

## ผลการทดลองและการวิจารณ์

5.1 คุณสมบัติของน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำดิบในการวิจัย

น้ำดิบที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำบาดาล จากบ่อน้ำบาดาลของการประปาบ้านไผ่ขอคอน อำเภอมือง จังหวัดพิษณุโลก บ่อน้ำบาดาลดังกล่าวมีความลึกประมาณ 57 เมตร น้ำดิบหรือน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใหม่ ๆ เมื่อยังไม่สัมผัสกับอากาศจะมีลักษณะใสกระจ่าง, มีกลิ่นคาวปลา และมีรสฝืด ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของน้ำดิบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 รวม 3 ครั้ง แต่ละครั้งมีระยะเวลาห่างกันประมาณ 2 เดือน พบว่าคุณสมบัติของน้ำดิบมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองทุกการทดลองมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีเหล็กทั้งหมดตั้งแต่ 4.0 ถึง 4.2 มก./ล. หรือเฉลี่ยประมาณ 4.1 มก./ล., มีเหล็กเฟอร์รัสตั้งแต่ 3.28 มก./ล. ถึง 3.4 มก./ล. หรือเฉลี่ยประมาณ 3.35 มก./ล., มีคาร์บอนไดออกไซด์ ตั้งแต่ 70.4 ถึง 73.04 มก./ล. หรือเฉลี่ยประมาณ 71.28 มก./ล., มีอุณหภูมิประมาณ 28 ถึง 30 °C หรือเฉลี่ยประมาณ 29 °C, มีออกซิเจนละลายประมาณ 0 มก./ล. และมี pH ประมาณ 6.0

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำดิบในการวิจัย

รายการ	วันที่วิเคราะห์			เฉลี่ย
	17 พย.21	11 มค.22	12 มีค.22	
pH	6.0	6.0	6.0	6.0
ความเป็นด่าง ( $\text{HCO}_3^-$ ), มก./ล. เทียบ $\text{CaCO}_3$	118	120	120	119.34
เหล็กทั้งหมด, มก./ล.	4.2	4.0	4.1	4.1
เหล็กเฟอร์รัส, มก./ล.	3.4	3.36	3.28	3.35
คาร์บอนไดออกไซด์, มก./ล.	70.4	70.4	73.04	71.28
ออกซิเจนละลาย, มก./ล.	0	0	0	0
ความขุ่น, NTU.	0.55	0.55	0.55	0.55
ความกระด้างทั้งหมด, - มก./ล. เทียบ $\text{CaCO}_3$	103	103	103	103
คลอไรด์, มก./ล.	22.73	22.73	22.73	22.73
ไนเตรท, มก./ล.	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ซัลเฟต, มก./ล.	8	8	8	8
ไฮโดรเจนซัลไฟด์, มก./ล.	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
อุณหภูมิ, °C	30	28	29	29

## 5.2 การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศที่เหมาะสม

อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ มีผลต่อการทำงานของเครื่องเติมอากาศ, ดังตกตะกอน และระบบทรายกรองเร็วคือ

### 5.2.1 การทำงานของเครื่องเติมอากาศ

การทำงานของเครื่องเติมอากาศได้แก่ การเติมออกซิเจน, การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่ม pH และการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัส ในน้ำดิบ

#### (1) การเติมออกซิเจน, การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ และการเพิ่ม pH

ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศที่มีต่อการเติมออกซิเจน, การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ และการเพิ่ม pH ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

(ก) เครื่องเติมอากาศสามารถเติมออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว เพราะว้าน้ำบาดาลที่สูบน้ำขึ้นมาใหม่ ๆ พบว่าไม่มี D.O. อยู่เลย แต่เมื่อไหลผ่านเครื่องเติมอากาศด้วยอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศไม่เกิน 50 ม./ช.ม. และใช้เวลาในการไหลผ่าน ไม่ถึง 1 นาที ปรากฏว่าเครื่องเติมอากาศสามารถเติมออกซิเจนให้แก่น้ำดิบอย่างน้อยที่สุดถึง 6.0 มก./ล. ขณะที่ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ ในขณะทดลองจะมีค่าได้ประมาณ 7.6 มก./ล. ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศจึงมีค่าเท่ากับ 78.95 %

(ข) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จาก 12.5 ม./ช.ม. ถึง 50 ม./ช.ม. D.O. ในน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศจะลดลงเป็นลำดับจาก 6.73 ถึง 6.19 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศมากขึ้น ลำน้ำที่ไหลผ่านรู ของภาคเติมอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ผิวน้ำที่สัมผัสกับอากาศในเครื่องเติมอากาศจะน้อย และในขณะเดียวกันระยะเวลาที่น้ำดิบสัมผัสกับอากาศก็น้อยลงด้วย จึงทำให้ออกซิเจนในอากาศละลายเข้าไปในน้ำดิบได้น้อยลง

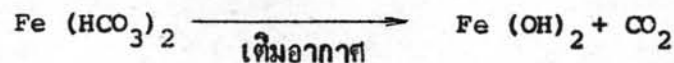
(ค) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 12.5 ม./ช.ม. ถึง 50 ม./ช.ม. เปอร์เซ็นต์การกำจัด  $CO_2$  ในน้ำดิบกลับลดลงเป็นลำดับจาก

ตารางที่ 5.2 การเติมออกซิเจน, การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ และการเพิ่ม pH ในน้ำดิบ จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศ ในแบบทดลอง

การทดลอง	A.L., ม./ช.ม.	Dt., วินาที	D.O., มก./ล.		CO <sub>2</sub> , มก./ล.		% การกำจัด CO <sub>2</sub>	pH	
			R	A	R	A		R	A
1/1	12.5	21.6	0	6.617	71.33	20.52	71.23	6.0	6.87
1/2			0	6.840	72.86	23.03	68.38	6.0	6.93
เฉลี่ย			0	6.73	72.1	22.78	69.80	6.0	6.9
2/1	25	10.8	0	6.494	72.93	22.6	69.61	6.0	6.74
2/2			0	6.60	73.04	24.82	66.02	6.0	6.84
เฉลี่ย			0	6.547	72.98	23.49	67.81	6.0	6.79
3/1	37.5	7.2	0	6.408	73.19	25.81	64.73	6.0	6.72
3/2			0	6.43	74.54	26.58	64.35	6.0	6.78
เฉลี่ย			0	6.42	73.86	26.19	64.54	6.0	6.75
4/1	50	5.4	0	6.317	73.04	28.02	61.63	6.0	6.64
4/2			0	6.070	71.46	28.69	59.85	6.0	6.72
เฉลี่ย			0	6.19	72.25	28.35	60.74	6.0	6.68

- หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเติมอากาศ, Dt. = ระยะเวลาที่น้ำไหลผ่านเครื่องเติมอากาศโดยประมาณ, R = น้ำดิบ และ A = น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ
2. D.O., pH และ CO<sub>2</sub> ของแต่ละการทดลองในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการทรง

69.80 ถึง 60.74 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเพิ่มอากาศมากขึ้น ลำน้ำที่ไหลผ่านรูของดาดเพิ่มอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวของลำน้ำสัมผัสกับอากาศน้อยลง และขณะเดียวกันระยะเวลาที่น้ำติดสัมผัสอากาศในเครื่องเพิ่มอากาศจะน้อยลง จึงทำให้  $\text{CO}_2$  ถูกกำจัดได้น้อยลง สมการกำจัดมีดังนี้



ในทำนองเดียวกันสามารถกล่าวได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเพิ่มอากาศน้อยลง  $\text{CO}_2$  ในน้ำดิบก็จะถูกกำจัดออกไปจากน้ำดิบได้มากขึ้น

(ง) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเพิ่มอากาศลดลงเป็นลำดับ จาก 50 ม./ช.ม. ถึง 12.5 ม./ช.ม. pH ของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเพิ่มอากาศกลับเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 6.68 ถึง 6.9 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเพิ่มอากาศน้อยลง  $\text{CO}_2$  ในน้ำดิบจะถูกกำจัดออกไปได้มากขึ้น ดังกล่าวมาแล้ว

ในข้อ (ค) เมื่อ  $\text{CO}_2$  ถูกกำจัดออกไปจากน้ำดิบได้มากขึ้น pH ของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเพิ่มอากาศจึงมากขึ้นด้วย เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่อ  $\text{CO}_2$  ถูกกำจัดออกไปจากน้ำได้มากขึ้น  $\text{H}^+$  จาก  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ซึ่งอยู่ในน้ำจะน้อยลง เมื่อ  $\text{H}^+$  ในน้ำน้อยลงจึงทำให้ pH ของน้ำลดลงด้วย เนื่องจากว่า

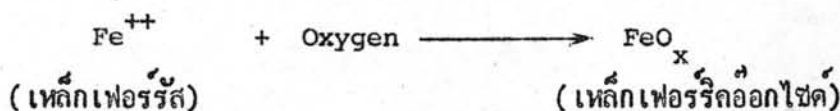
$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$$

$$\text{เมื่อ } [\text{H}^+] = \text{ความเข้มข้นของ } \text{H}^+ \text{ มีหน่วยเป็น โมล/ลิตร}$$

(2) การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัส

ผลการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบจากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศ เมื่อวิเคราะห์ค่าของเหล็กรูปต่าง ๆ ในน้ำคืบ น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศและน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

(ก) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเติมอากาศเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 12.5 ม./ช.ม. ถึง 50 ม./ช.ม. เปอร์เซ็นต์การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบจะลดลงเป็นลำดับจาก 8.71 ถึง 4.98 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเติมอากาศมากขึ้น ออกซิเจนในอากาศจะเข้าไปละลายในน้ำคืบได้น้อยลงตามที่ได้อธิบายมาแล้วในข้อที่ (1) เมื่อออกซิเจนเข้าไปละลายในน้ำคืบได้น้อยลง เปอร์เซ็นต์การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบก็จะน้อยลงด้วย ดังสมการของ Hammer<sup>(29)</sup> ต่อไปนี้



(ข) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเติมอากาศ มีค่าน้อยที่สุดที่ 12.5 ม./ช.ม. เปอร์เซ็นต์การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบจะมากที่สุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเติมอากาศเป็น 12.5 ม./ช.ม. ออกซิเจนจะเข้าไปละลายในน้ำคืบได้มากที่สุด ถึง 6.73 มก./ล. (ดูตารางที่ 5.1) เมื่อออกซิเจนเข้าไปละลายในน้ำคืบได้มากที่สุด การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบจึงมากที่สุด

(ค) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวดาดเติมอากาศมีค่าน้อยที่สุดที่ 12.5 ม./ช.ม. เปอร์เซ็นต์การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบมีค่าเพียง 8.71 เท่านั้น แม้ว่าออกซิเจนจะเข้าไปละลายในน้ำคืบมากถึง 6.73 มก./ล. ก็ตาม เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าระยะเวลาที่ออกซิเจนละลาย จะทำปฏิกิริยากับเหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบมีค่าเพียง 21.6 วินาที (โดยประมาณ) และ pH ของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศก็มีค่าเพียง 6.9 เท่านั้น การที่เหล็กเฟอร์รัสในน้ำคืบจะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนละลายได้นั้น Walker<sup>(50)</sup> ได้กำหนดระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไว้ไม่น้อยกว่า 15 นาที บางกรณีอาจนานถึง 1 ช.ม. ส่วน pH ควรจะมีค่าสูงถึง 7.5 - 8.0

ตารางที่ 5.3 ผลการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศมีค่าต่าง ๆ ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม.

การทดลองที่	A.L., ม./ช.ม.	R		A		% ออกซิไดส์	Fo		
		เหล็กทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.	เหล็กทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.		เหล็กทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ล.
1/1	12.5	4.167	3.483	3.893	3.178	8.76	3.963	1.16	2.803
1/2		4.142	3.20	3.833	2.923	8.66	3.988	1.14	2.848
เฉลี่ย		4.154	3.34	3.866	3.05	8.71	3.975	1.15	2.825
2/1	25	4.156	3.419	3.89	3.172	7.22	4.006	1.42	2.586
2/2		4.06	3.3	3.916	3.088	6.42	3.91	1.334	2.566
เฉลี่ย		4.108	3.359	3.903	3.13	6.82	3.958	1.377	2.576
3/1	37.5	4.129	3.57	3.924	3.358	5.94	4.042	1.89	2.152
3/2		4.08	3.352	4.0	3.146	6.14	3.95	1.866	2.084
เฉลี่ย		4.10	3.461	3.962	3.252	6.04	3.996	1.878	2.118
4/1	50	4.167	3.397	4.0	3.243	4.53	4.008	1.995	2.013
4/2		4.08	3.316	4.02	3.136	5.43	3.96	1.918	2.042
เฉลี่ย		4.123	3.356	4.01	3.189	4.98	3.984	1.956	2.027
5/1	∞	4.198	3.37	-	-	-	4.271	3.272	0.999
5/2		4.314	3.313	-	-	-	4.287	3.21	1.077
5/3		4.158	3.320	-	-	-	4.15	3.206	0.944
เฉลี่ย		4.223	3.34	-	-	-	4.236	3.23	1.006

หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ, R = น้ำดิบ, A = น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ และ Fo = น้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง  
2. ค่าของเหล็กของแต่ละการทดลองในตารางนี้ เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

(ง) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมาถึง 12.5 ม./ช.ม. น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือจะมีเหล็กเฟอร์ริกมากกว่า 2 มก./ล. จากเหล็กทั้งหมดประมาณ 4 มก./ล. เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เหล็กเฟอร์รัสในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมา มีเวลาได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำ (จำนวนไม่น้อยกว่า 6 มก./ล.) เป็นเวลานานก่อนที่น้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาจะไหลเข้าตัวกรอง กล่าวคือเหล็กเฟอร์รัสในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมา มีเวลาได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำ ในเครื่องเติมอากาศประมาณ 0.1 - 0.36 นาที, ในถังควบคุมการไหลประมาณ 17 นาที และในท่อส่งน้ำเข้าระบบทรายกรองเร็วประมาณ 0.33 นาที ส่วนในระบบทรายกรองเร็วพบว่าเหล็กเฟอร์รัสในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาจะมีเวลาได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำ ในการกรองแต่ละครั้งอย่างน้อยประมาณ 0 นาที อย่างมากประมาณ 24 นาที หรือเฉลี่ยสำหรับการกรองแต่ละครั้งประมาณ 12 นาที ดังนั้นในการกรองแต่ละครั้งเมื่อรวมเวลาที่เหล็กเฟอร์รัสได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมา ก่อนที่น้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาจะไหลเข้าตัวกรอง จึงมีค่าน้อยประมาณ 17 นาที อย่างมากประมาณ 42 นาที และเฉลี่ยประมาณ 29 นาที

การที่เหล็กเฟอร์รัสในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมา มีเวลาได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เข้าไปละลาย (จำนวนไม่น้อยกว่า 6 มก./ล.) เป็นเวลานานถึง 29 นาที ก่อนที่น้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาจะไหลเข้าตัวกรอง ออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำจึงสามารถออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสเป็นเหล็กเฟอร์ริกได้มาก ดังนั้นน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจึงมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่

อนึ่ง ในขณะทดลองได้พบว่าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองดังกล่าวมีลักษณะขุ่นมัว ทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองดังกล่าวมีเหล็กส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเฟอร์ริก และเหล็กเฟอร์ริกนั้นจะไม่ละลายในน้ำ (29) จึงทำให้น้ำมีลักษณะขุ่นมัว

(จ) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเป็น  $\infty$  ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง หรือการไม่ใช้เครื่องเติมอากาศ น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า



ตารางที่ 5.4 ออกซิเจนละลาย ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง (น้ำที่ผิวหน้าทราย) เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเป็น  $\infty$  ม./ชม. หรือการกรองโดยตรง (ไม่ใช่เครื่องเติมอากาศ) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. จากการทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง

การทดลอง ที่	A.L., ม./ชม.	ออกซิเจนละลายหรือ D.O. มก./ล.			
		น้ำดิบ	น้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง		
			ค่ามาก	ค่าน้อย	ค่าเฉลี่ย
5/1	$\infty$	0	7.2	4.8	5.987
5/2		0	6.6	4.5	5.75
5/3		0	7.2	4.3	5.975
เฉลี่ย		0	7.0	4.53	5.904

หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ

2. D.O. ค่าเฉลี่ยในหนึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ย ตลอดอายุการกรอง

ในการกรองโดยตรงนั้น ชื่อน้ำที่สูบน้ำขึ้นมาจากบ่ออากาศไหลจากปากท่อส่งน้ำเข้าถังกรองซึ่งอยู่บริเวณปากถัง ลงสู่ผิวน้ำเหนือหน้าทรายที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเวลาได้สัมผัสกับอากาศภายในถังกรอง ในการกรองแต่ละครั้งอย่างน้อยประมาณ 0 วินาที อย่างมากประมาณ 2 วินาที หรือเฉลี่ยประมาณ 1 วินาทีเท่านั้น ต่อมาน้ำที่สัมผัสกับอากาศแล้วนี้จะถูกกักไว้เหนือหน้าทรายก่อนไหลผ่านตัวกรอง เป็นเวลาอย่างน้อยประมาณ 0 นาที อย่างมากประมาณ 24 นาที และเฉลี่ยประมาณ 12 นาที ในชื่อน้ำที่สูบน้ำขึ้นมาจากบ่ออากาศได้สัมผัสกับอากาศภายในถังกรอง และถูกกักไว้เหนือหน้าทรายดังกล่าวนี้ ออกซิเจนในอากาศ จึงสามารถแทรกตัวเข้าไปละลายได้ อย่างน้อยประมาณ 4.53 มก./ล. อย่างมากประมาณ 7.0 มก./ล. หรือเฉลี่ยประมาณ 5.904 มก./ล. (ดูตารางที่ 5.4) ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าในการกรองแต่ละครั้งนั้น ออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำ โดยเฉลี่ยประมาณ 5.904 มก./ล. จึงมีเวลาได้ทำปฏิกิริยากับเหล็กเฟอร์รัสในน้ำเหนือหน้าทราย เป็นเวลาเฉลี่ยประมาณ 12 นาทีเท่านั้น ออกซิเจนที่เข้าไปละลายในน้ำเหนือหน้าทรายจำนวนดังกล่าวจึงสามารถออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสเป็นเหล็กเฟอร์ริกได้น้อยมาก ดังนั้นน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจึงมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่

อนึ่ง ในขณะทดลองได้พบว่า น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองดังกล่าวมานี้จะมีลักษณะใสกระจ่าง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองดังกล่าวมีเหล็กส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ เฟอร์รัส ซึ่งเหล็กเฟอร์รัสนั้นส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ จึงไม่ทำให้น้ำมีความขุ่น

#### 5.2.2 การทำงานของถังตกตะกอน

ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเหนืออากาศ ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในถังตกตะกอน เมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.098 ม<sup>3</sup>/ช.ม. หรืออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.384 ม./ช.ม. สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.5 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.5 ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศที่มีต่อการกำจัดเหล็ก  
ในถังตกตะกอน ที่อัตราการไหลของน้ำต้น 0.384 ม./ช.ม. และระยะเวลา  
เก็บกัก 8 ช.ม.

A.L., ม./ช.ม.	เวลาที่ ทดลอง, ช.ม.	pH ของน้ำในถัง ตกตะกอนโดย เฉลี่ย	เหล็กทั้งหมด ที่เข้า, มก./ล.	เหล็กทั้งหมด ที่ออก, มก./ล.	% การกำจัด
12.5	0	7.15	4.20	3.15	25
	4		4.20	3.10	26.19
	8		4.20	3.15	25
	12		4.10	3.15	23.17
	เฉลี่ย		4.175	3.1375	24.84
25	0	7.10	4.20	3.20	23.81
	4		4.10	3.23	23.09
	8		4.10	3.20	21.95
	12		4.30	3.20	25.58
	เฉลี่ย		4.20	3.2075	23.61
37.5	0	7.10	4.10	3.20	21.95
	4		4.10	3.25	20.73
	8		4.20	3.25	22.62
	12		4.20	3.30	21.43
	เฉลี่ย		4.15	3.25	21.68
50	0	7.10	4.30	3.30	23.26
	4		4.10	3.20	21.95
	8		4.20	3.30	21.43
	12		4.10	3.30	19.51
	เฉลี่ย		4.175	3.275	21.54

- หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ  
2. ข้อมูลในตารางนี้ ได้จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศ ตามควยดังตกตะกอน  
ในแบบทดลอง

จากตารางที่ 5.5 เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ เพิ่มขึ้นจาก 12.5 ม./ช.ม. ถึง 50.0 ม./ช.ม. การกำจัดเหล็กโดยถังตกตะกอนจะลดลงจาก 24.84 % ถึง 21.54 % เท่านั้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่า

(1) ถังตกตะกอนไม่สามารถกำจัดเหล็กได้ดี เพราะเหล็กในน้ำในถังตกตะกอนส่วนใหญ่ไม่ตกตะกอนภายหลังการเติมอากาศ การที่เหล็กในน้ำในถังตกตะกอนไม่ตกตะกอนนั้น อาจเนื่องมาจาก

(ก) เหล็กในน้ำในถังตกตะกอนอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่เสถียร ทั้งนี้ทราบได้จากการสังเกตในการทดลองซึ่งได้พบว่าน้ำในถังตกตะกอนมีสีเหลืองและมีความขุ่นมัว ตลอดเวลาของการทดลองทั้ง 12 ช.ม. และไม่ปรากฏว่าเหล็กในน้ำในถังตกตะกอนได้รวมตัวกันเป็นตะกอน (flocs) แต่ประการใด แม้ว่าจะขังน้ำในถังตกตะกอนหลังจากการทดลองนานต่อไปอีกถึง 12 ช.ม. ก็ตาม

(ข) pH ของน้ำในถังตกตะกอนมีค่าประมาณ 7.0 เท่านั้น ทั้งนี้เหล็กจะตกตะกอนได้ดี pH ของน้ำควรจะมากกว่า 8.0 ขึ้นไป (28)

(2) อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ มีผลต่อการกำจัดเหล็กในถังตกตะกอนเพียงเล็กน้อย

### 5.2.3 การทำงานของระบบทรายกรองเร็ว

จากที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 5.2.1(2) ที่ว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา น้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง (น้ำที่ผิวหน้าทราย) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ และเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเป็น 00 ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรงน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง (น้ำที่ผิวหน้าทราย) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น การทำงานของระบบทรายกรองเร็วจึงสามารถพิจารณาได้เป็น 2 ประเด็น คือการกรองเหล็กเฟอร์ริค และการกรองเหล็กเฟอร์รัส

### 5.2.3.1 การกรอง เหล็กเฟอร์ริต

การทำงานของระบบทรายกรองเร็วที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์ริตเป็นส่วนใหญ่สามารถแสดงผลการทดลองและการวิจารณ์ได้ดังนี้

#### (1) การกำจัดเหล็กในตัวกรอง

การกำจัดเหล็กในตัวกรอง ของระบบทรายกรองเร็ว เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์ริตเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.6

จากตารางที่ 5.6 สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จาก 12.5 ม./ช.ม. ถึง 50.0 ม./ช.ม. น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจะมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์ริตมากขึ้นเป็นลำดับ ขณะที่อยู่ในรูปของ เฟอร์ริตน้อยลงเป็นลำดับ เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์ริตน้อยลงนั้น ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กทั้งหมดในตัวกรองได้มีค่าสูงขึ้นด้วยเป็นลำดับ ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศได้ลดลงเป็นลำดับจาก 50.0 ม./ช.ม. ถึง 12.5 ม./ช.ม. น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์ริตเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 2.028 มก./ล. ถึง 2.825 มก./ล. ขณะที่เหล็กอยู่ในรูปเฟอร์ริตลดลงเป็นลำดับ จาก 1.956 มก./ล. ถึง 1.15 มก./ล. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์ริตมากขึ้น หรืออยู่ในรูป เฟอร์ริตน้อยลงดังกล่าวนั้น การกำจัดเหล็กทั้งหมดในตัวกรองได้ลดลงเป็นลำดับจาก 89.78 % ถึง 71.18 % และเหล็กเฟอร์ริตในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรองก็ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จาก 0.283 มก./ล. ถึง 0.936 มก./ล. เหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าทรายกรองไม่สามารถกำจัดเหล็กเฟอร์ริตได้ดี การที่ทรายกรองไม่สามารถกำจัดเหล็กเฟอร์ริตได้ดีดังกล่าว อาจเป็น

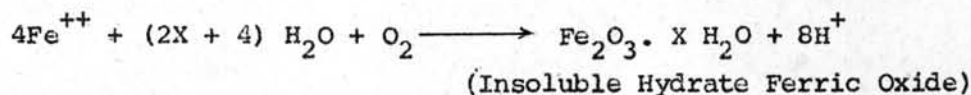
ตารางที่ 5.6 การกำจัดเหล็กในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่

