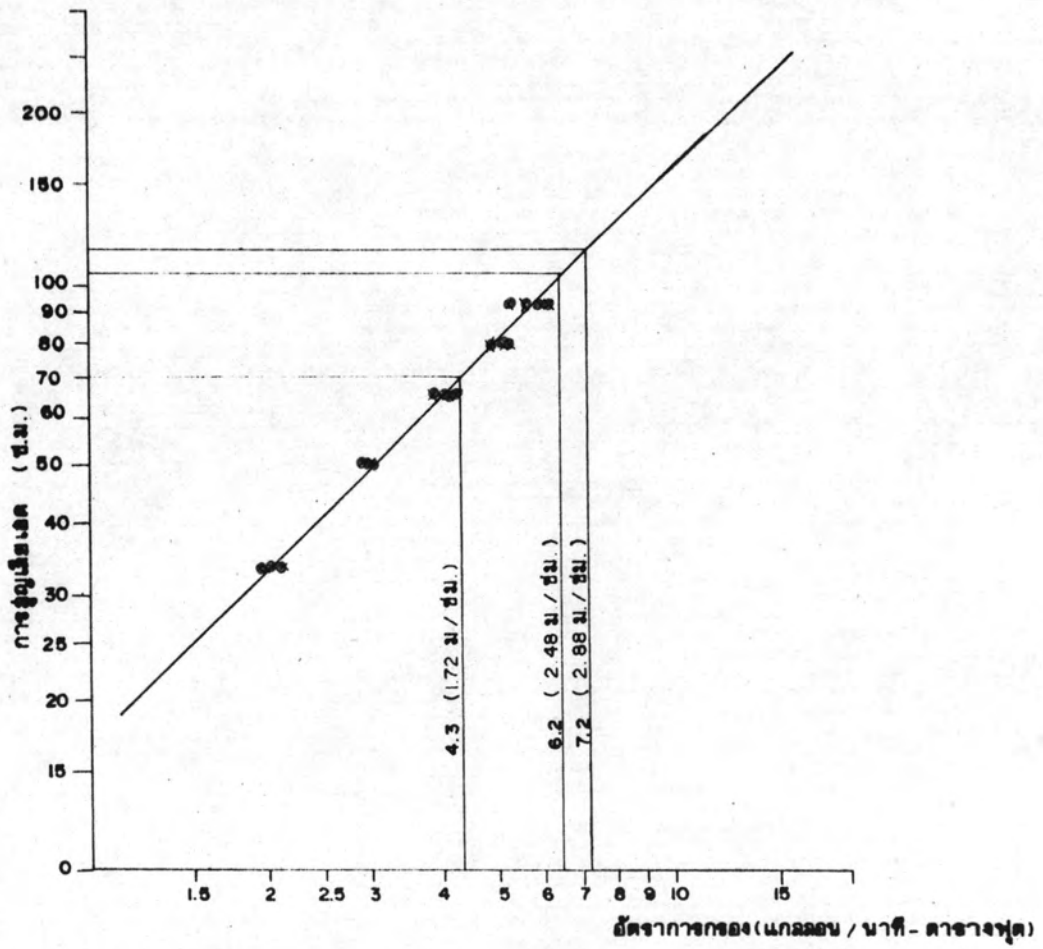
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ก่อนเริ่มทำการทดลองกรองน้ำ ได้มีการจัดการสูญเสียเฮดของระบบ Underdrain ชั้นกรวดและชั้นทราย ที่อัตรากรองต่าง ๆ และแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 จากข้อมูลดังกล่าว ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเฮดทั้งหมด และอัตรากรองน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การสูญเสียเฮดของเครื่องกรองที่ระดับที่อัตราการกรองต่าง ๆ

(2.5 แกลลอน/นาที-ตร.ฟุต = 1 ม./ซม.)

ตารางที่ 4.1 การสูญเสียเฮดเมื่อน้ำสะอาดผ่านชั้นทราย

ลำดับ	อัตราการไหลออกโดย Rotameter ลิตร/นาที	เวลา นาที	เครื่องกรองที่ 1		เครื่องกรองที่ 2		เครื่องกรองที่ 3		เครื่องกรองที่ 4		อัตราการไหลออกโดยการวัด	
			ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	4 เครื่อง	1 เครื่อง
1	2.6	1	0.64	32.2	0.63	32.2	0.69	32.2	0.65	32.2	2.61	0.65
2	3.88	1	0.96	49.1	0.94	49.1	0.98	49.1	0.95	49.1	3.83	0.97
3	5.2	1	1.35	63.45	1.26	63.45	1.30	63.45	5.30	63.45	5.30	1.30
4	6.5	1	1.78	78.05	1.51	78.05	1.70	78.05	1.60	78.05	6.53	1.62
5	7.8	1	2.00	89.8	1.71	89.8	1.96	89.8	1.85	89.8	7.55	1.95

ตารางที่ 4.2 การสูญเสียเฮดเมื่อน้ำสะอาดผ่านชั้นกรวดและ Underdrain

ลำดับ	อัตราการไหลออกโดย Rotameter ลิตร/นาที	เวลา นาที	เครื่องกรองที่ 1		เครื่องกรองที่ 2		เครื่องกรองที่ 3		เครื่องกรองที่ 4		อัตราการไหลออกโดยการวัด	
			ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	ลิตร/นาที	เฮด (ซม)	4 เครื่อง	1 เครื่อง
1	2.6	1	0.63	1.1	0.60	1.1	0.62	1.1	0.68	1.1	2.54	0.65
2	3.88	1	0.96	1.4	0.99	1.4	0.95	1.4	1.00	1.4	3.90	0.97
3	5.2	1	1.30	1.65	1.33	1.65	1.33	1.65	1.35	1.65	5.31	1.30
4	6.5	1	1.60	1.95	1.63	1.95	1.65	1.95	1.65	1.95	6.53	1.62
5	7.8	1	1.86	2.2	1.93	2.2	1.87	2.2	1.94	2.2	7.55	1.95

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 การสูญเสียเฮดเมื่อน้ำสะอาดผ่านชั้นทราย กรวด และ Underdrain

ลำดับ	อัตราการไหลเขาจัดโดย Rotameter ลิตร/นาที	เวลา นาที	เครื่องกรองที่ 1			เครื่องกรองที่ 2			เครื่องกรองที่ 3			เครื่องกรองที่ 4			อัตราการไหลออกโดยการวัด	
			อัตราการกรอง		เฮด	อัตราการกรอง		เฮด	อัตราการกรอง		เฮด	อัตราการกรอง		เฮด	4 เครื่อง	1 เครื่อง
			ล/นท.*	ม/นาที	(ซม)	ล/นท.	ม/นาที	(ซม)	ล/นท.	ม/นาที	(ซม)	ล/นท.	ม/นาที	(ซม)	ล/นท.	ล/นท.
1	2.6	1	0.64	0.79	33.3	0.63	0.78	33.3	0.69	0.85	33.3	0.65	0.80	33.3	2.61	0.65
2	3.88	1	0.96	1.18	50.5	0.94	1.16	50.5	0.98	1.20	50.5	0.95	1.17	50.5	3.83	0.97
3	5.2	1	1.35	1.66	64.6	1.26	1.55	65.1	1.39	1.71	65.1	1.30	1.60	65.1	5.30	1.30
4	6.5	1	1.72	2.12	79.5	1.51	1.86	80.0	1.70	2.09	80.0	1.60	1.96	80.0	6.53	1.62
5	7.8	1	2.00	2.46	91.5	1.71	2.10	92.2	1.96	2.41	92.0	1.85	2.28	92.0	7.55	1.95

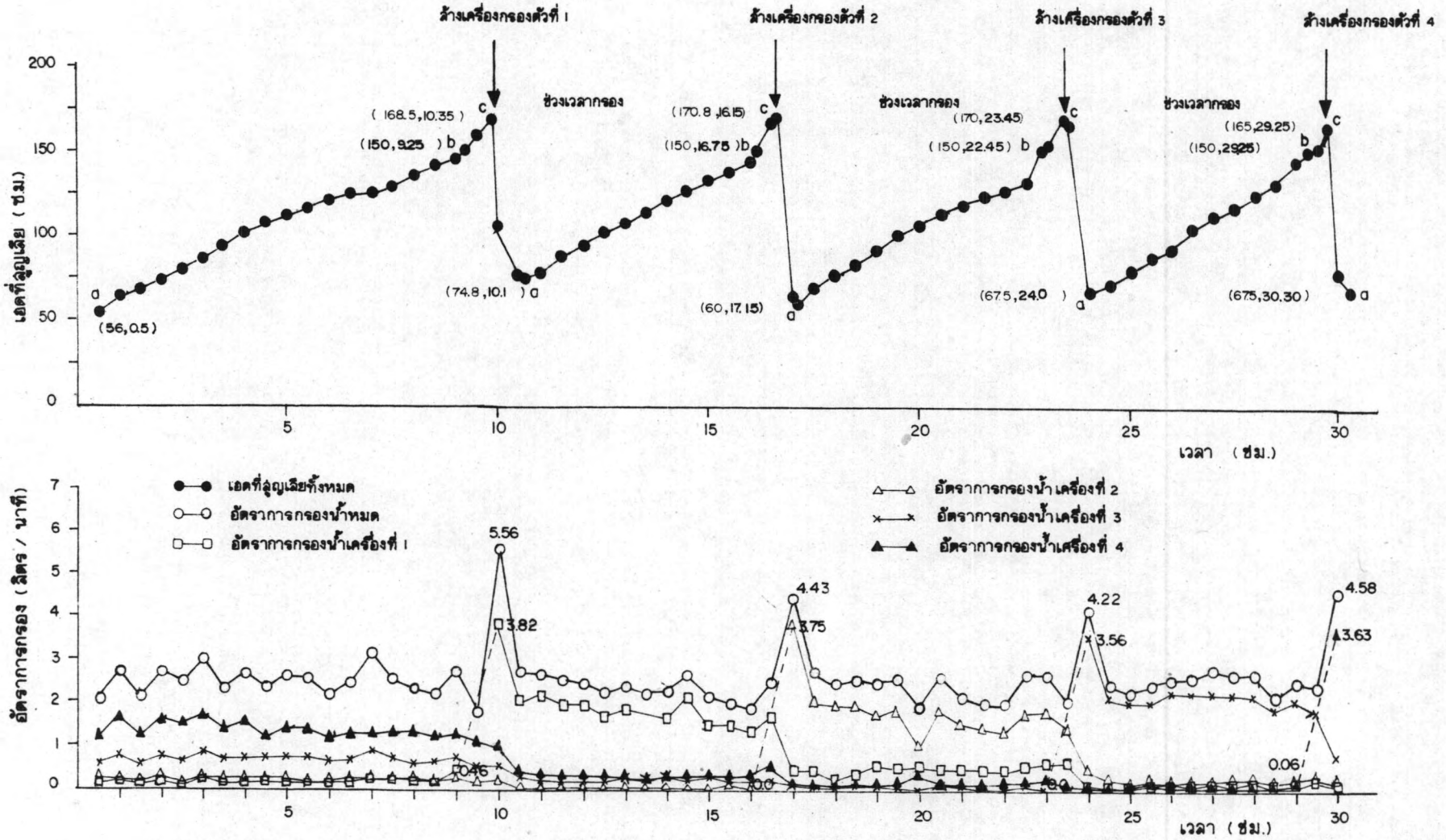
* ล/นท. = ลิตร/นาที

4.1 พฤติกรรมของเครื่องกรองแบบอัตรากรองลดลง

ระบบอัตรากรองลดลงระบบนี้มีเครื่องกรอง 4 ตัว ถูกเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยท่อจ่ายน้ำร่วมและท่อน้ำเข้าแต่ละตัวจะเข้าในเครื่องกรองในระดับที่ต่ำกว่าระดับน้ำต่ำสุดในขณะกรอง และท่อน้ำออกจะต่อเข้ากับอ่างเก็บน้ำใสซึ่งมี เพื่อปรับระดับน้ำกรองได้อยู่เหนือผิวสารกรอง ในการทำงานแบบนี้ระดับน้ำจะเท่า ๆ กันหมดในแต่ละเครื่องกรอง เครื่องกรองที่สะอาดที่สุดจะมีอัตรากรองที่สูงสุด ส่วนเครื่องกรองที่สกปรกที่สุดอัตราการกรองต่ำที่สุด เครื่องกรองแต่ละตัวกรองน้ำได้ในอัตราที่แปรผันกับความฝืดของชั้นกรอง ในขณะที่การกรองน้ำดำเนินไป อัตราการกรองของเครื่องกรองที่สกปรกที่สุดจะลดลงเร็วที่สุด ทำให้เครื่องกรองอื่น ๆ ต้องกรองน้ำด้วยอัตราเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ทดแทนส่วนที่ลดลงของเครื่องกรองที่สกปรกที่สุด พร้อม ๆ กันนี้ระดับน้ำจะสูงขึ้นเพื่อให้เครื่องกรองได้แรงขับดันเพิ่มขึ้น และสามารถกรองน้ำได้เพิ่ม อย่างไรก็ตามการที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลให้อัตรากรองของเครื่องกรองที่สกปรกที่สุดเพิ่มตามด้วย ด้วยเหตุนี้การลดของอัตรากรองอันเนื่องมาจากการอุดตันจึงเกิดขึ้นอย่างช้า การควบคุมเครื่องกรองน้ำเช่นนี้ทำให้อัตราการกรองลดลงอย่างช้า ๆ ไปจนถึงเวลาที่ต้องล้างเครื่องกรองและการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ และ อัตราการกรองของเครื่องกรอง 4 ตัว จะเป็นลักษณะตามภาพที่ 4.2 – 4.10

