

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและการวิจารณ์

#### 5.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการ

##### 5.1.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบ

ได้ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการ ดังรายการดัชนีคุณภาพน้ำ (parameters) ที่ระบุไว้ในหัวข้อ 4.2.1 การเก็บตัวอย่างใช้ระยะเวลาประมาณ 3 เดือนครึ่ง ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2537 ถึงวันที่ 17 มกราคม 2538 ได้ผลการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ ก.1-ก.4 ภาคผนวก ก. และกราฟรูปที่ 5.1 ถึง 5.12 ซึ่งได้สรุปค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบ (ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
pH		6.5	7.1
Specific Conductivity	$\mu\text{S/cm.}$	195	330
Turbidity	NTU	0.20	1.00
Total Hardness	ppm as $\text{CaCO}_3$	68	114
Calcium	ppm as $\text{CaCO}_3$	38	70
Magnesium	ppm as $\text{CaCO}_3$	30	40
Iron	ppm	nil	nil
Total Alkalinity	ppm as $\text{CaCO}_3$	48.3	93.4
Bicarbonate	ppm as $\text{CaCO}_3$	58.9	113.7
Carbonate	ppm as $\text{CaCO}_3$	nil	nil
Hydroxide	ppm as $\text{CaCO}_3$	nil	nil
Chloride	ppm	6	38
Sulfate	ppm	21.6	49.6
Silica	ppm	7	9

### 5.1.2 วิจารณ์ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบ

จากผลการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการทดลอง เป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือนครั้ง พบว่าน้ำดิบมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพไปตามช่วงเวลาที่ทำ การเก็บตัวอย่าง (1 ตุลาคม 2537 - 17 มกราคม 2538) ในระดับพอสมควร อาทิเช่น ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) มีค่าต่ำสุด 68 และค่าสูงสุด 114 ppm as CaCO<sub>3</sub> ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) มีค่าต่ำสุด 48.3 และค่าสูงสุด 93.4 ppm as CaCO<sub>3</sub> และค่าคลอไรด์ (Chloride) มีความเข้มข้นต่ำสุด 6 และค่าสูงสุด 38 ppm ในเมื่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตามค่าดัชนีคุณภาพน้ำต่าง ๆ ดังผลการตรวจวัดที่ได้มา ดังนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงในการ ออกแบบหน่วยปฏิบัติการที่จะใช้ทำการทดลองด้วย อย่างไรก็ตามแม้ว่าคุณภาพน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างพอสมควร แต่ก็เห็นได้ว่าคุณภาพน้ำยังมีคุณภาพที่อยู่ในช่วงของน้ำจืด และดีพอที่จะออก แบบระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อทำการทดลองได้ ดังนั้นในการออกแบบระบบในที่นี่จึงได้นำค่าสูงสุด (Maximum Values) ของทุกดัชนีคุณภาพน้ำ (Parameters) มาใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบสามารถทดลองได้ แม้กระทั่งช่วงที่น้ำมีไอออนของแร่ธาตุสูงสุด (Maximum Ionic Loading) โดยที่ระยะเวลาทดลองต่อระบบ (Cycle Time) ยังคงพอเหมาะ (ไม่น้อยเกินไป) และเพื่อเป็นการ เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบ (Safety Factor)

## 5.2 ผลการวัดขนาดมิติภายในหอแต่ละหอของหน่วยปฏิบัติการ

ทำการวัดมิติภายในหอได้ผลตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการวัดขนาดมิติภายในหอแต่ละหอ

รายการ	โคเคอร์เรนต์		เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์	
	หอเรซิน ประจุบวก	หอเรซิน ประจุลบ	หอเรซิน ประจุบวก	หอเรซิน ประจุลบ
ความสูงภายในหอ, ซม.	118.0	117.0	118.0	117.0
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน, ซม.	9.65	14.05	9.65	14.05
ปริมาตรภายในหอก่อนหักลบปริมาตรหัวรับ- จ่ายน้ำ, ซม <sup>3</sup>	8,630	18,140	8,630	18,140
ปริมาตรภายในหอหลังหักลบปริมาตรหัวรับ- จ่ายน้ำ 2 หัว, ซม <sup>3</sup>	8298	17,808	8298	17,808



114 ซม.อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้อมูลนี้มาใช้จัดสร้างหอในทางปฏิบัติจริงแล้วต้องเผื่อปริมาตรของหัวรับ-จ่ายน้ำภายในของหอ หอละ 2 หัว

จากการดำเนินการจัดสร้างระบบจริง และผลการทดลองวัดขนาดมิติภายในของหอแต่ละหอ และขนาดมิติของหัวรับ-จ่ายน้ำ ตามผลการทดลองข้อ 5.2 และ 5.3 พบว่า ขนาดของหอเมื่อหักลบปริมาตรหัวรับ-จ่ายน้ำแล้ว กรณีหอเรซินประจุบวกสามารถบรรจุเรซินประจุบวกได้เท่ากับ 8.298 ลิตร และกรณีหอเรซินประจุลบสามารถบรรจุเรซินประจุลบได้เท่ากับ 17.808 ลิตร เมื่อบรรจุเรซินเต็มหอพอดี

เมื่อนำข้อมูลปริมาณเรซินของหอจริงเปรียบเทียบกับปริมาณเรซินจากการคำนวณทางทฤษฎีจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน แสดงว่าการจัดสร้างระบบจริง สามารถสร้างได้ใกล้เคียงกับความต้องการจากการออกแบบตามทฤษฎีเบื้องต้นมา ทำให้ได้หอและระบบที่จะใช้ทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ซึ่งจะทำให้การทดลองและการพิจารณาผลเป็นไปได้อย่างขึ้น

อย่างไรก็ตามถึงแม้ตัวเลขทั้งสองจะมีความใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง ดังนั้นในการปฏิบัติการทดลองจริงแล้วจะต้องนำตัวเลขปริมาณเรซินจากหอจริงมาคิดคำนวณดัชนี (Parameters) ต่าง ๆ ใหม่ เช่น ความสามารถจับประจุของเรซินขณะเดินเครื่อง (Resin Operating Capacity) , ระยะเวลาการจ่ายน้ำต่อรอบ (Cycle Time) , ปริมาณรีเจนเนอเรนต์ที่ต้องใช้ (Amount of Regenerants) เป็นต้น

## 5.4 ผลการทดลองการขยายตัวของเรซินในห้องปฏิบัติการ

### 5.4.1 ผลการทดลอง

การทดลองการขยายตัวของเรซินประจุบวกและเรซินประจุลบในห้องปฏิบัติการ ให้ผลดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองการขยายตัวของเรซิน

รูปแบบของเรซิน	ปริมาณของเรซิน(มล.)					
	เรซินประจุบวก			เรซินประจุลบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
รูปแบบอิมตัว (Exhausted form)	40.40	40.90	40.80	28.55	28.50	28.40
รูปแบบรีเจนเนอเรต * (Regenerated form)	41.50	42.00	41.90	33.30	33.00	33.00
การขยายตัว (%)	2.72	2.67	2.70	16.64	15.79	16.20
การขยายตัวเฉลี่ย (%)	2.697			16.210		

หมายเหตุ : \* รูปแบบรีเจนเนอเรตของเรซินประจุบวก คือรูปแบบไฮโดรเจน  
รูปแบบรีเจนเนอเรตของเรซินประจุลบ คือรูปแบบไฮดรอกไซด์

การคำนวณ

$$\% \text{การขยายตัวของเรซิน} = \left\{ \frac{(\text{ปริมาณเรซินรูปแบบรีเจนเนอเรต}) - (\text{ปริมาณเรซินรูปแบบอิมตัว})}{(\text{ปริมาณเรซินรูปแบบอิมตัว})} \right\} \times 100\%$$

#### 5.4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษา Engineering Bulletin ของเรซินประจุบวก (AMBERLITE 200) มีค่า Reversible Swelling 3-5 % on complete conversion from Na to H form และจาก Product Data Sheet ของเรซินประจุลบ (AMBERLITE IRA 900) มีค่า Maximum reversible swelling 20 % form  $\text{Cl}^- \rightarrow \text{OH}^-$

จากการทดลองได้ค่า % การขยายตัวเฉลี่ยของเรซินประจุบวกเท่ากับ 2.697 % ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลใน Bulletin บ้าง อาจเป็นเพราะว่าการรีเจนเนอเรตไม่สมบูรณ์ หรือความผิดพลาดจากการทดลอง หรือน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองทำให้เรซินอิมตัวมีไอออนประจุบวกหลายชนิด คือ  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  แต่ใน Bulletin หมายถึง  $\text{Na}^+$  เพียงประเภทเดียว

อนึ่งค่า % การขยายตัวเฉลี่ยของเรซินประจุลบเท่ากับ 16.210 % ซึ่งอาจถือว่าอยู่ในช่วงถูกต้อง เพราะอย่างน้อยกว่า 20 % แต่ก็คงมีความผิดพลาดในการทดลองบ้างด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกับเรซินประจุบวกข้างต้น

## 5.5 ผลการทดลองคำนวณปริมาณเรซินในรูปแบบอิมิตัวที่ต้องใช้กับหน่วยปฏิบัติการ

จากผลการทดลองการขยายตัวของเรซินตามข้อ 5.4 สามารถคำนวณหาปริมาณเรซินในรูปแบบอิมิตัว (Exhausted form) ที่ต้องใช้เติมในหอด่าง ๆ ได้ตามตารางที่ 5.5 และสามารถคำนวณต่อเป็นค่าความสูงของชั้นเรซิน เพื่อใช้เติมเรซินจนกระทั่งได้ตามความสูงนั้นก็จะได้ปริมาณเรซินในหอดแต่ละหอดตามต้องการ

ตารางที่ 5.5 ปริมาณเรซินในรูปแบบอิมิตัวที่ต้องใช้กับหอดแต่ละหอด

รายการ	โคเคอร์เรนต์		เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์	
	หอรเรซิน ประจุบวก	หอรเรซิน ประจุลบ	หอรเรซิน ประจุบวก	หอรเรซิน ประจุลบ
% การขยายตัวของเรซิน	2.697	16.210	2.697	16.210
ปริมาตรเรซินรูปแบบรีเจนเนอเรต, ลิตร	8.298	17.808	8.298	17.808
ปริมาตรเรซินรูปแบบอิมิตัว, ลิตร	8.080	15.324	8.080	15.324
ความสูงของชั้นเรซิน, ซม.	110.5	98.8	110.5	98.8

(ดูตัวอย่างวิธีการคำนวณในหัวข้อ ข.2 ภาคผนวก ข.)

## 5.6 การคำนวณหาปริมาณรีเจนเนอเรนต์ที่ต้องใช้จริง

การคำนวณรีเจนเนอเรนต์ตามหัวข้อ 3.3.5.3 ของบทที่ 3 ให้ค่าปริมาณเรซินที่ออกแบบไว้ แต่เมื่อนำค่าขนาดต่าง ๆ ของการออกแบบมาจัดสร้างหอด่าง ๆ ของหน่วยปฏิบัติการทดลองจริงพบว่าตัวเลขขนาดจริงจากหน่วยปฏิบัติการที่สร้างได้มีความแตกต่างไปจากตัวเลขของขนาดที่ออกแบบไว้ ดังนั้นการคำนวณรีเจนเนอเรนต์ตามหัวข้อ 3.3.5.3 จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้อย่างแม่นยำกับหน่วยปฏิบัติการจริง จำเป็นต้องทำการคำนวณรีเจนเนอเรนต์ใหม่ จากปริมาณเรซินที่ใช้จริงภายในหอดแต่ละหอด

เนื่องจากทั้งระบบโคเคอร์เรนต์และเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์ใช้ปริมาณเรซินในหอรเรซินประจุบวกและหอรเรซินประจุลบเท่ากัน ในที่นี้จึงไม่ต้องแยกคำนวณเป็นสองระบบ

- กรณีเรซินประจุบวก

ปริมาณเรซินที่ใช้ 8.298 ลิตร (เมื่อคิดว่าบรรจุเรซินเต็มหลอด) จากข้อมูลใน Handbook : Norbert Adolph Lange, "Lange's Handbook of Chemistry", 10<sup>th</sup> edition, Ohio, U.S.A., 1967 p.1141-1142.

HCl 4 %	wt	สมมูลย์กับ	40.72	g/l
HCl 6 %	wt	สมมูลย์กับ	61.67	g/l
HCl 34 %	wt	สมมูลย์กับ	397.5	g/l
และ HCl 36 %	wt	สมมูลย์กับ	424.4	g/l

ดังนั้นจะได้ว่า,

$$\begin{aligned} \text{HCl 35 \% wt} \quad \text{สมมูลย์กับ} \quad & \frac{424.4+397.5}{2} \quad \text{g/l} \\ & = 410.95 \quad \text{g/l} \end{aligned}$$

การกำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรต 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร หมายความว่า

ต้องใช้กรดเกลือเข้มข้น 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร

กรณีนี้ใช้เรซิน 8.298 ลิตร เพราะฉะนั้นต้องใช้กรดเกลือเข้มข้น

จำนวนทั้งสิ้น  $8.298 \times 100 = 829.8$  กรัม

จากข้อมูลใน Handbook,

HCl (Conc.) จำนวน 411.05 g มีอยู่ใน	1	I HCl 35 % wt
HCl (Conc.) จำนวน 829.8 g มีอยู่ใน	$\frac{1 \times 829.8}{411.05}$	I HCl 35 % wt
	= 2.019	I HCl 35 % wt

จากข้อมูลใน Handbook, จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{HCl 5 \% wt} \quad \text{สมมูลย์กับ} \quad & \frac{40.72 + 61.67}{2} \quad \text{g/l} \\ & = 51.195 \quad \text{g/l} \end{aligned}$$

นั่นคือ

HCl (Conc.) จำนวน 51.195 g มีอยู่ใน	1	I HCl 5 % wt
HCl (Conc.) จำนวน 829.8 g มีอยู่ใน	$1 \times 829.8$	I HCl 5 % wt
	51.195	
	= 16.209	I HCl 5 % wt

ดังนั้นสารรีเจนเนอเรนต์สำหรับเรซินประจุบวกเตรียมได้จาก การนำกรดเกลือเข้มข้น จำนวน 2.019 ลิตร มาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์จนได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 16.209 ลิตร ก็จะได้ สารรีเจนเนอเรนต์ที่มีความเข้มข้น 5 % wt และมีระดับการรีเจนเนอเรต เท่ากับ 100 g/l<sub>R</sub> ตาม ต้องการ

- กรณีเรซินประจุลบ

ปริมาณเรซินที่ใช้ 17.808 ลิตร (เมื่อคิดว่าบรรจุเรซินเต็มหอพอดี) จากข้อมูลใน Handbook เล่มเดียวกัน หน้า 1150

NaOH 4 % wt	สมมูลย์กับ	41.71 g/l
และ NaOH 50 % wt	สมมูลย์กับ	762.7 g/l

การกำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรต 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร หมายความว่า

ต้องใช้โซดาไฟเข้มข้น 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร

กรณีนี้ใช้เรซิน 17.808 ลิตร เพราะฉะนั้นต้องใช้โซดาไฟเข้มข้น

จำนวนทั้งสิ้น  $17.808 \times 100 = 1780.8$  กรัม

จากข้อมูลใน Handbook,

NaOH (Conc.) จำนวน 762.7 g มีอยู่ใน	1	I NaOH 50 % wt
NaOH (Conc.) จำนวน 1780.8 g มีอยู่ใน	$1 \times 1780.8$	I NaOH 50 % wt
	762.7	
	= 2.335	I NaOH 50 % wt

จากข้อมูลใน Handbook, จะได้ว่า

NaOH 4 % wt	สมมูลย์กับ	41.71 g/l
-------------	------------	-----------



นั่นคือ

NaOH (Conc.) จำนวน 41.71 g มีอยู่ใน	1	I NaOH 4 % wt
NaOH (Conc.) จำนวน 1780.8 g มีอยู่ใน	$\frac{1 \times 1780.8}{41.71}$	I NaOH 4 % wt
	= 42.695	I NaOH 4 % wt

ดังนั้นสารรีเจนเนอเรนต์สำหรับเรซินประจุลบเตรียมได้จาก การนำโซดาไฟเข้มข้น จำนวน 2.335 ลิตร มาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์จนได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 42.695 ลิตร ก็จะได้สารรีเจนเนอเรนต์ที่มีความเข้มข้น 4 % wt และมีระดับการรีเจนเนอเรต เท่ากับ 100 g/l<sub>R</sub> ตามต้องการ

## 5.7 ผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตน้ำบริสุทธิ์ระหว่างแบบ แพ็กเบตชนิดโคเคอร์เรนต์และชนิดเคาน์เรนต์รีเจนเนอเรชัน

### ก) ผลการทดลองเบื้องต้นในขั้นเตรียมการ

การทดลองเบื้องต้นในขั้นเตรียมการนี้ ได้มีการทดลองเปลี่ยนแปลงแบบ เงื่อนไขการเดินเครื่อง การรีเจนเนอเรตหลาย ๆ เงื่อนไข อีกทั้งได้พิจารณาถึงข้อบกพร่องของ หน่วยปฏิบัติการที่ใช้ทดลองด้วยโดยการนำข้อมูลการผลทดลองเบื้องต้นนี้มาพิจารณาประกอบ หลังจากได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดพร้อมกับการแก้ไขปรับปรุงหน่วยปฏิบัติการแล้ว จึงนำผลการทดลองมา กำหนดใช้ในการทดลองศึกษาในขั้นทดลองจริงต่อไป

ผลการทดลองเบื้องต้นในขั้นเตรียมการ พอที่จะแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

#### 1) ผลการทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่หนึ่ง (Cycle # 1)

เงื่อนไขที่กำหนดไว้คือ

- การเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
- การรีเจนเนอเรต :
  - การล้างช้า (Slow rinse) : ใช้น้ำดิบล้างด้วยอัตราไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง โดยผ่านทางท่อจ่ายน้ำ (Service line) ไม่ได้ผ่านทางท่อรีเจนเนอเรต จำนวนน้ำ 5 BV (bed volume)

- การล้างเร็ว (Fast rinse): ใช้น้ำดิบล้างด้วยอัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง โดยผ่านทางท่อจ่ายน้ำ (Service line) จนกระทั่งค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- การล้างเร็ว : ทำโดยผ่านน้ำดิบเข้าหอเรซินประจุบวกแล้วผ่านต่อเข้าหอเรซินประจุลบในคราวเดียวกัน

### 1.1) ผลการทดลอง

ผลการทดลองรอบการทำงานที่หนึ่ง (Cycle # 1) เป็นดังแสดงอยู่ในตารางที่ ก. 5 ของภาคผนวก ก และกราฟรูปที่ 5.13 ถึง 5.16

### 1.2) การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำที่ผลิตได้ (น้ำขาออกจากหอเรซินประจุลบ) มีค่าไม่คงที่และมีการเปลี่ยนแปลง (Fluctuation) มากพอสมควร ซึ่งโดยปกติแล้วคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงมากขนาดนี้ เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่าเนื่องจากในช่วงขั้นตอนการล้างช้า (Slow rinse) ของการรีเจนเนอเรตใช้น้ำดิบผ่านเข้าทางท่อจ่ายน้ำ (Service line) จึงทำให้มีโซดาไฟเหลือค้างในทอรีเจนเนอเรต จากนั้นเมื่อทำการผลิตน้ำบริสุทธิ์ สันนิษฐานว่าโซดาไฟที่ค้างอยู่ ได้ค่อย ๆ แพร่กระจายในขณะที่น้ำไหลผ่านในสายผลิตน้ำจ่าย ดังนั้น สรุปได้ว่าการทดลองรอบการทำงานที่หนึ่ง (Cycle # 1) ยังมีเงื่อนไขวิธีการเดินเครื่อง และการรีเจนเนอเรตไม่เหมาะสม จึงยังไม่นำข้อมูลมาใช้พิจารณาใด ๆ ทั้งสิ้น เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น และได้นำข้อมูลนี้ไปปรับปรุงการทดลองในรอบการทำงานที่สอง (Cycle # 2) ต่อไป

อย่างไรก็ตามจากการทดลอง ทำให้พอที่จะทราบปริมาณการจ่ายน้ำต่อรอบการกรอง ได้โดยสังเกตจากค่า Free Mineral Acid (FMA) ที่น้ำขาออกจากเรซินประจุบวกและค่าซิลิกาที่นำขาออกจากเรซินที่ประจุลบ ซึ่งอยู่ในช่วง 3.7-4.5 ลบ.ม.

## 2) ผลการทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่สอง (Cycle # 2)

เงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ

- การเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
- การรีเจนเนอเรต :
  - การล้างช้า (Slow rinse) : แก้ไขโดยเปลี่ยนจากใช้น้ำดิบมาใช้น้ำบริสุทธิ์ และเปลี่ยนจากการล้างโดยผ่านทางท่อจ่ายน้ำมาผ่านทอรีเจนเนอเรต เพื่อให้ได้

รีเจนเนอเรชั่นให้หมดไม่ให้เกิดคั่งในท่อ โดยใช้อัตราไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อชั่วโมง และจำนวนน้ำ 5 BV เหมือนเดิม

- การล้างเร็ว (Fast rinse): แก๊ซโดยเปลี่ยนมาใช้ น้ำบริสุทธิ์แทนน้ำดิบ ผ่านท่อจ่ายน้ำเหมือนเดิม ด้วยอัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า  $20 \mu\text{S/cm}$ .
- การล้างเร็ว : ทำโดยผ่านน้ำบริสุทธิ์เข้าหอเรซินประจุบวกแล้ว ผ่านต่อเข้าหอเรซินประจุลบในคราวเดียวกัน

## 2.1) ผลการทดลอง

ผลการทดลองรอบการทำงานที่สอง (Cycle # 2) เป็นดังแสดงอยู่ในตารางที่ ก. 6 ของภาคผนวก ก และกราฟรูปที่ 5.17 ถึง 5.20

## 2.2) การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำที่ผลิตได้ (น้ำขาออกจากหอเรซินประจุลบ) ทั้งสองระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำที่จ่ายมีคุณภาพสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาของรอบการจ่ายน้ำ และจากการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชั่นมีค่าความนำไฟฟ้าในช่วง  $2-5 \mu\text{S/cm}$ . แต่สำหรับกรณีระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชั่นมีค่าความนำไฟฟ้าในช่วง  $5-10 \mu\text{S/cm}$ . จากค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ ทั้งสองระบบจะเห็นว่ายังมีค่าอยู่ในเกณฑ์สูงทั้งคู่ นอกจากนี้ค่าของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชั่นกลับมีค่าสูงกว่า ซึ่งขัดแย้งกับข้อสันนิษฐานทางทฤษฎี ดังนั้นการทดลองรอบที่สองนี้จะยังไม่นำมาพิจารณา แต่จะพยายามหาเงื่อนไขการรีเจนเนอเรตและการเดินเครื่องที่ดีขึ้น เพื่อยืนยันข้อมูลต่อไป

สรุปแล้วการแก้ปัญหาในการทดลองรอบการทำงานที่สอง ในขั้นตอนการล้างช้า (Slow rinse) โดยการให้น้ำไหลผ่านท่อรีเจนเนอเรตทั้งสองระบบ เพื่อแทนที่และชะล้างสารรีเจนเนอเรตไม่ให้เกิดคั่งในท่อก่อนขั้นตอนการจ่ายน้ำ สามารถแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารรีเจนเนอเรตในขณะจ่ายน้ำได้ แต่เนื่องจากคุณภาพน้ำขาออก ยังมีค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์สูง จึงได้ทำการปรับปรุงต่อไป โดยยังไม่นำเงื่อนไขการรีเจนเนอเรตนี้มาใช้ และยังไม่พิจารณาผลการทดลอง

อย่างไรก็ตามการทดลอง ทำให้ทราบว่าปริมาณการจ่ายน้ำต่อรอบการกรอง อยู่ใน ช่วง 4.0-4.4 ลบ.ม.

3) ผลการทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่สามและรอบที่สี่ (Cycle # 3 and Cycle # 4) เงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ

- การเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
- การรีเจนเนอเรต :
  - การล้างช้า : ทำเหมือนกับการทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่สอง โดยใช้น้ำบริสุทธิ์ล้าง ใช้อัตราไหลของน้ำ และปริมาณน้ำล้างเท่าเดิม คือ 30 ลิตรต่อชั่วโมง และ 5 BV ตามลำดับ
  - การล้างเร็ว : ทำโดยการล้างที่ละห่อ แยกอิสระจากกัน ไม่ล้างผ่านจากห่อ เรซินประจุบวกแล้วต่อเข้าห่อเรซินประจุลบเหมือนกับกรณีการทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่สอง แต่ใช้อัตราไหลการล้างเท่าเดิม คือ 200 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.1) ผลการทดลอง

ผลการทดลองรอบการทำงานที่สาม และรอบการทำงานที่สี่ เป็นดังแสดงอยู่ในตารางที่ ก. 7 และ ก. 8 ของภาคผนวก ก และกราฟรูปที่ 5.21 ถึง 5.28

### 3.2) การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองรอบการทำงานที่สาม และรอบการทำงานที่สี่ที่ได้ เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ผลการทดลองที่ได้คล้ายคลึงกับผลการทดลองรอบการทำงานที่สอง ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การล้างเร็วไม่ว่าจะทำโดยการล้างจากห่อเรซินประจุบวก แล้วต่อเข้าห่อเรซินประจุลบ ในคราวเดียว หรือล้างแยกที่ละห่อโดยอิสระจากกัน ผลการทดลองที่ได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองรอบการทำงานที่สามและรอบการทำงานที่สี่จึงยังไม่นำผลการทดลองมาพิจารณา เช่นกัน

จากการทดลอง พบว่าปริมาณการจ่ายน้ำต่อรอบการทำงานอยู่ในช่วง 2.7-3.4 ลบ.ม. ในการทดลองรอบที่ 3 และ 2.3-3.0 ลบ.ม. ในการทดลองรอบที่ 4 ตามลำดับ

4) ผลการทดลองขั้นเตรียมการทำงานรอบที่ห้าและหก (Cycle # 5 and Cycle # 6)

- การเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
- การรีเจนเนอเรต :

- การล้างช้า : ใช้น้ำบริสุทธิ์ล้างด้วยอัตราไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ผ่านทางท่อรีเจนเนอเรต จำนวน 5 BV เหมือนกับการทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่สอง
- การล้างเร็ว : ใช้น้ำบริสุทธิ์ล้างแยกทีละหอ แต่เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำจากเดิม 200 ลิตรต่อชั่วโมง มาเป็น 300 ลิตรต่อชั่วโมง ล้างจนกระทั่งค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า  $20 \mu\text{S/cm}$ .

#### 4.1) ผลการทดลอง

ผลการทดลองรอบการทำงานที่ห้า และรอบการทำงานที่หก เป็นดังแสดงอยู่ในตารางที่ ก. 9 และ ก. 10 ของภาคผนวก ก. และกราฟรูปที่ 5.29 ถึง 5.36

#### 4.2) การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ จะเห็นว่ากรณีของโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่มีคุณภาพน้ำดีขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย โดยสังเกตจากค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ออกจากหอเรซินประจุลบ มีค่าอยู่ในช่วง  $1.2-5 \mu\text{S/cm}$  ทั้งที่ในรอบการจ่ายน้ำของการทดลองรอบก่อน ๆ มีค่าอยู่ในช่วง  $2-5 \mu\text{S/cm}$  หรือมากกว่านั้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ ก็ยังถือว่าไม่เห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากนัก

สำหรับกรณีของเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน คุณภาพน้ำขาออกจากหอเรซินประจุบวกก็ยังคงมีค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์เดิม คือ อยู่ในช่วง  $4-13 \mu\text{S/cm}$  จะเห็นว่าคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร และมีคุณภาพแย่กว่ากรณีของระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน ซึ่งขัดแย้งกับข้อสันนิษฐานทางทฤษฎี ดังนั้นผู้วิจัยจึงยังไม่นำเสนอขั้นตอนเครื่องและการรีเจนเนอเรตนั้นมาเป็นข้อกำหนดในการศึกษาเปรียบเทียบระบบทั้งสองต่อไป

จากการทดลองรอบการทำงานที่ห้า และรอบการทำงานที่หก พบว่าระบบสามารถผลิตน้ำได้ในช่วง 2.3-3.4 ลบ.ม. ต่อรอบการกรอง ในการทดลองรอบการทำงานที่ห้า และ 3.4-4.2 ลบ.ม. ต่อรอบการกรองในการทดลองรอบการทำงานที่หก

- การวิจารณ์ผลการทดลองรวมทั้งตั้งแต่การทดลองขั้นเตรียมการรอบการทำงานที่หนึ่งถึงรอบการทำงานที่หก

จากผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ตั้งแต่ ข้อ 5.7.1 ถึง 5.7.4 พบว่า ในระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน สามารถจ่ายน้ำบริสุทธิ์ได้คุณภาพที่ดีกว่าระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน ทั้งที่ได้ลองเปลี่ยนแปลงวิธีการรีเจนเนอเรตหลายประการ

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเห็นว่าคุณภาพน้ำที่ผลิตได้จากระบบทั้งสองยังไม่ดีเท่าที่ควร โดยค่าความนำไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์สูง จึงน่าจะเป็นข้อสังเกตได้ว่า การทดลองอาจมีบางจุดไม่สมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงได้พยายามศึกษาต่อ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

จากจุดที่ยังเป็นปัญหาที่จะทำการศึกษาต่อนี้ จึงยังไม่นำข้อมูลของการทดลองทั้งหมดมาพิจารณาข้อมูล แต่เป็นเพียงการศึกษาคุณสมบัติ (Characteristics) ของระบบการจ่ายน้ำที่จัดสร้างขึ้นมาโดยคร่าว ๆ ก่อนเท่านั้น ต่อเมื่อได้แก้ไขปัญหาคงพร้อมเป็นที่เรียบร้อยแล้วและได้ข้อมูลที่ดีแล้ว จึงจะได้นำข้อมูลมาพิจารณาต่อไป

อย่างไรก็ดี จากการศึกษาทั้งหกรอบการทดลอง ทำให้ทราบว่าระบบสามารถผลิตจ่ายน้ำได้ไม่เท่ากันในแต่ละรอบการทดลอง ซึ่งจริง ๆ แล้วเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำดิบ ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงภาระไอออน (Ionic Loading) ของน้ำก่อนเข้าระบบนั่นเอง ปริมาณน้ำที่ผลิตได้เป็นดังนี้

รอบการทำงานที่หนึ่งจ่ายน้ำได้	ในช่วง	3.7-4.5	ลบ.ม.โดยประมาณ
รอบการทำงานที่สองจ่ายน้ำได้	ในช่วง	4.0-4.4	ลบ.ม.โดยประมาณ
รอบการทำงานที่สามจ่ายน้ำได้	ในช่วง	2.7-3.4	ลบ.ม.โดยประมาณ
รอบการทำงานที่สี่จ่ายน้ำได้	ในช่วง	2.3-3.0	ลบ.ม.โดยประมาณ
รอบการทำงานที่ห้าจ่ายน้ำได้	ในช่วง	2.3-3.4	ลบ.ม.โดยประมาณ
รอบการทำงานที่หกจ่ายน้ำได้	ในช่วง	3.4-4.2	ลบ.ม.โดยประมาณ

#### 5) ผลการตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องอื่น ๆ ของการผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ

จากผลการทดลองตามข้อ ก) ข้อย่อย 1) ถึง 5) ซึ่งได้เขียนสรุปผลไว้แล้วข้างต้น เห็นว่าควรพิจารณาเงื่อนไขประเด็นอื่น ๆ อีกเพื่อยืนยันข้อมูล ดังนั้นจึงได้ทำการเปิดหอบรรจุเรซินทั้งสองเพื่อตรวจสอบภายใน และแก้ไขระบบ โดยดำเนินการตั้งขั้นตอนต่อไปนี้

- 5.1) ทำการรีเจนเนอเรตเรซินทั้งสอง หอ ตามวิธีเช่นเดียวกับการทดลอง จนได้เรซินอยู่ในรูปแบบรีเจนเนอเรต
- 5.2) เปิดฝาปิดหอ (Column Caps) ของหอทั้งสอง โดยการขันสกรูออก
- 5.3) จากการตรวจสอบพบว่าภายในหอบรรจุเรซินประจุบวกมีเรซินหลังการรีเจนเนอเรตแล้ว บรรจุอยู่ไม่เต็มหอเหมือนกันทั้งในระบบโคเคอร์เรนต์ และเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน
- 5.4) ทำการเติมเรซินประจุบวก (AMBERLITE 200) ลงในหอของทั้งสองระบบในจำนวนเท่ากันจนเต็มหอ พบว่าต้องใช้เรซินในการเติม 350 มล.
- 5.5) ภายในหอบรรจุเรซินประจุลบ พบว่ามีเรซินบรรจุอยู่เต็มแล้วทั้งสองระบบจึงไม่ได้ทำการเติมเรซิน

- 5.6) ปิดฝาของหอทั้งหมด ชันสกรูให้แน่น
- 5.7) เติมน้ำดิบให้เต็มหอทั้งสี่จนล้น แล้วทำการวัดทดสอบความดัน (Hydrostatic) ระบบทั้งหมดอีกครั้งจนผ่าน จากนั้นทำการทดลอง ตามหัวข้อ 4.2.7 ของ บทที่ 4
- 5.8) ใช้น้ำดิบอัดล้างระบบโดยทั้งล้างในลักษณะจ่ายน้ำ และล้างย้อนกลับ
- 5.9) ใช้น้ำบริสุทธิ์อัดล้างแทนที่น้ำดิบ
- 5.10) ทำให้เรซินทั้งสองอยู่ในรูปแบบอิ่มตัวด้วยน้ำดิบ ตามหัวข้อ 4.2.10 ของ บทที่ 4

หลังจากได้ดำเนินการตามผลการตรวจสอบข้างต้นตามหัวข้อ 5.1) ถึง 5.10) แล้ว จึงได้นำหน่วยปฏิบัติการเข้าทำการทดลองต่อไป ตามหัวข้อ 4.2.11.3 ข้อ ข) และได้ผลการทดลอง ดังหัวข้อ 5.7 ข้อ ข) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปนี้

## ข) ผลการทดสอบสมรรถนะ

### 1) ผลการทดลอง

1.1) ผลการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่หนึ่ง : รอบการทำงานที่เจ็ด และแปด [ตามการทดลอง หัวข้อ 4.2.11.3 ข้อ ข) ข้อย่อย 1)]

- เงื่อนไขการเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง
- เงื่อนไขการรีเจนเนอเรต :
  - การล้างช้า : ใช้น้ำบริสุทธิ์ล้างด้วยอัตราไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ผ่าน ท่อที่รีเจนเนอเรต ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างช้า เท่ากับ 5 BV (bed volume)
  - การล้างเร็ว : ใช้น้ำบริสุทธิ์ล้างด้วยอัตราไหล 300 ลิตรต่อชั่วโมง ผ่านทางท่อจ่ายน้ำ โดยล้างทีละหอแยกกัน จนค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

ผลการทดลองตามเงื่อนไขที่หนึ่ง ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมงได้ผลการทดลองดังการทดลองรอบการทำงานที่เจ็ด (Cycle # 7) และรอบการทำงานที่ 8 (Cycle # 8) ตามตารางที่ ก.11 และ ก.12 ของภาคผนวก ก และรูปที่ 5.37 ถึง 5.60

1.2) ผลการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่สอง : รอบการทำงานที่  
 แก้วและลิบ [ตามการทดลองหัวข้อ 4.2.11.3 ข้อ ข) ข้อย่อย 2)]

- เงื่อนไขการเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมง
- เงื่อนไขการรีเจนเนอเรต : เหมือน ข้อ ข) ข้อย่อย 1)

ผลการทดลองตามเงื่อนไขที่สอง ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมงได้ผล  
 การทดลอง ดังการทดลองรอบการทำงานที่ แก้ว (Cycle # 9) และรอบการทำงานที่ลิบ (Cycle #  
 10) ตามตารางที่ ก.13 และ ก.14 ของภาคผนวก ก และรูปที่ 5.61 ถึง 5.84

1.3) ผลการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่สาม : รอบการทำงานที่ลิบ  
 เอ็ดและลิบสอง [ตามการทดลองหัวข้อ 4.2.11.3 ข้อ ข) ข้อย่อย 3)]

- เงื่อนไขการเดินเครื่อง : ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง
- เงื่อนไขการรีเจนเนอเรต : เหมือน ข้อ ข) ข้อย่อย 1)

ผลการทดลองตามเงื่อนไขที่สาม ใช้อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมงได้ผล  
 การทดลอง ดังการทดลองรอบการทำงานที่ลิบเอ็ด (Cycle # 11) และรอบการทำงานที่ลิบสอง  
 (Cycle # 12) ตามตารางที่ ก.15 และ ก.16 ของภาคผนวก ก และรูปที่ 5.85 ถึง 5.108

## 2) การวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจารณ์ผลการทดลอง ตามผลการทดลองในขั้นทดลองจริง ในที่นี่จะทำการวิจารณ์  
 ผลควบกันไปทั้งสาม อัตราการไหลของการจ่ายน้ำ คือ 200, 300 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมง โดยจะ  
 พิจารณารายละเอียดที่หัวข้อ ดังนี้

- ความสามารถผลิตน้ำต่อรอบการทำงาน (Capacity / Cycle)
- ประสิทธิภาพการล้างสารแลกเปลี่ยน และความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ล้างสารแลกเปลี่ยน (Regeneration efficiency and regenerant dosage)
- คุณภาพน้ำผลิต (Product water quality)
- การรั่วไหลออกของไอออน (Ionic Leakage)
- ปริมาณน้ำเสียจากการล้างสารแลกเปลี่ยน (Regenerant waste)
- ความดันลด (Pressure drop)

หมายเหตุ : ควรอ่านบทที่ 5 หัวข้อ 5.9 ข้อย่อย 5.9.1, 5.9.2 และ 5.9.3 ประกอบก่อน



## 2.1) ความสามารถผลิตน้ำต่อรอบการทำงาน (Capacity / Cycle)

รายละเอียดการพิจารณาผลการทดลอง การวิจารณ์ผลการทดลองและการสรุปผลการทดลอง ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ระหว่างแบบโคเคอร์เรนต์และแบบเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันได้แสดงรายละเอียดอยู่ในบทที่ 5 ข้อย่อย 5.9.1, 5.9.2 และ 5.9.3 แล้ว

## 2.2) ประสิทธิภาพการล้างสารแลกเปลี่ยนและความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้สารแลกเปลี่ยน

จากการพิจารณาผลการทดลองและได้ข้อสรุปผลตามบทที่ 5 หัวข้อ 5.9.1, 5.9.2 และ 5.9.3 สามารถนำผลการทดลองมาสรุปผลในแง่ประสิทธิภาพการล้างสารแลกเปลี่ยนและความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้จับสารแลกเปลี่ยนได้เป็นกรณี ดังนี้

### 2.2.1) กรณีเรซินประจุบวก

จากบทสรุปตามหัวข้อ 5.9.3 กรณีเรซินประจุบวกระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน สามารถผลิตจ่ายน้ำบริสุทธิ์ต่อรอบการทำงานได้ปริมาณน้ำมากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน ในช่วงระหว่าง 5.77 ถึง 7.69 % นั้นหมายถึงว่าในการรีเจนเนอเรตสารกรองเรซินของทั้งสองระบบ ซึ่งการทดลองใช้ระดับการรีเจนเนอเรต (Regeneration Level) ที่เท่ากัน คือ 100 g HCl/R หรือเทียบเป็นปริมาณกรดเกลือเข้มข้น (Concentrated Hydrochloric acid) 35 % wt. เท่ากับ 2.019 ลิตร (หรือ  $2.019 \times 1.174 = 2.370$  กก.) ระบบเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์สามารถจ่ายปริมาณน้ำได้มากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์

ดังนั้นสามารถสรุปผลได้ว่า ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน มีประสิทธิภาพของการล้างสารแลกเปลี่ยนดีกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน โดยที่ใช้ปริมาณสารรีเจนเนอเรนต์เท่ากัน และหมายถึงด้วยว่าความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ล้างสารกรอง เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตที่เท่ากัน ย่อมน้อยกว่าด้วยเช่นกัน แต่ในการทดลองวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษารายละเอียดต่อไปถึงว่าปริมาณความสิ้นเปลืองน้อยกว่าเพียงใด ซึ่งหากสนใจศึกษาต่อก็สามารถทดลองต่อไปได้ โดยทำการยึดปริมาณระดับรีเจนเนอเรตของระบบใดระบบหนึ่งให้คงที่ เช่น 100 g HCl/R แล้วทำการแปรเปลี่ยนระดับรีเจนเนอเรตของอีกระบบหนึ่งไปที่ค่าต่าง ๆ กัน จากนั้นจึงทดลองจ่ายน้ำดูว่าที่ระดับรีเจนเนอเรตใด ให้ผลเท่ากับระบบแรกที่ยึดให้คงที่ไว้ที่ 100 g HCl/R ก็จะสามารถทราบปริมาณกรดเกลือเข้มข้นที่แตกต่างกันของสองระบบได้ที่ปริมาณการจ่าย

น้ำที่เท่ากัน ในการทดลองนั้นควรควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ของทั้งสองระบบให้เหมือนกันทุกประการ ด้วย ซึ่งเห็นว่าควรทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการมากกว่า

### 2.2.2) กรณีเรซินประจุลบ

จากบทสรุปตามหัวข้อ 5.9.3 กรณีเรซินประจุลบการทดลองรีเจนเนอเรชันของทั้งสองระบบ โดยใช้ระดับรีเจนเนอเรชันเท่ากันคือ 100 g HCl/R ผลการทดลองไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน ปริมาณน้ำที่จ่ายได้จากสองระบบ นอกจากนั้นค่าจากการคำนวณปริมาณน้ำที่ผลิตได้ก็แตกต่างกันเพียง 1.99 % (ในที่นี้คือ ประมาณ 0.06 ลบ.ม. ของน้ำที่จ่ายออกจากระบบ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ไม่มีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ อนึ่งหากต้องการศึกษาในรายละเอียดก็สามารถทำได้ เช่นกัน โดยต้องทำการเก็บตัวอย่างน้ำให้ดีขึ้น ในช่วงปลายรอบการทำงาน คือต้องเก็บให้ถี่มากกว่า 1.99 % (0.06 ลบ.ม.) โดยการทดลองต้องควบคุมปัจจัยให้เหมือนกันของทั้งสองระบบ