การทดลอง ที่	A.L., ม./ช.ม.	น้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง			น้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง			% การกำจัดเหล็ก ทั้งหมด ในตัวกรอง
		เหล็ก ทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ล.	เหล็ก ทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ล.	
1/1	12.5	3.963	1.16	2.803	1.188	0.287	0.902	70.02
1/2		3.988	1.14	2.848	1.103	0.132	0.971	72.34
เฉลี่ย		3.975	1.15	2.825	1.145	0.209	0.976	71.18
2/1	25	4.006	1.42	2.586	0.869	0.26	0.609	78.30
2/2		3.91	1.334	2.576	0.838	0.148	0.69	78.56
เฉลี่ย		3.958	1.377	2.581	0.853	0.204	0.649	78.43
3/1	37.5	4.042	1.89	2.152	0.753	0.173	0.58	81.37
3/2		3.95	1.866	2.084	0.568	0.085	0.483	85.62
เฉลี่ย		3.966	1.878	2.118	0.66	0.129	0.531	83.49
4/1	50	4.008	1.995	2.013	0.437	0.175	0.262	89.10
4/2		3.96	1.918	2.042	0.378	0.074	0.304	90.45
เฉลี่ย		3.984	1.956	2.028	0.407	0.124	0.283	89.78

หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ

2. ค่าของเหล็กของแต่ละการทดลองในตารางนี้ เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

เพราะว่า เหล็กเฟอร์ริกที่ผ่านเข้าสู่ทรายกรองส่วนใหญ่เป็นเหล็กเฟอร์ริกออกไซด์ซึ่งอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่เสถียร คอลลอยด์ของเหล็กเฟอร์ริกนี้เกิดจากเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ ถูกออกซิเจนที่ละลายในน้ำออกซิไดส์ ภายหลังการเติมอากาศ ดังสมการออกซิเดชันต่อไปนี้

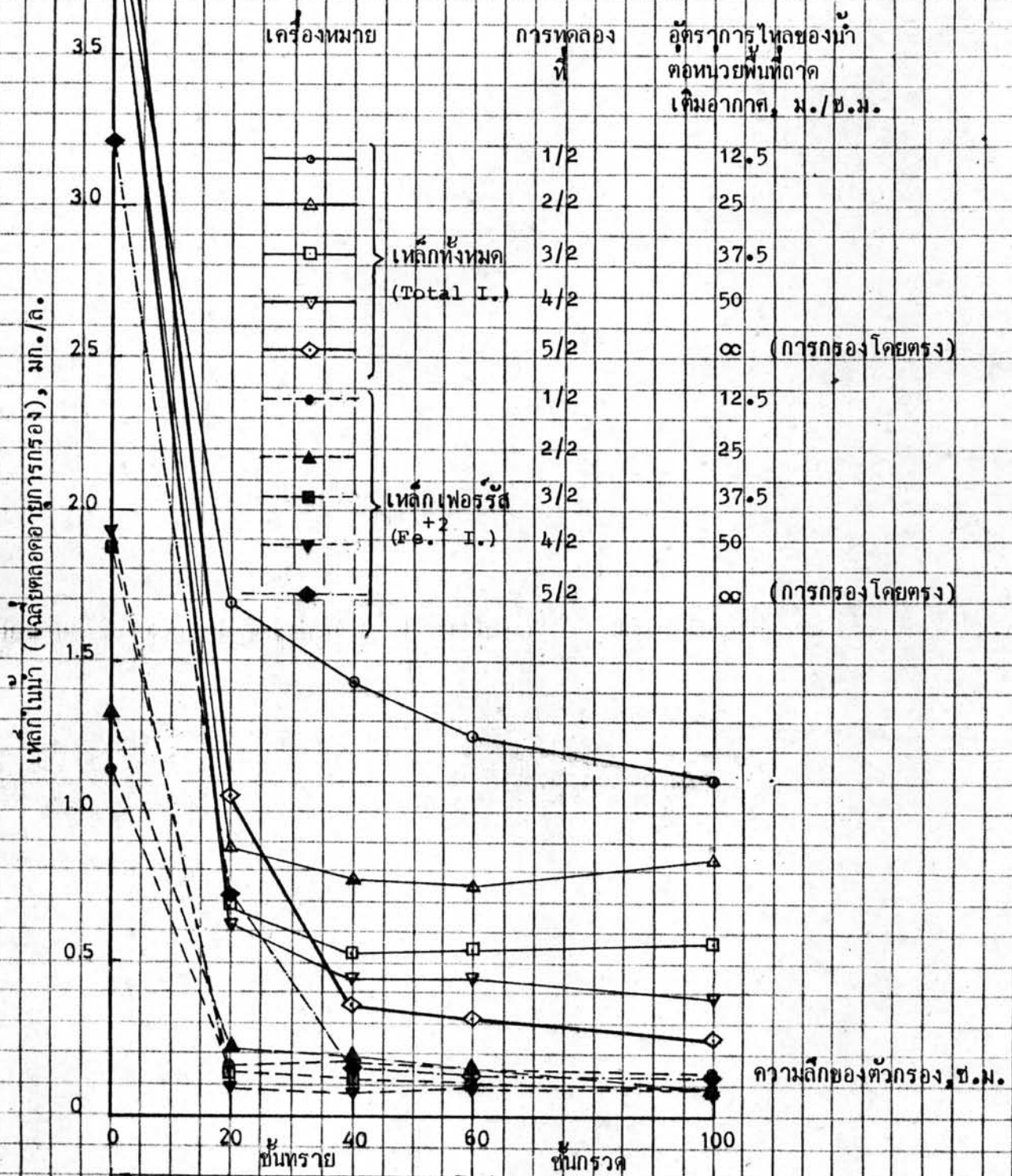


เหล็กเฟอร์ริกออกไซด์หรือ  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot X \text{H}_2\text{O}$  สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูป คือ รูปที่เป็นคอลลอยด์ที่เสถียร (Sol) และรูปที่เป็นตะกอน (Flocs)<sup>(25)</sup> [เหล็กในรูปคอลลอยด์ อนุภาคสามารถแขวนลอยอยู่ได้ และไม่รวมตัวกันเป็นตะกอน เนื่องจากมันมีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันเมื่อแต่ละอนุภาคดังกล่าวมาพบกันก็จะผลักจากกันหรือเนื่องจาก pH ของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศแลวมีค่าไม่ถึง 8.0 (ดูตารางที่ 5.2) ] จากการสังเกตในขณะทดลองพบว่า น้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง ไม่ปรากฏอนุภาคของเหล็กที่รวมตัวกันเป็นตะกอน (Flocs) แต่อย่างใด ดังนั้น น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจึงมีเหล็กเฟอร์ริกออกไซด์ในรูปของคอลลอยด์เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากกรกรองเร็วไม่สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ได้<sup>(18)</sup> ดังนั้น เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกที่เป็นคอลลอยด์มากขึ้น การกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วจึงมีประสิทธิภาพลดลง

#### (2) ความลึกประสิทธิผล (Effective Depth) ของตัวกรอง

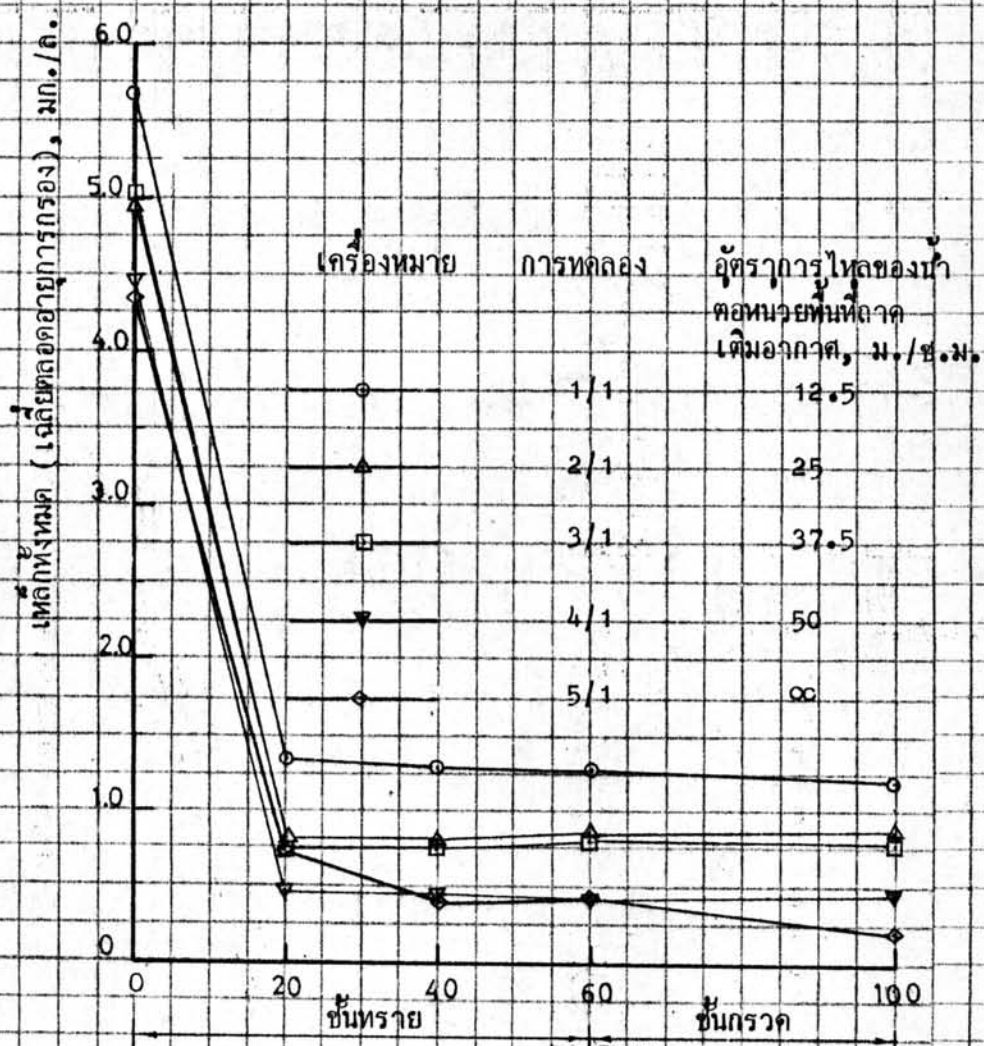
ความลึกประสิทธิผลของตัวกรองที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่ สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.1 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

(ก) การทดลองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมาถึง 12.5 ม./ช.ม. ซึ่งน้ำที่ไหลเข้าตัวมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่ เหล็กเฟอร์รัสที่ผ่านลงสู่ตัวกรองได้ถูกกำจัดไปเกือบหมด ในระยะความลึกของตัวกรองไม่เกิน 20 ช.ม. เมื่อวัตรระยะนี้จากผิวหน้าทราย แต่ในระยะ 20 ช.ม. นี้ เหล็กเฟอร์ริกจะถูกตัวกรองกำจัดได้ไม่มากเมื่อเทียบกับเหล็กเฟอร์รัส และที่ระดับความลึกของตัวกรองเกินกว่า 20 ช.ม. ปรากฏว่าเหล็กเฟอร์ริกถูกกำจัดได้น้อยมาก



รูปที่ 5.1 เหล็กในน้ำ (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรองของการทดลองที่มีอัตราภาวไรลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของภาคเติมอากาศต่าง ๆ แต่มีอัตราภาวไรลเดียวกันที่ 5 ม./ช.ม.





รูปที่ 5.2 เหล็กทั้งหมด (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรองของการทดลองที่มีอัตราการใช้ของน้ำคือนหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศต่าง ๆ และมีอัตราการกรองที่ 5 ม./ช.ม.

เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าทรายกรองสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดีกว่าเหล็กเฟอร์ริค และทรายกรองไม่สามารถกำจัดเหล็กเฟอร์ริคได้ดี ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ (1)

(ข) การทดลองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมาถึง 12.5 ม./ช.ม. เหล็กทั้งหมดที่ผ่านลงสู่ตัวกรองจะถูกกำจัดได้มากในระยะ ความลึกของตัวกรองไม่เกิน 20 ช.ม. เมื่อวัฏระยะนี้จากผิวหน้าทราย (ดูรูปที่ 5.2 ประกอบ)

เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในระยะความลึกของตัวกรองไม่เกิน 20 ช.ม. ดังกล่าว เหล็กเฟอร์รัสที่ถูกทรายกรองกำจัดไปเกือบหมด ส่วนเหล็กเฟอร์ริคได้ถูกกำจัดไปค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับช่วงระดับความลึกอื่น ๆ ของตัวกรอง ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าความลึกประสิทธิภาพ ของตัวกรองที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่จึงมีค่าไม่เกิน 20 ช.ม. เมื่อวัฏระยะนี้จากผิวหน้าทราย

อนึ่ง จากการทดลองทุกครั้งพบว่าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริค เป็นส่วนใหญ่ ตะกอนและสีของเหล็กจะสามารถเคลือบลงไปในชั้นทราย เมื่อครบอายุการกรอง ประมาณ 4 ช.ม. เท่านั้น

ดังนั้นความลึกประสิทธิภาพของทรายกรองที่เกิดขึ้นจากการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูป เฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ จึงมีค่าประมาณ 4 ช.ม. เท่านั้น การที่ความลึกประสิทธิภาพมีค่าน้อยนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ เมื่อน้ำที่ ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ เหล็กเฟอร์ริคบางส่วนที่ถูกกรองไว้ได้ จะสามารถแทรกตัวลงไปในชั้นทรายได้ไม่มาก เพราะเหล็กเฟอร์ริคส่วนนั้นเป็นตะกอน (Flocs) ซึ่งไปจับที่ผิวหน้าทราย

### (3) ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว

ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว จากการดำเนินงานของระบบทรายกรองเร็วเมื่อน้ำที่ไหล เข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.7

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ลดลงเป็นลำดับจาก 50 ม./ช.ม. ถึง 12.5 ม./ช.ม. ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วจะเพิ่มขึ้น เป็นลำดับจาก 13.60 NTU. ถึง 47.33 NTU. เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตรา

ตารางที่ 5.7 เหล็กเฟอร์ริกและความขุ่นในน้ำที่กรองแล้ว จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่

การทดลองที่	A.L., ม./ช.ม.	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> ที่ออก, มก./ล.	เหล็กทั้งหมด ที่ออก, มก./ล.	ความขุ่นของน้ำ ที่กรองแล้ว, NTU.
1/1	12.5	0.902	1.188	53
1/2		0.971	1.103	41.67
เฉลี่ย		0.936	1.145	47.33
2/1	25	0.609	0.869	43.25
2/2		0.690	0.838	24
เฉลี่ย		0.649	0.853	33.63
3/1	37.5	0.580	0.753	18.57
3/2		0.483	0.568	15.4
เฉลี่ย		0.531	0.66	16.98
4/1	50	0.262	0.437	17.60
4/2		0.304	0.378	9.60
เฉลี่ย		0.283	0.407	13.60

- หมายเหตุ
1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ
  2. เหล็ก Fe<sup>+3</sup> ที่ออกหมายถึงเหล็กเฟอร์ริกที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง และเหล็กทั้งหมดที่ออก หมายถึงเหล็กทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง
  3. เหล็กและความขุ่นของแต่ละการทดลองในตารางนี้ เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

การไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศลดลงดังกล่าว น้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง (น้ำที่กรองแล้ว) จะมีเหล็กเฟอร์ริกเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 0.283 มก./ล. ถึง 0.936 มก./ล.

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในข้อ (2) ขณะที่เหล็กทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 0.407 มก./ล. ถึง 1.145 มก./ล. เมื่อน้ำที่กรองแล้วมีเหล็กเฟอร์ริกเพิ่มขึ้นจึงมีความขุ่นมากขึ้นด้วย เพราะเหล็กเฟอร์ริกเป็นเหล็กที่ทำให้ขุ่นน้ำมีความขุ่น การที่เหล็กเฟอร์ริกทำให้ขุ่นน้ำมีความขุ่นก็เพราะว่าเหล็กเฟอร์ริกเป็นเหล็กที่ไม่ละลายน้ำ (29)

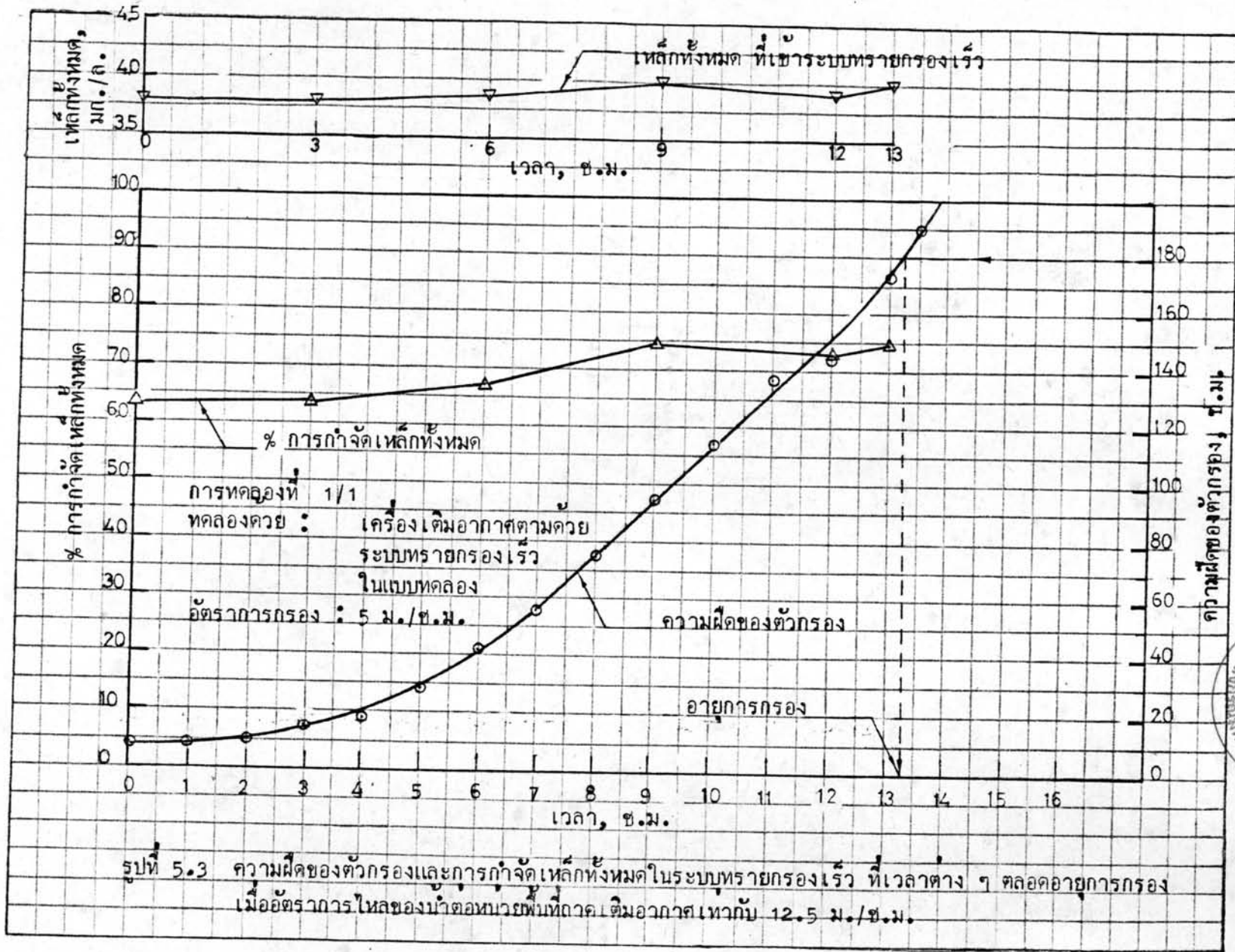
#### (4) ความฝืดของตัวกรอง

เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่ ความฝืดของตัวกรองแสดงไว้ในรูปที่ 5.3 ถึง 5.10

จากรูปที่ 5.3 ถึง 5.10 จะเห็นได้ว่าความฝืดของตัวกรองซึ่งแสดงด้วยเส้นโค้งแสดงความฝืด (Head Loss Curve) ของแต่ละการทดลองหรือของแต่ละอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันคล้ายกับรูปพลาโบลา เส้นโค้งแสดงความฝืดดังกล่าว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังต่อไปนี้

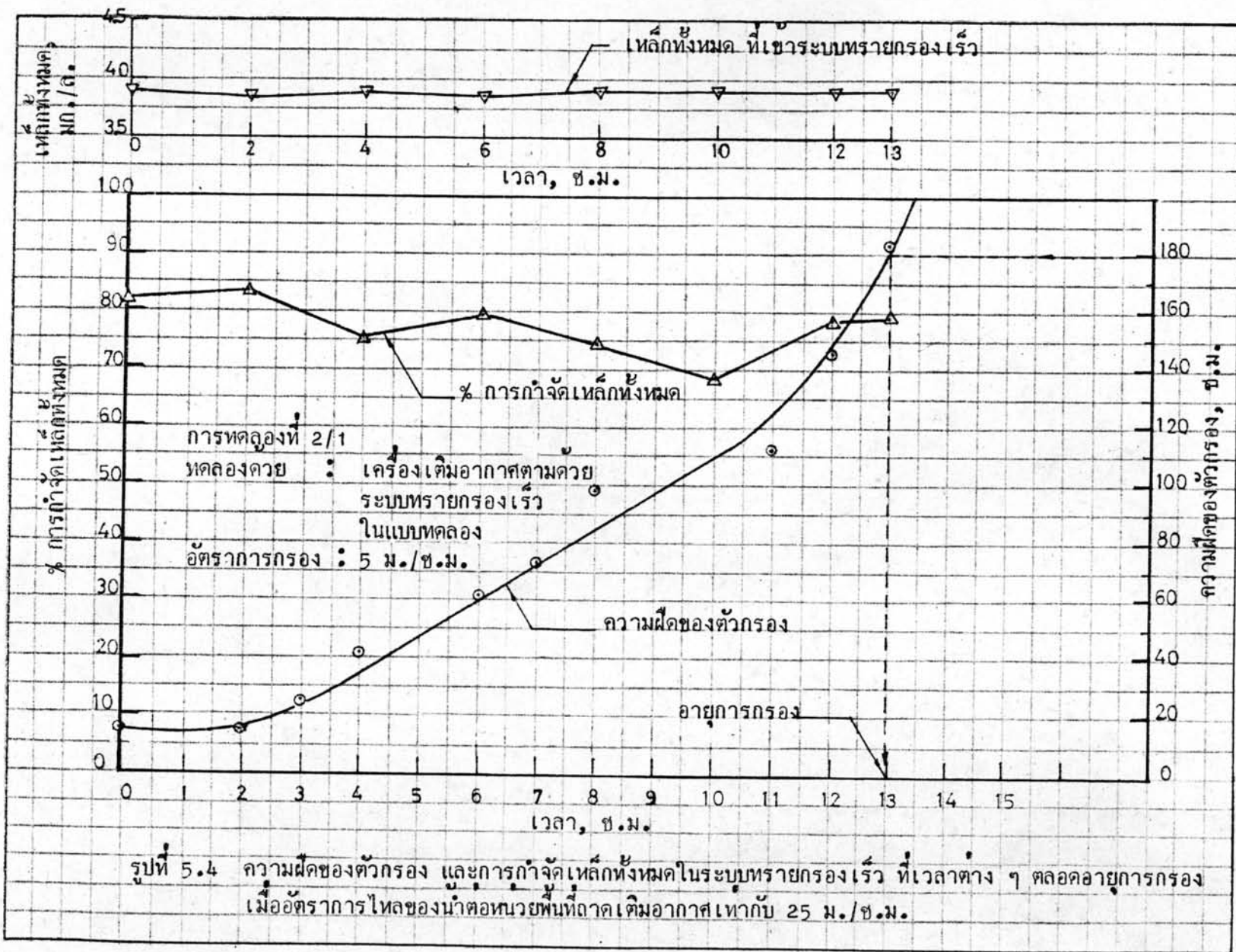
ช่วงที่ 1 เป็นช่วงแรกของการทดลองซึ่งเส้นโค้งจะมีความชันน้อยมากหรือเกือบเป็นศูนย์ ช่วงนี้ความฝืดของตัวกรองและระดับน้ำในถังกรองจะมีค่าต่ำสุด และมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในขณะกรองน้อยที่สุด สำหรับระยะเวลาในการกรองช่วงนี้ประมาณ 2 - 3 ช.ม.