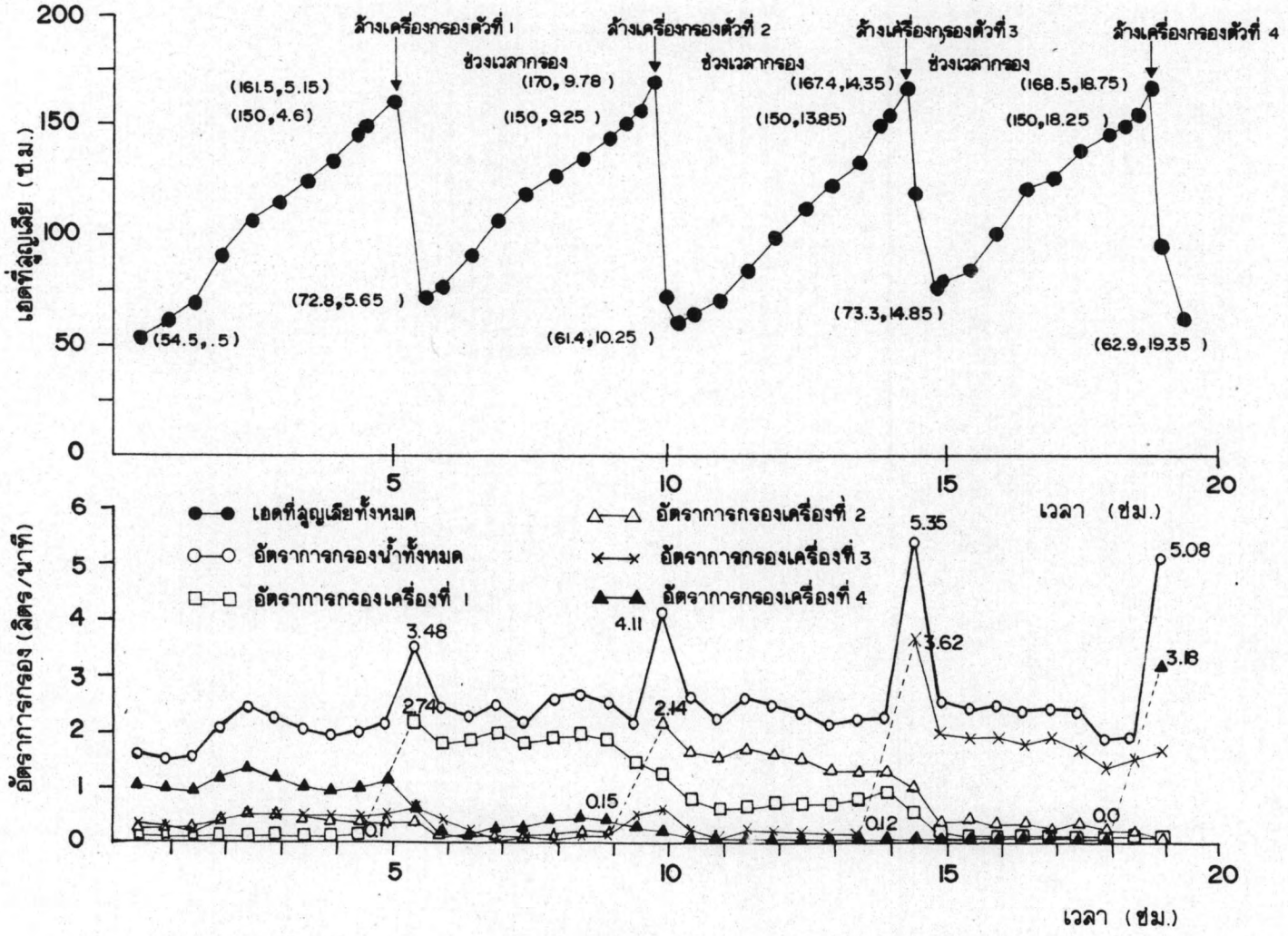
4.1.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในเครื่องกรองแบบอัตราลดลง

การกรองน้ำแบบอัตรากรองลดลงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในเครื่องกรองเป็นแบบฉบับเฉพาะตัว (ดูภาพที่ 4.2 – 4.10) ในที่นี้จะขอใช้ภาพที่ 4.2 เป็นตัวอย่างประกอบคำอธิบาย

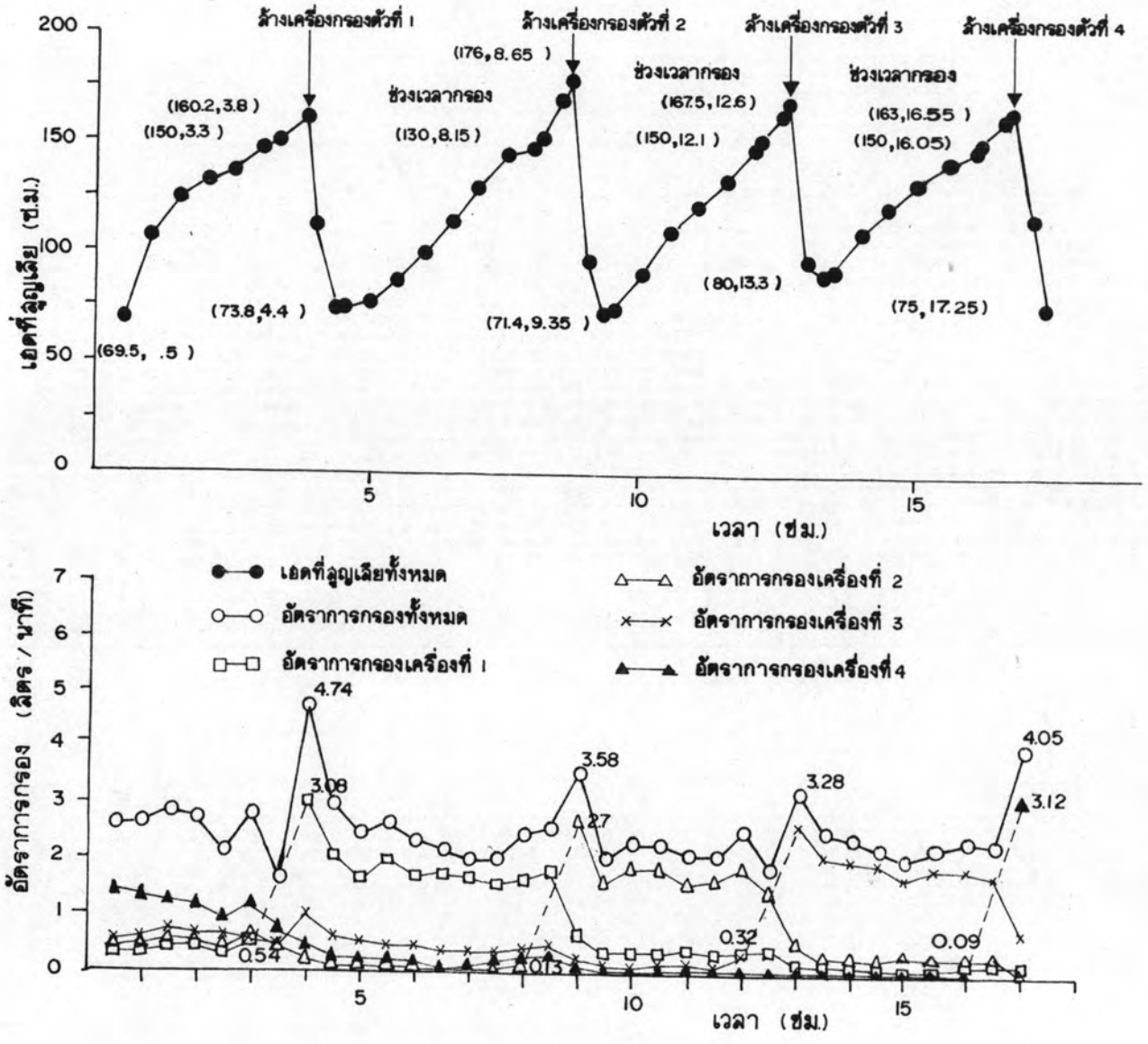


ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 1

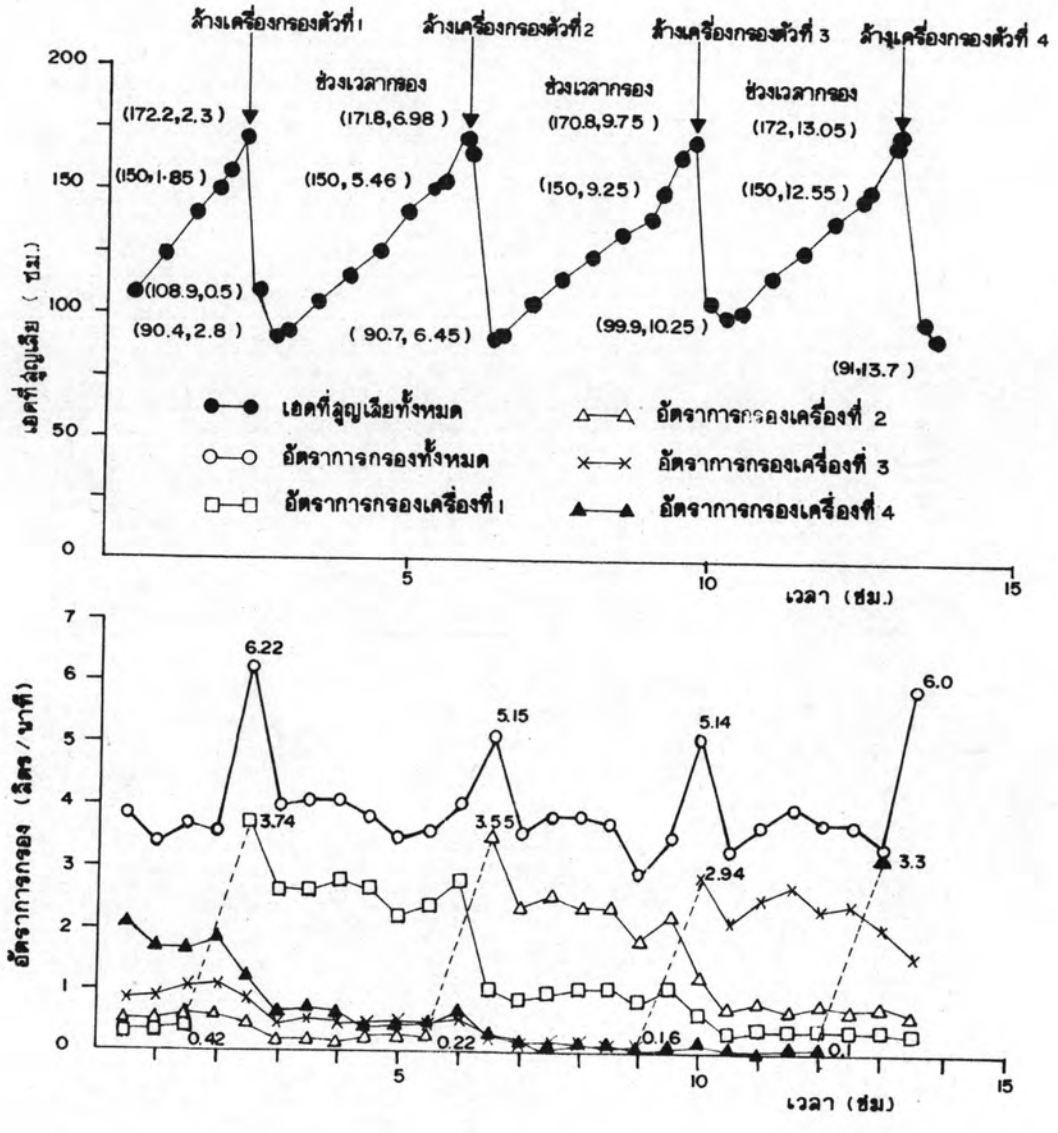
51



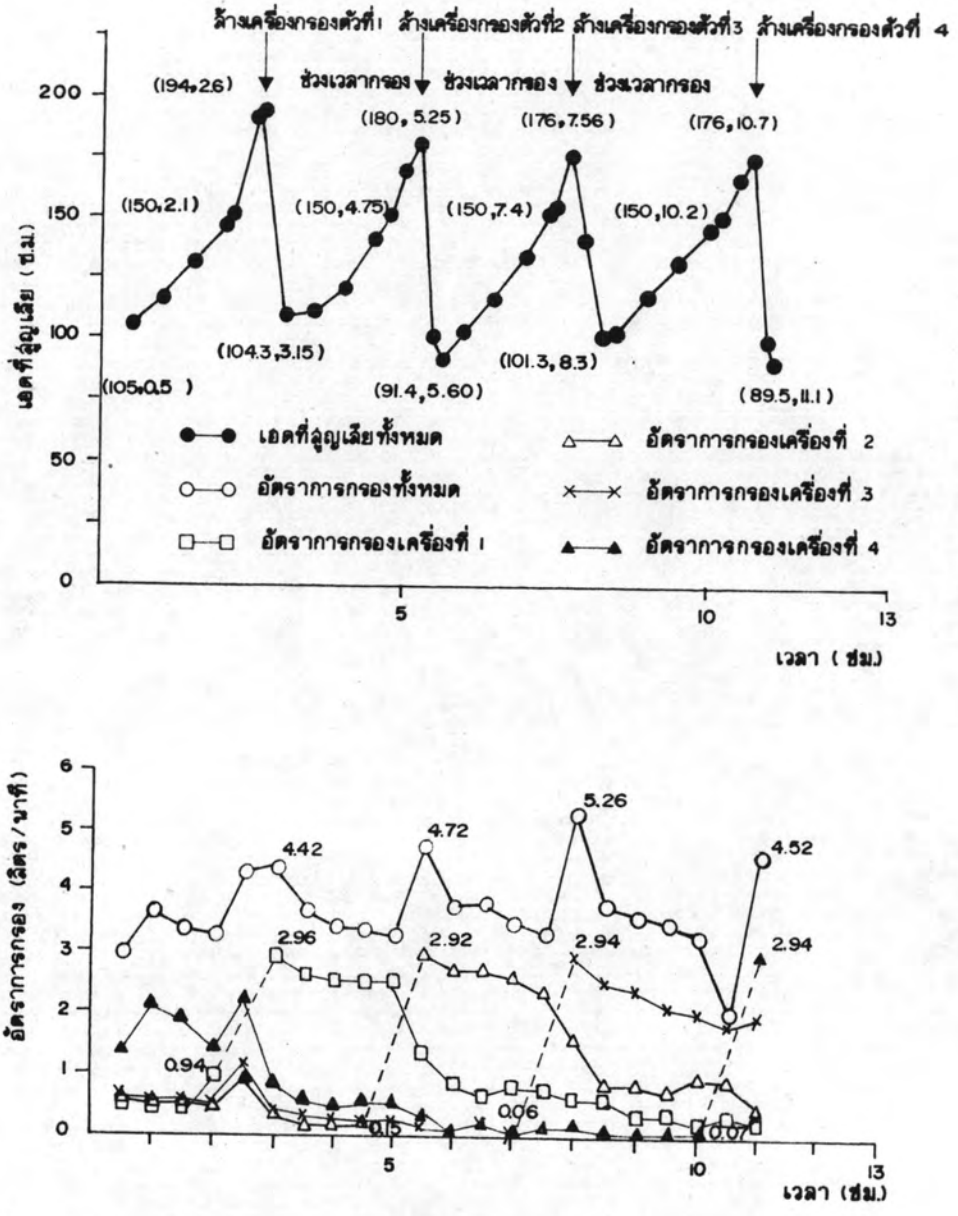
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 2