### 2.3) คุณภาพน้ำผลิต

จากการทดลองเบื้องต้นในขั้นเตรียมการ (ตามผลการทดลองหัวข้อ 5.7 ข้อย่อย ก) ของรอบการทำงานที่หนึ่งถึงหก ที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ดังผลการทดลองที่แสดงอยู่ในตารางที่ ก. 5 ถึงตารางที่ ก. 10 ของภาคผนวก ก. และกราฟรูปที่ 5.13 ถึง 5.36 ผลการทดลองในขั้นเตรียมการนี้ยังให้ผลไม่ดีพอ เป็นเพียงการหาเงื่อนไขการเดินทางที่เหมาะสมเท่านั้น จึงยังไม่สามารถสรุปผลเปรียบเทียบเชิงคุณภาพน้ำผลิตระหว่างระบบทั้งสองแบบได้ แม้ว่าผลการทดลองในขั้นตอนนี้ พบว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันให้ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำขาออกจากหอเรซินประจุลบ (เป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผลิตได้) อยู่ในช่วง 1.2 ถึง 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . ซึ่งดีกว่า (ต่ำกว่า) ของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน ซึ่งให้ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำขาออกจากหอเรซินประจุลบอยู่ในช่วง 4 ถึง 13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . ซึ่งดูเหมือนจะขัดแย้งกับแนวคิดทางทฤษฎี เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงจึงได้ทำการตรวจสอบภายในหอประจุเรซินทั้ง 4 หอ และมีการเติมเรซินประจุบวกลงในหอของระบบทั้งสองในปริมาณที่เท่ากันคือ 350 มล. แล้วทำการทดลองต่อในขั้นทดสอบสมรรถนะ ดังผลการทดลองใน หัวข้อ 5.7 ข้อย่อย ข) ของรอบการทำงานที่เจ็ดถึงสิบสอง ที่อัตราการจ่ายน้ำ 200, 300 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ดูตารางที่ ก. 11 ถึง ตารางที่ ก. 16 ของภาคผนวก ก. และกราฟรูปที่ 5.37 ถึง 5.108 พบว่าค่าความนำไฟฟ้าของน้ำขาออกจากระบบของระบบผลิตน้ำแบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.57 ถึง 1.85  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . ซึ่งให้ผลของคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ ดีกว่า (ต่ำกว่า) ระบบโค

เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน ซึ่งให้ค่าอยู่ในช่วง 1.40 ถึง 3.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . โดยที่เงื่อนไขต่าง ๆ ของการทดลองเหมือนกัน

ดังนั้นจากการทดลองในขั้นทดสอบสมรรถนะจึงสรุปได้ว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้คุณภาพน้ำผลิต ดีกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน

สำหรับสาเหตุที่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผลิตได้ จากระบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันดีขึ้นหลังจากการเติมเรซิน อาจสันนิษฐานได้ว่าในช่วงการทดลองขั้นเตรียมการ เนื่องจากเรซินในห่อเรซินประจุบวกไม่เต็มห่อ ทำให้ระบบเป็นแพ็กเบตอย่างหลวม ๆ และเมื่อขั้วรีเจนเนอเรตในขั้นตอนการเติมสารละลายกรดเกลือ แม้ว่าอัตราไหลของสารละลายกรดเกลืออาจไม่มากพอที่จะยกเบตหรือชั้นของเรซินให้ลอยตัวขึ้นทั้งเบต แต่ก็ทำให้เกิดการลอยขยายตัวของด้านบนของเบตได้ ผลก็คือเกิดบริเวณที่เบตบางจุดมีเนื้อหลวมหรือกลวง ทำให้เกิดการไหลลัดสาบของกรดเกลืออันเป็นสาเหตุให้การรีเจนเนอเรตของบางจุดของเบตไม่สมบูรณ์ และเกิดการรั่วไหลของไอออนมาก ค่าความนำไฟฟ้าจึงสูงตามมา หลังจากเติมเรซินประจุบวกเพิ่มจนเต็มห่อแล้ว ระบบจึงเป็นแพ็กเบตที่เนื้อแน่นสม่ำเสมอ ดังนั้นการรีเจนเนอเรตจึงสมบูรณ์ทุกจุดในเบต

นอกจากนี้การทดลองในรอบการทำงานที่แปด ,สิบ, สิบเอ็ด และ สิบสอง ยังได้วิเคราะห์หาค่า Total Organic Carbon (TOC) ในน้ำขาออกจากห่อเรซินประจุบวกในช่วงกลาง ๆ รอบการทำงานของทั้งสองระบบด้วย ผลที่ได้พบว่าระบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน มีค่า TOC อยู่ในช่วง 0.72 ถึง 0.81 ppm. ซึ่งมีค่าต่ำกว่า (ดีกว่า) ระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.85 ถึง 1.03 ppm. จึงเป็นการยืนยันได้อีกว่า คุณภาพน้ำผลิตจากระบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันดีกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน

#### 2.4) การรั่วไหลออกของไอออน

จากการทดลองในขั้นทดสอบสมรรถนะของรอบการทำงานที่เจ็ด ถึง สิบสอง ดังแสดงในตารางที่ ก. 11 ถึง ตารางที่ ก. 16 ของภาคผนวก ก.และกราฟรูปที่ สามารถพิจารณาแยกตามประเภทของเรซิน ได้คือ

- **กรณีเรซินประจุบวก**

จากการทดลองพบว่า ปริมาณโซเดียม (Na) ที่รั่วไหลออกจากห่อเรซินประจุบวกของระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.09 ppm. และ ค่าสูงที่สุดคือ 0.26 ppm.(หรือ 90 และ 260 ppb. ตามลำดับ) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.12 ถึง 0.20 ppm. ส่วนระบบแคน์เตอร์

เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันมีค่าต่ำที่สุด คือ 0.01 ppm. และค่าสูงสุด คือ 0.12 ppm.(หรือ 10 และ 120 ppb. ตามลำดับ) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.09 ppm. ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากรณีเรซินประจุบวกระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันมีการรั่วไหลออกของไอออน(โซเดียม) ขณะผลิตน้ำบริสุทธิ์ น้อยกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน

- กรณีเรซินประจุลบ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ที่รั่วไหลออกจากหอเรซินประจุลบของทั้งสองระบบคือโคเคอร์เรนต์และเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน มีค่าใกล้เคียงกันคือ มีค่า nil ในที่นี้ค่า nil จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีความหมายว่ามีค่าน้อยกว่า 0.008 ppm. หรือ 8 ppb. ตามค่าต่ำที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Detection Limit) ของวิธีการตรวจวัดซิลิกา ดังนั้นการทดลองจึงสรุปได้ว่า การรั่วไหลของไอออนลบ (ซิลิกา) ออกจากหอเรซินประจุลบของทั้งสองระบบ ขณะผลิตน้ำบริสุทธิ์มีค่าน้อยกว่าที่จะบอกความแตกต่างได้ คือ น้อยกว่า 0.008 ppm. หรือ 8 ppb.

เมื่อนำผลการคำนวณค่าการรั่วไหลออกเฉลี่ย (Average Leakage) ของทั้งสองรายการ คือ การรั่วไหลออกของไอออนโซเดียม (Sodium Leakage) และการรั่วไหลออกของซิลิกา (Silica Leakage) จากหอเรซินประจุบวกและหอเรซินประจุลบตามลำดับ ตามการคำนวณไว้ในหัวข้อ 5.9 มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบสมรรถนะ จะได้ผลสรุปดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการเปรียบเทียบ Sodium และ Silica leakage ระหว่างผลการทดสอบกับค่าคำนวณตามทฤษฎีของระบบผลิตน้ำทั้งสองแบบ

รายการ อัตราการใช้งานน้ำ	Sodium Leakage จากหอเรซินประจุบวก (ppb.)				Silica Leakage จากหอเรซินประจุลบ (ppb.)			
	ระบบ โคเคอร์เรนต์		ระบบเคาน์เตอร์ เคอร์เรนต์		ระบบ โคเคอร์เรนต์		ระบบเคาน์เตอร์ เคอร์เรนต์	
	ค่า ทดสอบ	ค่า คำนวณ	ค่า ทดสอบ	ค่า คำนวณ	ค่า ทดสอบ	ค่า คำนวณ	ค่า ทดสอบ	ค่า คำนวณ
● 200 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่ 7,8)	อยู่ใน ช่วง	256	อยู่ใน ช่วง	-	<8	30	<8	4.8
● 300 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่ 7,8)	90 ถึง	286	10 ถึง	-	<8	37	<8	6.1
● 200 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่ 7,8)	260	297	120	-	<8	61	<8	5.3

จากตาราง 5.6 อาจสรุปประเด็นได้ดังนี้

- กรณีเรซินประจุบวก

เมื่อพิจารณาปริมาณการรั่วไหลออกของไอออนโซเดียม (Sodium Leakage) จากหอเรซินประจุบวกของระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน ค่าทดสอบที่ได้จริงอยู่ในช่วง 90 ถึง 260 ppb. แต่จากการคำนวณตามหลักการของ Engineering Bulletin (ดังที่คำนวณไว้ในหัวข้อ 5.9) อยู่ในช่วง 256 ถึง 297 ppb. จะเห็นว่าค่าที่ทดสอบมีค่าต่ำกว่า(ดีกว่า)เล็กน้อย ดังนั้น วิธีการคำนวณออกแบบจึงให้ผลที่ปลอดภัยและไว้ใจได้

สำหรับกรณีระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันพบว่าค่าทดสอบของการรั่วไหลออกของโซเดียมไอออน อยู่ในช่วง 10 ถึง 120 ppb. แต่ไม่มีค่าคำนวณ เนื่องจากไม่มีรายละเอียดใน Engineering Bulletin ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการคำนวณออกแบบอย่างไรจึงจะเหมาะสม

อนึ่ง สรุปได้จากผลการทดลองว่าระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน ในกรณีของเรซินประจุบวก สามารถผลิตน้ำได้คุณภาพน้ำที่ดีกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน โดยมีปริมาณการรั่วไหลออกของไอออนโซเดียมน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง

- **กรณีเรซินประจุลบ**

ปริมาณการรั่วไหลออกของซิลิกา (Silica Leakage) จากห่อเรซินประจุลบของระบบรีเจนเนอเรตทั้งสองแบบ มีค่าทดสอบที่ใกล้เคียงกัน คือ น้อยกว่า 8 ppb. และไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างทั้งสองระบบ ส่วนค่าคำนวณโดยวิธีการของ Engineering Data Sheet สำหรับระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชันจะมีปริมาณการรั่วไหลออกของซิลิกาในช่วง 30 ถึง 60 ppb. ซึ่งมากกว่าค่าคำนวณของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชันคือ ในช่วง 4 ถึง 6 ppb.

สรุปได้ว่ากรณีเรซินประจุลบ จากการทดสอบไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนของการรั่วไหลออกของซิลิกาจากระบบทั้งสอง อนึ่งกรณีระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน ค่าทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่าคำนวณมาก ดังนั้นวิธีการคำนวณออกแบบจะให้ระบบที่อาจปลอดภัยมากเกินไป (ให้ค่าคำนวณสูงกว่าความจริงหลายเท่าตัว) แต่สำหรับระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน แล้วพบว่าค่าทดสอบสอดคล้องกับค่าคำนวณ โดยมีบางค่าสูงกว่าค่าคำนวณเล็กน้อย นั่นคือ วิธีการคำนวณออกแบบ ไม่มี Safety margin เหลือเลย หรืออาจไม่เพียงพอ

## 2.5) ปริมาณน้ำเสียจากการล้างสารแลกเปลี่ยน

การทดลองตามหัวข้อ 4.2.9 ของบทที่ 4 ในขั้นตอนการล้างเร็ว (Fast rinse) ได้เลือกใช้อัตราไหล 300 ลิตรต่อนาที เหมือนกันทั้งสองระบบการผลิตน้ำ ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะล้างสารรีเจนเนอเรนต์ของทั้งกรดเกลือ (กรณีเรซินประจุบวก) และโซดาไฟ (กรณีเรซินประจุลบ) ออกให้หมดก่อนทำการเดินเครื่องผลิตน้ำ โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์แยกล้างที่ละห่อ จนกระทั่งค่าความนำไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ . ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 5.7 และ 5.8

ตารางที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียจากการล้างสารแลกเปลี่ยนกรณีของเรซินประจุบวก ระหว่างระบบผลิตน้ำทั้งสองแบบ

เวลา (นาที)	ค่าความนำไฟฟ้าขณะทำการล้างเร็วห่อเรซินประจุบวก ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ .)											
	ระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน						ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน					
	รอบการทำงานที่						รอบการทำงานที่					
	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
0	19,000	13,800	23,000	15,000	19,500	9,500	19,500	13,300	21,500	17,200	17,500	12,000
3	450	350	155	180	600	158	480	250	175	230	373	196
6	150	100	38	96	205	90	127	96	43	100	86	110
9	25	20	24	28	26	18	22	21	18	32	20.5	22
12	9.8	11.0	16.5	17.5	11.4	8.4	8.7	10.8	12.0	19.0	13.2	9.6

ตารางที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียจากการล้างสารแลกเปลี่ยนกรณีของเรซินประจุลบ ระหว่างระบบผลิตน้ำทั้งสองแบบ

เวลา (นาที)	ค่าความนำไฟฟ้าขณะทำการล้างเร็วหออเรซินประจุลบ ( $\mu\text{S}/\text{cm}.$ )											
	ระบบโคเคอร์เรตรีเจนเนอเรชัน						ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรตรีเจนเนอเรชัน					
	รอบการทำงานที่						รอบการทำงานที่					
	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
0	-	-	-	-	6000	4300	-	-	-	-	4200	3800
3	4000	5100	7200	2400	182	1600	2350	3200	2100	1900	190	1200
6	128	350	460	145	32.5	100	92	240	720	630	25.0	320
9	20.5	32.0	56	40	16.0	20.0	28.5	50	92	32	19.2	25.0
12	8.0	16.5	10.6	12.5	6.8	9.8	16.5	13.2	8.8	11.0	8.0	11.6

- กรณีเรซินประจุบวก

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.7 พบว่าเวลาที่ใช้ในการล้างเร็วของระบบผลิตน้ำทั้งสองแบบ เพื่อล้างสารรีเจนเนอเรนต์ให้เหลือค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า  $20 (\mu\text{S}/\text{cm}.)$  มีค่าใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 9-12 นาที เมื่อดำเนินการจากอัตราไหล 300 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ว่าปริมาณน้ำที่ใช้ล้างเร็วประมาณ 45-60 ลิตร หรือคิดเป็น 5.42-7.23 BV (ปริมาณเรซินประจุบวกที่ใช้ 8.298 ลิตร)

- กรณีเรซินประจุลบ

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.8 พบว่าเวลาที่ใช้ในการล้างเร็วของระบบผลิตน้ำทั้งสองแบบ ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันคือ ใช้เวลาในช่วง 9-12 นาทีเช่นเดียวกับเรซินประจุบวก หรือคิดเทียบกับ 45-60 ลิตร หรือเท่ากับ 2.53-3.37 BV (ปริมาณเรซินประจุลบที่ใช้ 17.808 ลิตร)

สรุปได้ว่าทั้งกรณีเรซินประจุบวกและเรซินประจุลบ ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบใช้ปริมาณน้ำล้างเร็วอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ไม่สามารถแยกความแตกต่างให้เห็นชัด โดยที่การทดลองมีการควบคุมเงื่อนไขการล้างซ้ำเท่ากันคือ 5 BV และใช้ระดับระเจนเนอเรชันเท่ากัน คือ  $100 \text{ g/l}_R$

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าระบบผลิตน้ำแบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันในกรณีของเรซินประจุบวก สามารถผลิตน้ำต่อรอบการทำงานได้ในปริมาณที่มากกว่าอีกระบบเมื่อใช้ระดับรีเจนเนอเรชันเท่ากันคือ 100 g/l<sub>R</sub> ตามที่แสดงอยู่ในหัวข้อ 2.1) ข้างต้น และหัวข้อ 5.9 ในทางกลับกันหากพิจารณาที่ปริมาณการผลิตน้ำต่อรอบการทำงานที่เท่ากันแล้ว ระบบผลิตน้ำแบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันจะใช้สารรีเจนเนอเรนต์น้อยกว่าตามหัวข้อ 2.2) ข้างต้น

## 2.6) ความดันลด

ผลการจัดบันทึกข้อมูลความดันของน้ำขาเข้าหอเรซินประจุบวก,ขาเข้าหอเรซินประจุลบ และขาออกหอเรซินประจุลบเป็นดังแสดงผลอยู่ในตารางที่ ก.11 ถึง ก.16 ของภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้พบว่าไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของความดันลดของทั้งหอเรซินประจุบวกและหอเรซินประจุลบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองชนิด

## 5.8 ผลการสรุปความเหมาะสมในแง่ประสิทธิภาพ เพื่อปรับปรุงโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์

จากการดำเนินการวิจัยตามบทที่ 4 และผลการทดลองและการวิจารณ์ตามบทที่ 6 จะเห็นได้ชัดว่า ระบบการผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบแพ็กเบตชนิดแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน มีสมรรถนะในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้ดีเหนือกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน ซึ่งเป็นระบบเดิมที่มีใช้งานอยู่ในโรงไฟฟ้าเก่าซึ่งก่อสร้างใช้งานมานานแล้ว เช่น โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ, โรงไฟฟ้าพระนครใต้ เป็นต้น

จากการทดลองวิจัยที่ได้มา สมรรถนะการผลิตน้ำของระบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันที่ดีเหนือกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน ในสิ่งต่อไปนี้

- ความสามารถผลิตน้ำต่อรอบการทำงาน (Capacity/Cycle)
- ประสิทธิภาพการล้างสารแลกเปลี่ยนและความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ล้างสารแลกเปลี่ยน (Regeneration efficiency and regenerant dosage)
- คุณภาพน้ำที่ผลิต (Product Water quality)
- การรั่วไหลออกจากสารแลกเปลี่ยน (Ionic Leakage)

บทสรุปของการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสอง โดยการทดลองคือระบบแคน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชันดีกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน ดังนั้นการพิจารณาการปรับปรุงโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์เดิมของโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน



นั้น หากเป็นไปได้ควรพิจารณาปรับปรุงระบบมาเป็นแบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีเหนือกว่าดังกล่าวข้างต้น

อย่างไรก็ตามในแง่การปรับปรุงระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ตามโรงไฟฟ้าต่าง ๆ โดยความเป็นจริงแล้วไม่สามารถพิจารณาเฉพาะเพียงสมรรถนะการผลิตน้ำบริสุทธิ์เท่านั้น แต่ต้องพิจารณาครอบคลุมไปถึงความเหมาะสมในการปรับปรุงในทางปฏิบัติด้านอื่น ๆ ด้วย ลักษณะพื้นที่, ลักษณะหอบรรจุเรซินเดิม, ระบบติดตั้งเดิม (เครื่องสูบ-ส่งน้ำ, ท่อ-ทาง, ระบบควบคุมการทำงาน ฯลฯ) เป็นต้น และต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่ไปกับการพิจารณาด้านเทคนิควิชาการด้วย นั่นคือจำเป็นต้องพิจารณาภาพรวมในเรื่องความคุ้มค่าในการปรับปรุงระบบจริง

## 5.9 ผลการยืนยันความเหมาะสมของสมการทั่วไปที่ใช้ออกแบบกับผลการทดลองที่ได้จริง

### 5.9.1 ผลการยืนยันโดยการคำนวณเปรียบเทียบความเหมาะสมของสมการทั่วไปที่ใช้ ออกแบบกับผลการทดลองที่ได้จริง

จากผลการทดลองที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่เจ็ดและแปด) , ที่อัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่เก้าและสิบ) และที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ตามผลการทดลองในชั้นทดลองจริง หัวข้อ 5.7 ข้อ ข.) ข้อย่อย 1.1) , 1.2) และ 1.3) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองในแต่ละอัตราการจ่ายน้ำเดียวกัน (ทดลองจ่ายน้ำ 2 รอบการทำงานต่อหนึ่งอัตราการจ่ายน้ำ) ไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราการจ่ายน้ำแตกต่างกันจะมีความแตกต่างกันบ้าง ดังนั้นในที่นี้ในการคำนวณเพื่อยืนยันความเหมาะสมของสมการทั่วไปที่ใช้ออกแบบ โดยอ้างอิงผลการทดลองที่ได้จริง จะทำการคำนวณแยกที่ละอัตราการจ่ายน้ำกล่าวคือ ที่อัตราการจ่ายน้ำใด ๆ จะนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองทั้งสองรอบการทำงานมาใช้ในการคำนวณ (ไม่แยกคำนวณที่ละรอบการทำงาน)

(1) การคำนวณที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่เจ็ดและแปด)

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการ

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการทดลองตามรอบการทดลองที่เจ็ดและแปดเป็นดังแสดงในตารางที่ 5.9 ดังนี้

ตารางที่ 5.9 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบรอบการทำงานที่เจ็ดและแปด

รายการดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบ		
		รอบการทำงานที่ 7	รอบการทำงานที่ 8	ค่าเฉลี่ย
ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.6	7.8	7.7
ความนำไฟฟ้า	$\mu\text{S/cm.}$	240	235	237.5
ความขุ่น	NTU.	0.5	0.5	0.5
ความกระด้างทั้งหมด	ppm as $\text{CaCO}_3$	62	62	62
แคลเซียม	ppm as $\text{CaCO}_3$	32	42	37
แมกเนเซียม	ppm as $\text{CaCO}_3$	30	20	25
เหล็ก	ppm	nil	Trace	Trace
ความเป็นด่าง	ppm as $\text{CaCO}_3$	61.68	53.34	57.52
ไฮดรอกไซด์	ppm as $\text{CaCO}_3$	0	0	0
ไบคาร์บอเนต	ppm as $\text{CaCO}_3$	75.11	64.96	70.04
คาร์บอเนต	ppm as $\text{CaCO}_3$	0	0	0
คลอไรด์	ppm	15	15	15
ซัลเฟต	ppm	32.8	43.7	38.25
ซิลิกา	ppm	9.08	9.53	9.31

#### จากค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำดิบของรอบการที่

ไอออนในน้ำดิบทั้งประจุบวกและประจุลบได้ ในขณะที่เดียวกันจาก Engineering Bulletin และ Data Sheet ที่ ระดับรีเจนเนอเรชัน  $100 \text{ g/l}_R$  สามารถคำนวณหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนทางทฤษฎี (Theoretical Exchange Capacity) และคำนวณต่อไปถึงปริมาณน้ำที่ควรจ่ายได้ตามทฤษฎี ดังนี้

การประเมินความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนทางทฤษฎี (Theoretical Exchange Capacity) การคำนวณประมาณความสามารถแลกเปลี่ยนไอออน ในที่นี้จะอาศัย Data Sheet จากบริษัท Rohm and Haas

ก.) กรดรีเจนประจุบวก (CATIONS)

(ดู Engineering Bulletin for AMBERLITE 200, co-current regeneration)

ในภาคผนวก

● Cations ที่มีอยู่ในน้ำดิบ (ค่าเฉลี่ย)

Calcium	=	37	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Magnesium	=	25	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Sodium+Potassium	=	<u>69.01</u>	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Total Cations	=	131.01	ppm as CaCO <sub>3</sub>
% Sodium (+Potassium)	=	$\frac{69.01}{131.01} \times 100 = 52.7 \%$	

● Anions ที่มีอยู่ในน้ำดิบ (ค่าเฉลี่ย)

Alkalinity(Bicarbonate)	=	70.04	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Chloride = $\frac{15 \times 50}{35.5}$	=	<u>21.13</u>	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Nitrate	=	0	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Sulphate = $\frac{38.25 \times 50}{48}$	=	<u>39.84</u>	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Total Anions	=	131.01	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Silica = $\frac{9.31 \times 50}{60.086}$	=	<u>7.75</u>	ppm as CaCO <sub>3</sub>
Total Anions (with silica)	=	138.76	ppm as CaCO <sub>3</sub>
% Alkalinity = $\frac{70.04}{131.01} \times 100$	=	53.5 %	
% Theoretical Mineral Acidity	=	$\frac{21.13 + 0 + 39.84}{131.01} \times 100 \%$	
	=	46.5 %	

● จากรูปที่ 5 ใน Engineering Bulletin ,

ที่ Regen. Level 96 g HCl/l<sub>R</sub> (96 g 100 % HCl/l<sub>R</sub>) อ่านค่า  
จากกราฟที่ Sodium 52.7 % alkalinity 53.5 % ได้ค่า

Exchange Capacity  $\approx$  53.1 g CaCO<sub>3</sub>/l<sub>R</sub> และ  
Average Leakage  $\approx$  0.5 % of Total Cation

● จากรูปที่ 6 ใน Engineering Bulletin ,

ที่ Regen. Level 112 g HCl/l<sub>R</sub> (112 g 100 % HCl/l<sub>R</sub>) อ่านค่า  
จากกราฟที่ Sodium 52.7 % alkalinity 53.5 % ได้ค่า

Exchange Capacity  $\approx$  55.1 g CaCO<sub>3</sub>/l<sub>R</sub> และ  
Average Leakage  $\approx$  0.4 % of Total Cation

● การคำนวณหาค่า Exchange Capacity และ Average Leakage ที่

Regen. Level 100 g 100 % HCl/l<sub>R</sub> ได้ดังนี้

$$\text{Exchange Capacity ที่ } 100 \text{ g HCl/l}_R = 53.1 + \frac{(100-96)(55.1-53.1)}{(112-96)} \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R$$

$$= 53.600 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R$$

$$\text{Average Leakage ที่ } 100 \text{ g HCl/l}_R = 0.4 + \frac{(100-96)(0.5-0.4)}{(112-96)} \% \text{ of Total Cation}$$

$$= 0.425 \% \text{ of Total Cation}$$

● คำนวณหาปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซิน AMBERLITE 200 ของรอบ  
การทำงานที่เจ็ดและแปดตามทฤษฎี

ในน้ำมี Total Cations	=	131.01	ppm as CaCO <sub>3</sub>
	=	0.13101	g CaCO <sub>3</sub> /l <sub>w</sub>
	=	2.62	eq./m <sup>3</sup> water
Exchange Capacity ตามทฤษฎี	=	53.6	g CaCO <sub>3</sub> /l <sub>R</sub>
	=	<u>53.6</u>	eq./l <sub>R</sub>
		50	
	=	1.072	eq./l <sub>R</sub>

∴ ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ในกรณีเรซิน AMBERLITE 200 ตามทฤษฎี

$$= \frac{53.6}{0.13101} \frac{\text{g CaCO}_3/\text{l}_R}{\text{g CaCO}_3/\text{l}_w}$$

$$= 409.13 \quad \text{l}_w/\text{l}_R$$

$$= 409.13 \quad \text{BV}$$

ในการทดลองใช้เรซินจำนวน 8.298 ลิตร

ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุบวกควรจะจ่ายได้ตามทฤษฎี

$$= 8.298 \times 409.13 \quad \text{ลิตร}$$

$$= 3395.0 \quad \text{ลิตร}$$

$$\approx 3.40 \quad \text{ลบ.ม.}$$

และ Average Leakage (Sodium Leakage) ที่ 100 g HCl/l<sub>R</sub> = 0.425 % of Total Cation

$$= \frac{0.425 \times 131.01}{100} \text{ ppm as CaCO}_3$$

$$= 0.557 \quad \text{ppm as CaCO}_3$$

$$= \frac{0.557 \times 23}{50} \text{ ppm Na}$$

$$= 0.256 \quad \text{ppm Na}$$

$$= 256 \quad \text{ppb Na}$$

## ข.) กรณีเรซินประจุลบ (ANIONS)

### 1) กรณีที่คำนวณตาม Data Sheet ของระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน

(ดู Engineering Bulletin for AMBERLITE IRA 900, co-flow regeneration)

ในภาคผนวก

#### • หา Exchange Capacity

จาก Engineering Data Sheet

$$\text{Cap} = \text{Cap}_0 \times D \times E \times F \times G$$

$$\text{Cap}_0 \text{ ที่ NaOH } 100 \text{ g/l}_R = 0.50 \text{ eq./l}$$

D = Capacity Correction Factor D versus Sulphate to Total Anions Ratio

$$\text{ในกรณีนี้ Sulphate to Total Anion Ratio} = \frac{(39.84)}{138.76} \times 100 \% = 28.71 \%$$

$$D = 0.96 + \frac{(28.71-25)(1.00-0.96)}{(50-25)} = 0.9659$$

E = Capacity Correction Factor E versus Carbon Dioxide to Total Anions Ratio

$$\text{ในกรณีนี้ } \text{CO}_2 \text{ to Total Anion Ratio} = \frac{(70.04)}{138.76} \times 100 \% = 50.48 \%$$

$$\therefore E = 1.02 + \frac{(50.48-50)(1.08-1.05)}{(75-50)} = 1.0206$$

F = Capacity Correction Factor F versus Silica to Total Anions Ratio and NaOH Temperature

$$\text{ในกรณีนี้ } \text{Silica to Total Anion Ratio} = \frac{(7.75)}{138.76} \times 100 \% = 5.59 \%$$

และ NaOH Temperature  $\approx 35^\circ\text{C}$

$$\therefore F \approx 1.02$$

G = Capacity Correction Factor G versus Silica Endpoint

( $\Delta \text{SiO}_2$  = difference between average leakage and endpoint)

ในที่นี้ กำหนด  $\Delta \text{SiO}_2 = 200 \text{ ppb}$

$$\therefore G = 1.00$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Cap} &= \text{Cap}_0 \times D \times E \times F \times G \\ &= 0.50 \times 0.9659 \times 1.0206 \times 1.02 \\ &= 0.503 \text{ eq./l}_R \\ &= 0.503 \times 50 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R \\ &= 25.15 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R \end{aligned}$$

$\therefore$  ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้จากเรซิน AMBERLITE IRA 900 ตามทฤษฎี

$$\begin{aligned} &= \frac{25.15}{0.13876} \text{ g CaCO}_3/\text{l}_W \\ &= 181.25 \text{ l}_W/\text{l}_R \\ &= 181.25 \text{ BV} \end{aligned}$$

ในการทดลองใช้เรซินจำนวน 17.808 ลิตร

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุลบควรจะจ่ายได้ตามทฤษฎี} \\
 &= 17.808 \times 181.25 \quad \text{ลิตร} \\
 &= 3227.7 \quad \text{ลิตร} \\
 &\approx 3.23 \quad \text{ลบ.ม.}
 \end{aligned}$$

● หา Leakage ของ anions

จาก AMBERLITE IRA 900 Engineering Data Sheet, co-flow regeneration

$$\text{Leak} = \text{Leak}_0 \times A \times B \times C \times K$$

ที่ Reg. Leak NaOH 100 g/l<sub>R</sub> ได้ค่า Leak<sub>0</sub> = 0.037 ppm SiO<sub>2</sub>

A = Leakage Correction Factor A versus Silica to Total Anions Ratio

ในกรณีนี้ SiO<sub>2</sub> to Total Anion Ratio = 5.59 %

$$\begin{aligned}
 \therefore A &= 0.5 + \frac{(1.0-0.5)(5.59-5.0)}{(10-5)} = 0.559
 \end{aligned}$$

B = Leakage Correction Factor B versus Water Temperature

ในกรณีนี้ Water Temperature  $\approx 30^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}
 \therefore B &= 1.5 + \frac{(30-25)(2.3-1.5)}{(35-25)} = 1.9
 \end{aligned}$$

C = Leakage Correction Factor C versus Regenerant Temperature

ในกรณีนี้ Regenerant Temperature  $\approx 35^\circ\text{C}$

$$\therefore C \approx 0.76$$

ในที่นี้ให้ K  $\approx 1.0$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{Leak} &= \text{Leak}_0 \times A \times B \times C \times K \\
 &= 0.037 \times 0.559 \times 1.9 \times 0.76 \times 1 \\
 &= 0.033 \quad \text{ppm SiO}_2 \\
 &= 30 \quad \text{ppm SiO}_2
 \end{aligned}$$

2) กรณีที่คำนวณตาม Data Sheet ของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตร์เจเนเนอเรชั่น

(ดู Engineering Bulletin for AMBERLITE IRA 900, reverse-flow regeneration ในภาคผนวก )

• ทหา Exchange Capacity

$$\therefore \text{Cap} = \text{Cap}_0 \times D \times E \times F \times G$$

จาก Data Sheet,

$$\text{Cap}_0 \text{ ที่ NaOH } 100 \text{ g/l}_R = 0.51$$

Factor D, E, F และ G ดูจาก Data Sheet ได้ค่าเท่ากับกรณีของ co-flow regeneration

$$\begin{aligned} \therefore \text{Cap} &= 0.51 \times 0.9659 \times 1.0206 \times 1.02 \times 1.00 \\ &= 0.513 \text{ eq./l}_R \\ &= 0.513 \times 50 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R \\ &= 25.65 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R \end{aligned}$$

∴ ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้จากเรซิน AMBERLITE IRA 900 ตามทฤษฎี

$$\begin{aligned} &= \frac{25.65 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R}{0.13879 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R} \\ &= 184.85 \text{ l}_w/\text{l}_R \\ &= 184.85 \text{ BV} \end{aligned}$$

ในการทดลองใช้เรซินจำนวน 17.808 ลิตร

∴ ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุลบควรจะจ่ายได้ตามทฤษฎี

$$\begin{aligned} &= 17.808 \times 184.85 \text{ ลิตร} \\ &= 3291.8 \text{ ลิตร} \\ &\approx 3.29 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

• ทหา Leakage ของ anions

จาก Engineering Data Sheet, reverse flow regeneration

$$\text{Leak} = \text{Leak}_0 \times A \times B \times C \times K$$

ที่ Reg. Level NaOH 100 g/l<sub>R</sub> ได้ค่า Leak<sub>0</sub> = 0.003 ppm SiO<sub>2</sub>



$$A = 1.0 + \frac{(5.59-5.0)(2.0-1.0)}{(10-5)} = 1.118$$

$$B = 1.5 + \frac{(30-25)(2.3-1.5)}{(35-25)} = 1.9$$

$$C = 0.76$$

$$\text{ในที่นี้ให้ } K \approx 1.0$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Leak} &= 0.003 \times 1.118 \times 1.9 \times 0.76 \times 1.0 \\ &= 0.0048 \text{ ppm SiO}_2 \\ &= 4.8 \text{ ppm SiO}_2 \end{aligned}$$

จากการประเมินและเปรียบเทียบค่าความสามารถแลกเปลี่ยนไอออน โดยอาศัย Engineering Data Sheets จากบริษัทผู้ผลิตเรซิน กับผลการทดลองผลิตน้ำบริสุทธิ์ของระบบทั้งสองชนิด (ตั้งผลการทดลองรอบการทำงานที่เจ็ดและแปด ในตารางที่ ก.11 และ ก.12 ของภาคผนวก ก) โดยการพิจารณาค่า Free Mineral Acid (FMA) ว่าถ้าค่าตกลงมาใกล้เคียงกับศูนย์หรือเท่ากับศูนย์เป็นค่าแสดงว่าเกิดการอิ่มตัวของเรซินประจุบวก หรือเป็นจุดที่ไอออนรั่วไหลผ่าน (Break Through Point) และพิจารณาค่า ซิลิกาว่าถ้ามีค่ามากกว่า nil แสดงว่าเกิดการอิ่มตัวของเรซินประจุลบ ได้นำมาเขียนสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 5.10 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการจ่ายน้ำระหว่างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของรอบการทำงานที่ 7 และ 8 กับค่าคำนวณจากการออกแบบ (ทดลองที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง)

รายการ	หน่วย	ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ชนิด		ค่าคำนวณจากการออกแบบตามทฤษฎี (Engineering Data Sheet)	
		โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน	เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน	Co-flow regen. Sheet	Reverse-flow regen. Sheet
1 เรซินประจุบวก					
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	m <sup>3</sup>	4.590	4.930	3.395	-
ปริมาณไอออนบวกทั้งหมด	ppm as CaCO <sub>3</sub>	131.01	131.01	131.01	-
ปริมาณเรซิน	l	8.298	8.298	8.298	-
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	eq./l <sub>R</sub>	1.449	1.559	1.072	-
2 เรซินประจุลบ					
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	m <sup>3</sup>	4.080	4.080	3.228	3.292
ปริมาณไอออนลบทั้งหมด	ppm as CaCO <sub>3</sub>	138.76	138.76	138.76	138.76
ปริมาณเรซิน	l	17.808	17.808	17.808	17.808
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	eq./l <sub>R</sub>	0.636	0.636	0.503	0.513

(2) การคำนวณที่อัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่เก่าและสิบ)

ในทำนองเดียวกันกับหัวข้อ 5.9.1 สามารถคำนวณหาความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนทางทฤษฎี (Theoretical Exchange Capacity) และ Leakage โดยอาศัย Engineering Data Sheet และ Engineering Bulletin จากบริษัท Lohm and Haas ผู้ผลิตเรซิน และสรุปผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการ ตามรอบการทำงานที่เก่าและสิบ

ข้อสรุปการคำนวณได้ดังตารางที่ 5.11 และตารางที่ 5.12 และรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.11 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบรอบการทำงานที่เก่าและสิบ

รายการดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบ		
		รอบการทำงานที่ 9	รอบการทำงานที่ 10	ค่าเฉลี่ย
ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.8	7.5	7.65
ความนำไฟฟ้า	$\mu\text{S/cm.}$	195	210	202.5
ความขุ่น	NTU.	0.6	1.1	0.85
ความกระด้างทั้งหมด	ppm as $\text{CaCO}_3$	52	52	52
แคลเซียม	ppm as $\text{CaCO}_3$	36	36	36
แมกเนเซียม	ppm as $\text{CaCO}_3$	16	16	16
เหล็ก	ppm	Trace	0.05	0.025
ความเป็นด่าง	ppm as $\text{CaCO}_3$	60.01	65.01	62.51
ไฮดรอกไซด์	ppm as $\text{CaCO}_3$	0	0	0
ไบคาร์บอเนต	ppm as $\text{CaCO}_3$	73.08	79.17	76.13
คาร์บอเนต	ppm as $\text{CaCO}_3$	0	0	0
คลอไรด์	ppm	13	13	13
ซัลเฟต	ppm	30.9	24.06	27.48
ซิลิกา	ppm	10.21	9.76	9.99

จากการคำนวณ ได้ว่า

Total Cations = 109.45 ppm as  $\text{CaCO}_3$

Total Anions = 109.45 ppm as  $\text{CaCO}_3$

Total Anions(with Silica) = 117.76 ppm as  $\text{CaCO}_3$

ก) กรณีเรซินประจุบวก (CATIONS)

% Sodium (+Potassium) = 52.5 %

% Alkalinity = 57.1 %

% Theoretical Mineral Acidity = 42.9 %

Theoretical Exchange Capacity = 53.775 g  $\text{CaCO}_3/\text{l}_R$

(จากการคำนวณโดยอาศัย Data Sheets)

= 1.076 eq./l<sub>R</sub>

ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซินประจุบวก โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= 491.32 \text{ l}_w/\text{l}_R$$

$$= 491.32 \text{ BV}$$

ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุบวกควรจะจ่ายได้ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= 4.0770 \text{ ลิตร}$$

$$\approx 4.08 \text{ ลบ.ม.}$$

Average Leakage (Sodium leakage) ที่ 100 g HCl/l<sub>R</sub>

$$= 0.3125 \text{ \% of Total Cation}$$

$$= 0.286 \text{ ppm Na}$$

$$= 286 \text{ ppb Na}$$

## ข) กรณิเรซินประจุลบ (ANIONS)

### 1) คำนวณตาม Data Sheet ของระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน (co-flow regeneration)

$$\% \text{ Sulphate} = 24.31 \%$$

$$\% \text{ Carbodioxide} = 57.11 \%$$

$$\% \text{ Silica} = 7.06 \%$$

$$\text{Theoretical Exchange Capacity} = 25.65 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R$$

(จากการคำนวณโดยอาศัย Data Sheets)

$$= 0.513 \text{ eq./l}_R$$

ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซินประจุลบ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= \underline{25.65} \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R$$

$$0.11776 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_w$$

$$= 217.82 \text{ l}_w/\text{l}_R$$

$$= 217.82 \text{ BV}$$

ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุลบควรจะจ่ายได้ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= 3878.9 \text{ ลิตร}$$

$$\approx 3.88 \text{ ลบ.ม.}$$

Average Leakage (Silica leakage) ที่ 100 g NaOH/l<sub>R</sub>

$$= 0.037 \text{ ppm SiO}_2$$

$$= 37 \text{ ppb SiO}_2$$

2) คำนวณตาม Data Sheet ของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน (reverse-flow regeneration)

$$\begin{aligned} \text{Theoretical Exchange Capacity} &= 26.15 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R \\ &= 0.523 \text{ eq./l}_R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซินประจุลบ โดยการคำนวณตามทฤษฎี} \\ &= 222.06 \text{ l}_W/\text{l}_R \\ &= 222.06 \text{ BV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุลบควรจะจ่ายได้ โดยการคำนวณตามทฤษฎี} \\ &= 3954.4 \text{ ลิตร} \\ &\approx 3.95 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Average Leakage (Silica leakage) ที่ } 100 \text{ g NaOH/l}_R \\ &= 0.0061 \text{ ppm SiO}_2 \\ &= 6.1 \text{ ppb SiO}_2 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : Factor ต่าง ๆ ที่หาได้จาก Engineering Data Sheet เป็นดังนี้

Factor D = 0.959	Factor A = 1.412 (reverse-flow)
	= 0.706 (co-flow)
Factor E = 1.059	Factor B = 1.9
Factor F = 1.01	Factor C = 0.76
Factor G = 1.0	Factor K assume $\approx 1$

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการจ่ายน้ำระหว่างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของรอบการทำงานที่ 9 และ 10 กับค่าคำนวณจากการออกแบบตามทฤษฎี(ทดลองที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง)