อนึ่ง ในช่วงที่ 1 ใ้พบว่าไม่ปรากฏให้เห็นตะกอนเหล็กและสีของเหล็กในชั้นทรายตอนบน

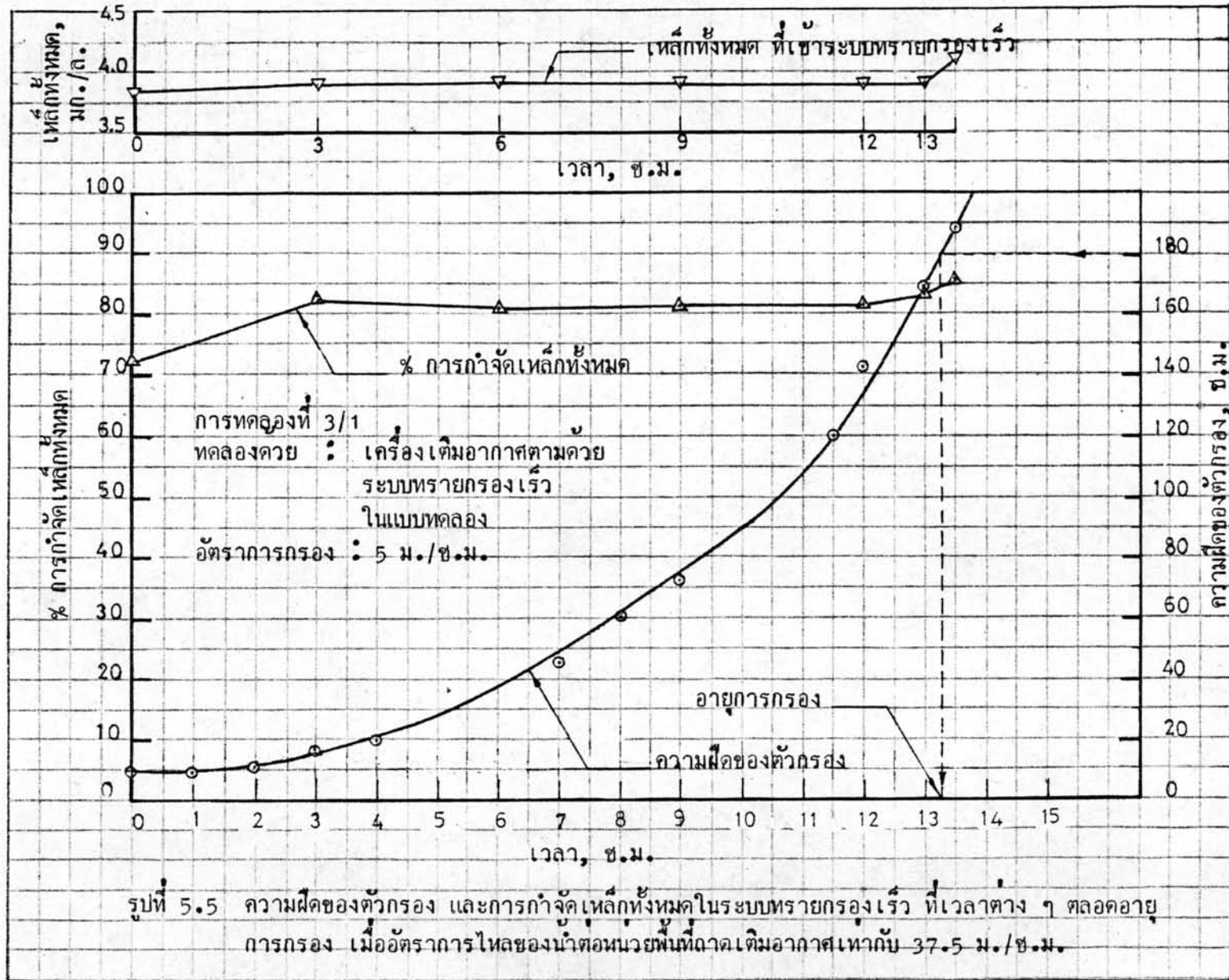


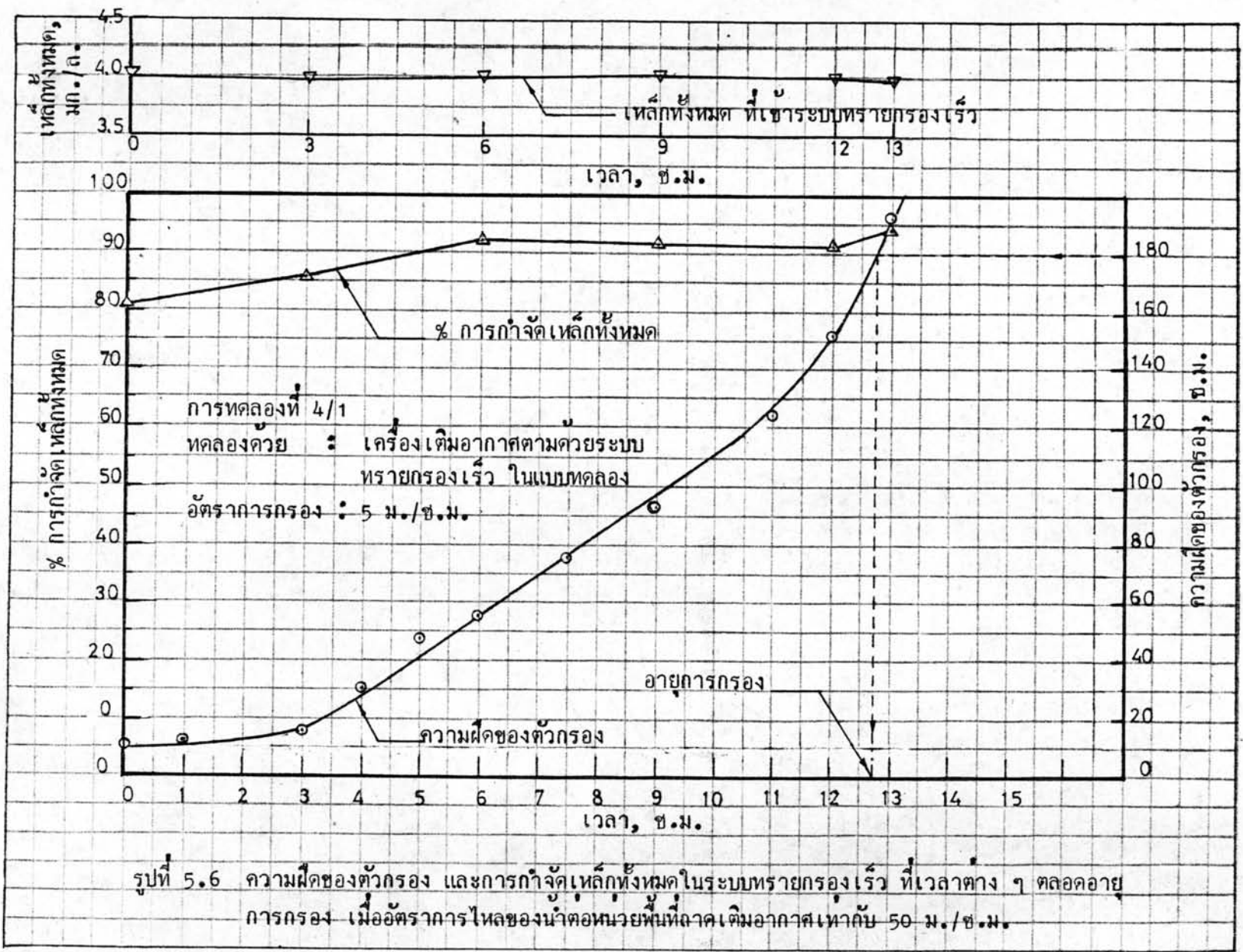
รูปที่ 5.3 ความผิดของตัวกรองและการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวเติมอากาศเท่ากับ 12.5 ม./ช.ม.





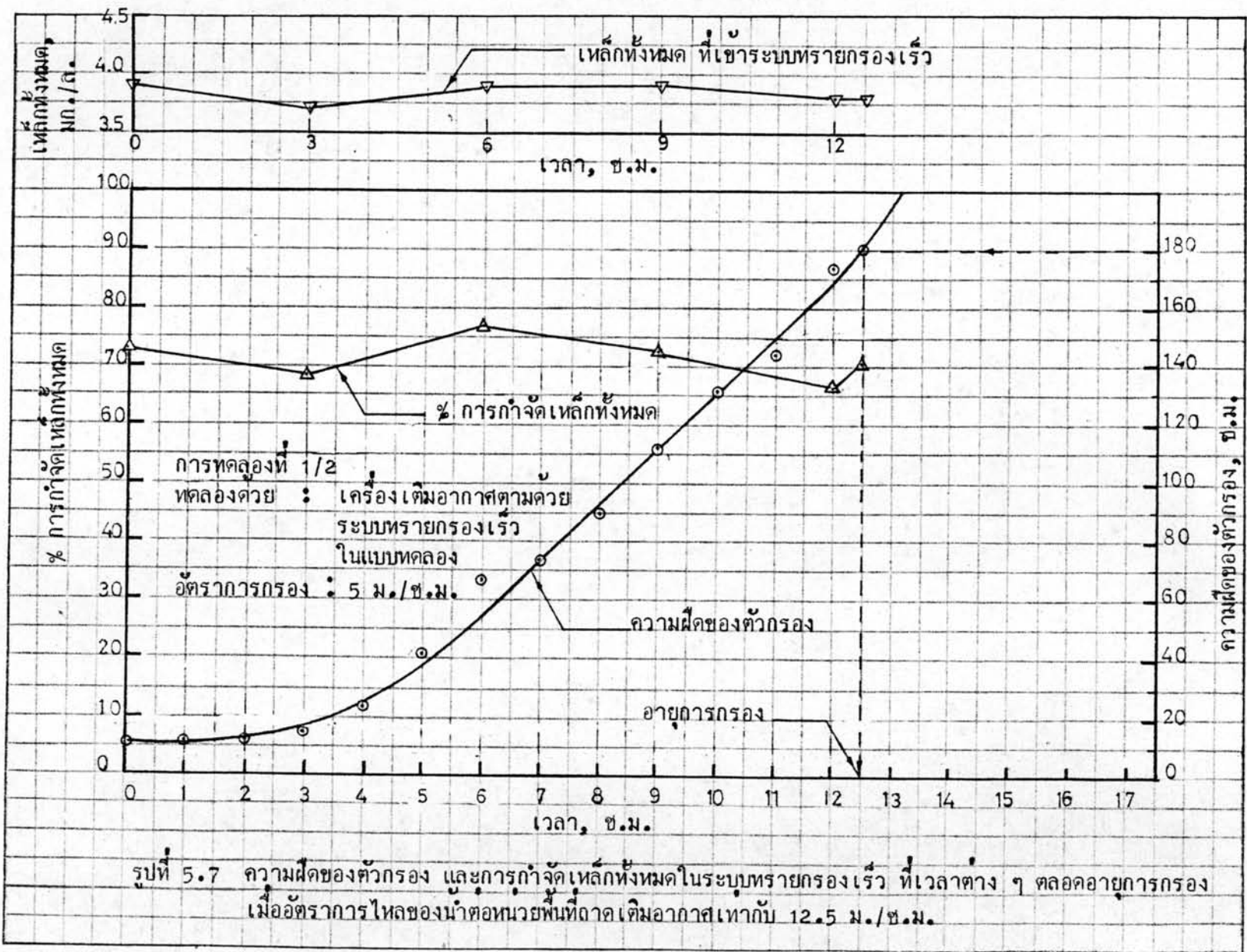
รูปที่ 5.4 ความผิดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำคือนวายนที่ภาคเติมอากาศเท่ากับ 25 ม./ชม.



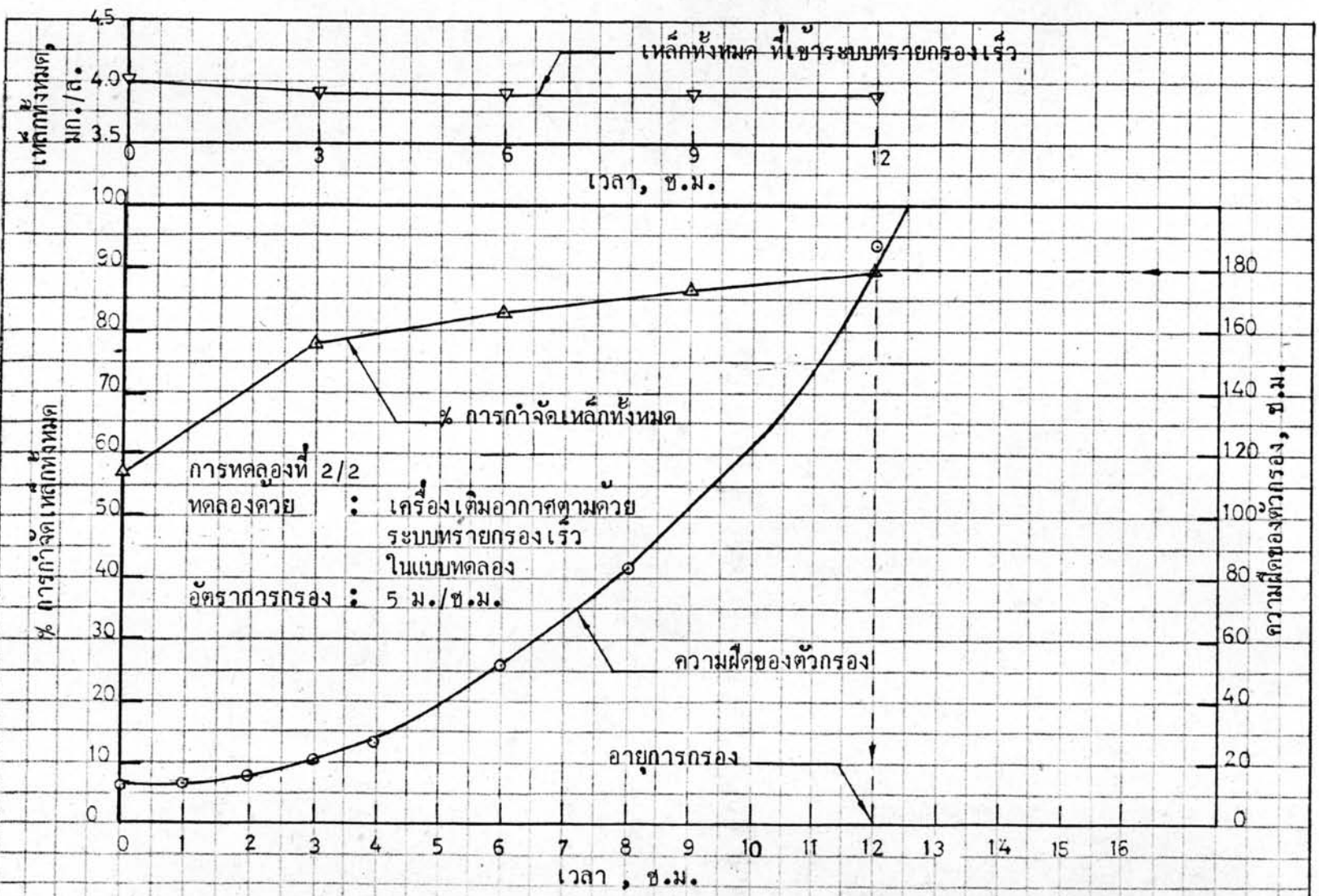


รูปที่ 5.6 ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุ  
 การกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำตอนท้ายพื้นที่ลาดเติมอากาศเท่ากับ 50 ม./ช.ม.

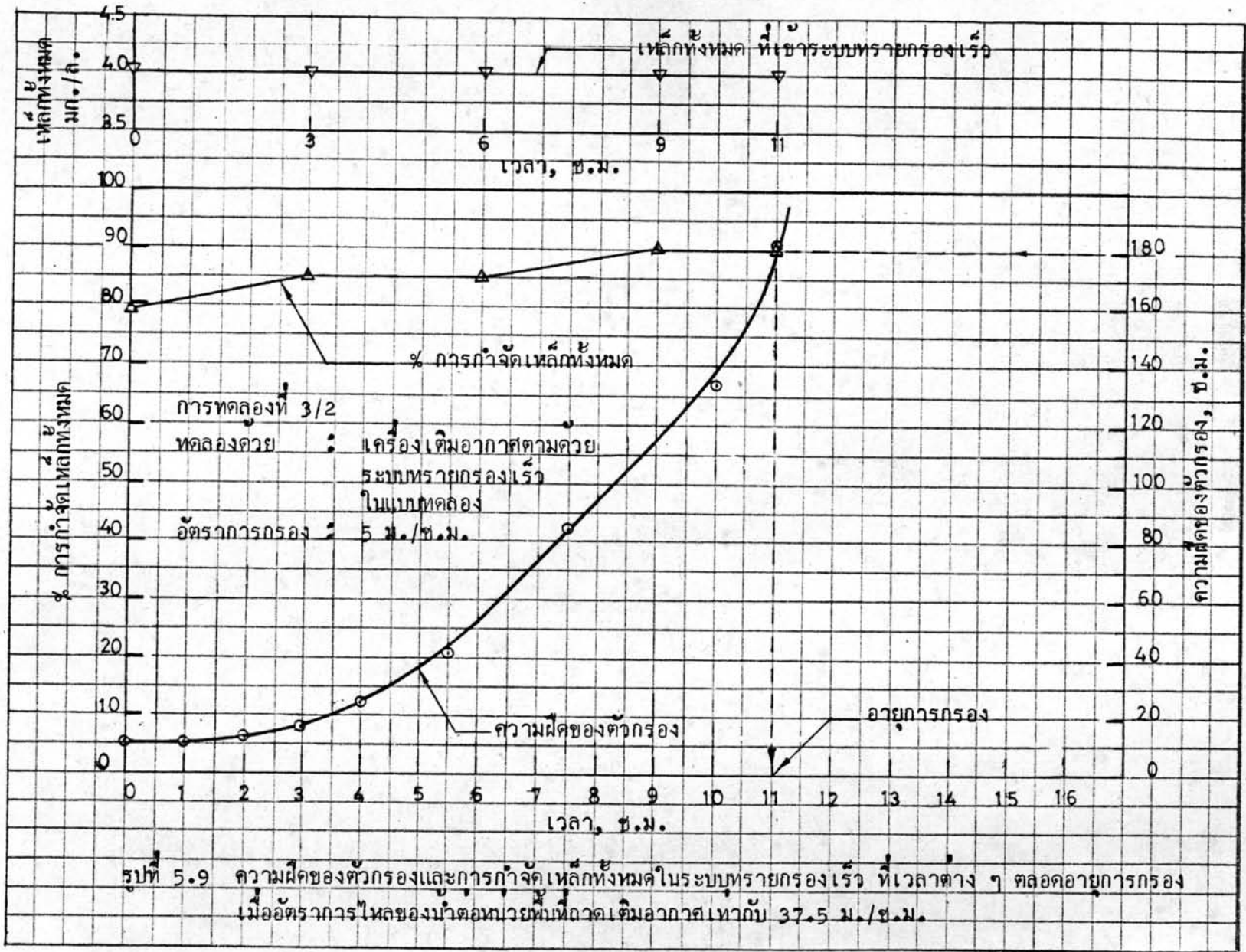




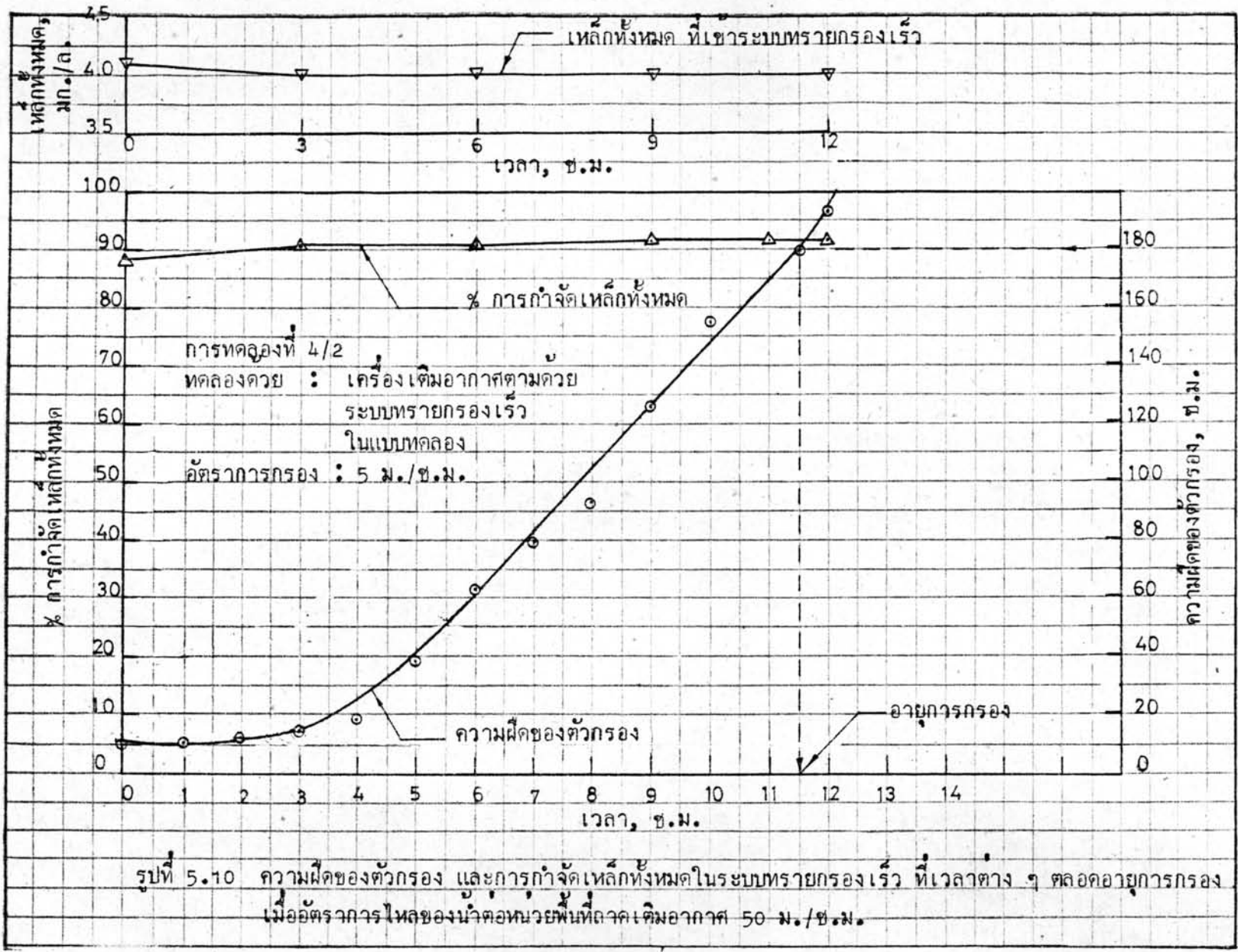
รูปที่ 5.7 ความฝืดของตัวกรอง และการกักจัดเชื้อเพลิงทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเท่ากับ 12.5 ม./ช.ม.



รูปที่ 5.8 ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ เท่ากับ 25 ม./ช.ม.



รูปที่ 5.9 ความลึกของตักกรองและการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเท่ากับ 37.5 ม./ช.ม.



ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่เส้นโค้งแสดงความฝืดมีความชันเพิ่มขึ้นจากช่วงแรกหลายเท่า และเป็นการเพิ่มอย่างคงที่เมื่อเทียบเวลาในการกรองที่มากขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่ความฝืดของตัวกรองและระดับน้ำเหนือหน้าทรายได้เพิ่มระดับขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เป็นช่วงที่ตะกอนของเหล็กได้ปรากฏให้เห็นที่บริเวณหน้าทรายและจะปรากฏเพิ่มมากขึ้นทุกขณะเวลาในการกรองที่ผ่านไป และเป็นช่วงที่มีระยะเวลาในการกรองประมาณ 8 - 11 ชม.

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่เส้นโค้งแสดงความฝืดมีความชันเพิ่มขึ้นจากช่วงที่ 2 และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทุกขณะเวลาในการกรอง เนื่องจากเป็นช่วงที่ความฝืดของตัวกรองและระดับน้ำเหนือหน้าทรายได้เพิ่มระดับอย่างรวดเร็ว, เป็นช่วงที่มีตะกอนของเหล็กได้เคลื่อนและทับถมอยู่บริเวณทรายตอนบนรวมทั้งหน้าทรายอย่างหนาแน่น และเป็นช่วงที่มีระยะเวลาในการกรองประมาณ 1 - 2 ชม.

