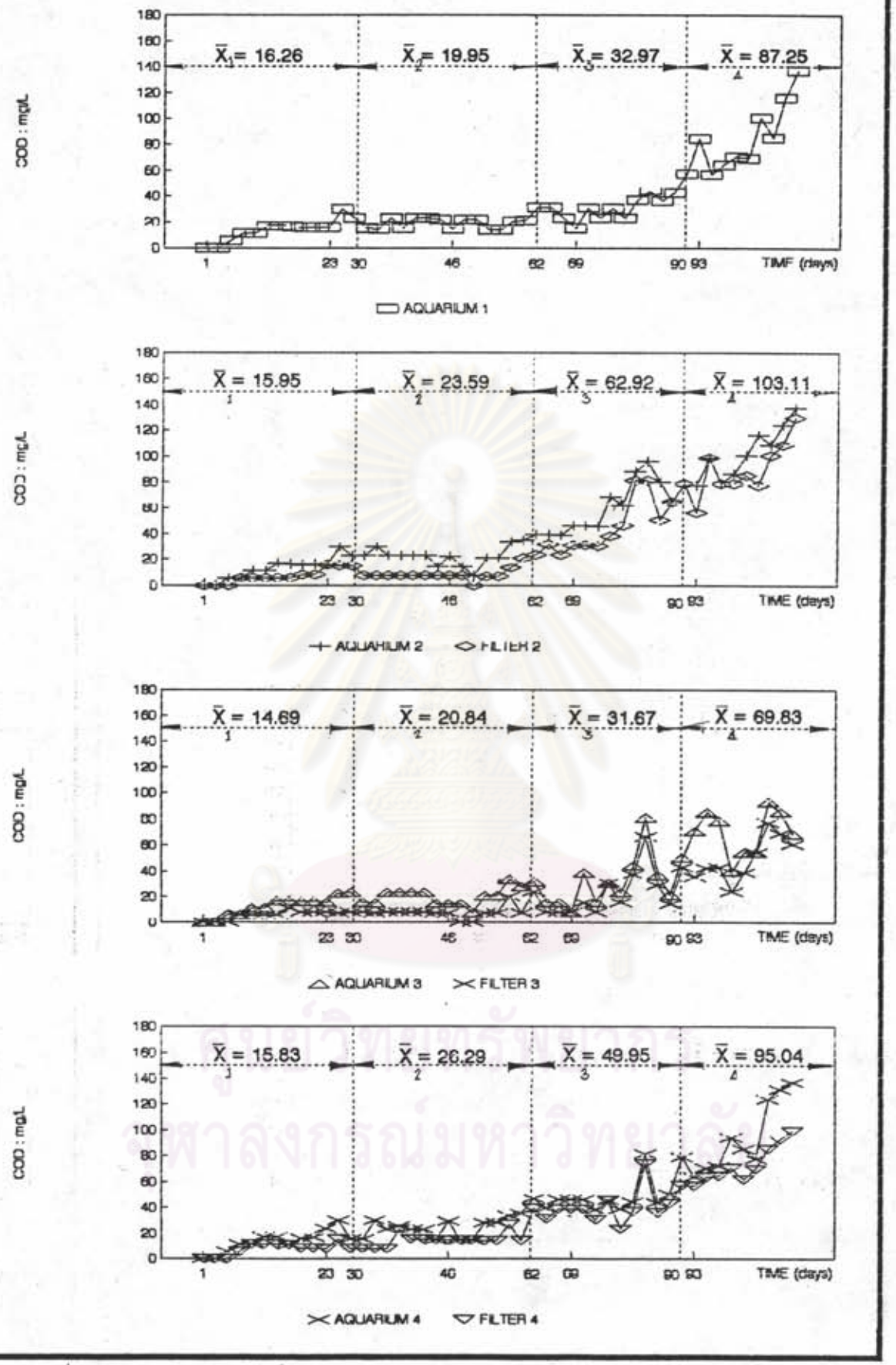
ค่าซีโอดี จะบ่งบอกถึงความสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำตู้ปลา ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ตู้ปลานั้น ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.16 ตาราง ก-12 ภาคผนวก ก และตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีตลอดการทดลอง

ตู้ปลาที่ 1 แสดงในรูปที่ 4.16 จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีในตู้ปลา ซึ่งมีแนวโน้มมีความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้นในเวลาที่ผ่านไป เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอาหาร ทำให้ความสามารถในการกินอาหารของปลาทองไม่ทัน กับปริมาณอาหาร จึงมีปริมาณอาหารเหลือตกค้างมากขึ้นตามลำดับ เมื่อมีการสะสมมากขึ้นค่าซีโอดี ของตู้ปลาย่อมเพิ่มขึ้นตามทันที และจะได้ค่าเฉลี่ยรวมของซีโอดี 39.11 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 87.25 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 16.26 mg/L ในเดือนที่ 1