รายการ	หน่วย	ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ชนิด		ค่าคำนวณจากการออกแบบตามทฤษฎี (Engineering Data Sheet)	
		โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน	เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน	Co-flow regen. Sheet	Reverse-flow regen. Sheet
1 เรซินประจุบวก					
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	m <sup>3</sup>	4.420	4.760	4.079	-
ปริมาณไอออนบวกทั้งหมด	ppm as CaCO <sub>3</sub>	109.45	109.45	109.45	-
ปริมาณเรซิน	l	8.298	8.298	8.298	-
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	eq./l <sub>R</sub>	1.166	1.256	1.067	-
2 เรซินประจุลบ					
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	m <sup>3</sup>	2.720	2.720	3.879	3.957
ปริมาณไอออนลบทั้งหมด	ppm as CaCO <sub>3</sub>	117.76	117.76	117.76	117.76
ปริมาณเรซิน	l	17.808	17.808	17.808	17.808
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	eq./l <sub>R</sub>	0.360	0.360	0.513	0.523

(3) การคำนวณที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง (รอบการทำงานที่ลิบเอ็ดและลิบสอง)

ในทำนองเดียวกันกับหัวข้อ 5.9.1 สามารถคำนวณหาความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนทางทฤษฎี (Theoretical Exchange Capacity) และ Leakage โดยอาศัย Engineering Data Sheet และ Engineering Bulletin จากบริษัท Lohm and Haas ผู้ผลิตเรซิน และสรุปผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการ ตามรอบการทำงานที่ลิบเอ็ดและลิบสอง

ข้อสรุปการคำนวณได้ดังตารางที่ 5.13 และตารางที่ 5.14 และรายละเอียดดังต่อไปนี้

นี้

ตารางที่ 5.13 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบรอบการทำงานที่สิบเอ็ดและสิบสอง

รายการดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบ		
		รอบการทำงานที่ 11	รอบการทำงานที่ 12	ค่าเฉลี่ย
ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.2	7.4	7.3
ความนำไฟฟ้า	$\mu\text{S/cm.}$	205	215	210
ความขุ่น	NTU.	0.49	0.46	0.475
ความกระด้างทั้งหมด	ppm as $\text{CaCO}_3$	52	54	53
แคลเซียม	ppm as $\text{CaCO}_3$	40	36	38
แมกเนเซียม	ppm as $\text{CaCO}_3$	12	18	15
เหล็ก	ppm	0.05	0.05	0.05
ความเป็นด่าง	ppm as $\text{CaCO}_3$	58.35	60.01	59.18
ไฮดรอกไซด์	ppm as $\text{CaCO}_3$	0	0	0
ไบคาร์บอเนต	ppm as $\text{CaCO}_3$	71.05	73.08	72.07
คาร์บอเนต	ppm as $\text{CaCO}_3$	0	0	0
คลอไรด์	ppm	14	15	14.5
ซัลเฟต	ppm	20.26	21.02	20.64
ซิลิกา	ppm	7.95	7.95	7.95

จากการคำนวณ ได้ว่า

Total Cations	=	101.10	ppm as $\text{CaCO}_3$
Total Anions	=	101.10	ppm as $\text{CaCO}_3$
Total Anions(with Silica)	=	107.72	ppm as $\text{CaCO}_3$

ก) กรณีเรซินประจุบวก (CATIONS)

% Sodium (+Potassium)	=	47.6	%
% Alkalinity	=	58.5	%
% Theoretical Mineral Acidity	=	41.5	%
Theoretical Exchange Capacity	=	53.325	g $\text{CaCO}_3/\text{R}$
(จากการคำนวณโดยอาศัย Data Sheets)	=	1.067	eq./R

ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซินประจุบวก โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= 527.45 \text{ l}_w/\text{l}_R$$

$$= 527.45 \text{ BV}$$

ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุบวกควรจะจ่ายได้ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= 4376.8 \text{ ลิตร}$$

$$\approx 4.38 \text{ ลบ.ม.}$$

Average Leakage (Sodium leakage) ที่ 100 g HCl/l<sub>R</sub>

$$= 0.300 \text{ \% of Total Cation}$$

$$= 0.297 \text{ ppm Na}$$

$$= 297 \text{ ppb Na}$$

## ข) กรณีเรซินประจุลบ (ANIONS)

1) คำนวณตาม Data Sheet ของระบบโคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน (co-flow regeneration)

$$\% \text{ Sulphate} = 20.00 \%$$

$$\% \text{ Carbodioxide} = 58.53 \%$$

$$\% \text{ Silica} = 6.15 \%$$

$$\text{Theoretical Exchange Capacity} = 25.50 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R$$

(จากการคำนวณโดยอาศัย Data Sheets)

$$= 0.510 \text{ eq./l}_R$$

ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซินประจุลบ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= \underline{25.50} \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R$$

$$0.10772 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_w$$

$$= 236.72 \text{ l}_w/\text{l}_R$$

$$= 236.72 \text{ BV}$$

ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุลบควรจะจ่ายได้ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$= 4215.5 \text{ ลิตร}$$

$$\approx 4.22 \text{ ลบ.ม.}$$

Average Leakage (Silica leakage) ที่ 100 g NaOH/l<sub>R</sub>

$$= 0.061 \text{ ppm SiO}_2$$

$$= 61 \text{ ppb SiO}_2$$



2) คำนวณตาม Data Sheet ของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน (reverse-flow regeneration)

$$\begin{aligned} \text{Theoretical Exchange Capacity} &= 26.00 \text{ g CaCO}_3/\text{l}_R \\ &= 0.520 \text{ eq./l}_R \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำที่สามารถจ่ายได้ด้วยเรซินประจุลบ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$\begin{aligned} &= 241.37 \text{ l}_w/\text{l}_R \\ &= 241.37 \text{ BV} \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำที่หอเรซินประจุลบควรจะจ่ายได้ โดยการคำนวณตามทฤษฎี

$$\begin{aligned} &= 4298.3 \text{ ลิตร} \\ &\approx 4.30 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

Average Leakage (Silica leakage) ที่ 100 g NaOH/l<sub>R</sub>

$$\begin{aligned} &= 0.0053 \text{ ppm SiO}_2 \\ &= 5.3 \text{ ppb SiO}_2 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : Factor ต่าง ๆ ที่หาได้ด้วย Engineering Data Sheet เป็นดังนี้

Factor D = 0.952	Factor A = 1.230 (reverse-flow)
	= 1.11325 (co-flow)
Factor E = 1.060	Factor B = 1.9
Factor F = 1.01	Factor C = 0.76
Factor G = 1.0	Factor K assume $\approx 1$

ตารางที่ 5.14 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการจ่ายน้ำระหว่างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของรอบการทำงานที่ 11 และ 12 กับค่าคำนวณจากการออกแบบตามทฤษฎี(ทดลองที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง)

รายการ	หน่วย	ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ชนิด		ค่าคำนวณจากการออกแบบตามทฤษฎี (Engineering Data Sheet)	
		โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน	เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน	Co-flow regen. Sheet	Reverse-flow regen. Sheet
1 เรซินประจุบวก					
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	m <sup>3</sup>	4.420	4.675	4.379	-
ปริมาณไอออนบวกทั้งหมด	ppm as CaCO <sub>3</sub>	101.10	101.10	101.10	-
ปริมาณเรซิน	l	8.298	8.298	8.298	-
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	eq./l <sub>R</sub>	1.077	1.139	1.067	-
2 เรซินประจุลบ					
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	m <sup>3</sup>	4.080	4.080	4.216	4.298
ปริมาณไอออนลบทั้งหมด	ppm as CaCO <sub>3</sub>	107.72	107.72	107.72	107.72
ปริมาณเรซิน	l	17.808	17.808	17.808	17.808
ปริมาณน้ำที่จ่ายได้	eq./l <sub>R</sub>	0.494	0.494	0.510	0.520

### 5.9.2 การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบตามหัวข้อ ข) ข้อย่อย 1.1), 1.2) และ 1.3) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ ก.11 ถึงตารางที่ ก.16 ของภาคผนวก ก. และจากการเปรียบเทียบปริมาณการจ่ายน้ำระหว่างระบบผลิตบริสุทธิ์ทั้งสองแบบกับค่าคำนวณออกแบบ ซึ่งได้ดังแสดงในตารางที่ 5.10, 5.12 และ 5.14 ที่อัตราการผลิตน้ำ 200, 300 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ สามารถแยกพิจารณาสรุปได้ดังนี้

#### 1) กรณีเรซินประจุบวก

ที่อัตราการจ่ายน้ำทั้งสามอัตรา ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบสามารถผลิตน้ำได้ปริมาณมากกว่าค่าที่คำนวณออกแบบตาม Engineering Bulletin โดยที่อัตราการจ่ายน้ำ

200 ลิตรต่อชั่วโมง จะผลิตน้ำได้มากกว่าที่สุด (ปริมาณการจ่ายน้ำในช่วง 1.449 และ 1.557 eq./l<sub>R</sub>) สำหรับที่อัตราการจ่ายน้ำ 300 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถผลิตน้ำได้ใกล้เคียงกัน และผลิตน้ำได้มากกว่าค่าคำนวณจากการออกแบบเพียงเล็กน้อย (กรณีอัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมงได้ปริมาณการจ่ายน้ำในช่วง 1.166 และ 1.256 eq./l<sub>R</sub> ส่วนกรณีอัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมงได้ปริมาณการจ่ายน้ำในช่วง 1.077 และ 1.139 eq./l<sub>R</sub>) ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้ สำหรับกรณีเรซินประจุบวกแล้ว อาจสรุปได้ว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบสามารถจ่ายน้ำได้ในปริมาณที่มากกว่าการคำนวณ (โดยอาศัยข้อมูลจาก Engineering Data Sheet และ Bulletin ของบริษัทผู้ผลิตเรซิน)

- กรณีของระบบโคเคอร์เร็นตรีเจนเนอเรชัน ผลการทดสอบสามารถจ่ายน้ำได้ปริมาณมากกว่าค่าออกแบบในช่วง  $(1.077-1.067) \times 100\%$  ที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตร

1.067

ต่อชั่วโมง ถึง  $(1.449-1.072) \times 100\%$  ที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ

1.072

เท่ากับในช่วง 0.94 ถึง 35.17 %

- กรณีของระบบเคาน์เตอร์โคเคอร์เร็นตรีเจนเนอเรชัน ผลการทดสอบสามารถจ่ายน้ำได้ปริมาณมากกว่าค่าออกแบบในช่วง  $(1.256-1.076) \times 100\%$  ที่อัตราการจ่ายน้ำ

1.076

300 ลิตรต่อชั่วโมง ถึง  $(1.557-1.072) \times 100\%$  ที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อ

1.072

ชั่วโมง หรือเท่ากับในช่วง 16.73 ถึง 45.24 %

ในที่นี้ ไม่ได้แยกพิจารณาแต่ละอัตราการจ่ายน้ำ แต่พิจารณาการรวมทุกอัตราการจ่ายน้ำในคราวเดียวกัน เนื่องจากยังไม่ได้ยืนยันให้ชัดเจนลงไปได้ว่าแต่ละอัตราการจ่ายน้ำจะให้ผลการทดลองเช่นนี้ตลอดไป เพราะยังไม่ได้พิจารณาในเรื่องปัจจัยอื่น ๆ ประกอบอีกเช่น หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำดิบก่อนเข้าหอตลอด นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนบวกทั้งหมดในน้ำดิบ ผลการทดลองแต่ละอัตราการไหลอาจเปลี่ยนแปลงจากนี้ได้อีก หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนไอออนของไอออนในน้ำดิบก็อาจส่งผลต่อการทดลองได้เช่นกัน หรือแม้กระทั่ง แถบ (Band) ของไอออนที่ถูกจับ (Adsorp) อยู่ในชั้นของเรซินแต่ละหอตลอดในแต่ละรอบการทดลองก็อาจเป็นปัจจัยกระทบและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลการทดลองได้ เช่นกัน ปัจจัยอื่น ๆ ก็ยังมีอีกมาก ดังเช่น อุณหภูมิของน้ำ การรีเจนเนอเรต การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เป็นต้น ดังนั้น จากการทดลอง กรณีของเรซินประจุบวกจึงพอจะกล่าวได้ว่าระบบผลิตน้ำทั้งสอง

แบบคือ ระบบโคเคอร์เรนต์ และระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน สามารถผลิตและจ่ายน้ำบริสุทธิ์โดยได้ปริมาณน้ำที่ผลิตมากกว่าการคำนวณจากการออกแบบตามทฤษฎีในช่วง 0.94 ถึง 45.24 %

แต่อย่างไรก็ตามหากสังเกตผลการทดลองในแต่ละรอบการทดลองของที่อัตราไหลต่าง ๆ กัน โดยเงื่อนไขการทดลองทั้งสองระบบถูกควบคุมให้เหมือนกัน ไม่ว่าจะเป็นวิธีการรีเจนเนอเรต ปริมาณสารรีเจนเนอเรนต์ อัตราการจ่ายน้ำ ขนาดหอและอุปกรณ์ทดลองต่าง ๆ ปริมาณสารกรองเรซินที่ใช้ คุณสมบัติของน้ำดิบเข้าทดลอง ฯลฯ ยกเว้นความแตกต่างอันเกิดจากข้อผิดพลาดจากการทดลอง เช่น การรีเจนเนอเรต, การควบคุมอัตราการจ่ายน้ำอาจแตกต่างกันไปบ้าง ความผิดพลาดโดยบุคคล (Human Error) จากผลการทดลองที่ได้เห็นได้ว่า ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันสามารถจ่ายน้ำได้ปริมาณมากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันเล็กน้อย ดังนี้

- ที่อัตราการจ่ายน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์จ่ายได้มากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันในช่วง  $(4.93-4.59) \times 100\%$  หรือเท่ากับ 7.41%

4.59

- ที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์จ่ายได้มากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันในช่วง  $(4.675-4.420) \times 100\%$  หรือเท่ากับ 5.77%

4.420

- ที่อัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมง ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์จ่ายได้มากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันในช่วง  $(4.76-4.42) \times 100\%$  หรือเท่ากับ 7.69%

4.42

เหตุผลที่ระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันในกรณีเรซินประจุบวกสามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ต่อรอบการทำงานได้ปริมาณน้ำผลิตมากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน เนื่องจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์หลังจากรีเจนเนอเรตเสร็จสิ้นแล้ว ชั้นของเรซินรูปแบบรีเจนเนอเรต (รูปแบบไฮโดรเจน) จะอยู่บริเวณส่วนล่างของหอเรซิน ส่วนชั้นของเรซินรูปแบบอิมมัวชันเนื่องมาจากการรีเจนเนอเรตไม่สมบูรณ์ จะอยู่ส่วนบนของหอ (ดูรูป 2.24 และ 2.25 ประกอบ) ดังนั้นเมื่อถึงขั้นตอนการผลิตน้ำ โอกาสที่ไอออนบวกจะ Break - through หรือรั่วไหล (Leakage) จากชั้นของเรซินจึงมีโอกาสน้อย เนื่องจากมีชั้นของเรซินรูปแบบไฮโดรเจนที่ด้านล่างคอยรองรับ และแลกเปลี่ยนไอออนบวกเหล่านั้นไว้ ปรากฏการณ์นี้จะตรงกันข้ามกับระบบโคเคอร์เรนต์ ซึ่งหลังจากรีเจนเนอเรตแล้ว เรซินรูปแบบอิมมัวชันที่เหลือจากการรีเจนเนอเรตไม่สมบูรณ์จะยังคงเหลืออยู่ส่วนล่างของหอ ดังนั้น โอกาส Break - through หรือรั่วไหลจึงมีมากกว่า

## 2) กรณีเรซินประจุลบ

การพิจารณาผลการทดลองจะพิจารณาในทำนองเดียวกับเรซินประจุบวก กล่าวคือ จะพิจารณาในภาพรวมของทั้งสามอัตราการจ่ายน้ำในคราวเดียวเลย ด้วยเหตุผลเดียวกัน คือ การทดลองทำในระดับโรงงานต้นแบบ ไม่ได้ทำในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ อันจะมีผลกระทบต่อผลการทดลองได้ทั้งหมด ตามที่กล่าวแล้วในกรณีของเรซินประจุบวก เมื่อไม่สามารถควบคุมปัจจัยได้ทั้งหมด อีกทั้งการทดลองก็ไม่ได้ทดลองครอบคลุมทุก ๆ ปัจจัย เนื่องจากในทางปฏิบัติกระทำได้ยากมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วยแล้วกับการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งมีผลกระทบมาจากปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ดังนั้นจึงพิจารณาผลการทดลองทั้งสามอัตราจ่ายน้ำเป็นแนวทางและเป็นภาพรวมเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากการออกแบบ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองและค่าคำนวณตามตารางที่ ก. 11 ถึง ก.16 ของผนวก ก. และตารางที่ 5.10, 5.12 และ 5.14 แล้วเห็นได้ว่า ปริมาณการจ่ายน้ำที่ได้จากการทดลองจริง อยู่ในช่วง  $0.360-0.636 \text{ eq./R}$  ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของการคำนวณจากการออกแบบทั้งสองระบบ ซึ่งออกแบบอยู่ในช่วง  $0.503-0.523 \text{ eq./R}$  เดียวกัน อาจสรุปได้ว่าในกรณีของเรซินประจุลบแล้ว การคำนวณออกแบบโดยอาศัย Engineering Data Sheet และ Bulletin ของบริษัท Lohm and Hass ซึ่งเป็นผลิตรเรซิน สามารถนำมาใช้งานได้ดี ทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

อย่างไรก็ตามหากพิจารณารายละเอียดต่อไปจะเห็นได้ว่าที่อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ให้ผลปริมาณการจ่ายน้ำที่มากที่สุด ( $0.636 \text{ eq./R}$ , ค่าคำนวณ  $0.503-0.513 \text{ eq./R}$ ) รองลงมาคือที่อัตราการจ่ายน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ( $0.494 \text{ eq./R}$ , ค่าคำนวณ  $0.510-0.520 \text{ eq./R}$ ) และน้อยที่สุดคือที่อัตราการจ่ายน้ำ 300 ลิตรต่อชั่วโมง ( $0.360 \text{ eq./R}$ , ค่าคำนวณ  $0.513-0.523 \text{ eq./R}$ ) อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดลงไป เนื่องจากการทดลองยังไม่มากเพียงพอ และไม่ได้ทำในระดับห้องปฏิบัติการทดลอง ทำให้ไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ครบถ้วน เพื่อดูอิทธิพลของอัตราไหลหรือความเร็วของน้ำเพียงอย่างเดียว

อนึ่งผลการทดสอบสามารถเปรียบเทียบปริมาณการผลิตน้ำจากระบบทั้งสอง คือ ระบบโคเคอร์เรนต์และระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันได้เนื่องจากที่แต่ละอัตราการจ่ายน้ำเงื่อนไขอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับทั้งสองระบบนี้ถูกจำกัดและควบคุมให้เหมือนกัน ไม่ว่าจะเป็นวิธีการรีเจนเนอเรต อัตราการจ่ายน้ำ ขนาดหน่วยปฏิบัติการ ปริมาณเรซินที่ใช้เป็นสารกรองแลกเปลี่ยนไอออน คุณสมบัติของน้ำดิบที่เข้าทดลอง ปริมาณสารรีเจนเนอเรนต์ที่ใช้ ฯลฯ ในทำนองเดียวกันกับกรณีของเรซินประจุบวก จากผลการทดลองอาจสรุปเปรียบเทียบการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของทั้งสองระบบได้ดังนี้

- ที่อัตราการจ่ายน้ำ 200, 100 และ 300 ลิตรต่อชั่วโมงจ่ายน้ำได้ปริมาณน้ำใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาค่าคำนวณออกแบบระบบผลิตน้ำทั้งสอบแบบจากการคำนวณตาม Engineering Data Sheet แล้วจะเห็นว่าค่าคำนวณของระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน จะให้ปริมาณการจ่ายน้ำมากกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน เท่ากับ  $(\frac{0.513-0.503}{0.503}) \times 100\%$

หรือเท่ากับ 1.99 % หรือเทียบเป็นปริมาณน้ำเท่ากับ 3.29 ถึง 3.23 ลบ.ม. หรือเท่ากับ 0.06 ลบ.ม. แต่ในการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำห่างกันน้อยที่สุดเท่ากับ 0.17 ลบ.ม. ดังนั้นความแตกต่างจากค่าคำนวณระหว่างสองระบบ (0.06 ลบ.ม.) นี้จึงไม่สามารถตรวจสอบความแตกต่างได้ การทดลองจ่ายน้ำของสองระบบในกรณีของเรซินประจุลบให้ปริมาณการจ่ายน้ำเท่ากัน

เป็นที่น่าสังเกตว่า กรณีเรซินประจุบวก ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน มีสมรรถนะความสามารถผลิตน้ำต่อรอบการทำงานมากกว่าระบบโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน (ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.9.2 ข้อย่อย 1) ข้างต้น) ในกรณีเรซินประจุลบกลับไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุหลังนี้ พอที่จะสันนิษฐานได้ว่า กรณีของเม็ดเรซินประจุบวก มีค่าความหนาแน่น (Density) มากกว่าเม็ดเรซินประจุลบ นอกจากนั้นจากการทดลองการขยายตัว (Reversible Swelling) ของเรซินประจุบวกมีค่าเท่ากับ 2.697 % ซึ่งน้อยกว่าเรซินประจุลบซึ่งมีค่าการขยายตัวเท่ากับ 16.210 % ดังนั้นเรซินประจุบวกในขณะทำการทดลอง โดยการจ่ายน้ำหรือรีเจนเนอเรต การเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (Form) ของเรซินระหว่างรูปแบบอิมตัว (Exhausted Form) กับรูปแบบรีเจนเนอเรต (Regenerated Form) จะก่อให้เกิดช่องว่างไม่มากภายในห่อเรซินประจุบวก ขณะเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปมา ในทางตรงกันข้าม ชั้นของเรซินประจุลบ จะเกิดช่องว่างภายในห่อจากการหดตัวของเรซินมากกว่า นั่นหมายถึงห่อเรซินประจุบวกจะมีลักษณะเป็นแพ็กเบตที่เนื้อแน่นกว่า เมื่อรีเจนเนอเรชันแบบเคาน์เตอร์จึงไม่เกิดความปั่นป่วนและสามารถให้ผลการรีเจนเนอเรตที่สมบูรณ์กว่ากรณีของเรซินประจุลบ ซึ่งจะเกิดการลอยตัวและผสมกันเองของเม็ดเรซินในระหว่างที่รีเจนเนอเรตแบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรชัน ดังนั้นเรซินประจุลบในกรณีเคาน์เตอร์เคอร์เรนตรีเจนเนอเรตจึงให้ผลผลิตน้ำไม่แตกต่างกับกรณีโคเคอร์เรนตรีเจนเนอเรต

### 5.9.3. สรุปผลการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 5.9, 5.9.1 และ 5.9.2 อาจสรุปผลการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการที่ใช้ออกแบบได้ดังนี้

### 5.9.3.1 ความเหมาะสมของสมการที่ใช้ออกแบบ

- **กรณีเรซินประจุบวก**

จากการตรวจสอบค่าคำนวณที่ได้จากสมการทั่วไปที่ใช้ออกแบบโดยอาศัย Engineering Bulletin ของเรซิน AMBERLITE 200 ของบริษัท Lohm and Hass นั้นได้ข้อสรุปว่าการทดลองจ่ายน้ำค่อนข้างสอดคล้องกับค่าคำนวณ โดยผลการทดลอง คือสามารถจ่ายปริมาณน้ำได้มากกว่าค่าคำนวณพอสมควร คืออยู่ในช่วง 0.94 ถึง 45.24 % โดยการทดลองทำที่อัตราการจ่ายน้ำระหว่าง 100 ถึง 300 ลิตรต่อชั่วโมง หรือความเร็วเชิงเส้น (Linear Velocity) ระหว่าง 13.67 ถึง 41.02 m/h ( $m^3/m^2-h$ )

- **กรณีเรซินประจุลบ**

จากการตรวจสอบสมการทั่วไปที่ใช้ออกแบบโดยอาศัย Engineering Data Sheet ของเรซิน AMBERLITE IRA 900 ของบริษัท Lohm and Hass นั้นได้ผลว่า ผลการทดลองจ่ายน้ำสอดคล้องมากกับค่าคำนวณ โดยผลการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าคำนวณ เมื่อทำการทดลองที่อัตราการจ่ายน้ำระหว่าง 100 ถึง 300 ลิตรต่อชั่วโมง หรือความเร็วเชิงเส้นระหว่าง 6.45 ถึง 19.35 m/h ( $m^3/m^2-h$ )

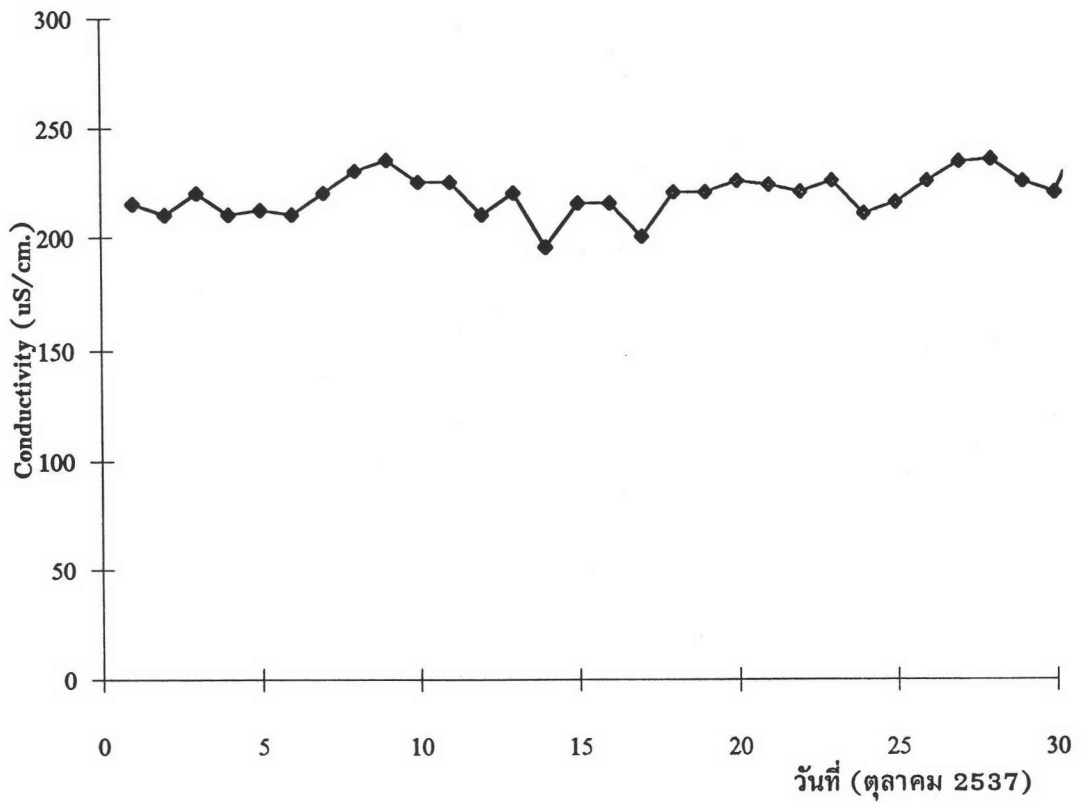
### 5.9.3.2 ผลการเปรียบเทียบระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบ

- **กรณีเรซินประจุบวก**

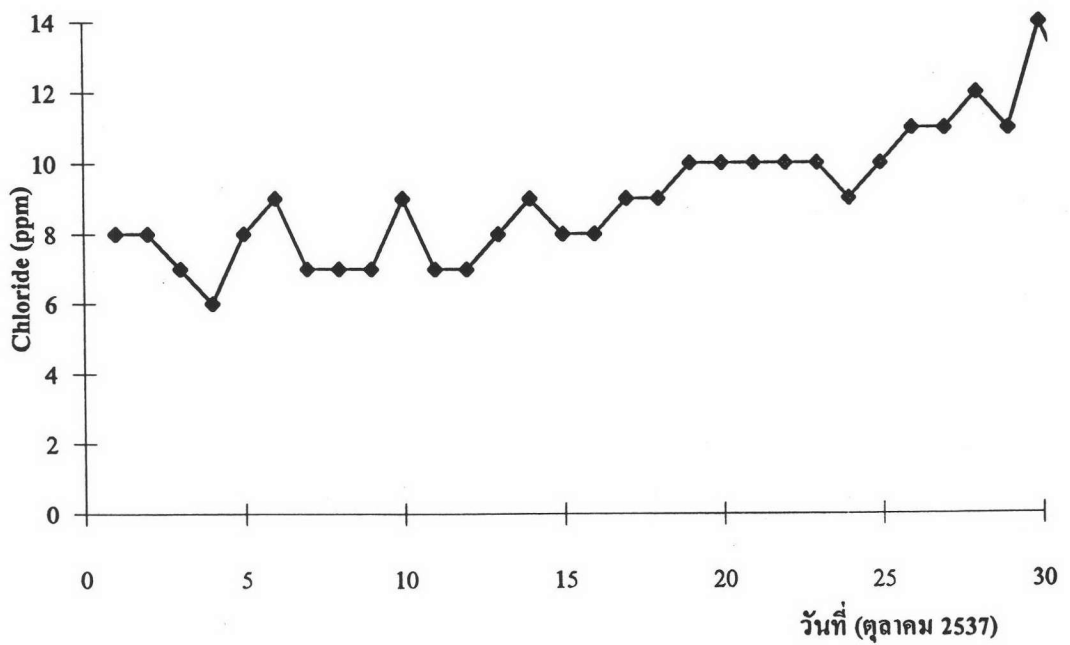
จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตน้ำบริสุทธิ์ระหว่างแบบโคเคอร์เรนต์และเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน ได้ข้อสรุปว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบแพ็กเบตชนิดเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้ปริมาณน้ำที่ผลิตต่อรอบการทำงานมากกว่า ชนิดโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน ในช่วง 5.77 ถึง 7.69 % เมื่อทำการทดลองที่อัตราการจ่ายน้ำระหว่าง 100 ถึง 300 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ ความเร็วเชิงเส้นระหว่าง 13.67 ถึง 41.02 m/h ( $m^3/m^2-h$ )

- **กรณีเรซินประจุลบ**

ผลการทดลองได้ว่า ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองแบบนี้ให้ผลการทดลองที่ไม่สามารถแยกให้เห็นได้ชัดว่า ปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีความแตกต่างกัน อนึ่งค่าคำนวณของระบบเคาน์เตอร์โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชันให้ปริมาณน้ำที่จ่ายมากกว่าระบบโคเคอร์เรนต์ในช่วง 1.99 %

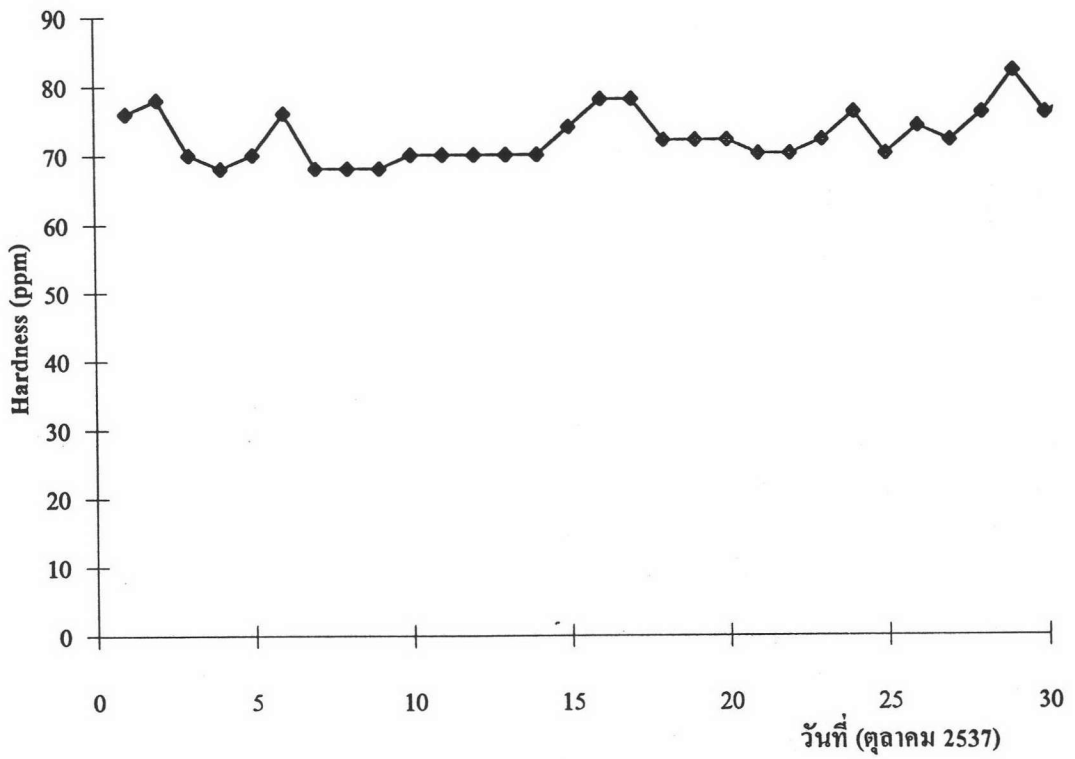


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Conductivity) ในช่วงเดือนตุลาคม 2537

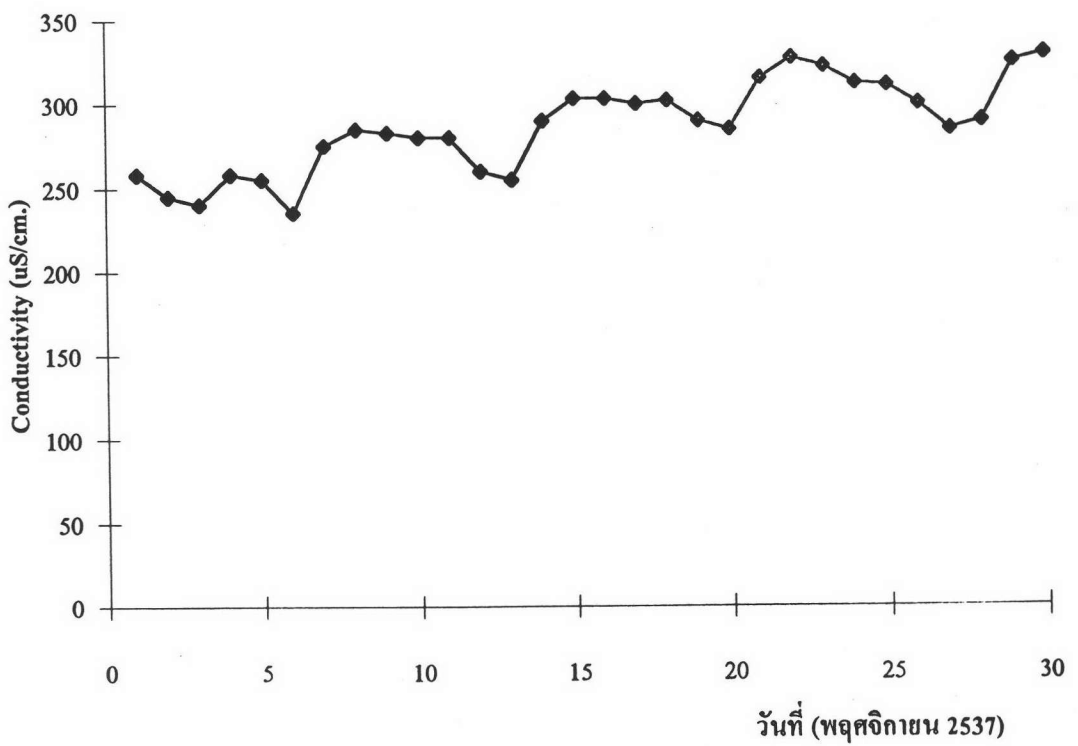


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Chloride) ในช่วงเดือนตุลาคม 2537

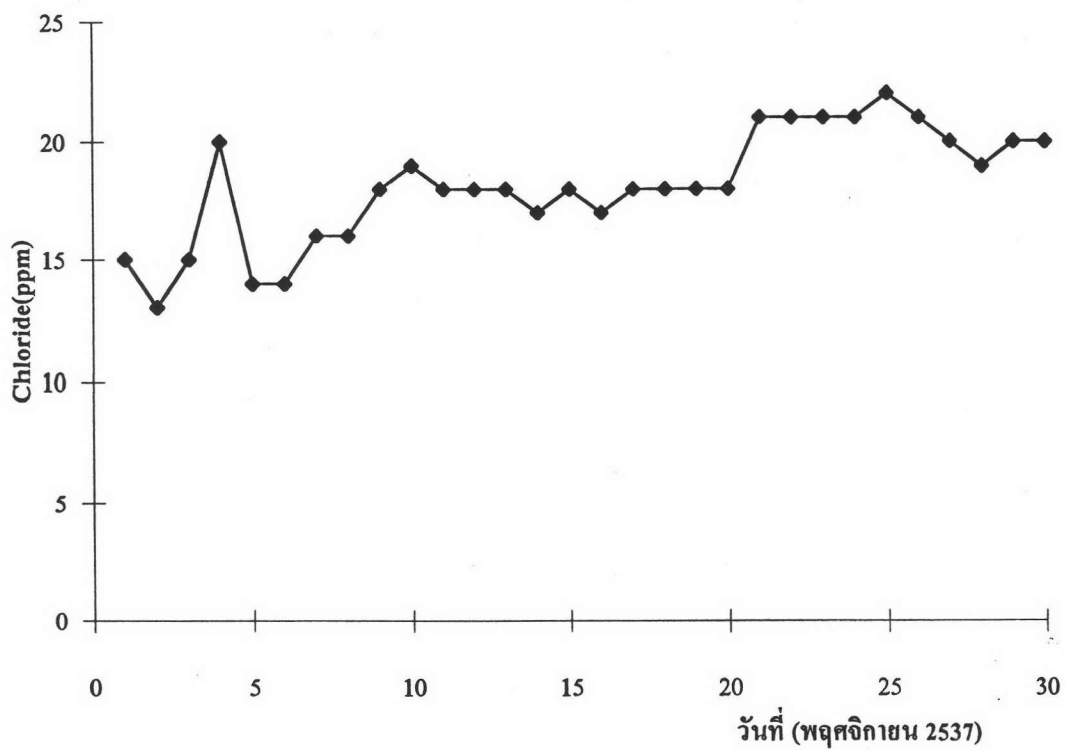




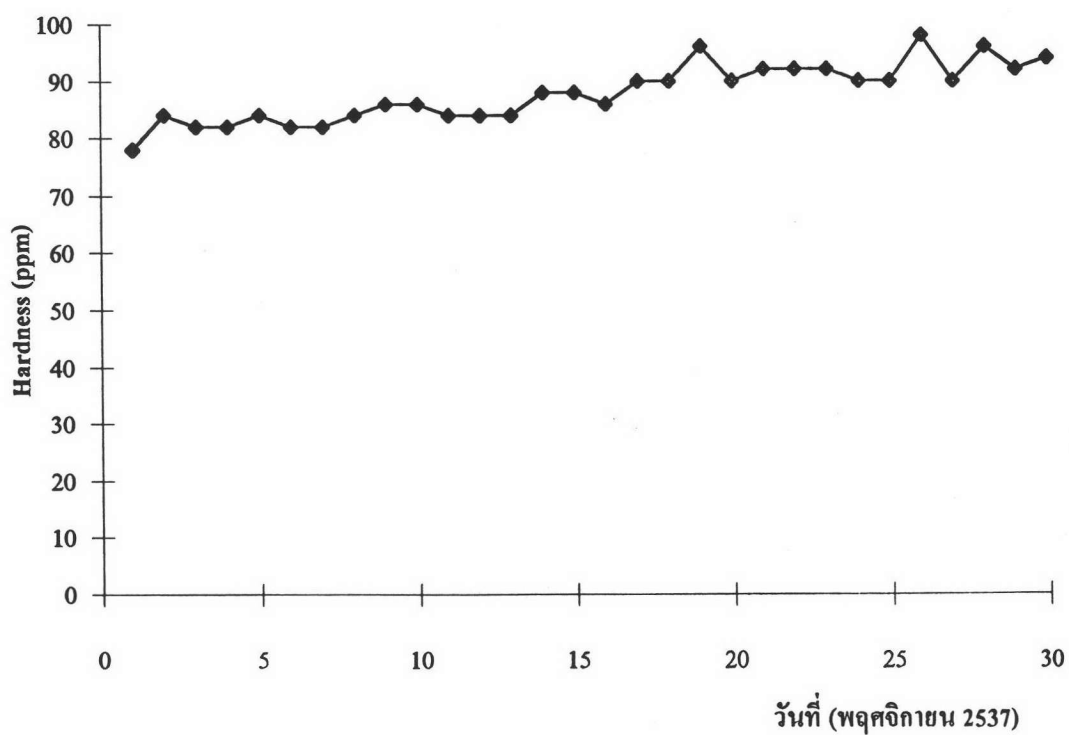
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Hardness) ในช่วงเดือนตุลาคม 2537