อนึ่ง เมื่อได้มีการวัดความฝืดที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรองตลอดอายุการกรอง คือ 0, 20, 40, 60 และ 100 ชม. ได้พบว่าความฝืดจะเกิดมากที่สุดในช่วงความลึก 0 - 20 ชม. รองลงไปคือในช่วง 20 - 40 ชม. รองลงไปอีกคือช่วง 40 - 60 ชม. ส่วนในช่วงความลึก 60 - 100 ชม. ซึ่งตัวกรองเป็นชั้นกรวด ความฝืดของตัวกรองจะเกิดน้อยที่สุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่าตัวกรองส่วนบนมีขนาดเล็กกว่าตัวกรองส่วนล่างจึงสามารถกรองตะกอนเหล็กไว้ได้มากกว่าตัวกรองส่วนล่าง และตัวกรองส่วนบนได้ทำหน้าที่กำจัดเหล็กก่อนตัวกรองส่วนล่าง

#### (5) อายุการกรอง

อายุการกรองของระบบทรายกรองเร็ว (ระยะเวลาในการกรองอย่างต่อเนื่องในแต่ละการทดลอง) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.8

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศมีค่าตั้งแต่ 50 ม./ชม. ลงมาถึง 12.5 ม./ชม. น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจะมีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ เมื่อน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ไหลเข้าตัวกรองตลอดอายุการกรอง อายุการกรองในแต่ละการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงประมาณ

ตารางที่ 5.8 อายุการกรองของระบบทรายกรองเร็ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย ภายหลังจากการกรองด้วยระบบทรายกรองเร็ว ในแบบทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่

การทดลองที่	A.L., ม./ชม.	เหล็กทั้งหมด ที่เข้า, มก./ล.	เหล็ก $Fe^{+3}$ ที่เข้า, มก./ล.	อายุการกรอง ชม.	% น้ำที่ สูญเสียใน การล้างทราย
1/1	12.5	3.963	2.803	13.25	21.36
1/2		3.988	2.848	12.50	18.87
เฉลี่ย		3.975	2.825	12.875	20.11
2/1	25	4.006	2.586	13	18.14
2/2		3.91	2.576	12	19.65
เฉลี่ย		3.958	2.581	12.50	18.9
3/1	37.5	4.042	2.152	13.25	29.67
3/2		3.95	2.084	11	28.59
เฉลี่ย		3.966	2.118	12.125	29.13
4/1	50	4.008	2.013	12.75	27.13
4/2		3.96	2.042	11.50	27.35
เฉลี่ย		3.984	2.028	12.125	27.24

- หมายเหตุ
1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ
  2. เหล็กทั้งหมดและเหล็กเฟอร์ริคที่เข้า หมายถึงเหล็กทั้งหมดและเหล็กเฟอร์ริคที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง (น้ำที่ผิวหน้าทราย)
  3. เหล็กและอายุการกรองของแต่ละการทดลอง เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

(6) เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย

ในการทดลองแต่ละครั้ง เมื่อระบบทรายกรองเร็วทำงานครบอายุการกรองก็จะมี การล้างทราย โดยการล้างแบบไหลกลับ (Back Wash) น้ำที่ใช้ล้างก็คือน้ำที่กรองแล้วบางส่วน ดังนั้นเมื่อเทียบปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายเข้ากับปริมาณน้ำที่กรองได้ตลอดอายุการกรองเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย จะได้สูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายที่เหมาะสม} \times 100}{\text{ปริมาณที่กรองได้ตลอดอายุการกรอง}}$$

ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายที่เหมาะสมนี้หมายถึงปริมาณน้ำที่ไหลออกมาจากตัวกรองขณะล้างทราย ตั้งแต่เวลาที่เริ่มล้างทรายซึ่งน้ำล้างที่ไหลออกจากตัวกรองมีความขุ่นมากที่สุด จนกระทั่งถึงเวลาที่น้ำที่ไหลออกจากตัวกรองมีความขุ่นลดลงจนเกือบคงที่ และมีค่าต่ำกว่าความขุ่นตามมาตรฐานที่ 5 NTU.

เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.8

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายจะมีค่าประมาณ

20 - 27

5.2.3.2 การกรองเหล็กเฟอร์รัส

การทำงานของระบบทรายกรองเร็วที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ สามารถแสดงผลการทดลองและการวิจารณ์ได้ดังนี้

(1) การกำจัดเหล็กในตัวกรอง

การกำจัดเหล็กในตัวกรอง ของระบบทรายกรองเร็วที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 การกำจัดเหล็ก ในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่

การทดลองที่	A.L., ม./ช.ม.	น้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง			น้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง			% การออกซิไดส์เหล็ก Fe <sup>+2</sup> ในตัวกรอง	% การกำจัดเหล็กทั้งหมดในตัวกรอง
		เหล็กทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ล.	เหล็กทั้งหมด, มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ล.	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ล.		
5/1	∞	4.271	3.272	0.999	0.221	0.1786	0.0324	94.54	94.82
5/2		4.287	3.21	1.077	0.251	0.121	0.13	96.23	94.14
5/3		4.15	3.206	0.994	0.258	0.13	0.108	92.58	95.94
เฉลี่ย		4.236	3.229	1.006	0.243	0.143	0.10	94.48	94.96

- หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ  
2. ค่าของเหล็กของแต่ละการทดลองในตารางนี้ เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

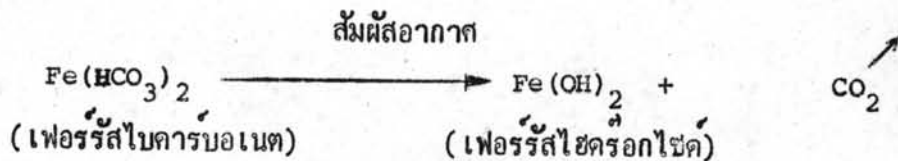
จากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือมีเหล็กเฟอร์รัสประมาณ 3.229 มก./ล. จากเหล็กทั้งหมดประมาณ 4.236 มก./ล. เหล็กเฟอร์รัสจะถูกออกซิไดส์ในตัวกรองได้ถึง 94.48 % ขณะที่เหล็กทั้งหมดถูกกำจัดในตัวกรองได้ถึง 94.96 % แสดงว่าทรายกรองสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดี การที่ทรายกรองสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดีนี้อาจเป็นเพราะว่า



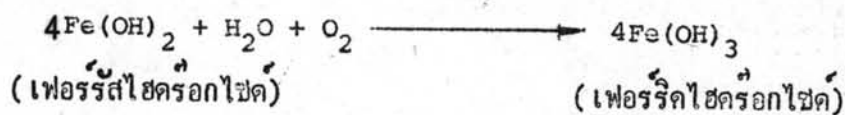
(ก) ทรายกรองทำหน้าที่กำจัดเหล็กเฟอร์รัสโดยรวมออกซิเดชันและการกรองเข้าด้วยกัน โดยมี  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการกรองโดยตรงนั้นขณะที่น้ำที่สูบขึ้นมาจากบ่อบาดาลไหลจากปากท่อส่งน้ำเข้าถังกรอง ลงสู่ผิวน้ำเหนือหน้าทรายที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. จะมีโอกาสได้สัมผัสกับอากาศภายในถังกรองได้ชั่วขณะหนึ่ง ต่อมาน้ำที่สัมผัสกับอากาศแล้วนั้นจะถูกกักไว้เหนือหน้าทรายก่อนไหลเข้าตัวกรอง เป็นเวลาที่เฉลี่ยในการกรองแต่ละครั้งประมาณ 12 นาที ออกซิเจนในอากาศจึงสามารถเข้าไปละลายในน้ำโดยเฉลี่ยในการกรองแต่ละครั้งประมาณ 5.904 มก./ลิ. (ย้อนกลับไปดูตารางที่ 5.4)

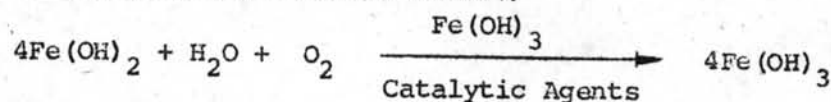
ขณะที่น้ำที่สูบขึ้นมาจากบ่อบาดาลเริ่มได้สัมผัสกับอากาศ เหล็กเฟอร์รัสในน้ำบางส่วนจะมีการเปลี่ยนแปลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่มี จะถูกกำจัดออกไปดังสมการของ Walker<sup>(50)</sup> ก็คือ



จากปฏิกิริยานี้แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจะมีเหล็กเฟอร์รัสอยู่ในรูปของ  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  เมื่อผ่านลงสู่ชั้นทราย จะถูกออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ออกซิเดสเปลี่ยนแปลงเป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ดังสมการ



$\text{Fe}(\text{OH})_3$  ที่เกิดขึ้นตอนแรกนี้บางส่วนจะตกตะกอนได้ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายบางส่วนจะไปเคลือบรอบ ๆ เม็ดทราย และจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalytic Agents)<sup>(22)</sup> ในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่ผ่านเข้าชั้นทรายในเวลาต่อมา โดยมีออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ เป็นตัวออกซิเดสอีกครั้งหนึ่ง ดังสมการ



ภายหลังปฏิกิริยานี้  $Fe(OH)_3$  ที่เกิดขึ้นจะถูกกรองด้วยทรายกรองเร็ว อย่างต่อเนื่องและ  
ฉับพลัน ทำให้  $Fe(OH)_3$  บางส่วนจะไปเคลือบรอบเม็ดทราย และบางส่วนจะไปตกตะกอน  
ในช่องว่างระหว่างเม็ดทราย เพิ่มขึ้นจากตอนแรก  $Fe(OH)_3$  ที่มีอยู่ทั้งหมดภายหลังปฏิกิริยา  
นี้ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่จะผ่านเข้าชั้นทรายในเวลาต่อมาอีก  
เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป จนกระทั่งมี  $Fe(OH)_3$  มากพอที่จะอุดตัน ช่องว่างระหว่างเม็ดทราย  
ซึ่งหมายถึงครบอายุการกรองแล้วนั่นเอง

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในข้อนี้สรุปได้ว่าทรายกรองมิได้ทำหน้าที่ในการกรองเพียงอย่างเดียว  
แต่ยังทำหน้าที่ออกซิเดชันรวมไปด้วย ตรงกับเหตุผลของ Hale<sup>(30)</sup>

(ข)  $Fe(OH)_3$  ที่มีอยู่ในชั้นทราย ทำหน้าที่ควบจับเหล็กเฟอร์รัส ซึ่งมีอยู่ในน้ำที่  
ไหลเข้าชั้นทรายได้ดี

$Fe(OH)_3$  หรือตะกอนเหล็ก ที่เคลือบอยู่รอบเม็ดทราย และส่วนที่อยู่ในช่องว่างระ-  
หว่างเม็ดทราย นอกจากทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวมาแล้วในข้อ ก. ยังทำหน้าที่  
ควบจับเหล็ก  $Fe^{+2}$  ในน้ำที่ไหลผ่านเข้าชั้นทรายได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย<sup>(21)</sup>

ในข้อ (ก) และข้อ (ข) จะเห็นได้ว่าทรายกรองอาจทำหน้าที่กำจัดเหล็กเฟอร์รัสโดย  
การควบจับ และการตกตะกอนตามทฤษฎีการกรอง<sup>(10)</sup>

## (2) ความลึกประสิทธิผลของตัวกรอง

ความลึกประสิทธิผลของตัวกรองที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปของ  
เฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าการทดลองซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติม  
อากาศ เป็น  $\infty$  ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรงที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เหล็กทั้งหมด  
และเหล็กเฟอร์รัสจะลดลงมากที่สุดในช่วงความลึกของตัวกรอง 0 - 20 ซม. รองลงไปคือช่วง  
20 - 40 ซม. รองลงไปอีกคือช่วง 40 - 100 ซม.

อนึ่ง จากการทดลองรวม 3 ครั้งพบว่า ถ้าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ  
เฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนและสีของเหล็ก จะสามารถจะเคลือบลงไปบนชั้นทรายเมื่อสิ้นสุด  
อายุการกรองได้ลึกประมาณ 20 ซม.

จากที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าความลึกประสิทธิผลของตัวกรอง ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์รัส เป็นส่วนใหญ่ ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. จึงมีค่าประมาณ 20 ชม. เมื่อวัดระยะนี้จากผิวหน้าทราย การที่ความลึกประสิทธิผลนี้มีค่ามากเมื่อเทียบกับความลึกประสิทธิผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์ริกเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีค่าเพียง 4 ชม. [ ดูหัวข้อที่ 5.2.3.1(2) ] เป็นเพราะว่าการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัส เป็นส่วนใหญ่ ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. เหล็กเฟอร์รัสมีคุณสมบัติในการแทรกตัวเข้าชั้นทราย ได้ลึกกว่าเหล็กเฟอร์ริก (ส่วนที่ถูกกรองไว้ได้) อย่างไรก็ตามเนื่องจากทรายกรองสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดี เหล็กเฟอร์รัสที่ผ่านเข้าชั้นทรายส่วนใหญ่จึงไม่สามารถแทรกตัวผ่านชั้นทรายได้ตลอด

### (3) ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว

ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็ว เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.10

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าถ้าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. มีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ น้ำที่กรองแล้วจะมีความขุ่นประมาณ 0.635 NTU. เท่านั้น ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับความขุ่นตามมาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งกำหนดไว้ที่ 5 NTU. (15) การที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของ เฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ ทรายกรองสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดี ดังกล่าวมาแล้วในข้อ (1) ดังนั้นน้ำที่กรองแล้วจึงมีเหล็กทั้งหมด

ตารางที่ 5.10 ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในแบบ  
ทดลอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ใน  
รูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่

การทดลอง ที่	A.L., ม./ช.ม.	เหล็ก $Fe^{+3}$ ที่ ออก, มก./ล.	เหล็กทั้งหมดที่ ออก, มก./ล.	ความขุ่นของน้ำที่ กรองแล้ว, NTU.
5/1	∞	0.0324	0.221	0.64
5/2		0.13	0.251	0.69
5/3		0.108	0.258	0.575
เฉลี่ย		0.10	0.243	0.635

- หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ
2. เหล็ก  $Fe^{+3}$  ที่ออกหมายถึงเหล็กเฟอร์ริกที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรองและ  
เหล็กทั้งหมดที่ออกหมายถึงเหล็กทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง
3. เหล็กและความขุ่นของแต่ละการทดลองในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการ  
กรอง

และเหล็กเฟอร์ริคในปริมาณที่ต่ำ กล่าวคือมีเหล็กทั้งหมดประมาณ 0.243 มก./ล. และมีเหล็กเฟอร์ริคประมาณ 0.10 มก./ล. ขณะที่มาตรฐานน้ำดื่มได้กำหนดให้น้ำมีเหล็กได้โดยง่ายน้อย 0.3 มก./ล. เมื่อน้ำที่กรองแล้วมีเหล็กทั้งหมด และเหล็กเฟอร์ริคต่ำจึงมีความชุ่มน้ำไปด้วย

#### (4) ออกซิเจนละลาย

ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองและออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วเมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ออกซิเจนละลายที่มีในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง และออกซิเจนละลายที่มีในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง จากการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่

การทดลองที่	A.L., ม./ช.ม.	D.O. (ค่ามาก), มก./ล.		D.O. (ค่าน้อย) มก./ล.		D.O. เฉลี่ย, มก./ล.	
		เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
5/1	CC	7.2	7.0	4.8	4.4	5.987	5.4
5/2		6.6	6.3	4.5	4.0	5.75	5.58
5/3		7.2	6.8	4.3	4.0	5.975	5.75
เฉลี่ย		7.0	6.7	4.53	4.13	5.904	5.577

- หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ  
2. D.O. ของแต่ละการทดลองในตารางนี้ เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

จากตารางที่ 5.11 พอจะสรุปได้ว่าน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ D.O. ที่มีในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง จะลดลงจาก D.O. ที่มีในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง จาก 5.904 มก./ล. (ค่าที่เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) เป็น 5.577 มก./ล. (ค่าที่เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) คิดเป็นจำนวน 0.327 มก./ล. การที่ D.O. ลดลงไปนี้เป็นเพราะว่า ทราयरกรองสามารถกำจัดเหล็กในรูปของเฟอร์รัสได้ดีโดยการรวมออกซิเดชัน และการกรองเข้าไว้ด้วยกัน ตามที่กล่าวมาแล้วในข้อ (1) ดังนั้น D.O. ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองบางส่วนจึงสูญเสียไปในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ออกซิเจนในน้ำที่ไหลออกจากตัวกรอง (น้ำที่กรองแล้ว) มีค่าลดลงจาก D.O. ในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง (น้ำที่ผิวหน้าทราयर)

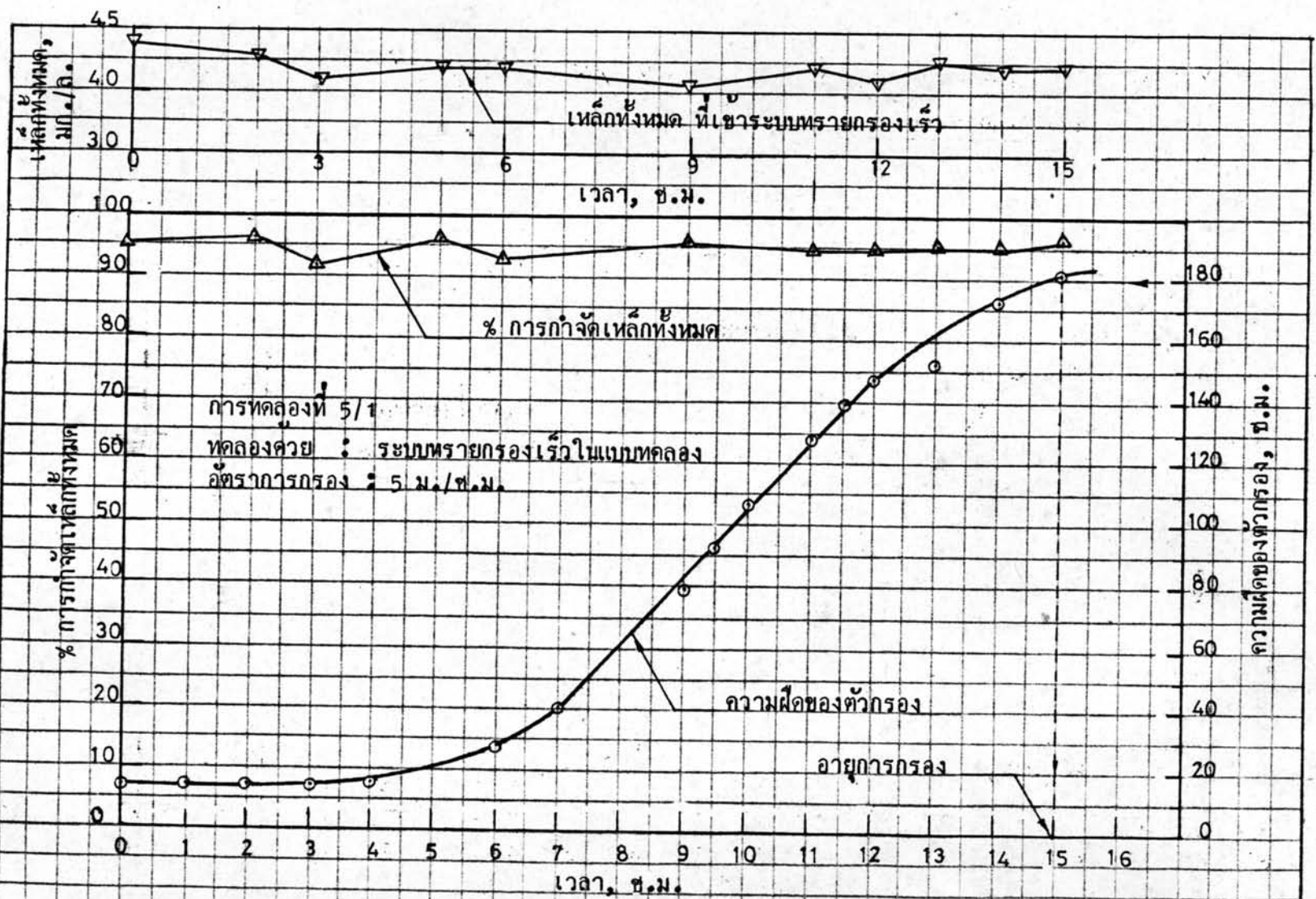
#### (5) ความฝืดของตัวกรอง

จากรูปที่ 5.11, 5.12 และ 5.13 จะเห็นได้ว่าความฝืดของตัวกรองซึ่งแสดงด้วยเส้นโค้งแสดงความฝืดของแต่ละการทดลองที่มีอัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ สามารถแบ่งตามลักษณะได้ 3 ช่วงดังต่อไปนี้

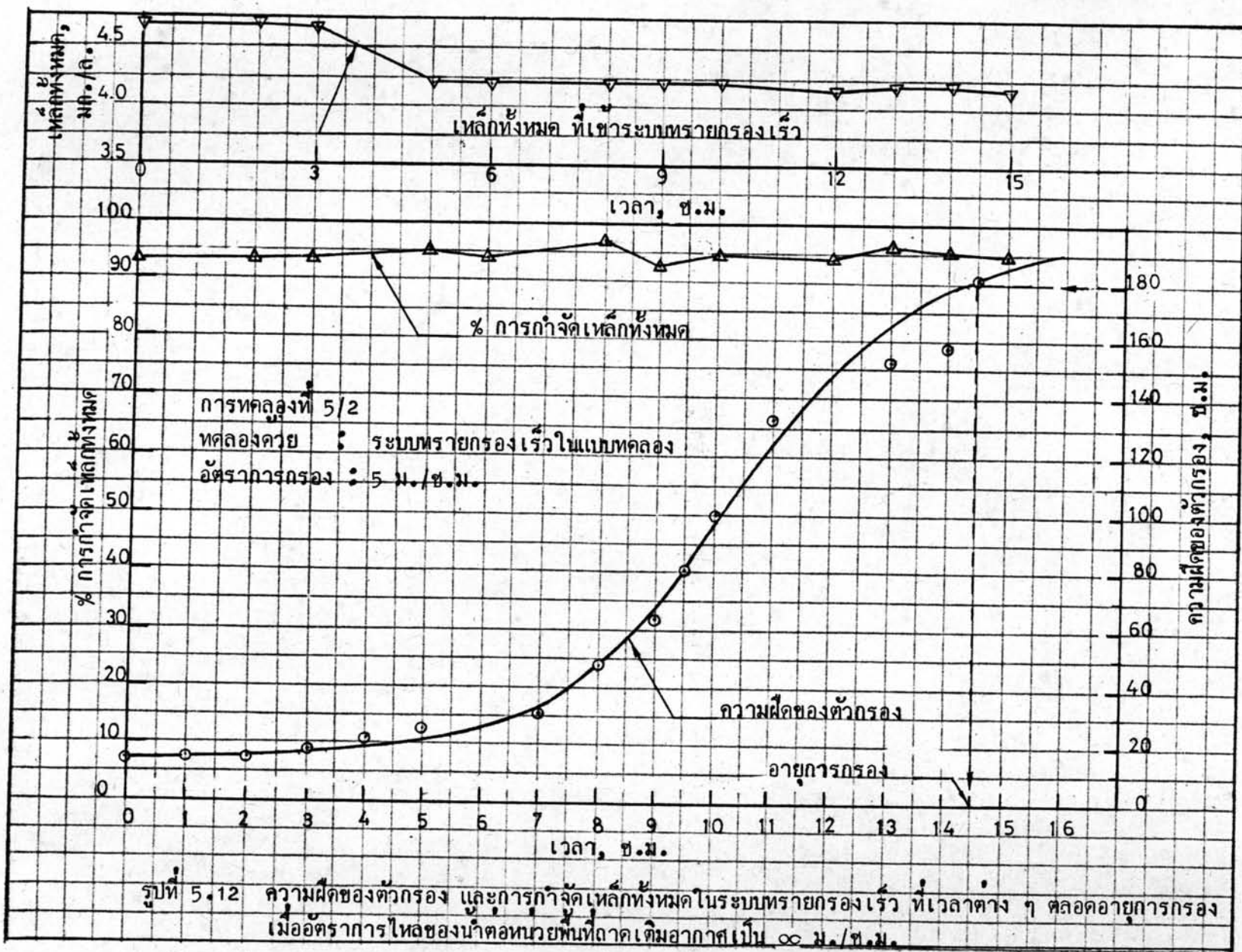
ช่วงที่ 1 เป็นช่วงแรกของการทดลองปรากฏว่าความชันของเส้นโค้งแสดงความฝืดของตัวกรองมีค่าน้อยมากหรือเป็นศูนย์ เนื่องจากความฝืดของตัวกรองยังมีค่าน้อยและระดับน้ำเหนือหน้าทราयरยังคงที่ และเป็นช่วงที่ตะกอนเหล็กยังไม่ปรากฏให้เห็นแต่ปรากฏว่าเริ่มมีสีของเหล็กได้เคลื่อนที่ผิวหน้าทราयर สำหรับระยะเวลาในการกรองของช่วงนี้ประมาณ 7 - 8 ช.ม.

ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ความชันของเส้นโค้งแสดงความฝืดได้เพิ่มจากช่วงแรกหลายเท่า และมีค่าเกือบคงที่ เนื่องจากเป็นช่วงที่ความฝืดของตัวกรองและระดับน้ำเหนือหน้าทราयरได้เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป, เป็นช่วงที่มีตะกอนเหล็กเริ่มเกิดที่บริเวณหน้าทราयरที่ปรากฏสีของเหล็กได้เพิ่มระยะมากกว่าช่วงที่ 1 อย่างมาก สำหรับระยะเวลาในการกรองของช่วงนี้ประมาณ 4 - 5 ช.ม.