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีตลอดการทดลอง

AVERAGE COD : mg/L

MONTH	AQUARIUM 1	AQUARIUM 2	FILTER 2	AQUARIUM 3	FILTER 3	AQUARIUM 4	FILTER 4
1	16.26	15.95	8.91	14.69	7.32	15.83	9.54
2	19.95	23.56	10.31	20.84	9.77	26.29	16.77
3	32.97	62.92	49.03	31.67	23.51	49.95	41.21
4	87.25	103.11	90.44	69.83	49.4	95.04	73.78
AVERAGE	39.11	51.39	39.67	34.26	22.50	46.78	35.33
STD.DEV.	28.48	34.78	33.44	21.42	16.71	30.48	25.11
NUBER (n)	4	4	4	4	4	4	4



รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี ตลอดการทดลอง

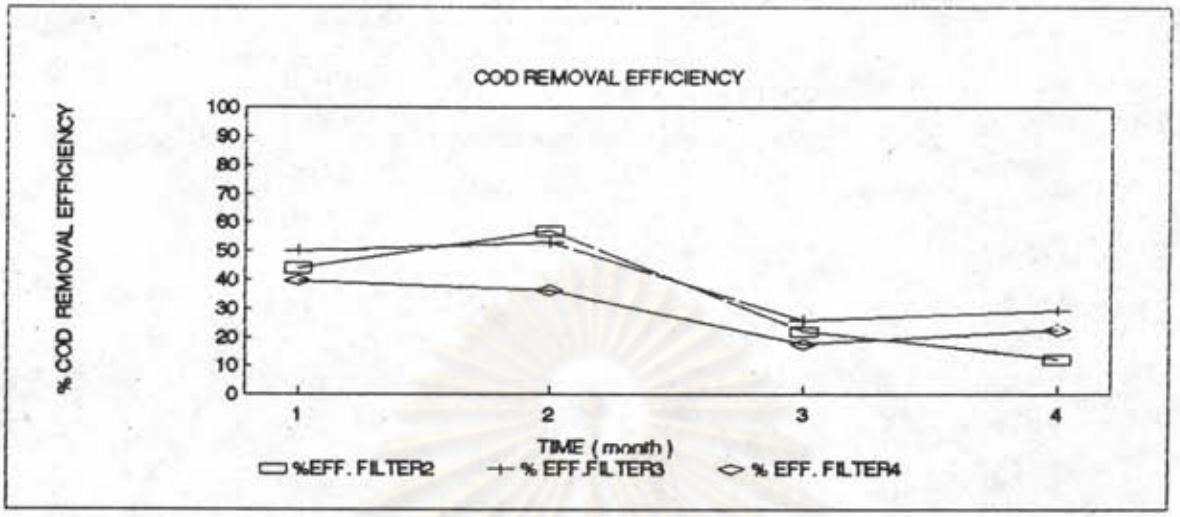
$\bar{X}_1$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 $\bar{X}_2$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 2 $\bar{X}_3$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 3 $\bar{X}_4$= ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 4

ตู้ปลาที่ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี แต่เป็นการเพิ่มที่มีประสิทธิภาพของเครื่องกรองหินกรวดเป็นตัวคอยกำจัด ซีโอดีตามไป ดังนั้นจึงมีค่าของความเข้มข้นซีโอดีไม่สะสมมากขึ้นเหมือนตู้ปลาที่ 1 ดังในรูปที่ 4.13 และค่าเฉลี่ยรวมของซีโอดีคือ 51.39 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 103.11 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 15.95 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวด แล้วจะมีค่าเฉลี่ยคือ 39.67 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 90.44 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 8.91 mg/L ในเดือนที่ 1 และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีคือ 33.88% ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และตาราง 4.18

ตู้ปลาที่ 3 เป็นตู้มีการเปลี่ยนแปลงของซีโอดีที่จะสะสมน้อย แม้ในขณะการให้ปริมาณอาหาร ในแต่ละตู้ปลาเท่า ๆ กัน แต่ตู้ที่ 3 ยังมีเครื่องกรองหินปะการังที่มีความสามารถในการกำจัดค่าซีโอดีได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และมีค่าเฉลี่ยของซีโอดีในตู้คือ 34.26 mg/L มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 69.83 mg/L ในเดือนที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 14.69 mg/L ในเดือนที่ 3 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการังนั้นจะมีค่าเฉลี่ยของซีโอดีคือ 22.50 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 49.40 mg/L ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 7.32 mg/L ในเดือนที่ 1 และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีของเครื่องกรองหินปะการังคือ 39.58% ดังรูปที่ 4.17 และตามตารางที่ 4.18

ตู้ปลาที่ 4 เป็นตู้ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีคือ ในช่วงแรกจะยังมีซีโอดีที่ต่ำ จนกระทั่งเมื่อมีการเพิ่มปริมาณอาหารจะทำให้ค่าซีโอดี เพิ่มมากขึ้นตามเวลา และมีค่าเฉลี่ยรวมของซีโอดีในตู้คือ 46.78 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 95.04 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 15.83 mg/L ในเดือนที่ 1 ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน มีค่าเฉลี่ยซีโอดีคือ 35.33 mg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 73.78 mg/L ในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 9.54 mg/L ในเดือนที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีของเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันคือ 28.95% ดังรูปที่ 4.17 และตามตารางที่ 4.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองต่าง ๆ ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.18 แสดงรายการคำนวณประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองต่าง ๆ ตลอดการทดลอง