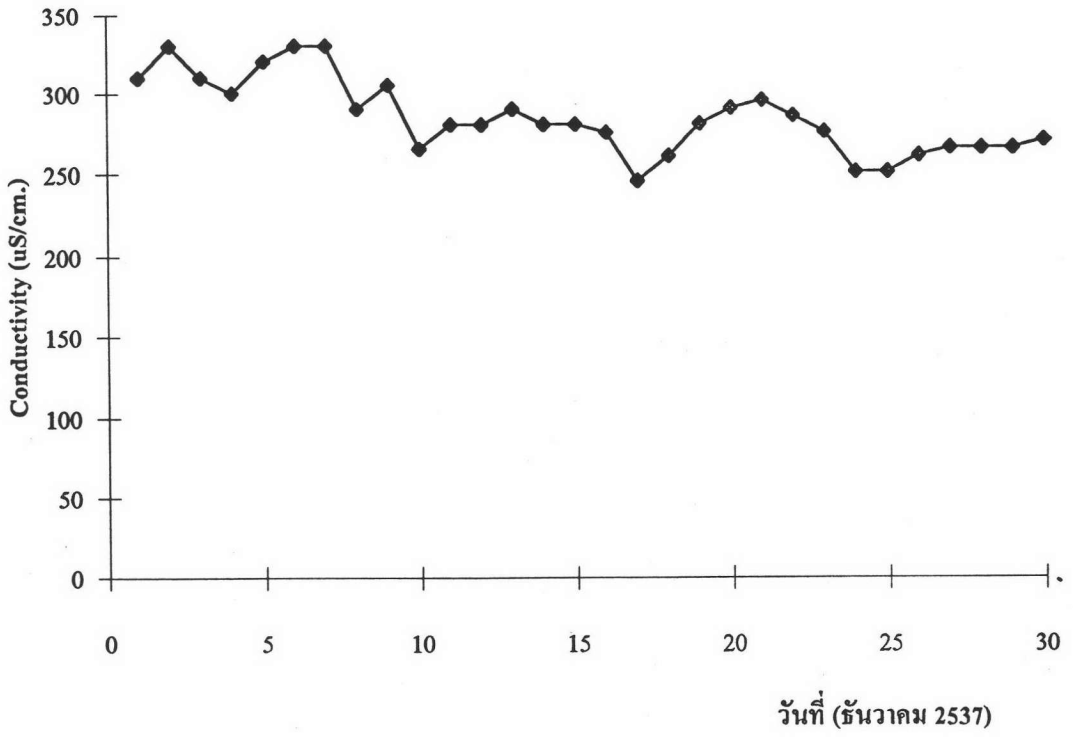
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Conductivity) ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2537



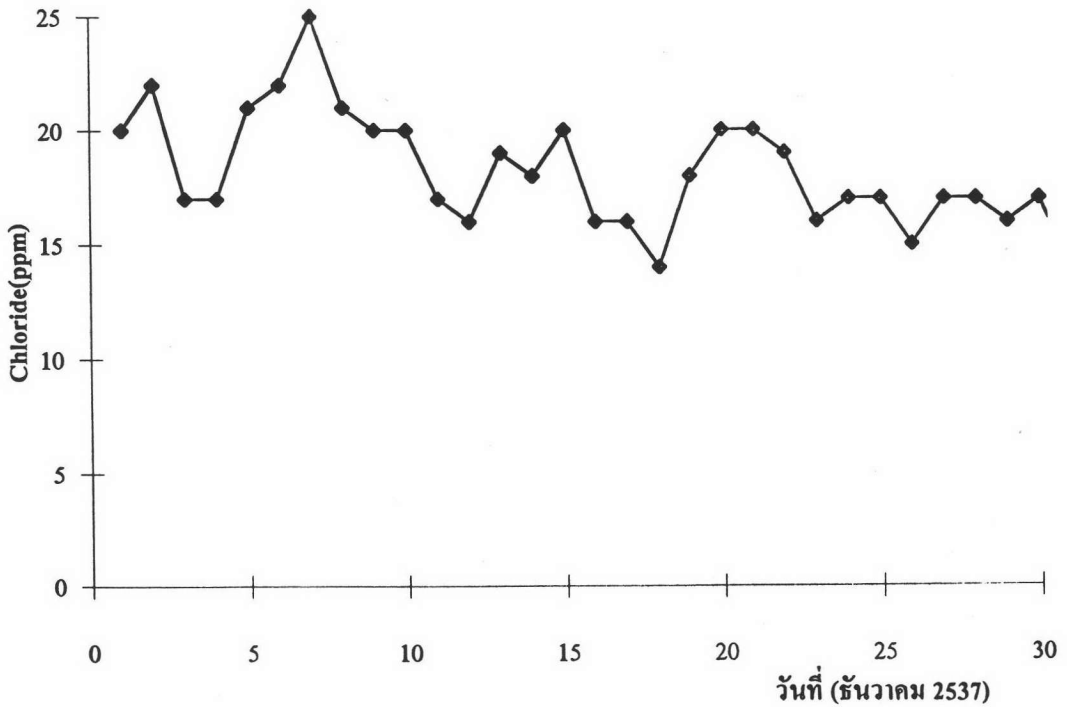
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Chloride) ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2537



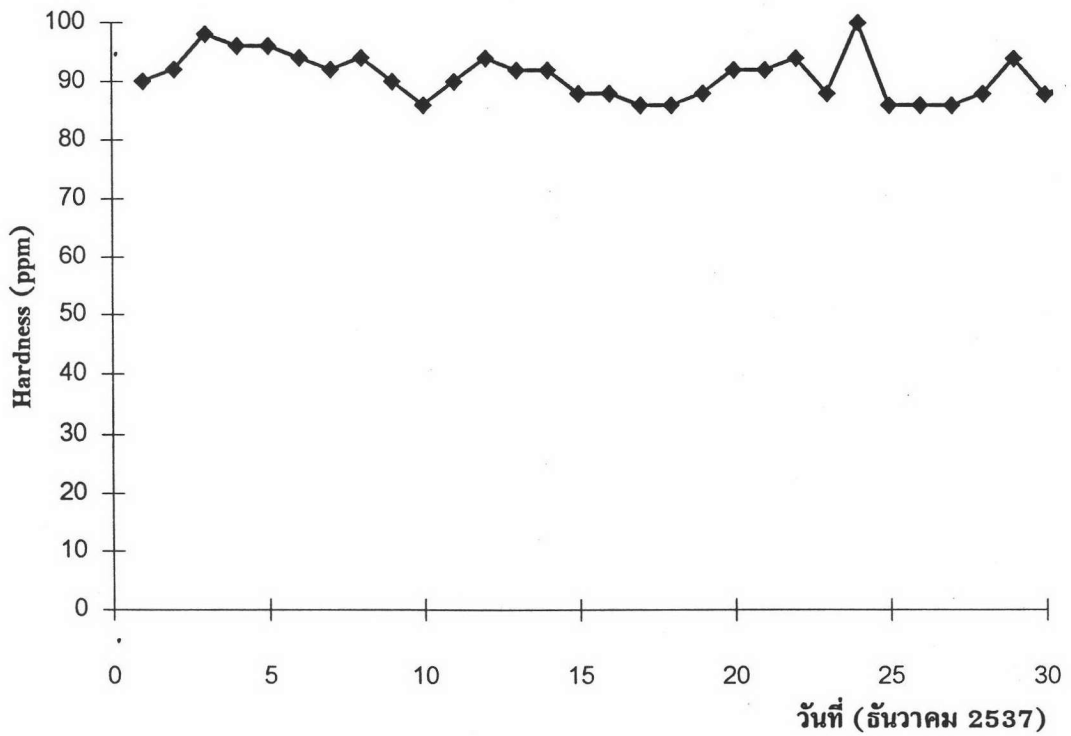
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Hardness) ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2537



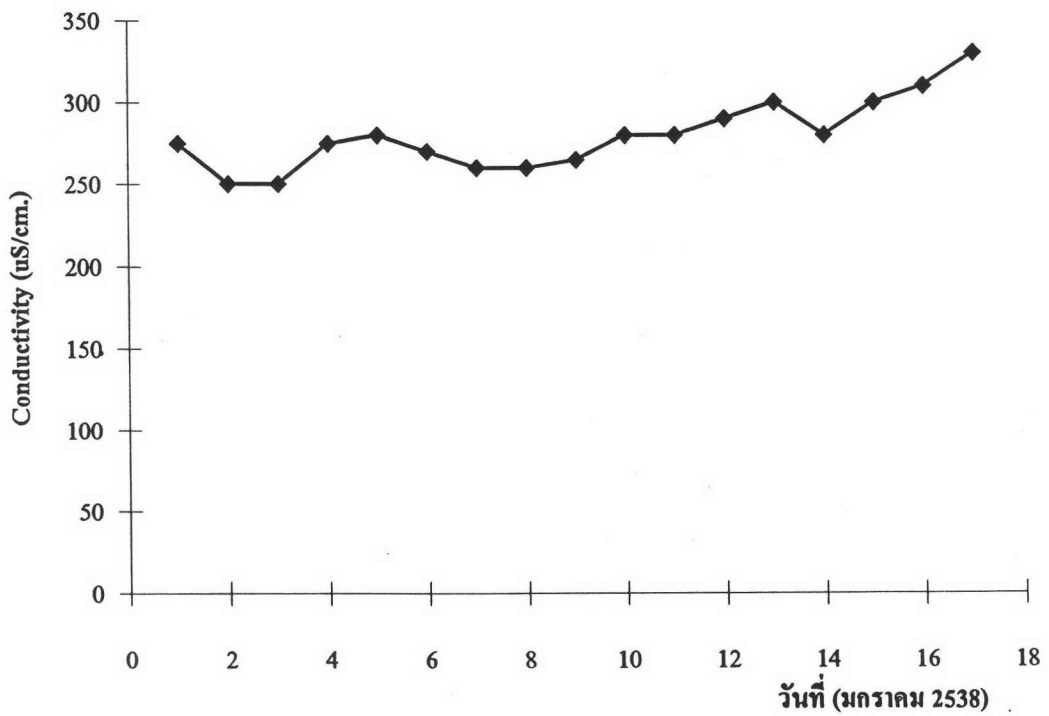
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Conductivity) ในช่วงเดือนธันวาคม 2537



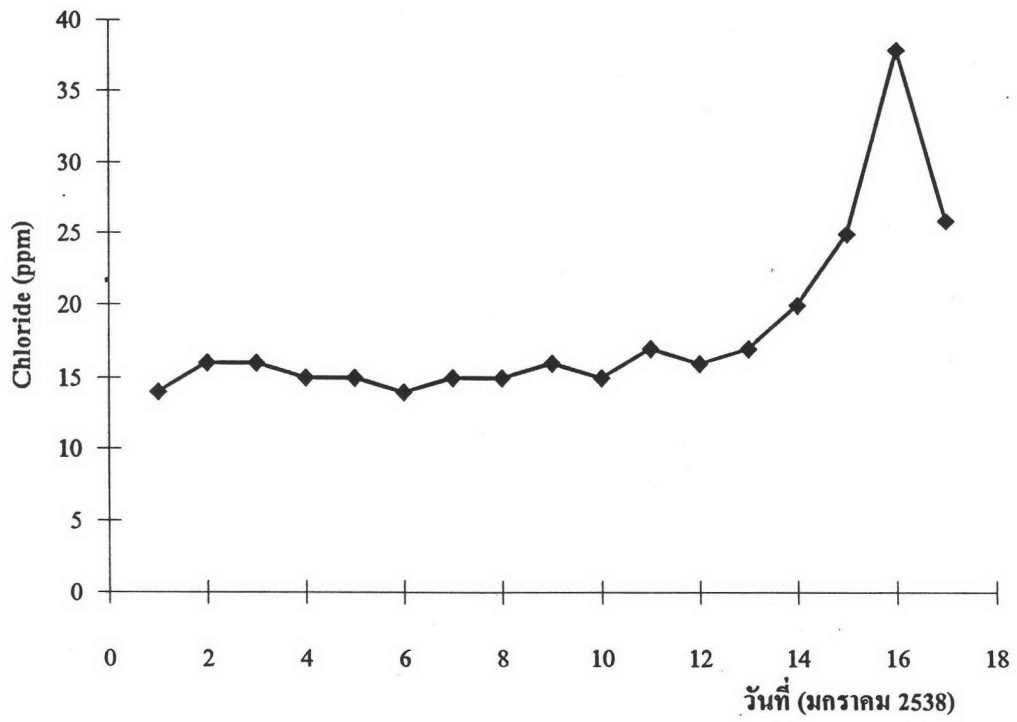
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Chloride) ในช่วงเดือนธันวาคม 2537



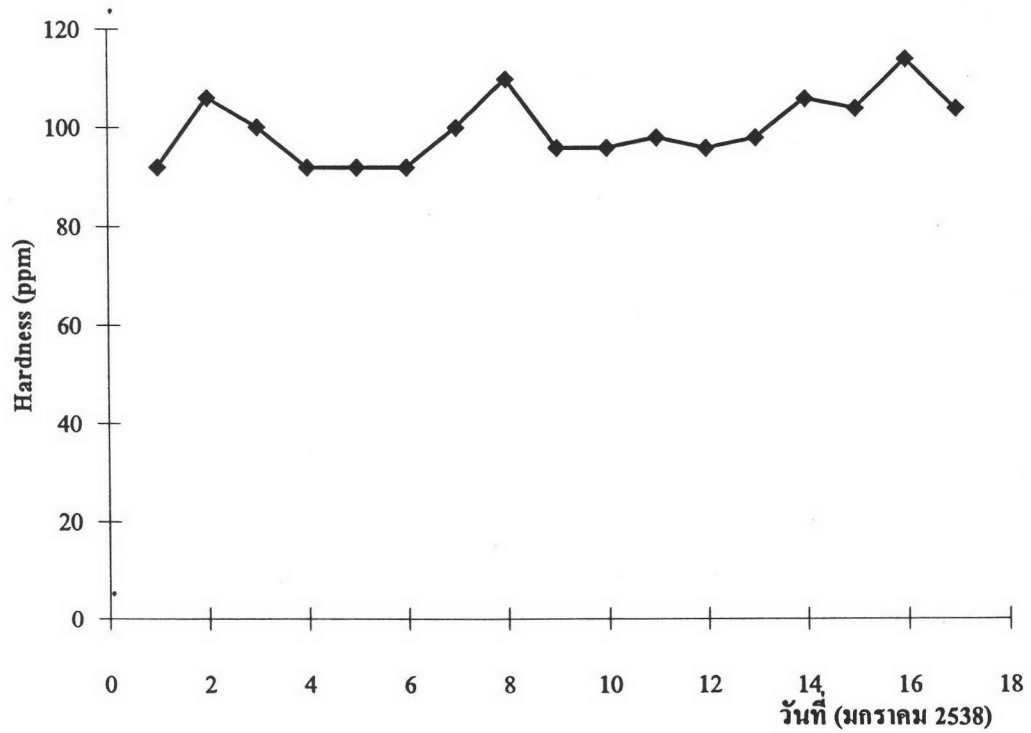
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Hardness) ในช่วงเดือนธันวาคม 2537



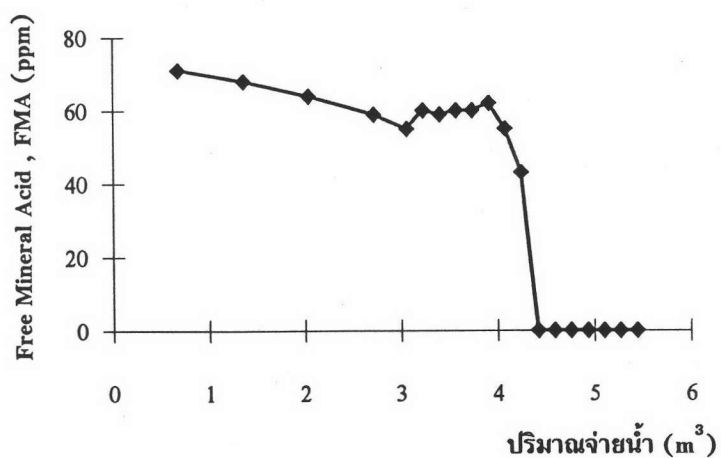
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Conductivity) ในช่วงเดือนมกราคม 2538



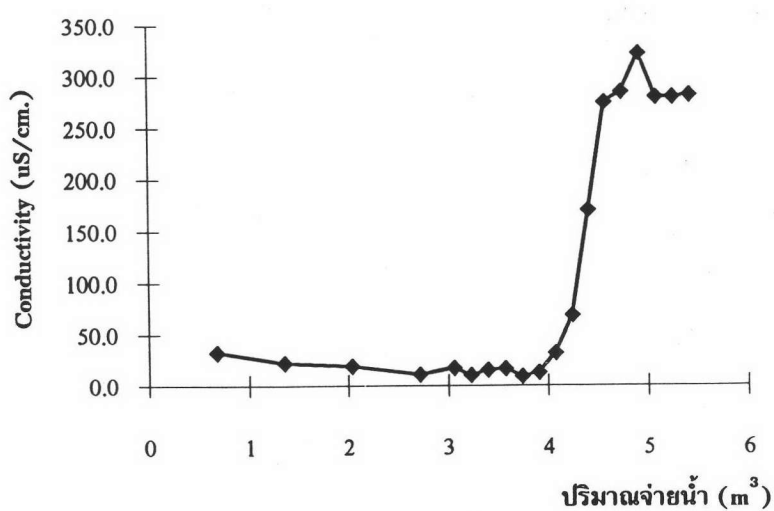
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Chloride) ในช่วงเดือนมกราคม 2538



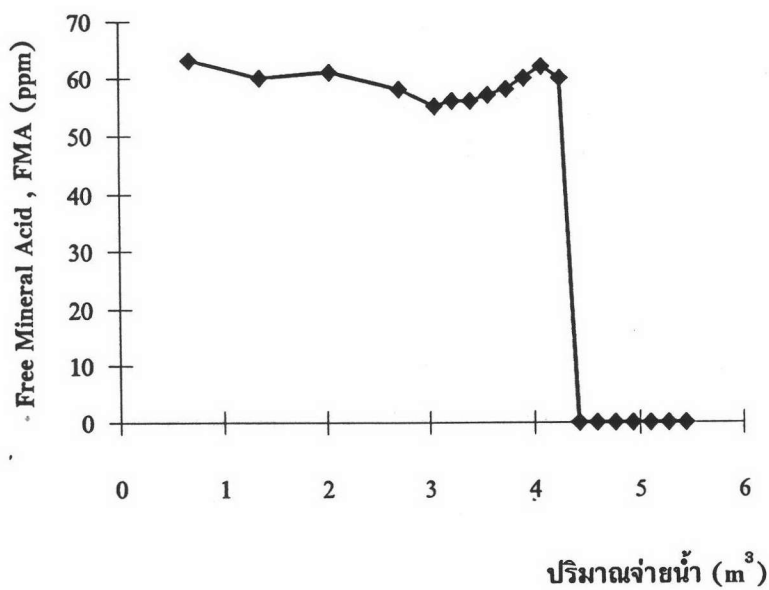
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงดัชนีคุณภาพน้ำดิบ (Hardness) ในช่วงเดือนมกราคม 2538



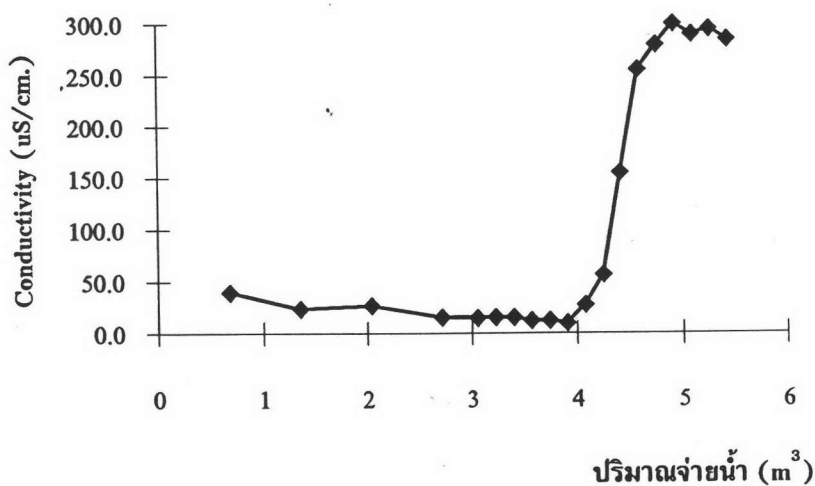
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หนึ่ง)



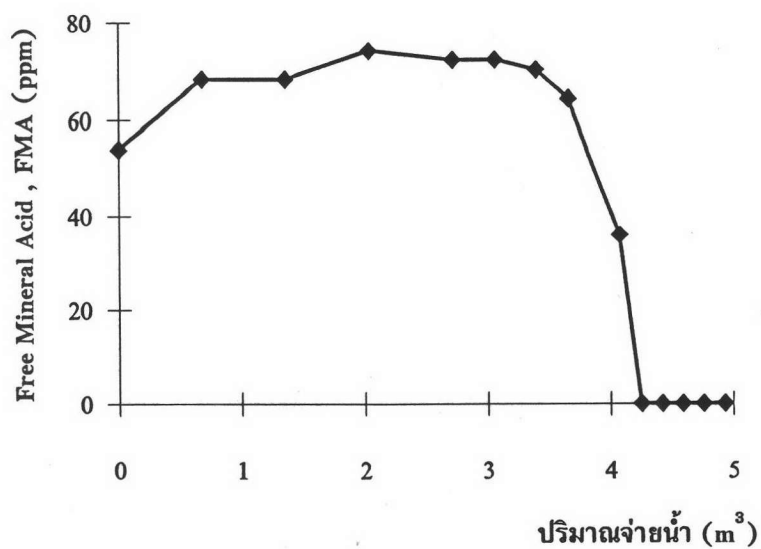
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หนึ่ง)



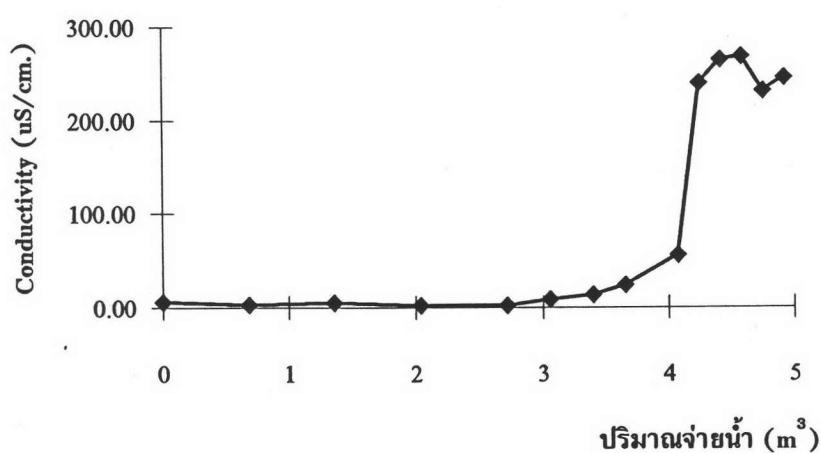
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หนึ่ง)



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หนึ่ง)

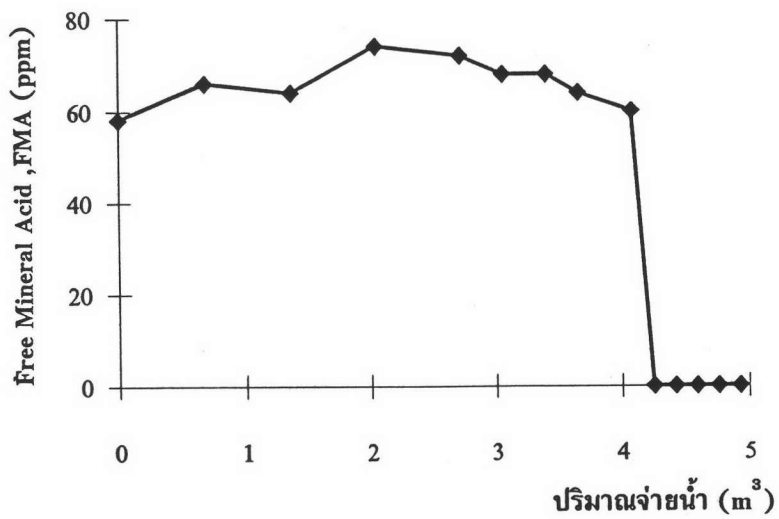


รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สอง)

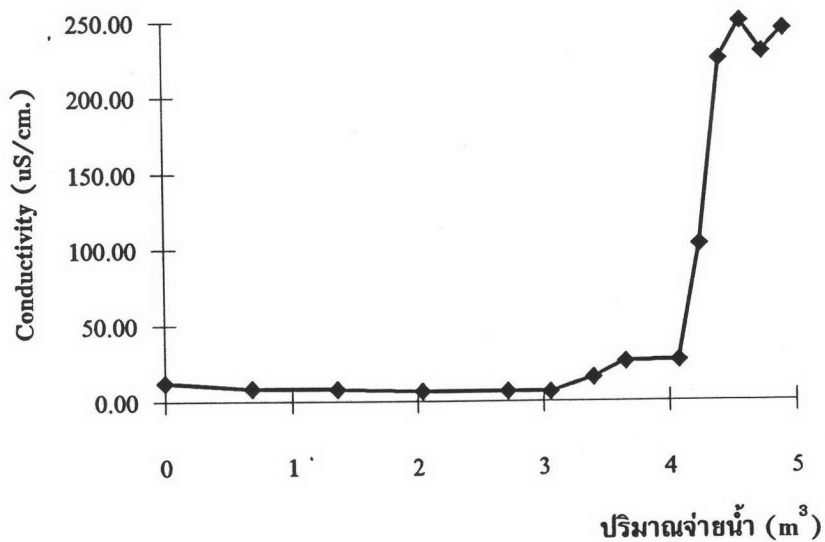


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สอง)

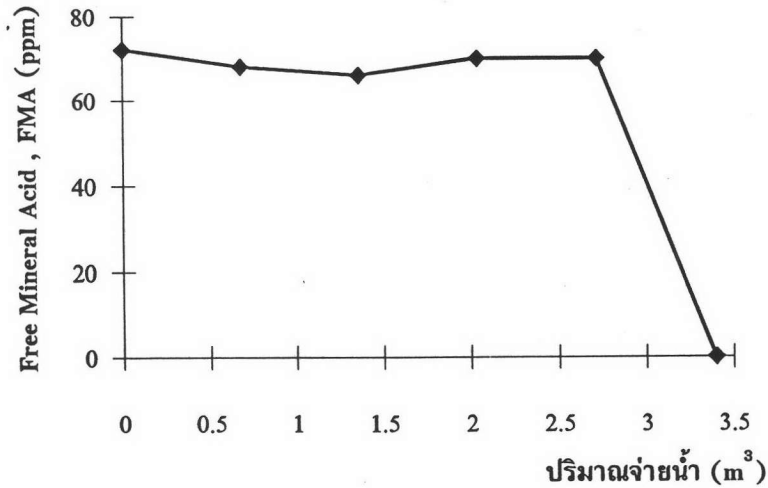




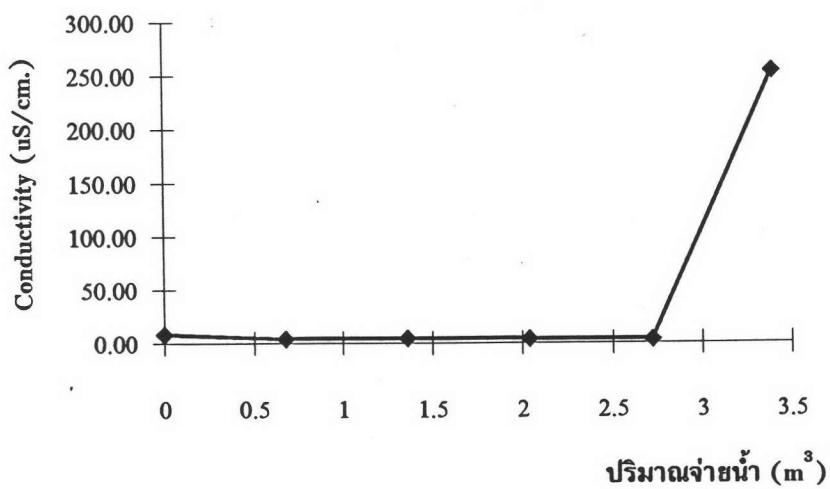
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สอง)



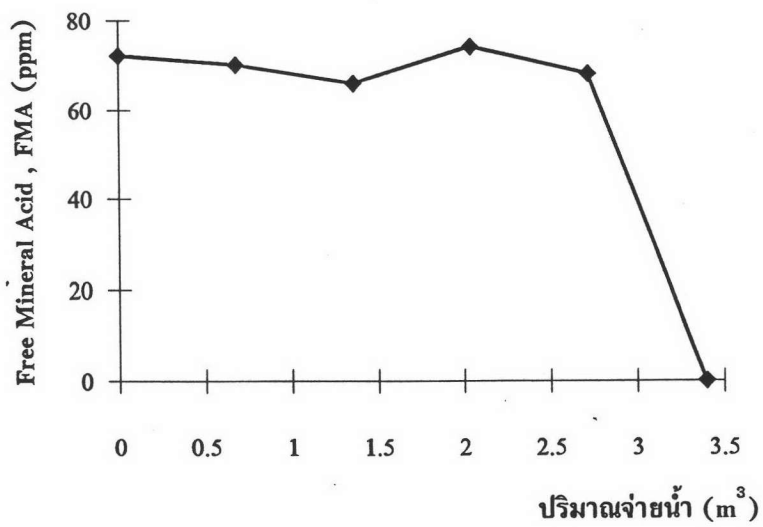
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สอง)



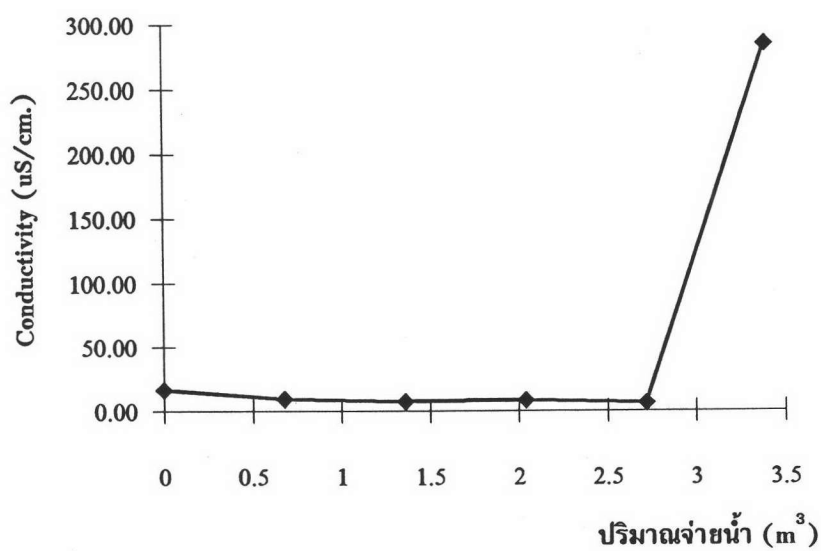
รูปที่ 5.21' กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สาม)



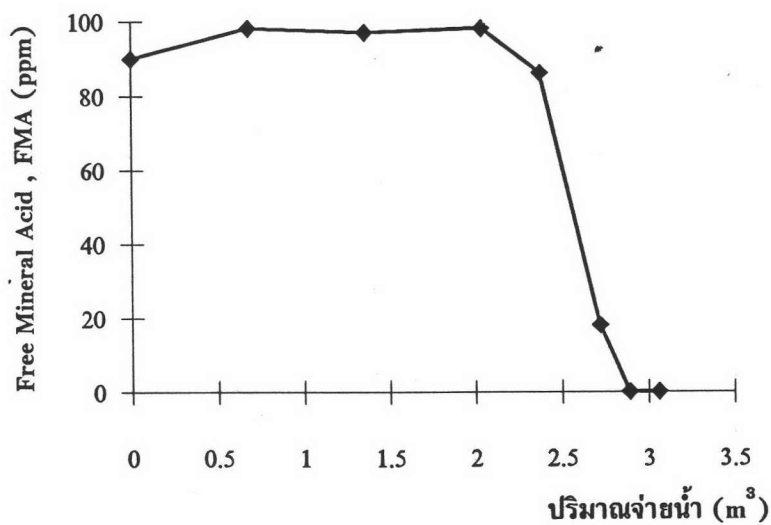
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สาม)



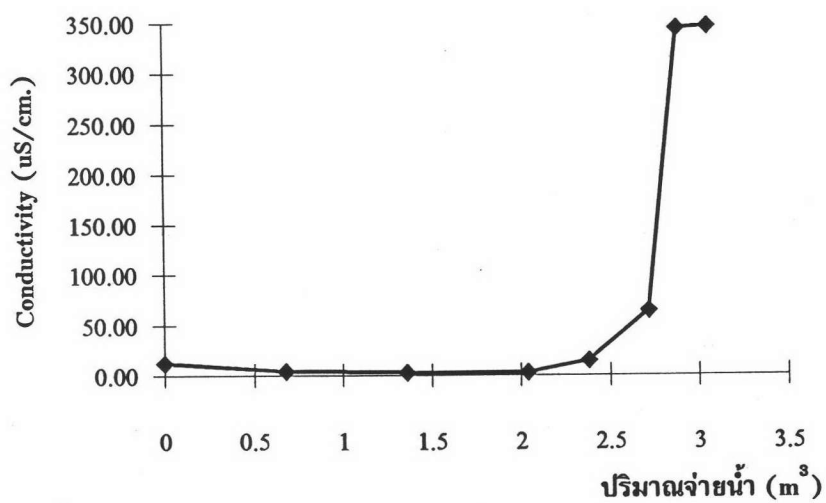
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สาม)



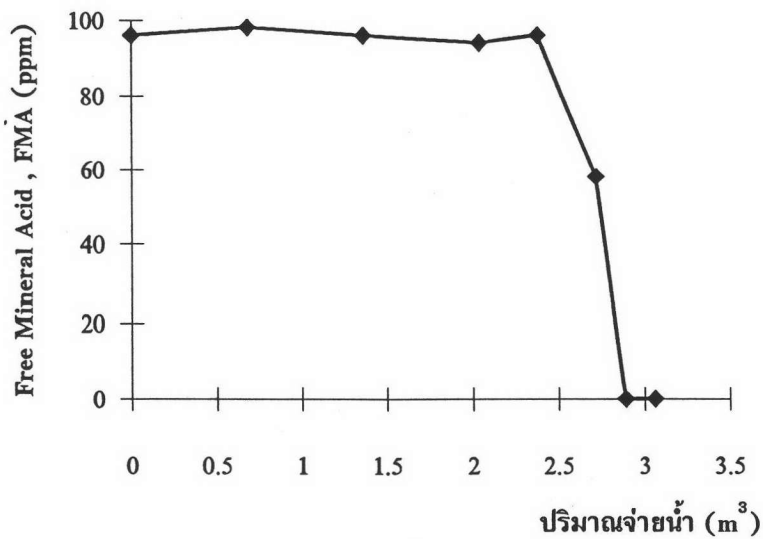
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สาม)



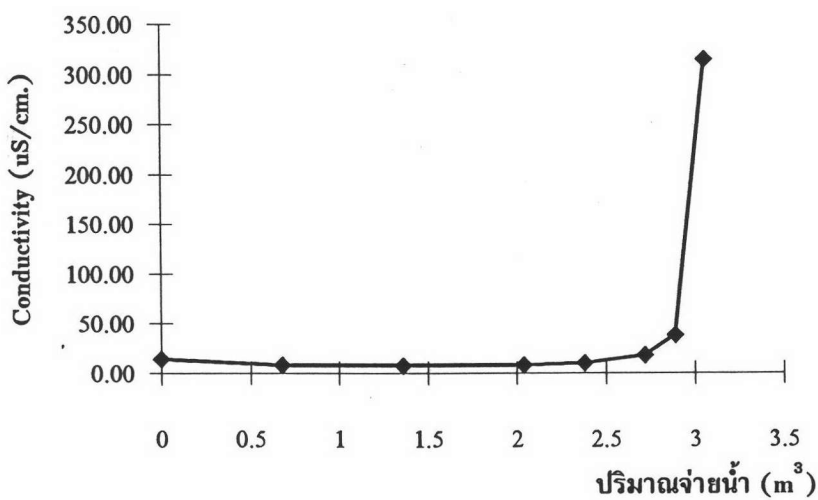
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สี่)



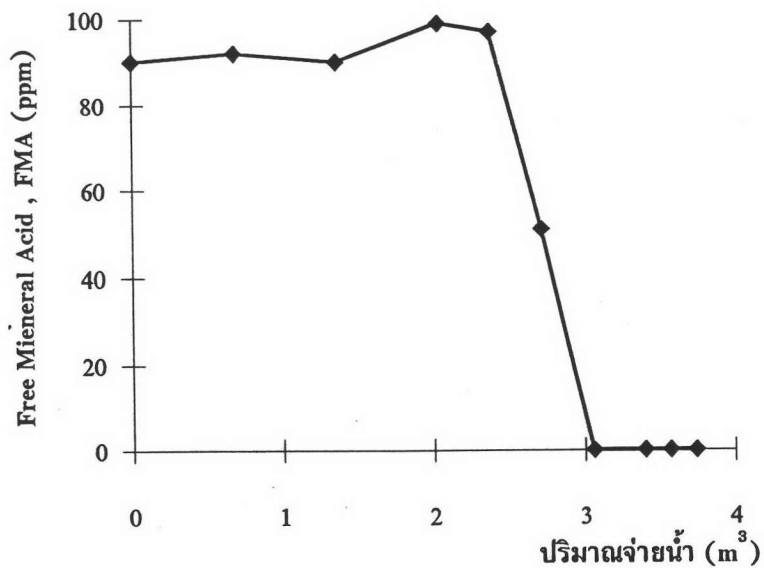
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สี่)



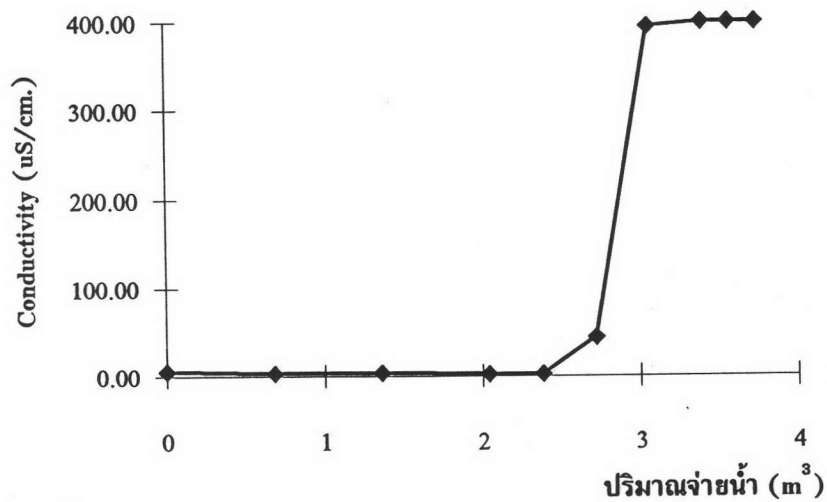
รูปที่ 5.27. กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สี่)



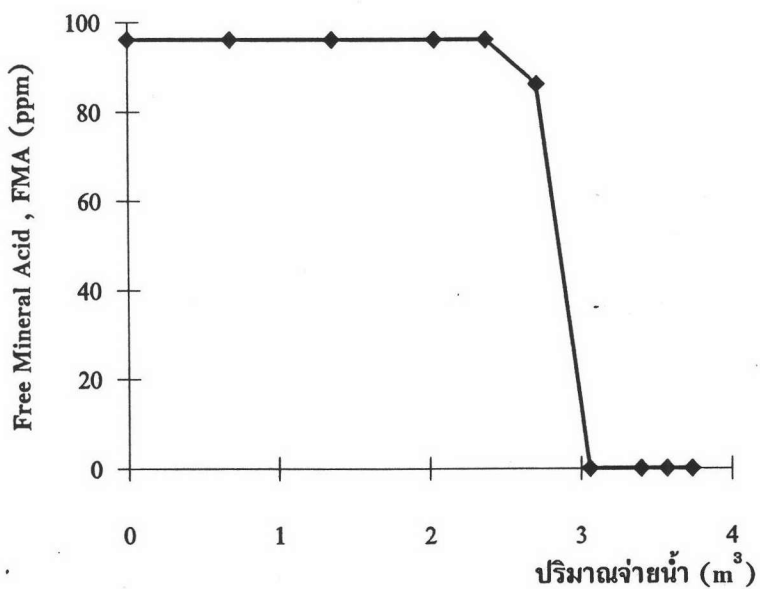
รูปที่ 5.28. กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สี่)



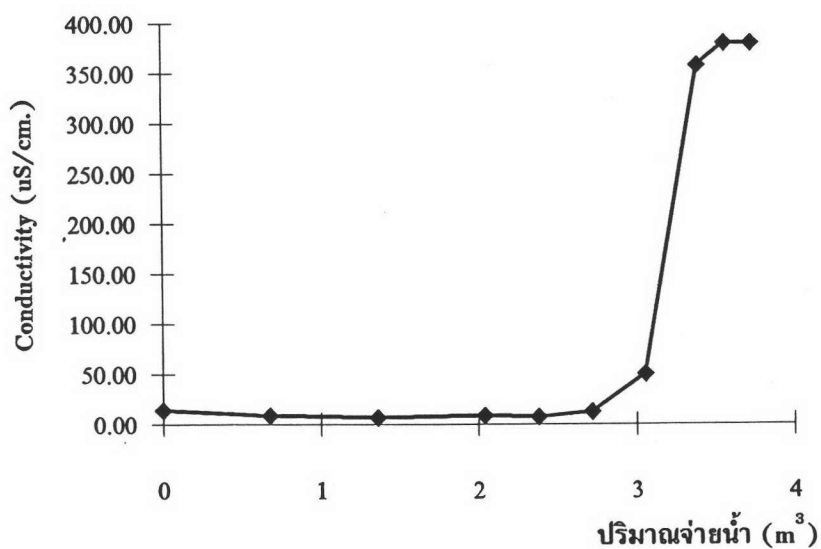
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่ห้า)



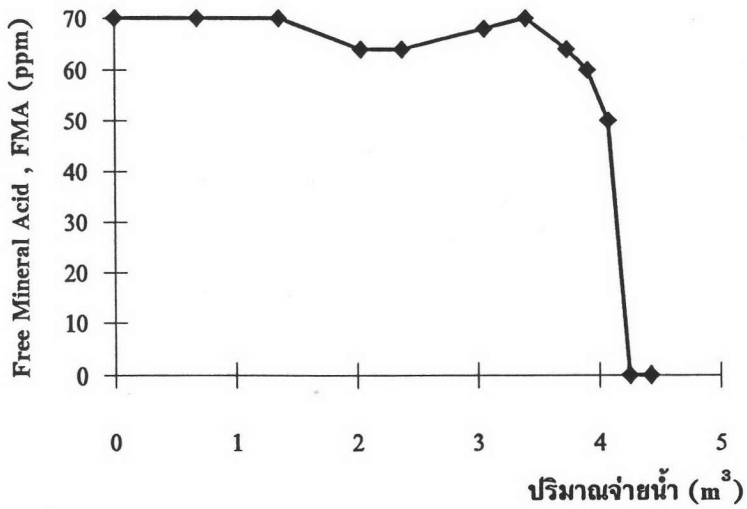
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่ห้า)