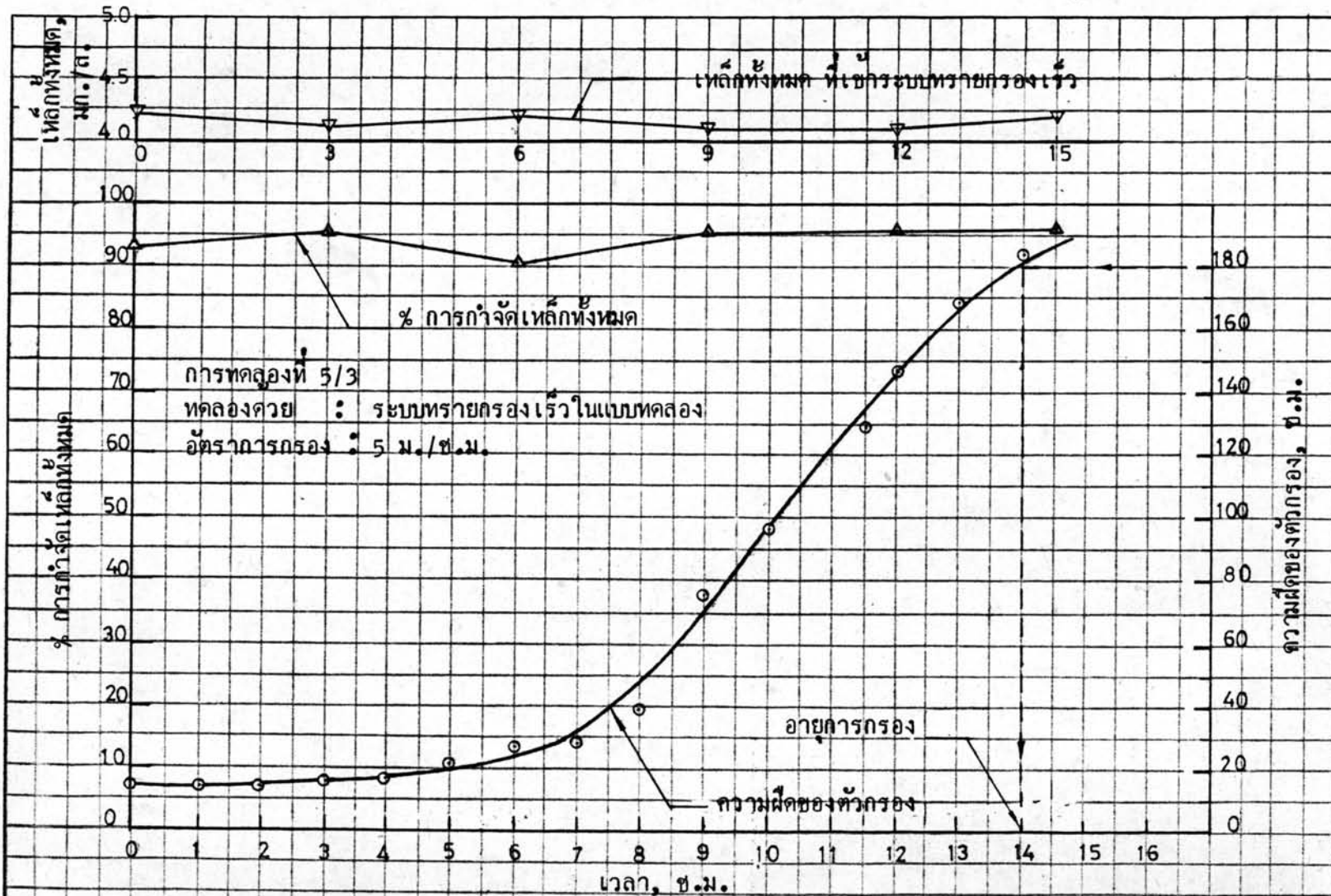
ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ความชันของเส้นโค้งแสดงความฝืดจะลดลงจากช่วงที่ 2 เล็กน้อย ต่อจากนั้นจะมีค่าเกือบคงที่หรือลดลงเล็กน้อยเนื่องจากความฝืดของตัวกรอง



รูปที่ 5.11 ความฝืดของตัวกรองและการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ลาดเติมอากาศเป็น  $\infty$  ม./ช.ม.







รูปที่ 5.13 ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบระบายน้ำเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง  
 เมื่ออัตราการไหลของน้ำทดสอบที่ภาคเติมอากาศเป็น  $\infty$  ม./ช.ม.

และระดับน้ำในถังกรอง ได้เพิ่มขึ้นจากช่วงที่ 2 ที่มีอัตราการเพิ่มต่อหน่วยเวลาที่มีค่าลดลงทุก  
 ขณะ, เป็นช่วงที่จะสิ้นสุดลงเมื่อตัวกรองมีความผิดเท่ากับ 180 ซม. หรือครบอายุการกรอง,  
 เป็นช่วงที่ตะกอนของเหล็กได้จับอยู่ในชั้นทรายตอนบนสุด และบริเวณผิวหน้าทรายอย่างหนาแน่น  
 ทั้งนี้ตะกอนและสีของเหล็กได้เคลื่อนลงชั้นทรายลึกประมาณ 20 ซม. ซึ่งมากกว่าช่วงที่ 2 เล็ก  
 น้อย และเป็นช่วงที่มีระยะเวลาในการกรองประมาณ 3 - 4 ซม.

#### (6) อายุการกรองและเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย

อายุการกรองในการทำงานของแบบทรายกรองเร็ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการ  
 ล้างทรายภายหลังการกรองด้วยระบบทรายกรองเร็ว ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. เมื่อน้ำที่  
 ไหลเข้าตัวกรองมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ แสดงไว้ในตารางที่ 5.12 ซึ่งพอจะ  
 สรุปได้ดังนี้

- (ก) อายุการกรอง (ระยะเวลาในการกรองอย่างต่อเนื่องของแต่ละการทดลอง)  
 มีค่าอย่างมากประมาณ 15 ซม. อย่างน้อยประมาณ 14 ซม. หรือเฉลี่ยประมาณ 14.50 ซม.  
 (ข) น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายภายหลังการกรอง ของแต่ละการทดลองจะมีค่าอย่าง  
 มากประมาณ 36.14 % อย่างน้อยประมาณ 31.45 % และค่าเฉลี่ยจากการทดลองรวม 3 ครั้ง  
 ประมาณ 33.76 %

#### 5.2.4 ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศที่มีต่อการกำจัดเหล็ก ในระบบทรายกรองเร็ว

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.2.3 ซึ่งสรุปได้ว่าทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็ก  
 เฟอร์รัสได้ดี และไม่สามารถกำจัดเหล็กเฟอร์ริกออกไซด์ที่เป็นคอลลอยด์ได้ดี ดังนั้นเมื่อพิจารณา  
 ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรอง  
 เร็ว พอจะสรุปได้ในตารางที่ 5.13, รูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15

ตารางที่ 5.12 อายุการกรองในการทำงานของระบบทรายกรองเร็ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายภายหลังการกรองด้วยระบบทรายกรองเร็ว จากการทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง เมื่อน้ำที่ไหลเข้าตัวกรอง ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่

การทดลอง ที่	A.L., ม./ช.ม.	เหล็ก $Fe^{+2}$ ที่เข้า, มก./ล.	เหล็กทั้งหมด ที่เข้า, มก./ล.	อายุการกรอง, ช.ม.	% น้ำล้างที่ สูญเสียในการ ล้างทราย
5/1	∞	4.271	3.272	15	31.45
5/2		4.287	3.21	14.50	36.14
5/3		4.15	3.206	14	33.70
เฉลี่ย		4.236	3.229	14.50	33.76

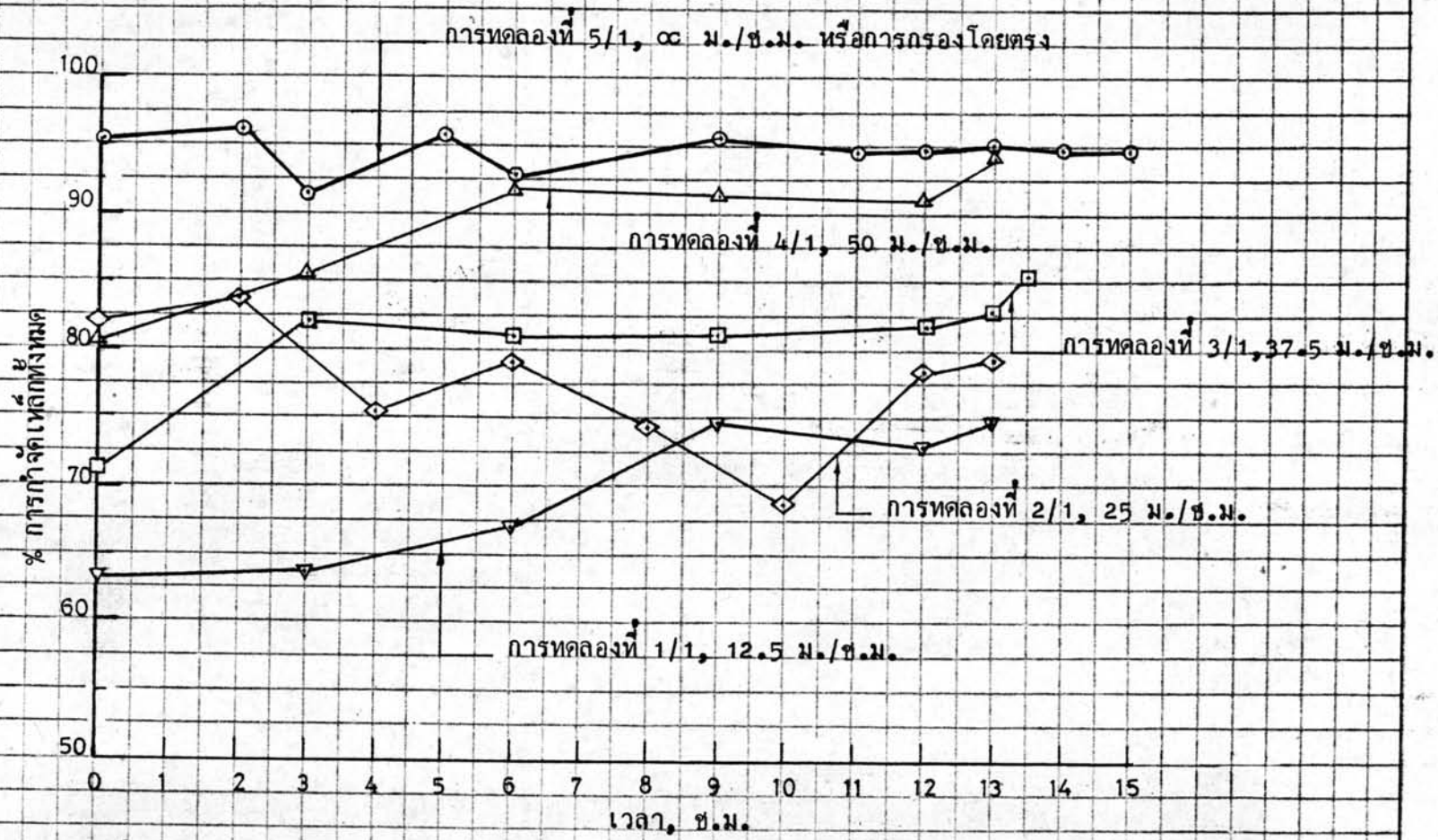
หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ

2. เหล็กและอายุการกรอง ของแต่ละการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

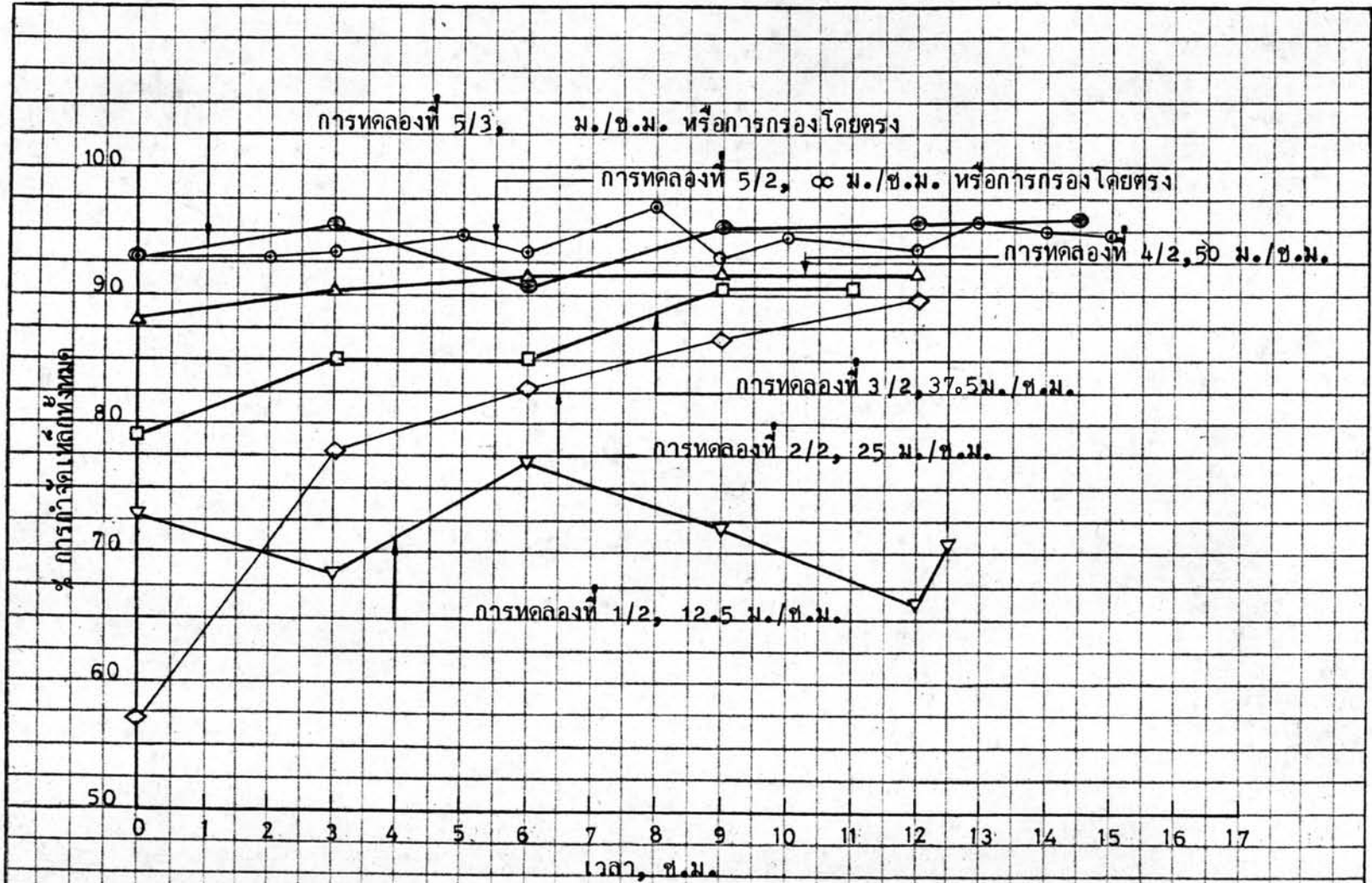
ตารางที่ 5.13 ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ที่มีต่อการกำจัดเหล็ก  
ในแบบทรายกรองเร็ว, ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว, อายุการกรอง และ  
เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศ  
ตามด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง

การทดลอง ที่	A.L., ม./ช.ม.	% การกำจัด เหล็กทั้งหมด ใน R.F.	ความขุ่นของ น้ำที่กรองแล้ว, NTU.	อายุการกรอง, ช.ม.	% น้ำที่สูญเสีย ในการล้าง ทราย
1/1	12.5	69.48	53	13.25	21.36
1/2		71.22	41.67	12.50	18.87
เฉลี่ย		70.35	47.33	12.875	20.11
2/1	25	77.66	43.25	13	18.14
2/2		78.60	24	12	19.65
เฉลี่ย		78.13	33.63	12.50	18.90
3/1	37.5	80.81	18.57	13.25	29.67
3/2		85.80	15.4	11	28.59
เฉลี่ย		83.30	16.98	12.125	29.13
4/1	50	89.075	18.6	12.75	27.13
4/2		90.597	9.6	11.50	27.35
เฉลี่ย		89.836	13.60	12.125	27.24
5/1	∞	94.73	0.64	15.0	31.45
5/2		94.18	0.69	14.5	36.14
5/3		94.27	0.575	14	33.70
เฉลี่ย		94.40	0.635	14.50	33.70

- หมายเหตุ 1. A.L. = อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ  
2. R.F. = ระบบทรายกรองเร็ว  
3. % การกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่างๆ ระบุได้ในรูปที่  
5.3 ถึง 5.13



รูปที่ 5.14 ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อน้ำที่ลาดเติมอากาศ ที่มีต่อการกำจัดของแข็งในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลองที่มีอัตราการกรอง 5 ม./ชม. และเหล็กทั้งหมดที่เขาระบบทรายกรองเร็ว ประมาณ 4 กก./ล.



รูปที่ 5.15 ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่มีอัตราการกรอง 5 ม.³/ชม. และเหล็กทั้งหมดที่เขาระบบทรายกรองเร็วประมาณ 4 มก./ลิ.



จากตารางที่ 5.13 รูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่า

(1) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมาก คือ 12.5, 25, 37.5 ถึง 50 ม./ช.ม. ปรากฏว่าการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) จะสูงขึ้นเป็นลำดับคือ 70.35, 78.13, 83.30 ถึง 89.836 % และเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นจนเป็น ๐๐ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง การกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) จะเพิ่มขึ้นถึง 94.40 %

เหตุที่ อัตราไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นได้มีผลทำให้การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็วมีประสิทธิภาพสูงขึ้นนั้นเป็นเพราะว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้น น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจะมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสมากขึ้นหรืออยู่ในรูปของเฟอร์ริคน้อยลง (ดูตารางที่ 5.4) และเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นจนเป็น ๐๐ ม./ช.ม. เหล็กเฟอร์รัสในน้ำที่ไหลเข้าตัวกรองจะมีค่าใกล้เคียงกับเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ (ดูตารางที่ 5.8) เนื่องจากทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดเหล็กเฟอร์ริค (ที่อยู่ในรูปคอลลอยด์) ได้ดี ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 5.2.3 ดังนั้นที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเป็น ๐๐ ม./ช.ม. เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดเหล็ก (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ในระบบทรายกรองเร็ว จึงมีค่าสูงที่สุด

(2) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมาก ตามข้อ (1) ปรากฏว่าความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) จะลดลงเป็นลำดับ คือ 47.33, 33.63, 16.98 ถึง 13.60 NTU. และเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเพิ่มขึ้นจนเป็น ๐๐ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง ปรากฏว่าความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วจะลดลงเป็น 0.635 NTU. เท่านั้น ขณะที่ความขุ่นตามมาตรฐานของน้ำดื่มกำหนดไว้ที่ 5 NTU.

เหตุที่ อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเพิ่มขึ้น ได้มีผลทำให้น้ำที่กรองแล้ว มีความขุ่นลดลง เป็นเพราะว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเพิ่มขึ้น การกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรอง เร็วสูงขึ้นตามที่กล่าวมาแล้วในข้อ (1) ดังนั้นน้ำที่กรองแล้วจึงมีเหล็กลดลง เมื่อน้ำที่กรองแล้วมีเหล็กลดลงจึงมีความขุ่นลดลงด้วย เพราะเหล็กก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมีความขุ่น

(3) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๐ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง อายุการกรองจะมีค่าประมาณ 14 - 15 ช.ม. แต่เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา อายุการกรองจะมีค่าประมาณ 12 - 13 ช.ม. เท่านั้น

การที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศ ตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ การกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ นั้น ตะกอนและสีของเหล็กจะสามารถเคลื่อนลงไปชั้นทรายได้ลึกประมาณ 4 ช.ม. เท่านั้น [ดูหัวข้อที่ 5.2.3.1(2)] ดังนั้น ความฝืดของตัวกรองจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดอายุการกรอง การที่ความฝืดของตัวกรองมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดอายุการกรองนี้เอง จึงทำให้อายุการกรองไม่มากเท่าที่ควร แต่เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๐ ม./ช.ม. น้ำที่ไหลเข้าตัวกรองที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. จะมีเหล็กอยู่ในรูปเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ การกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ พบว่าตะกอนและสีของเหล็ก สามารถเคลื่อนลงชั้นทรายได้ลึกมากถึง 20 ช.ม. โดยประมาณ [ดูหัวข้อที่ 5.2.3.2(2)] ดังนั้นความฝืดของตัวกรองจึงเพิ่มค่าได้ช้าลง หรือทำให้อายุการกรองมากกว่าการกรองน้ำที่มีเหล็กอยู่ในรูปของเฟอร์ริคเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศมีค่าตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา

(4) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายจะมีค่าอย่างน้อยประมาณ 18.90% อย่างมากประมาณ 29.13 % หรือเฉลี่ยประมาณ 24 % ซึ่งต่ำกว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๐ ม./ช.ม. ประมาณ 10 % กล่าวคือเมื่ออัตราการไหลของน้ำ



ต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๘ ม./ช.ม. นั้น น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายจะมีค่าประมาณ 33.7๐ % เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๘ ม./ช.ม. การกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว และอายุการกรอง จะสูงกว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ (1) และข้อ (3) จึงแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๘ ม./ช.ม. ตะกอนเหล็กจะถูกดักไว้ในตัวกรองในปริมาณที่มากกว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา นอกจากนั้นยังได้พบจากการทดลองอีกว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา ตะกอนและสีของเหล็กจะสามารถเคลื่อนลงไปในช่วงทรายได้ลึกเพียงประมาณ 4 ช.ม. เมื่อสิ้นสุดอายุการกรอง แต่เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๘ ม./ช.ม. ตะกอนและสีของเหล็กจะสามารถเคลื่อนลงไปในช่วงทรายได้ลึกถึงประมาณ 20 ช.ม. เมื่อสิ้นสุดอายุการกรอง จากที่กล่าวมานี้จึงสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๘ ม./ช.ม. ตะกอนเหล็กจะถูกดักไว้ในตัวกรองมากกว่า และจะเคลื่อนลงไปในช่วงทรายได้ลึกกว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา ดังนั้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศเป็น ๐๘ ม./ช.ม. เบอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย จึงมากกว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศตั้งแต่ 50 ม./ช.ม. ลงมา

จากที่กล่าวมาในข้อ (1), (2), (3) และ (4) นี้ จึงชี้ให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศที่เหมาะสมคือ ๐๘ ม./ช.ม.