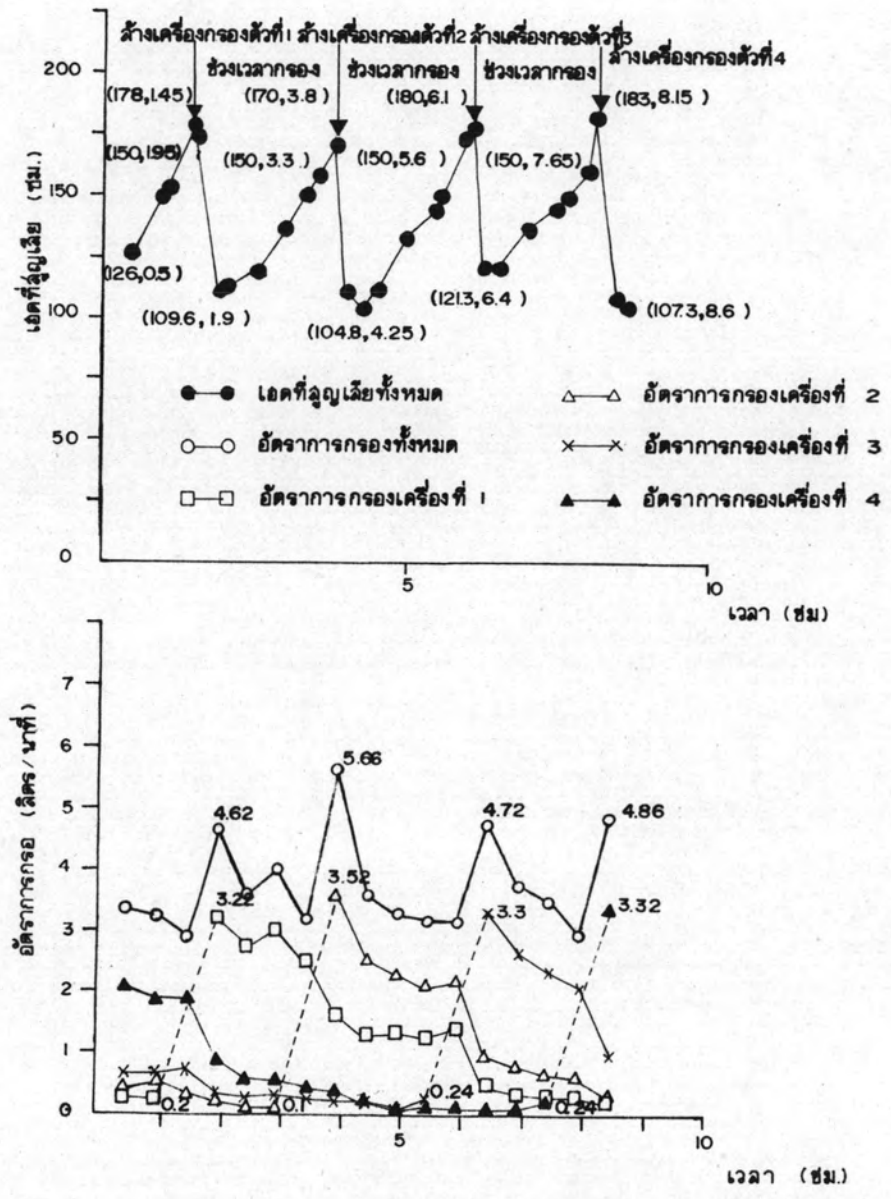
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 3



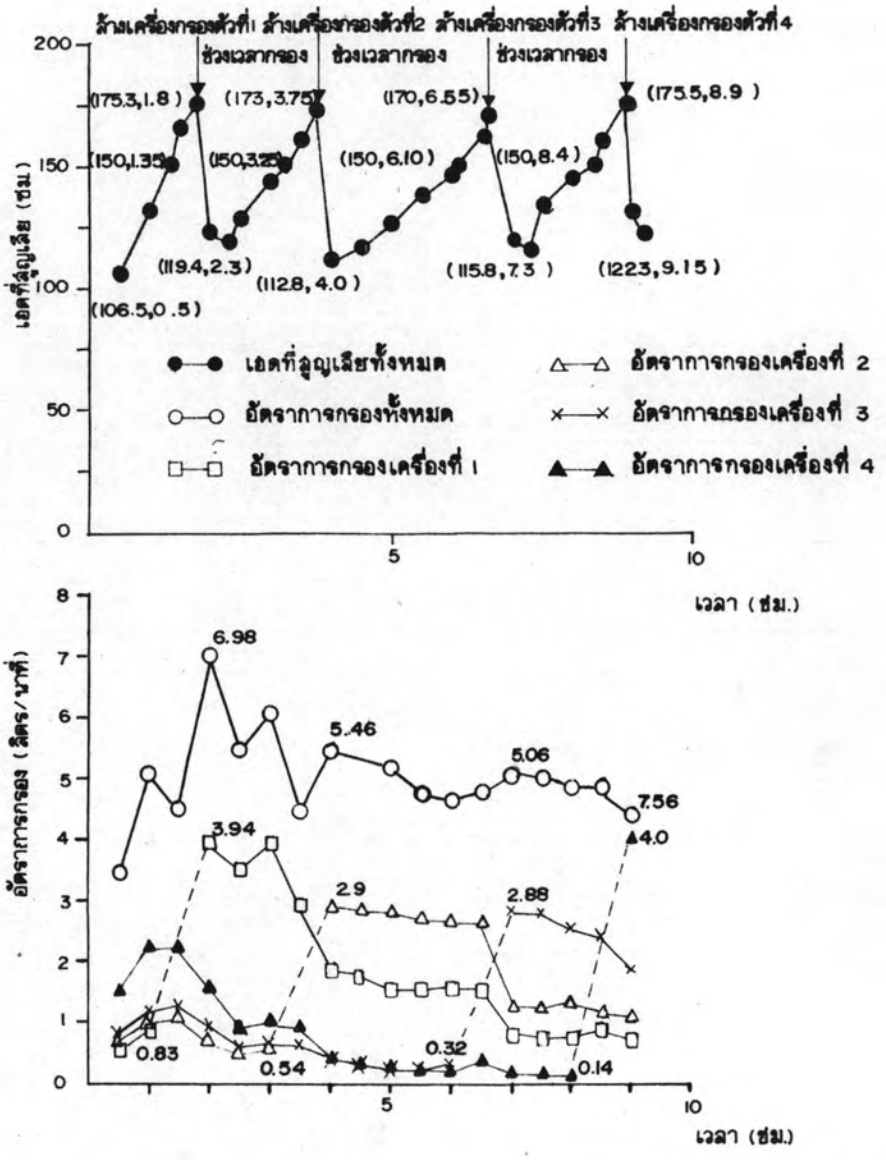
ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 4



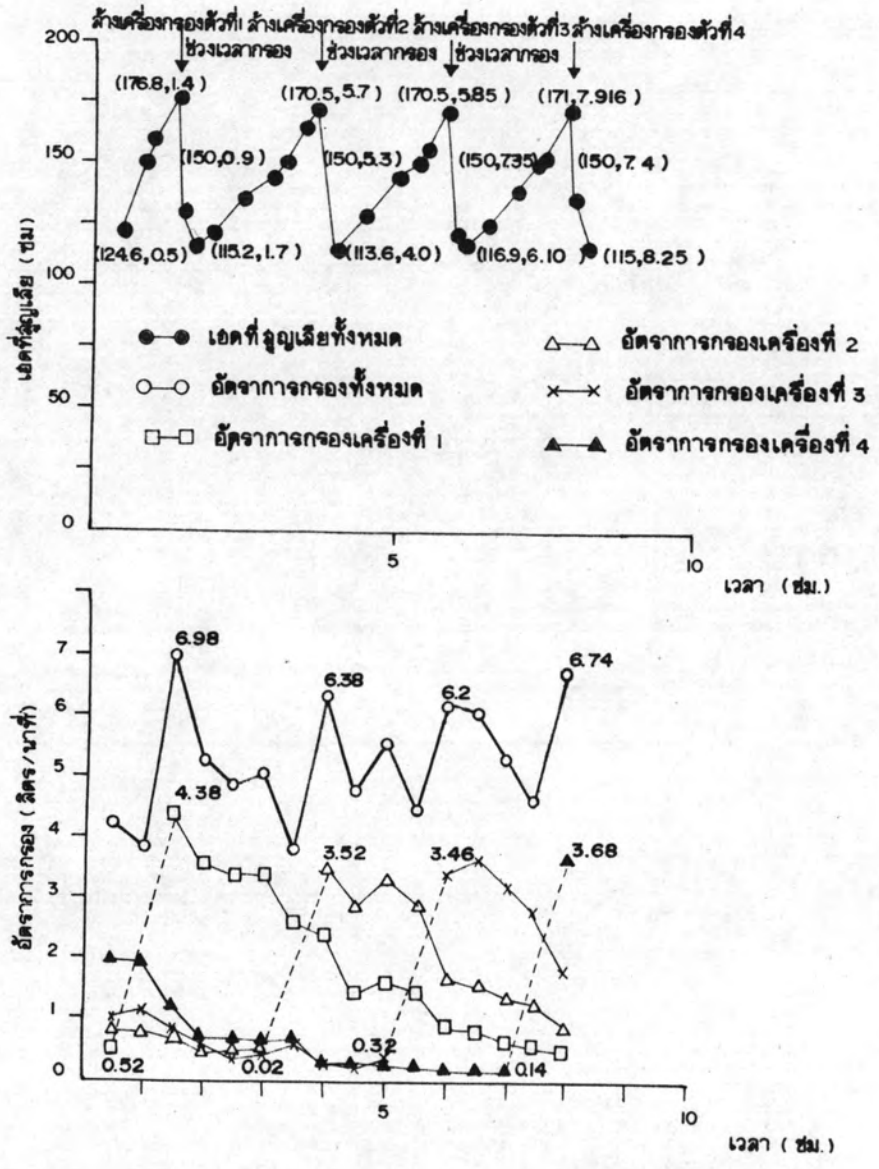
ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเอดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 5



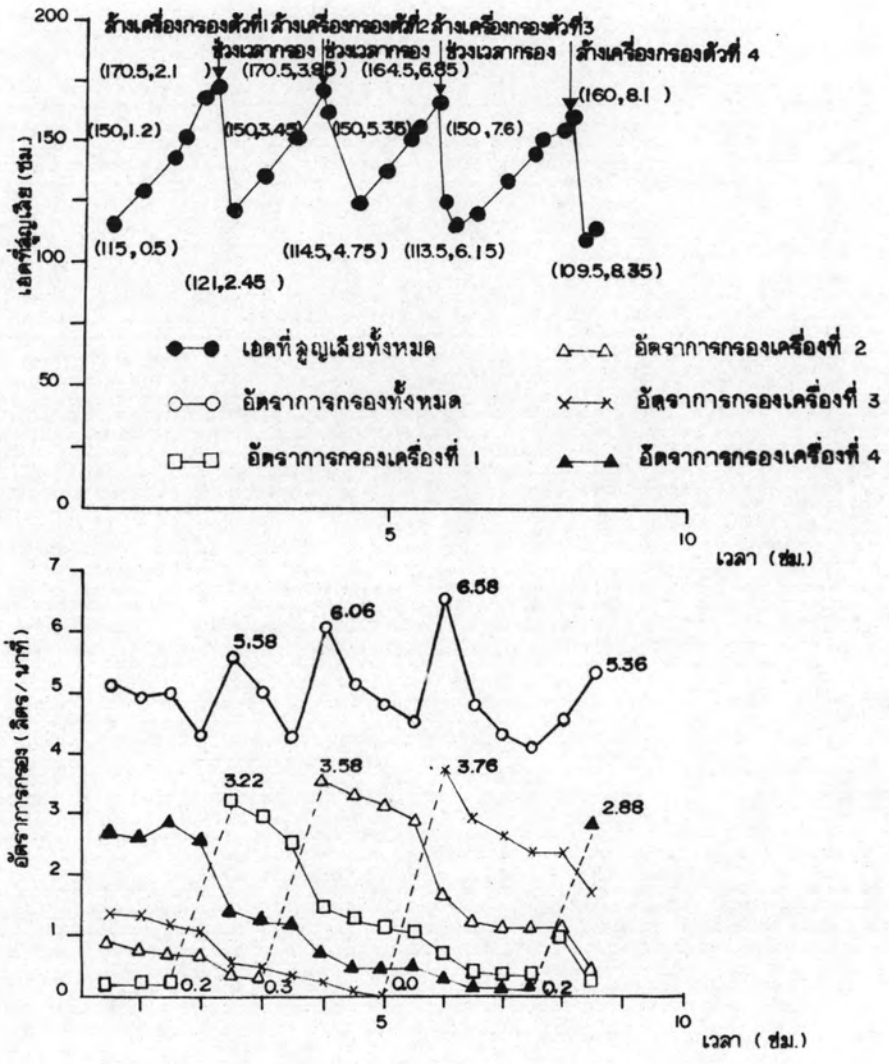
ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 6