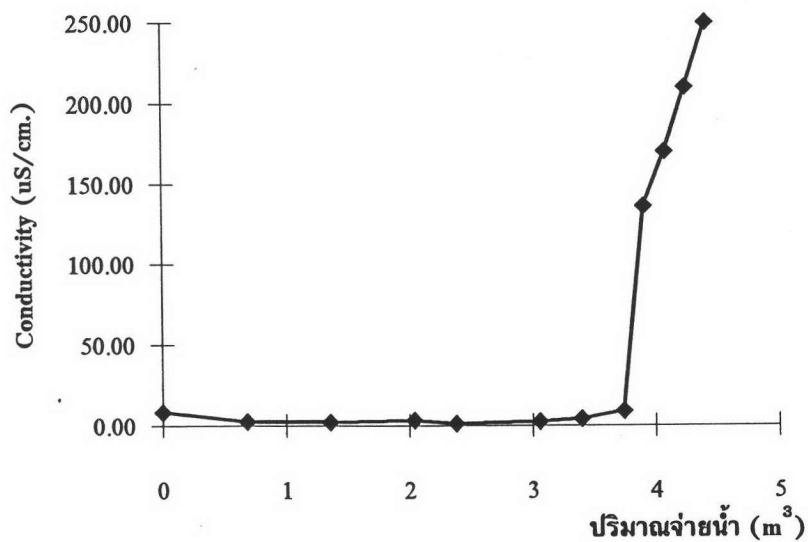
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่ห้า)



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่ห้า)

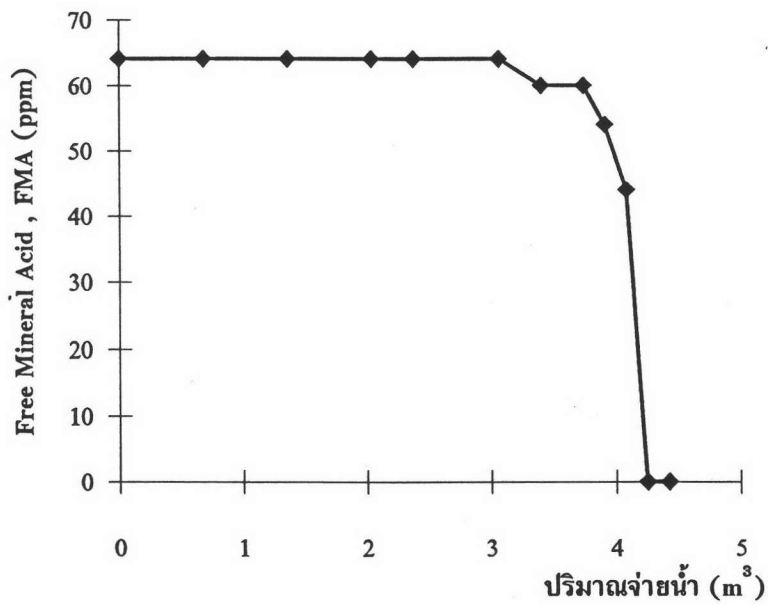


รูปที่ 5.33 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หก)

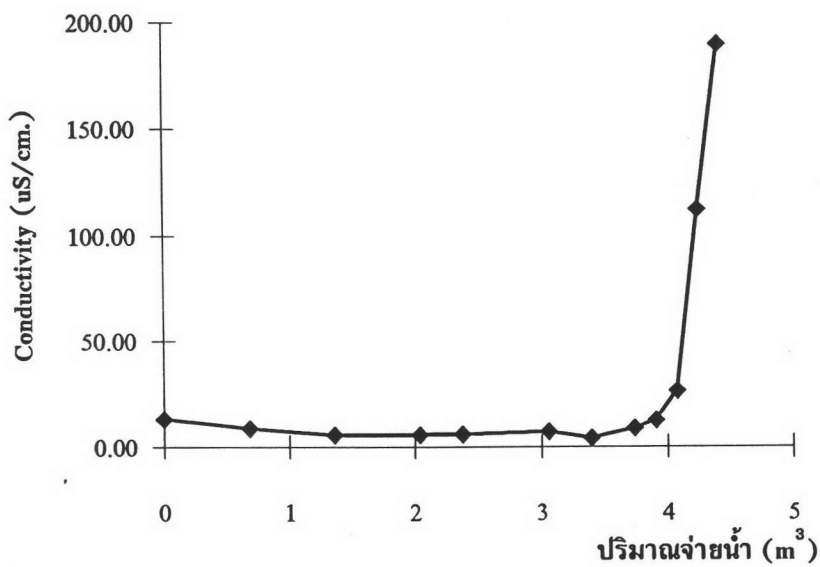


รูปที่ 5.34 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หก)

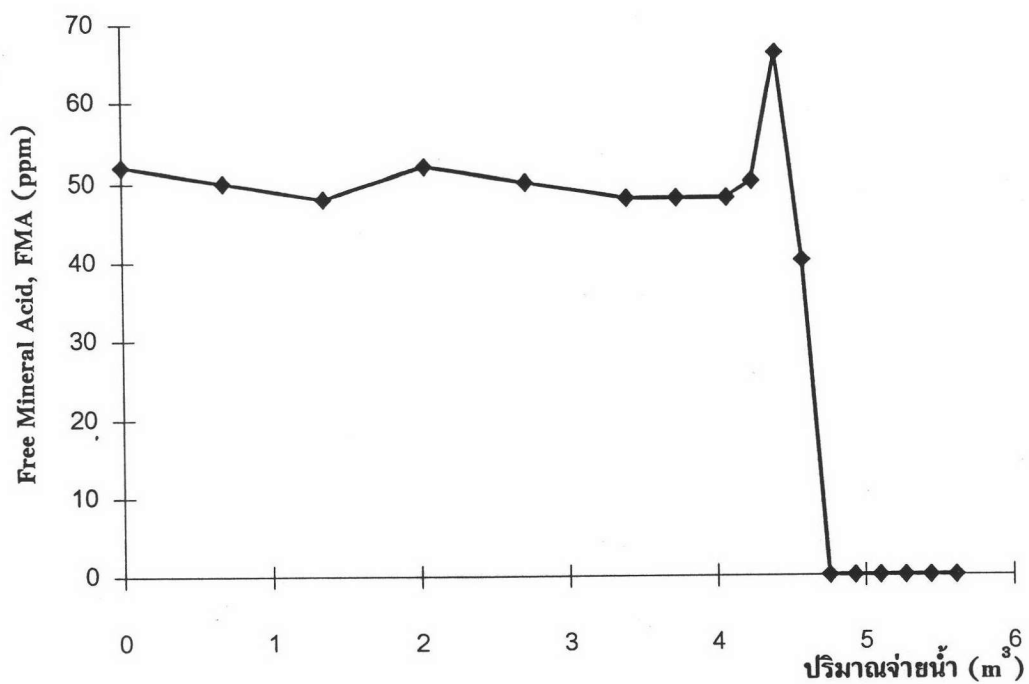




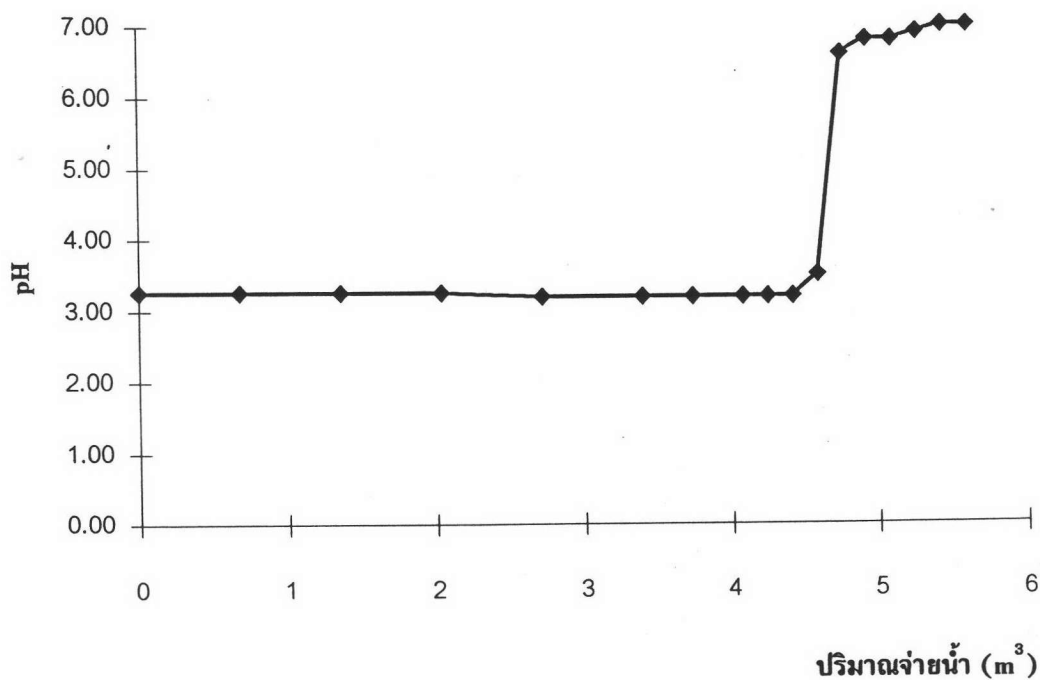
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หก)



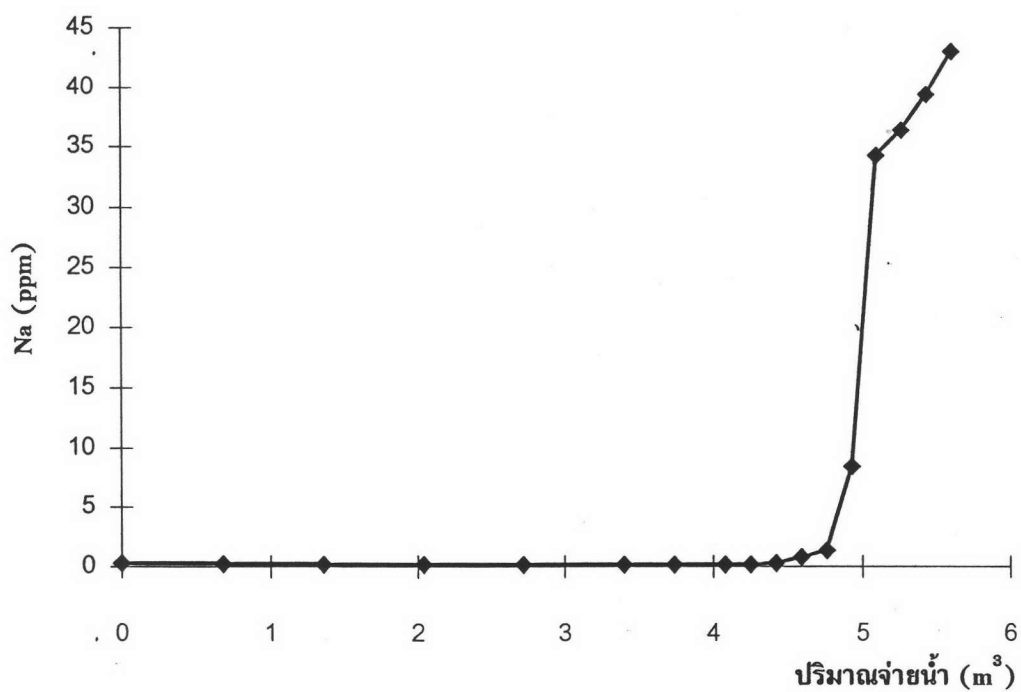
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่หก)



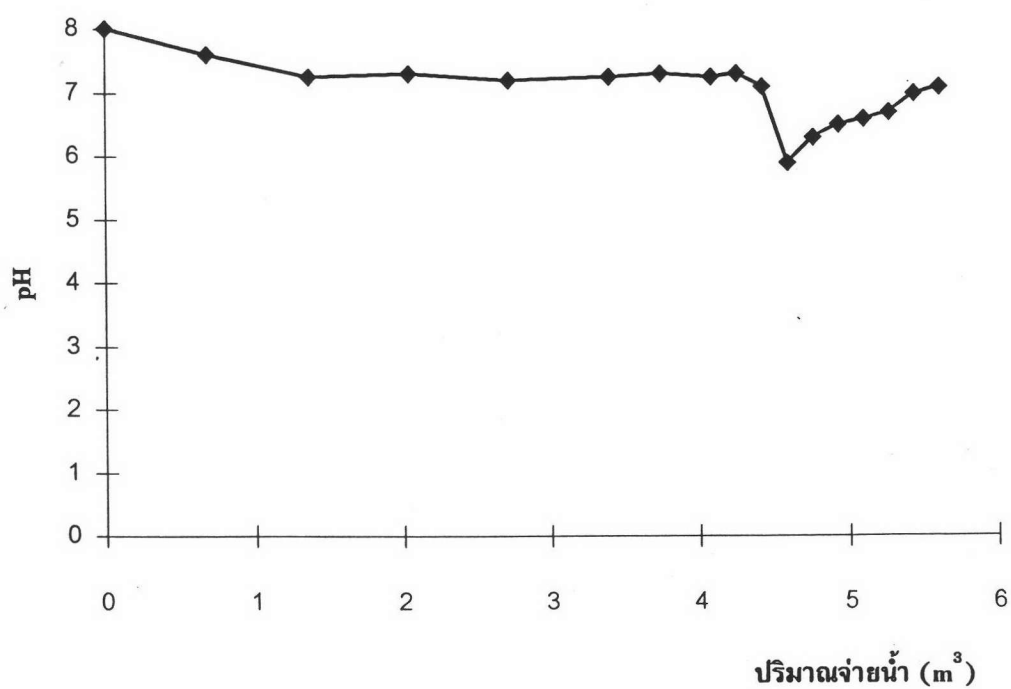
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



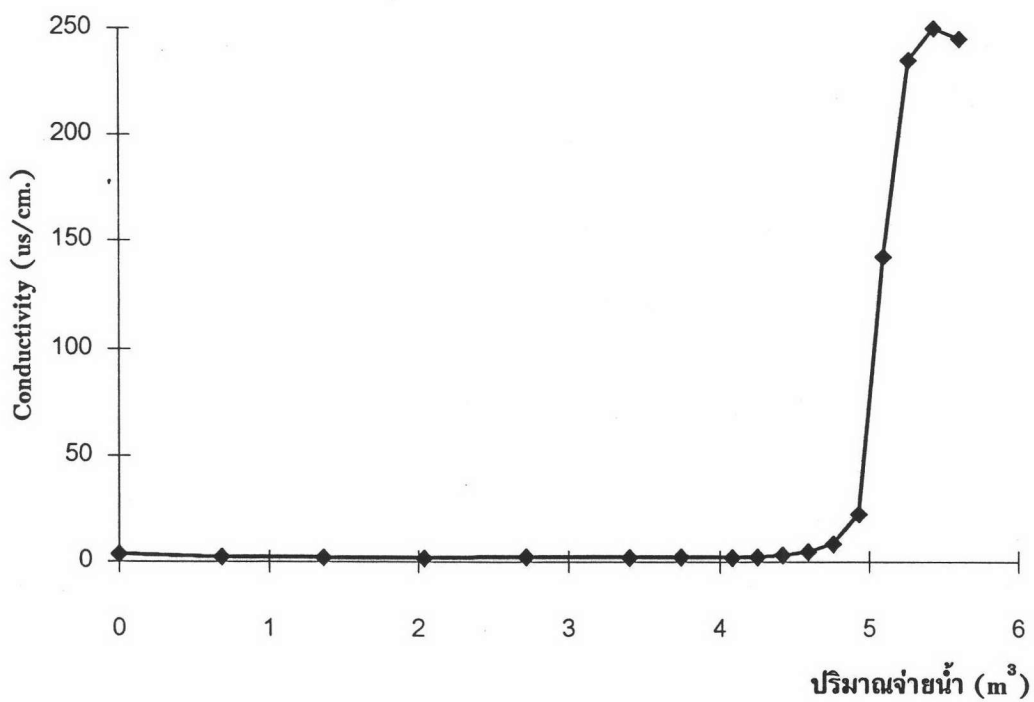
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



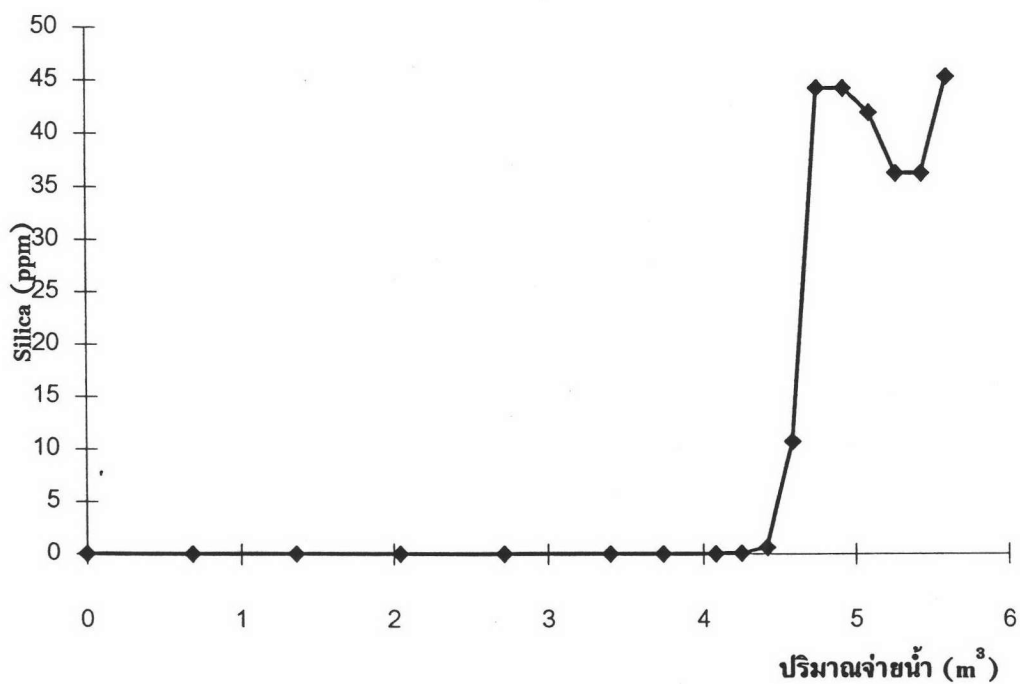
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



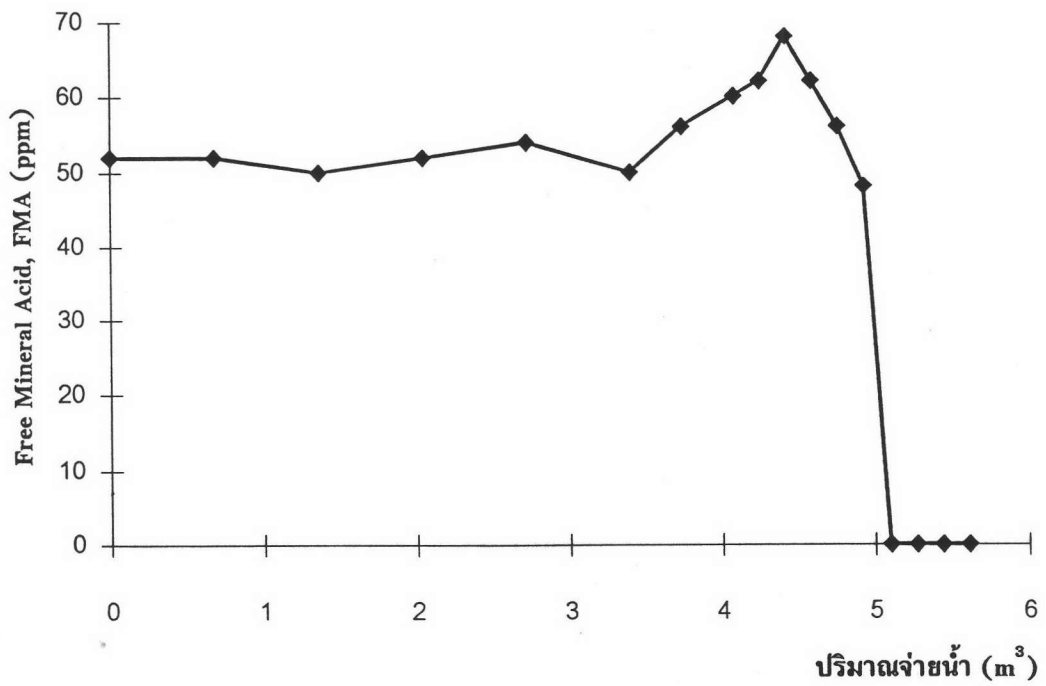
รูปที่ 5.40 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



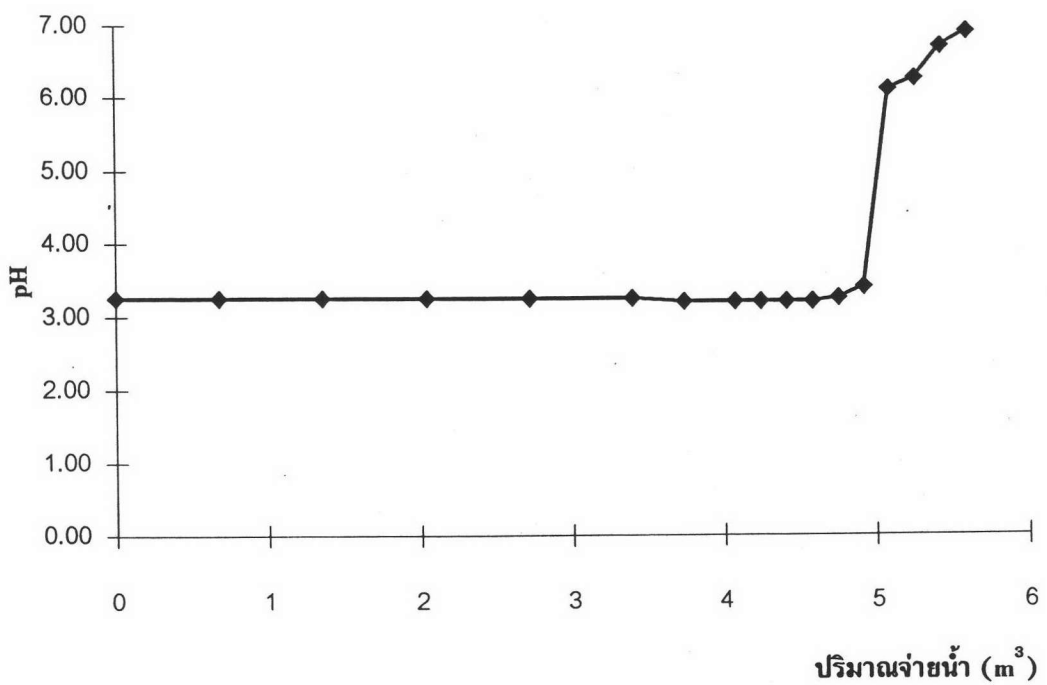
รูปที่ 5.41 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



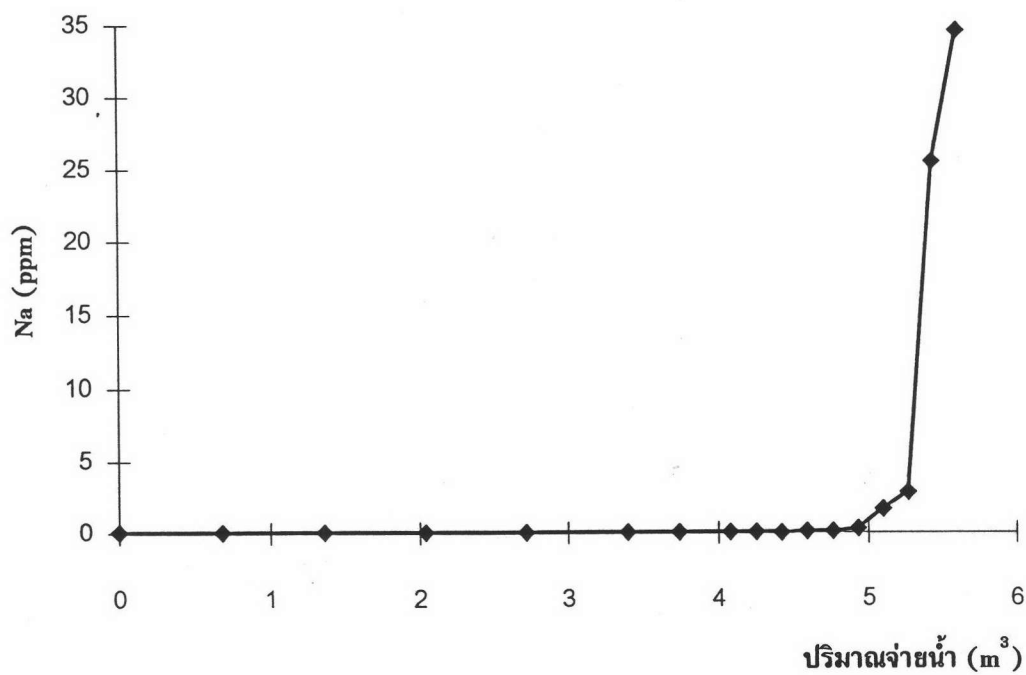
รูปที่ 5.42 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบโคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



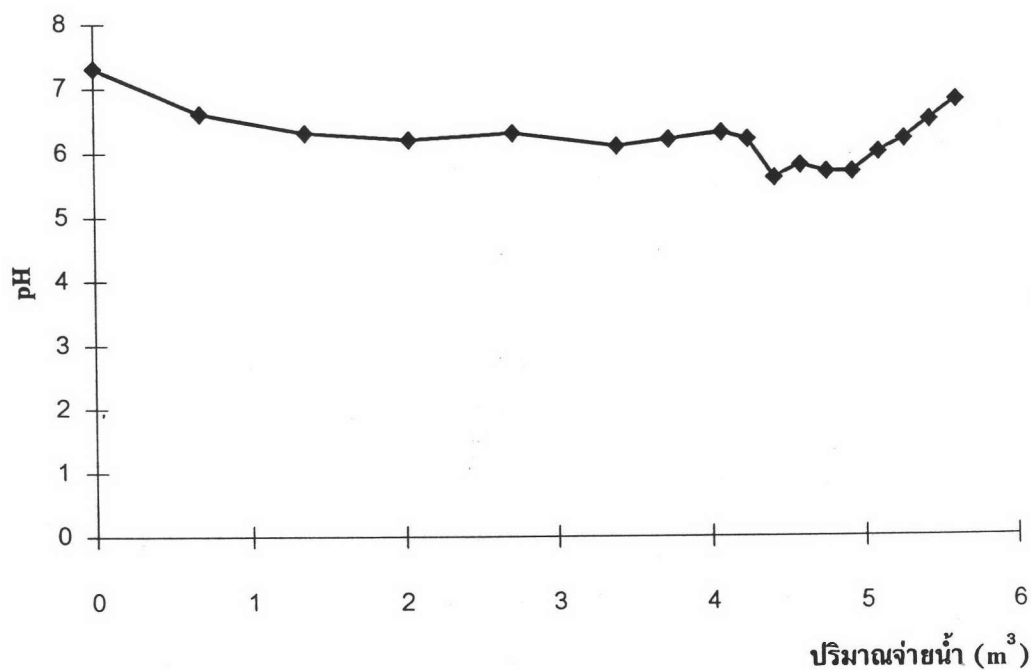
รูปที่ 5.43 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เร็นตรีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



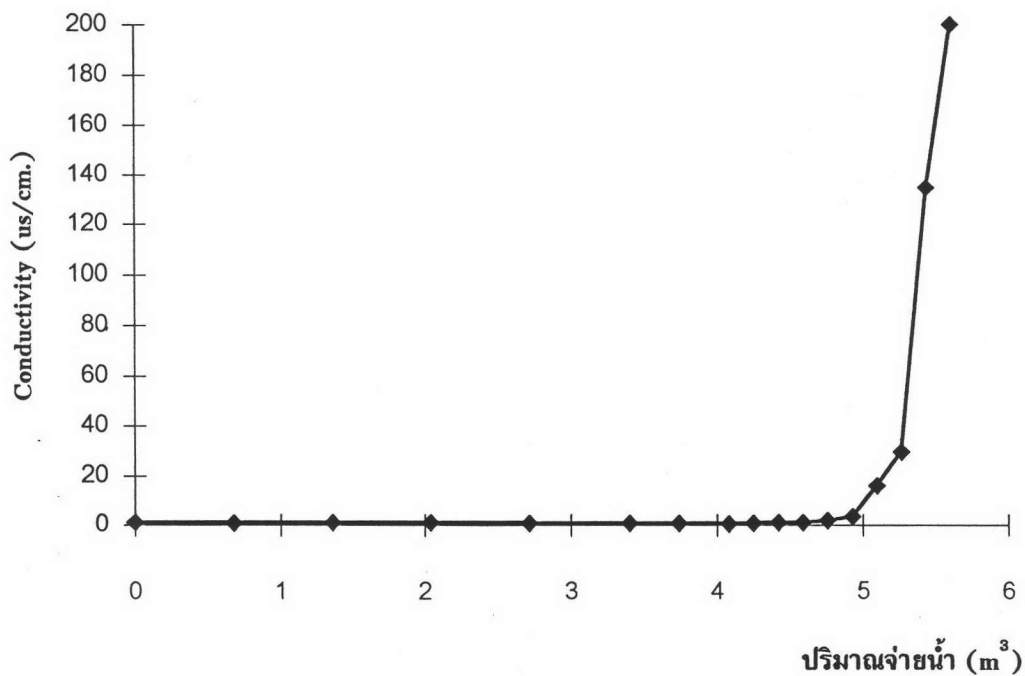
รูปที่ 5.44 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เร็นตรีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



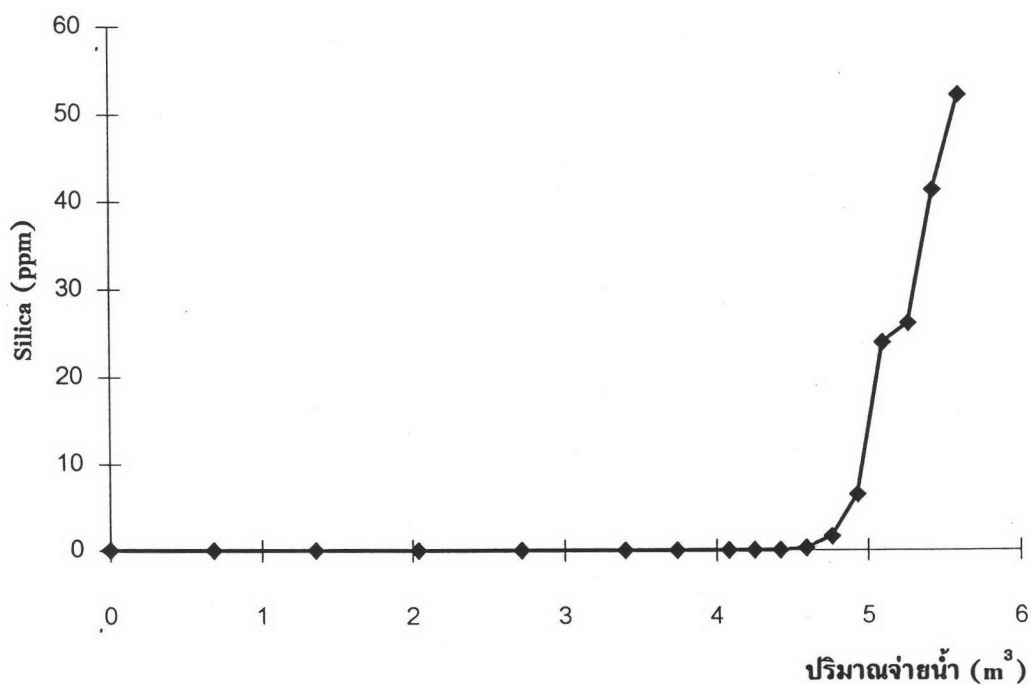
รูปที่ 5.45 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



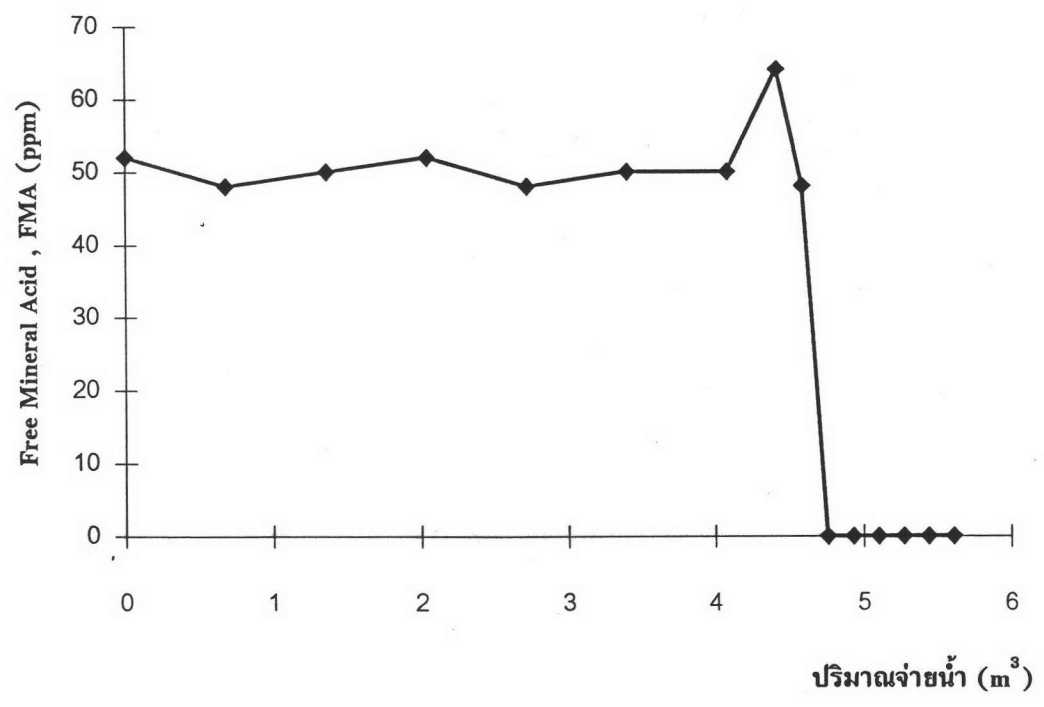
รูปที่ 5.46 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



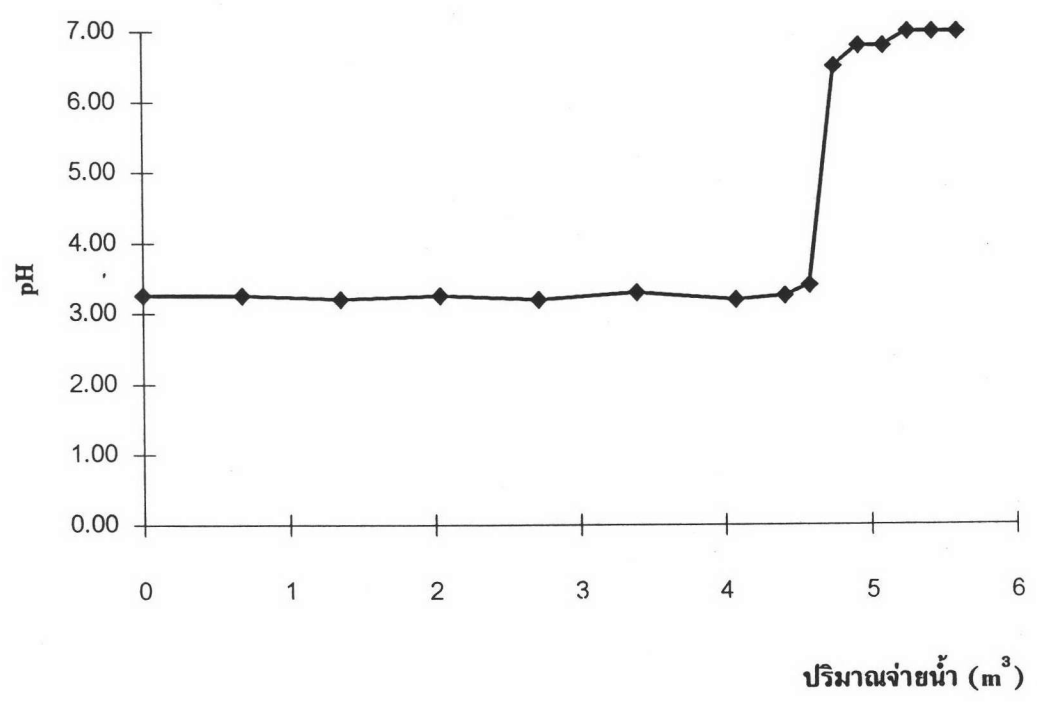
รูปที่ 5.47 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)



รูปที่ 5.48 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เจ็ด)

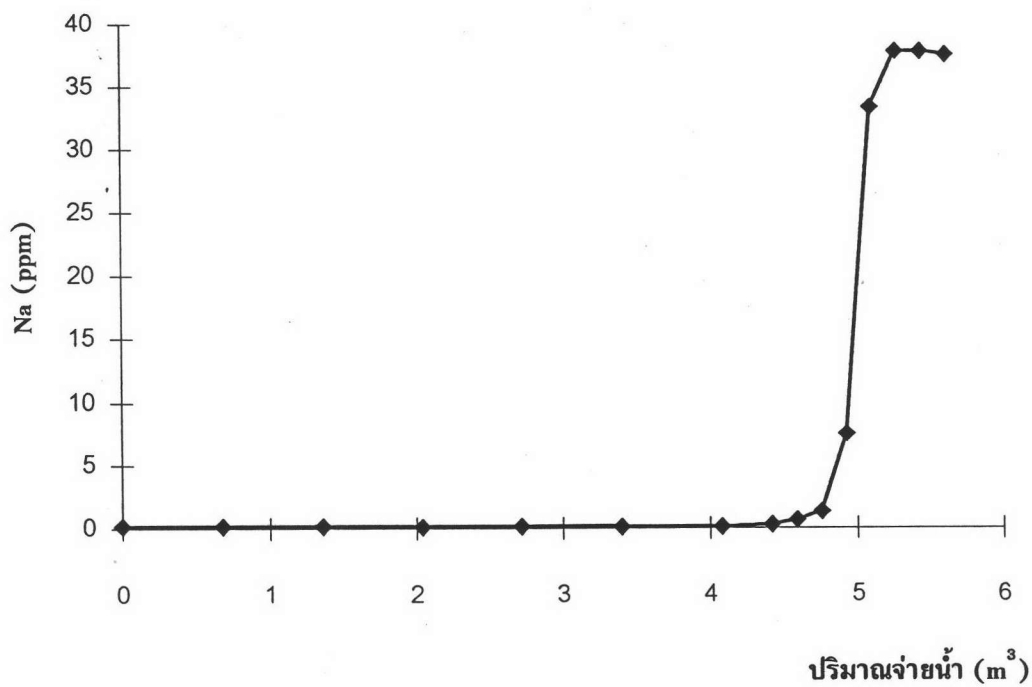


รูปที่ 5.49 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)

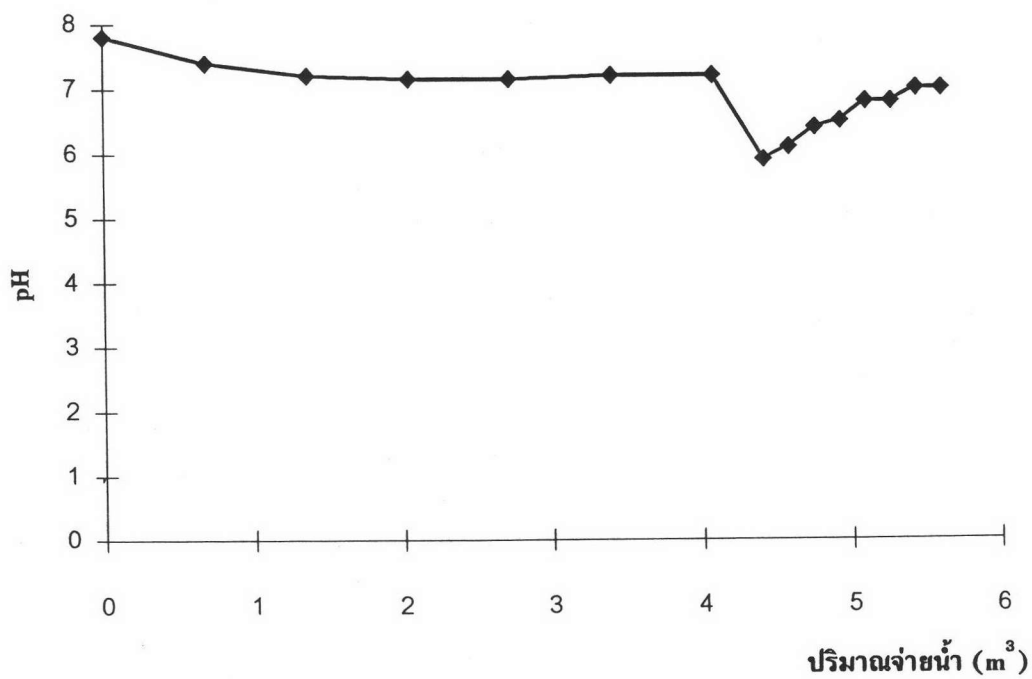


รูปที่ 5.50 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)