### 5.3 การทดลองหาอัตราการกรองที่เหมาะสม ของระบบการกรองโดยตรง

ในหัวข้อที่ 5.2 ได้พบว่า อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเดิมอากาศที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว คือ ๐๘ ม./ช.ม. หรือการกรองน้ำบาดาลโดยตรง การทดลองในขั้นนี้จึงได้กรองน้ำที่สูบขึ้นมาจากบ่อบาดาลโดยตรง โดยการแปรอัตราการกรองให้มีค่าต่าง ๆ จากการศึกษาการทำงานของระบบทรายกรองเร็วที่อัตราการกรองต่าง ๆ และการพิจารณาอัตราการกรองที่เหมาะสมพอจะสรุปได้คือ

### 5.3.1 การทำงานของระบบทรายกรองเร็ว

#### (1) การกำจัดเหล็กในตัวกรอง

การกำจัดเหล็กในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วโดยการกรองโดยตรง (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) เมื่ออัตราการกรองมีค่าต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.14 กล่าวคือเมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมาก คือ 5, 7.5, 10, 12.5 ถึง 15 ม./ช.ม. การกำจัดเหล็กทั้งหมดในตัวกรองจะลดลงเป็นลำดับ คือ 94.86, 93.87, 90.16, 66.72 ถึง 66.22 % เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านทรายกรองจะมากขึ้นด้วย ดังนั้นปริมาณเหล็กที่ผ่านเข้าทรายกรองต่อหน่วยเวลาจะมากขึ้น จึงทำให้การกำจัดเหล็กโดยขบวนการออกซิเดชันและการกรองด้วยทรายกรองน้อยลง

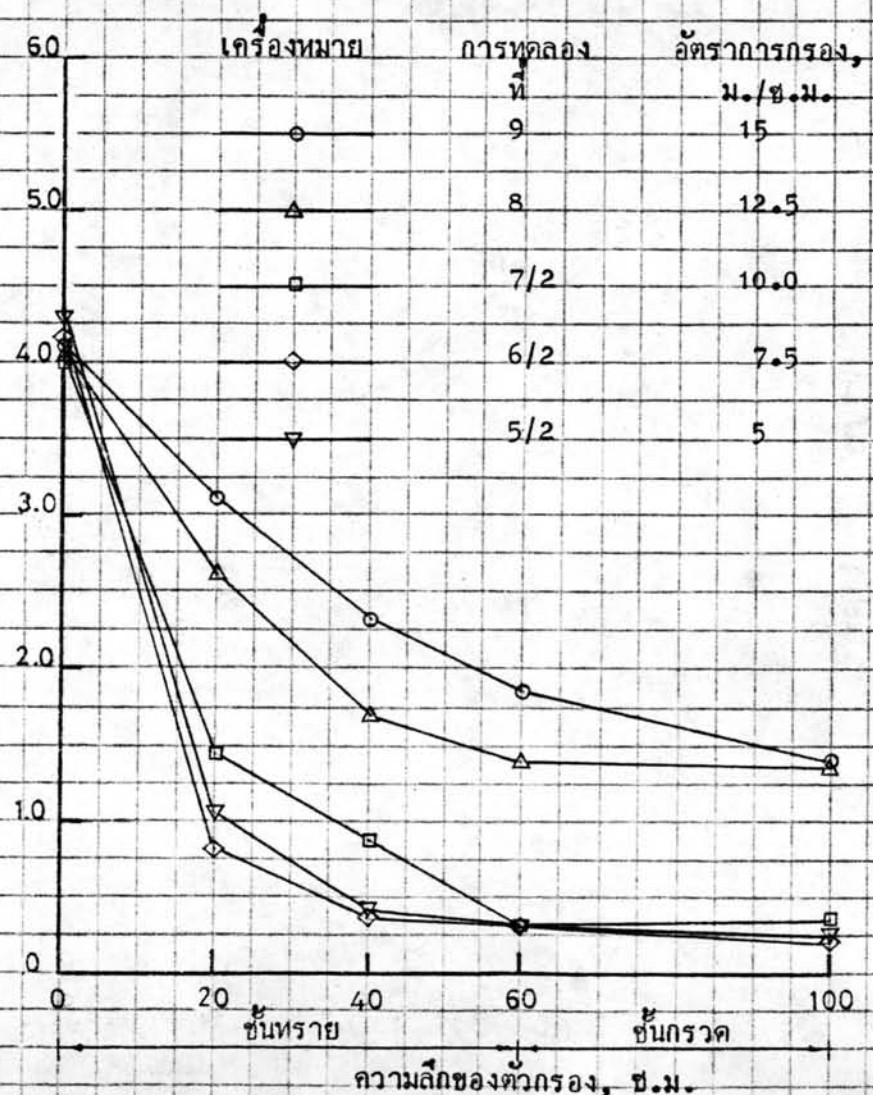
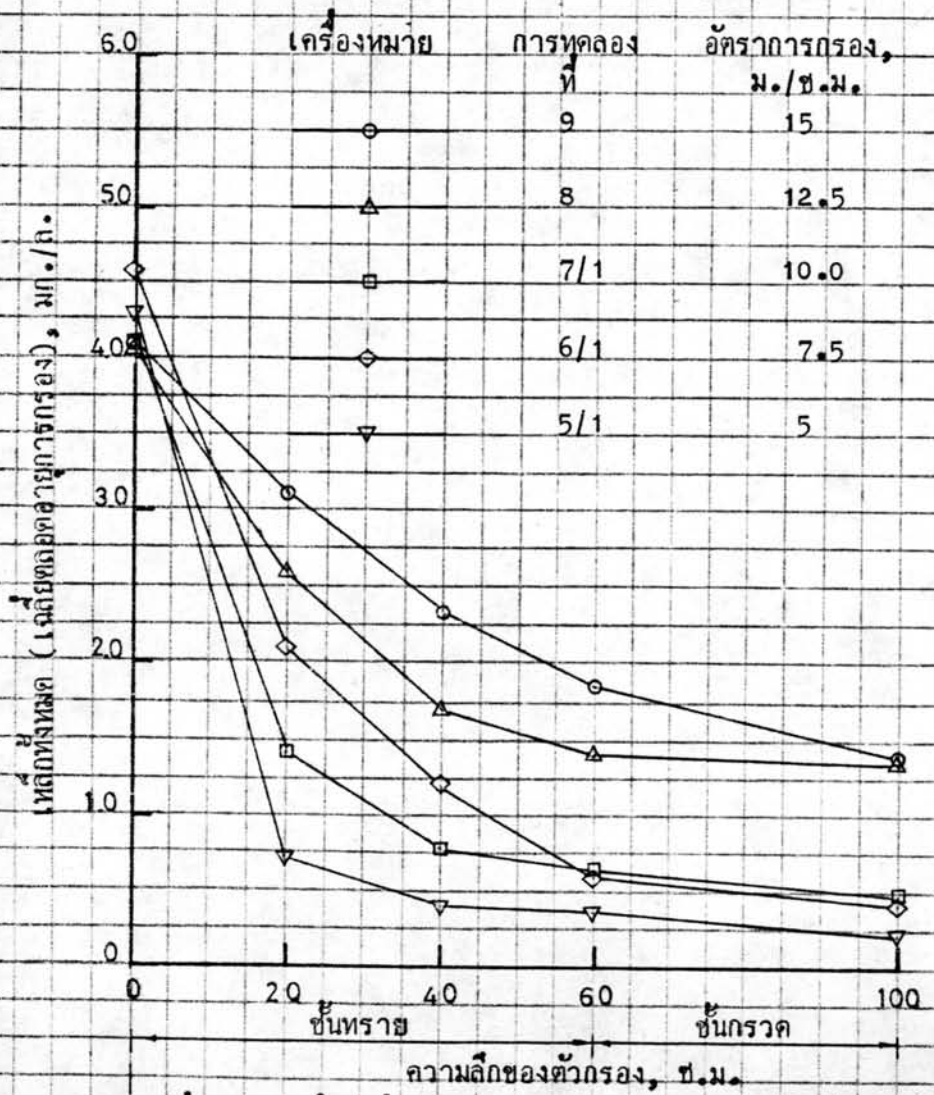
#### (2) การแทรกตัวของเหล็กเข้าไปในตัวกรอง

การแทรกตัวของเหล็กเข้าไปในตัวกรอง เมื่อกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงด้วยระบบทรายกรองเร็ว ที่อัตราการกรองต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 5.16

จากรูปที่ 5.16 พอจะสรุปได้ว่า

(ก) ในแต่ละการทดลอง เมื่อความลึกของตัวกรองมากขึ้น เหล็กทั้งหมด (เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) จะน้อยลงเป็นลำดับ กล่าวคือเหล็กทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) จะลดลงมากที่สุดในช่วงระดับความลึก 0 - 20 ช.ม. รองลงไปคือช่วง 20 - 40 ช.ม. รองลงไปอีกคือ 40 - 60 ช.ม. สำหรับช่วงระดับความลึก 60 - 100 ช.ม. ซึ่งเป็นชั้นกรวด พบว่าเหล็กทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) จะลดลงน้อยที่สุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าทรายกรองส่วนบนมีเม็ดเล็กกว่า ทรายกรองส่วนล่าง จึงทำให้น้ำที่กำจัดเหล็กในน้ำที่ผ่านเข้าชั้นทรายได้เร็วกว่าทรายกรองส่วนล่าง และทรายกรองส่วนบนได้ทำหน้าที่กำจัดเหล็กก่อนทรายกรองส่วนล่าง

(ข) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเหล็กทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ที่ระดับความลึกเดียวกันของตัวกรอง ระหว่างการทดลองที่มีอัตราการกรองต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่ระดับความลึกของตัวกรองคือ 0, 20, 40, 60 และ 100 ช.ม. เมื่ออัตราการกรองมากขึ้น เหล็กทั้งหมดในแต่ละระดับความลึกดังกล่าวจะมากขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดทรายจะสูงขึ้น เมื่อความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน



รูปที่ 5.16 ค่าเฉลี่ยของเหล็กทั้งหมดตลอดอายุการกรองที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในตัวกรอง ของการทดลองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ  $\infty$  ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง และมีอัตราการกรองต่าง ๆ

ตารางที่ 5.14 การกำจัดเหล็กในตัวกรอง ของระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศเป็น ๐๐ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองต่าง ๆ

การทดลองที่	อัตรากรอง, ม./ช.ม.	เหล็ก $Fe^{+2}$ , มก./ล.		% การออกซิไดส์เหล็ก $Fe^{+2}$ ในตัวกรอง	เหล็กทั้งหมด, มก./ล.		% การกำจัดเหล็กทั้งหมดในตัวกรอง
		ที่เข้าตัวกรอง	ที่ออกจากตัวกรอง		ที่เข้าตัวกรอง	ที่ออกจากตัวกรอง	
5/1	5	3.272	0.1786	94.54	4.271	0.221	94.82
5/2		3.21	0.121	96.23	4.287	0.251	94.14
5/3		3.206	0.130	95.94	4.15	0.238	95.94
เฉลี่ย		3.229	0.143	95.57	4.236	0.237	94.96
6/1	7.5	3.287	0.353	89.26	4.564	0.409	91.04
6/2		3.152	0.106	96.64	4.167	0.203	95.13
6/3		3.308	0.125	96.22	4.14	0.188	95.46
เฉลี่ย		3.249	0.195	94.04	4.29	0.265	93.87
7/1	10	3.327	0.346	89.6	4.143	0.469	88.68
7/2		3.38	0.261	92.28	4.013	0.335	91.65
เฉลี่ย		3.35	0.303	90.94	4.078	0.402	90.16
8	12.5	3.357	0.803	76.08	4.05	1.348	66.72
9	15	3.343	1.209	63.83	4.105	1.387	66.22

หมายเหตุ ค่าของเหล็กของแต่ละการทดลองในตารางนี้ เป็นค่าที่เฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

ช่องว่างระหว่างเมล็ดทรายสูงขึ้น จึงทำให้เหล็กสามารถแทรกตัวลงไปในตัวกรองได้มากขึ้นในทำนองเดียวกันสามารถกล่าวได้ว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น เหล็กจะแทรกตัวลงไป  
ในชั้นทรายได้ลึกมากขึ้น

(3) ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว

เมื่อวัดความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วที่อัตราการกรองต่าง ๆ ภายหลังที่เหล็กเฟอร์-  
รัสในน้ำที่กรองแล้วถูกออกซิเจนออกซิไดส์เปลี่ยนเป็นเหล็กเฟอร์ริก แสดงไว้ในตารางที่

5.15

จากตารางที่ 5.15 พอดีสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก  
5 ม./ช.ม. ถึง 15 ม./ช.ม. ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 0.60  
NTU. (ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง) ถึง 42.33 NTU. เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ  
ว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น % การกำจัดเหล็กในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วจะ  
ลดลง ดังนั้นน้ำที่กรองแล้วจึงมีเหล็กมากขึ้น เมื่อน้ำที่กรองแล้วมีเหล็กมากขึ้น จึงมีความขุ่น  
มากขึ้นด้วย

ตารางที่ 5.15 ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว เมื่อกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงที่  
อัตราการกรองต่าง ๆ จากการทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วใน  
แบบทดลอง

การทดลองที่	5/1	5/2	5/3	6/1	6/2	6/3	7/1	7/2	8	9
F.R., ม./ช.ม.	5	5	5	7.5	7.5	7.5	10	10	12.5	15
ความขุ่น, NTU.	0.64	0.59	0.575	0.71	0.926	0.567	10.71	4.09	20.71	42.33

หมายเหตุ 1. F.R. = อัตราการกรอง

2. ความขุ่นของแต่ละการทดลองในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง

#### (4) ความถี่ของตัวกรอง

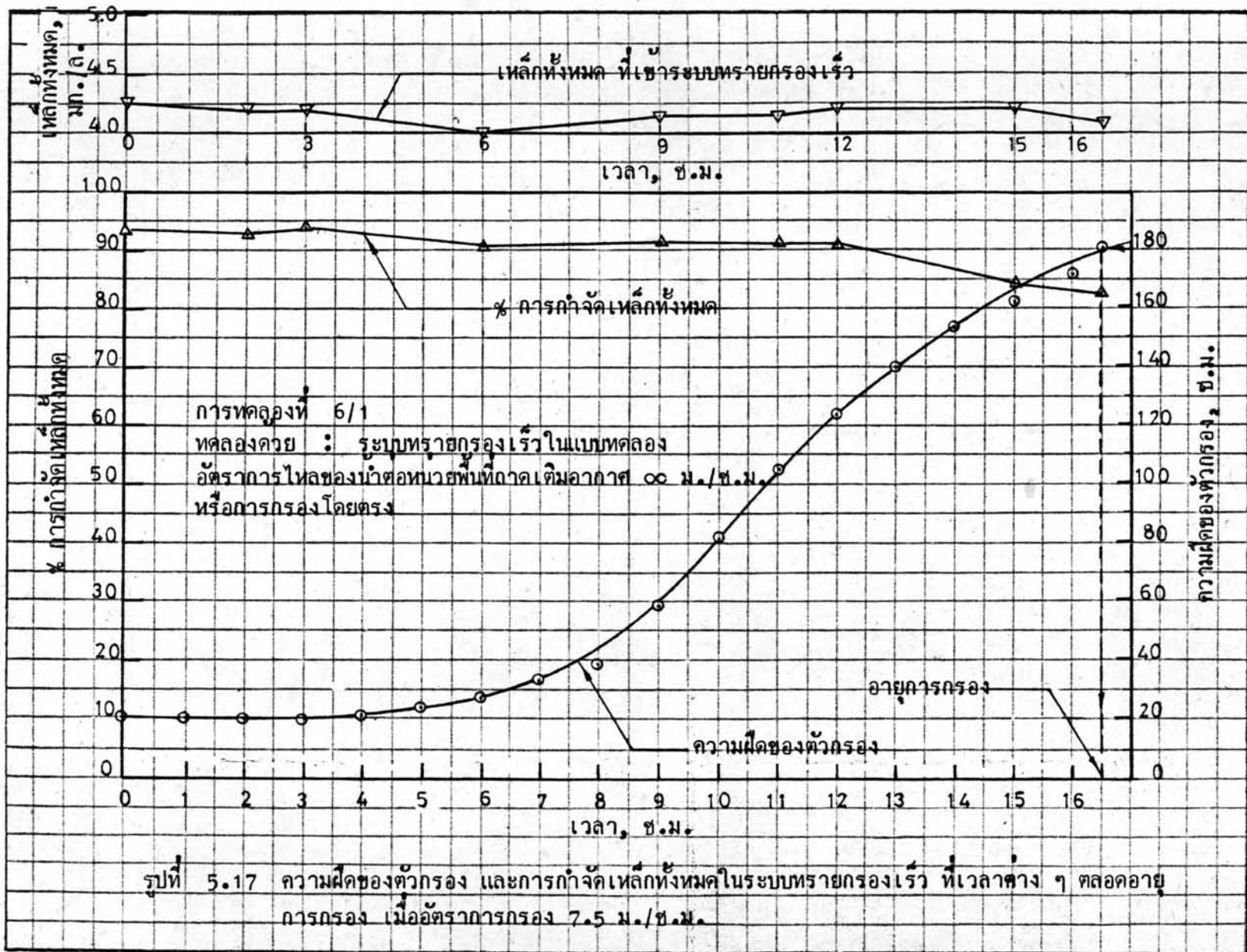
ความถี่ของตัวกรอง ของระบบทรายกรองเร็วในการกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองต่าง ๆ คือ 5, 7.5, 10, 12.5 ถึง 15 ม./ช.ม. แสดงไว้ในรูปที่ 5.11 ถึง 5.13 และ 5.17 ถึง 5.23 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบความถี่ของตัวกรองที่อัตราการกรองต่าง ๆ ด้วยเส้นโค้งแสดงความถี่ จะพบว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น ความถี่ของตัวกรองจะเพิ่มระดับต่ำลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กโดยทรายกรองได้น้อยลง [กล่าวมาแล้วในข้อ (1)] ดังนั้นตะกอนเหล็กจึงถูกคักไว้ในชั้นทรายน้อยลงด้วย และขณะเดียวกัน ตะกอนเหล็กสามารถเคลือบลงไปบนชั้นทรายได้ลึกมากขึ้น จึงเป็นผลทำให้อัตราการอุดตันของทรายกรองต่ำลง

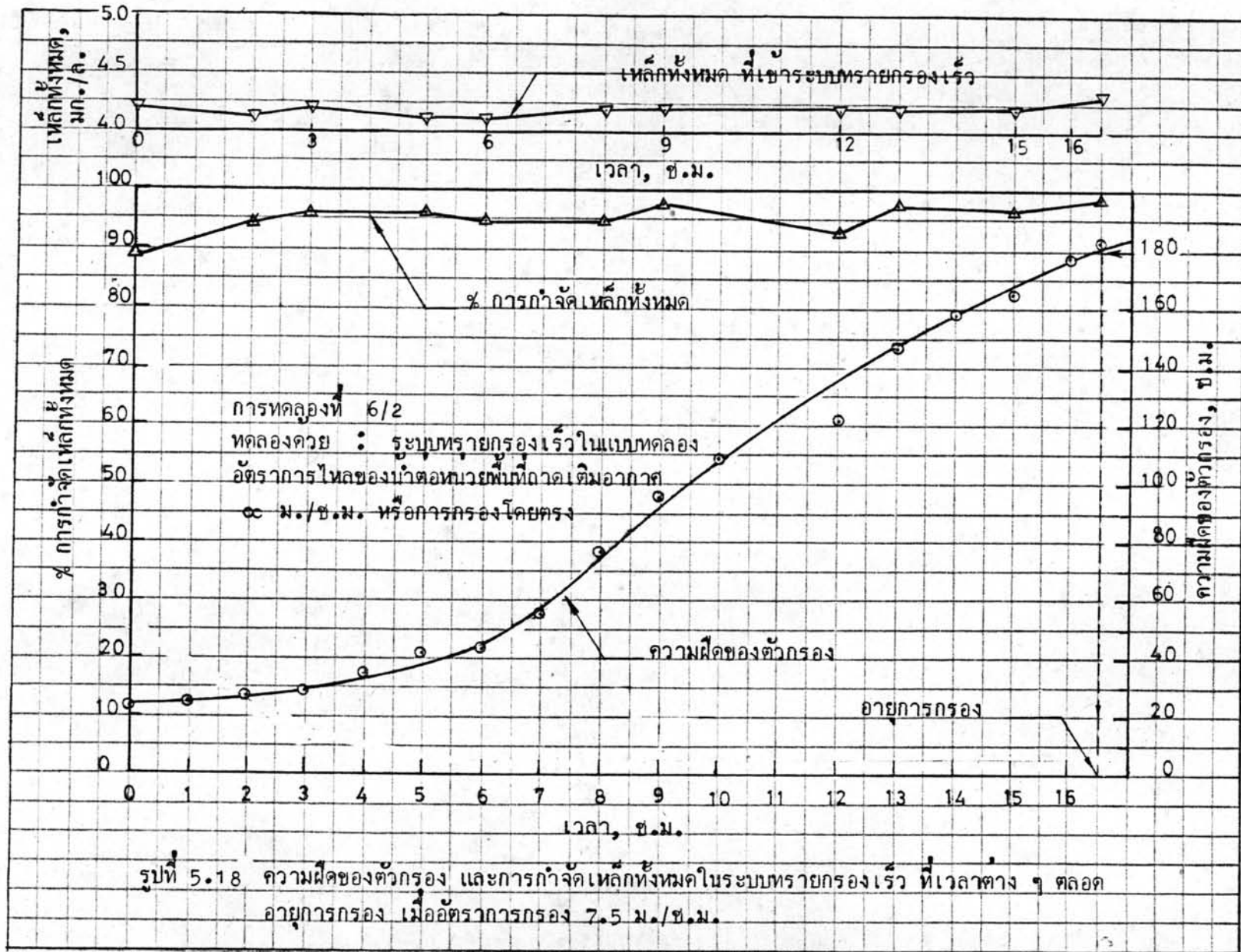
อนึ่ง เมื่อได้มีการวัดความถี่ในตัวกรองที่ระดับความลึกต่าง ๆ คือ 0, 20, 40, 60 และ 100 ช.ม. ได้พบว่าทุกอัตราการกรอง ความถี่ที่เกิดในตัวกรอง ตลอดอายุการกรอง จะมากที่สุดในช่วงระดับความลึกของตัวกรอง 0 - 20 ช.ม. รองลงไปคือช่วง 20 - 40 ช.ม. รองลงไปอีกคือช่วง 40 - 60 ช.ม. และความถี่จะน้อยที่สุดในช่วง 60 - 100 ช.ม. ซึ่งเป็นชั้นกรวด

#### (5) อายุการกรอง

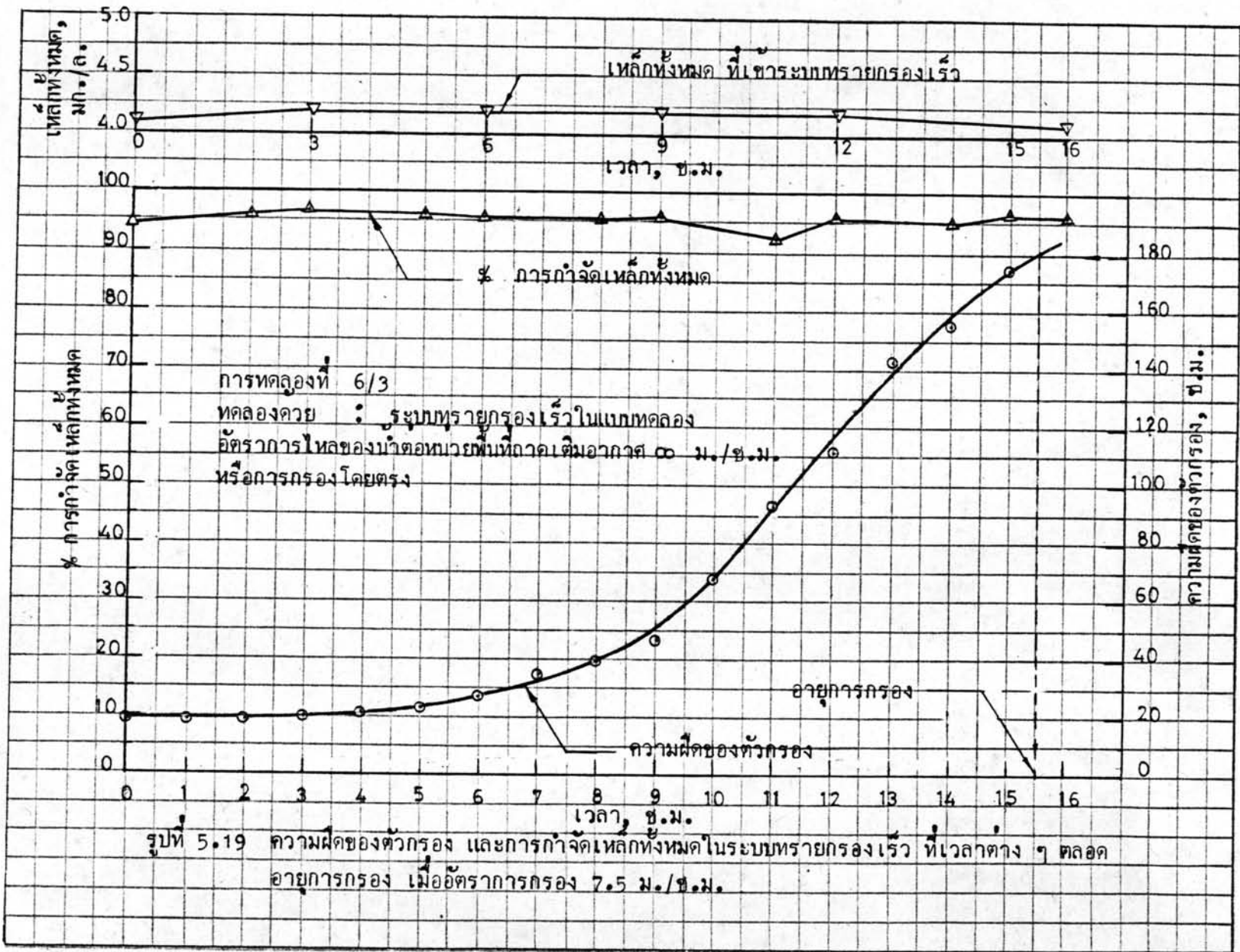
อายุการกรองของระบบทรายกรองเร็ว ในการกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงที่อัตราการกรองต่าง ๆ เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการกรองตั้งแต่ความถี่ของตัวกรองน้อยที่สุดจนกระทั่งความถี่ของตัวกรองเป็น 180 ช.ม. และระยะเวลาในการกรองตั้งแต่เริ่มกรองจนกระทั่งถึงเวลาที่เหล็กทั้งหมดในน้ำที่กรองแล้วมีไม่เกิน 0.3 มก./ล. และ 1.0 มก./ล. แสดงไว้ในตารางที่ 5.16

จากตารางที่ 5.16 เมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 5 ม./ช.ม. ถึง 15 ม./ช.ม. อายุการกรองเมื่อพิจารณาจากความถี่ของตัวกรอง จะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 14.50 ช.ม. ถึง 23.25 ช.ม. เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าเมื่ออัตราการกรองมากขึ้น เปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กในตัวกรองของระบบทรายกรองเร็วได้ลดลง [กล่าวมาแล้วในข้อ (1)] ดังนั้นตะกอนเหล็กจึงถูกคักไว้ในตัวกรองไม่ไค่มากเท่าที่ควร และขณะเดียวกัน