COD REMOVAL EFFICIENCY OF FILTER

MONTH	FISHFOOD(gm.)	% EFFICIENCY FILTER 2	% EFFICIENCY FILTER 3	% EFFICIENCY FILTER 4
1	2	44.15	50.19	39.73
2	4	56.99	53.09	36.2
3	6	22.08	25.77	17.5
4	8	12.29	29.26	22.37
AVERAGE		33.88	39.58	28.95
STD.DEVIATION		17.64	12.17	9.26
NUMBER(n)		4	4	4

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภท ในการลดค่า ซีโอดี ของน้ำในตู้เลี้ยงปลา

ความสกปรกที่เกิดขึ้นในตู้เลี้ยงปลานั้น มีสาเหตุมาจากการให้อาหารปลา ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ลงไปในตู้เลี้ยงปลา บางส่วนของอาหารปลาจะถูกปลาที่เลี้ยงไว้กิน และมีบางส่วนที่จะตกค้างอยู่ในน้ำตู้ปลารวมถึงของเสียที่ขับถ่ายออกมาจากตัวปลาเองด้วย

ในการวิจัยนี้ เครื่องกรองหินภายในตู้จะติดตั้งในตู้ปลาที่ 1 และเครื่องกรองภายนอกตู้เลี้ยงปลานั้น จะติดตั้งในตู้ปลาที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีตัวกลางกรองแตกต่างกันคือ ตัวกลางกรองหินกรวดในตู้ที่ 2 ตัวกลางกรองหินปะการังในตู้ที่ 3 ตัวกลางกรองหินกรวดผสมกำมะถันในตู้ปลาที่ 4 อาหารปลาที่ให้ตลอดการทดลองนั้น มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนคือ 2, 4, 6 และ 8 กรัม และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงซีโอดี ตลอดการทดลอง ดังข้อมูล การเปลี่ยนแปลงค่า ซีโอดี ของตู้ปลาที่ 1, 2, 3 4 แสดงในตารางที่ ก-12 ในภาคผนวก ก และในรูปที่ 4.16

ค่าเฉลี่ยของซีโอดี ในตู้ปลาแต่ละตู้ของแต่ละเดือน จะวิเคราะห์ข้อมูลไว้ในตารางที่ ข-12 ในภาคผนวก ข และค่าเฉลี่ยทั้งหมดจะสรุปผลดังตารางที่ 4.17

จากตารางที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าในช่วงของเดือนแรกจากการทดลอง ตู้ปลาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของซีโอดี คือ 15.95 mg/L และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวด จะมีค่าซีโอดีลดลงเป็น 8.91 mg/L ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี คือ 44.15% ส่วนตู้ปลาที่ 3 ซึ่งมีเครื่องกรองหินปะการังนั้น ได้ค่าเฉลี่ยซีโอดี น้ำในตู้ปลาคือ 14.69 mg/L น้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินปะการังมีการลดค่าซีโอดี ลงเป็น 7.32 mg/L ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของเครื่องกรองคือ 50.19% โดยทำนองเดียวกันในตู้ปลาที่ 4 ค่าเฉลี่ยของซีโอดีคือ 15.83 mg/L เป็นของน้ำในตู้ปลา ส่วนน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันนั้นมีค่าซีโอดี 9.54 mg/L ประสิทธิภาพในการกำจัดหรือลดค่าซีโอดีคือ 39.73% รายละเอียดอื่นๆ ของค่าเฉลี่ยซีโอดีของเดือนต่อๆมา สามารถเห็นได้จากตารางที่ 4.17 ข้างต้น

สำหรับค่าประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดหรือลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองต่าง ๆ นั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ของการทดลอง และได้ทำการตัดค่าความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ทางปฏิบัติการ รวมถึงความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากเครื่องมือทดลองออกเรียบร้อยแล้ว สรุปผล

ออกมาได้ดังนี้คือ ในเดือนแรก เครื่องกรองหินปะการังจะดีที่สุด รองลงมาคือเครื่องกรองหินกรวด และเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน เดือนที่สอง ปรากฏว่า เครื่องกรองหินกรวดกลับมีประสิทธิภาพดีกว่า เครื่องกรองหินปะการัง และเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน เดือนที่สาม ปรากฏผลลัพธ์เหมือนเดือนแรก ส่วนเดือนที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดด้อยที่สุด เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน มีประสิทธิภาพถัดขึ้นมา และเครื่องกรองหินปะการังนั้นดีที่สุด