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 7



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 8



ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองและเฮดที่สูญเสียกับเวลา สำหรับการทดลองที่ 9

ระดับน้ำระบบอัตรากรองลดลงที่สำคัญมี 3 ระดับคือ a, b และ c ดูภาพที่ 4.2 เป็นตัวอย่าง เมื่อเริ่มแรกของการกรองน้ำระดับน้ำจะเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงจุด a (56 ซม.) จากนั้นจะค่อย ๆ สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับ b (150 ซม.) ซึ่งเป็นจุดกำหนดให้ล้างเครื่องกรองตัวที่สกปรกที่สุด (หรือมีอัตรากรองน้อยที่สุด) ในระหว่างการล้างย้อนเครื่องกรองตัวที่ 1 เครื่องที่เหลือคือเครื่องกรองตัวที่ 2,3 และ 4 จะต้องรับปริมาณน้ำ ซึ่งเครื่องกรองตัวที่ 1 เคยรับ ทำให้ระดับน้ำในเครื่องกรองทั้ง 3 เครื่องสูงขึ้นจึงมีเฮดเพิ่มขึ้นและสามารถกรองน้ำได้เพิ่มขึ้น ระดับที่สูงขึ้นนี้คือระดับ c (168.5 ซม.) เมื่อล้างเครื่องกรองตัวที่ 1 เสร็จและนำกลับมาใช้ ระดับน้ำจะปรับตัวใหม่โดยลดลงอย่างรวดเร็วจากระดับ c มาถึงระดับ a ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ทั้งนี้เพราะน้ำซึ่งเคยไหลผ่านชั้นกรองของเครื่องกรอง 2,3 และ 4 จะแบ่งมาให้กับเครื่องกรอง 1 ในปริมาณสูงมาก แต่เนื่องจากเครื่องกรอง 1 มีความสะอาดมาก จึงทำให้มีการต้านทานการไหลของน้ำน้อยมาก ดังนั้นเครื่องกรองจึงต้องการเฮดต่ำทั้ง ๆ ที่เครื่องกรอง 1 มีอัตรากรองสูงมาก จากการทดลองสังเกตดูระดับน้ำจากจุด c มายังจุด a ใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที และกราฟแสดงการขึ้นลงของระดับน้ำในเครื่องกรองมีลักษณะเหมือนขั้นบันได (ดูภาพที่ 4.2 – 4.10)

ในทำนองเดียวกันเมื่อเครื่องกรองทั้ง 4 เครื่อง ทำการกรองน้ำต่อไป ระดับน้ำในทั้ง 4 เครื่องก็ค่อย ๆ สูงขึ้นจนถึงระดับน้ำสูงขึ้นถึง b (150 ซม.) เครื่องกรองที่ 2 เครื่องกรองที่ 3 และเครื่องกรองที่ 4 จะถูกล้างย้อนตามลำดับ ดังที่กล่าวมาแล้วจนครบวัฏจักรในการทดลองครั้งที่ 1 และการทดลองที่ 2 – 9 ก็เช่นเดียวกัน ดูภาพที่ 4.3 – 4.10

จากผลที่จากการกรองน้ำ ทำให้เราสามารถสรุปถึงความสำคัญของจุดต่างๆ ได้ดังนี้ จุด a เป็นระดับต่ำสุดของน้ำในเครื่องกรอง เกิดขึ้นเมื่อนำเครื่องกรองที่เพิ่งล้างเสร็จ กลับเข้ามาใช้ใหม่ ดังนั้นเครื่องกรองที่เพิ่งล้างจะมีอัตรากรองสูงสุดที่ระดับ a นี้ การควบคุมเครื่องกรองแบบอัตราลดลงจึงต้องจำกัดมิให้จุด a มีระดับสูงเกินไป มิฉนั้นแล้วอัตราการกรองน้ำจะสูงมากเกินไปจนทำให้เกิดการรั่วของความขุ่น (Break through of Turbidity) สำหรับในรายงานฉบับนี้จะขอเรียกระดับน้ำที่จุด a ว่าเป็น "ระดับน้ำต่ำสุดของเครื่องกรอง" ตลอดไป

จุด b เป็นระดับสูงสุดที่ตั้งใจให้เกิดขึ้น จุดนี้เป็นระดับที่กำหนดให้มีการล้างเครื่องกรองที่สกปรกที่สุด (อัตรากรองน้อยที่สุด) สำหรับในงานวิจัยนี้ จุด b ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 150 ซม. เสมอไว้

จุด c เป็นระดับสูงสุดที่เกิดขึ้นเองอย่างไม่ได้ตั้งใจ เกิดขึ้นในระหว่างที่มีกำลังการล้างเครื่องกรอง (ทำให้เครื่องกรองที่เหลือต้องรับภาระเพิ่มขึ้น) ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก b ไป c ทำให้เครื่องกรองที่เหลือมีเฮดเพิ่มขึ้นจนสามารถกรองน้ำของเครื่องกรองที่กำลังล้างได้

ตารางที่ 4.4 เป็นการรวบรวมข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ a , b และ c ของการทดลองทั้งหมด ขอให้ระลึกว่าผลที่ได้เหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการกำหนดให้มีการล้างเครื่องกรอง เมื่อเฮดเท่ากับ 150 ซม. เสมอ

ผลสรุปจากตารางที่ 4.4 มีดังนี้

1. เมื่ออัตรากรองเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตร/ชั่วโมง (ในการทดลองที่ 1, 2 และ 3) ระดับน้ำต่ำสุด (ระดับ a) จะมีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 65 – 76 ซม. (เฉลี่ย 70.5 ซม.) ทำให้ความแปรปรวนของระดับน้ำ ระหว่าง a และ b มีค่าประมาณ 74 – 85 ซม.

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของอัตรากรองเฉลี่ยและความขุ่นของน้ำดิบที่มีต่อค่า a และ c

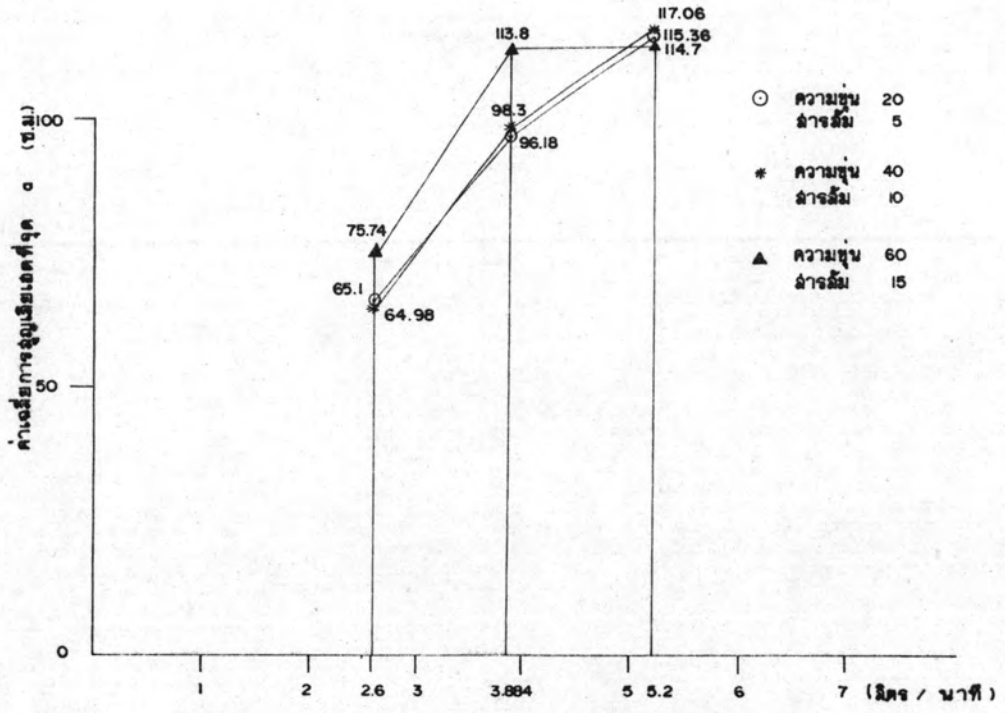
การทดลองที่	ข้อมูลในการทดลอง			ระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ย a (ซม.)	ระดับน้ำที่เริ่มลาดลงยอน b (ซม.)	ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ย c (ซม.)	ความแปรปรวนของระดับน้ำ		
	อัตรากรองเฉลี่ย (ลิตร/นาที)	ความขุ่นของน้ำดิบ	สารส้ม มก./ลิตร				b - a (ซม.)	c - a (ซม.)	c - b (ซม.)
1	2.60	20	5	65.10	150	168.57	84.00	103.4	18.57
2	2.60	40	10	64.98	150	166.85	85.02	101.8	16.85
3	2.60	60	15	75.74	150	166.67	74.26	90.93	16.67
4	3.88	20	5	96.18	150	171.70	53.82	75.52	21.70
5	3.88	40	10	93.30	150	181.62	51.70	83.32	31.60
6	3.88	60	15	113.80	150	177.75	36.20	63.95	27.75
7	5.20	20	5	115.36	150	173.50	34.64	58.14	23.50
8	5.20	40	10	117.06	150	172.20	32.94	55.14	22.20
9	5.20	60	15	114.70	150	166.37	35.30	51.67	16.37

2. การเพิ่มอัตรากรองเฉลี่ยเป็น 7.5 ม/ชม. ทำให้ระดับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 96 – 114 ซม.(เฉลี่ย 105 ซม.) และทำให้ผลต่างระหว่าง a และ b มีค่าลดลงเหลือประมาณ 36 – 54 ซม.

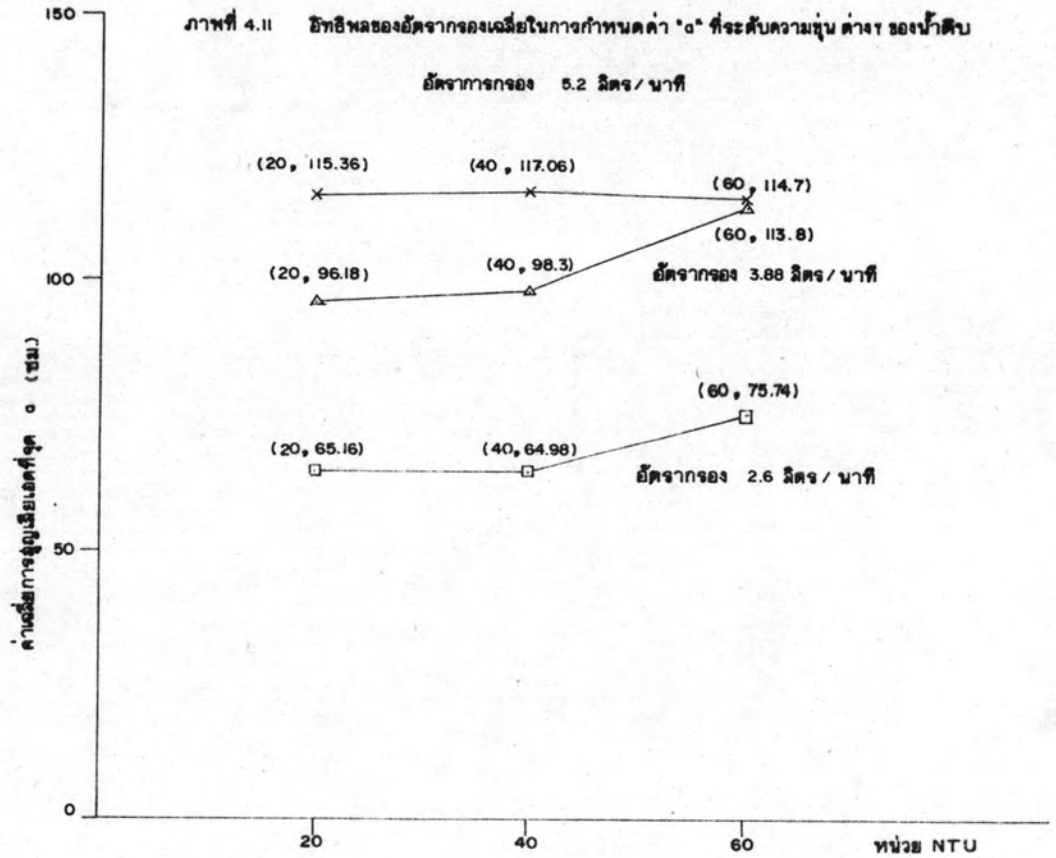
3. การเพิ่มอัตรากรองเฉลี่ยเป็น 10 ม/ชม. ทำให้ระดับมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเป็นประมาณ 115 – 117 ซม.(เฉลี่ย 116 ซม.) และทำให้ผลต่างระหว่าง a และ b มีค่าประมาณ 33 – 35 ซม.