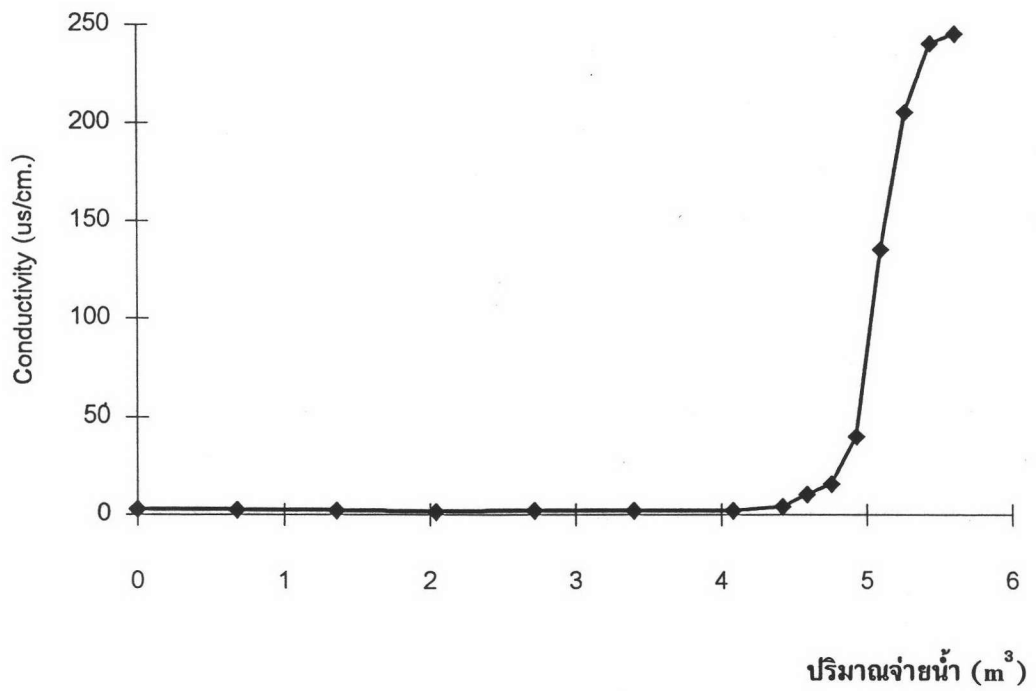




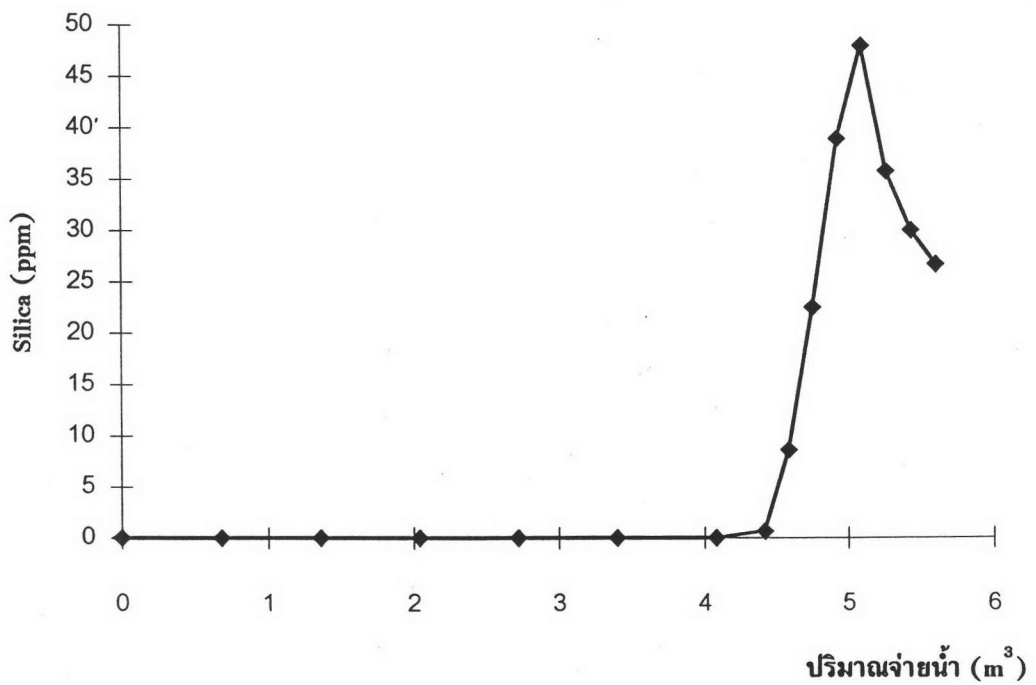
รูปที่ 5.51 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



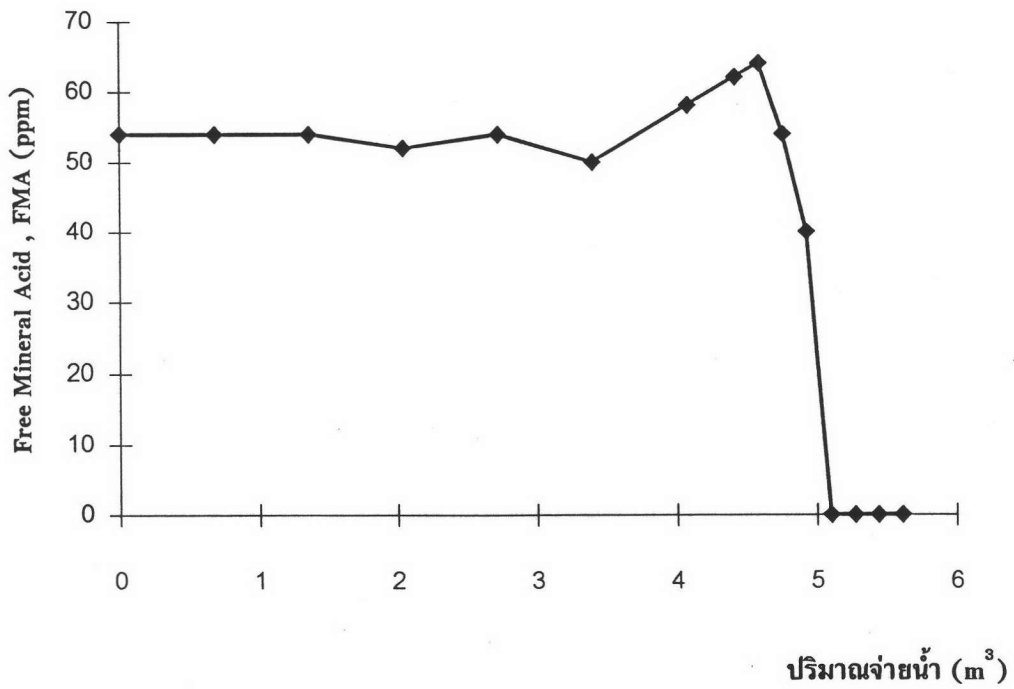
รูปที่ 5.52 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรเนตรีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



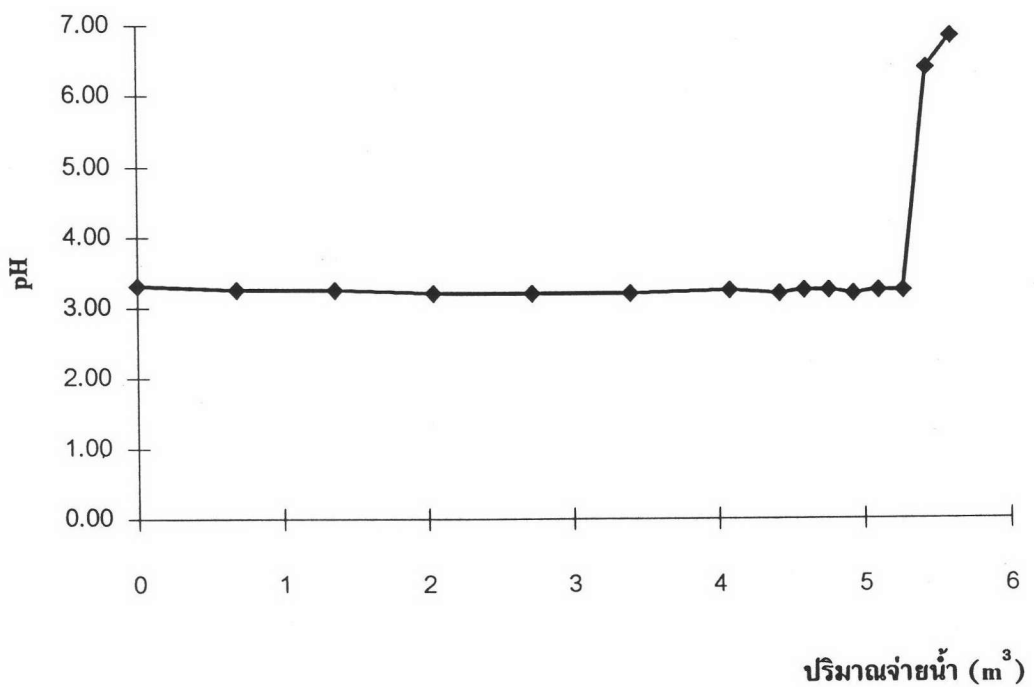
รูปที่ 5.53 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



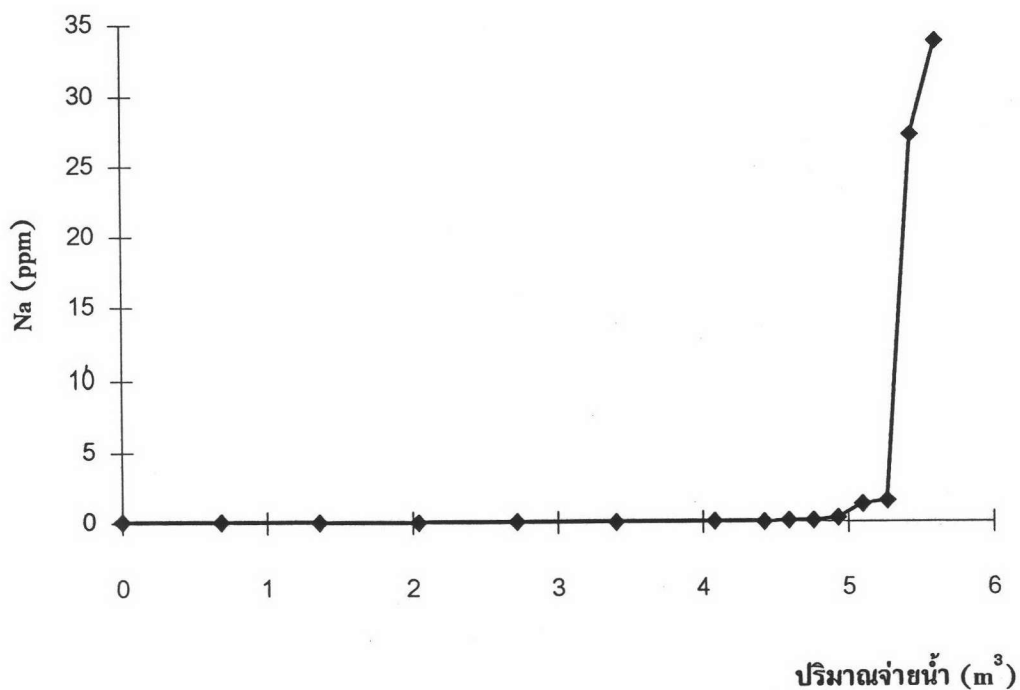
รูปที่ 5.54 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



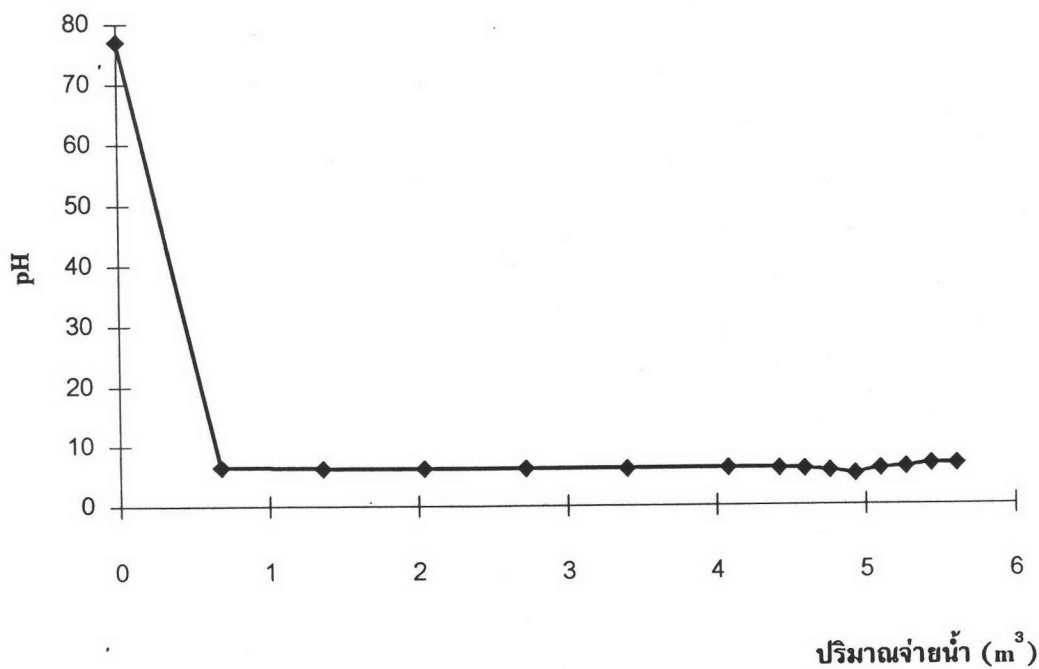
รูปที่ 5.55 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เร็นตรีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



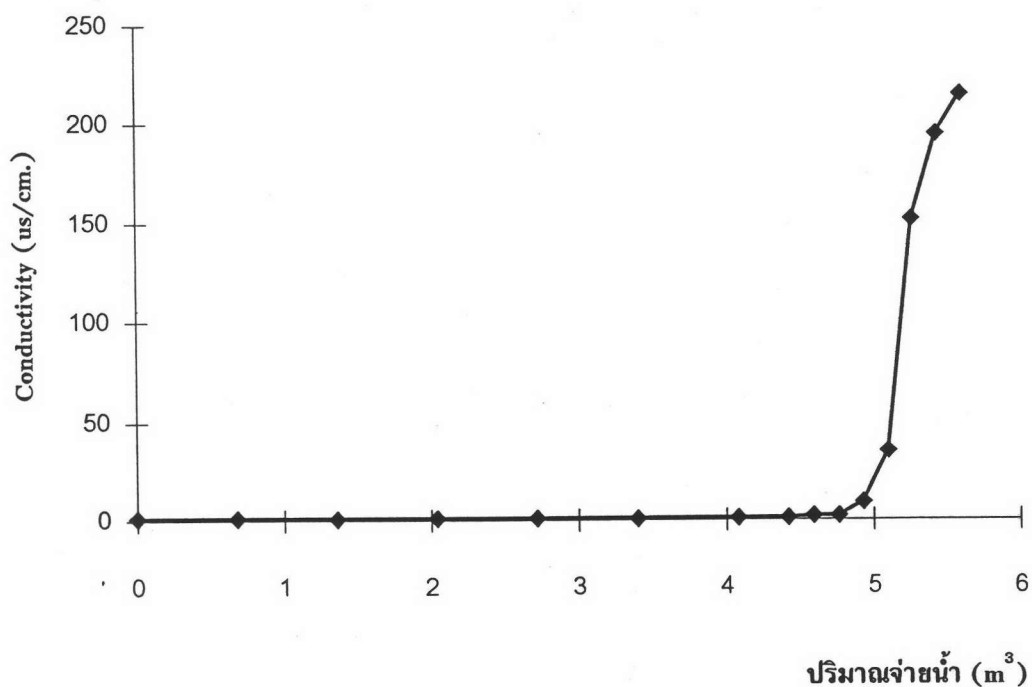
รูปที่ 5.56 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เร็นตรีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



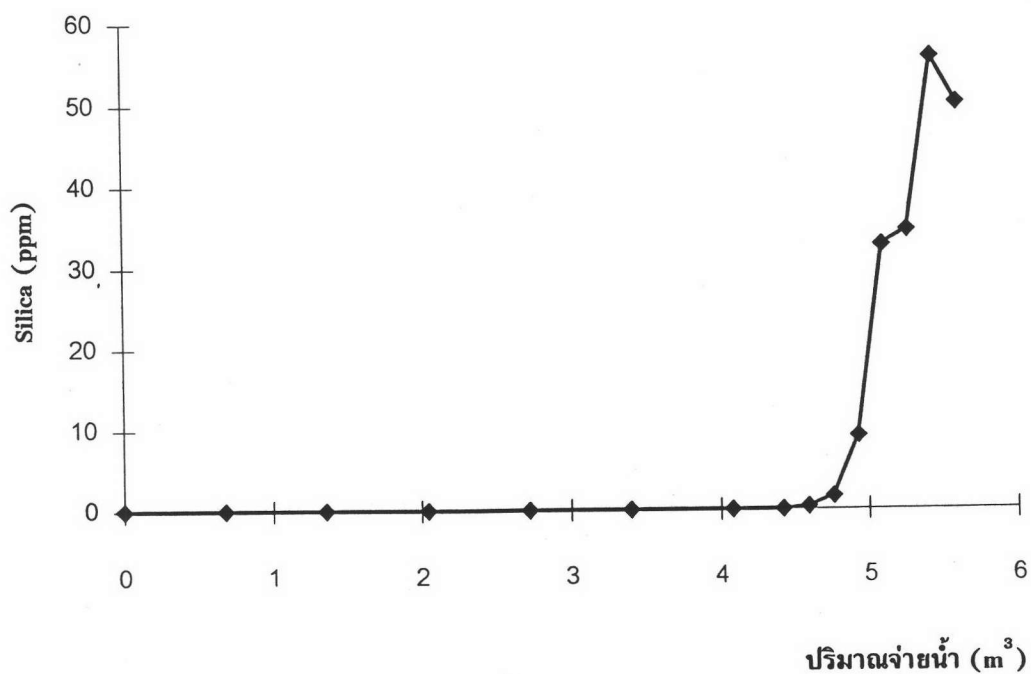
รูปที่ 5.57 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



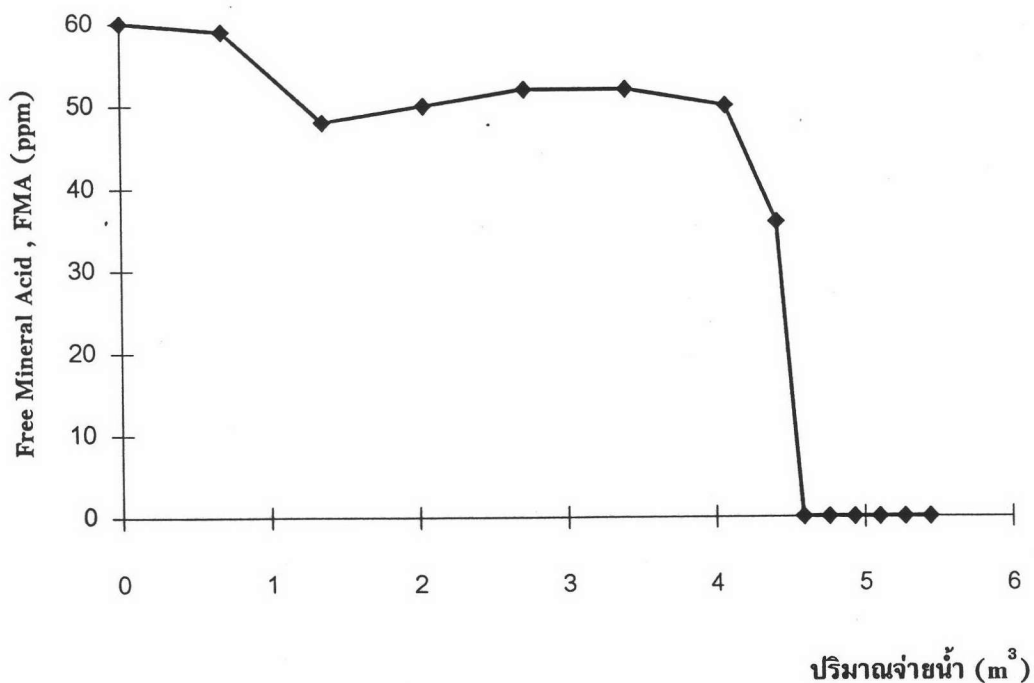
รูปที่ 5.58 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



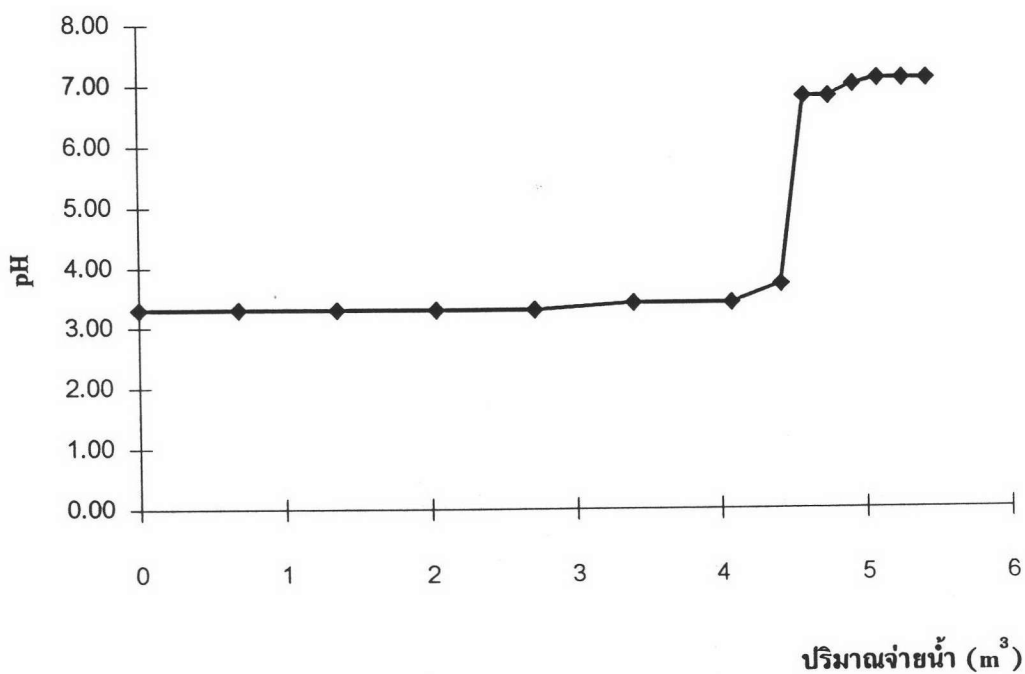
รูปที่ 5.59 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอระเหินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



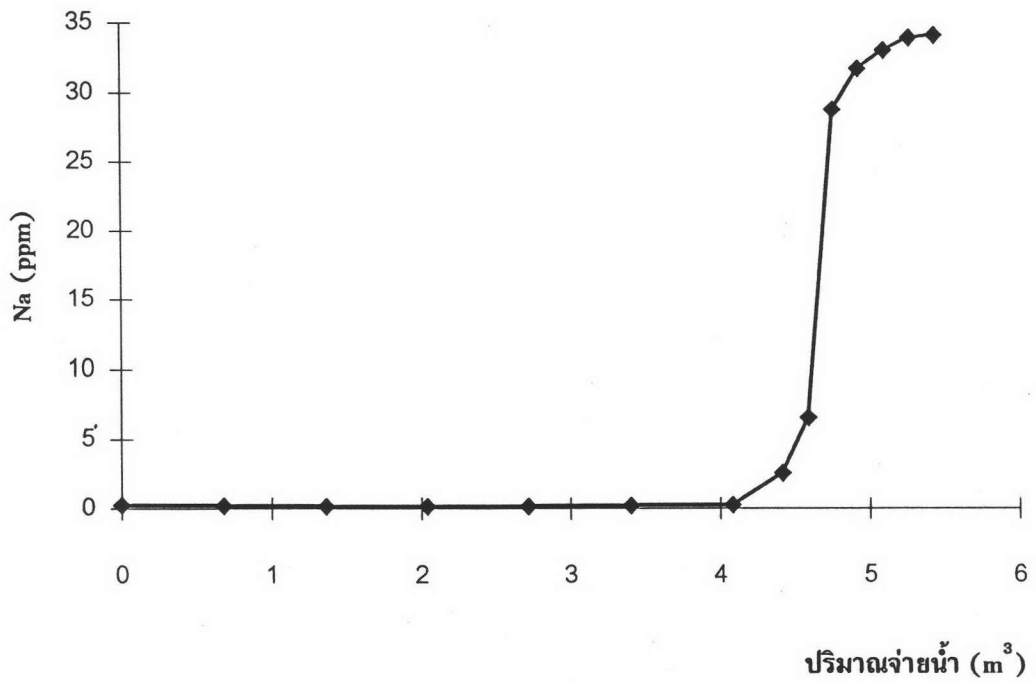
รูปที่ 5.60 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอระเหินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่แปด)



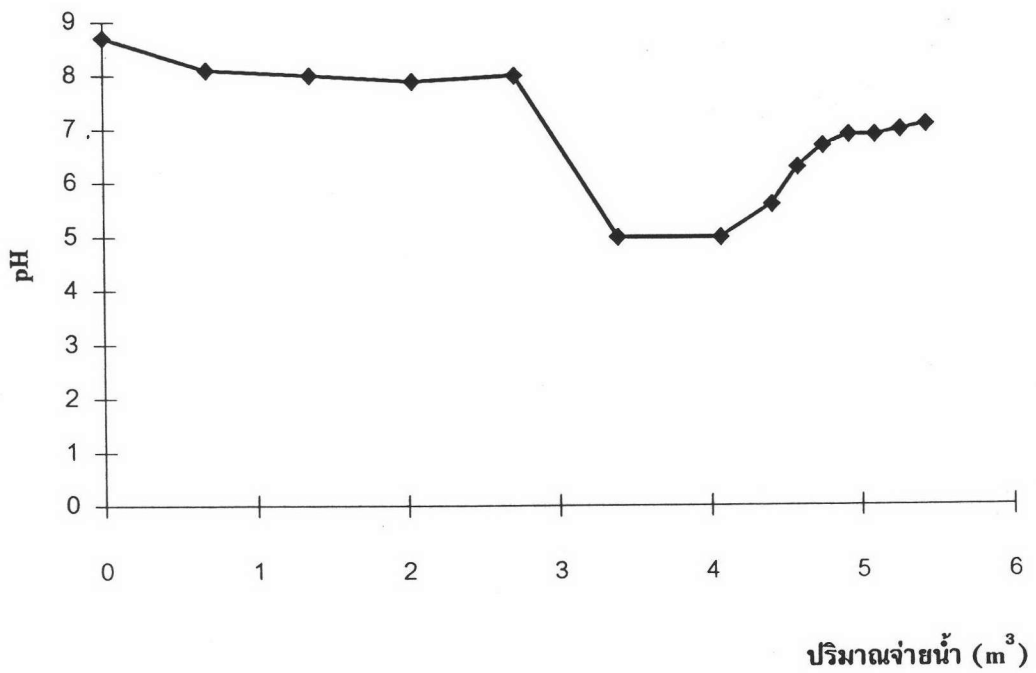
รูปที่ 5.61 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



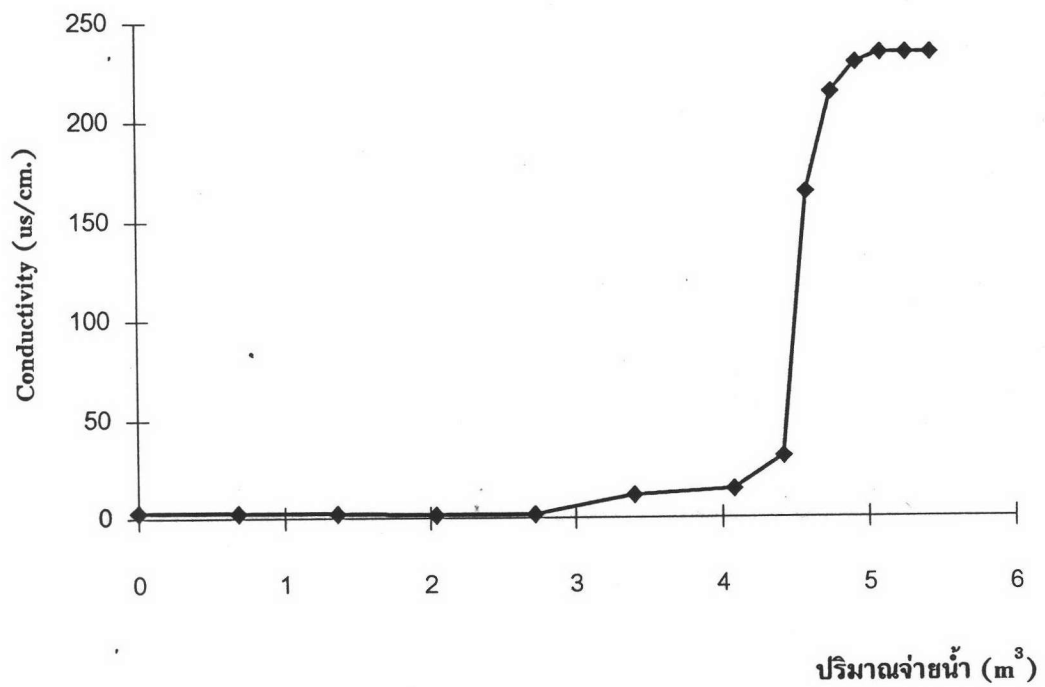
รูปที่ 5.62 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



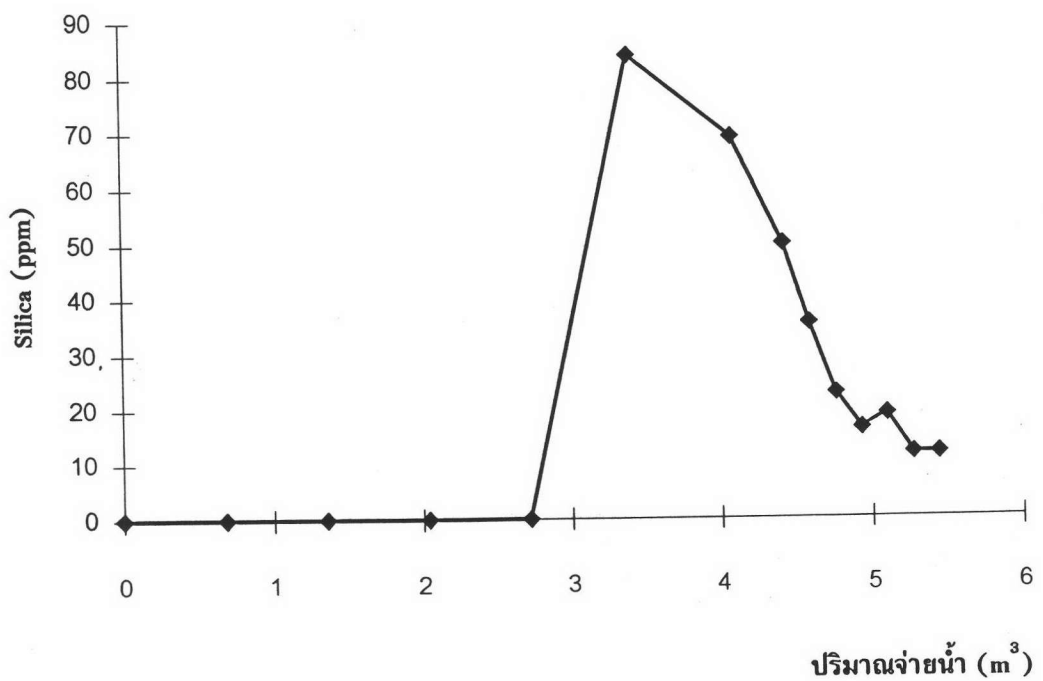
รูปที่ 5.63 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



รูปที่ 5.64 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)

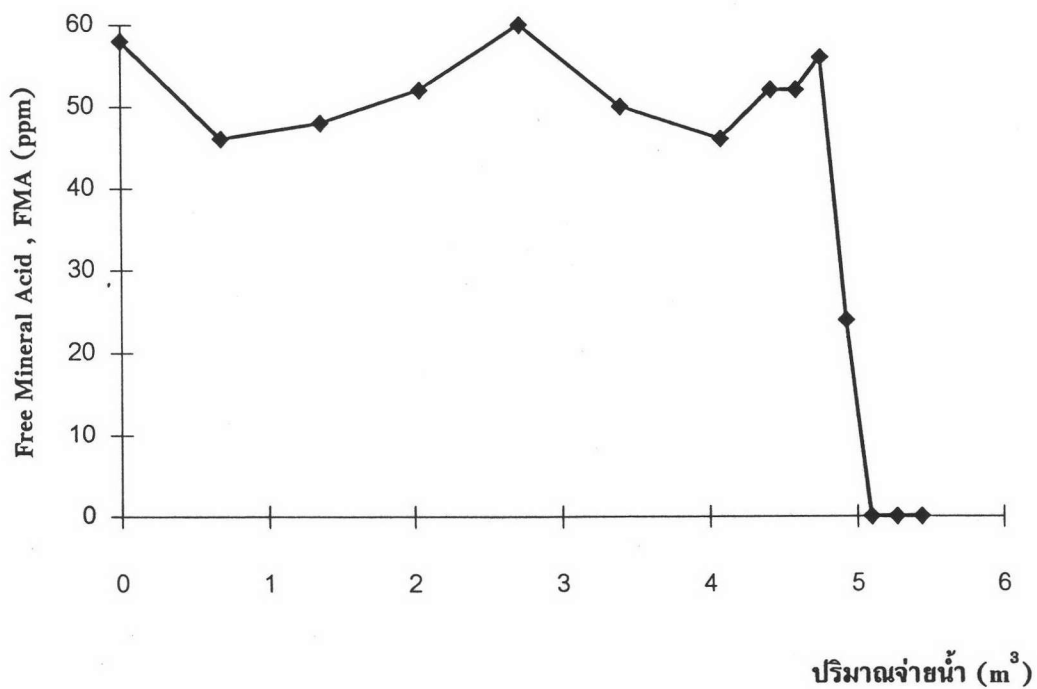


รูปที่ 5.65 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)

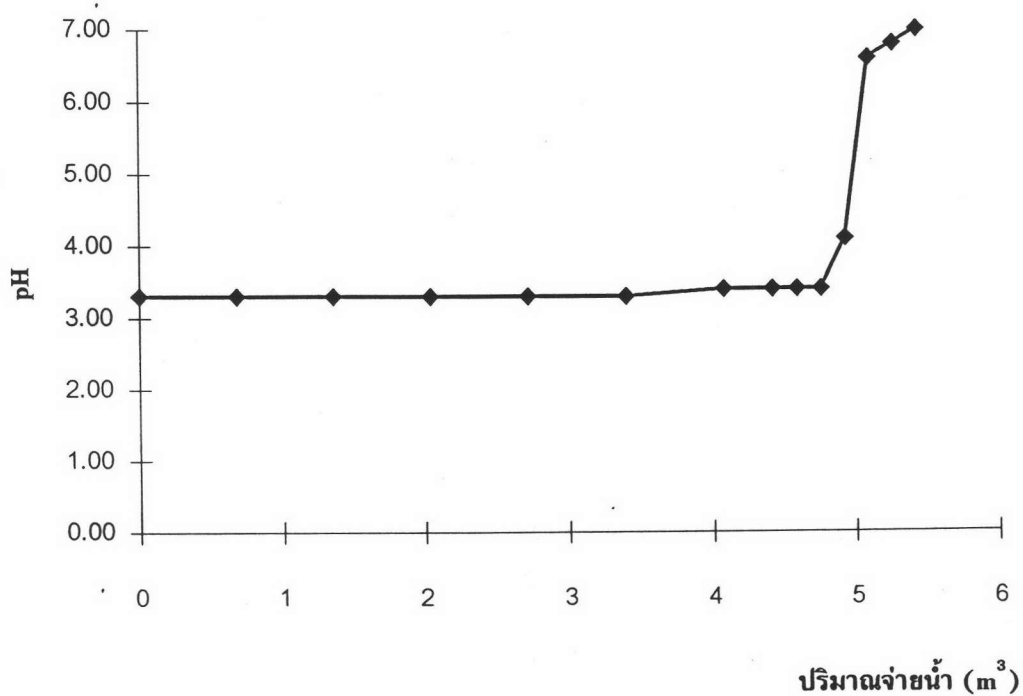


รูปที่ 5.66 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)

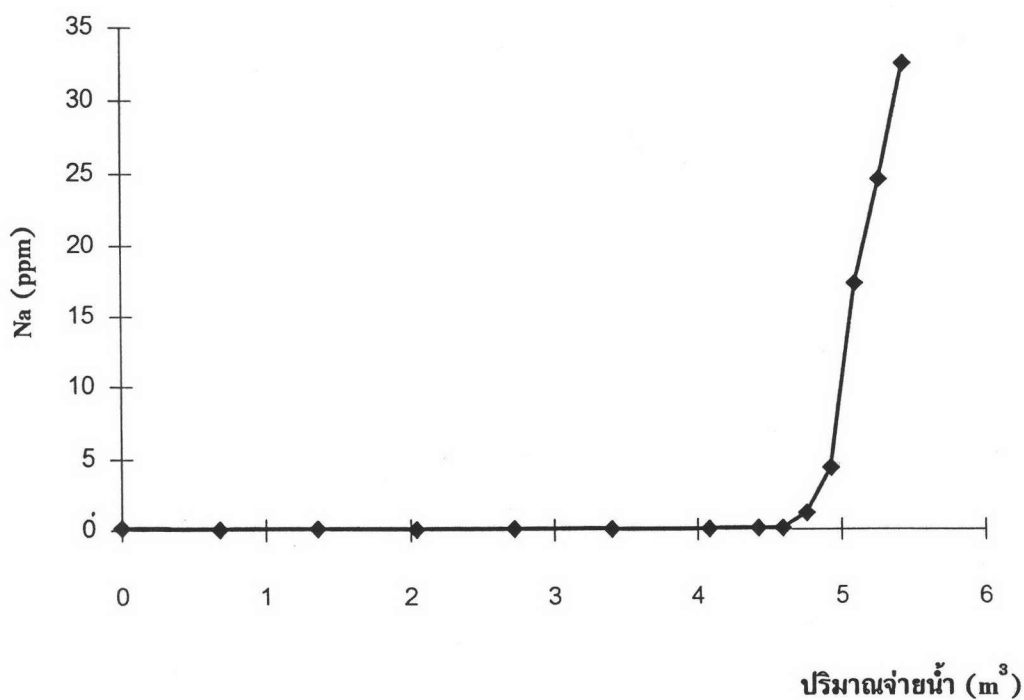




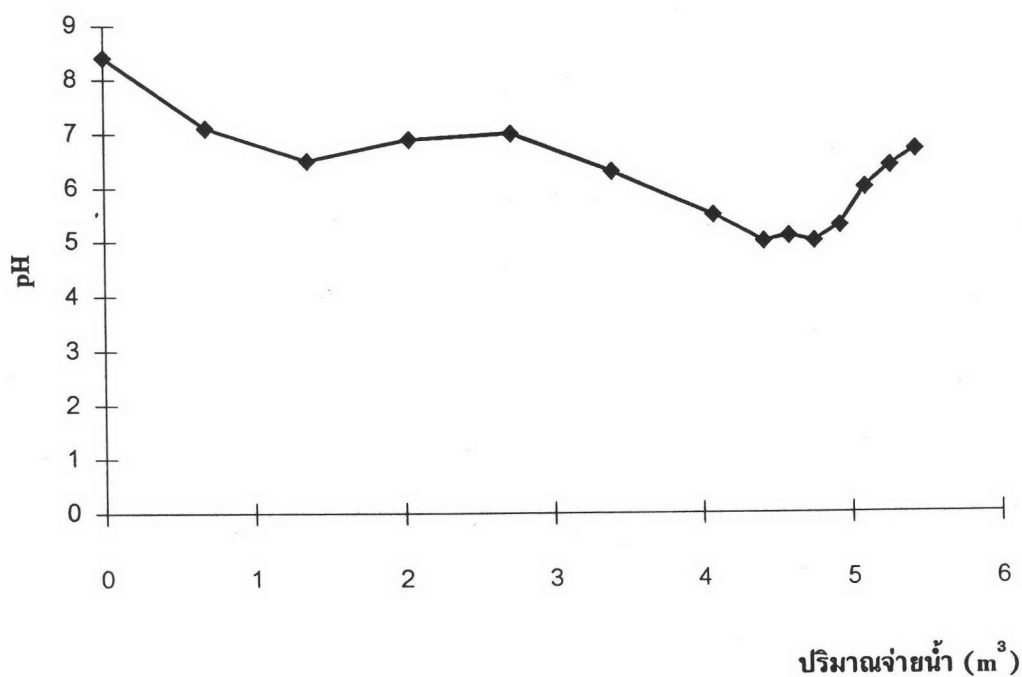
รูปที่ 5.67 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



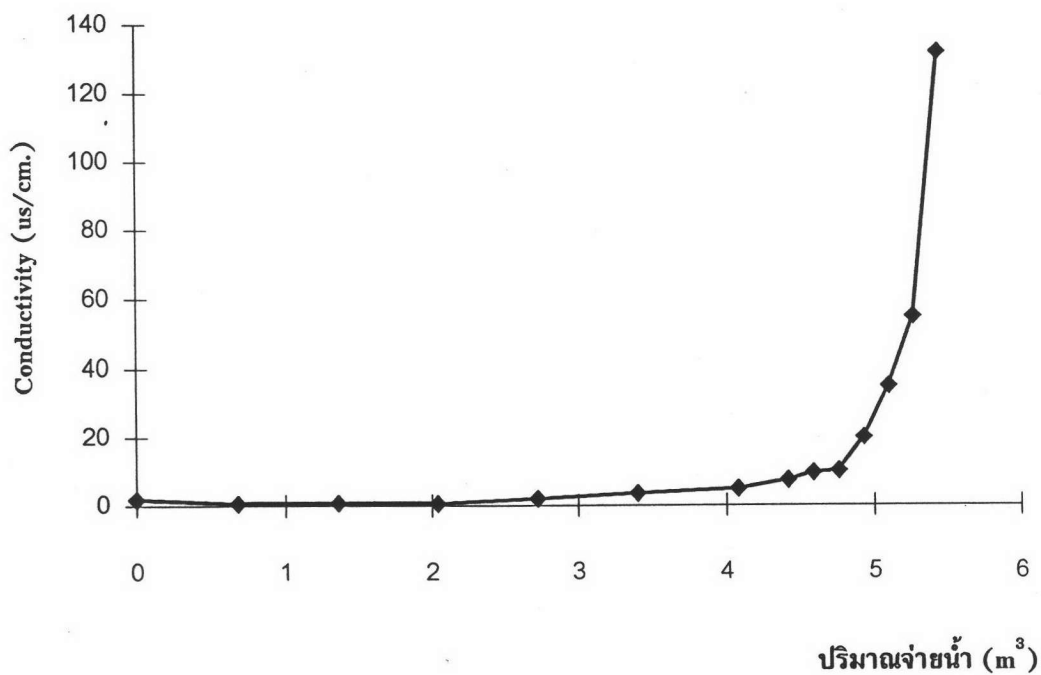
รูปที่ 5.68 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