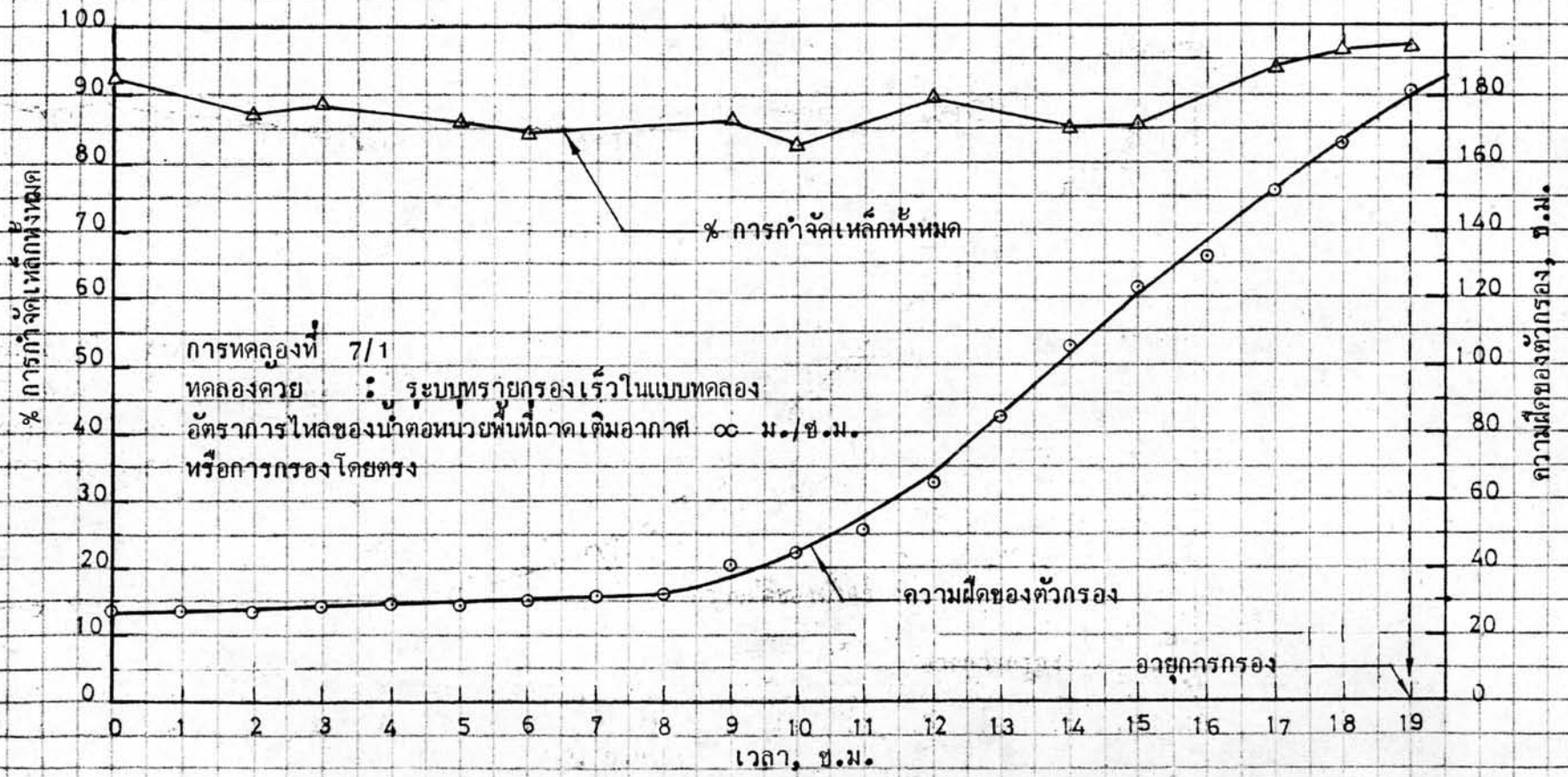
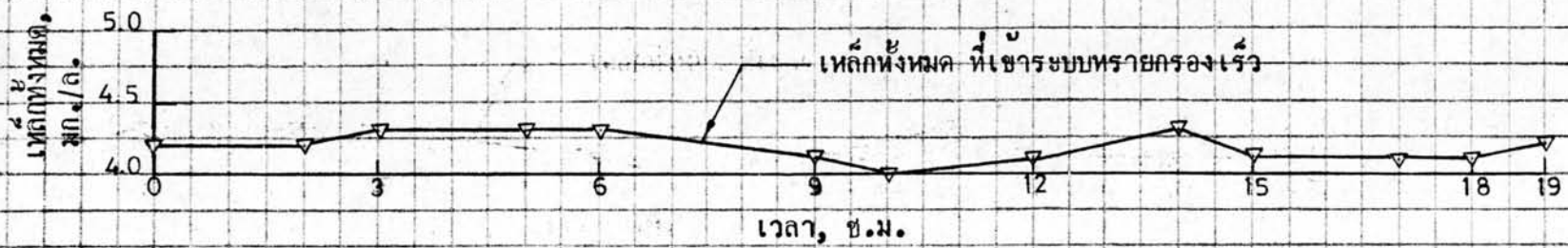




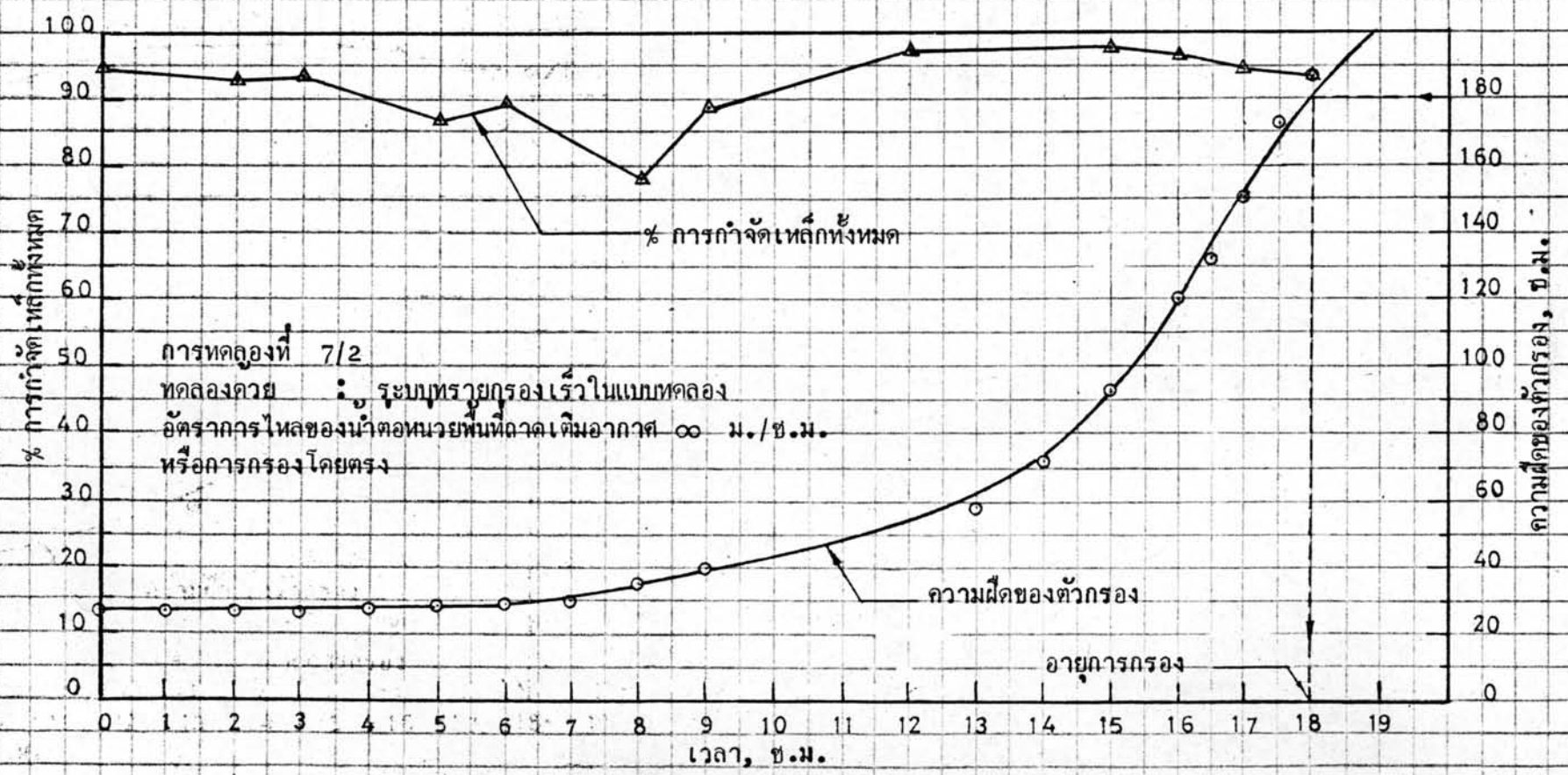
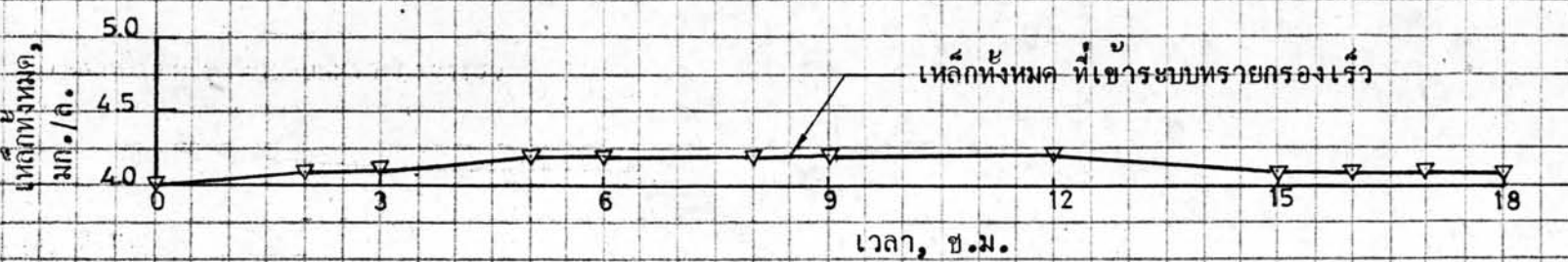




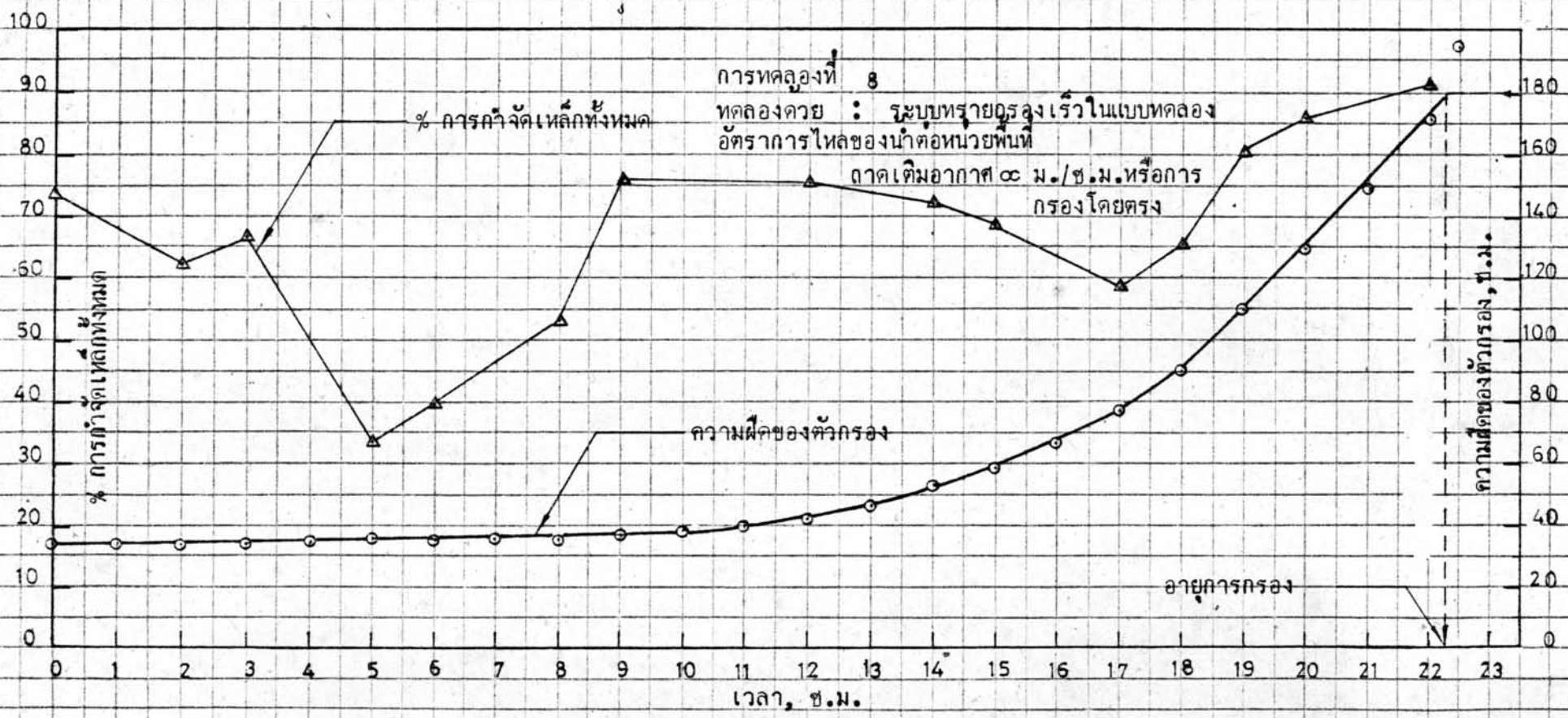
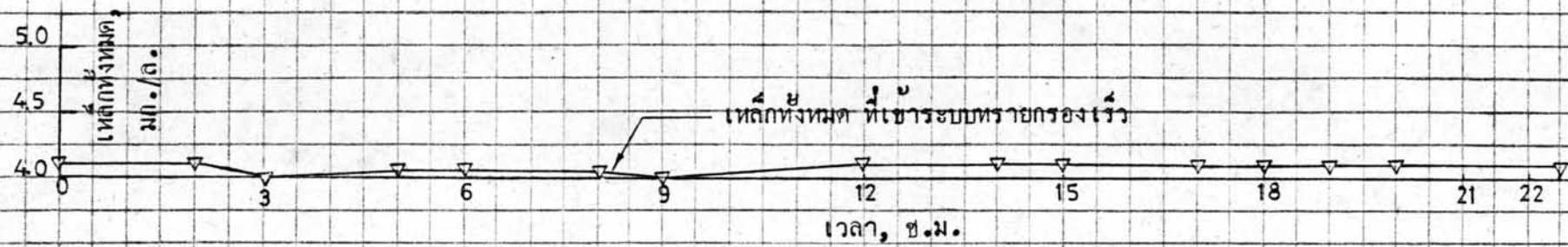
รูปที่ 5.19 ความเร็วของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 7.5 ม./ช.ม.



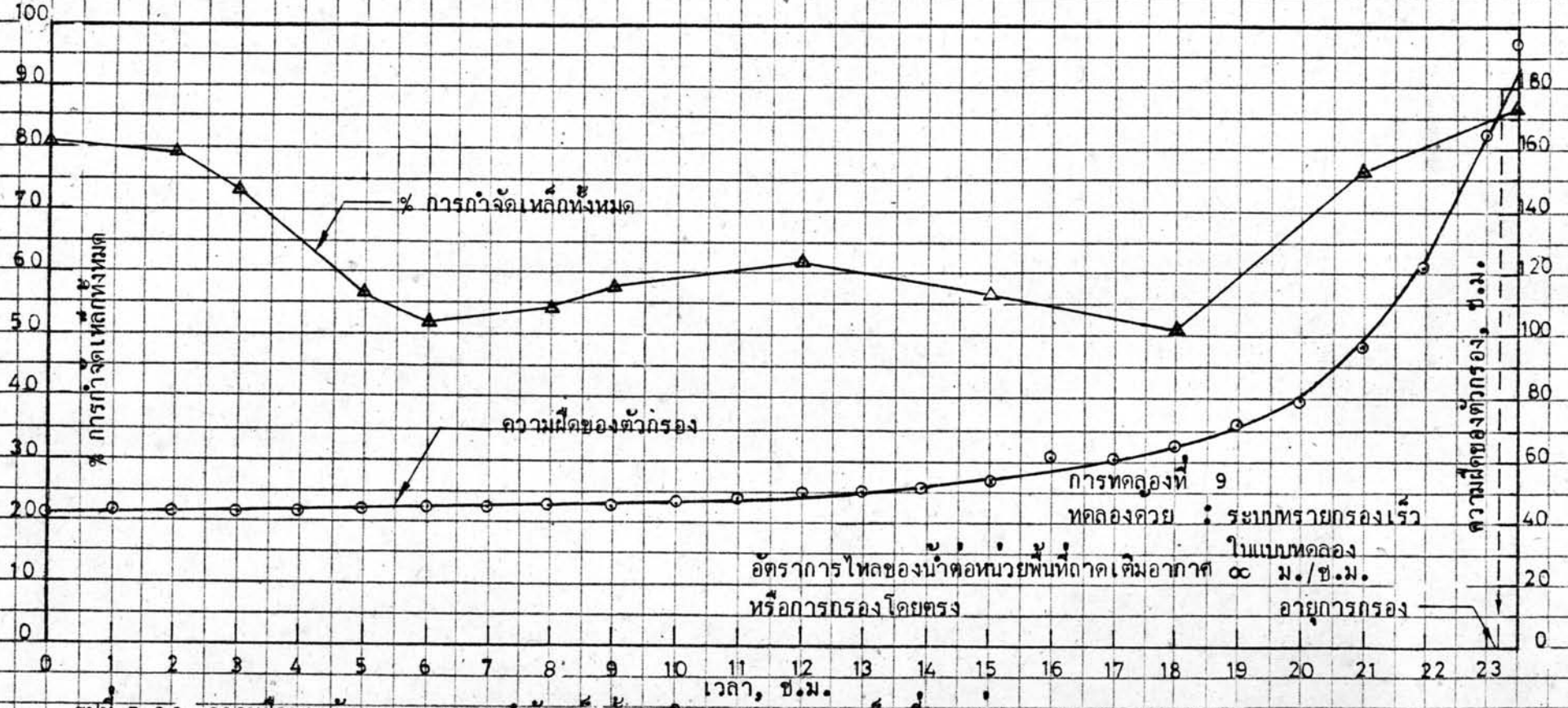
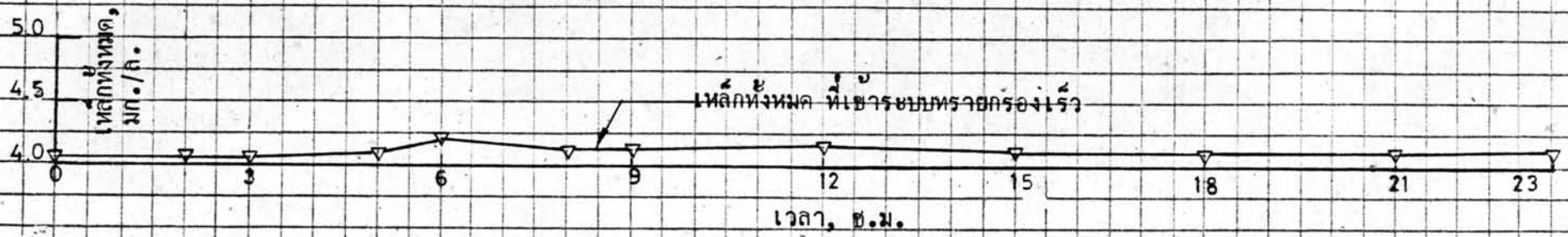
รูปที่ 5.20 ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 10 ม./ช.ม.



รูปที่ 5.21 ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 10 ม./ช.ม.



รูปที่ 5.22 ความฝืดของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 12.5 ม./ชม.



รูปที่ 5.23 ความขุ่นของตัวกรอง และการกำจัดเหล็กทั้งหมดในระบบทรายกรองเร็ว ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง เมื่ออัตราการกรอง 15 ม./ช.ม.

ตารางที่ 5.16 อายุการกรองและเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย ในการกำจัด  
เหล็กโดยการกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองต่าง ๆ

การทดลอง ที่	อัตราการ กรอง, ม./ช.ม.	อายุการกรอง, ช.ม. เมื่อพิจารณาจาก			% น้ำที่สูญเสีย ในการ ล้างทราย
		ความผิดของ ตัวกรองครบ 180 ช.ม.	เหล็กทั้งหมดใน น้ำที่กรองแล้ว 0.3มก./ล.	เหล็กทั้งหมดใน น้ำที่กรองแล้ว 1.0มก./ล.	
5/1	5	15	> 15	> 15	31.45
5/2		14.50	> 15	> 15	36.14
5/3		14	> 14.50	> 14.50	33.70
เฉลี่ย		14.50	> 15	> 15	33.76
6/1	7.5	16.50	≤ 6	> 16.50	22.4
6/2		16.50	> 16.50	> 16.50	22.24
6/3		15.50	> 16	> 16	23.67
เฉลี่ย		16.17	> 13	> 16.50	22.72
7/1	10	19	0	> 19	18.62
7/2		18	≤ 3	> 18	19.65
เฉลี่ย		18.5	-	> 18.5	19.135
8	12.5	22.5	0	≤ 3	12.72
9	15	23.25	0	≤ 3	10.14

เมื่ออัตราการกรองมากขึ้น เหล็กจะแทรกตัวลงไปในตัวกรองให้ลึกลงมากขึ้น กล่าวมาแล้ว  
 ในข้อ (2) เมื่อเหล็กถูกคักไว้ในตัวกรองไม่มากเท่าที่ควร และโคบอลต์ลงไปในตัวกรอง  
 ลึกลงมากขึ้นจึงทำให้ทรายกรองอุดตันโคบอลต์หรือทำให้อายุการกรองมากขึ้น

อนึ่ง เมื่อพิจารณาอายุการกรองจากปริมาณเหล็กในน้ำที่กรองแล้วไม่เกิน 1.0  
 มก./ล. จะพบว่าที่อัตราการกรอง 10 ม./ช.ม. อายุการกรองจะมากที่สุด และเมื่อ  
 พิจารณาอายุการกรองจากปริมาณเหล็กในน้ำที่กรองแล้วไม่เกิน 0.3 มก./ล. จะพบว่าที่  
 อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. อายุการกรองจะมากที่สุด

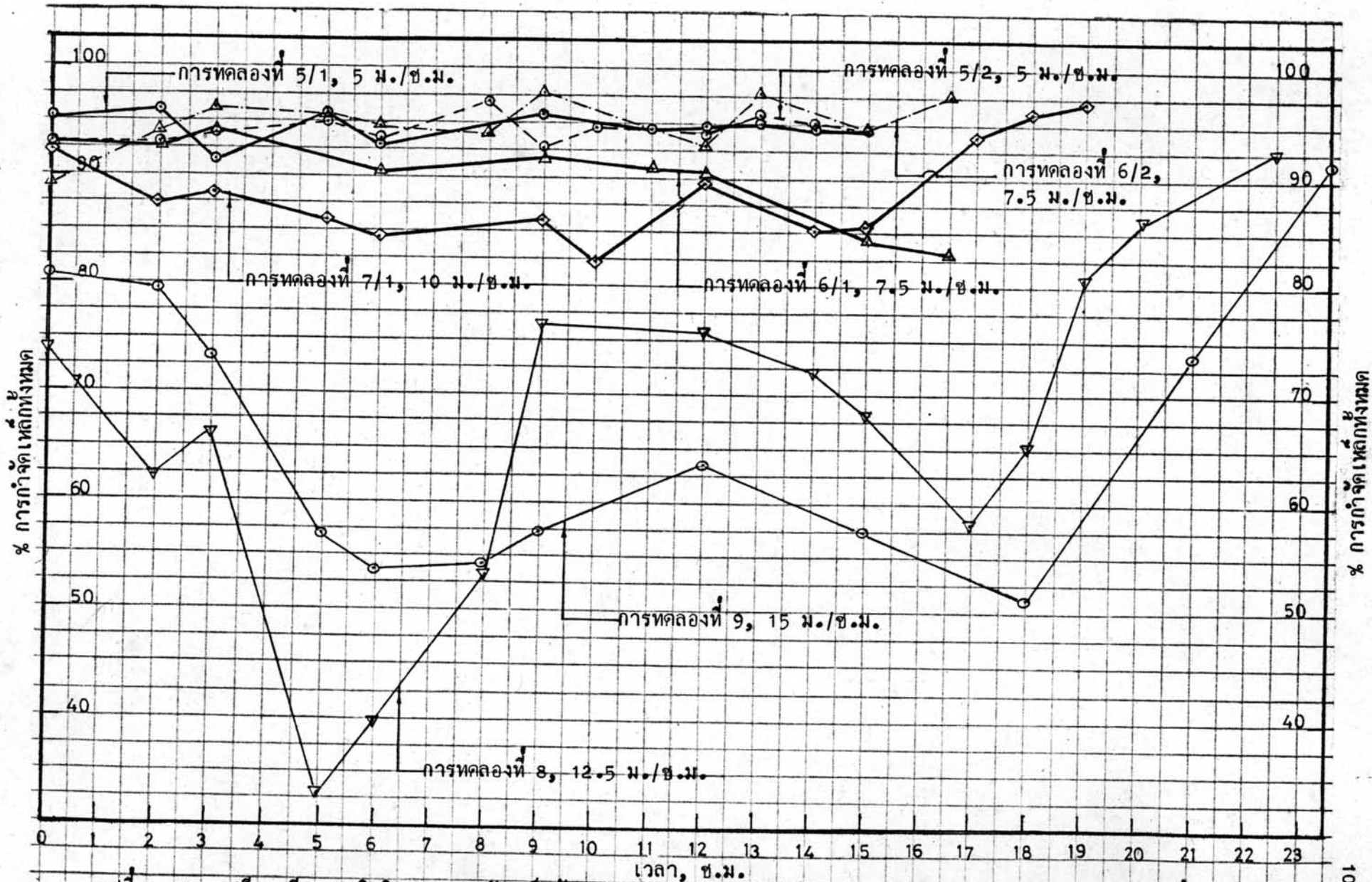
#### (6) เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย

เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย ภายหลังจากการกำจัดเหล็กโดยการกรอง  
 โดยตรงด้วยระบบทรายกรองเร็ว ที่อัตราการกรองต่าง ๆ ตลอดอายุการกรอง แสดงไว้  
 ในตารางที่ 5.16

จากตารางที่ 5.16 หอจะสรุปได้ว่า เมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก  
 5 ม./ช.ม. ถึง 15 ม./ช.ม. เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายจะลดลงเป็นลำดับ  
 จาก 33.76 ถึง 10.14 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำ  
 ที่ระบบทรายกรองเร็วสามารถกรองโคบอลต์ตลอดอายุการกรองจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของอัตรา  
 การกรองที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายที่เหมาะสมกลับเพิ่มขึ้นเพียง เล็ก  
 น้อย การที่ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายที่เหมาะสม ได้เพิ่ม  
 ขึ้นเพียงเล็กน้อยนี้เป็นเพราะว่าเมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้นตะกอนเหล็กจะถูกคักไว้ในชั้นทราย  
 เพิ่มขึ้นไม่มากเท่าที่ควร เมื่อปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทรายที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่  
 ปริมาณน้ำที่กรองโคบอลต์ตลอดอายุการกรองได้เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จึงทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำที่  
 สูญเสียในการล้างทรายลดลง

#### 5.3.2 การพิจารณาอัตราการกรองที่เหมาะสม

การพิจารณาอัตราการกรองที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบการกำจัดเหล็กทั้ง  
 หมอในระบบทรายกรองเร็ว ที่อัตราการกรองต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กทั้งหมด ในระบบทรายกรองเร็ว (แบบทดลอง) โดยการกรองโดยตรง ระหว่าง อัตราการกรองต่าง ๆ

% การกำจัดเหล็กทั้งหมด



จากรูปที่ 5.24 เมื่อได้แปรค่าของอัตราการกรองเรียงจากน้อยไปหามาก คือ 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 ม./ช.ม. จะเห็นได้ว่า

(ก) เปอร์เซนต์ (โดยเฉลี่ย) การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว ของแต่ละการทดลองได้มีค่าลดลงเป็นลำดับ ตามอัตราการกรองที่มากขึ้น (ดูหัวข้อที่ 5.3.1)

(ข) การทดลองที่มีอัตราการกรองเป็น 5 และ 7.5 ม./ช.ม. จะมีเปอร์เซนต์ (โดยเฉลี่ย) ในการกำจัดเหล็กสูงที่สุด และใกล้เคียงกัน และเปอร์เซนต์ในการกำจัดเหล็กที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรองของการทดลองที่อัตราการกรองดังกล่าวก็เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

(ค) การทดลองที่มีอัตราการกรองมากกว่า 7.5 ม./ช.ม. จะมีเปอร์เซนต์ (โดยเฉลี่ย) การกำจัดเหล็กลดลงจากการทดลองที่มีอัตราการกรอง 7.5 ม./ช.ม. อย่างเห็นได้ชัด และเปอร์เซนต์ในการกำจัดเหล็กที่เวลาต่าง ๆ ตลอดอายุการกรองของการทดลองที่อัตราการกรองดังกล่าว ก็เป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ

อนึ่ง เมื่อพิจารณาอัตราการกรองที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว, อายุการกรอง, เปอร์เซนต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย และความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว ที่อัตราการกรองต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.17

จากตารางที่ 5.17

(ก) ที่อัตราการกรอง 5 และ 7.5 ม./ช.ม. เปอร์เซนต์การกำจัดเหล็ก (โดยเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) ในระบบทรายกรองเร็วมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าที่อัตราการกรองอื่น ๆ

(ข) ที่อัตราการกรอง 5 และ 7.5 ม./ช.ม. ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว (โดยเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าต่ำกว่าที่อัตราการกรองอื่น ๆ

(ค) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. อายุการกรอง มีค่าประมาณ 14 - 15 ช.ม. และที่อัตราการกรอง 7.5 ม./ช.ม. อายุการกรองมีค่าประมาณ  $15\frac{1}{2}$  -  $16\frac{1}{2}$  ช.ม.

(ง) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. เปอร์เซนต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย มีค่าประมาณ 31 - 26 % และที่อัตราการกรอง 7.5 ม./ช.ม. น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายมีค่าประมาณ 22 - 23 %

ตารางที่ 5.17 การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว, อายุการกรอง, ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทรายที่เหมาะสม ที่อัตราการกรองต่าง ๆ เมื่อกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรง ด้วยระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง

การทดลองที่	อัตราการกรอง, ม./ช.ม.	% การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว	อายุการกรอง, ช.ม.	% น้ำล้างที่สูญเสียในการล้างทราย	ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว, NTU.
5/1	5	94.73	15	31.45	0.64
5/2		94.18	14.50	36.14	0.59
5/3		94.27	14	33.17	0.575
เฉลี่ย		94.40	14.50	33.70	0.635
6/1	7.5	90.17	16.50	22.24	0.71
6/2		95.14	16.50	22.24	0.926
6/3		95.41	15.50	23.67	0.567
เฉลี่ย		93.57	16.17	22.72	0.734
7/1	10	88.77	19	18.62	10.71
7/2		91.89	18	19.65	4.09
เฉลี่ย		89.93	18.5	19.135	7.045
8	12.5	66.94	22.25	12.72	20.71
9	15	66.17	23.25	10.14	42.33

- หมายเหตุ
1. % การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว และความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วของแต่ละการทดลองในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง.
  2. % การกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็วที่เวลาต่างๆ และอายุการกรองของแต่ละการทดลองถูกไถ่ในรูปที่ 5.11 ถึง 5.13 และ 5.17 ถึง 5.23

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้แสดงให้เห็นว่า อัตราการกรองที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจาก คุณภาพน้ำที่กรองแล้ว, ปริมาณน้ำที่กรองแล้ว และความประหยัดในการล้างทราย ควรจะเป็น 7.5 ม./ช.ม.

#### 5.4 การทำงานของระบบกำจัดเหล็กในโรงประปา

การทำงานของระบบกำจัดเหล็กในโรงประปาซึ่งเป็นเครื่องเติมอากาศแบบดาดหลายชั้น ตามด้วยระบบทรายกรองเร็วขนาดผลึกประมาณ 20 ม<sup>3</sup>/ช.ม. ของการประปาบ้านไผ่ชอคอน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และการประปาสู่ชาภิบาลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก มีรายละเอียดดังนี้

##### 5.4.1 การประปบบ้านไผ่ชอคอน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

การกำจัดเหล็กโดยการเติมอากาศตามด้วยการกรอง และการกรองโดยตรง แสดงไว้ในรูปที่ 5.25 และตารางที่ 5.18

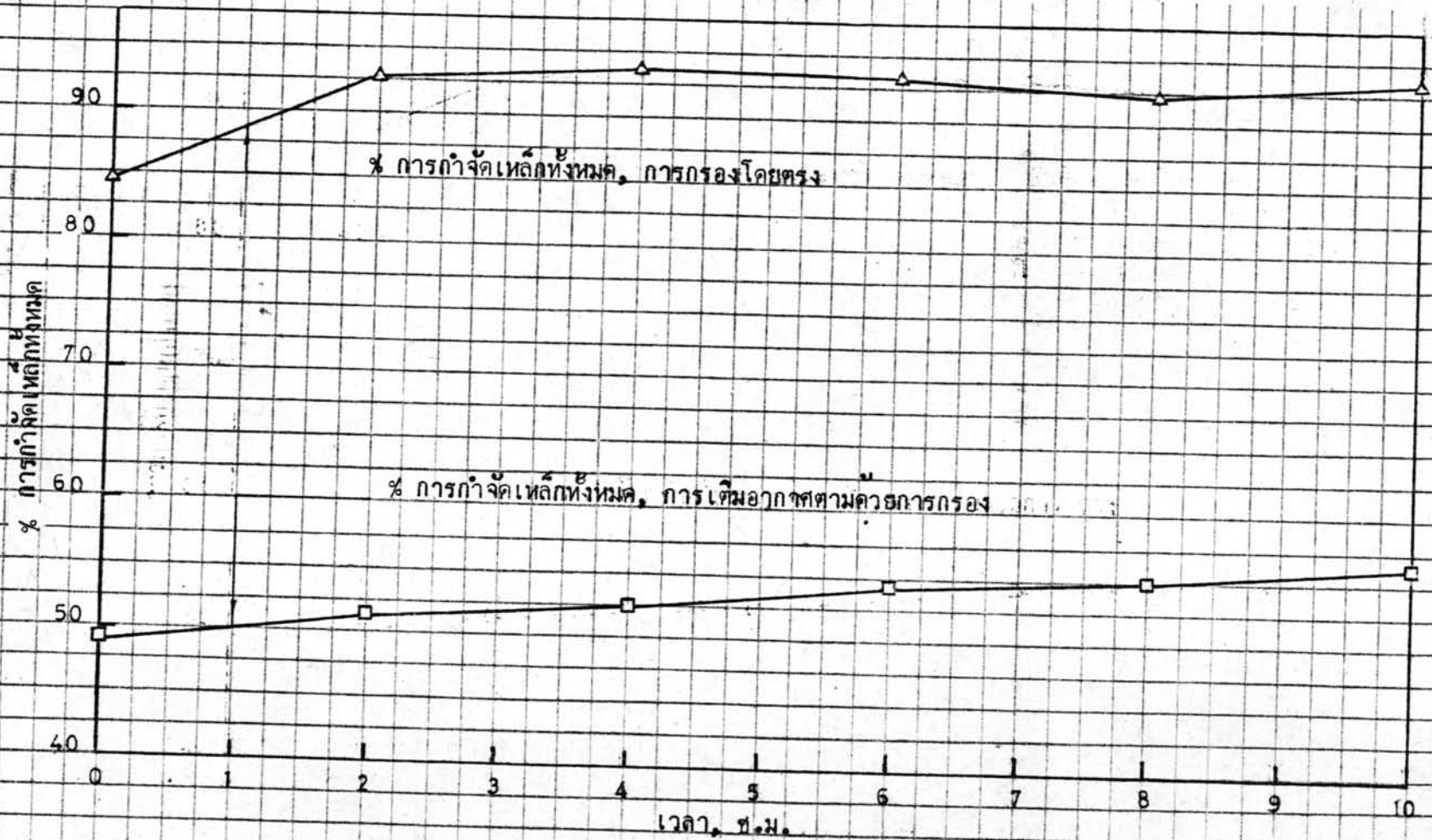
ในรูปที่ 5.25 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กระหว่างการกรองโดยตรง กับการเติมอากาศตามด้วยการกรองที่เวลาต่าง ๆ ในการกรอง จะเห็นได้ว่าการเติมอากาศตามด้วยการกรอง เครื่องเติมอากาศและระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กทั้งหมดได้ประมาณ 53 % เท่านั้น ขณะที่การกรองโดยตรง ระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กทั้งหมดได้ถึงประมาณ 92 %

จากตารางที่ 5.18

(ก) ที่อัตราการกรอง 1.8 ม./ช.ม. การกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า การเติมอากาศตามด้วยการกรอง ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองในแบบทดลอง (ตามหัวข้อที่ 5.2.4)

(ข) การกรองโดยตรงที่อัตราการกรอง 1.8 ม./ช.ม. เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบซึ่งมีค่าสูงถึง 3.283 มก./ล. ได้ถูกระบบทรายกรองเร็วกำจัดจนเหลือเพียง 0.113 มก./ล. เท่านั้น เพราะวาระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดี

การทดลองที่ 10 ทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วพร้อมด้วยเครื่องเติมอากาศในโรงประปาร การประปานครหลวง การกรอง มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ 4.28 ม./ช.ม. และอัตราการกรอง 1.8 ม./ช.ม., การกรองโดยตรง มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ ๐ ม./ช.ม. และอัตราการกรอง 1.8 ม./ช.ม. ค่าเฉลี่ยของเหล็กในน้ำดิบ 4.๖ มก./ลิ.



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กทั้งหมด ระหว่างการกรองโดยตรง กับการเติมอากาศตามด้วยการกรองที่ เวลาต่าง ๆ ในการกรอง ทดลอง ณ โรงประปานครหลวงประปานครหลวง

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว และความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วระหว่าง การเติมอากาศตามด้วยการกรอง กับการกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองเดียวกัน จากการทดลองด้วย เครื่องเติมอากาศตามด้วย ระบบทรายกรองเร็วในโรงประปา

การกำจัดเหล็กโดย	น้ำดิบ			น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ			น้ำที่กรองแล้ว			% การกำจัดเหล็กทั้งหมด	ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว, NTU.
	เหล็กทั้งหมด มก./ลิ	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ลิ	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ลิ	เหล็กทั้งหมด มก./ลิ	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ลิ	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ลิ	เหล็กทั้งหมด มก./ลิ	เหล็ก Fe <sup>+2</sup> , มก./ลิ	เหล็ก Fe <sup>+3</sup> , มก./ลิ		
การเติมอากาศตามด้วยการกรอง	4.075	3.28	0.795	3.75	2.608	1.142	1.917	0.063	1.854	52.96	48.3
การกรองโดยตรง	4.13	3.283	0.847	-	-	-	0.348	0.113	0.235	91.57	7.17

- หมายเหตุ
1. อัตราการไหลของน้ำคือน้ำที่ได้ออกเติมอากาศที่ใช้ทดลองคือ 4.28 ม./ช.ม.
  2. อัตราการกรองที่ใช้ทดลอง คือ 1.8 ม./ช.ม.
  3. ระยะเวลาในการกรองอย่างต่ำเบื้องต้นเท่ากับ 10 ชั่วโมง
  4. ค่าของเหล็กในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยตลอดเวลาการกรอง 10 ช.ม.

5. ระบบทรายกรองเร็วพร้อมด้วยเครื่องเติมอากาศในโรงประปา ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นของการประปานครหลวง อำเภอมะนัง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งมีกำลังผลิตน้ำประปาได้ประมาณ 20 ม<sup>3</sup>/ช.ม.



รูปที่ 5.26 ลักษณะของน้ำบาดาลเมื่อเรียงจากซ้ายไปขวา คือ น้ำก่อนผ่านการกำจัดเหล็ก, น้ำที่ผ่านการกำจัดเหล็กโดยการเติมอากาศตามด้วยการกรอง และน้ำที่ผ่านการกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรง ซึ่งได้จากการทดลองด้วยเครื่องเติมอากาศแบบดาดหลายชั้น และระบบทรายกรองเร็วของการประปบบ้านไผ่ช่อคอน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

(ก) ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว จากการเติมอากาศตามด้วยการกรองที่อัตราการกรอง 1.8 ม./ช.ม. มีค่าถึง 48.3 NTU. ขณะที่ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วจากการกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงที่อัตราการกรองเดียวกัน มีค่าเพียง 7.17 NTU. เพราะว่าน้ำที่กรองแล้วจากการกรองโดยตรงมีปริมาณเหล็กต่ำกว่า

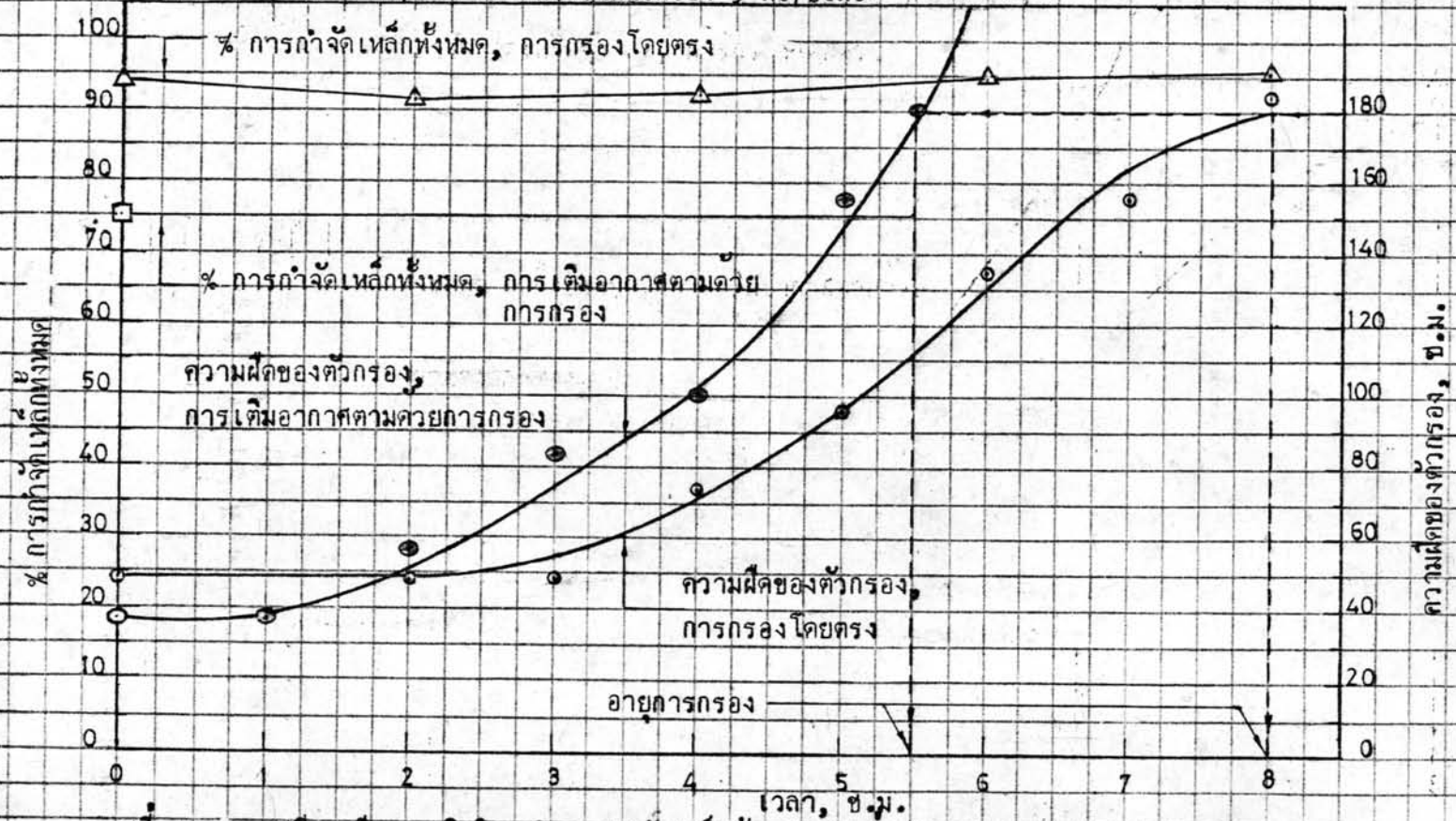
จากที่กล่าวมาในหัวข้อนี้ สรุปได้ว่าที่อัตราการกรอง 1.8 ม./ช.ม. น้ำที่กรองแล้วจากการกรองโดยตรงจะมีคุณภาพสูงกว่า น้ำที่กรองแล้วจากการเติมอากาศตามด้วยการกรอง (คุณลักษณะของน้ำที่กรองแล้วจากที่กล่าวมานี้ในรูปที่ 5.26)

#### 5.4.2 การประปาสุขาภิบาลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก

การกำจัดเหล็กโดยการเติมอากาศตามด้วยการกรอง และการกรองโดยตรง แสดงไว้ในรูปที่ 5.27 และตารางที่ 5.19

จากรูปที่ 5.27 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กระหว่างการกรองโดยตรง กับการเติมอากาศตามด้วยการกรอง ที่เวลาต่าง ๆ ในการกรองจะเห็นได้ว่าการกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรง ระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กทั้งหมดได้ประมาณ 93 % แต่การเติมอากาศตามด้วยการกรอง ทั้งเครื่องเติมอากาศและระบบทรายกรองเร็ว สามารถกำจัดเหล็กทั้งหมดได้เพียงประมาณ 75 % เท่านั้น และเมื่อพิจารณาความฝืดของตัวกรองด้วยเส้นโค้งแสดงความฝืด จะเห็นได้ว่า ความฝืดของตัวกรองเมื่อกำจัดเหล็กโดยการเติมอากาศตามด้วยการกรองนั้น ความฝืดของตัวกรองจะเพิ่มมากขึ้นตลอดอายุการกรอง เพราะว่าตะกอนเหล็กได้ขั้บถมที่บริเวณหน้าทรายเพิ่มขึ้นตลอดเวลา แต่ความฝืดของตัวกรองเมื่อกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงนั้นใน 2 - 3 ชั่วโมงแรกของการกรอง ความฝืดของตัวกรองจะมีค่าคงที่ เพราะว่าตะกอนเหล็กยังเข้าไปในชั้นทรายได้น้อย ใน 2 - 3 ชั่วโมงต่อมาความฝืดของตัวกรองจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เพราะว่าตะกอนเหล็กได้แทรกตัวเข้าไปในชั้นทราย เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเช่นกัน และในชั่วโมงสุดท้ายของการกรอง ความฝืดของตัวกรองจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง เพราะว่าความดันของน้ำที่หน้าทรายมีปริมาณสูงมาก ทำให้ระดับน้ำเหนือหน้าทรายเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง

การทดลองที่ 11 ทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็วพร้อมด้วยเครื่องเติมอากาศในโรงประปาศึกษา การประปาสุขาภิบาลบางกระทุ่ม  
 การเติมอากาศตามด้วยการกรอง มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ 10.81 ม./ช.ม.  
 และอัตราการกรอง 5 ม./ช.ม., การกรองโดยตรง มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศ  
 ∞ ม./ช.ม. และอัตราการกรอง 5 ม./ช.ม.



รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กทั้งหมด ระหว่างการกรองโดยตรง กับการเติมอากาศตามด้วยการกรองที่เวลาต่าง ๆ ในการกรอง ทดลอง ณ โรงประปาศึกษาสุขาภิบาลบางกระทุ่ม



ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว, อายุการกรอง และ ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว ระหว่างการเติมอากาศตามควยการกรอง กับ การกรองโดยตรง ที่อัตราการกรองเดียวกัน

การกำจัดเหล็กโดย	น้ำดิบ			น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ			น้ำที่กรองแล้ว			% การกำจัดเหล็กทั้งหมด	ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว, NTU.	อายุการกรอง, ชม.
	เหล็กทั้งหมด	เหล็ก Fe <sup>+2</sup>	เหล็ก Fe <sup>+3</sup>	เหล็กทั้งหมด	เหล็ก Fe <sup>+2</sup>	เหล็ก Fe <sup>+3</sup>	เหล็กทั้งหมด	เหล็ก Fe <sup>+2</sup>	เหล็ก Fe <sup>+3</sup>			
	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ	มก./ลิ			
Ar. + F	12.85	11.9	0.95	12	11	1.0	3.2	0.281	2.92	75.1	44	5 $\frac{1}{2}$
D.F.	12.85	11.9	0.95	-	-	-	0.842	0.462	0.38	93.45	1.474	8

- หมายเหตุ 1. อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองคือ 10.81 ม./ชม.
2. อัตราการกรองที่ใช้ในการทดลองคือ 5 ม./ชม.
3. ค่าของเหล็กในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยตลอดอายุการกรอง.
4. ระบบทรายกรองเร็วพร้อมควยเครื่องเติมอากาศในโรงประปา ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นของการประปาสุขาภิบาลบางกระทุ่ม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งมีกำลังผลิตน้ำประปาได้ประมาณ 20 ม<sup>3</sup>/ชม.
5. Ar. + F = การเติมอากาศตามควยการกรอง และ D.F. = การกรองโดยตรง
6. อายุการกรอง ได้มาจากรูปที่ 5.27

จากตารางที่ 5.19 หอจะสรุปได้ว่า

(ก) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. การกรองโดยตรงจะกำจัดเหล็กได้สูงกว่าการเติมอากาศตามด้วยการกรอง ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองในแบบทดลองตามหัวข้อที่ 5.2.4

(ข) การกำจัดเหล็กโดยการกรองโดยตรงที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบซึ่งมีค่าสูงถึง 11.9 มก./ล. ได้ถูกระบบทรายกรองเร็วกำจัดจนเหลือเพียง 0.462 มก./ล. เท่านั้น เพราะวาระบบทรายกรองเร็วสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ดี

(ค) ที่อัตราการกรอง 5 ม./ชม. ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วจากการเติมอากาศตามด้วยการกรองจะสูงกว่าความขุ่นของน้ำที่กรองแล้วจากการกรองโดยตรงเพราะว่าน้ำที่กรองแล้วจากการเติมอากาศตามด้วยการกรอง มีปริมาณเหล็กทั้งหมดมากกว่า

จากที่กล่าวมาทั้ง 3 ข้อนี้สรุปได้ว่าน้ำที่กรองแล้วจากการกรองโดยตรงจะมีคุณภาพสูงกว่า น้ำที่กรองแล้วจากการเติมอากาศตามด้วยการกรองซึ่งหมายถึงว่า ผลการทดลองในโรงประปานั้นสามารถยืนยันผลการทดลองในแบบทดลองได้