เมื่อวิเคราะห์อัตรากรองในขณะที่เครื่องกรองเพิ่งล้างเสร็จ (ดูภาพที่ 4.1) ปรากฏว่า เมื่อ เท่ากับ 70.5, 105 และ 116 ซม. อัตรากรองจะมีค่าประมาณ 10.75, 15.5 และ 18 ม/ชม.ตามลำดับ นั่นคือเมื่อเครื่องกรองมีอัตรากรองเฉลี่ย 5 ม/ชม. อัตรากรองสูงสุดมีค่าประมาณ 10.75 ม/ชม.หรือประมาณ 2.15 เท่าของค่าเฉลี่ย ส่วนเครื่องกรองมีอัตรากรองเฉลี่ย 7.5 และ 10 เมตร/ชม.ต่อตารางฟุต อัตรากรองสูงสุดเท่ากับ 15.5 และ 18 ม/ชม. หรือ 2.1 และ 1.8 เท่าของค่าเฉลี่ยตามลำดับ ในทางปฏิบัติมีผู้แนะนำให้กำจัดอัตรากรองสูงสุดให้มีค่าประมาณ 1.5 เท่าของค่าเฉลี่ย ดังนั้นระดับน้ำต่ำสุดที่ปรากฏในการทดลองนี้มีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น จึงทำให้อัตรากรองสูงสุดมีค่าสูงเกินไป

ภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของอัตรากรองเฉลี่ยในการกำหนดระดับน้ำต่ำสุด (a) เนื่องจากเยดในการกรองน้ำขึ้นอยู่กับอัตรากรอง ดังนั้นจึงไม่น่าประหลาดใจว่าระดับน้ำต่ำสุด (a) จะแปรโดยตรงกับอัตรากรองน้ำเฉลี่ยความขุ่นในน้ำดิบก็มีอิทธิพลต่อระดับน้ำต่ำสุด (a) ในทำนองเดียวกันกับของอัตรากรอง ดูภาพที่ 4.12 อย่างไรก็ตามจากภาพ 4.11



ภาพที่ 4.11 อิทธิพลของอัตรากรองเฉลี่ยในการกำหนดค่า "a" ที่ระดับความขุ่น ต่างๆ ของน้ำดิบ



ภาพที่ 4.12 อิทธิพลของความขุ่นของน้ำดิบในการกำหนดค่า "a" ที่อัตรากรองเฉลี่ยต่าง ๆ

และ 4.12 ก็พอมองเห็นได้ว่า ความขุ่นในน้ำดิบก็มีอิทธิพลต่อระดับน้ำต่ำสุด เมื่อกรองน้ำที่อัตรา ต่ำมากกว่า เมื่อกรองในอัตราสูง

ผลจากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ระดับ a ของการทดลองต่าง ๆ มีค่าสูงเกินไป จึงมีผลทำให้อัตรากรองสูงสุดมีค่าสูงกว่า 1.5 เท่าของค่าเฉลี่ย เมื่อดูจากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า a ควรมีค่าเท่ากับ 49, 73 และ 120 ซม. สำหรับอัตรากรองเฉลี่ย 5, 7.5 และ 10 ม/ชม. ตามลำดับ วิธีการควบคุมเครื่องกรองให้มีค่า a อยู่ในระดับที่ต้องการ อาจกระทำได้โดยเลือกระดับ (ซึ่งเป็นระดับที่มีการล้างเครื่องกรอง 1 ตัว) ให้เหมาะสม แต่ทั้งนี้ต้องรู้ค่าของระยะเสียก่อน จึงจะทำได้ สำหรับในงานวิจัยนี้ ระยะ ab ของการทดลองทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางที่ 4.4 ดังนั้น จึงสามารถกำหนดระดับ b ของทุก ๆ การทดลองได้ดังนี้

การทดลองที่	1	ระดับ	ควรอยู่ที่	49 + 84	= 133	ซม.
"	2		"	49 + 85	= 134	"
"	3		"	49 + 74.3	= 123.3	"
"	4		"	73 + 53.8	= 126.8	"
"	5		"	73 + 51.7	= 124.7	"
"	6		"	73 + 36.2	= 109.2	"
"	7		"	120 + 34.6	= 154.6	"
"	8		"	120 + 32.9	= 152.9	"
"	9		"	120 + 35.3	= 155.3	"

4.1.2 <u>การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองน้ำของเครื่องกรองแต่ละตัว</u>

การควบคุมให้เครื่องกรองทำงานแบบอัตรากรองลดลง จำเป็นต้องทำให้เครื่องกรองแต่ละตัวในระบบมีความสกปรกไม่เท่ากัน ในลักษณะทำให้ที่ต้องล้างเครื่องกรองทีละตัวภายในเวลาเท่า ๆ กัน ผลจากการควบคุมดังกล่าวจะทำให้อัตรากรองน้ำของเครื่องกรองแต่ละตัวมีค่าสูงและต่ำจากค่าเฉลี่ยอยู่ในสัดส่วนเดียวกัน เช่น ถ้ามีเครื่องกรอง 3 ตัว อัตรากรองของแต่ละตัวในขณะใดขณะหนึ่งมีค่า 0.51 และ 1.5 ของอัตรากรองเฉลี่ย เป็นต้น

ภาพที่ 4.2 – 4.10 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองน้ำของเครื่องกรองแต่ละตัวในการทดลองที่ 1 ถึง 9 ตามลำดับ (ขอให้ดูตารางที่ ค.) ในภาคผนวกประกอบไปด้วย)

ในภาพที่ 4.2 เมื่อเครื่องกรองน้ำทั้ง 4 เครื่อง ทำหน้าที่กรองน้ำจึงทำให้การสูญเสียเฮดของเครื่องกรองทั้ง 4 เครื่องเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระดับ 150 ซม. เครื่องกรองตัวที่ 1 ถูกล้างย้อนแล้วถูกกลับนำมาใช้ อัตราการกรองเครื่องที่ 1 สูงขึ้นทันทีมากกว่าตอนก่อนที่จะนำไปล้างย้อน ก็เพราะเครื่องกรองตัวที่ 1 สกปรกมากจึงทำให้อัตราการกรองมีปริมาณน้อย หรือบางครั้งสกปรกมากถึงจำนวนอัตราการกรองไม่มีเลย ภายหลังถูกล้างย้อนเครื่องกรองตัวที่ 1 ก็สะอาดมากกว่าอีก 3 ตัวมาก ทำให้ปริมาตรของน้ำที่สะสมไว้ในเครื่องกรองที่ 2,3 และ 4 รวมทั้งปริมาตรน้ำในเครื่องกรองตัวที่ 1 ขณะที่กำลังทำการล้างย้อนเครื่องกรองอยู่ไหลรวมกันออกมาโดยผ่านเครื่องกรองตัวที่ 1 มาก จึงทำให้อัตราการกรองของเครื่องที่ 1 สูงเกือบเท่าหรือมากกว่าอัตราการกรองทั้งหมด เป็นเหตุให้อัตราการกรองรวมทั้ง 4 เครื่องสูงมากขึ้นทันที เมื่อสังเกตเส้นกราฟเราจะเห็นเส้นกราฟของอัตราการกรองเครื่องที่ 1 และเส้นกราฟของอัตราการกรองรวมสูงขึ้นขึ้นมาทันที หลังจากนั้นเส้นกราฟทั้งสองเส้นนั้นก็ค่อย ๆ ลาดลงที่อัตรากรองหนึ่งๆ ของแต่ละเส้นจนถึงเวลาที่เครื่องกรองเครื่องที่ 2 เครื่องที่ 3 และเครื่องที่ 4 ถูกล้างย้อนก็มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามที่กล่าวมาแล้วตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของอัตรากรองของเครื่องกรองแต่ละตัวในทุก ๆ การทดลองนี้มิได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะตัวของระบบการกรองแบบอัตราลดลง เนื่องจากการกรองน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับเครื่องกรองเพียงตัวเดียว หรือสองตัวเป็นอย่างมาก เครื่องกรองที่เหลือกรองน้ำได้น้อยมาก ผลที่เกิดขึ้นคือ เครื่องกรองเพียง 1 หรือ 2 ตัวเท่านั้นที่มีการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การอุดตันหรือความสกปรกของชั้นกรองของเครื่องกรองแต่ละตัวมิได้มีค่าลดหลั่นกันไปตามสัดส่วนของอัตรากรองน้ำที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มีเครื่องกรอง 4 ตัว อัตรากรองในขณะใดขณะหนึ่งของเครื่องกรองทั้ง 4 ชุด ควรเป็น 1.5, 1.15, 0.8, 0.5 เท่าของค่าเฉลี่ยตามลำดับ ความสกปรกของชั้นกรองก็ควรมีสัดส่วนดังกล่าวด้วย ดังนั้น สำหรับในการทดลองนี้ ควรต้องการเตรียมเครื่องกรองใหม่ให้มีความสกปรกลดหลั่นกันตามสัดส่วนที่ถูกต้อง และอาจจำเป็นต้องทดลองกรองน้ำหลาย ๆ วัฏจักรจนกระทั่งสามารถควบคุมให้มีอัตรากรองลดลงอย่างแท้จริงได้

4.1.3 <u>ผลกระทบของการล้างเครื่องกรอง</u>

การล้างเครื่องกรองในระบบที่ควบคุมแบบอัตราลดลง มีผลกระทบต่อปัจจัยหลายอย่างเช่น ระดับน้ำ, อัตรากรอง และความขุ่นของน้ำกรอง ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.5 เครื่องกรองที่เพิ่งล้างเสร็จและนำกลับมาใช้ใหม่ มักมีอัตรากรองสูงกว่าค่าเฉลี่ยหลายเท่า (ดูภาพ 4.2 – 4.10) การที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าเครื่องกรองอื่นมีความสกปรกมากจนเครื่องกรองที่เพิ่งล้างเสร็จต้องรับภาระในการกรองน้ำเกือบทั้งหมด ด้วยเหตุนี้จึงมักพบว่าน้ำที่กรองได้ในขณะที่นำเครื่องกรองที่เพิ่งล้างมาใช้จึงมีความขุ่นสูงกว่าปกติ

ตารางที่ 4.5 ผลกระทบของการล้างเครื่องกรองที่มีต่อความขุ่น อัตราการกรองและการสูญเสียเฮด

การทดลองที่	เครื่องกรองตัวที่	ความขุ่นเมื่อการสูญเสียเฮด 150 ซม. (NTU) ก่อนล้าง	ความขุ่นเมื่อการสูญเสียเฮด 150 ซม. (NTU) หลังล้าง	อัตรากรองเมื่อการสูญเสียเฮด 150ซม. ลิตร/ม.²/นาที ก่อนล้าง	อัตรากรองเมื่อการสูญเสียเฮด 150ซม. ลิตร/ม.²/นาที หลังล้าง	การสูญเสียเฮด (ซม.) ก่อนล้าง (b)	การสูญเสียเฮด (ซม.) ก่อนล้างสูงสุด (c)	การสูญเสียเฮด (ซม.) หลังล้าง (a)
1	1	1.4	1.5	0.46	3.82	150	168.5	74.8
	2	ไม่มีน้ำ	0.87	ไม่มีน้ำ	3.75	150	170.8	60
	3	ไม่มีน้ำ	1.1	ไม่มีน้ำ	3.56	150	170	67.5
	4	0.9	0.85	0.06	3.63	150	165	67.5
2	1	0.55	1.9	0.1	2.16	150	161.5	72.8
	2	0.35	2.1	0.15	2.14	150	170	61.4
	3	0.5	0.2	0.12	3.64	150	167.4	75.3
	4	ไม่มีน้ำ	1.05	ไม่มีน้ำ	3.18	150	168.5	62.9
3	1	0.74	1.2	0.54	3.08	150	160.2	73.8
	2	0.52	1.1	0.13	2.7	150	176	71.4
	3	0.23	0.6	0.32	2.6	150	167.5	89
	4	ไม่มีน้ำ	2.0	0.09	3.12	150	163	75
4	1	0.45	0.6	0.42	3.74	150	172.2	90.4
	2	0.37	2.2	0.22	3.55	150	171.8	90.7
	3	0.43	0.7	0.16	2.94	150	170.8	99.9
	4	0.7	0.87	0.1	3.3	150	172	91
5	1	1.4	2	0.94	2.96	150	194	104.3
	2	0.8	1.6	0.15	2.92	150	180	91.4
	3	0.68	1.3	0.06	2.94	150	176	101.3
	4	1.9	1.7	0.07	2.94	150	176.5	89.5
6	1	0.6	0.64	0.2	3.22	150	178	109.6
	2	0.65	0.57	0.1	3.52	150	170	104.8
	3	0.35	0.52	0.24	3.30	150	180	121.3
	4	2.3	1.0	0.24	3.32	150	183	107.3
7	1	0.49	0.55	0.83	3.94	150	175.3	119.4
	2	0.41	0.47	0.54	2.9	150	173	112.8
	3	0.45	0.42	0.32	2.88	150	170	115.8
	4	0.4	1.0	0.14	4	150	175.5	122.3
8	1	0.45	1.3	0.52	4.38	150	176.8	115.2
	2	0.35	0.93	0.62	3.52	150	170.5	113.6
	3	0.45	1.2	0.32	3.46	150	170.5	116.9
	4	0.65	1.2	0.14	3.68	150	171.0	115
9	1	2.1	0.7	0.2	3.22	150	170.5	121
	2	0.45	2.5	0.2	3.3	150	170.5	114.5
	3	ไม่มีน้ำ	1.8	ไม่มีน้ำ	3.76	150	164.5	113.5
	4	0.65	0.58	0.2	2.88	150	160	109.5