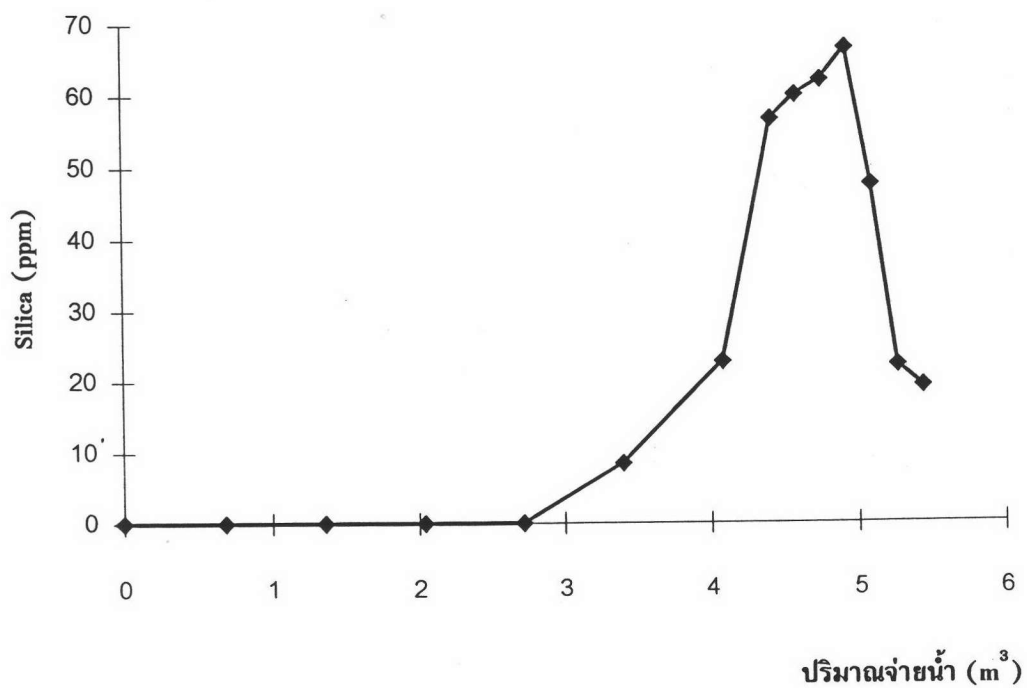
รูปที่ 5.69 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



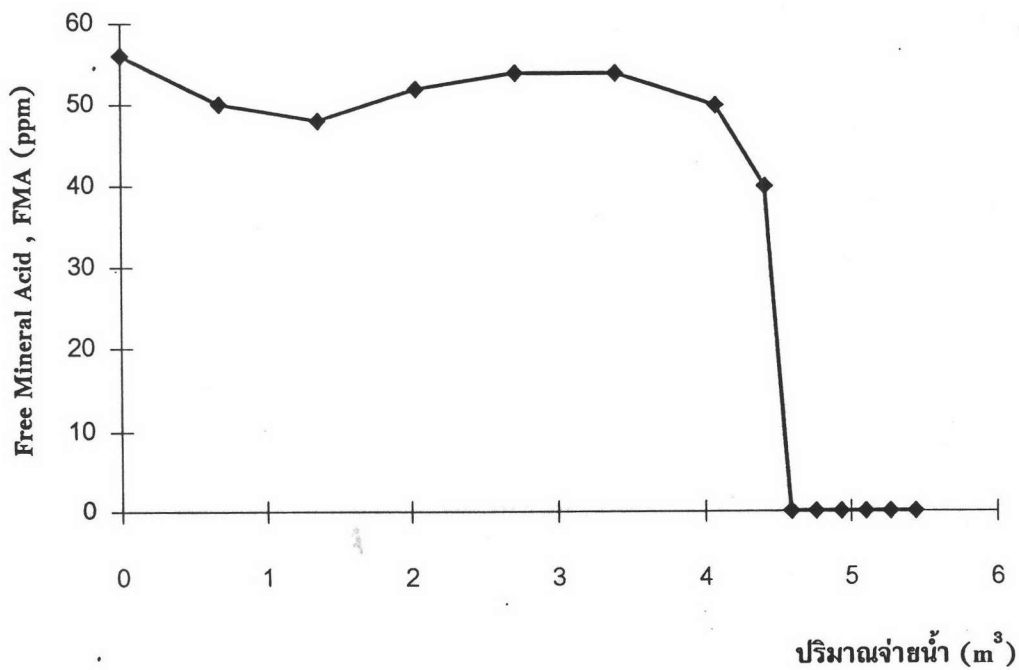
รูปที่ 5.70 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



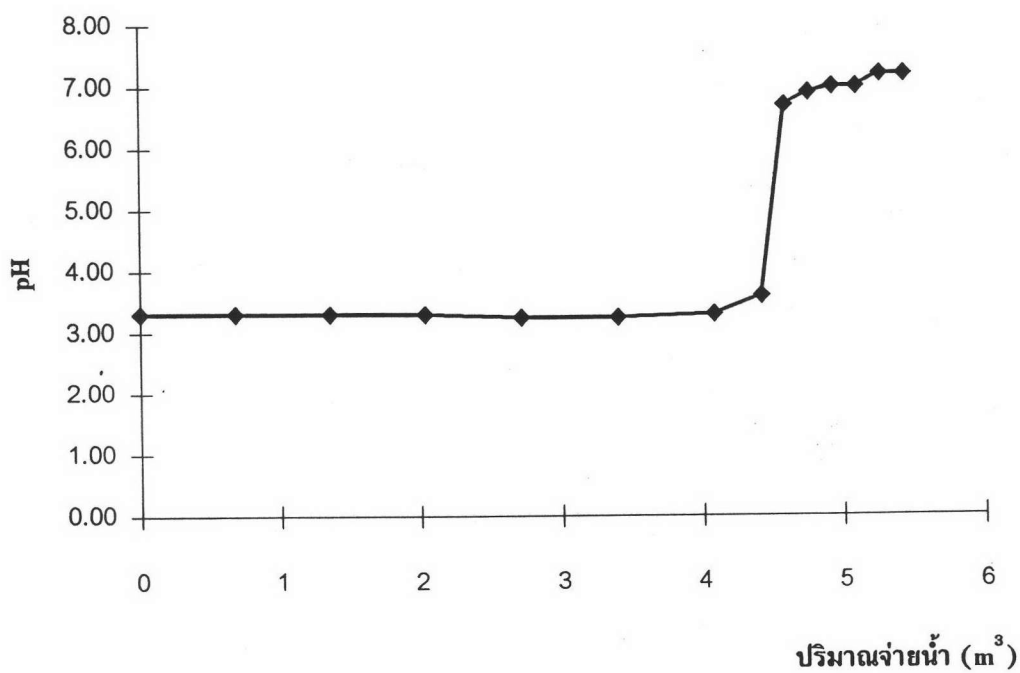
รูปที่ 5.71 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



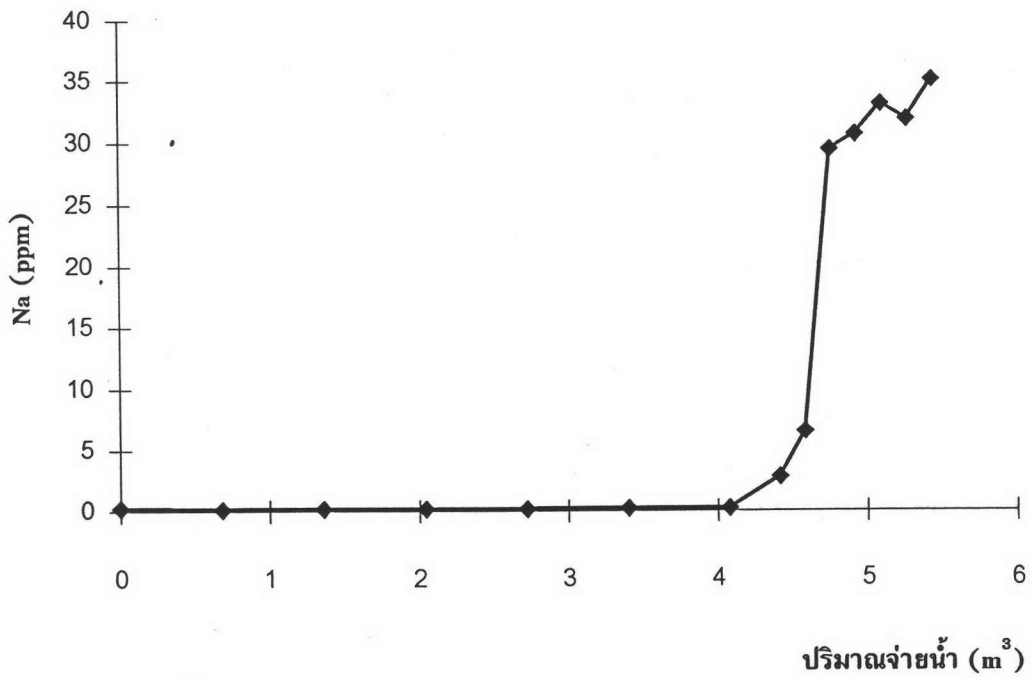
รูปที่ 5.72 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่เก้า)



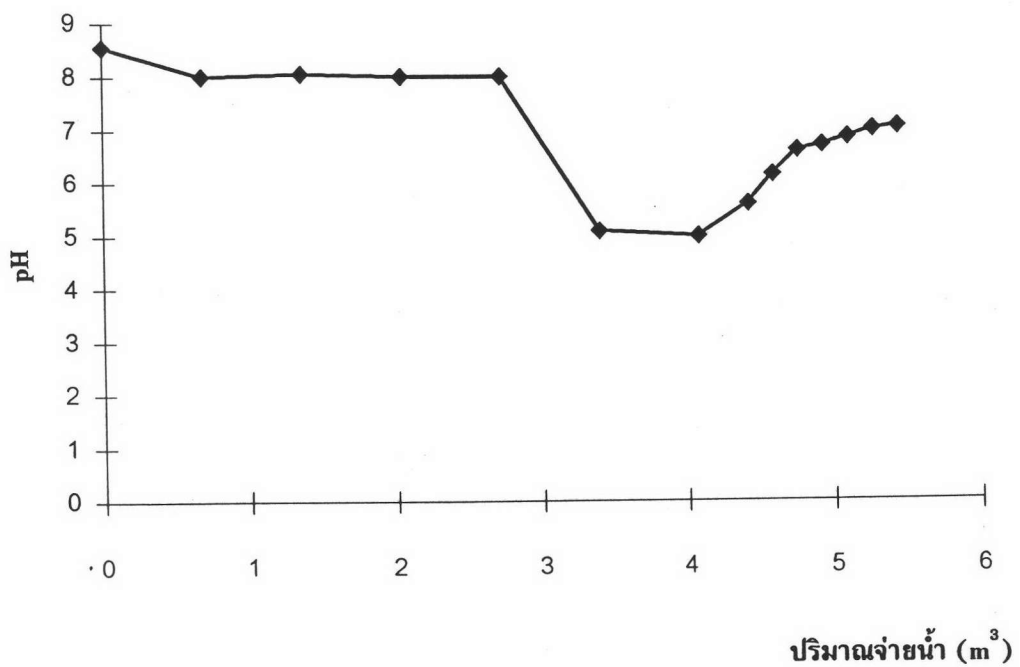
รูปที่ 5.73 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



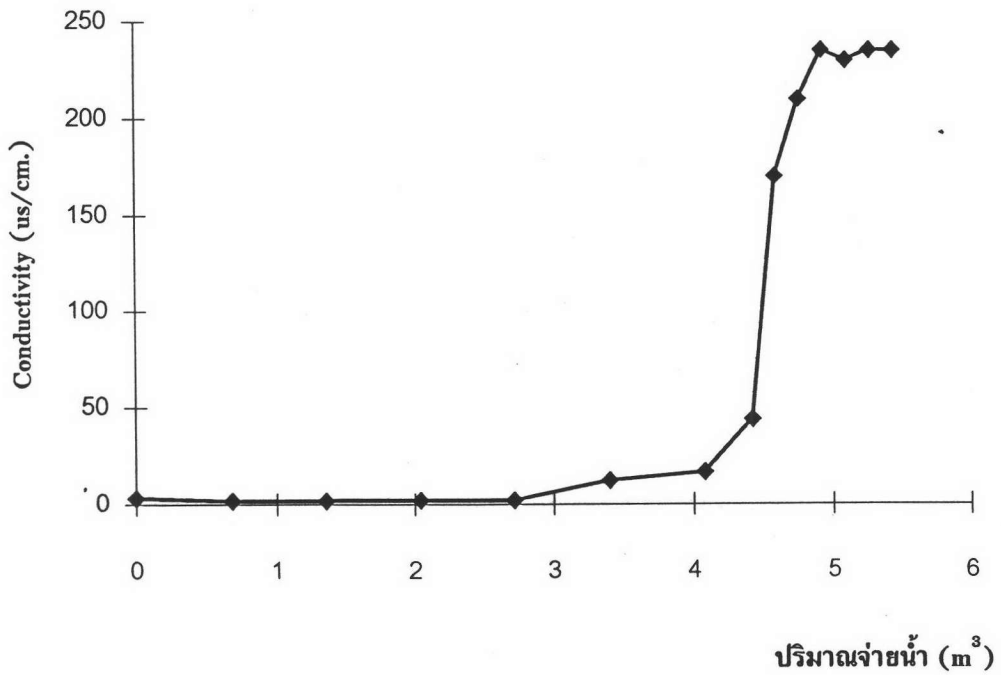
รูปที่ 5.74 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



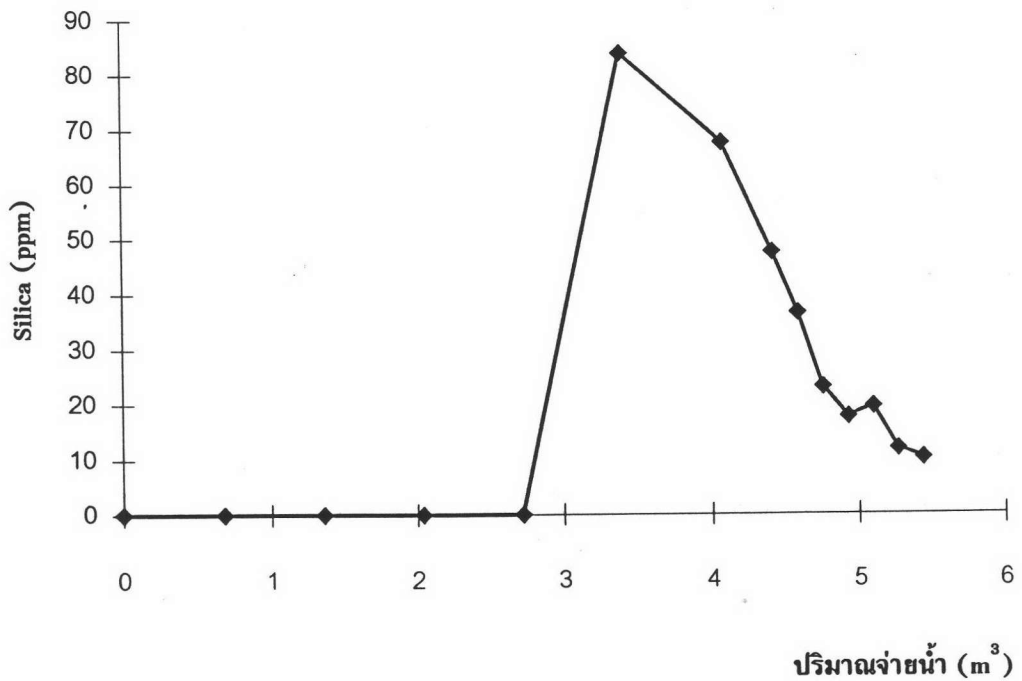
รูปที่ 5.75 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



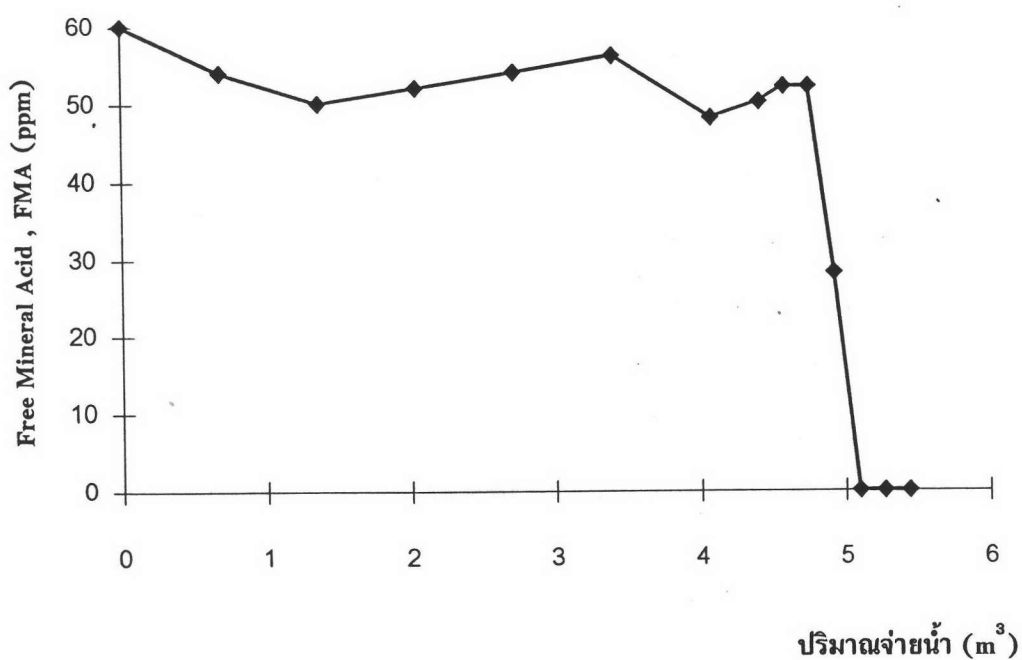
รูปที่ 5.76 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



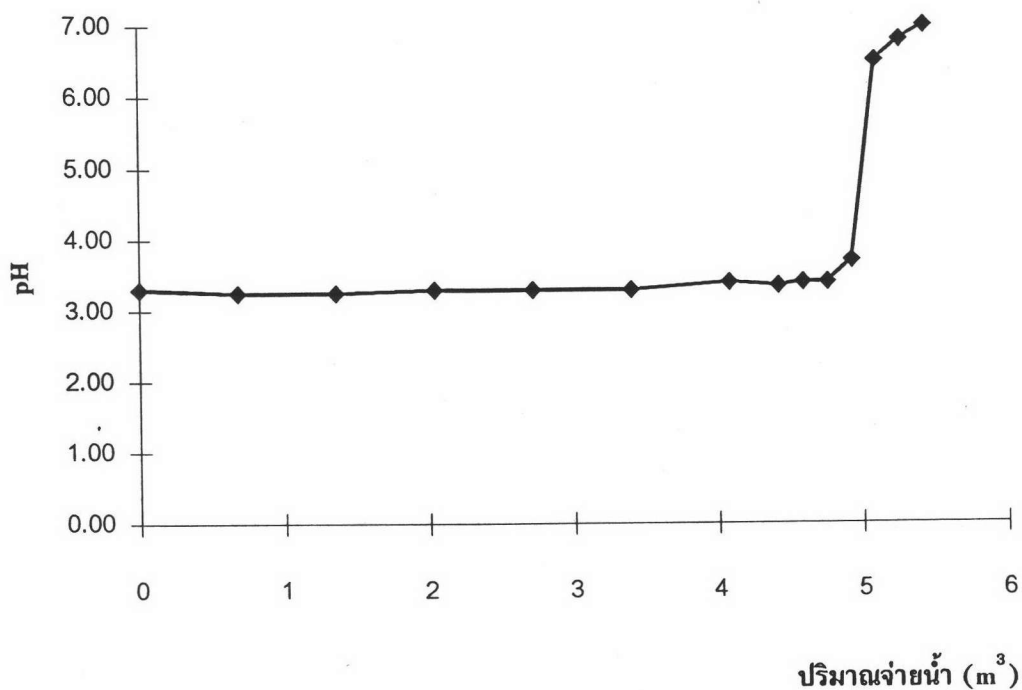
รูปที่ 5.77 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



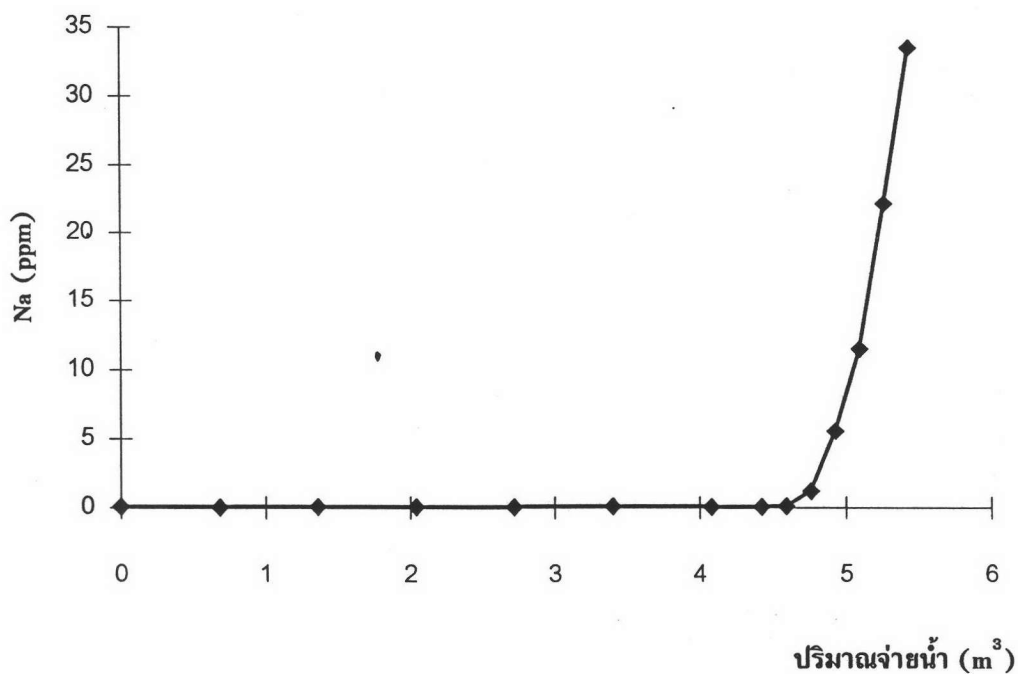
รูปที่ 5.78 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



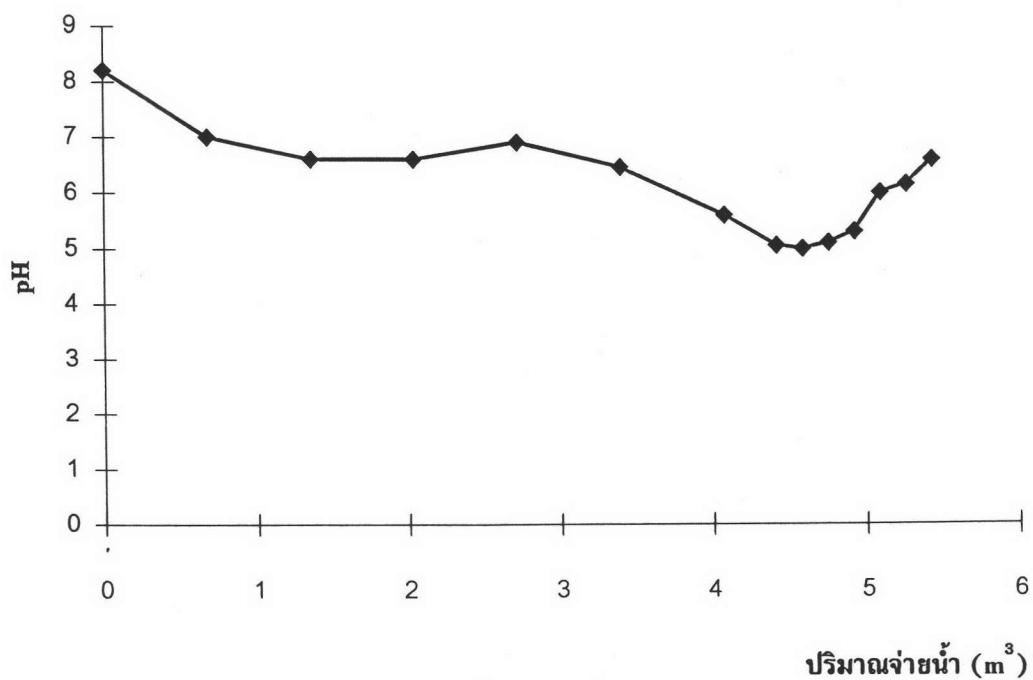
รูปที่ 5.79 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



รูปที่ 5.80 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)

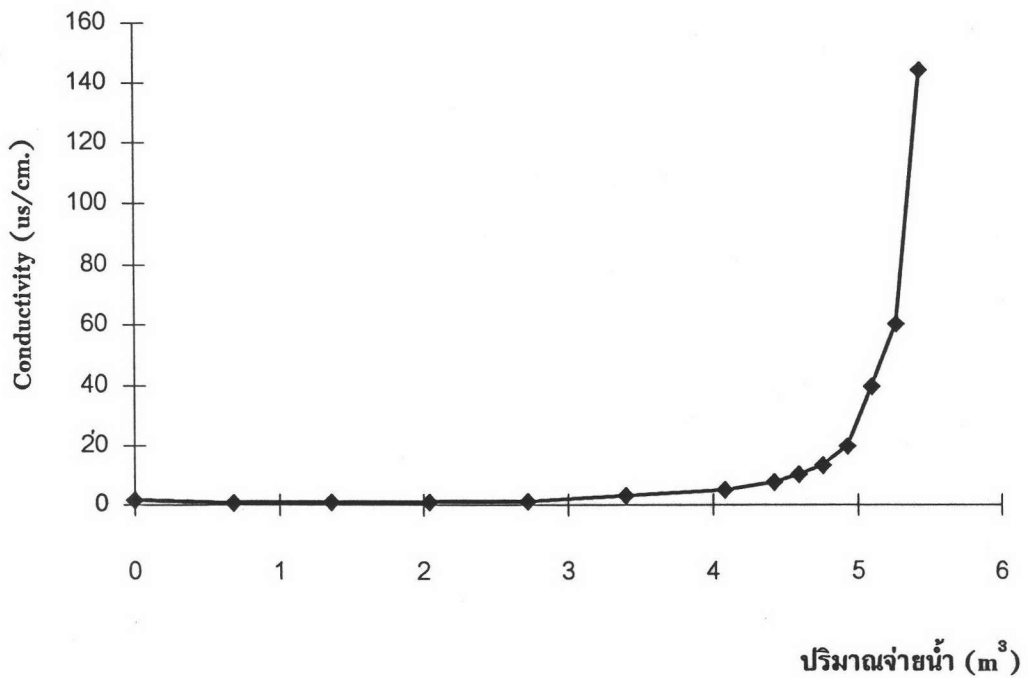


รูปที่ 5.81 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)

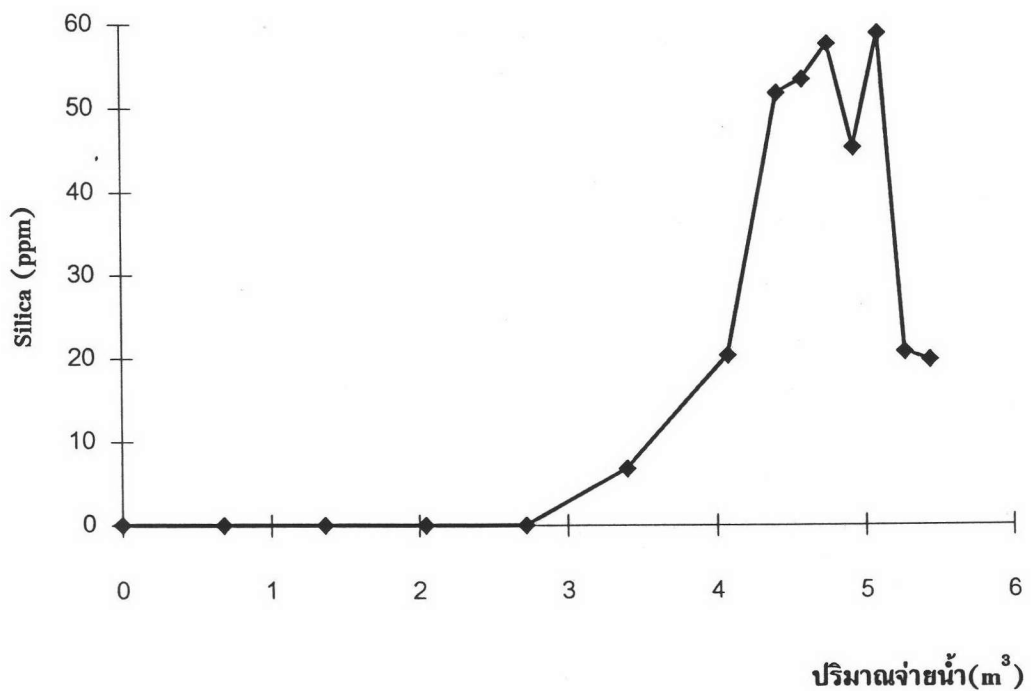


รูปที่ 5.82 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)

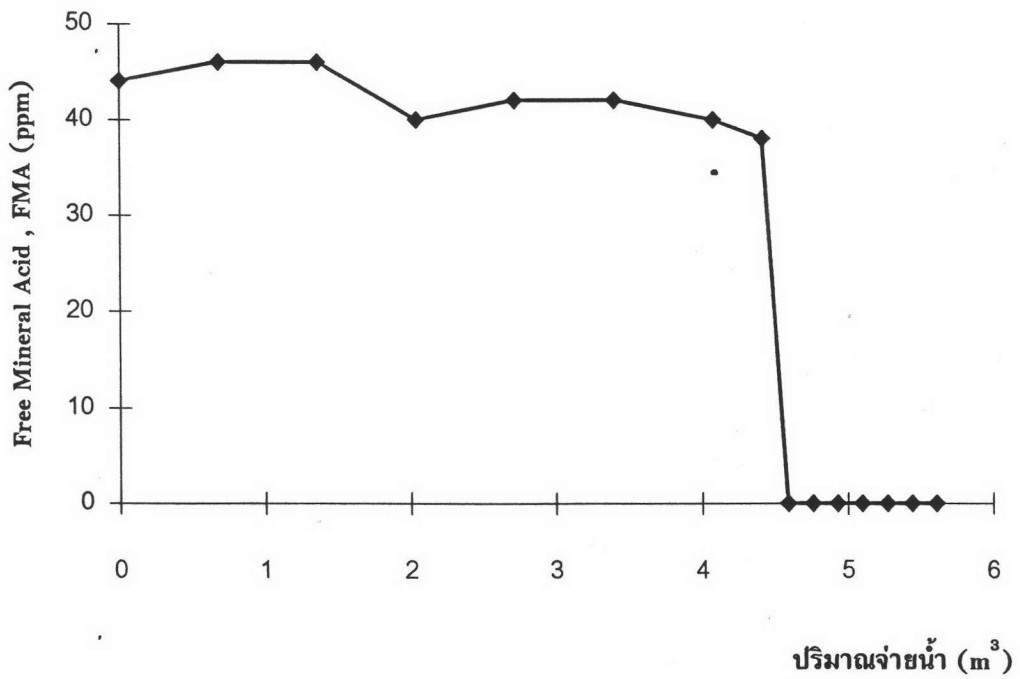




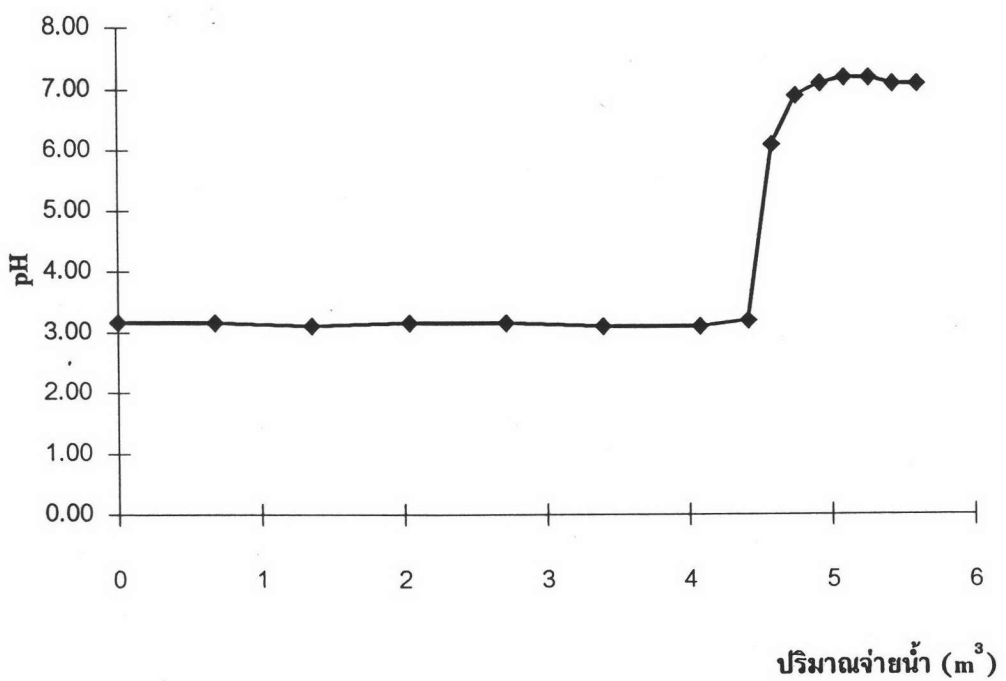
รูปที่ 5.83 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



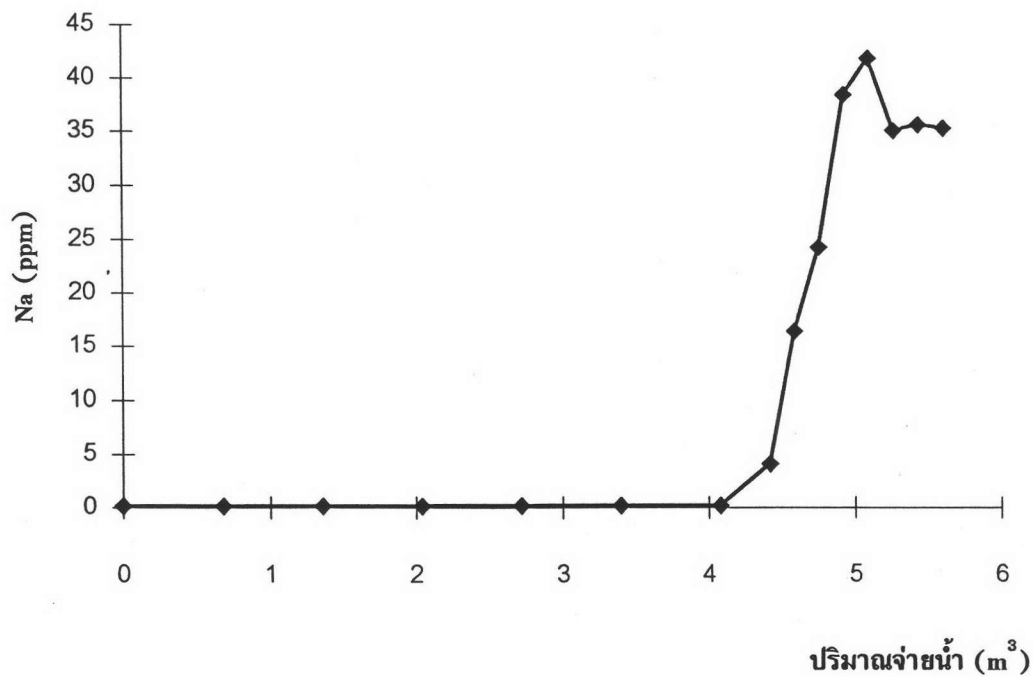
รูปที่ 5.84 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบ)



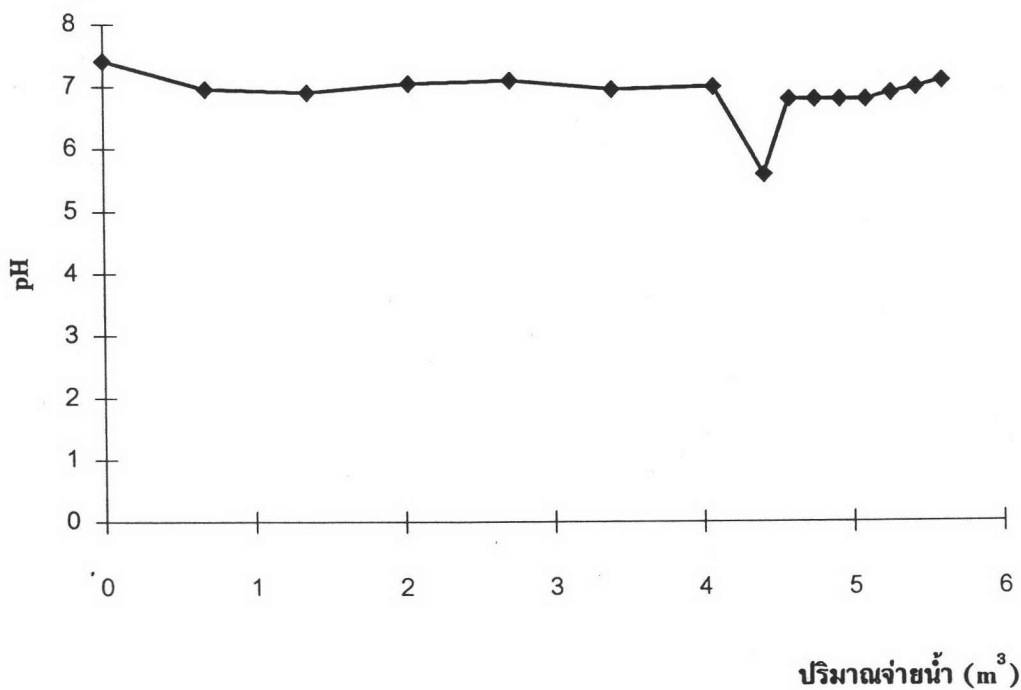
รูปที่ 5.85 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



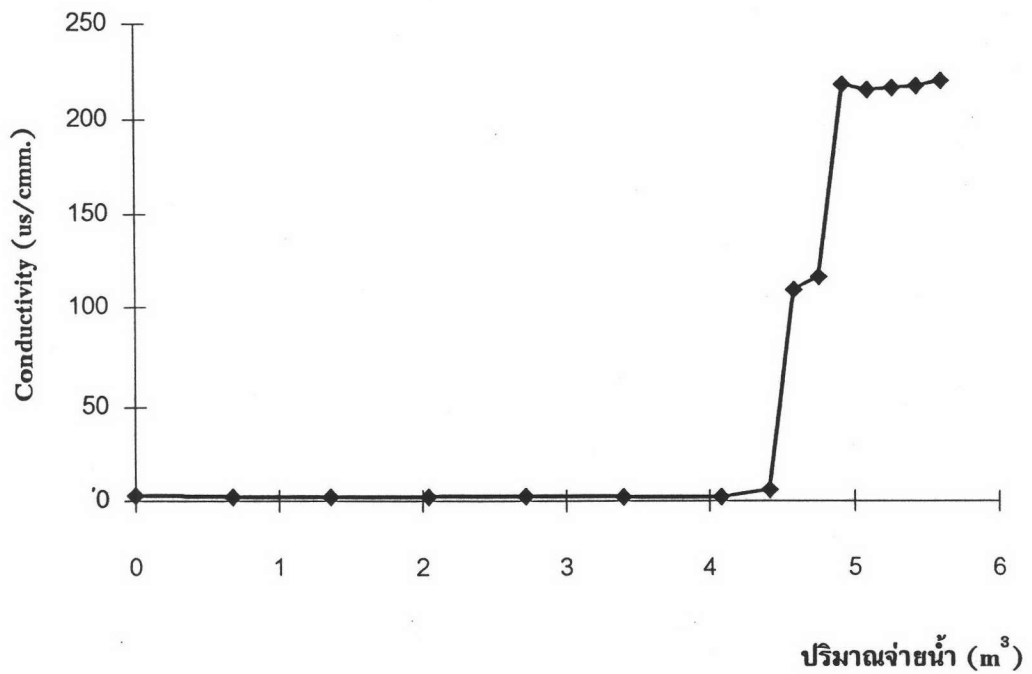
รูปที่ 5.86 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