สรุปตลอดการทดลอง เครื่องกรองหินปะการัง มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำตู้เลี้ยงปลาดีที่สุดคือ 39.58% รองลงมาคือ เครื่องกรองหินกรวด 33.88% และเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีคือ 28.95% ตามลำดับ

จากการสรุปผลของการกำจัดหรือลดค่า ซีโอดี ของน้ำตู้เลี้ยงปลาเป็นการพิจารณาในการหาประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองภายนอกตู้เลี้ยงปลาเท่านั้น และการเปรียบเทียบขั้นต่อไปคือ การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำในตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้ เมื่อผ่านการกรองจากเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภท จากตารางที่ 4.17 ในเดือนแรกนั้นมีการให้อาหารปลาปริมาณ 2 กรัมต่อวันจะให้ค่าเฉลี่ยของซีโอดีในน้ำตู้เลี้ยงปลา ตู้ที่ 1 คือ 16.26 mg/L. ตู้ที่ 2 คือ 15.95 mg/L. ตู้ที่ 3 คือ 14.69 mg/L. และตู้ที่ 4 คือ 15.83 mg/L. ซึ่งจะเห็นว่าน้ำในตู้เลี้ยงปลา 3 จะมีค่าเฉลี่ยซีโอดีต่ำที่สุด ในบรรดา 4 ตู้ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองหินปะการังดีที่สุดในเดือนที่ 1 และตู้ที่ 4 ซึ่งมีเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน และตู้ที่ 2 ซึ่งมีเครื่องกรองหินกรวด มีค่าเฉลี่ยของซีโอดีใกล้เคียงกัน และตู้ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยซีโอดีมากที่สุด

ส่วนในเดือนที่ 2 มีการให้อาหารปลาจำนวน 4 กรัมนั้น ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำในตู้เลี้ยงปลาจากตารางที่ 4.17 ปรากฏว่าน้ำตู้ปลาในตู้ที่ 1 และตู้ที่ 3 มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยที่ตู้ปลาที่ 1 มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 19.95 mg/L. ในขณะที่ตู้ที่ 3 เฉลี่ย 20.84 mg/L. ซึ่งแสดงว่าคุณภาพในการลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองหินภายใน และเครื่องกรองหินปะการังซึ่งเป็นเครื่องกรองภายนอก มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ส่วนตู้ที่ 2 ซึ่งมีเครื่องกรองหินกรวดมีค่าเฉลี่ย 23.56 mg/L. และตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันมีค่าเฉลี่ย 26.29 mg/L.

ส่วนเดือนที่ 3 เครื่องกรองที่มีประสิทธิภาพลดค่าซีโอดี คือเครื่องกรองหินปะการัง มีค่าเฉลี่ยซีโอดี 31.67 mg/L. ถัดมาคือเครื่องกรองหินภายในตู้ มีค่าซีโอดี 32.97 mg/L. และตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันมีค่าเฉลี่ยเป็น 49.95 mg/L. และตู้ที่ 2 เครื่องกรอง

หินกรวดค่าซีโอดีเฉลี่ย 62.92 mg/L. ซึ่งเป็นค่าสูงสุด

เดือนที่ 4 เครื่องกรองที่มีประสิทธิภาพลดค่าซีโอดีมากที่สุด คือ เครื่องกรองหินปะการัง รองลงมาคือตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินภายในตู้ ตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน และตู้ที่ 2 เครื่องกรองหินกรวด ตามลำดับ

สรุปผลจากการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำตู้ปลา จากการลดค่าซีโอดีของเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภท คือ เครื่องกรองหินปะการังในตู้ปลาที่ 3 ดีที่สุด รองลงมาคือเครื่องกรองหินภายในตู้ปลาในตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน ตู้ปลาที่ 4 และเครื่องกรองหินกรวดตู้ปลาที่ 2 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภท ในการลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรต์ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน ของน้ำในตู้เลี้ยงปลา

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของเครื่องกรองหินภายในตู้ปลา ของตู้ปลาที่ 1 และเครื่องกรองภายนอกของ 3 ตู้ปลา คือ ตู้ปลาที่ 2 ซึ่งเป็นเครื่องกรองหินกรวด ตู้ปลาที่ 3 ซึ่งเป็นเครื่องกรองหินปะการัง ตู้ปลาที่ 4 เป็นเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน ในการลดค่าสารอนินทรีย์ไนโตรเจนนั้น จะแยกพิจารณาเป็นแต่ละหัวข้อดังนี้คือ

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดหรือลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจน

แอมโมเนียไนโตรเจนนั้น เกิดจากของเสียที่ขับถ่ายออกจากตัวปลาโดยตรง และเกิดจากกระบวนการ Mineralization ของสารประกอบโปรตีนในน้ำรูปต่าง ๆ ไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไนโตรเจนตลอดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ ก.9 ภาคผนวก ก. และนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจน ในตู้ปลาที่ 2, 3, 4 และค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจนจากน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวด, เครื่องกรองหินปะการัง และเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน แสดงในตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจน ที่ได้ในแต่ละเดือนของน้ำในตู้ปลาที่ 2, 3, 4 และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองต่างๆ รวมออกมาแล้วได้ค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลอง ในตู้ปลาที่ 2 คือ 0.189 mg/L น้ำผ่านเครื่องกรองหินกรวดเฉลี่ยรวม 0.120 mg/L ในตู้ที่ 3 คือ 0.080 mg/L น้ำผ่านเครื่องกรองหินปะการัง คือ 0.080 mg/L ส่วนตู้ที่ 4 จะได้ผลรวมค่าเฉลี่ยน้ำในตู้ คือ 0.502 mg/L และน้ำที่ผ่านเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน คือ 0.365 mg/L ส่วนค่าเฉลี่ยอื่น ๆ ดูได้จากตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของเครื่องกรองชนิดต่าง ๆ เป็นดังนี้คือ เครื่องกรองหินกรวดเฉลี่ยรวม 32.45% เครื่องกรองหินปะการังเฉลี่ยออกมาได้ 10.99% และเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันเฉลี่ยได้ 18.91% ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.12 ซึ่งจะบอกถึงประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอกชนิดต่าง ๆ ในแต่ละเดือน และค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลอง และในรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของเครื่องกรองหินกรวดในตู้ปลาที่ 2 เครื่องกรองหินปะการัง ในตู้ปลาที่ 3 และเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันในตู้ปลาที่ 4

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบแยกพิจารณาเฉพาะความสามารถในการลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอก 3 ชนิด ให้เห็นชัดเจนเท่านั้น ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ของน้ำในตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้ เมื่อผ่านเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภท จะพิจารณาดูได้จากค่าเฉลี่ยของค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้ ตลอดการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 4.11

ในเดือนที่ 1 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือค่า 0.043 mg/L. ในตู้ปลาที่ 3 เป็นเครื่องกรองหินปะการัง โดยมีตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.045 mg/L N และ ตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินภายในตู้ปลามีค่าเฉลี่ย 0.059 mg/L N ตู้ที่ 2 เครื่องกรองหินกรวดมีค่าสูงที่สุดคือ 0.067 mg/L N

เดือนที่ 2 ตู้ที่ 3 เครื่องกรองหินปะการังมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.049 mg/L N โดยมีตู้ที่ 1 เครื่องกรองภายในตู้ปลา และตู้ที่ 2 เครื่องกรองหินกรวด มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.061 และ 0.073 mg/L N ตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 0.216 mg/L N

เดือนที่ 3 ตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินภายในมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.054 mg/L N และมีตู้ที่ 3 เครื่องกรองหินปะการังสูงขึ้นมาคือ 0.068 mg/L N ตู้ที่ 2 เครื่องกรองหินกรวดมีค่าเฉลี่ยคือ 0.143 mg/L N และค่าเฉลี่ยสูงสุด คือตู้ปลาที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน 0.919 mg/L N

เดือนที่ 4 ตู้ที่ 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ตู้ที่ 1 ตู้ที่ 2 และตู้ที่ 4 มีค่ามากขึ้นตามลำดับ

สรุปผลการเปรียบเทียบการลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ของน้ำในตู้ปลาที่ผ่านเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภทคือ เครื่องกรองหินปะการังดีที่สุด รองลงมาคือ เครื่องกรองหินภายในตู้ปลา และตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินกรวด ตู้ที่ 2 และสุดท้ายคือ เครื่องกรองหินกรองผสมกำมะถันในตู้ที่ 4

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดหรือลดค่าไนไตรต์ไนโตรเจน

ไนไตร์ตไนโตรเจนเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในตู้เลี้ยงปลา ที่แอมโมเนียไนโตรเจน เปลี่ยนรูปมาเป็นไนไตรต์ไนโตรเจน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในตู้ปลาทั้ง 3 ตู้ แสดงดังรูปที่ 4.12 และข้อมูลแสดงอยู่ในตารางที่ ก-10 ภาคผนวก ก.

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนไตรต์ไนโตรเจน ของเครื่องกรองหินภายในตู้ปลาที่ 1 และเครื่องกรองภายนอก คือ เครื่องกรองหินกรวดของตู้ปลาที่ 2 เครื่องกรองหินปะการังของตู้ปลาที่ 3 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันของตู้ปลาที่ 4 ได้นำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ จะได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละเดือน และผลลัพธ์รวมของค่าเฉลี่ยทั้งหมด ของการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 ซึ่งถ้าจะพิจารณาเฉพาะการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรต์ไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอก 3 ชนิด จะแสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.13 และจากผลการทดลองที่กล่าวสรุปว่าจากข้างต้นแล้ว ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าไนไตรต์ไนโตรเจนของน้ำในตู้เลี้ยงปลาที่ผ่านการกำจัดหรือลดค่าไนไตรต์ไนโตรเจน จากเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภทนั้นจะพิจารณาได้ข้อสรุปดังนี้