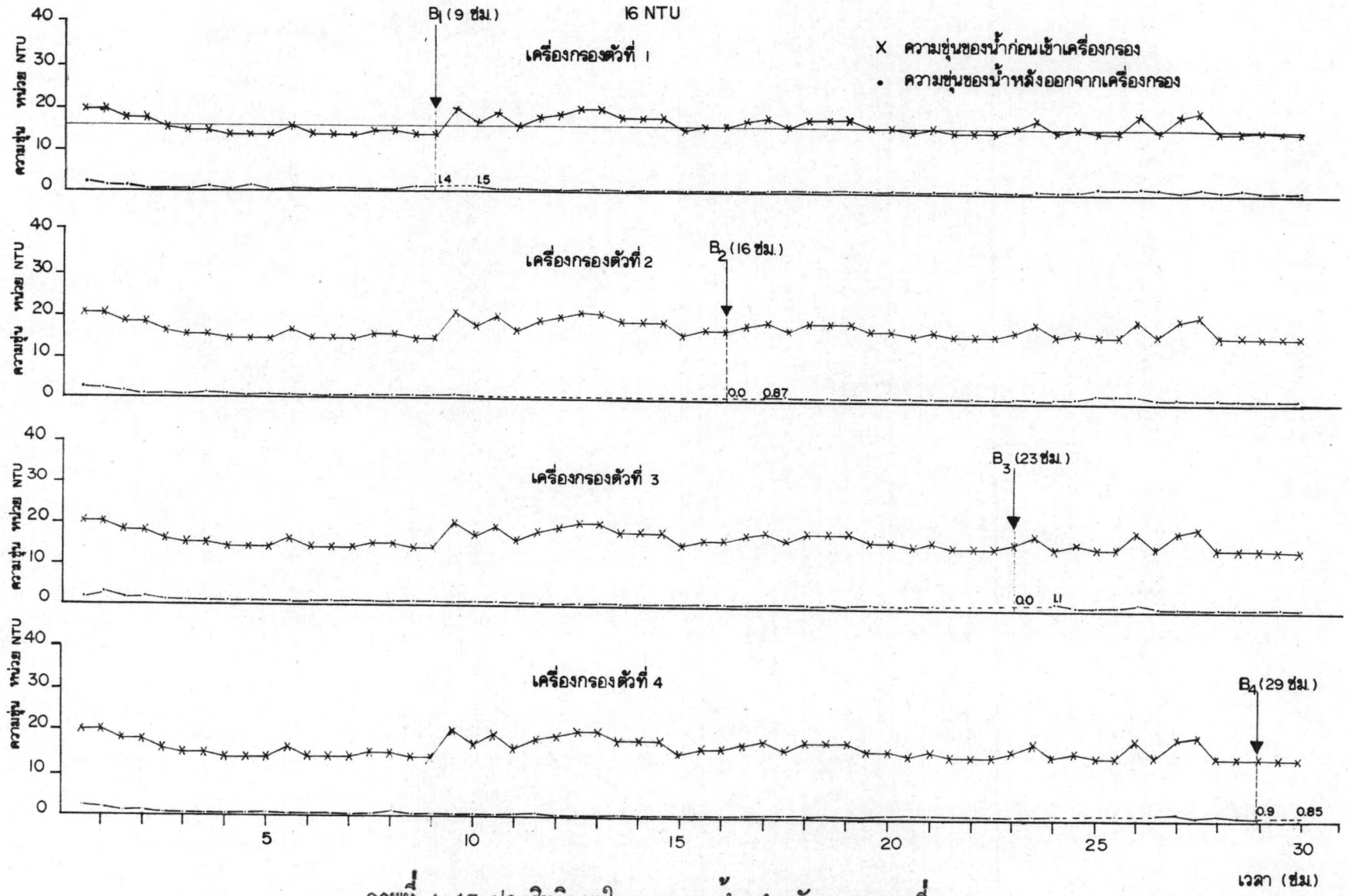
4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของเครื่องกรอง

ในการทดลองได้เตรียมน้ำดิบสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งมีความขุ่นอยู่ระหว่าง 20 – 60 หน่วย (NTU) มาทำการผสมด้วยสารส้ม ทำให้ความขุ่นของน้ำหลังจากการผสม ซึ่งจะนำเข้าเครื่องกรองแบบอัตรากรองลดต่อไปนั้นมีความขุ่นอยู่ระหว่าง 15 – 50 หน่วย (NTU) เมื่อนำมาผ่านเครื่องกรองตามแผนการทดลองที่ 1 – 9 ทำให้ค่าของความขุ่นภายหลังผ่านเครื่องกรองแล้ว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 – 0.9 หน่วย (NTU) ซึ่งอยู่ในมาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งแสดงว่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของเครื่องกรองแบบอัตรากรองลดลงนี้อยู่ระหว่าง 97 – 99 % ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.13 – 4.21 ตามลำดับ

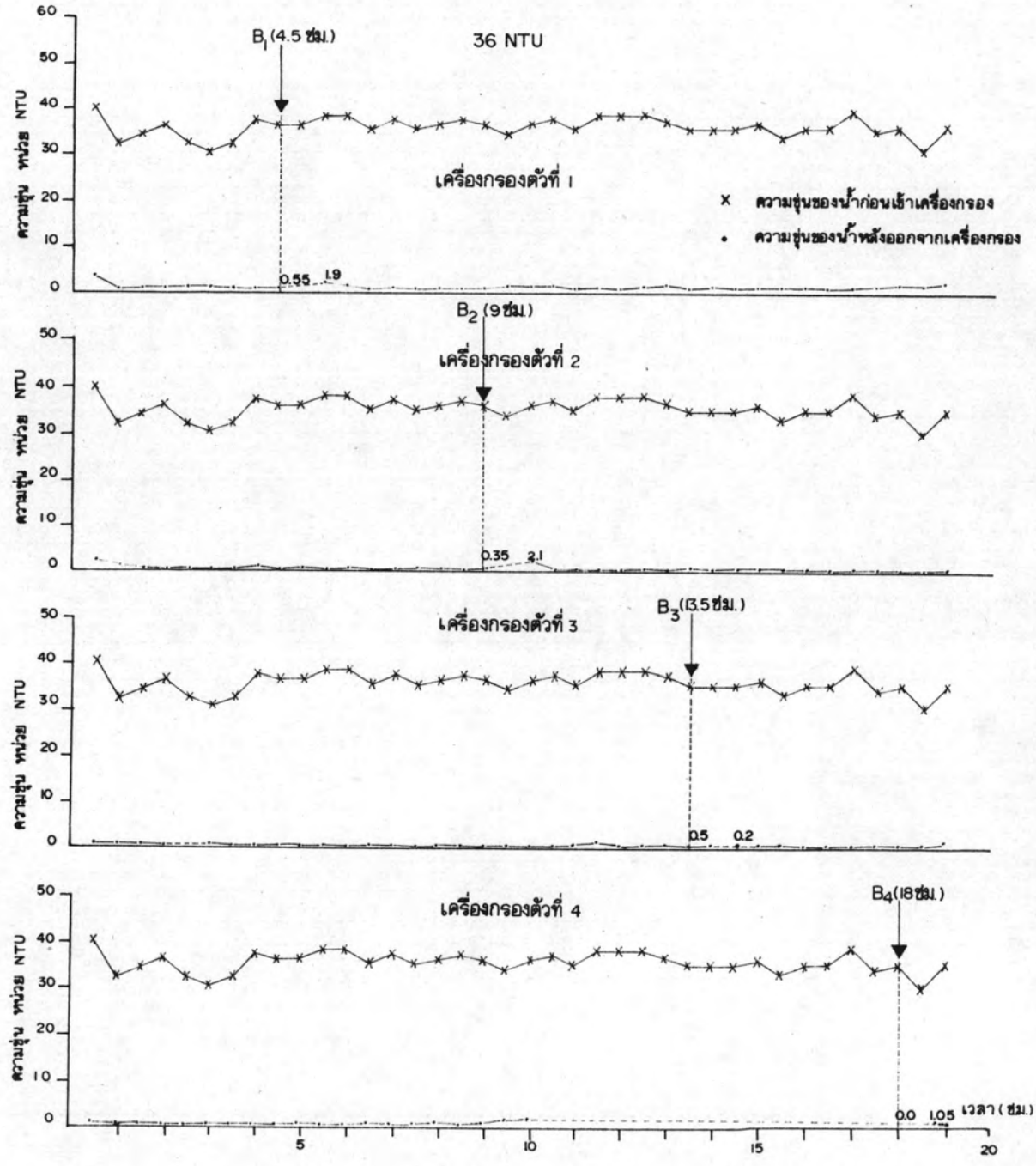
จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่า ค่าของความขุ่นก่อนเข้าเครื่องกรองมีลักษณะเป็นเส้นตรง (ความขุ่นคงที่) และค่าของความขุ่นที่ออกจากเครื่องกรองก็มีลักษณะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งเวลาที่จะทำการล้างเครื่องกรอง (Break Point) ค่าของความขุ่นที่ออกมาจะมีค่าเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นประมาณไม่เกิน 1.5 หน่วย (NTU) และเมื่อเครื่องกรองนั้นกลับเข้ามาทำงานแล้ว ตอนแรกความขุ่นจะสูงขึ้นประมาณไม่เกิน 2.0 หน่วย (NTU) หลังจากนั้นค่าของความขุ่นก็จะมีประมาณ 0.6 – 0.9 หน่วย (NTU) ต่อไปจนกว่าจะถึงเวลาล้างเครื่องกรองอีกครั้งหนึ่ง

4.3 เวลาในการกรองของเครื่องกรองแบบอัตรากรองลดลง

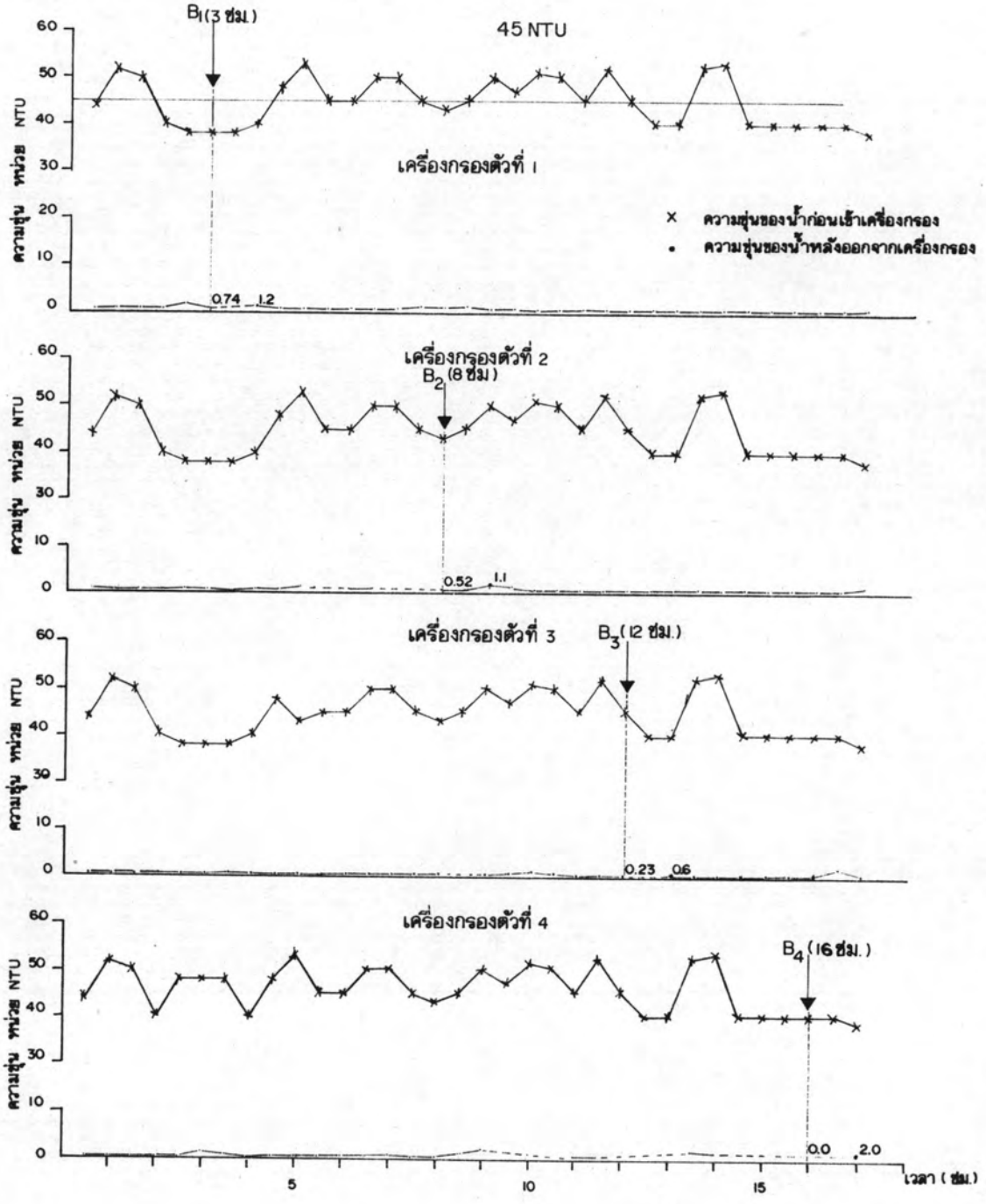
เวลาในการกรองจนถึงเวลาที่ต้องล้างเครื่องกรองจนครบวัฏจักร (ทั้ง 4 ตัว) เมื่อเดินเครื่องกรองที่อัตรากรองต่าง ๆ กันพบว่า เมื่ออัตราการกรองต่ำและความขุ่นต่ำ เวลาดังกล่าวจะนานกว่าเมื่ออัตราการกรองสูงและความขุ่นสูง ซึ่งผลการทดลองที่ 1 – 9 จะทำให้เวลาในการกรองจนถึงเวลาในการล้างเครื่องกรองจนครบวัฏจักร (ทั้ง 4 ตัว) มีค่า 30, 19, 17, 13.5, 11, 8.5, 9.0, 9.0 และ 8.5 ชั่วโมงตามลำดับ ดูตารางที่ 4.6



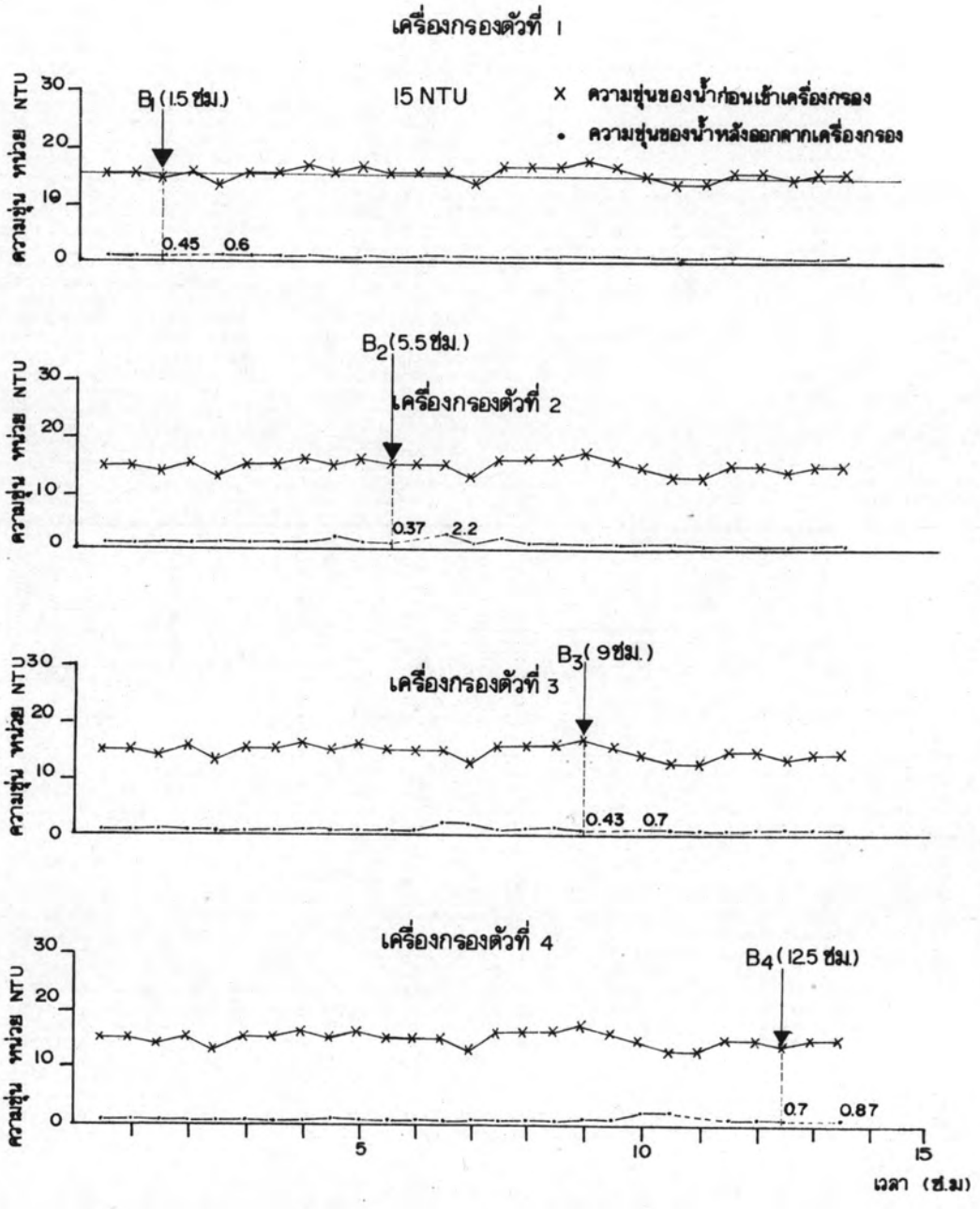
ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 1



ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 2

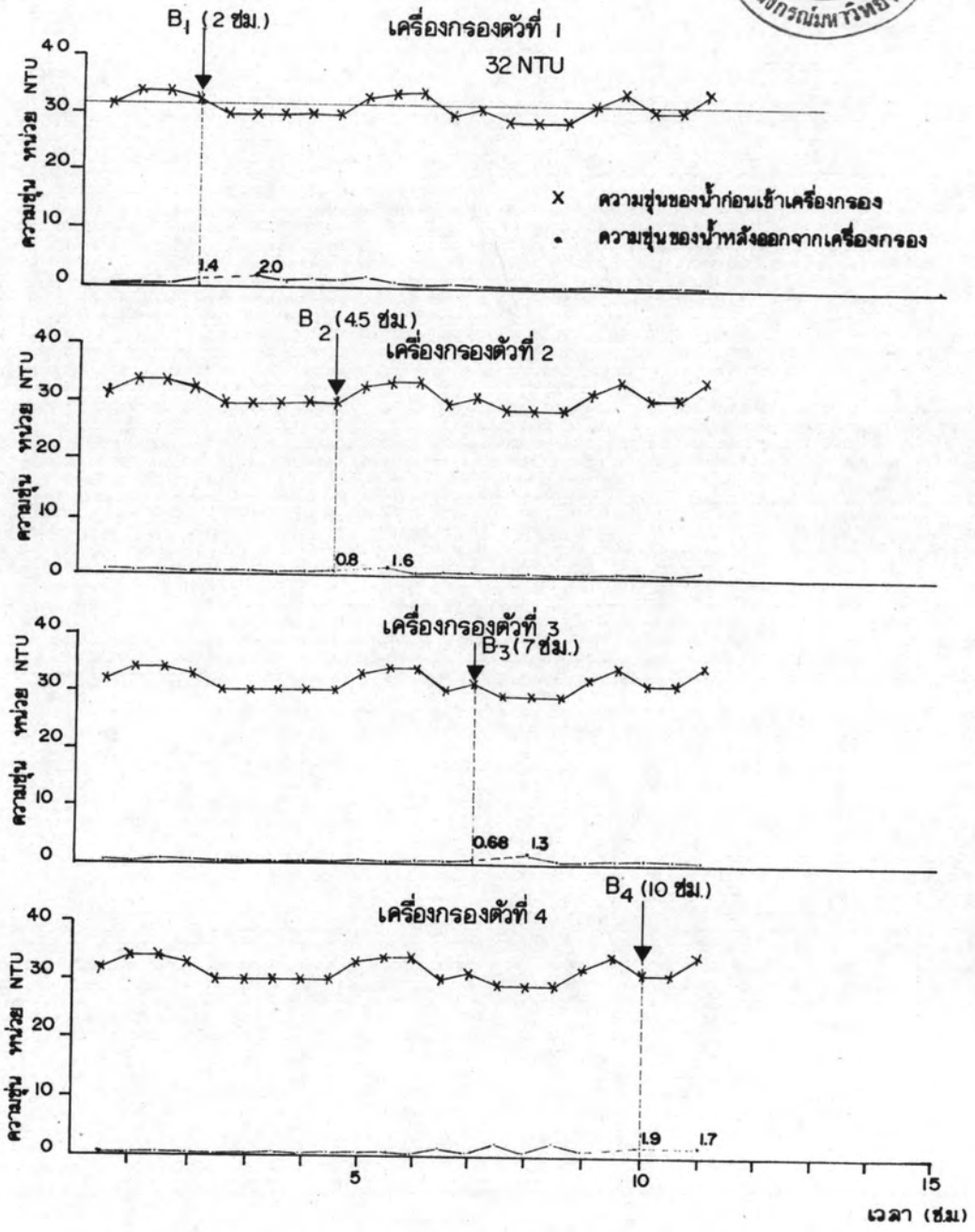


ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 3

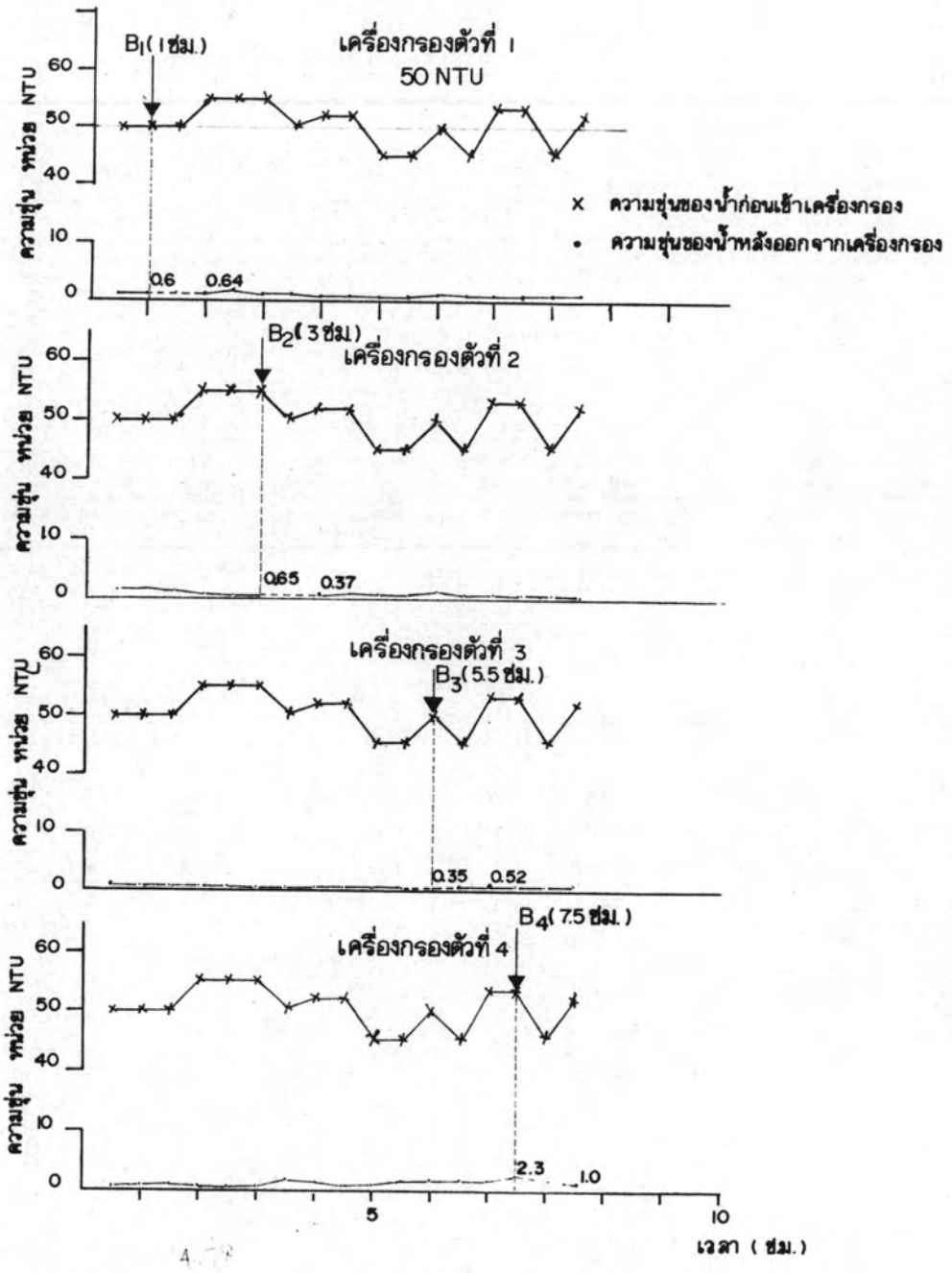


ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 4

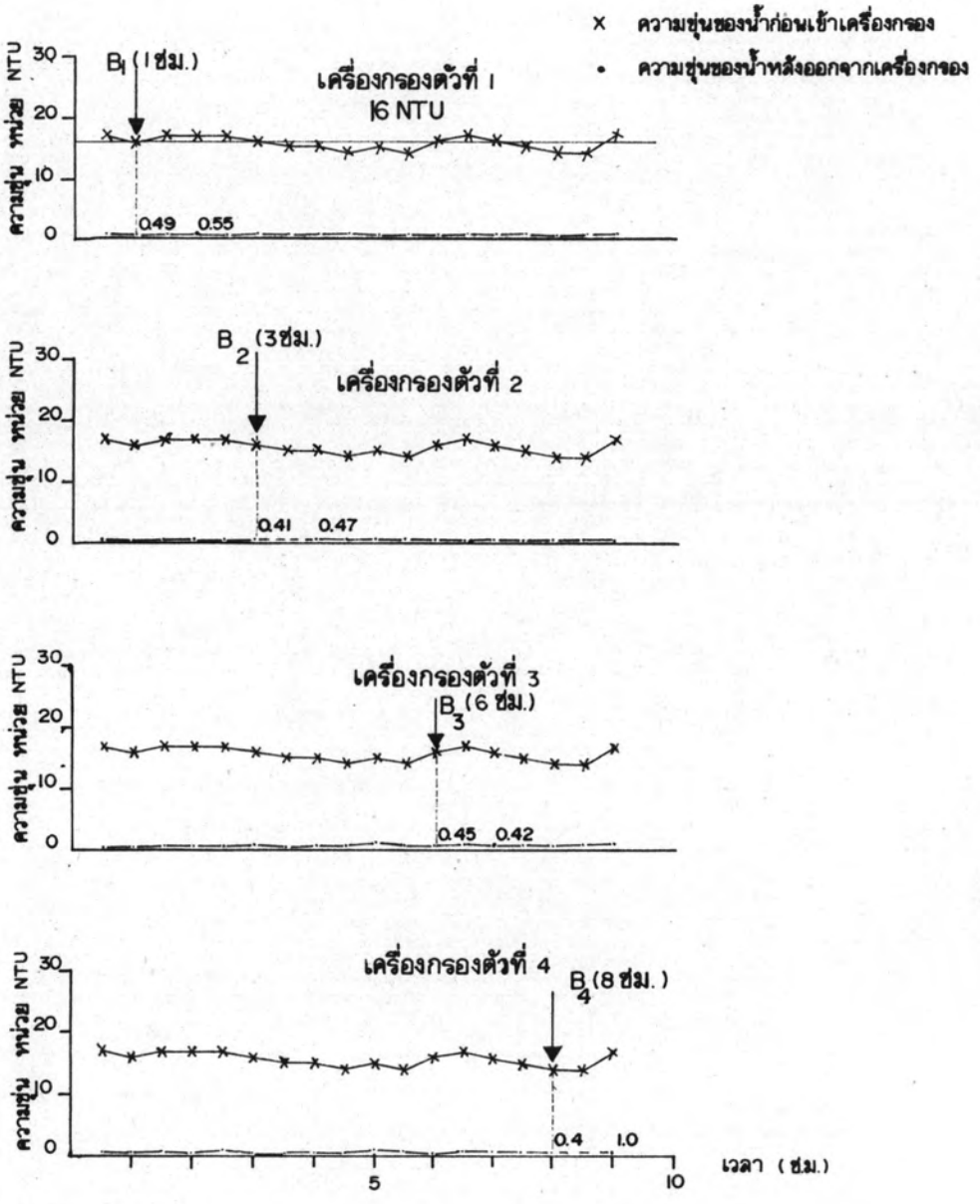
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



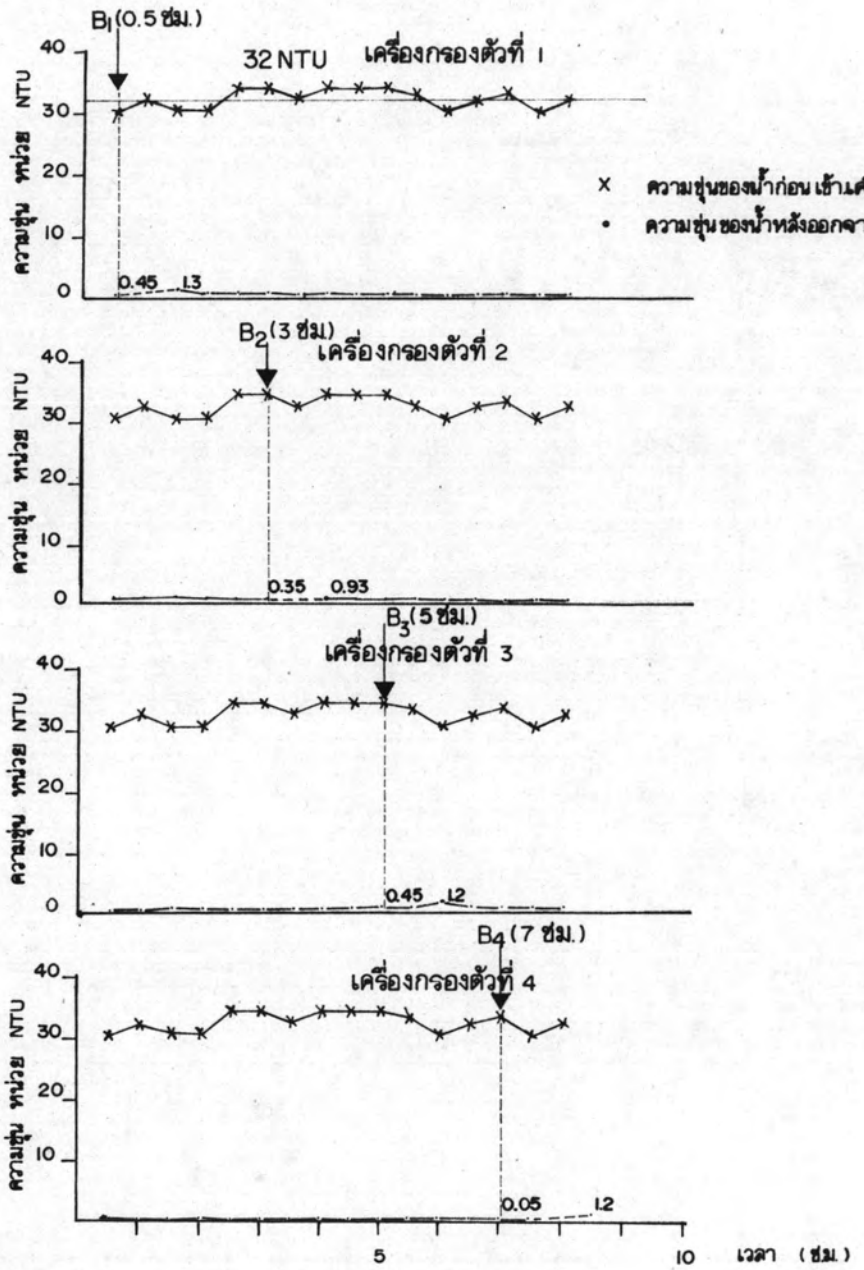
ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 5



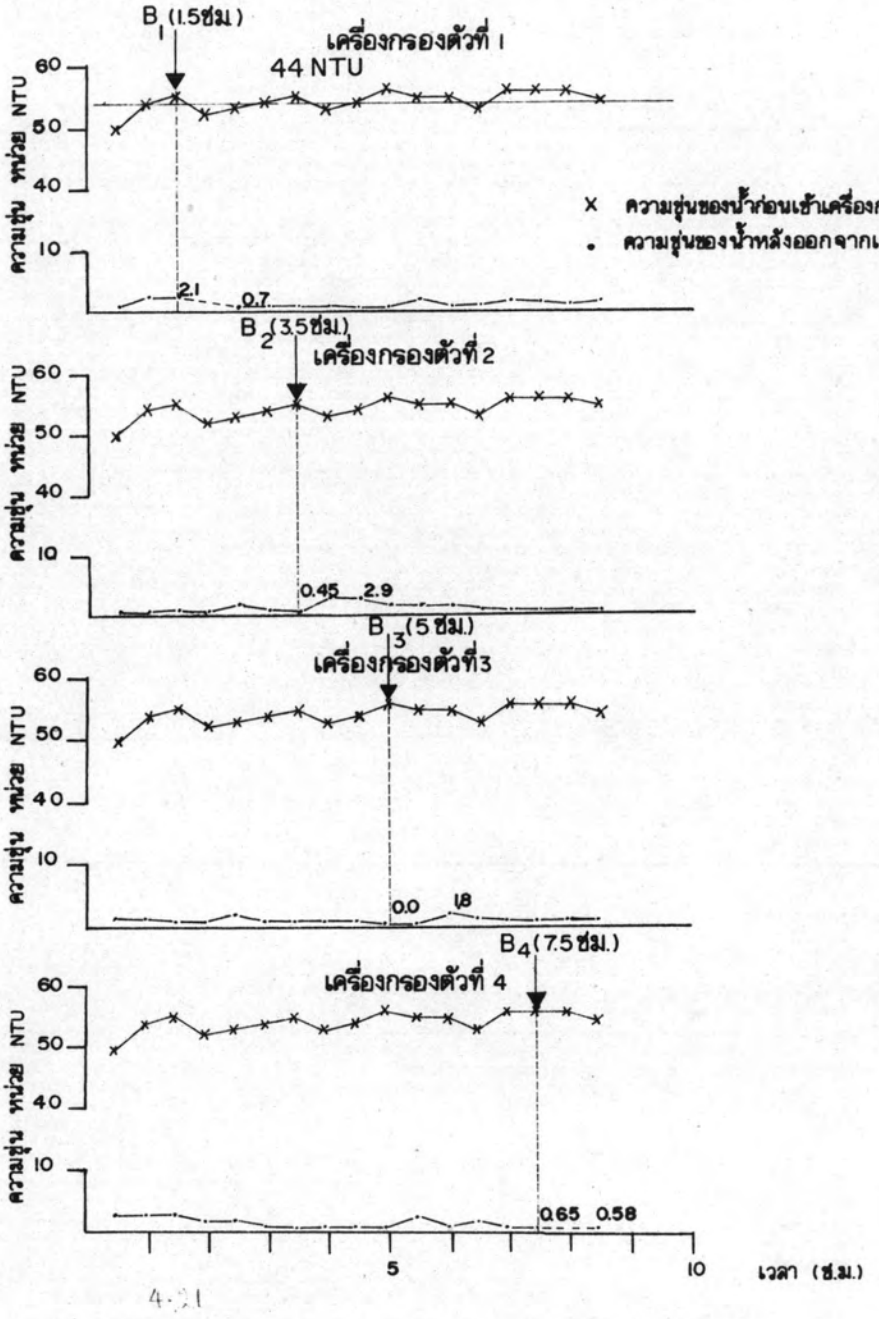
ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 6



ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 7



ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 8



4-21

ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ สำหรับการทดลองที่ 9

4.4 ปริมาตรการกรอง

ปริมาตรการกรองหมายถึงปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรองต่อพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกรอง มีหน่วยเป็น แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต โดยปกติจะขึ้นอยู่กับอัตราการกรองและช่วงเวลาในการใช้งานของการกรอง

จากการทดลองตามแผนทดลองที่ 1 – 9 ซึ่งมีเวลาในการกรอง 30, 19, 17, 13.5, 11, 8.5, 9.0, 8 และ 8.5 ชั่วโมงตามลำดับนั้น ทำให้ได้ค่าของปริมาตรการกรองเป็น 4543.26, 2799.9, 2602.5, 3220.22, 2397, 1900.7, 2709.3, 2529.6 และ 2527 ลิตร จะเห็นว่าปริมาตรการกรองจะมีค่ามากที่อัตราการกรองต่ำและมีค่าน้อยที่อัตราการกรองสูง เนื่องจากประสิทธิภาพในการกักเก็บสารแขวนลอยของชั้นทรายที่อัตราการกรองต่ำ มีค่าสูงกว่าที่อัตราการกรองสูง โดยที่อัตราการกรองต่ำกว่า 2.6 ลิตร/นาที ประสิทธิภาพในการใช้งานของชั้นกรองจะสูงกว่าที่อัตราการกรองสูงกว่า 3.88 ลิตร/นาที 5.2 ลิตร/นาที แต่ถ้าสังเกตดูการทดลองที่ 1 – 3 เราจะเห็นว่าการทดลองที่ 1 ได้ปริมาตรการกรองมากกว่าการทดลองที่ 2, 3 การทดลองที่ 4 – 6 เราจะเห็นว่าการทดลองที่ 4 ได้ปริมาตรการกรองมากกว่า 5, 6 และการทดลองที่ 7 – 9 เราจะเห็นว่าการทดลองที่ 7 ได้ปริมาตรการกรองมากกว่าการทดลองที่ 8, 9 ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการทดลองที่ 1, 4 และ 7 มีความขุ่น 20 หน่วย (NTU) แต่การทดลองที่ 2, 5 และ 8 มีความขุ่น 40 หน่วย (NTU) และการทดลองที่ 3, 6 และ 9 มีความขุ่น 60 หน่วย (NTU) ดูตารางที่ 4.6

4.5 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างย้อน

อัตราความเร็วของน้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องกรองในการทดลองมีสองอัตรา โดย

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดลองเครื่องกรองที่ควบคุมแบบอัตรากรองลดลง

การวัด		ผลการทดลองที่ 1	ผลการทดลองที่ 2	ผลการทดลองที่ 3	ผลการทดลองที่ 4	ผลการทดลองที่ 5	ผลการทดลองที่ 6	ผลการทดลองที่ 7	ผลการทดลองที่ 8	ผลการทดลองที่ 9
อัตราการกรองทั้งหมด	ลิตร/นาที	2.6	2.6	2.6	3.88	3.88	3.88	5.2	5.2	5.2
ค่าเฉลี่ยของความขุ่นก่อนผ่านเครื่องกรอง	NTU	16	36	45	15	32	50	16	32	44
ค่าเฉลี่ยของความขุ่นหลังผ่านเครื่องกรองแล้ว	NTU	0.68	0.64	0.64	0.59	0.71	0.73	0.46	0.56	0.98
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความขุ่น	NTU	0.43	0.46	0.38	0.37	0.46	0.4	0.2	0.26	0.7
ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น	%	97.31	98.72	98.58	96.0.6	97.78	99.2	98.75	98.25	97.77
อายุการกรองในแต่ละวัฏจักร	ชม.	30	19	17	13.5	11	8.5	9.0	8	8.5
การสูญเสียเฮดสูงสุดก่อนล้าง	ชม.	150	150	150	150	150	150	150	150	150
การสูญเสียเฮดสูงสุดเฉลี่ย	ชม.	168.75	166.85	166.67	171.7	181.62	177.75	173.5	172.2	166.37
การสูญเสียเฮดต่ำสุดเฉลี่ย	ชม.	65.16	64.98	75.74	96.18	98.3	113.8	115.36	117.06	114.7
ปริมาณน้ำที่กรองได้	ลิตร	4543.26	2799.9	2602.5	3220.28	2397	1900.7	2709.3	2529.6	2527
ปริมาณน้ำใช้ในการล้างย้อน	ลิตร	654.5	648.3	668	643.6	651	654	638.6	656.7	655
	%	14.4	23.2	25.6	19.9	27.1	24.4	23.5	25.9	25.9

ตอนแรกจะใช้อัตราความเร็วของน้ำ 3.2 ลิตร/นาที เพื่อให้น้ำค่อยผ่านชั้นกรวดและทราย จนระดับน้ำอยู่สูงกว่าผิวหน้าทรายพอสมควร เป็นการป้องกันไม่ให้กรวดขึ้นมาปะปนกับทราย เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นลดลง แล้วเพิ่มอัตราความเร็วของน้ำเป็น 6.5 ลิตร/นาที จนน้ำที่ล้างออกมามีค่าความขุ่นประมาณไม่เกิน 2 หน่วย (NTU) จากการทดลองปรากฏว่า ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องกรองมีค่าประมาณ 654.5, 648.3, 688, 643.6, 651, 654, 638.6, 656.7 และ 655 ลิตรตามลำดับ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์จะได้ 14.4, 23.2, 25.2, 19.9, 27.1, 34.4, 23.5, 25.9 และ 25.9 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ซึ่งใช้ปริมาตรน้ำมากในการล้างเครื่องกรอง ก็เพราะเราออกแบบทางน้ำล้นไม่ดี ในการทดลองครั้งนี้จึงทำให้น้ำที่มีความขุ่นไหลออกไม่ทัน จึงเป็นสาเหตุใช้น้ำมาก วิธีแก้ก็ต้องออกแบบทางน้ำล้นให้ใหญ่มากพอและไม่สูงเกิน 50 % ของความสูงของชั้นทราย โดยมีการพ่นอากาศเข้าไประหว่างการล้างเครื่องกรอง ดูตารางที่ 4.6