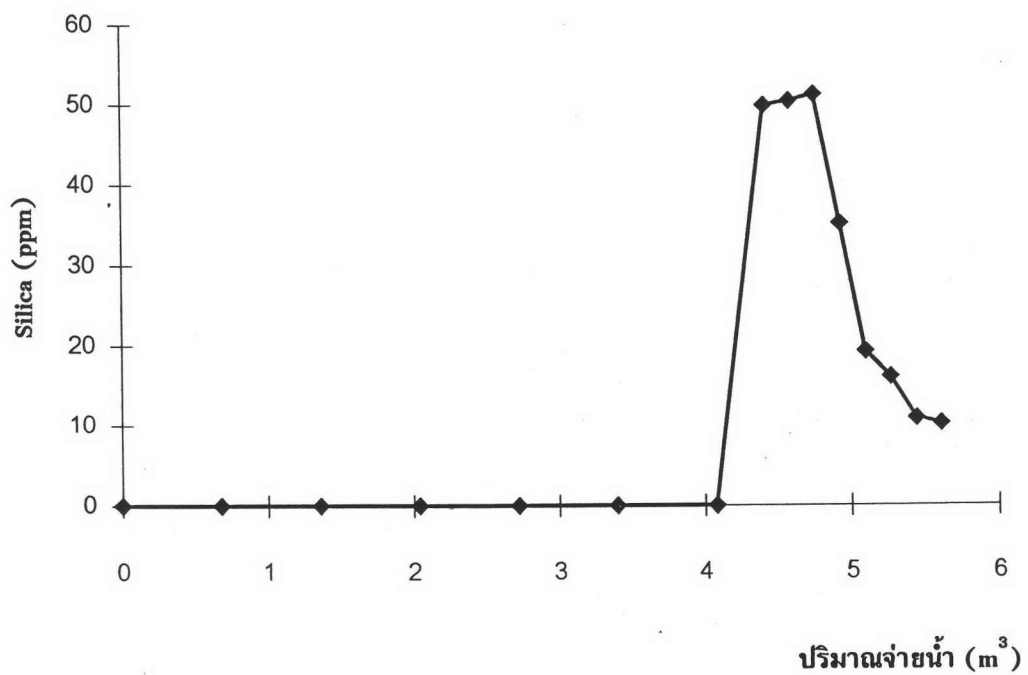
รูปที่ 5.87 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



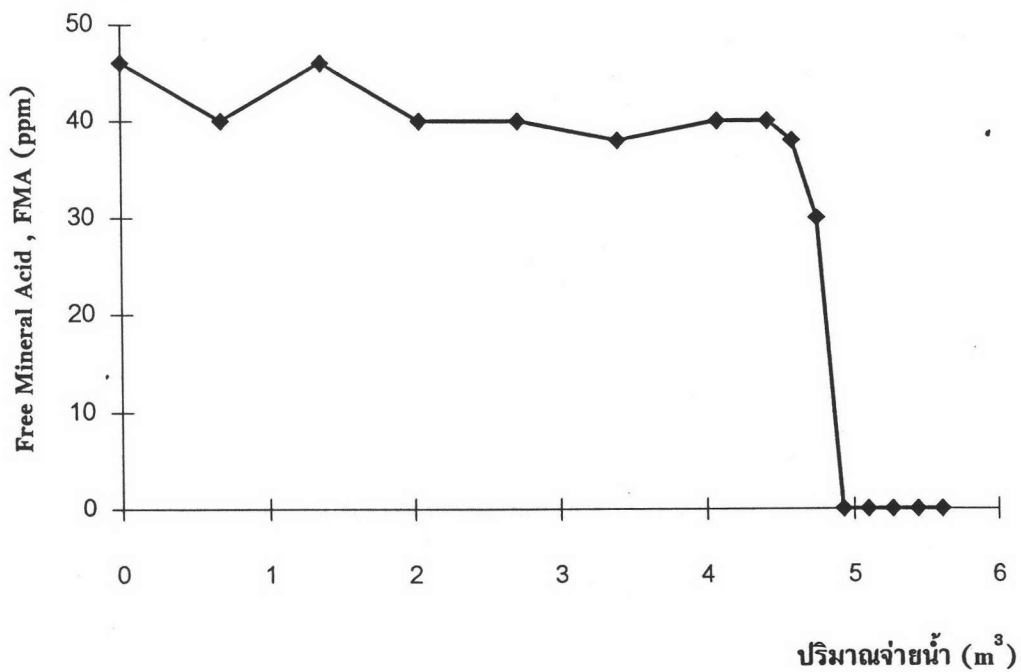
รูปที่ 5.88 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



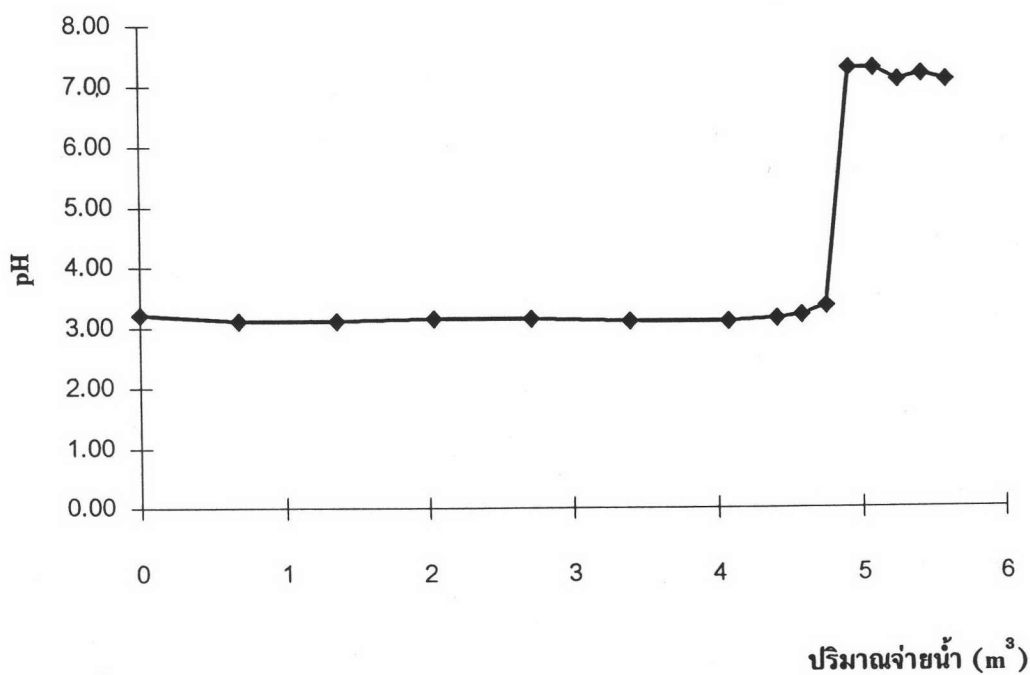
รูปที่ 5.89 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



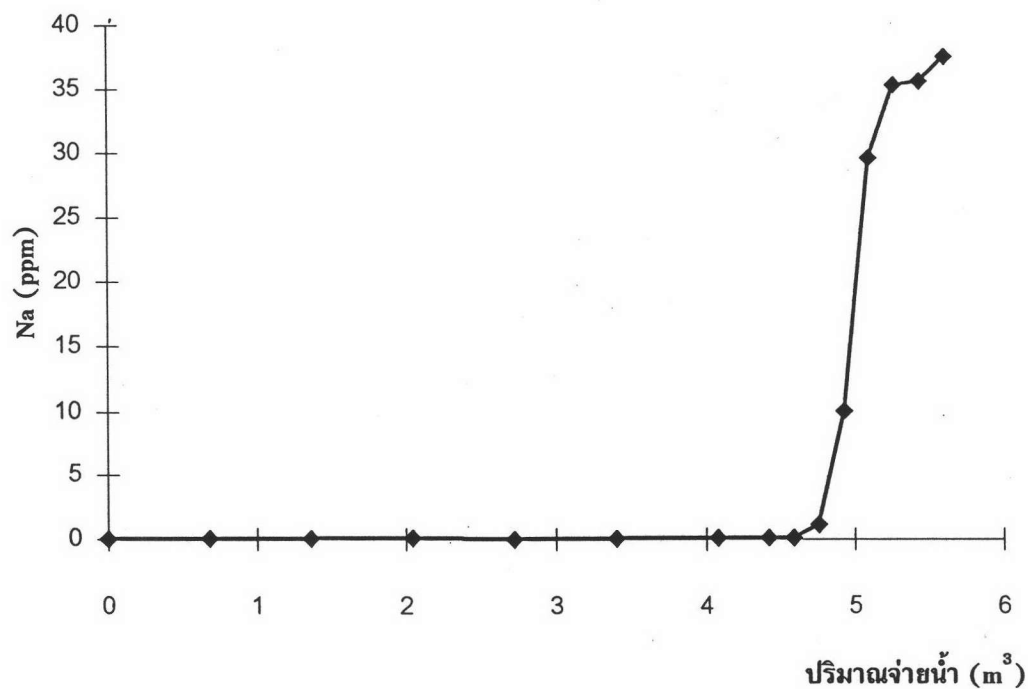
รูปที่ 5.90 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



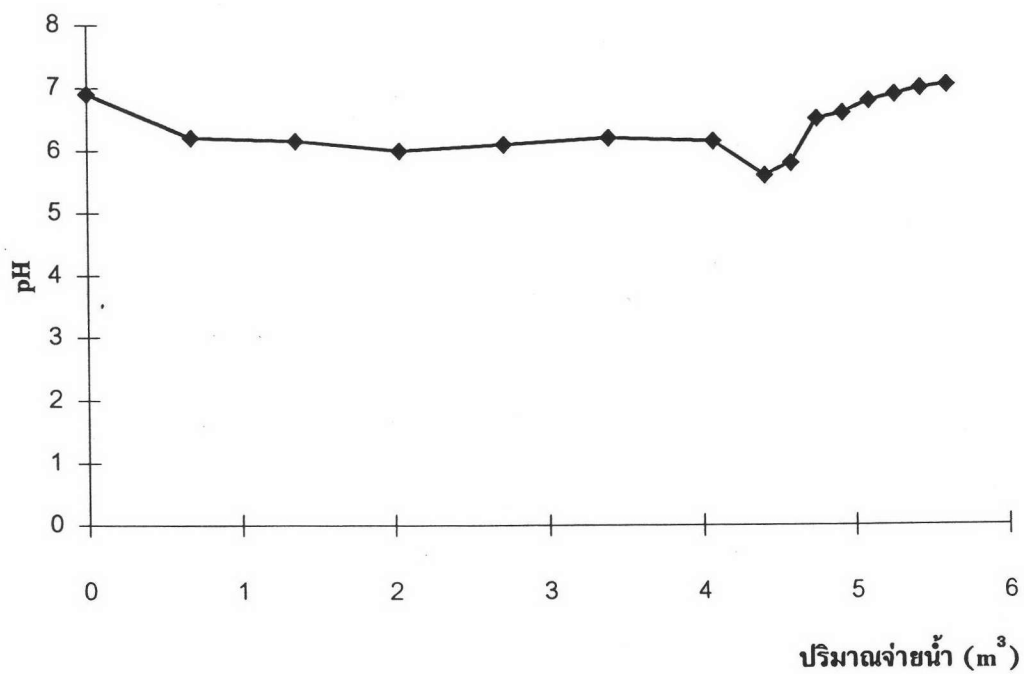
รูปที่ 5.91 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



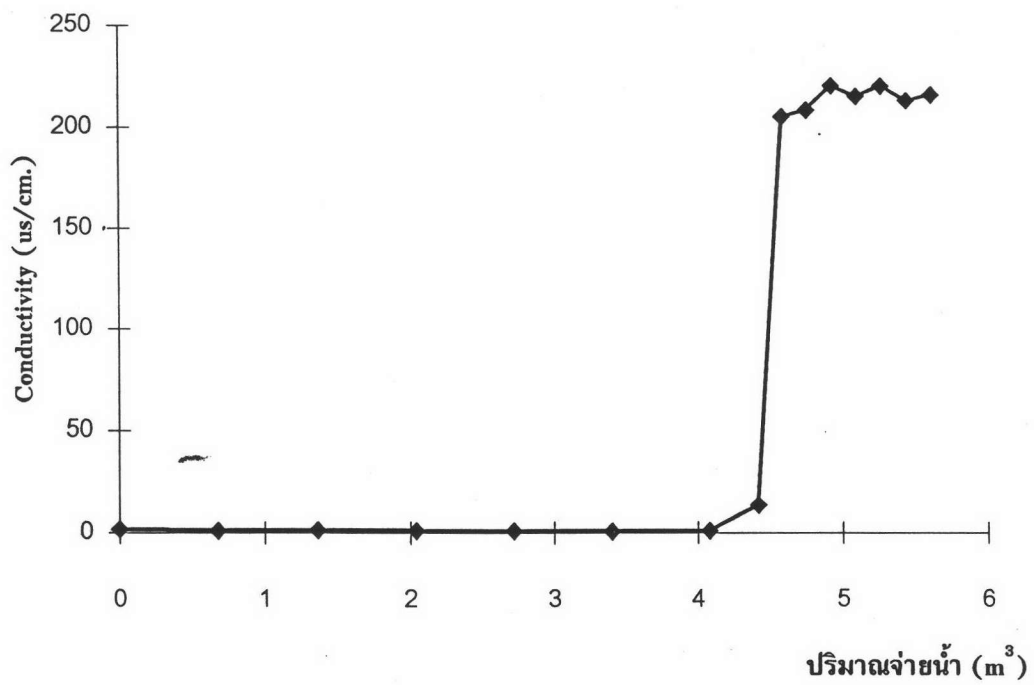
รูปที่ 5.92 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



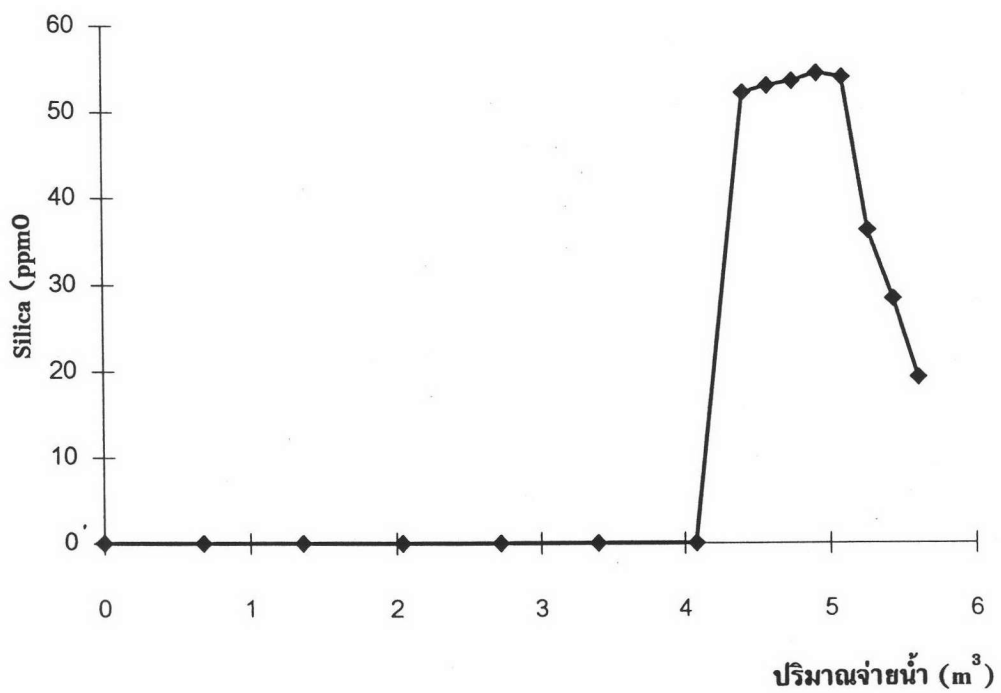
รูปที่ 5.93 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



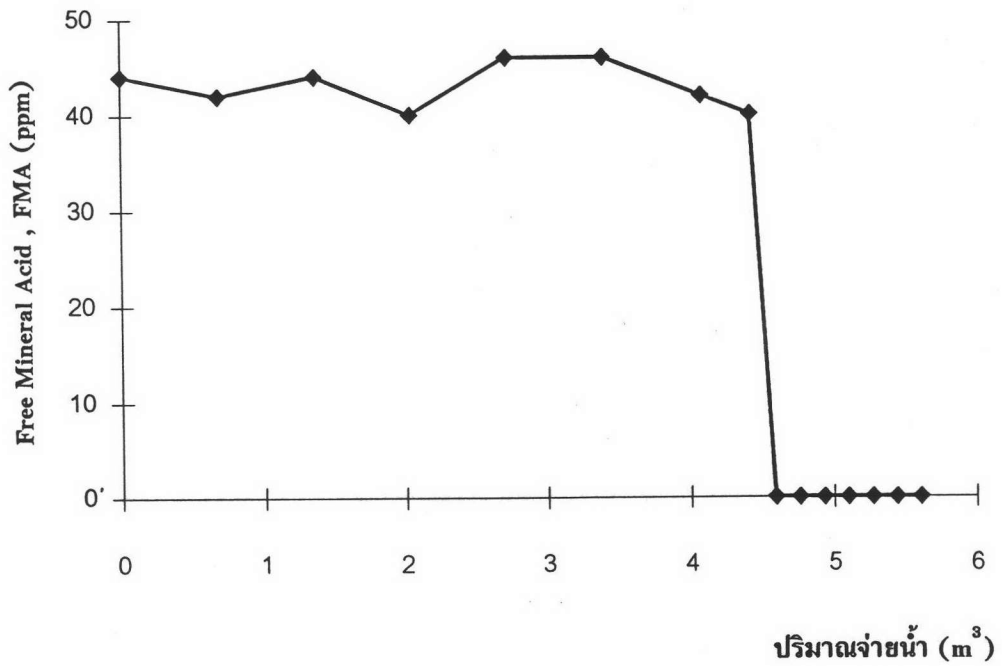
รูปที่ 5.94 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



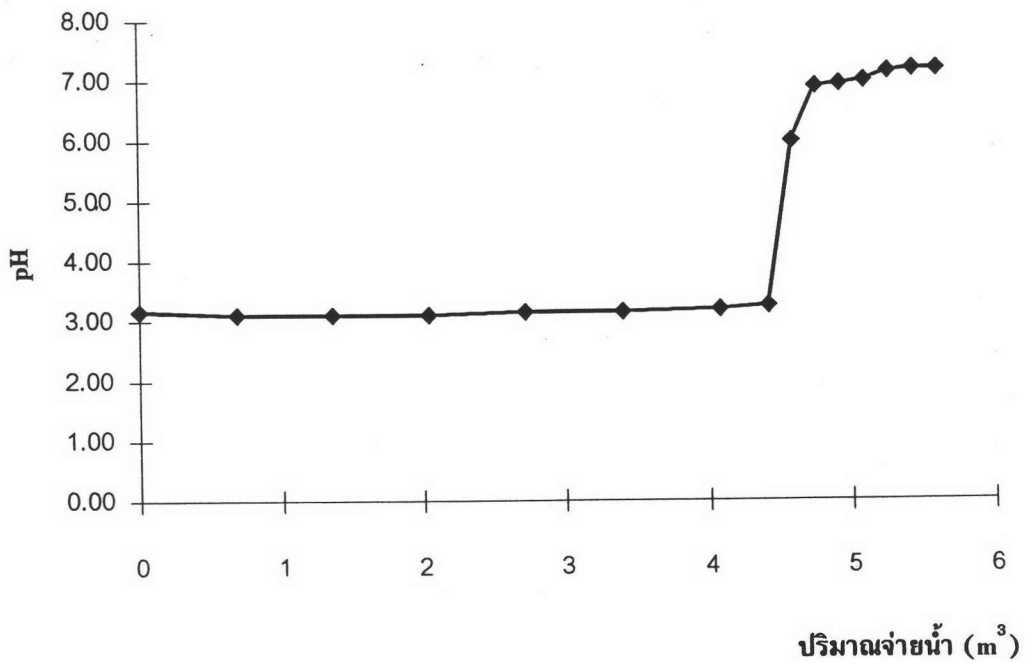
รูปที่ 5.95 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนท์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)



รูปที่ 5.96 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนท์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สิบเอ็ด)

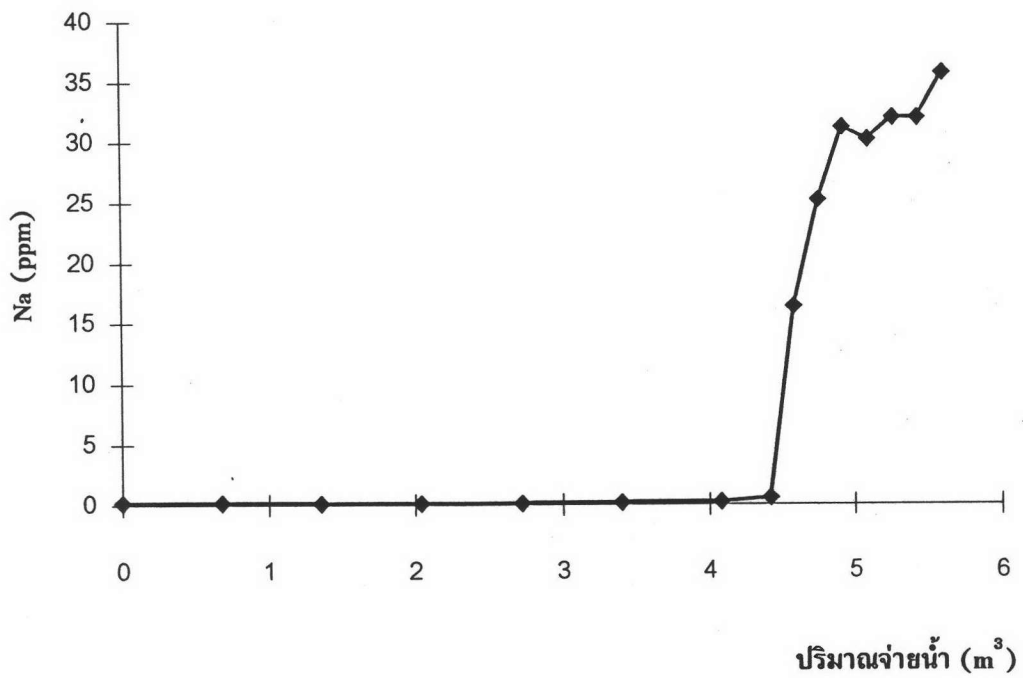


รูปที่ 5.97 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)

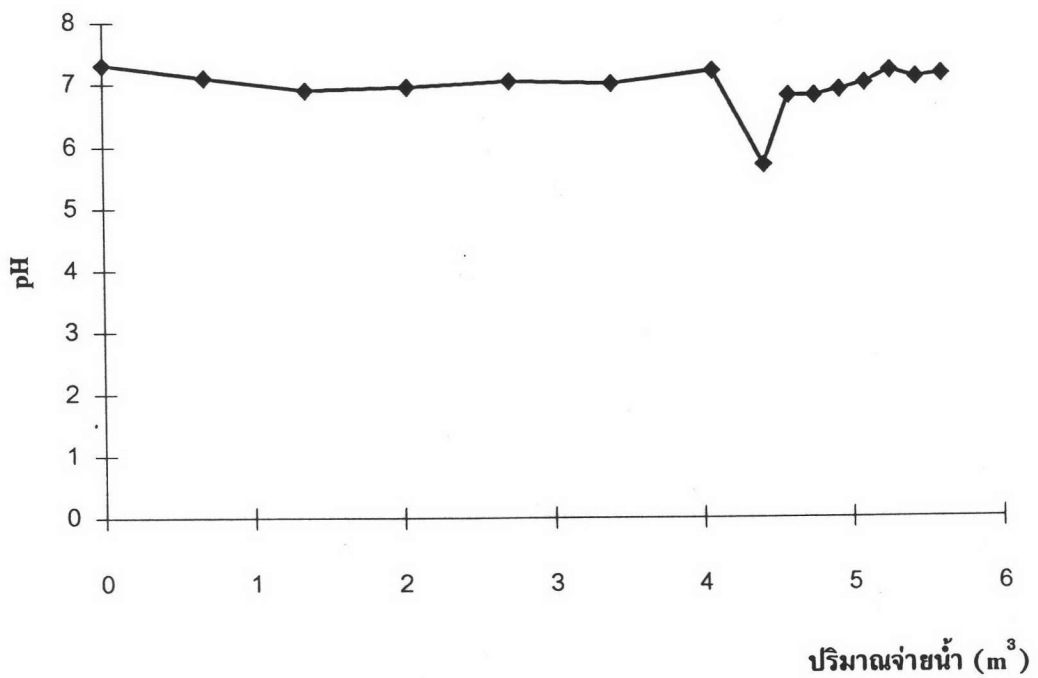


รูปที่ 5.98 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)

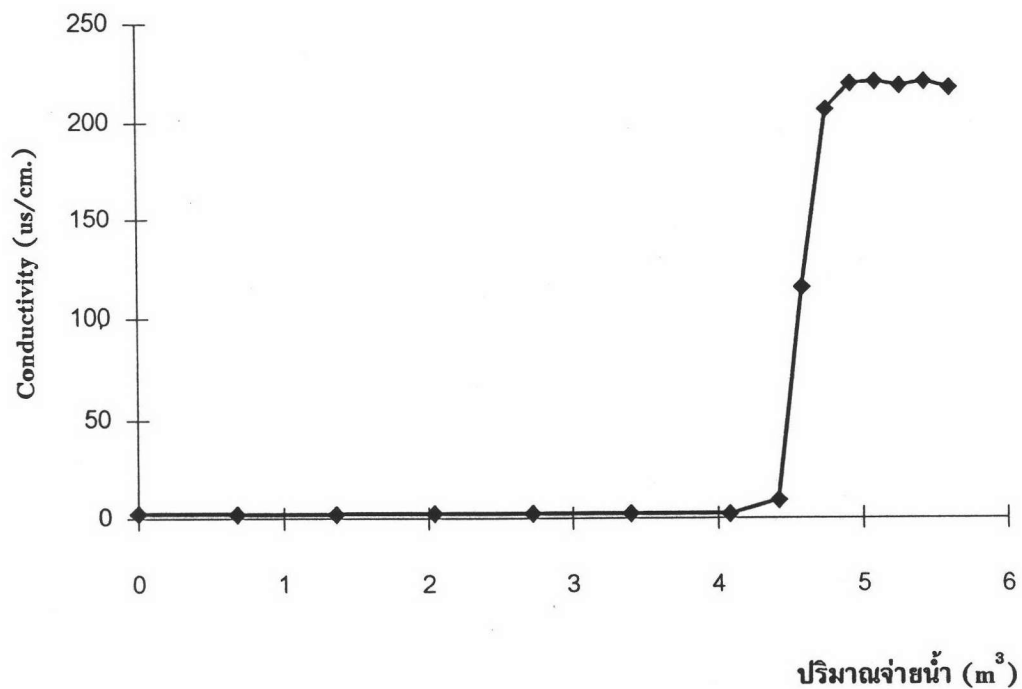




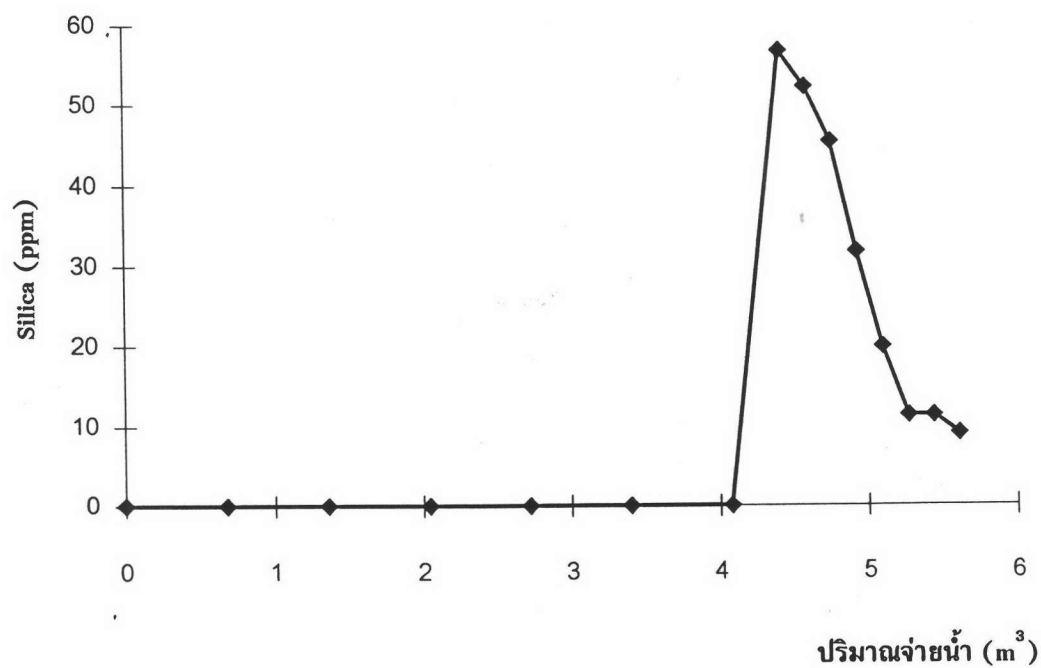
รูปที่ 5.99 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)



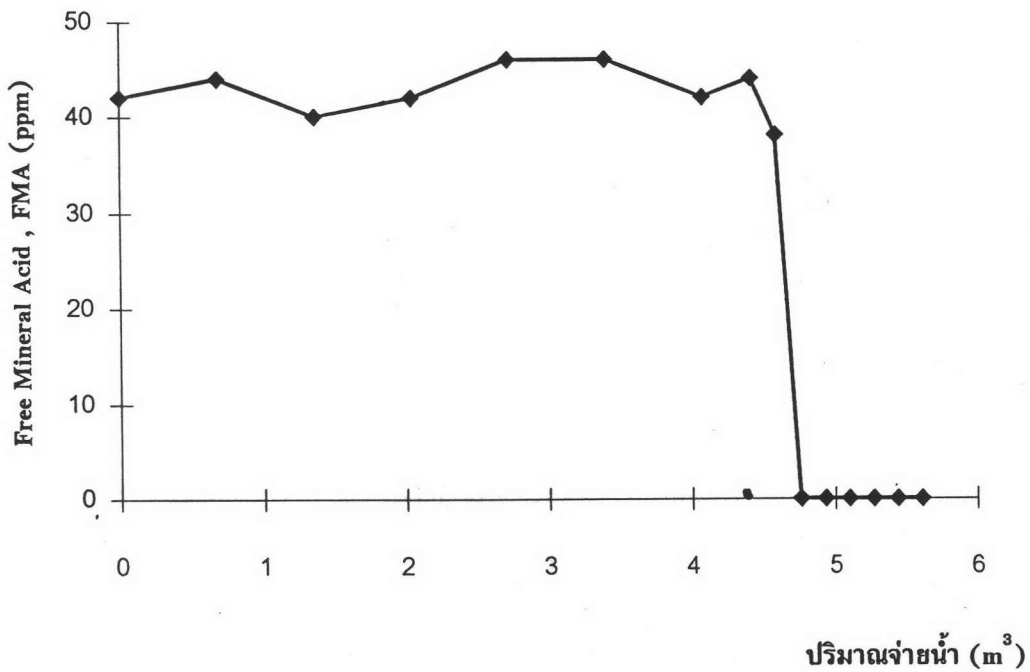
รูปที่ 5.100 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ โคเคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)



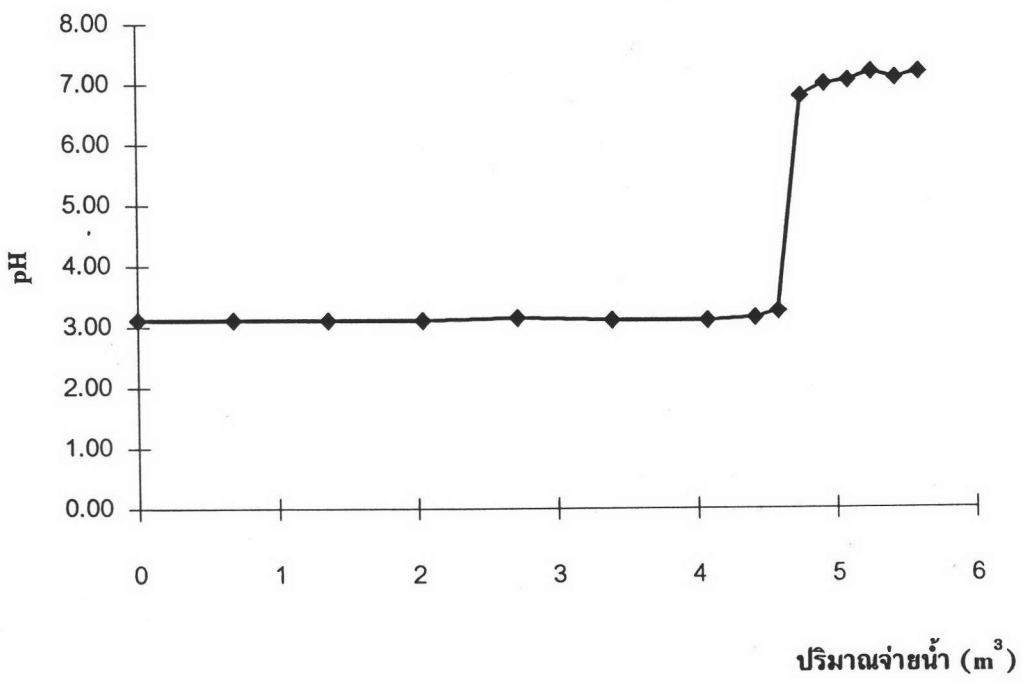
รูปที่ 5.101 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบโคเคอร์เรนท์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สิบสอง)



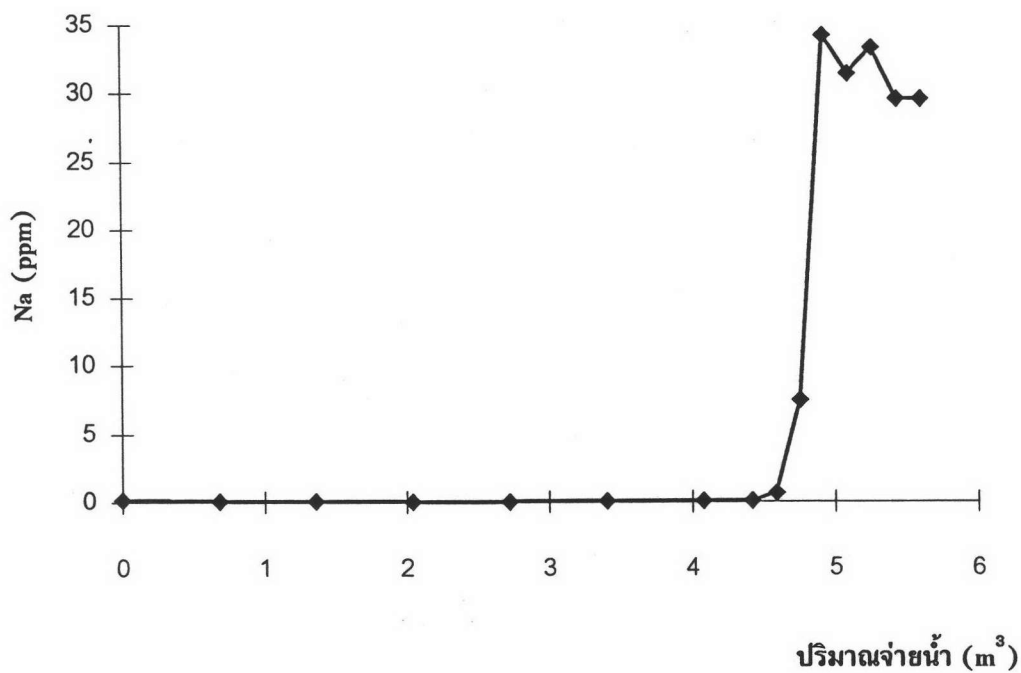
รูปที่ 5.102 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบโคเคอร์เรนท์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สิบสอง)



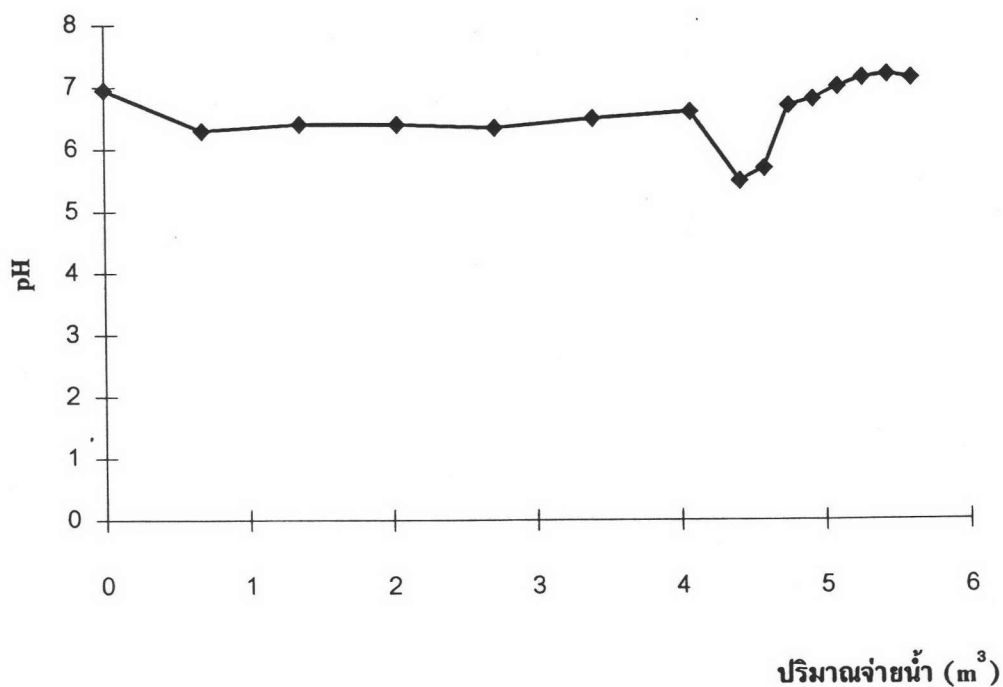
รูปที่ 5.103 กราฟแสดงค่า FMA ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สิบสอง)



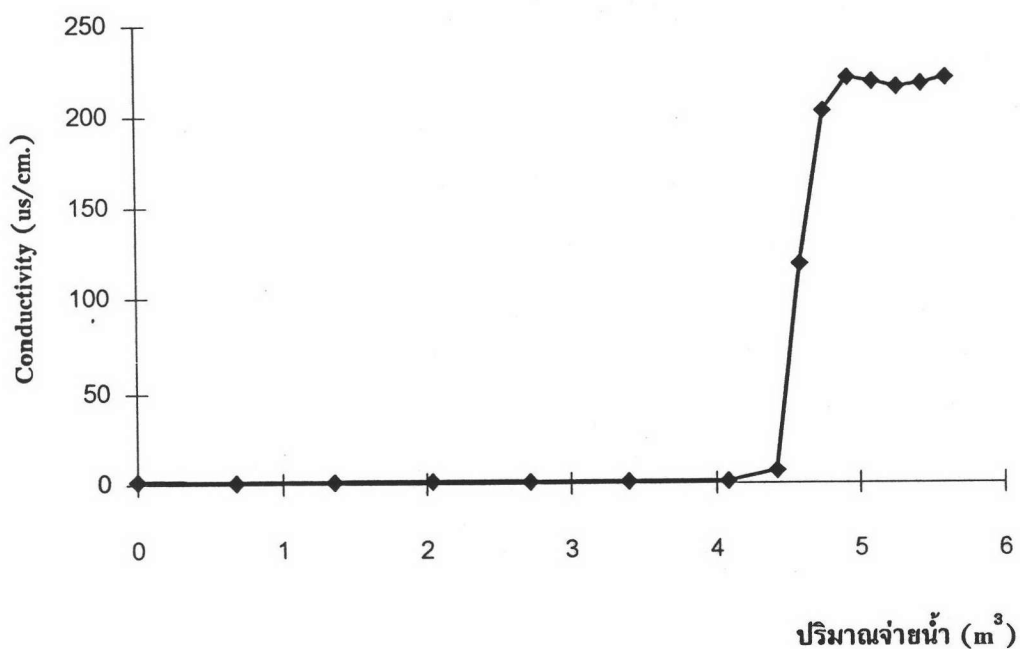
รูปที่ 5.104 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชั่น (รอบการทำงานที่สิบสอง)



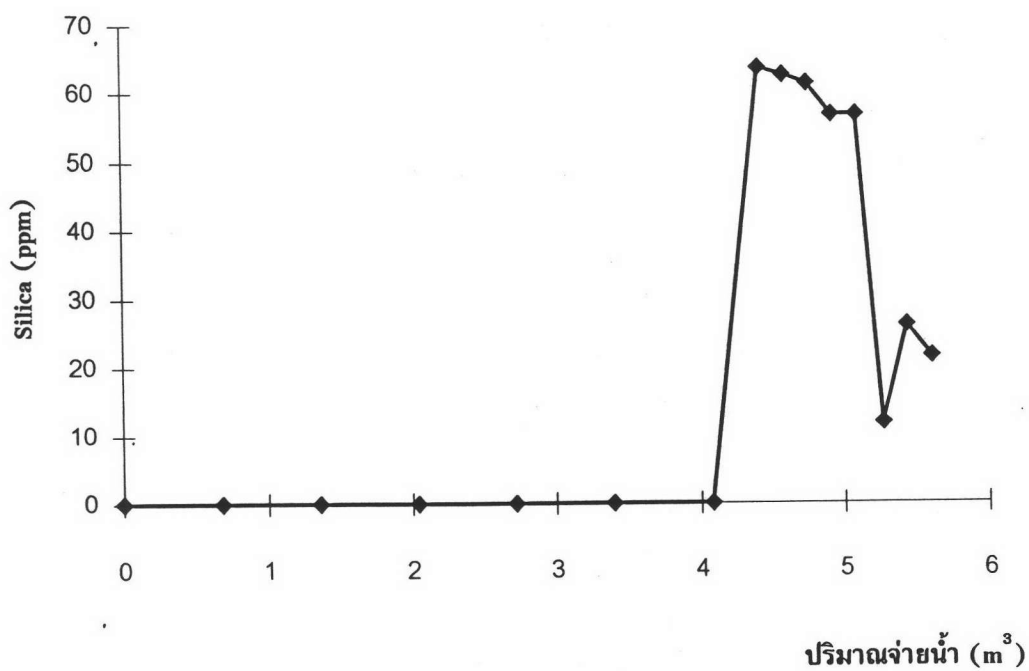
รูปที่ 5.105 กราฟแสดงค่า Na ของน้ำออกจากหอเรซินประจุบวกกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)



รูปที่ 5.106 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่ายจากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)



รูปที่ 5.107 กราฟแสดงค่า Conductivity ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)



รูปที่ 5.108 กราฟแสดงค่า Silica ของน้ำออกจากหอเรซินประจุลบกับปริมาณน้ำจ่าย จากระบบ  
เคาน์เตอร์เคอร์เรนต์รีเจนเนอเรชัน (รอบการทำงานที่สิบสอง)