จากตารางที่ 4.13 เดือนที่ 1 ของการทดลองจะได้ค่าเฉลี่ยของไนไตรต์ไนโตรเจนที่ต่ำที่สุดคือ ตู้ปลาที่ 1 เครื่องกรองหินภายในตู้ 0.09 mg/L N โดยที่ตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน และตู้ที่ 3 เครื่องกรองหินปะการังจะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 0.12 mg/L N และ 0.13 mg/L N ส่วนตู้ที่ 2 เครื่องกรองหินกรวดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.17 mg/L N

เดือนที่ 2 ค่าเฉลี่ยของไนไตรต์ไนโตรเจนต่ำสุดคือ ตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินภายใน 0.26 mg/L N ค่าเฉลี่ยที่มากขึ้น คือ ตู้ที่ 3 ตู้ที่ 4 และตู้ที่ 2 คือ 0.39 mg/L N, 0.53 mg/L N และ 0.57 mg/L N

เดือนที่ 3 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ตู้ที่ 1 และเพิ่มขึ้นในตู้ที่ 4 ตู้ที่ 3 ตู้ที่ 2 ตามลำดับ และในทำนองเดียวกันเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดกลับเป็นตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน และค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นคือ ตู้ที่ 2 ตู้ที่ 3 และตู้ที่ 1

สรุปคือ ผลการลดค่าไนไตรต์ไนโตรเจน ของน้ำที่ผ่านการกรองจากเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภท คือ เครื่องกรองหินภายในตู้ปลา ตู้ที่ 1 ได้ผลดีที่สุด โดยมีเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน ในตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินปะการังในตู้ที่ 3 และเครื่องกรองหินกรวดในตู้ที่ 2 รองลงมาตามลำดับ

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดหรือลดค่าไนเตรตไนโตรเจน

ไนเตรตไนโตรเจนเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ในตู้เลี้ยงปลา ที่แอมโมเนียไนโตรเจน เปลี่ยนรูปมาเป็นไนไตรต์ไนโตรเจน และถูกแบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์ เปลี่ยนรูปไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.14 ตารางที่ ก-11 ในภาคผนวก ก. เป็นรูปการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตไนโตรเจนตลอดการทดลอง

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนเตรตไนโตรเจน ของเครื่องกรองหินภายในตู้ปลาที่ 1 และเครื่องกรองภายนอก คือ เครื่องกรองหินกรวด ตู้ปลาที่ 2 เครื่องกรองหินปะการัง ตู้ปลาที่ 3 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน ตู้ปลาที่ 4 ได้ผลการทดลองเฉลี่ยตามตารางที่ 4.15

ซึ่งถ้าจะแยกพิจารณาเฉพาะส่วนของประสิทธิภาพการลดไนเตรตไนโตรเจนของเครื่องกรองภายนอก 3 ชนิดนั้น จะแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.15 และจากบทสรุปที่เคยกล่าวแล้วข้างต้น ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดค่าไนเตรต์ไนโตรเจนของน้ำในตู้เลี้ยงปลา ที่ผ่านการกรองจากเครื่องกรองหินทั้ง 4 ประเภทแล้วนั้น พิจารณาได้ดังนี้คือ

จากตารางที่ 4.15 เดือนที่ 1 นั้นค่าเฉลี่ยสะสมของไนเตรตไนโตรเจน ในตู้ที่ 4 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถันมีค่าต่ำที่สุดคือ 0.01 mg/L N ในขณะที่ตู้ที่ 2 เครื่องกรองมีค่าเฉลี่ย 0.05 mg/L N ตู้ที่ 3 เครื่องกรองหินปะการัง 0.145 mg/L N ตู้ที่ 1 เครื่องกรองหินภายในมีการสะสมตัวของไนเตรตไนโตรเจนมากที่สุดคือ 0.337 mg/L N

เดือนที่ 3 ตู้ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยมีตู้ที่ 2 ตู้ที่ 3 และตู้ที่ 4 มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน เดือนที่ 4 ตู้ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดในขณะที่ตู้ที่ 2 ตู้ที่ 3 มีค่าเพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ

สรุปเครื่องกรองที่ดีที่สุด ในการลดการสะสมของไนเตรตไนโตรเจน คือเครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน โดยมีเครื่องกรองหินกรวด เครื่องกรองหินปะการัง และเครื่องกรองหินภายในตู้เลี้ยงปลามีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลาในตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้

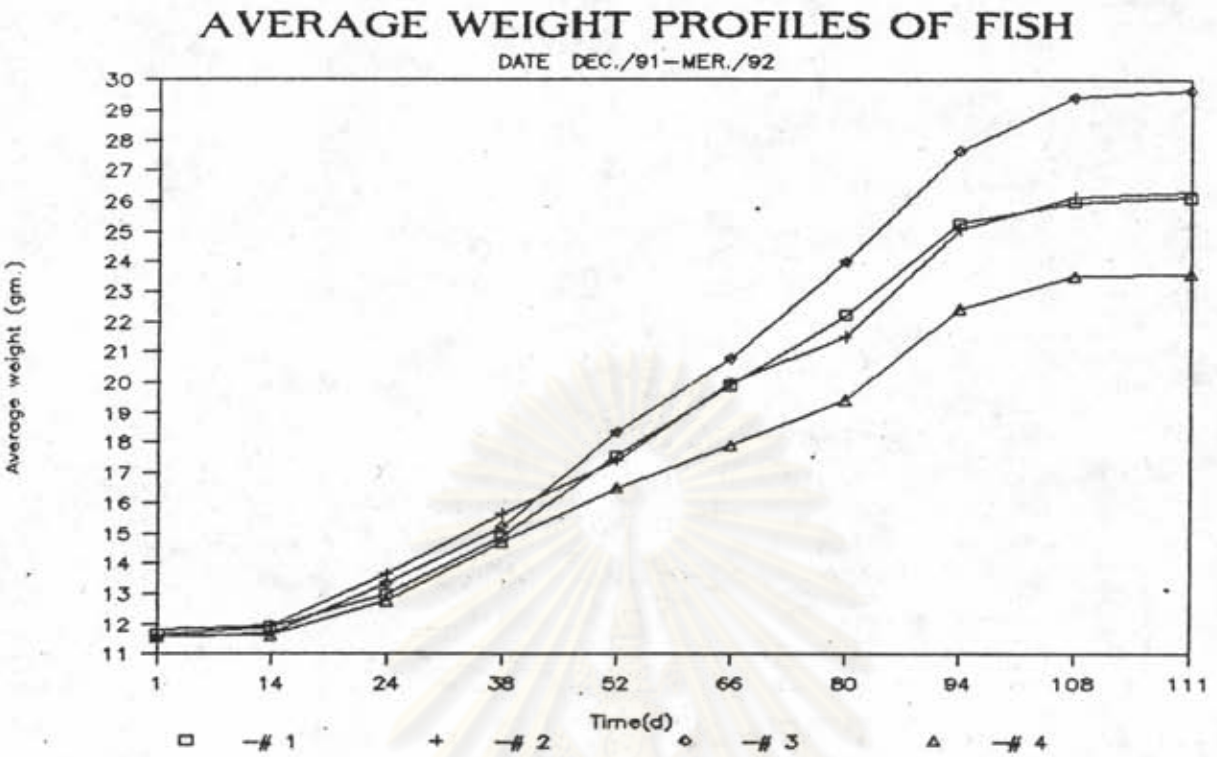
ในการทดลองนี้ จะประกอบด้วยตู้เลี้ยงปลา จำนวน 4 ตู้ ซึ่งตู้เลี้ยงปลาที่ 1 จะเป็นตู้เลี้ยงปลาที่มีระบบการกรองภายใต้ตู้ ตู้ที่ 2, ตู้ที่ 3 และตู้ที่ 4 เป็นระบบเครื่องกรองภายนอกตู้ปลา ซึ่งจะประกอบด้วย เครื่องกรองหินกรวด ในตู้ที่ 2 เครื่องกรองหินปะการัง ในตู้ที่ 3 เครื่องกรองหินกรวดผสมกำมะถัน ในตู้ปลาที่ 4 ปริมาณน้ำในตู้ปลา 54 ลิตรต่อตู้ มีจำนวนปลาทองอายุประมาณ 3 เดือน ขนาดความยาวและน้ำหนักใกล้เคียงกัน จำนวน 7 ตัวต่อ 1 ตู้เลี้ยงปลา ซึ่งตาราง ค-1 ถึง ตาราง ค-10 และตาราง ช-14 จะแสดงรายละเอียดทั้งหมดของน้ำหนัก ความยาว และการเจริญเติบโตของปลาทองทั้ง 4 ตู้ แยกศึกษาเป็น 2 หัวข้อคือ อัตราการเจริญเติบโตทางน้ำหนัก และอัตราการเจริญเติบโตทางความยาวของร่างกายปลา

ในการทดลอง เก็บข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตของปลา ทั้ง 4 ตู้ จากการชั่งน้ำหนักปลาในตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้ จะมีข้อมูลของน้ำหนักทั้งหมดของปลาแต่ละตู้ แสดงในตาราง ค-1 ถึง ค-10 ภาคผนวก ค

จำนวนปลาทองทั้ง 4 ตู้ มี 7 ตัวเท่ากันทุกตู้ และได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลาทองในแต่ละตู้ จะแสดงดังในรูปที่ 4.18 จะพบว่า ปลาทองตู้ที่ 3 ก็มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลาทอง มากกว่าคู่อื่น ๆ และตู้ที่ 2 ตู้ปลาที่ 3 ตู้ปลาที่ 4 รองลงมาตามลำดับ

จะเห็นว่า ปลาทองตู้ที่ 3 มีอัตราการเจริญเติบโตทางน้ำหนักดีที่สุด ตู้ปลาที่ 2 ตู้ปลาที่ 1 และตู้ปลาที่ 4 จะติดตามมาเป็นลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของปลาทองในตู้เลี้ยงปลาทั้ง 4 ตู้

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลาทองด้านความยาวของร่างกายปลา

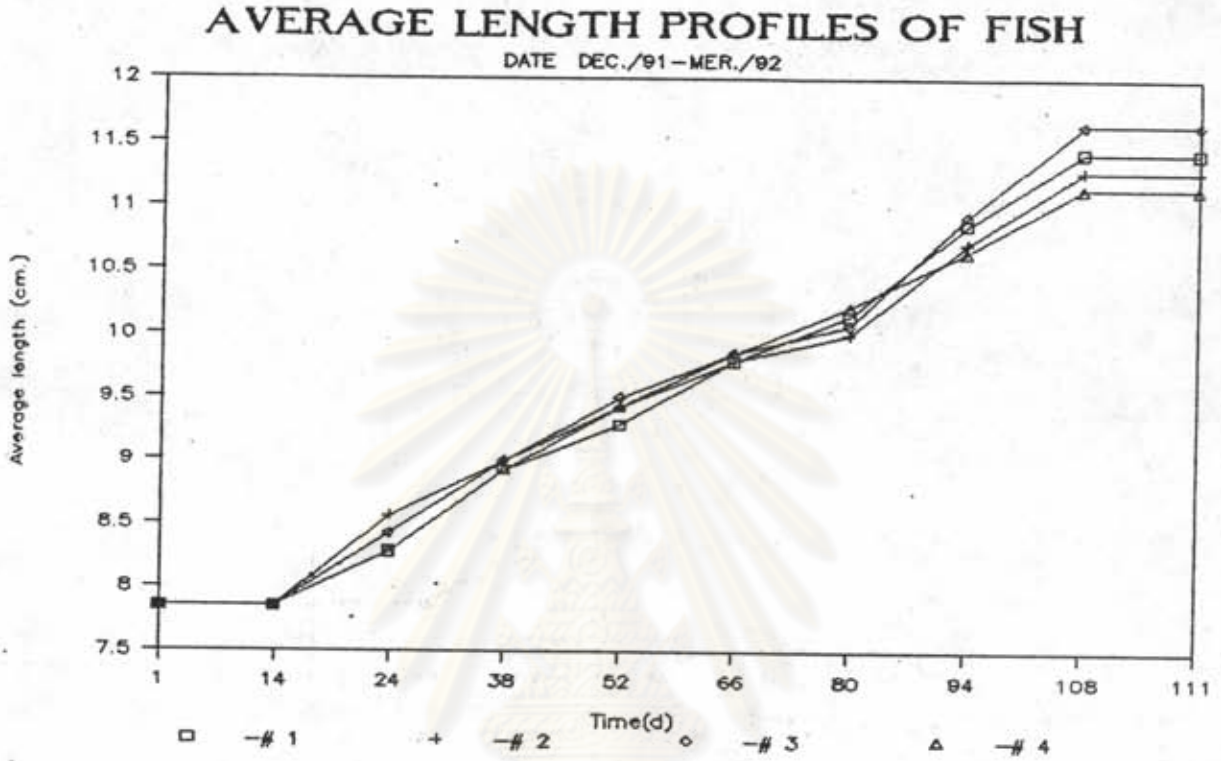
รูปที่ 4.19 จะแสดงอัตราการเจริญเติบโตของปลาทองทั้ง 4 ตู้ จากการวัดความยาวของลำตัวของปลาทองตลอดการทดลองได้ผลดังนี้คือ

ความยาวที่วัดได้ทั้งหมดของปลาทองในตู้ ตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.19 ได้ผลคือ ปลาทองในตู้ที่ 3 มีความยาวมากที่สุด ตู้ที่ 3 ตู้ที่ 2 ตู้ที่ 4 รองลงมา

ส่วนค่าเฉลี่ยของความยาวของปลาทอง จะแสดงดังรูปที่4.19 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของความยาวปลาทอง ทั้ง 7 ตัว ในตู้ปลาทั้ง 4 ตู้ ได้ผลคือ ตู้ที่ 3 ยาวที่สุด ตู้ที่ 1, ตู้ที่ 2, ตู้ที่ 3 รองลงมาตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า ปลาทองในตู้ที่ 3 มีอัตราการเจริญเติบโต ติดในด้านความยาวของร่างกายดีที่สุด ตู้ที่ 1 ตู้ที่ 2 ตู้ที่ 4 รองลงมาตามลำดับ อนึ่งในการวัดความยาวของปลาทองนั้น จะ

วัดความยาวตั้งแต่หัวปลาจนถึงหางปลา ดังนั้นปลาทองแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะลำตัว และลักษณะหาง ไม่เหมือนกัน จึงทำให้ผลการทดลองในหัวข้อนี้อาจจะคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.19 แสดงถึงความยาวเฉลี่ยของปลาทั้ง 4 ตู้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย