บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 แหล่งที่มา วัดปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย และลักษณะน้ำในถังชุบ

5.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงาน

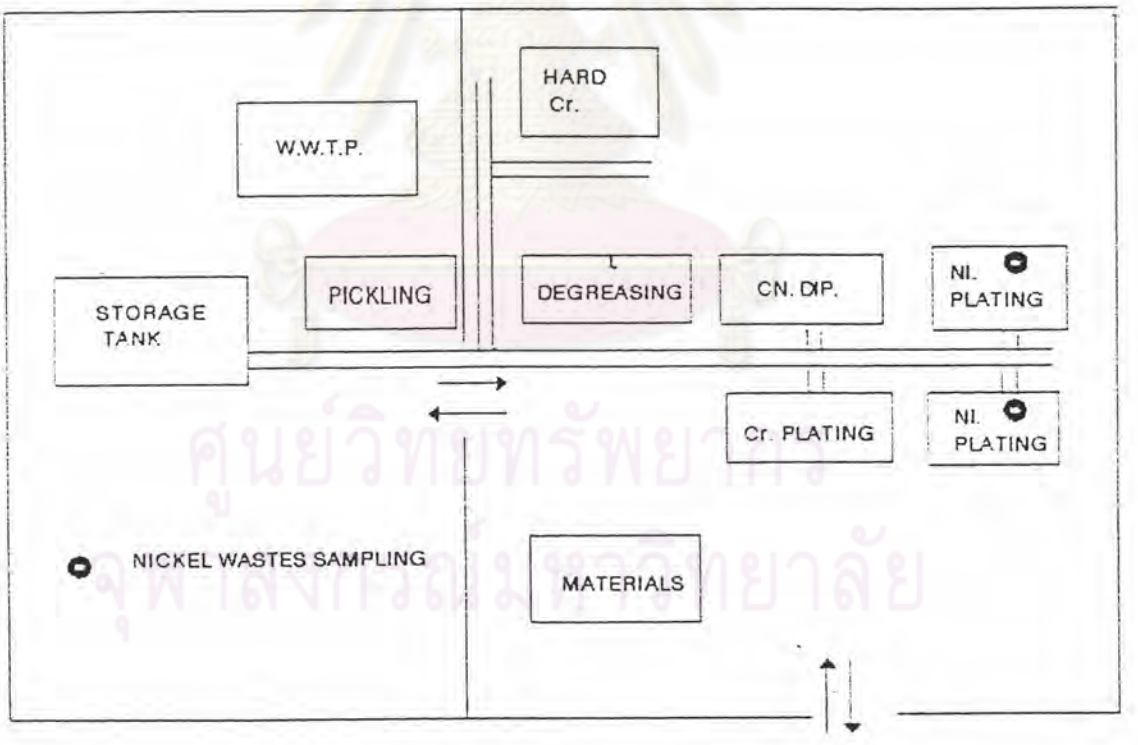
ชนิดโลหะที่ใช้ในการชุบ คือ ชุบโครเมียม โครเมียมแข็ง นิกเกิล

วัตถุดิบ คือ อุปกรณ์ที่ผลิตในโรงงาน (อะไหล่รถยนต์)

เวลาทำการ 8.00-17.00 น. จันทร์-เสาร์

การบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดทางเคมีในโรงงาน

สภาพการใช้พื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



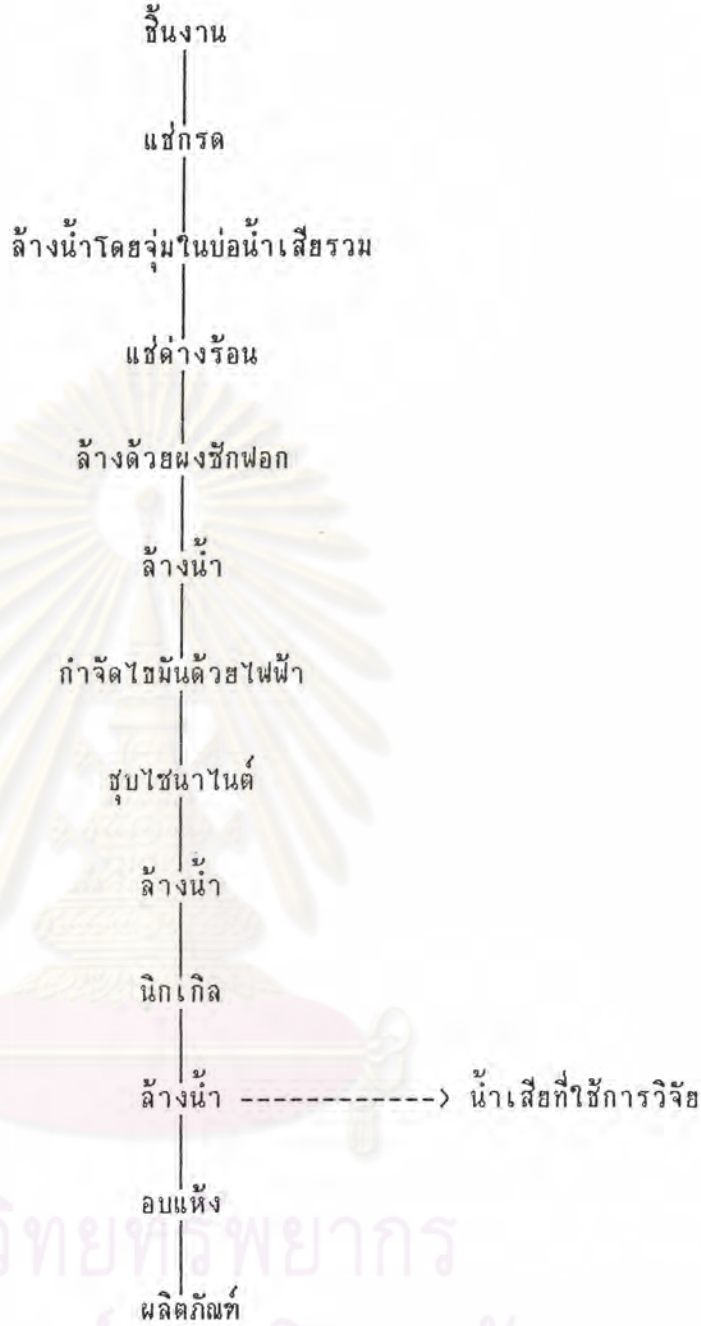
รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงสภาพการใช้พื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงาน
(สาโรช, 2535)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2 **ขั้นตอนการทำงาน** (ดูรูปที่ 5.2 ประกอบ)

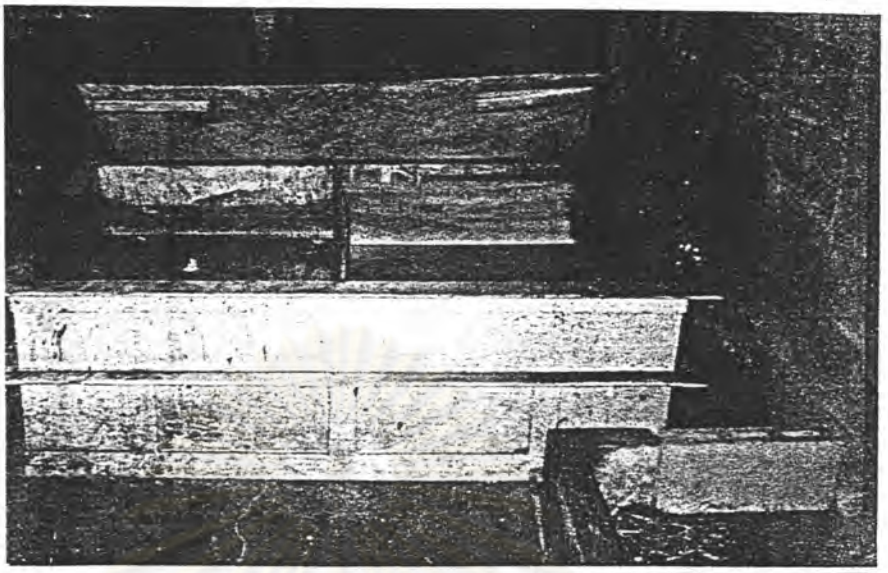
เริ่มด้วยชิ้นงานที่ผลิตจะถูกนำไปแช่กรดกำมะถันเพื่อกัดสนิมดังรูปที่ 5.3 และล้างน้ำโดยใช้น้ำในบ่อน้ำเสียรวม หรือน้ำประปาถ้าจำเป็น จากนั้นชิ้นงานจะถูกแช่ด่างร้อนประมาณ 15-20 นาที เพื่อกำจัดน้ำมันที่ติดผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ 5.4 แล้วล้างด้วยผงซักฟอกและน้ำสะอาด ดังรูปที่ 5.5 ชิ้นงานจะถูกนำไปกำจัดไขมันด้วยไฟฟ้า และชุบไซยาไนด์ทันทีเพื่อกันสนิม ดังรูปที่ 5.6 ชิ้นงานจะถูกนำไปชุบสังกะสีแบบมีไซยาไนด์ (ปัจจุบันยกเลิกแล้ว) หรือชุบนิกเกิล ดังรูปที่ 5.7 ตามด้วยชุบโครเมียม หรืออาจชุบโครเมียมแข็งโดยไม่ต้องชุบนิกเกิล ชิ้นงานที่ชุบสังกะสีได้แก่ น็อต ส่วนโครเมียมจะเป็นพวกสปริง หลังจากชุบจนได้ตามต้องการแล้ว จะถูกอบให้แห้งแล้วประกอบเป็นชิ้นส่วนต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

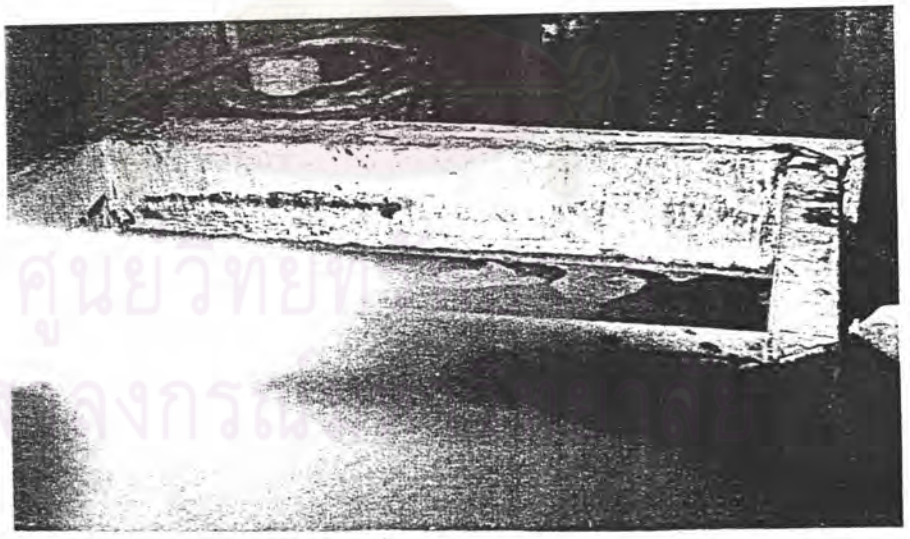


รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน แหล่งที่มาของน้ำเสียที่มีโลหะนิกเกิลเจือปน และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงาน
(สาโรช,2535)

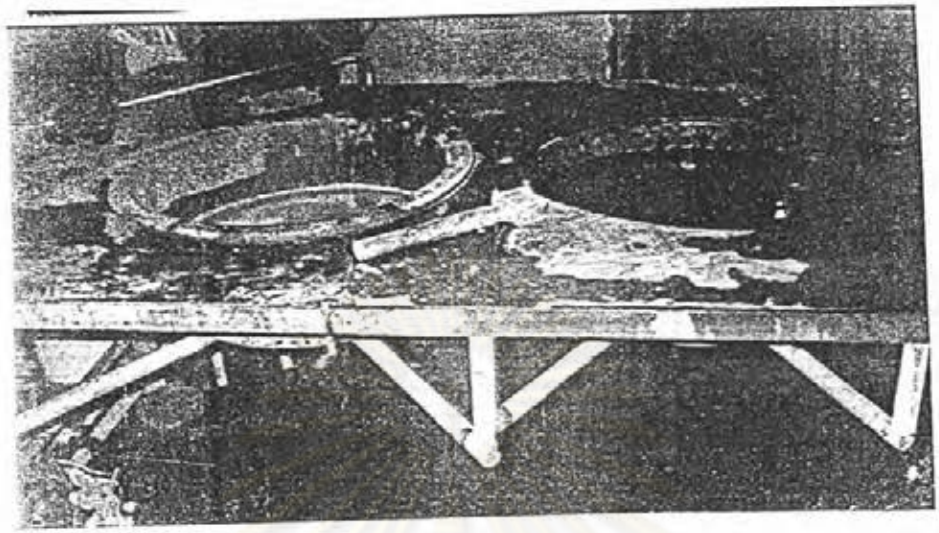
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



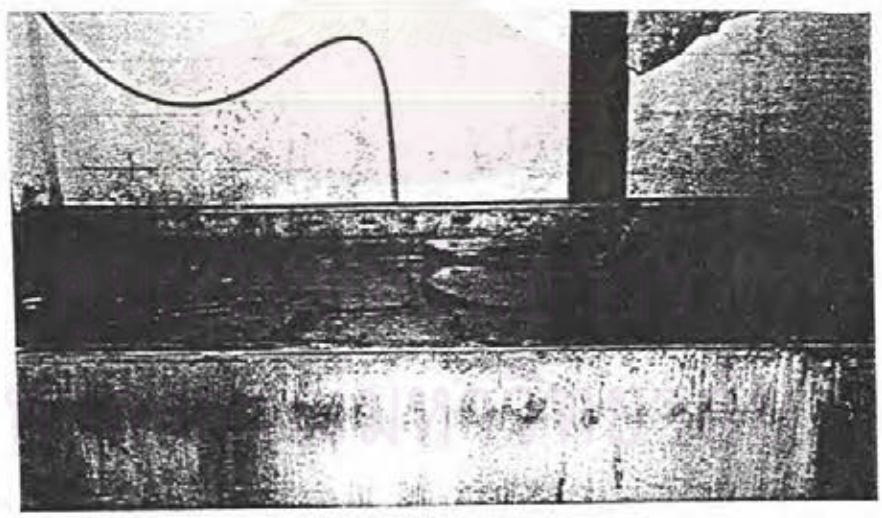
รูปที่ 5.3 รูปแสดงชิ้นงานแช่ในถังกรด (สาโรช,2535)



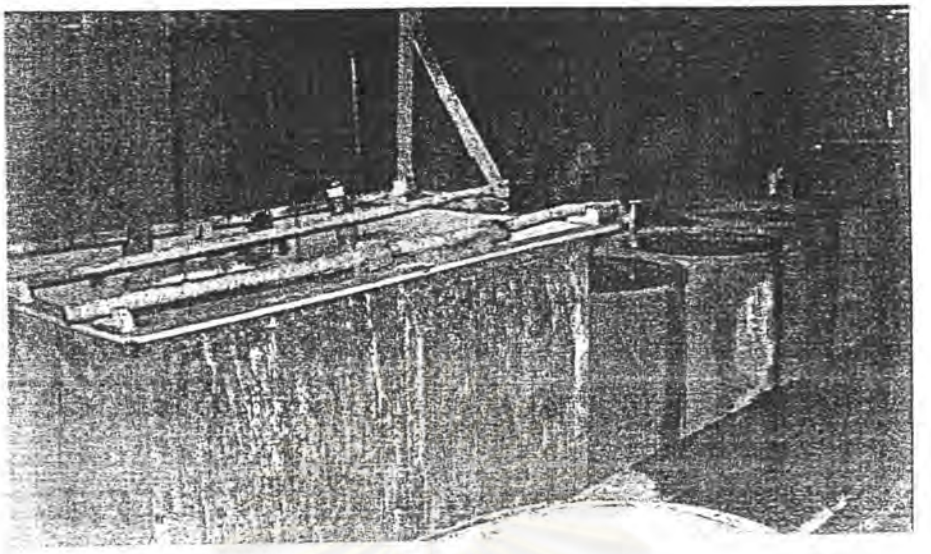
รูปที่ 5.4 รูปแสดงชิ้นงานแช่ในถังด่างร้อน (สาโรช,2535)



รูปที่ 5.5 รูปแสดงบริเวณล้างชิ้นงานด้วยผงซักฟอก
(สาโรช,2535)



รูปที่ 5.6 รูปแสดงการกำจัดด่างด้วยไฟฟ้า
(สาโรช,2535)



รูปที่ 5.7 รูปแสดงถังชุบนิกเกิล (สาโรช,2535)

5.1.3 การเก็บน้ำเสีย

ทำการเก็บจากการล้างน้ำจากการชุบโดยนิกเกิล ดังนั้นการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ใกล้เคียงสภาพจริงมากสุด จึงทำการเก็บ จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างและติดตั้งมาตรวัดน้ำแสดงในรูปที่ 5.1

5.1.4 ลักษณะน้ำเสีย

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี แยกตามประเภทของน้ำเสีย สามารถสรุปได้ในตารางที่ 5.1 น้ำเสียจากการล้างน้ำจากการชุบโลหะนิกเกิล มีการผลิตโดยเฉลี่ย 0.0038 ลบ.เมตรต่อตัน ค่าพีเอชเป็นกลางถึงต่ำเล็กน้อย จะมีความขุ่นเล็กน้อยค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 900-1,500 ไมโครซิเมน/ซม. ค่าของแข็งละลายอยู่ในช่วง 600-800 มก./ล ส่วนค่าของแข็งแขวนลอย ความกระด้างจากแคลเซียม แมกนีเซียม ใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้น้ำประปา ส่วนสภาพด่างเกิดจากไบคาร์บอเนตไอออน ปริมาณซัลเฟตอิออน คลอไรด์ไอออน และโบรเมตไอออนจะมีปริมาณสูงเนื่องจากเป็นส่วนประกอบของน้ำยาชุบโลหะนิกเกิล ก่อนการชุบโลหะนิกเกิลมีการชุบไซนาไนด์มาก่อน แต่เมื่อทำการตรวจแล้ว ไม่พบสารไซนาไนด์หลงเหลืออยู่

ตารางที่ 5.1 ตารางลักษณะน้ำเสียที่เก็บจากถังน้ำล้างใบที่ 1

วัน-เดือน-ปี Parameters**	14-12-35	16-12-35	18-12-35	20-12-35	ค่าเฉลี่ย X
Q (l/min)	0.51	0.60	0.54	0.53	0.55
pH	7.51	7.73	7.69	7.60	7.63 ± 0.08
Turbidity (NTU)	70.3	72.8	71.5	73.0	71.9 ± 1.08
Conductivity (umhos/cm)	1166	978	1017	1065	1056 ± 70.3
TDS.(ppm.)	641	538	730	612	630 ± 68.7
SS. (ppm.)	30	40	35	39	36 ± 3.9
P-Alkalinity*	nd	nd	nd	nd	-
M-Alkalinity*	215	210	230	256	240 ± 17.7
Total Hardness*	220	220	210	202	213 ± 7.5
Ca-Hardness*	120	118	124	116	119 ± 2.9
Cl^- (ppm.,	86	74	68	66	73.5 ± 7.8
Total Fe.(ppm.)	0.09	0.01	0.02	0.02	0.04 ± 0.03
SO_4 (ppm.)	308	251	390	320	317 ± 49.4
OH^- Alkalinity*	nd	nd	nd	nd	-
CO_3 Alkalinity*	nd	nd	nd	nd	-
HCO_3 Alkalinity*	215	210	230	260	228 ± 19.4
Ni^{2+} (ppm.)	293	273	281	282	282 ± 7.1
Cyanide (ppm.)	-	-	-	-	-

** วิธีการหาพารามิเตอร์ ดูในตารางที่ 4.3

* หน่วยที่ใช้เป็น (ppm. as $CaCO_3$) , nd = non detect, "-" = ตรวจไม่พบ

5.1.5 ลักษณะของน้ำยาชุบโลหะนิกเกิล

ในการทดลองการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ โดยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เราสามารถตรวจพบลักษณะน้ำยาชุบนิกเกิลได้ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางลักษณะความเข้มข้นของสารละลายในถังชุบนิกเกิลในโรงงาน

Parameters	December 14 ,1993	December 20 ,1993
Nickel (ppm.)	45,500	40,180
Iron (ppm.)	-	-
Sulfate (ppm.)	73,146	69,000
Chloride (ppm.)	11,000	10,530
Boric (ppm.)	296,467	284,720

* หมายเหตุ : ในแต่ละวันทำการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่าง ในแต่ละพารามิเตอร์

5.2 ผลการทดลองขั้นตอนการเปรียบเทียบเรซินชนิดธรรมดา และชนิดพิเศษ

ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิล ค่าการนำไฟฟ้าและค่า pH ที่ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ กับเรซินแคทอิออนชนิดธรรมดา และชนิดพิเศษ

5.2.1 ช่วงแลกเปลี่ยนไอออน

นำการทดลองโดยผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลเพียงอย่างเดียว ที่ความเข้มข้นของนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. และน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง ที่มีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลที่ 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ซึ่งจะได้ ค่าการนำไฟฟ้าและค่า pH ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ(ข้อมูลจากการทดลอง)

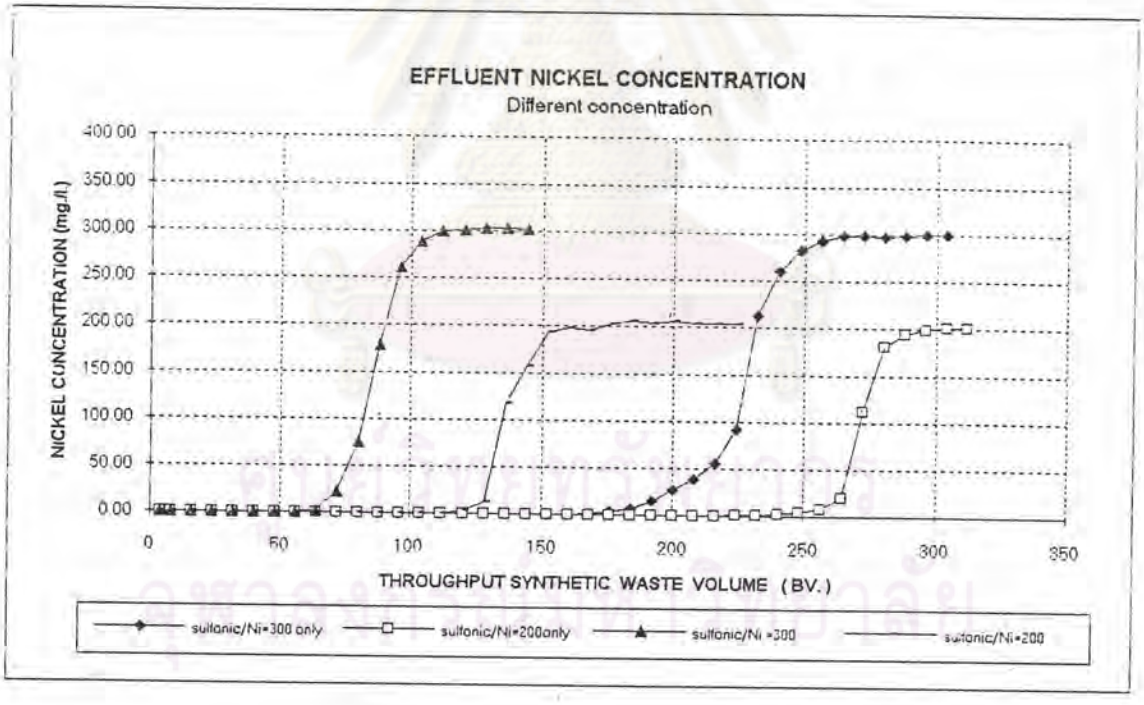
น้ำเสียสังเคราะห์	ค่า pH เฉลี่ย	ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย (ms./cm.)	ค่า TDS เฉลี่ย (mg./l.)
นิกเกิล 200 มก./ล.	5.55	0.6045	1796
นิกเกิล 300 มก./ล.	5.95	0.79	1982
นิกเกิล 200 มก./ล. และไอออนบวกอื่น ๆ	6.65	1.0175	1820
นิกเกิล 300 มก./ล. และ ไอออนบวกอื่น ๆ	7.1	1.363	1992

นำน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวผ่านถังปฏิกรณ์แคทไอออนชนิดธรรมดา และแอนไอออนด้วยอัตราการไหล 20 Bv/hr สลับการทดลองโดยผ่านถังปฏิกรณ์แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษและแอนไอออนจะพบว่า

5.2.1.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น ของนิกเกิลที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ

ค่าความเข้มข้นนิกเกิล สำหรับแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา ดูจากผลการทดลองตามกราฟรูปที่ 5.1 ลักษณะของกราฟจะเป็นรูปตัวเอส ซึ่งช่วงเรซินใกล้หมดสภาพที่จุด Break through ดูรูปในหัวข้อ 3.5.4.6 (ในที่นี้คือจุดที่ค่าความเข้มข้นประมาณ 1 มก./ล. ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม) ความชันเส้นจะสูงอย่างรวดเร็ว คือเส้นรั่วไหลของนิกเกิล (Leakage line) เกือบจะตั้งฉากกับเส้นแสดงปริมาตรในแนวแกนใกล้สมดุลย์ทางอุดมคติ(Closed Ideal equlibium) ซึ่งจะแสดงถึงคุณสมบัติของแคทไอออนเรซินชนิดกรดแก่(SAC) (Panswad,1975) จนกระทั่งเส้นถึงจุดอิ่มตัวของการแลกเปลี่ยนไอออน คือ อัตราส่วนความเข้มข้นเข้าระบบและออกระบบเท่ากับ 1 (Saturation Capacity) ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ผลของการแลกเปลี่ยนไอออน จนถึงจุดอิ่มตัวในการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนทั้งหมด (Total Capacity) จากการทดลองพบว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่มีค่าความเข้มข้นนิกเกิลสูงผ่านถังปฏิกรณ์แคทไอออนและแอนไอออน ทำให้เรซินหมดสภาพจนถึงจุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนเร็วกว่าที่มีค่าความ

เข้มข้นของนิกเกิลต่ำ คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้นนิกเกิลชนิดเดียว ที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. ทำการแลกเปลี่ยนทำให้เรซินหมดสภาพที่ปริมาตรประมาณ 225 BV. ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนส่วนที่ค่าความข้นของนิกเกิลที่ 200 มก./ล. จะหมดสภาพที่ปริมาตรประมาณ 275 BV. ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนแต่ถ้าใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริงทำให้เรซินหมดสภาพเร็วกว่า เมื่อเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว คือน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง ที่มีค่าความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. ทำให้เรซินหมดสภาพที่ปริมาตรประมาณ 100 BV. ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่านิกเกิล 200 มก./ล. ทำการแลกเปลี่ยนไอออนทำให้เรซินหมดสภาพที่ปริมาตรประมาณ 130 BV. และดูพร้อมกับตารางที่ 5.4 ตารางแสดงปริมาณโลหะนิกเกิลที่เรซินชนิดธรรมดาและชนิดพิเศษแลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ แล้วพบว่าในเรซินธรรมดาน้ำสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง ทำให้เรซินหมดสภาพเร็วกว่าน้ำสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลมาก แสดงว่าไอออนบวกของสารตัวอื่น มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดธรรมดาและค่าความเข้มข้นของนิกเกิลไม่มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพียงแค่ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเร็วขึ้น



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

จากตาราง 5.5 เมื่อคิดค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำเสียสังเคราะห์ใดๆ

ที่จุดอิ่มตัวของการแลกเปลี่ยน เมื่อคิดเฉพาะการแลกเปลี่ยนนิกเกิลค่าความจุที่ความเข้มข้น 300 มก./ล.เท่ากับ 2.26 eq/l.ที่ 200 มก/ล.เท่ากับ 1.96 eq/l.เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนที่ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก/ล.เท่ากับ 1.16 eq/l. ส่วนความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก/ล. เท่ากับ 1.26 eq/l.เมื่อเทียบค่าความจุรวม (Total capacity) ของเรซินจากผู้ผลิต (ดูภาคผนวก ฌ) อย่างต่ำเท่ากับ 2.1 eq/l. แสดงได้ว่าน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง จะให้ค่าความจุรวมในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้ต่ำกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะนิกเกิล ละค่าความจุรวมในการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะนิกเกิลจะใกล้เคียงค่าความจุที่ได้จากผู้ผลิต

ตารางที่ 5.4 ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เรซินชนิดธรรมดา และชนิดพิเศษแลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใดๆ

ชนิดเรซิน	ชนิดน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นนิกเกิล (มก./ล.)	ปริมาณโลหะนิกเกิลที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./ล.เรซิน)
ชนิดธรรมดา	โลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว	300	66,553
		200	55,657
	ตัวแทนน้ำเสียจริง	300	34,083
		200	37,071
ชนิดพิเศษ	มีโลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว	300	73,909
		200	76,228
	ตัวแทนน้ำเสียจริง	300	60,664
		200	65,427
		100	73,053

* หมายเหตุ *ที่มาดูจากตารางในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความจุรวม (Total Capacity)และความจุปฏิบัติการหรือความจุเบรกทรู (Operation or Break through Capacity) ของเรซินชนิดธรรมดาและพิเศษ เทียบกับข้อมูลที่ได้จากบริษัท ภายใต้การแลกเปลี่ยนไอออนกับอัตราการไหล 20 Bv./hr.

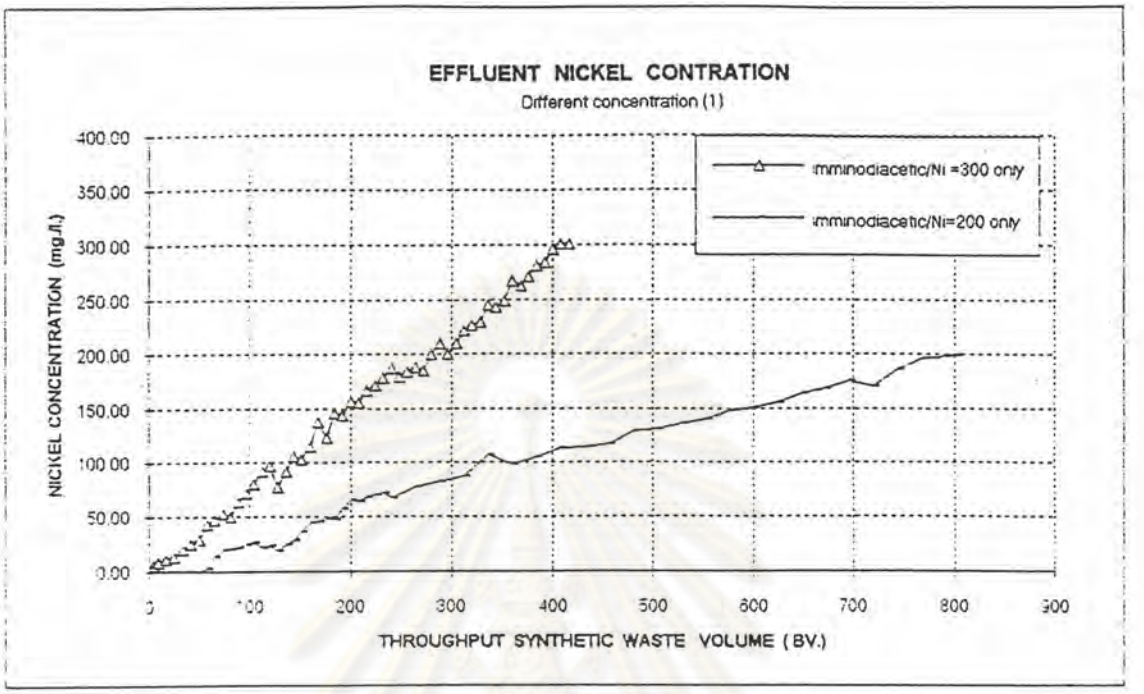
ชนิดเรซิน	ชนิดน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นนิกเกิล (mg./l.)	ค่าความจุรวม (eq./l.)		ค่าความจุปฏิบัติงาน (eq./l.)	
			จากผู้ผลิต (Min.)	การทดลอง (eq.Ni^{2+}/ l.resin)	จากผู้ผลิต	การทดลอง (eq.Ni^{2+}/ l.resin)
ชนิดธรรมดา	โลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว	300	2.1	2.26	1.6	1.71
		200		1.90		1.57
	ตัวแทนน้ำเสียจริง	300		1.16		0.655
		200		1.21		0.832
ชนิดพิเศษ	โลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว	300	2.4	2.51	1.7	—
		200		2.60		0.52
	ตัวแทนน้ำเสียจริง	300		2.07		—
		200		2.25		0.12
		100		2.49		0.16

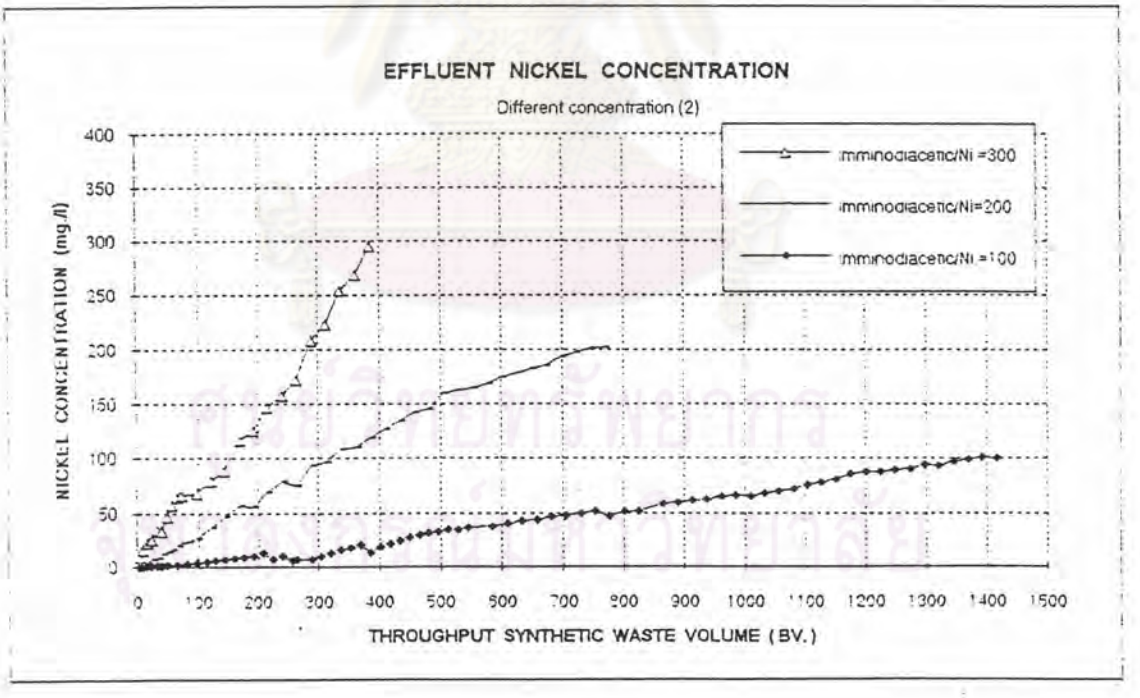
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษสำหรับ น้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

ค่าความเข้มข้นของนิกเกิลของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านเรซิน ดูจากผลการทดลองตามกราฟรูปที่ 5.9 พบว่าลักษณะของกราฟจะเป็นรูปตัวเอส แต่เส้นกราฟที่แสดงเส้น Break through และเส้นleakage line จะเกือบเป็นเส้นเดียวกัน แสดงถึงคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านเรซินชนิดกรดอ่อน และอาจจะเกิดจากกรณีที่ค่าความเข้มข้นป้อนเข้าระบบสูงไปจะทำให้เกิดกราฟลักษณะนี้ (ดูกราฟในหัวข้อ 3.5.4.6) (Panswad, 1975) เส้น leakange line จะสูงขึ้นเรื่อยจนถึงจุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนเรซิน ซึ่งเป็นจุดที่วัดค่าความจุรวมในการแลกเปลี่ยนลักษณะของกราฟจะต่างกับน้ำเสียสังเคราะห์ใดๆที่มีโลหะนิกเกิล ผ่านเรซินชนิดธรรมดา ซึ่งลักษณะของกราฟความชันที่จุดรั่วไหลจะสูงกว่าเส้นleakage line และเส้นbreak through line ทำมุมแคบกว่าส่วนลักษณะของกราฟในเรซินชนิดพิเศษจุด Breaktrough ของเรซินชนิดพิเศษเกิดขึ้นในปริมาตรน้ำเสียที่ต่ำ และบางกรณีเกิดการรั่วไหลเลยไม่เกิดความจุเบรคทรู เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหล (Service flowrate) ของการทดลองอยู่ในช่วง 20 BV./hr. ซึ่งอยู่ในช่วงผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ (ดูในภาคผนวก ฌ.) ขนาดความลึกของชั้นเรซินเท่ากับ 1,000 มม. ซึ่งอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตแนะนำ ดังนั้นแสดงว่าเรซินชนิดพิเศษได้รับค่าความเข้มข้นที่สูงเกินไปจึงเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้

จากการทดลองลักษณะของกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้น ตามปริมาตรน้ำเสียใด ๆ และจะคงที่อีกครั้ง เมื่อค่าความเข้มข้นของนิกเกิลเท่ากับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าถังปฏิกรณ์แคทไอออน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิล ในน้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะที่มีโลหะนิกเกิลที่เข้าเท่ากับ 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. แนวโน้มจะมีความชันโดยรวมของกราฟต่ำกว่าค่าความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. เรซินจะหมดสภาพคือไม่สามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออนอีกที่ 750 และ 400 BV. ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนให้ค่าความจุรวมประมาณ 2.51 และ 2.60 eq./l. ตามลำดับส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นนิกเกิล 100 มก./ล., 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. แนวโน้มของกราฟจะมีค่าความเข้มข้นข้นต่ำกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนิกเกิลเพียงอย่างเดียวเพียงเล็กน้อย เรซินจะหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสียที่ ประมาณ 1,400, 700 และ 350 BV. ที่จุดเรซินอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนให้ค่าความจุรวมในการแลกเปลี่ยนประมาณ 2.49 , 2.25 และ 2.02 eq./l. และดูพร้อมตารางที่ 5.4 ตารางแสดงปริมาณโลหะนิกเกิลที่เรซินชนิดธรรมดา และชนิดพิเศษแลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆพบว่าไอออนบวกของสารตัวอื่น มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดพิเศษบ้าง คือ น้ำเสียสังเคราะห์จริงเรซินแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้น้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิล และที่ความเข้มข้นนิกเกิลในน้ำเสีย





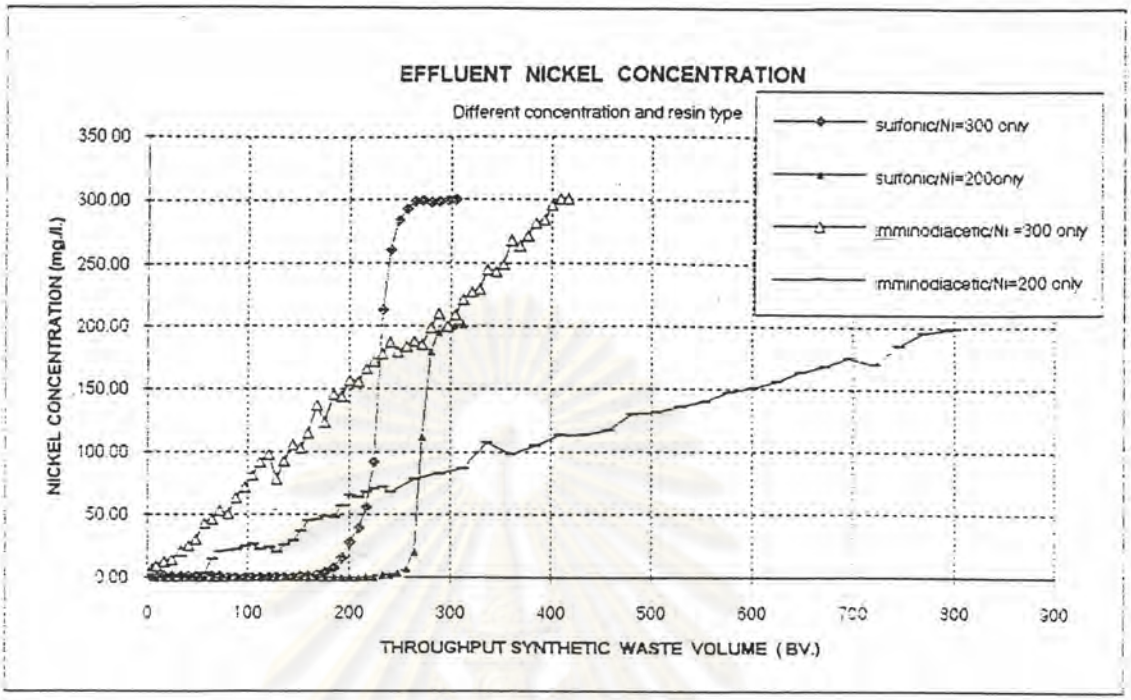
รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซิน ชนิดพิเศษสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

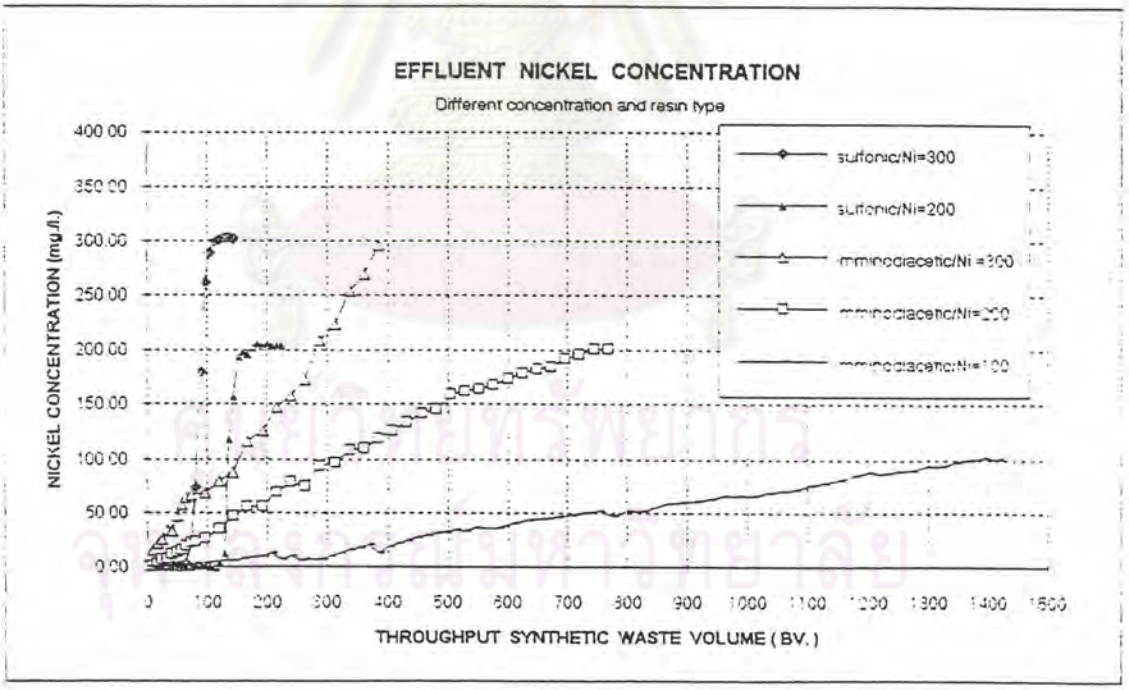
สังเคราะห์ใด ๆ ที่ต่ำเรซินสามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้มากกว่า เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.5 ความจุรวมของผู้ผลิตแนะนำเท่ากับ 2.4 eq./l.ค่าความจุรวมของเรซินชนิดพิเศษในการทดลองจะใกล้เคียงกับผู้ผลิต แต่จะมีค่าต่ำกว่าผู้ผลิตเมื่อมีประจุบวกอื่นเข้ามาเจือปนในน้ำที่ผ่านเรซิน

5.2.1.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับชนิดพิเศษสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใดๆ

ดูจากกราฟรูปที่ 5.10 จะพบว่าลักษณะของกราฟจะเป็นกราฟรูปตัวเอสทั้งคู่ เรซินชนิดพิเศษเส้น Breakthrough กับเส้น leakage ใกล้เคียงเป็นเส้นเดียวกัน คือทำมุมเกือบเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าที่จุด Breakthrough ของเรซินชนิดพิเศษจะเกิดขึ้นในปริมาตรน้ำเสียช่วงแรก ๆ ที่ผ่านเรซิน ถ้าคิดว่า Breakthrough ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเท่ากับ 1 mg/l แสดงให้เห็นว่าเรซินชนิดพิเศษไม่สามารถรับน้ำสังเคราะห์ที่มีค่าโลหะนิกเกิลที่สูงถึง 200 mg/l (ดูตาราง 5.5) แต่การทดลองเพื่อการศึกษาที่จะนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ จึงจะใช้ Total Capacity ในการทดสอบเรซินทั้ง 2 ชนิดซึ่งจำเป็นต้องเดินระบบจนถึงจุด Saturated Capacity จะพบข้อแตกต่างระหว่างการทดลองที่ผ่านเรซินชนิดธรรมดาและเรซินชนิดพิเศษพบว่าเรซินชนิดธรรมดาที่สามารถแลกเปลี่ยนโลหะนิกเกิลอย่างหมดสิ้น คือค่าความเข้มข้นของนิกเกิลเข้าใกล้ศูนย์ในปริมาตรน้ำเสียช่วงแรก เมื่อเรซินใกล้หมดสภาพความเข้มข้นโลหะนิกเกิลจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเป็นเรซินชนิดพิเศษจะไม่สามารถจับโลหะนิกเกิลอย่างหมดสิ้น แนวโน้มค่าความเข้มข้นของนิกเกิลจะสูงขึ้นอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอที่ปริมาตรน้ำเสียใด ๆ จนถึงสภาพคงที่อีกครั้ง

จากตารางที่ 5.4 และ 5.5 ในการเปรียบเทียบปริมาณสารนิกเกิลที่เรซินธรรมดาจับได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะ นิกเกิลเพียงอย่างเดียว ค่าความเข้มข้นโลหะนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. คือ 55,657 มก./ล.เรซิน และ 66,553 มก./ล.เรซิน ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนให้ค่าความจุรวม 1.90 และ 2.26 eq.Ni^{2+}/l.ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริงที่ค่าความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. คือ 37,071 และ 34,083 มก./ล.เรซิน ที่จุดเรซินอิ่มตัว ในการแลกเปลี่ยนให้ค่าความจุรวม 1.21 และ 1.16 eq.Ni^{2+} /l. ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เรซินชนิดพิเศษแลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นโลหะนิกเกิล 200 มก./ล.และ300 มก./ล. คือ 76,228 และ 73,909 มก./ล.เรซิน ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนให้ค่าความจุรวม 2.60, และ 2.51 eq.Ni^{2+} /l ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง ที่ความเข้มข้นโลหะนิกเกิล 100มก./ล., 200 มก./ล. และ 300 มก./ล.คือ 73,053 มก./ล.เรซิน, 65,427 และ 60,664 มก./ล.เรซิน ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยนให้ค่าความจุรวม 2.49, 2.25 และ





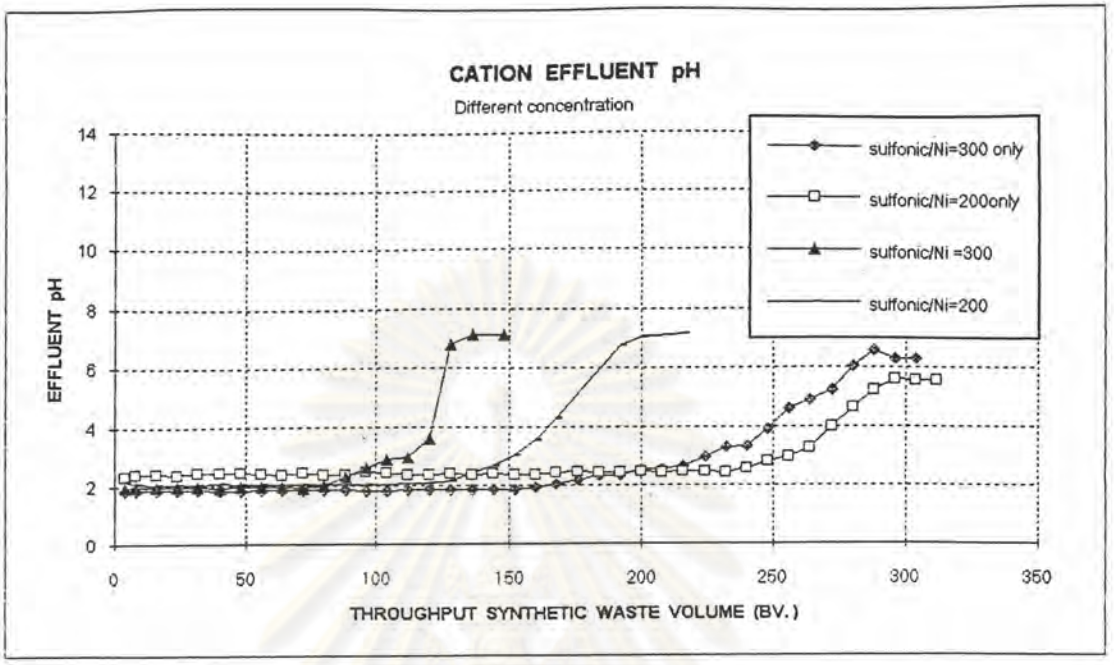
รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

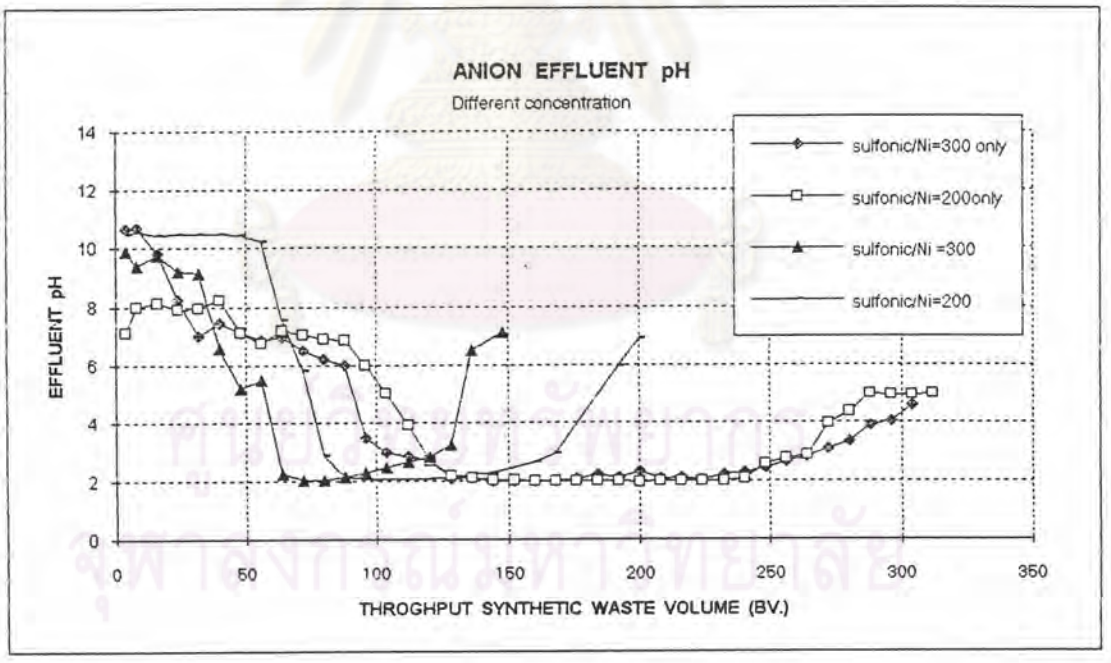
2.07 eq.Ni^{2+} /l. จะพบว่าเรซินชนิดพิเศษสามารถแลกเปลี่ยนโลหะนิกเกิลได้ปริมาณที่สูงกว่าเรซินชนิดธรรมดา เมื่อเปรียบเทียบ น้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด และค่าความจุรวมนิกเกิลของเรซินชนิดพิเศษจะสูงกว่าเรซินชนิดธรรมดา เมื่อเทียบน้ำเสียชนิดเดียวกันเมื่อดูจากตาราง 5.5 เรซินชนิดพิเศษจะให้ค่าความจุปฏิบัติการที่อัตราการไหล 20 BV/hr และ ค่าความเข้มข้นน้ำเสียดังกล่าวต่ำกว่าเรซินชนิดธรรมดามาก หรือที่ความเข้มข้นบางค่าไม่สามารถให้ค่าความจุเบรคทรูได้เลย ถ้ากำหนดเบรคทรูที่ความเข้มข้นนิกเกิล 1 มก./ล.

5.2.1.4 ผลการเปรียบเทียบค่า pH ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาและแอนไอออนสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

ค่า pH ดูจากตารางที่ 5.2 ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลจะมีค่าต่ำลงเมื่อค่าปริมาณโลหะนิกเกิลสูงขึ้น ดูจากกราฟรูปที่ 5.11 ค่าpH ที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทไอออนชนิดธรรมดา สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะนิกเกิลเพียงอย่างเดียวในช่วงแรกจะมีค่า pH ต่ำประมาณ 2-3 และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเรซินใกล้หมดสภาพ และสภาพ pH จะคงที่อีกครั้งเท่ากับค่า pH น้ำเสียก่อนเข้าถึงปฏิกรณ์แคทไอออนเรซิน คือ เมื่อน้ำสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ผ่านแคทไอออนชนิดธรรมดา ค่า pH ช่วงแรกคงที่ pH จะเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรน้ำเสีย ประมาณที่ 240 BV. และ 150 BV. และค่า pH จะเริ่มคงที่อีกครั้งเมื่อค่าปริมาตรน้ำเสียประมาณ 300 BV. และ 275 BV. ตามลำดับ ส่วนค่า pH ที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออนน้ำที่ออกจากถังจะมีฤทธิ์เป็นด่าง ค่า pH ใกล้เคียง 10 จากนั้นค่า pH จะเป็นกลาง คือ 6-7 และจะลดต่ำลงประมาณ 2-3 จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และมีค่าเกือบคงที่เท่ากับ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าถึงปฏิกรณ์แอนไอออน คือพบว่า ที่ความเข้มข้นของนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ค่า pH จะอยู่ในช่วง 6-10 ที่ปริมาตรน้ำเสีย 80 BV. และจะลดลงจนกระทั่งค่า pH อยู่ในช่วง 2-3 ที่ ปริมาตรน้ำเสียที่ 120 BV. และ 100 BV. ตามลำดับ จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นและคงที่อีกครั้งที่ pH ใกล้เคียงกับน้ำเสียที่เข้าถัง ปฏิกรณ์ที่ปริมาตรน้ำเสีย 280 BV.

สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง ที่ค่าความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ดูจากกราฟรูปที่ 5.11 หลังจากออกจากถังปฏิกรณ์แคทไอออนชนิดธรรมดา ค่า pH จะคงที่ที่ปริมาตรประมาณ 130 BV.และ 80 BV.และจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ค่า pH คงที่อีกครั้ง ที่ปริมาตร ประมาณ 200 และ 150 BV. ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออนในช่วงแรกค่า pH มีค่า 8-10 จนกระทั่งปริมาตรน้ำเสียที่ 70 BV.และ 60 BV. ค่า pH จะลดลงอย่างรวดเร็วและจะคงที่อยู่ในช่วงpH 2-3 จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่ม และเพิ่มอย่างรวดเร็วที่ปริมาตรประมาณ 180 และ 150 BV. และค่า pH จะคงที่อีกทีและมีpH เท่ากับ





รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซิน

pH น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าถังปฏิกรณ์ สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 300 มก./ล. จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ปริมาตรน้ำเสียใดๆที่แสดงว่าเรซิน เริ่มหมดสภาพก่อนเมื่อเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าความเข้มข้น 200 มก./ล. คือ ค่า pH จะเริ่มเปลี่ยนแปลงที่ปริมาตรน้ำเสียที่ปริมาตรน้ำเสียชั้นเรซิน (BV) ที่น้อยกว่า

สามารถอธิบายปรากฏการณ์ในรูปสมการเคมีของเรซินชนิดธรรมดา(SAC)ได้ โดยเรซินชนิดธรรมดาสามารถจับประจุ บวกสอง และบวกหนึ่งได้ดังนี้

$$NiSO_4 + 2H\text{-}R \longrightarrow Ni{=}R + H_2SO_4 \quad (1)$$

$$MgSO_4 + 2H\text{-}R \longrightarrow Mg{=}R + H_2SO_4 \quad (2)$$

$$CaSO_4 + 2H\text{-}R \longrightarrow Ca{=}R + H_2SO_4 \quad (3)$$

$$NiCl_2 + 2H\text{-}R \longrightarrow Ni{=}R + 2HCl \quad (4)$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2H\text{-}R \longrightarrow Ca{=}R + H_2CO_3 \quad (5)$$

และสมการเคมีที่มีการแลกเปลี่ยนในถังแอนไอออนเรซิน (SBA)

$$H_2SO_4 + R{-}2HO^- \longrightarrow SO_4{=}R + H_2O \quad (6)$$

$$HCl + R{-}HO^- \longrightarrow Cl{-}R + H_2O \quad (7)$$

$$H_2CO_3 + R{-}2HO^- \longrightarrow CO_3{=}R + H_2O \quad (8)$$

ซึ่งจากกสมการอธิบายได้คือในช่วงแรกที่น้ำเสียออกจากถัง แคทไอออนเรซินจะทำให้มีค่า pH ต่ำเพราะมีกรด H_2SO_4, HCl และ H_2CO_3 ตามสมการ (1) ถึง (5) และหลังจากนั้นผ่าน แอนไอออนเรซิน ค่า pHจะมีค่าสูงกว่า 7 (ตามปกติควรจะเท่ากับ 7) ทั้งนี้เพราะค่าประจุบวกในน้ำเสียที่ออกจากแคทไอออนเรซินจะมีประจุ Ca^{2+}และMg^{2+}หลงเหลืออยู่ที่แคทไอออนเรซินไม่สามารถจับได้ ซึ่งประจุเหล่านี้เมื่อผ่านแอนไอออนเรซินจะมีการทำปฏิกิริยากับ OH^-จะแสดงสภาพด่างออกมา จากนั้นค่าpHที่ออกจากแอนไอออนเรซิน จะลดลงจนมีค่าใกล้เคียง กับค่า pH ที่ออกมาจากแคทไอออน เพราะแอนไอออนเริ่มหมดประสิทธิภาพ

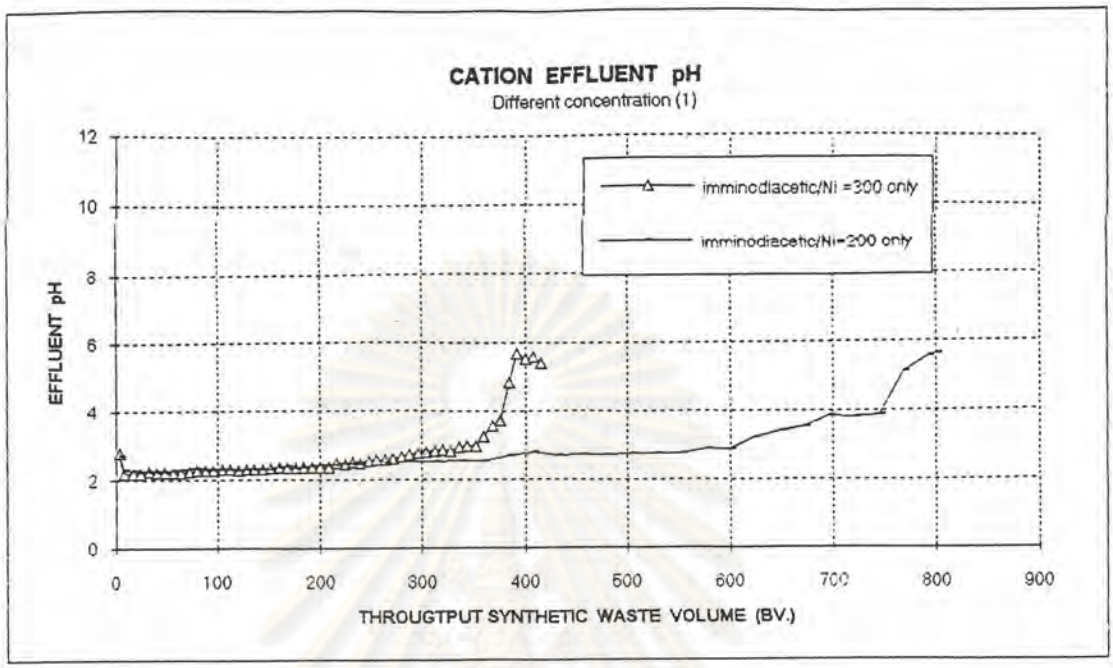
5.2.1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าpH ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษและแอนไอออนสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

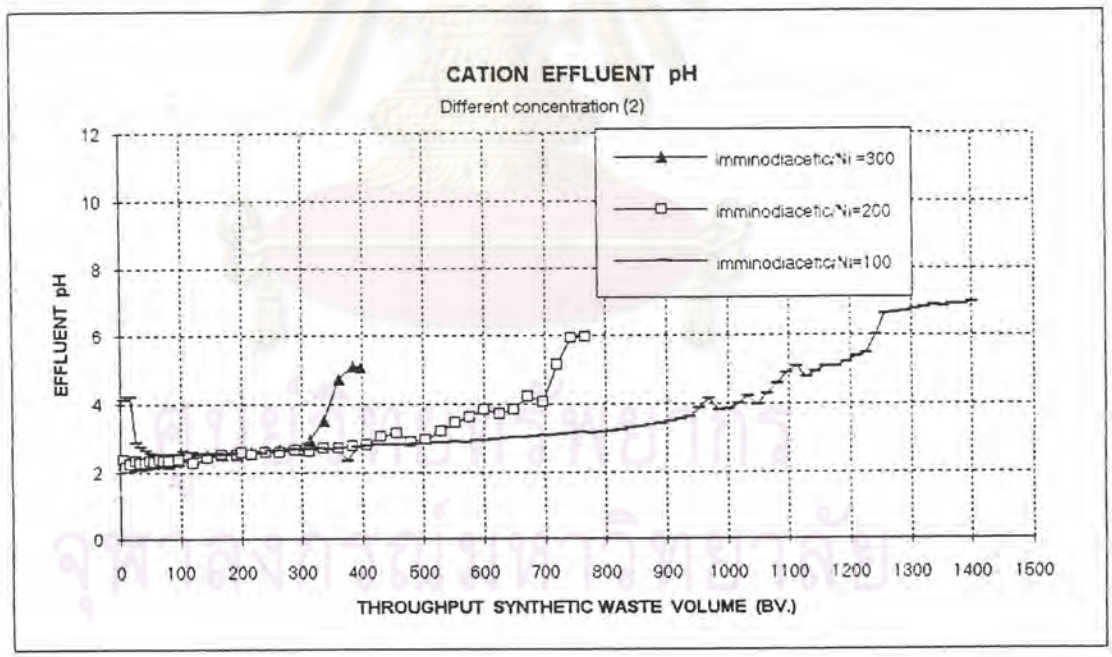
ค่าpH ดูจากกราฟรูปที่ 5.12 และ 5.13 ค่าpHของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทอิออนชนิดพิเศษ สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนิกเกิลเพียงอย่าง

เดียวในช่วงแรกค่า pH ที่ออกจากถังจะมีค่าประมาณ 2-3 ซึ่งลักษณะของกราฟจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเส้นกราฟจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเรซินใกล้หมดสภาพ และค่า pHจะเริ่มคงที่อีกครั้งซึ่งจะต่ำกว่าค่า pHของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าถังปฏิกรณ์แคทไอออนคือ อยู่ที่ค่าประมาณ 5-6 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของนิกเกิลที่เข้าถังเท่ากับ 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ค่า pHจะเพิ่มขึ้นน้อยมากและมีค่าประมาณ 2-3 จนกระทั่งปริมาตรน้ำเสียที่ 600 BV.และ 380 BV. pHจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่อีกครั้งที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 800 BV. และ 400 BV. ตามลำดับ โดยค่า pH จะคงที่ที่ประมาณ pH 5 ถึง 6 ส่วนค่า pH ที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออน ที่ค่าความเข้มข้นของนิกเกิล 200 มก./ล.และ 300 มก./ล. เริ่มแรกค่า pH จะมีค่าค่อนข้างสูงและเมื่อประมาตรน้ำเสียผ่านไปค่า pH จะคงที่อยู่ในช่วง pH 8-10 จนกระทั่งที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 75 BV. และ 82 BV.ตามลำดับ ค่า pH จะเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 2-4 จนกระทั่งที่ประมาตรน้ำเสียที่ 750 BV. 375 BV. ตามลำดับ ค่าpH จะเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 4-6

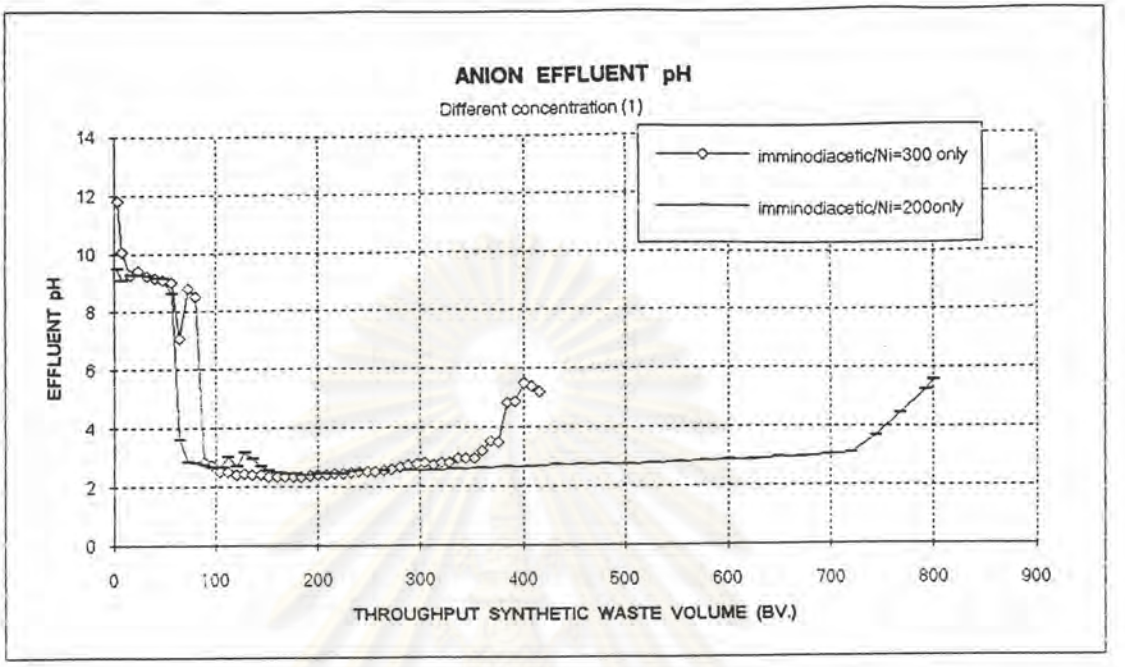
ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นของนิกเกิลเท่ากับ 200 มก./ล และ 300 มก./ล. ในช่วงแรกค่าpH ค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 2-4 ที่ปริมาตรน้ำเสีย 700 BV. และ 300 BV.ค่า pH จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงปริมาตรน้ำเสียประมาณ 730 BV. และ 350 BV. ค่า pH จะคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 6-7 อีกครั้ง ส่วนค่า pH ของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออน ที่ค่าโลหะนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล.ค่า pH ในช่วงแรกจะคงที่ที่pH ค่อนข้างสูงประมาณ 10-12 จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเริ่มคงที่อีกครั้งที่ pHประมาณ 2-4 ที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 100 BV.และ 75 BV. ตามลำดับเส้นกราฟจะวิ่งแนวระดับนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง เพิ่มสูงขึ้นที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 600 และ 300 BV. และค่า pH จะสูงขึ้นและคงที่อีกครั้ง ที่ pH ประมาณ 4-6 ที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 720 BV. และ 350 BV. อีกครั้ง

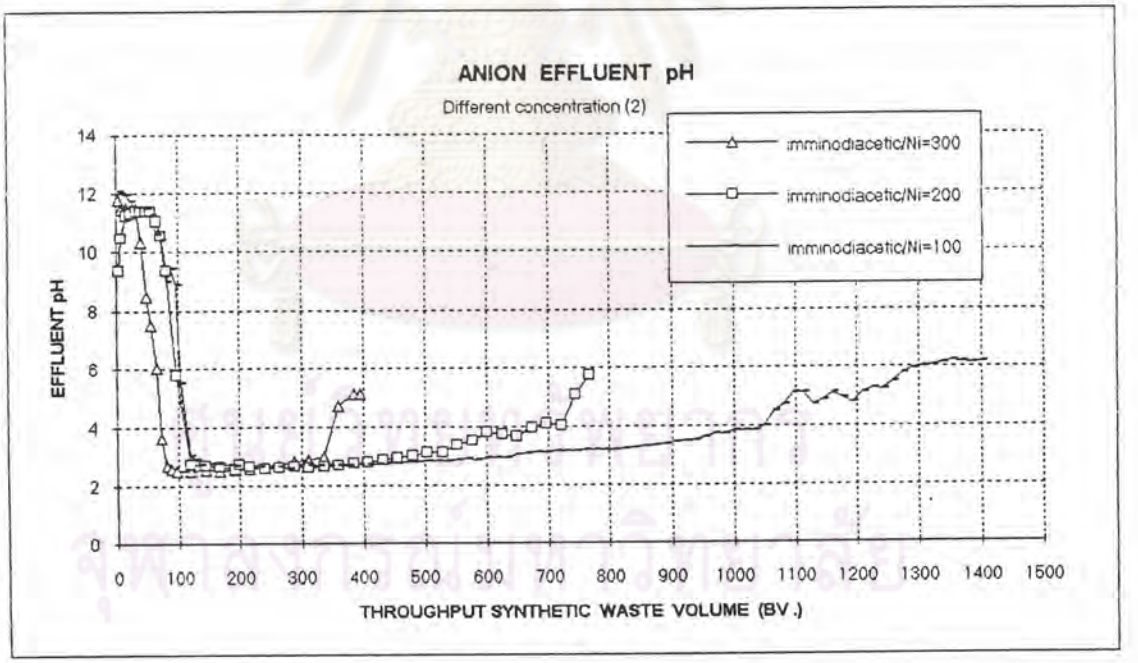
เมื่อเปรียบเทียบสภาวะของ pH กับสภาวะของเรซินพบว่าในช่วงที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทอิออน ค่า pH อยู่ในช่วง 2-3 และคงที่ สภาวะปกติที่แคทอิออนเรซินยังคงทำงานได้ เพราะเกิดจากการแลกประจะบวกระหว่างไฮโดรเจนอิออน และอิออนบวกในน้ำเสียซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ นิกเกิลอิออน ในช่วงเรซินใกล้หมดสภาพค่า pH จะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และคงที่อีกครั้งที่ pH ใกล้เคียงกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าถังแคทอิออน ส่วนค่า pH กับแอนอิออนเรซินในช่วงแรก ค่า pH จะคงที่และมีค่าค่อนข้างสูง เพราะแอนไอออนที่เป็น strong anion ทำงานที่สภาวะปกติจะให้ของเหลวที่ผ่านเรซินมีค่า pH ค่อนข้างสูง เพราะมีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกกับไฮดรอกไซด์อิออน จากนั้นเมื่อแอนอิออนเรซินเริ่มหมดสภาพ ค่า pH จะลดลงตามค่า pH ที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทอิออน และเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อแคทอิออนเรซินหมดสภาพ ค่า pH จะเปลี่ยน



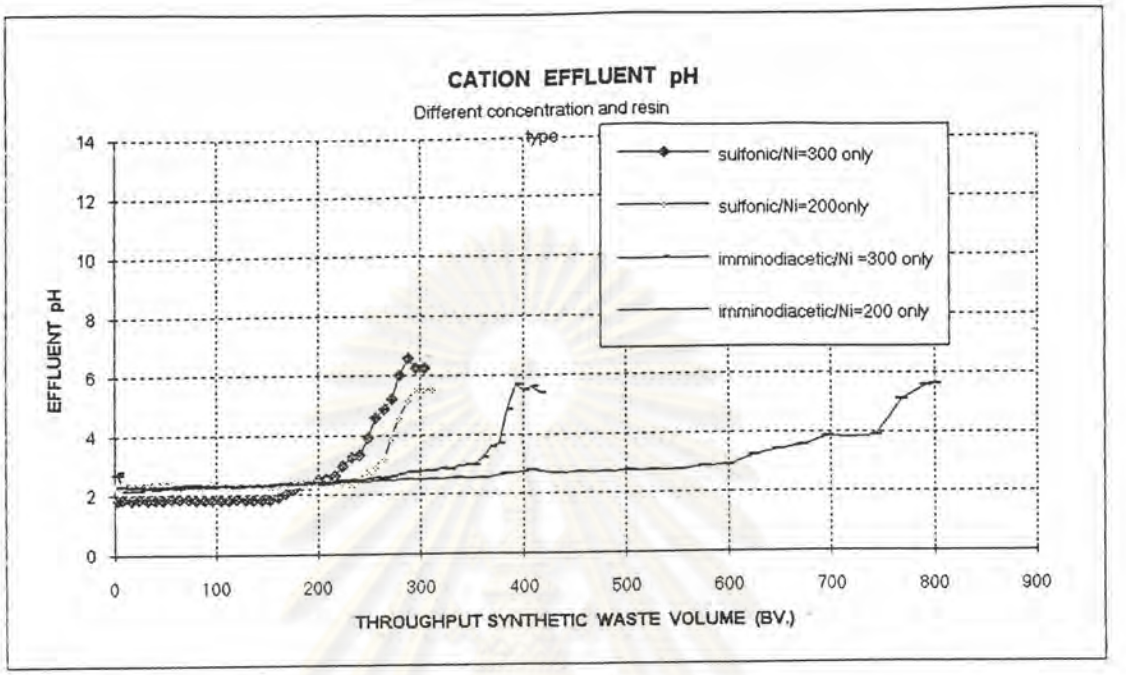


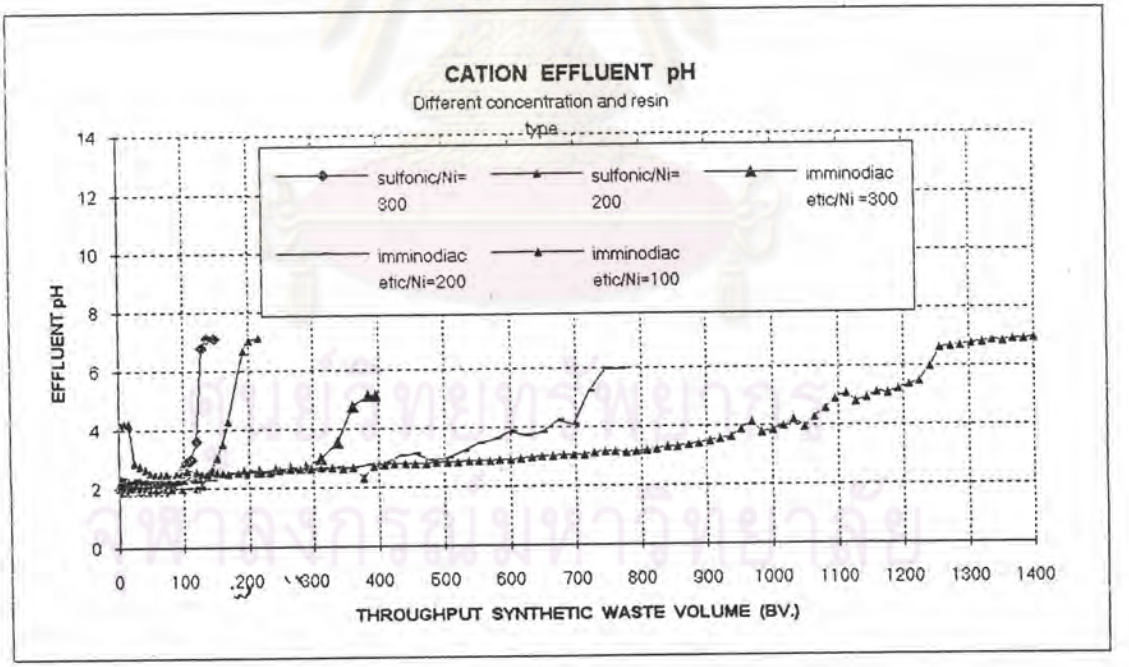
รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ



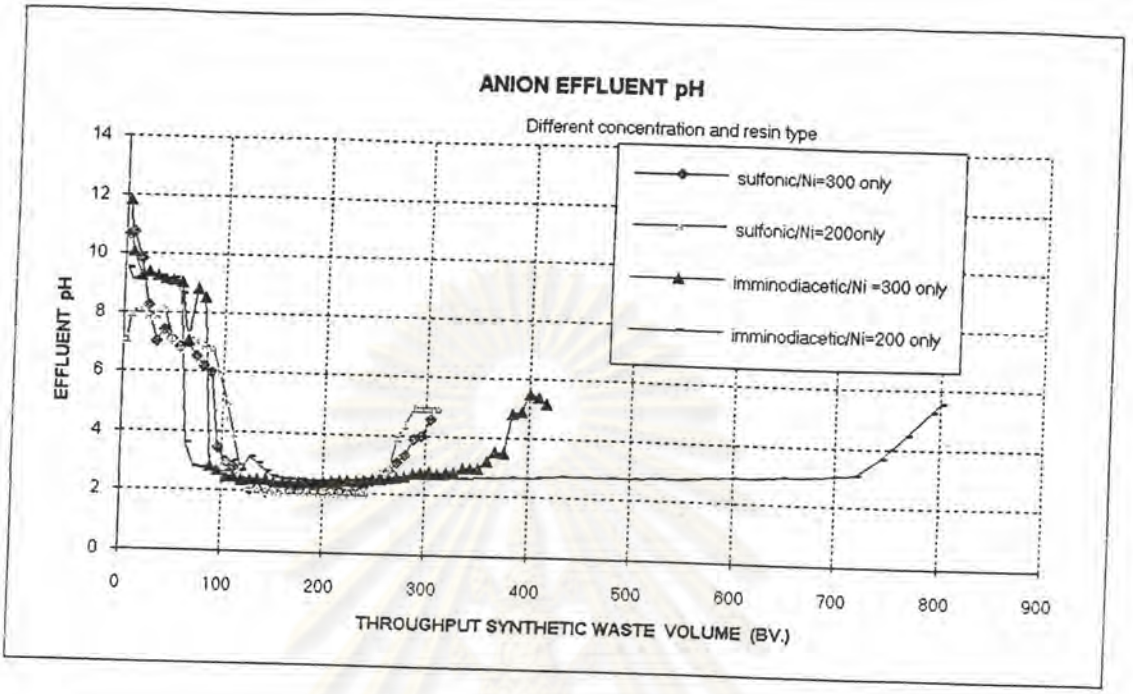


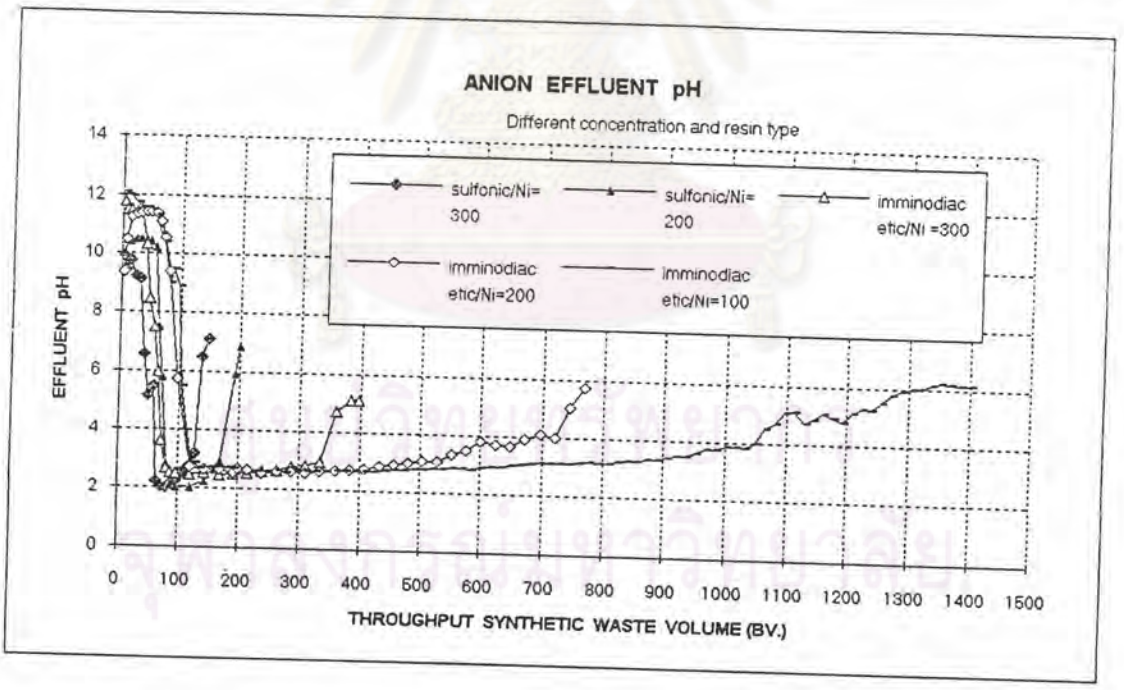
รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินหลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว





รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ





รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบค่าpH ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

แปลงสภาวะ ตามน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าถัง ดังนั้นอาจจะนำค่า pH ไปใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเรซินแคทไอออนชนิดธรรมดาและชนิดพิเศษได้

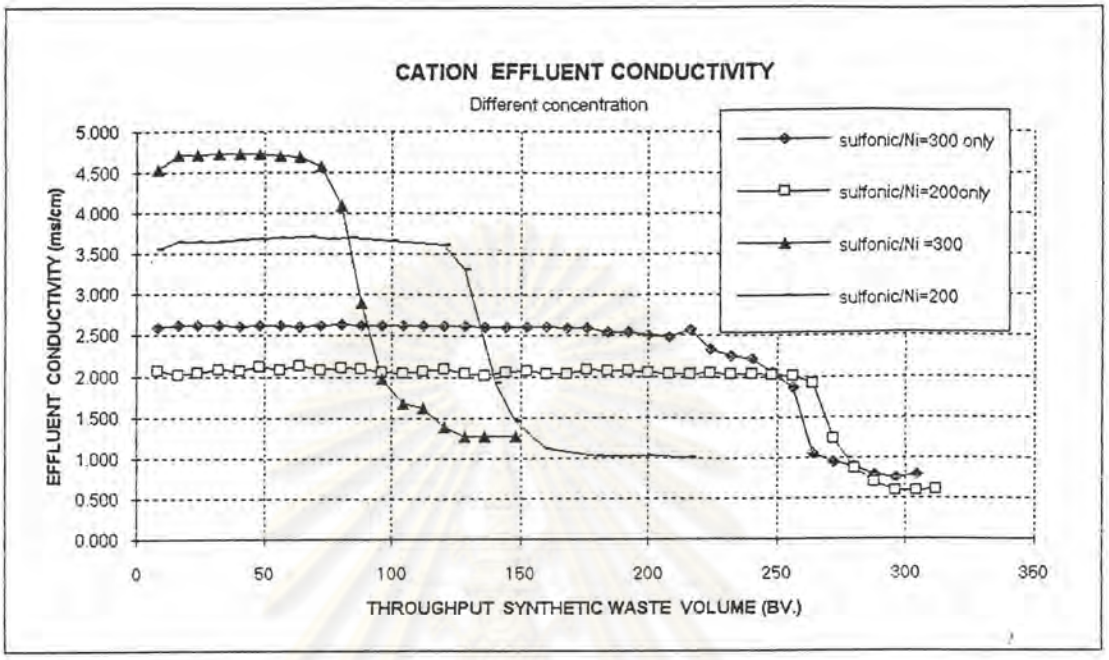
5.2.1.6 เปรียบเทียบค่าpH ของน้ำเสียสังเคราะห์ใดๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา กับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

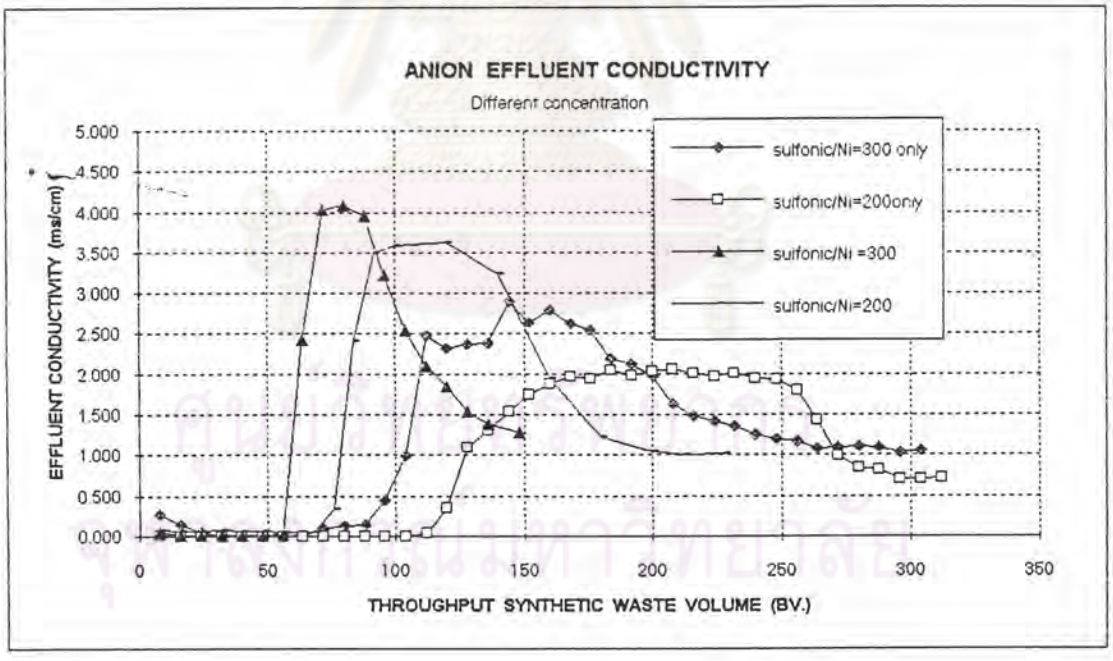
ดูจากกราฟรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะพบว่าที่น้ำเสียสังเคราะห์ใดๆ ไม่ว่าจะออกจากถังปฏิกรณ์แคทไอออนหรือแอนไอออน เมื่อผ่านเรซินชนิดพิเศษจะมีค่าpHที่แสดงว่าเรซินหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสียที่สูงกว่า เมื่อผ่านเรซินชนิดธรรมดา

5.2.1.7 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรดาและแอนไอออนสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

ค่าการนำไฟฟ้าจะใช้เป็นค่าวัดความบริสุทธิ์ของสารละลาย อย่างไม่ค่อยละเอียดกรณีที่สารละลายมีค่าความแข็งละลายหรือไอออนประจุต่าง ๆมาก หรือในสารละลายนั้นมีประจุที่ประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าได้สูง ซึ่งการวัดค่าการนำไฟฟ้าจะวัดได้สูงตาม ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณประจุไอออน หรือชนิดของประจุไอออนในสารละลาย ในการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ผ่านเรซินจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ การแลกเปลี่ยนไอออนต่างๆ ของสารละลายที่ผ่านเรซินได้

จากกราฟรูปที่ 5.16 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ จะสูงตามค่าความเข้มข้นของนิกเกิล และน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่า เพราะมีไอออนบวกชนิดอื่น เจือปนในน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง เมื่อนำมาผ่านน้ำเสียในถังปฏิกรณ์แคทไอออนธรรมดา แนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าในช่วงแรกจะคงที่ และมีค่าลดลงเมื่อเรซินใกล้หมดสภาพ สรุปจากกราฟรูปที่ 5.16 จะพบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านความเข้มข้นที่ 200 มก./ล.และ 300 มก./ล.ค่าการนำไฟฟ้าในช่วงแรกจะมีค่าคงที่ที่ประมาณ 2.0 มิลลิซิเมน/ซม. และ 2.50 มิลลิซิเมน/ซม. จนกระทั่งถังปริมาตรน้ำเสียที่ 250 BV. และ 220 Bv. ค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงและจะคงที่ที่ประมาณ 0.50 มิลลิซิเมน/ซม.และ 0.70 มิลลิซิเมน /ซม. ที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 280 BV.และ 260 BV. ตามลำดับ เว้นส่วนค่าการนำไฟฟ้าที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออนในช่วงแรกจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และคงที่เพราะมีการกำจัดประจุบวกและลบจนเกือบหมดสิ้น จากนั้นมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกและคงที่เป็นการตรวจสอบได้ว่าเรซินแอนไอออนหมดสภาพก่อนแคทไอออนเรซิน คือไม่สามารถจับประจุลบได้อีกค่าการนำไฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงค่าการนำไฟ้าที่ออกจากแคทไอออนเรซิน เว้นถึงช่วงสุดท้ายจะมีค่าลดลงและคงที่อีกทีตามค่าการนำไฟฟ้า





รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา และแอนไอออนเรซิน

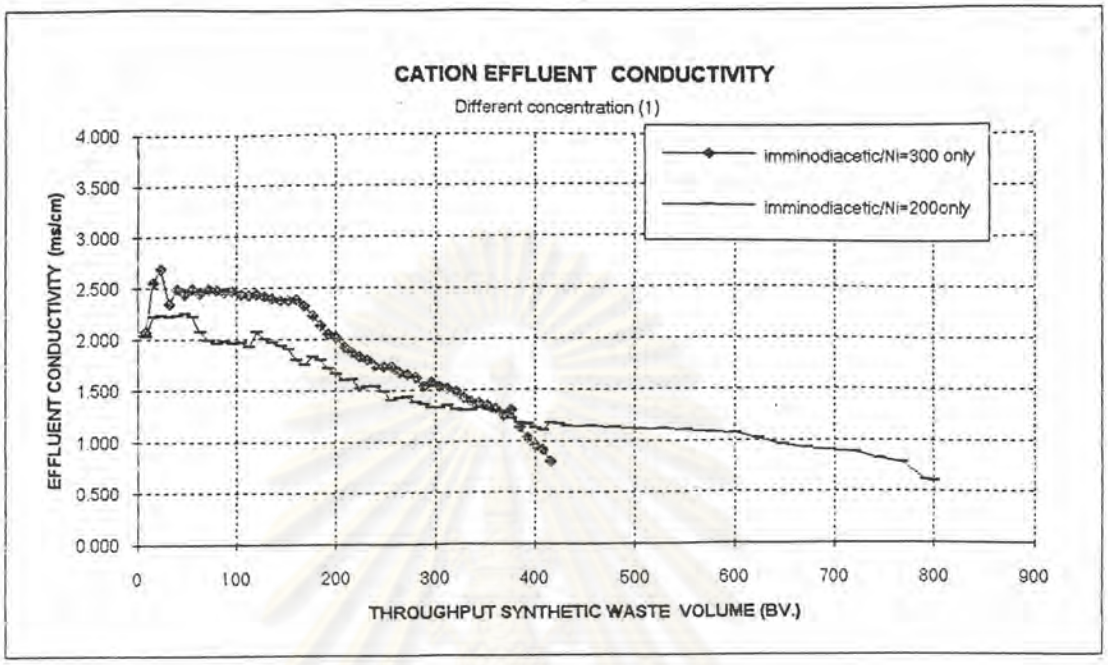
ที่ออกจากแคทไอออนเรซินคือที่ค่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลที่ 200 มก./ล.และ 300 มก./ล ค่าการนำไฟฟ้าในช่วงแรกจะมีค่าใกล้ศูนย์ และคงที่ตลอดจนถึงปริมาตรน้ำเสียที่ 120 BV.และ 100 BV.ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นและค่อนข้างจะคงที่อยู่ในช่วง 2.00 มิลลิซิเมน/ซม และ 2.50 มิลลิซิเมน/ซม. และจะลดลงอีกทีที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 260 BV.และ 200 BV.ตามลำดับ และจะคงที่อีกทีที่ค่าการนำไฟฟ้าที่ 0.70 มิลลิซิเมน /ซม. และ 1.00 มิลลิซิเมน/ซม.ที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 280 และ 250 BV. ตามลำดับ

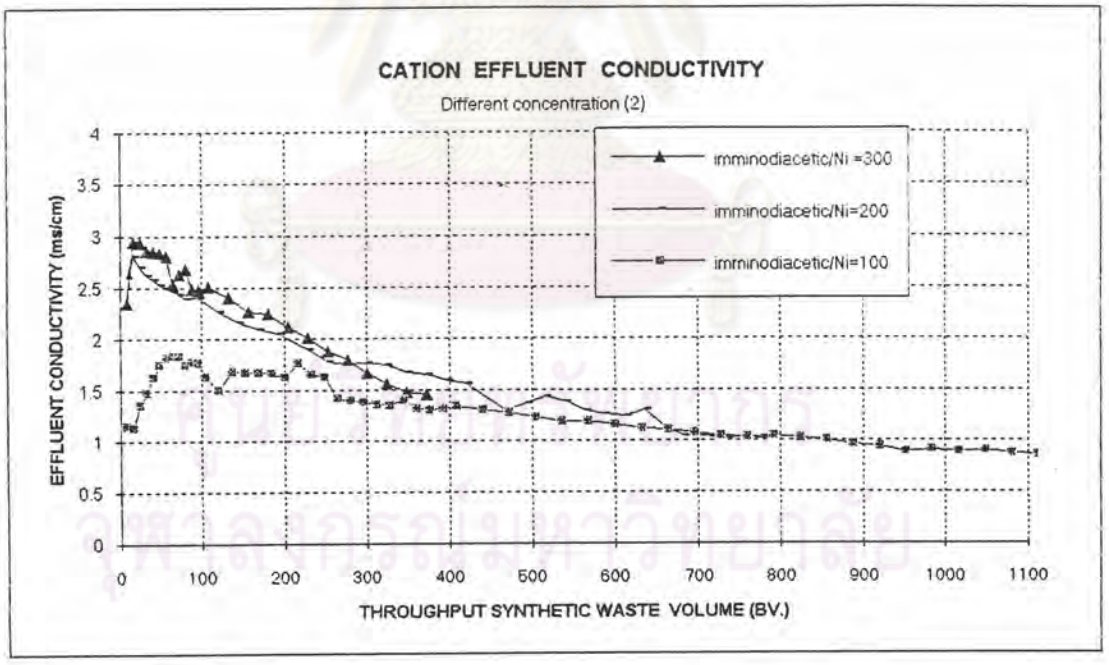
ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่แทนน้ำเสียจริง เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์แคทไอออน พบว่าที่ความเข้มข้นนิกเกิลที่ 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. พบว่าในช่วงแรกค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ค่อนข้างสูงที่ประมาณ 3.5 มิลลิซิเมน/ซม. และ 4.5 มิลลิซิเมน/ซม. จนกระทั่งถึงปริมาตรน้ำเสียที่ 125 BV.และ 75 BV. ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงและจะคงที่อีกครั้งที่ค่าประมาณ 1.00 มิลลิซิเมน/ซม.และ 1.20 มิลลิซิเมน/ซม.ที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 150 BV.และ 100 BV.ตามลำดับ เมื่อ ผ่านถังปฏิกรณ์แอนไอออน พบว่าค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าใกล้ 0 มิลลิซิเมน/ซม. และจะสูงขึ้นอีกทีที่ ปริมาตรน้ำเสียที่ 75 BV. และ 60 BV. ตามลำดับ จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ช่วงหนึ่ง และค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงและคงที่อีกครั้งเมื่อปริมาตรน้ำเสียประมาณ 175 BV. และ 140 BV. ที่ค่าการนำไฟฟ้า 1.2 มิลลิซิเมน/ซม. และ 1.4 มิลลิซิเมน/ซม. ตามลำดับ

5.2.1.8 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษและแอนไอออนสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

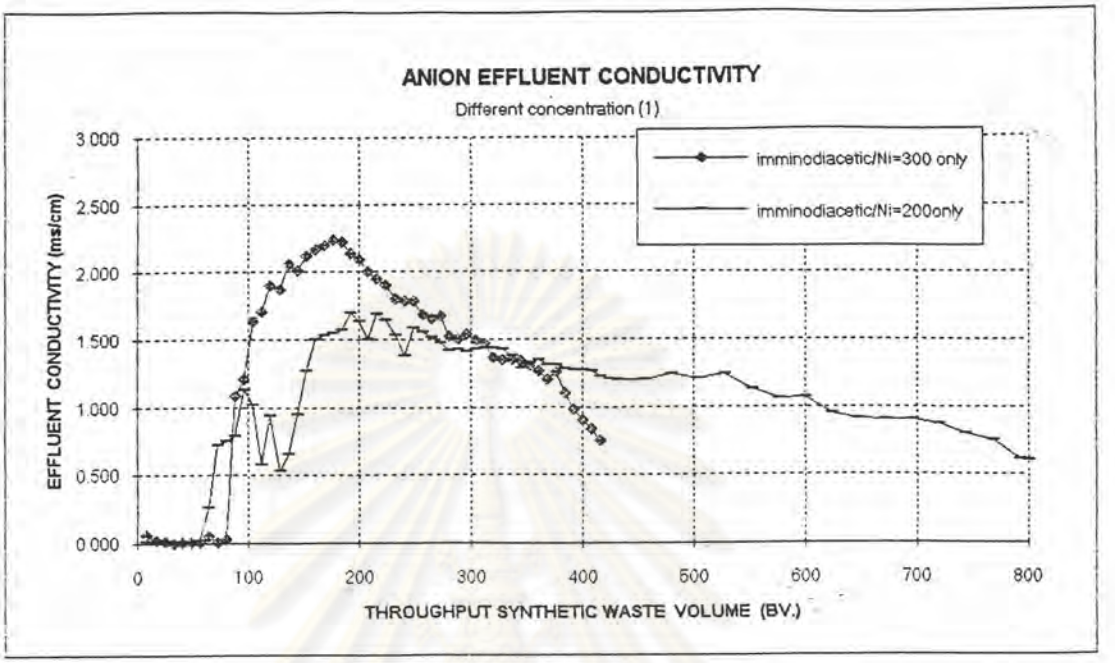
สรุปได้จากกราฟรูปที่ 5.17 และ 5.18 จะพบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียสังคราะห์ที่ค่าความเข้มข้นที่ 200 มก./ล.และ 300 มก./ล.สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิล พบว่ากราฟจะมีแนวโน้มลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอบางช่วงจะลดลงทีละน้อย ส่วนค่าการนำไฟฟ้าที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออน พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. ในช่วงแรกจะมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับ 0.01-0.1 มิลลิซิเมน /ซม. ถึงปริมาตรน้ำเสียที่ 50 BV. แล้วค่าการนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าที่ประมาณ 1.6-1.7 มิลลิซิเมน/ซม. และ 2.2-2.3 มิลลิซิเมน/ซม.ที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 50 BV. และ 45 BV. ตามลำดับ

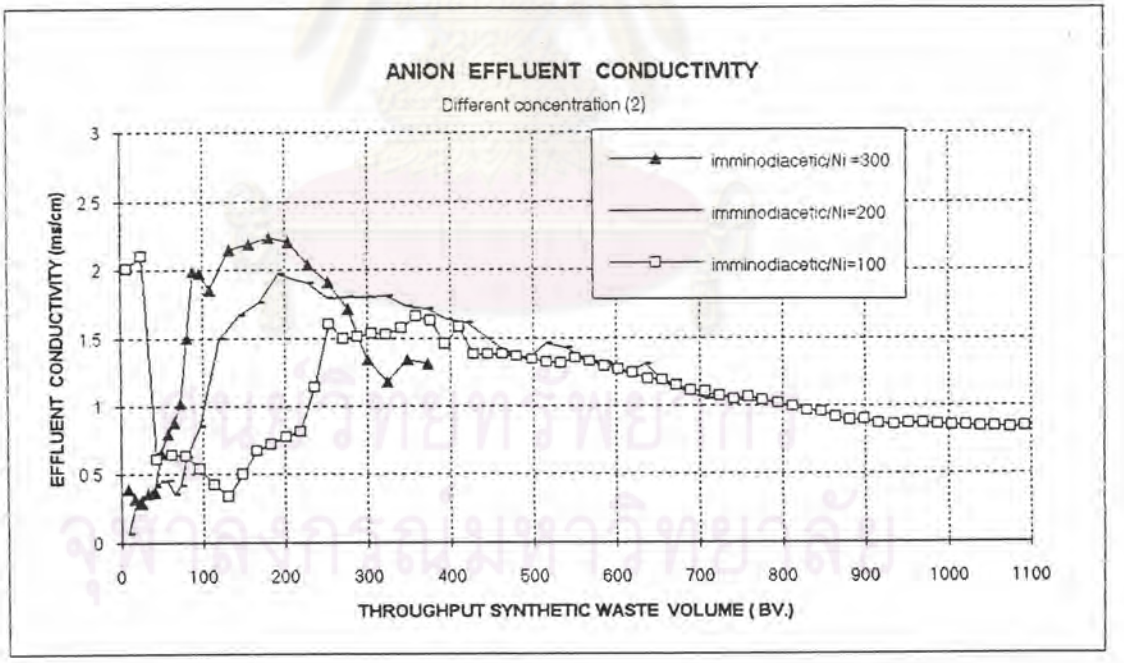
ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์แคทอิออนพบว่าที่ความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. พบว่า กราฟจะมีแนวโน้มลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอ จนถึงค่าคงที่ซึ่งที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 1 มิลลิซิเมน และ 1.5 มิลลิซิเมน ที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 0.50 BV. และ 350 BV. ตามลำดับ เท่ากับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์





รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ





รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว

ในช่วงแรกก่อนเข้าถังแคทอิออน ส่วนค่าการนำไฟฟ้าที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออน พบว่าที่ความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก./ล. ค่าการนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วปานกลาง จนถึงระดับค่าการนำไฟฟ้าที่ประมาณ 1.90 มิลลิซิเมน/ซม.ที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 200 BV.ค่าการนำไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลงทีละเล็กละน้อยจนถึงค่าเกือบจะคงที่ที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 650 BV.ส่วนที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. ในช่วงแรกค่าการนำไฟฟ้าจะคงที่ที่ระดับ 0.3-0.5 มิลลิซิเมนที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 50 BV. จากนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นที่ปริมาตรน้ำเสีย ประมาณ 180 BV. จากนั้นจะค่อย ลดลงอย่างช้าๆ และค่าการนำไฟฟ้าจะคงที่อีกครั้งที่ค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 1.5-1.8 มิลลิซิเมน ที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 320 BV.

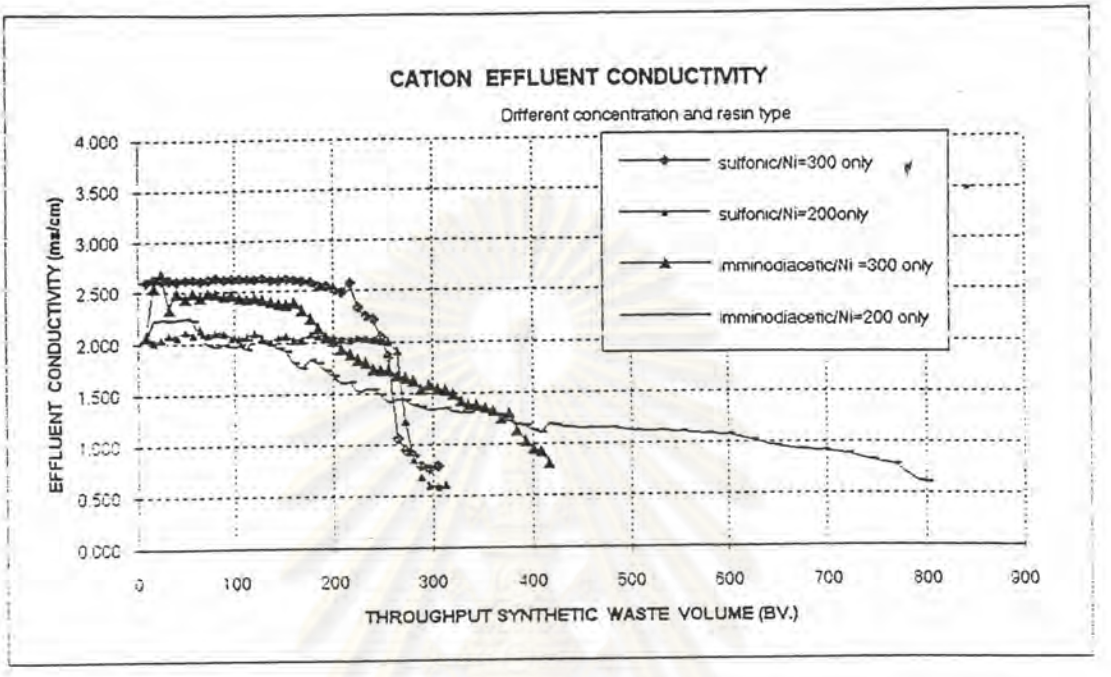
5.2.1.9 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา กับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

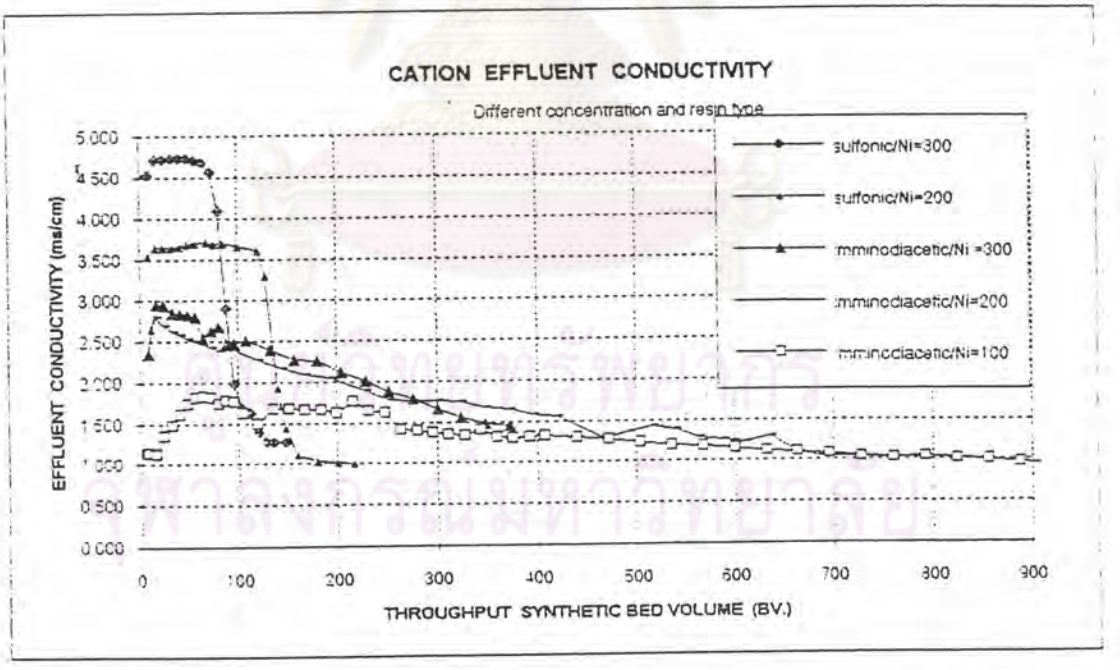
จากกราฟรูปที่ 5.19 และ 5.20 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใดๆ ที่ค่าความเข้มข้นนิกเกิลเท่ากันที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาในช่วงปริมาตรน้ำเสียช่วงแรก ค่าการนำไฟฟ้าจะสูงกว่าที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ แสดงถึงแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา(ชนิดกรดแก่) จะมีการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออนกับไฮโดรเจนไอออนในเรซินเป็นปริมาณที่มากกว่าแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ ไฮโดรเจนไอออนจะเป็นตัวที่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่า ในช่วงปริมาตรน้ำเสียต่อมาค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่เร็วเท่าที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาจนถึงระดับการนำไฟฟ้าก่อนเข้าถังปฏิกิริยาแคทไอออนเรซิน แสดงถึงการแลกเปลี่ยนปริมาณไฮโดรเจนไอออนของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ กับเรซินชนิดพิเศษจะเป็นไปอย่างน้อย จนไม่สามารถแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออนกับเรซินได้

เมื่อเปรียบเทียบ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะนิกเกิล กับน้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง ค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละช่วงปริมาตรน้ำเสียที่ผ่านเรซินทั้ง 2 ชนิด จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง แสดงว่า ไอออนบวกของไอออนชนิดอื่นจะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออนด้วย

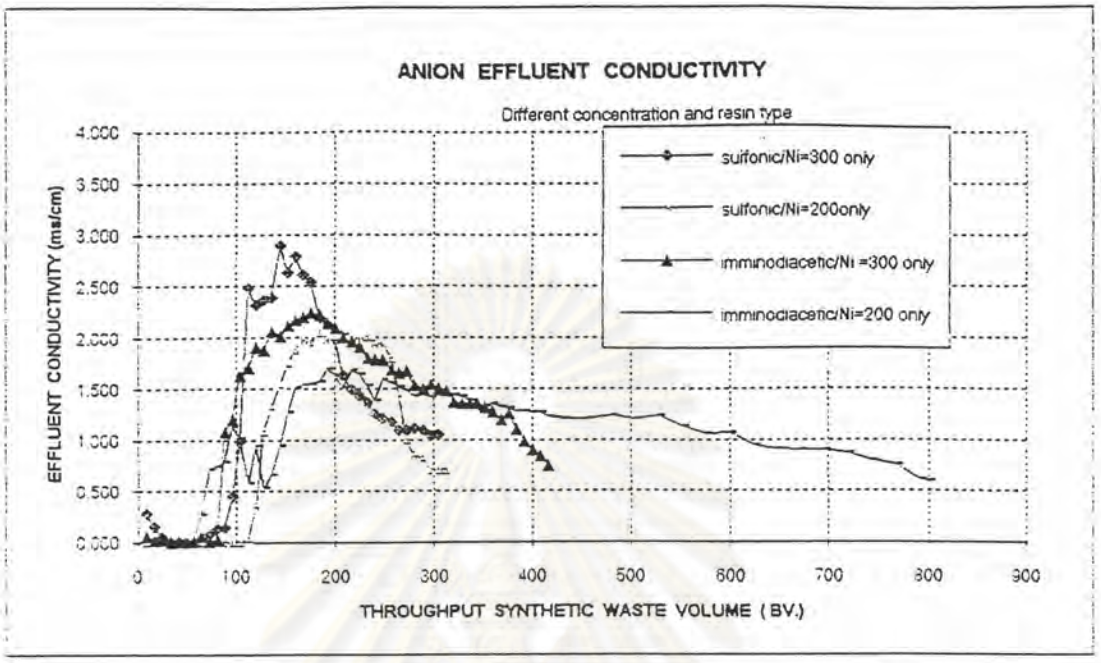
5.2.1.10 เปรียบเทียบค่าของแข็งละลายที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา และ แอนไอออนสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

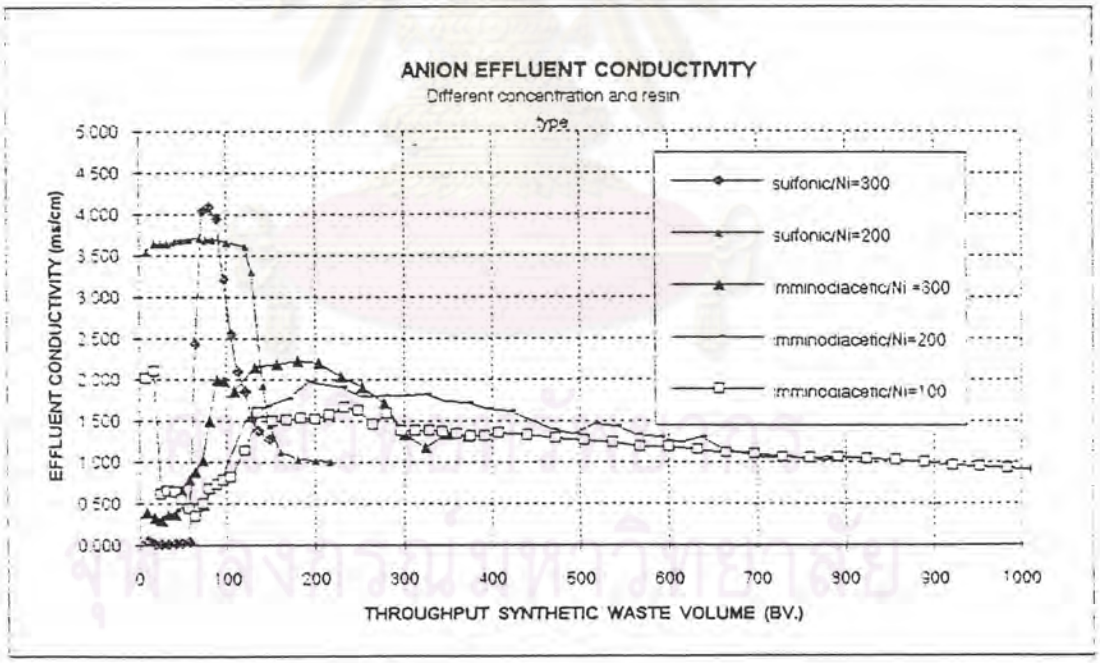
ค่าของแข็งละลาย ดูจากกราฟรูปที่ 5.21 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลเพียงเดียวและน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เป็นตัวแทนน้ำเสียจริงที่ค่าความเข้มข้นโลหะนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. แนวโน้มของค่าของแข็งละลายที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทอิออน และ



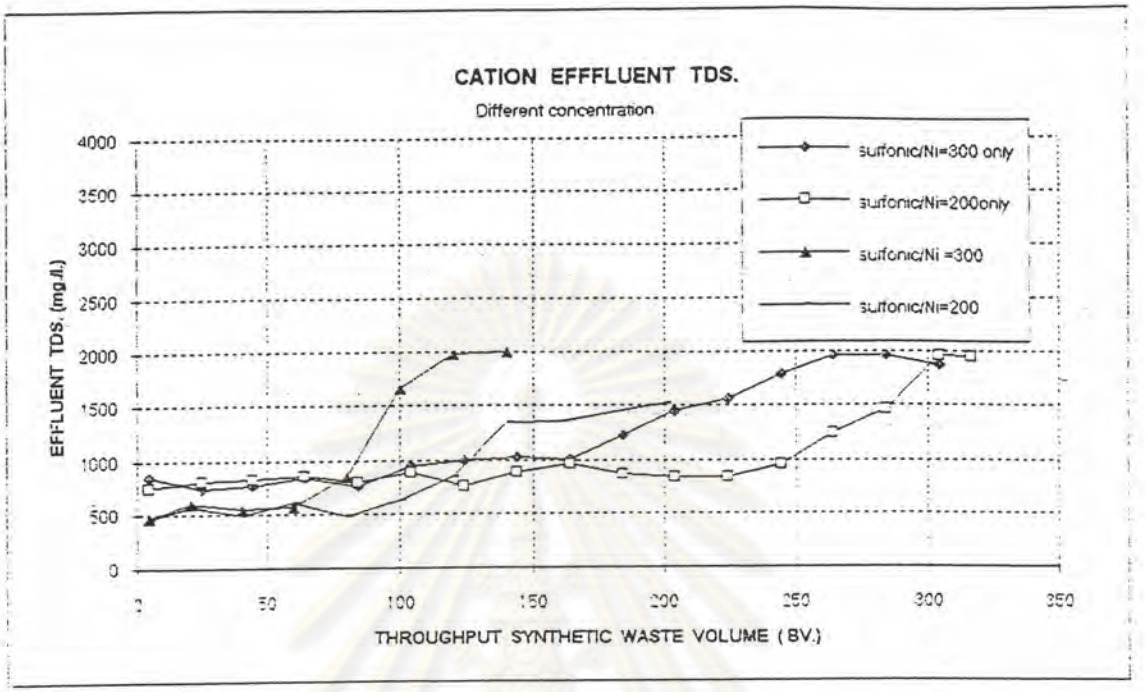


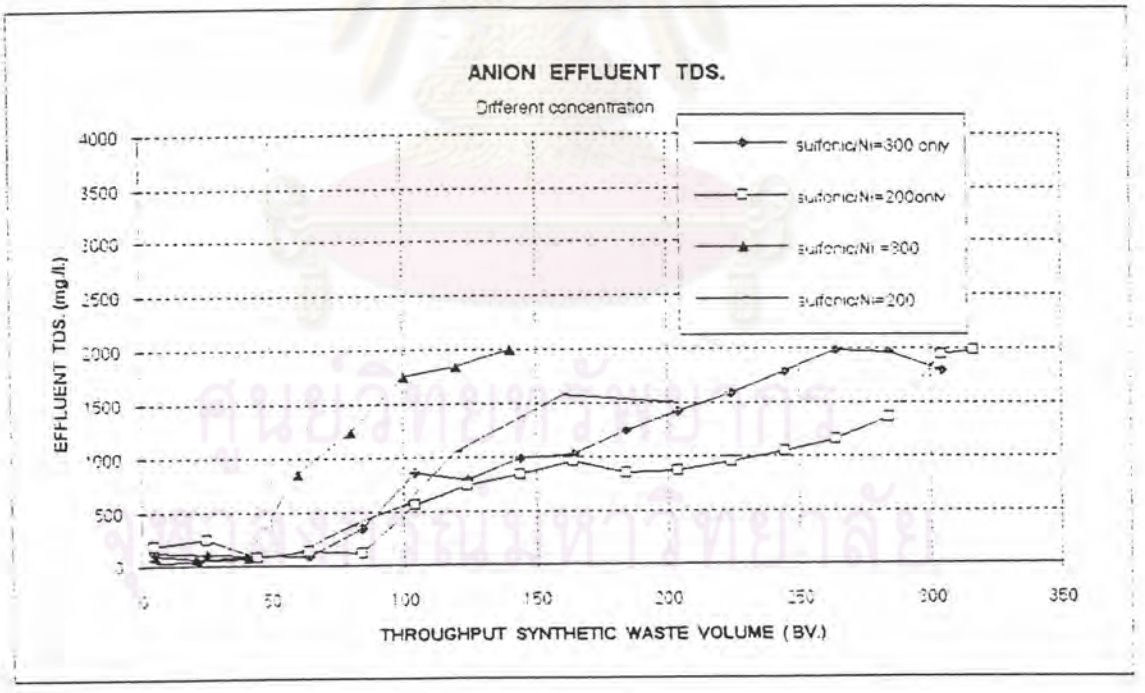
รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่าน แคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา กับแคทไอออนเรซิน





รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ



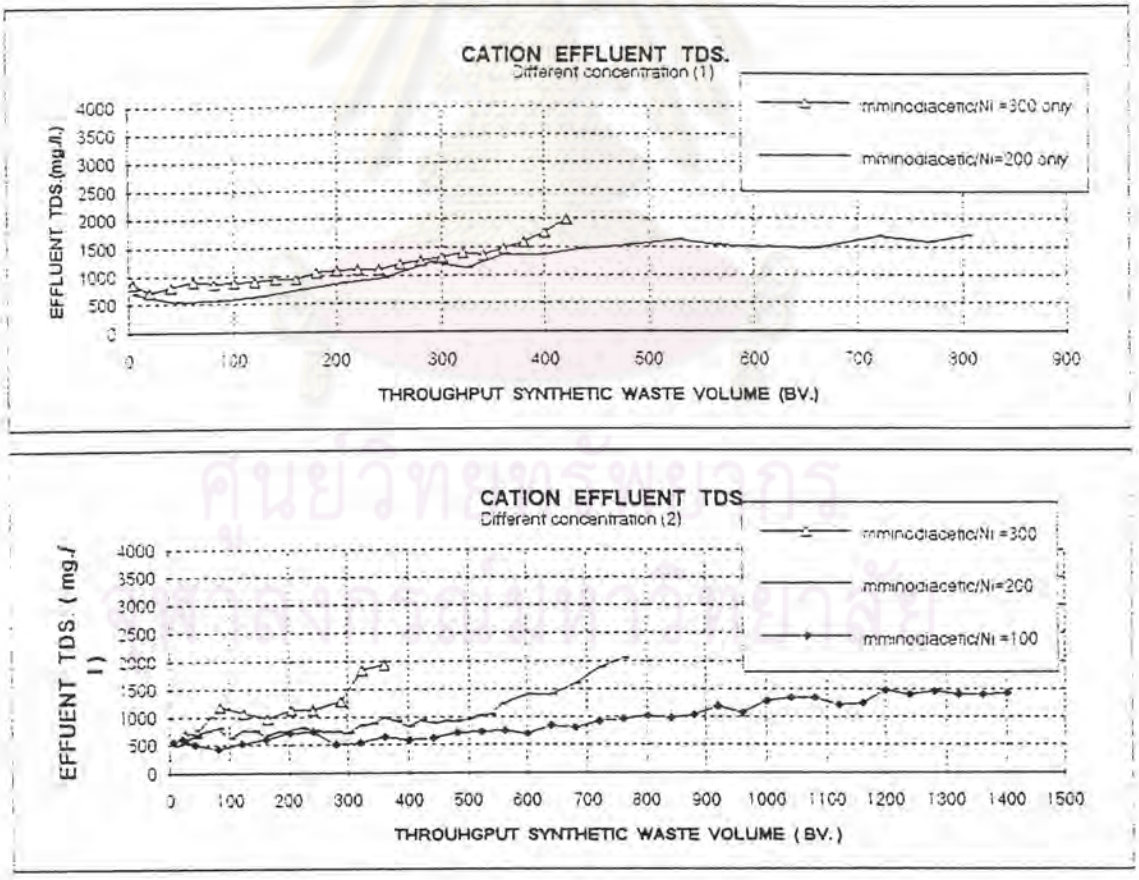


รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลาย ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา และแอนไอออนเรซิน

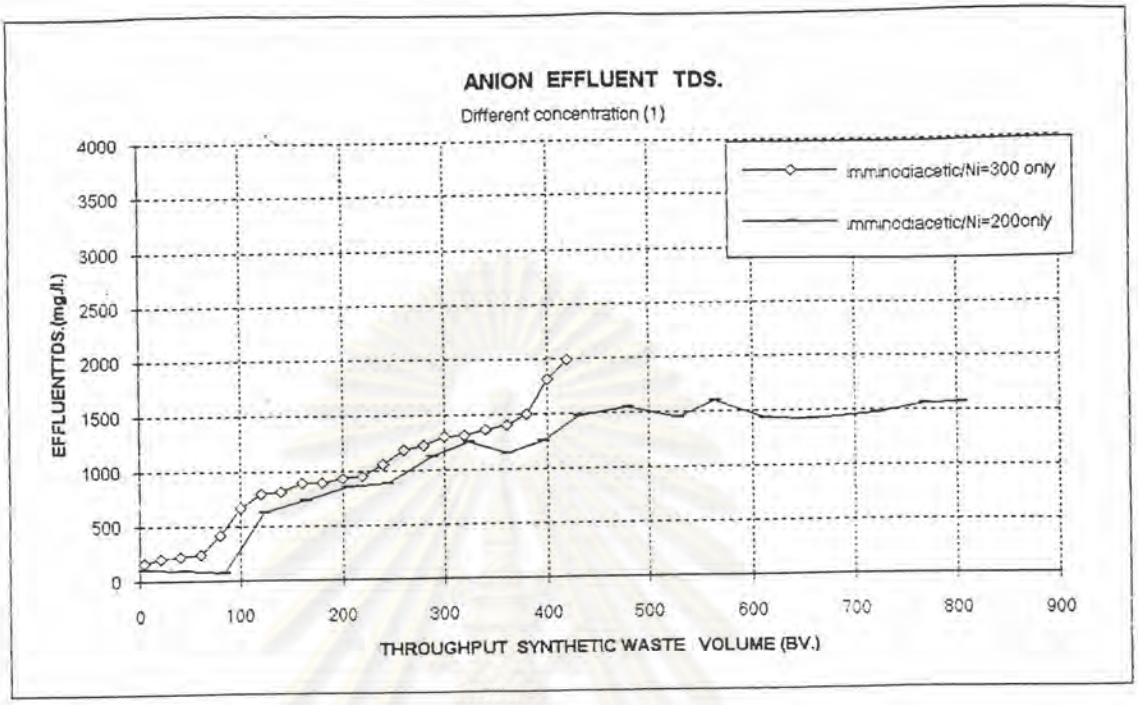
แอนอิออน จะมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยจะมีค่าของแข็งละลายคงที่ในช่วงแรกที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทอิออนและ จะมีค่าของแข็งละลายสูงกว่าที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนอิออนสำหรับน้ำเสียทั้งสองชนิด โดยสรุป ค่าของแข็งละลายมีแนวโน้มสูง และคงที่อีกครั้งซึ่งค่าคงที่นี้จะมีค่าเท่ากันสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด

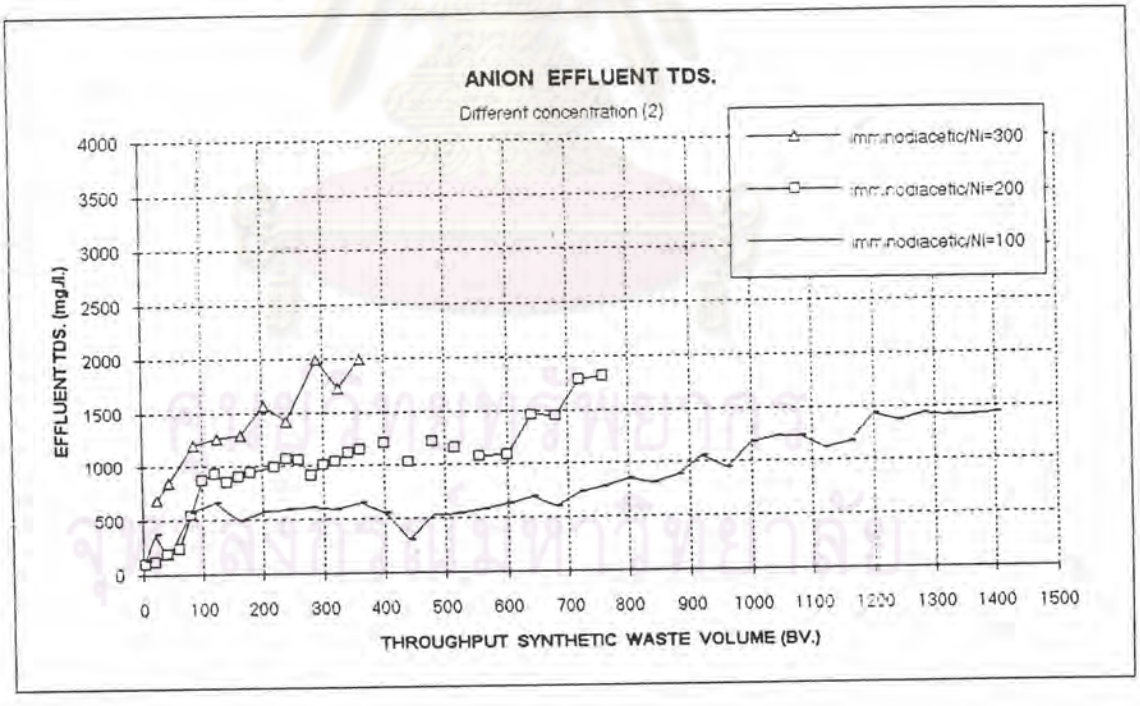
5.2.1.11 เปรียบเทียบค่าของแข็งละลายที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ และ แอนไอออน สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

ค่าของแข็งที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทอิออนชนิดพิเศษ และแอนไอออนดูจากกราฟรูปที่ 5.22 และ 5.23 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าโลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว และน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นตัวแทนน้ำเสียจริง ที่ค่าความเข้มข้นโลหะนิกเกิล 200 มก./ล. และ 300 มก./ล. จะมีลักษณะคล้ายกับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ออกจากถังปฏิกรณ์แคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา คือจะมีค่าเกือบคงที่ในช่วงแรก และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าของแข็งละลายคงที่อีกครั้ง

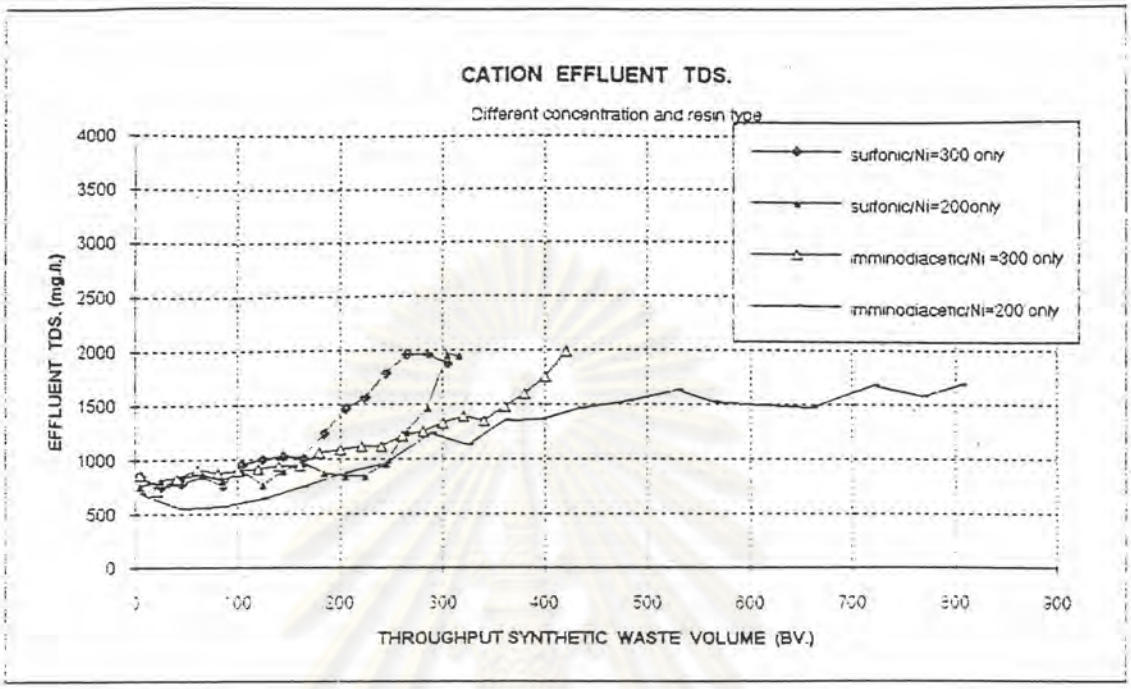


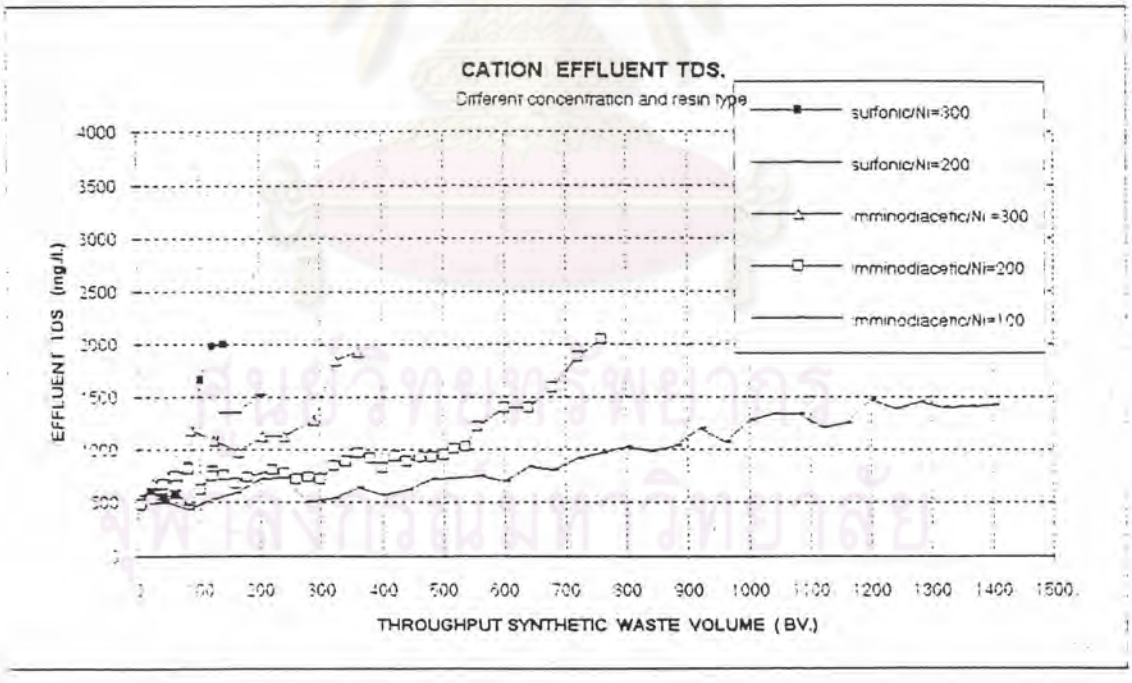
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบค่าของแข็งละลายของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ



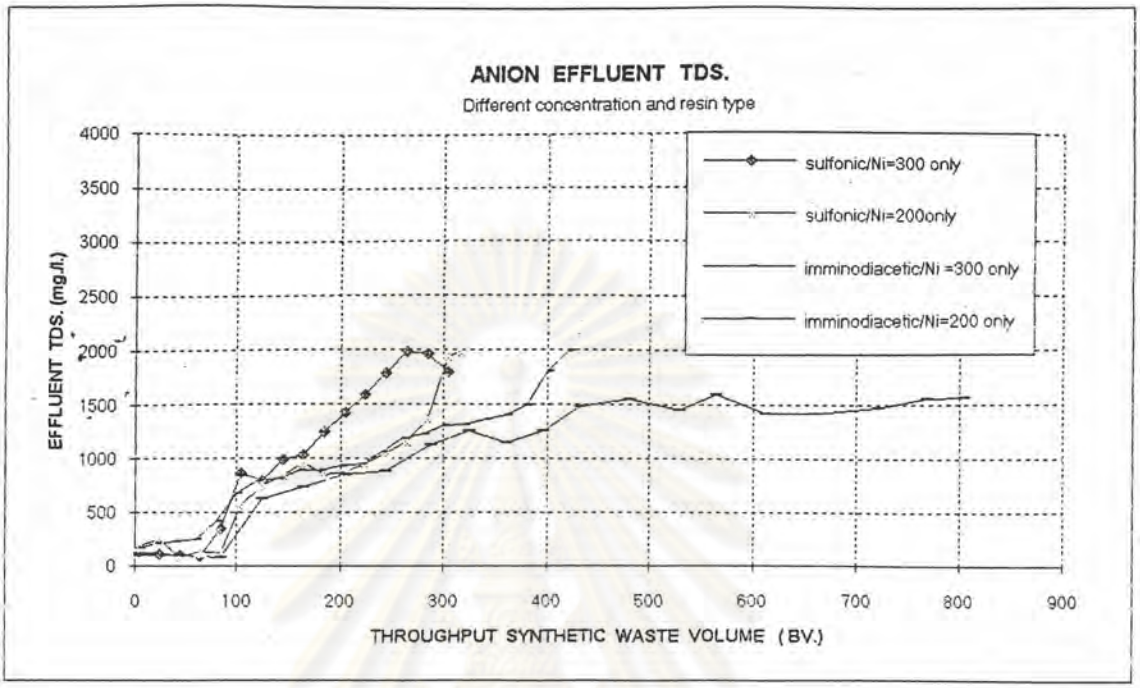


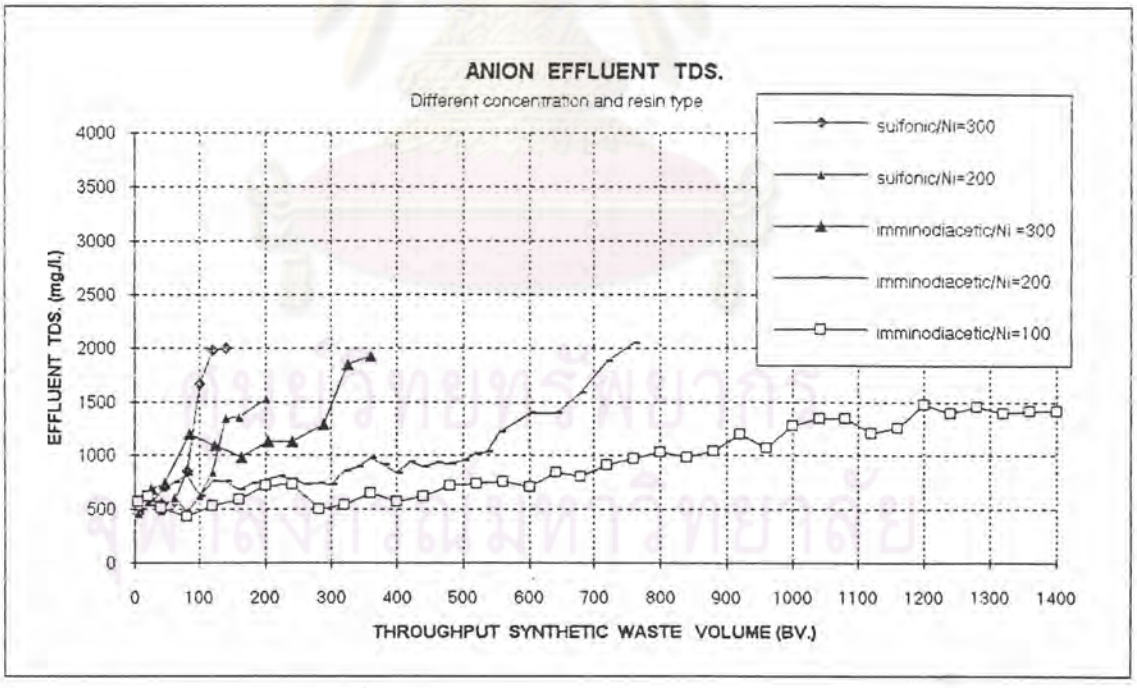
รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลายของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซินหลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว





รูปที่ 5.24 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลาย ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ





รูปที่ 5.25 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลาย ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

5.2.2 ขั้นตอนการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่

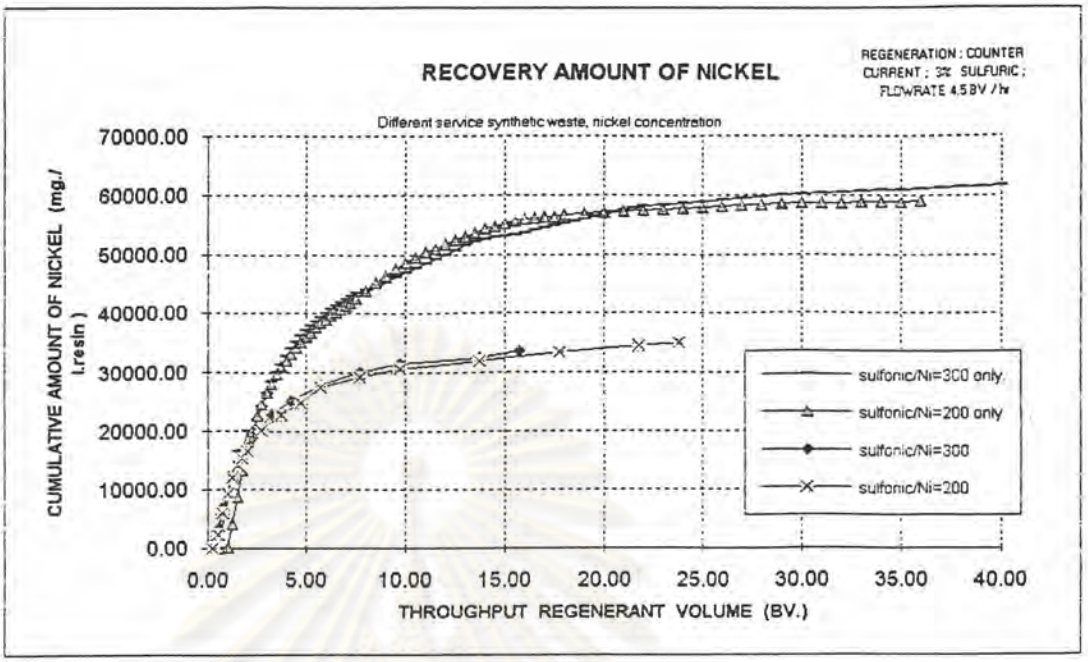
ทำการทดลองโดยการล้างด้วยกรดซัลฟูริค ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก ที่อัตราการไหลผ่าน 4.5 BV/hr แล้ววัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำล้างที่ผ่านชั้นเรซิน ที่ปริมาตรน้ำล้างใด ๆ กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ค่าความเข้มข้นของนิกเกิล, ปริมาณนิกเกิล, ค่าความเป็นกรด และค่า pH ของสารที่ใช้ล้างเรซิน

5.2.2.1 เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลจากการล้างแคทอิออนเรซินชนิดธรรมดาที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ

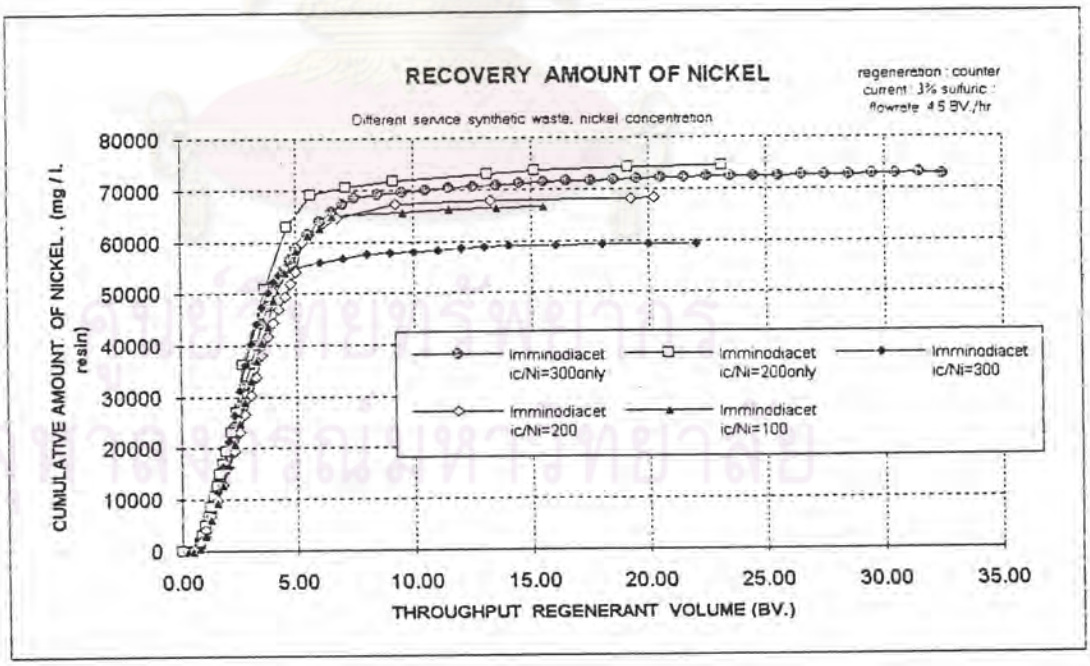
ดูกราฟรูปที่ 5.26 สำหรับค่าเรซินที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียวหลังจากการล้าง พบว่าปริมาณโลหะนิกเกิลจะมีปริมาณใกล้เคียงกันสำหรับการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี โลหะนิกเกิลเข้มข้น 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. พบว่าเมื่อล้างด้วยกรดปริมาตร 20 BV. หรือ 40 ลิตร ผ่านไปปริมาณโลหะนิกเกิลวัดได้ประมาณ 55,000 มก.ต่อลิตรเรซิน และหลังจากนั้นล้างปริมาณโลหะนิกเกิลออกจากเรซินจะต่ำมาก เมื่อเทียบกับประมาณกรดที่ใช้ไป และที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. จะใช้ปริมาณกรดที่ล้างนิกเกิลออกน้อยกว่าที่ความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก./ล. คือที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. ล้างได้ปริมาณนิกเกิลประมาณ 60,000 มก.ต่อเรซินที่ปริมาตร 30 BV. และที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. ล้างได้ปริมาณนิกเกิลประมาณ 58,000 มก.ต่อลิตรเรซินที่ปริมาตร 30 BV. เช่นกัน

สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงหลังจากการล้างพบว่า ปริมาณโลหะนิกเกิลจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน สำหรับการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงโลหะนิกเกิลเข้มข้น 300 มก./ล.และ 200 มก./ล. พบว่าเมื่อล้างด้วยกรดปริมาตร 10 BV. ปริมาณโลหะนิกเกิลวัดได้ประมาณ 30,000 มก.ต่อลิตรเรซิน หลังจากนั้นการล้างปริมาณโลหะนิกเกิลออกจากเรซินจะต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิล ที่ปริมาตรน้ำล้างที่ 20 BV. พบว่าปริมาณโลหะนิกเกิลต่ำกว่ามากโดยมีปริมาณเพียง 34,000 มก.ต่อลิตรเรซิน

ข้อแตกต่างระหว่างการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสีย 2 ชนิดคือน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงจะถูกแลกเปลี่ยนปริมาณโลหะนิกเกิลโดยเรซินธรรมดาได้น้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิล



รูปที่ 5.26 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา



รูปที่ 5.27 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

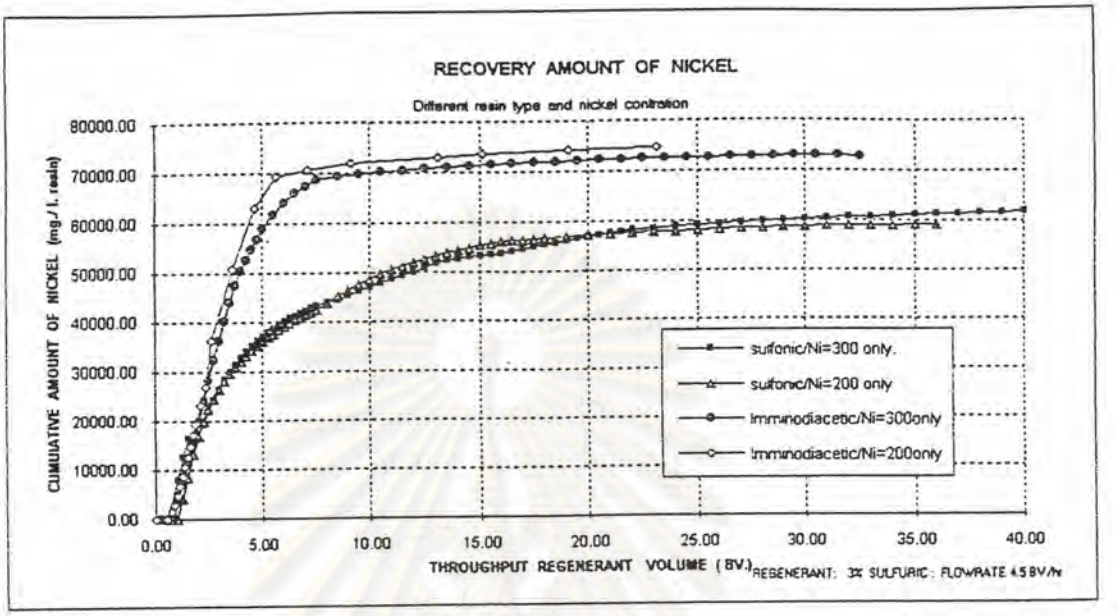
5.2.2.2 เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลจากการล้างแคทอิออนเรซินชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ

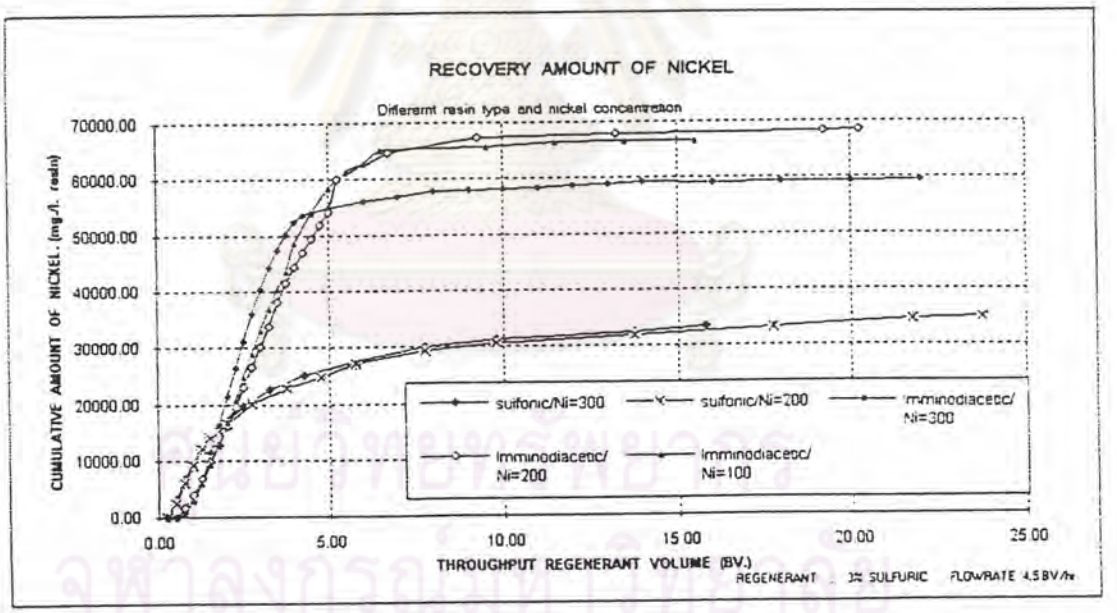
ดูจากกราฟ รูปที่ 5.27 หลังจากการล้างด้วยกรด ที่ปริมาตรต่าง ๆ สำหรับการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ มีเฉพาะโลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว ที่ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. พบว่ามีปริมาณโลหะนิกเกิลใกล้เคียงกันที่ทั้งสองความเข้มข้นโดยวัดที่ปริมาตรกรดที่ล้าง 10 Bv. จะพบปริมาณนิกเกิลประมาณ 70,000 มก.ต่อลิตรเรซิน และ 72,000 มก.ต่อลิตรเรซินตามลำดับ เป็นปริมาณแตกต่างกันประมาณ 2,000 มก.ต่อลิตรเรซิน ตลอดทุกปริมาตรกรดที่ล้างหลังจาก 10Bv.ไปแล้ว ปริมาณโลหะนิกเกิลที่ล้างออกจากเรซินจะต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้ไป สำหรับการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงที่มีโลหะนิกเกิลเข้มข้น 300 มก./ลิตรเมื่อล้างด้วยกรดแล้วปริมาณโลหะนิกเกิลจะต่ำกว่าการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลที่ 200 มก./ล. และ 100 มก./ล. คือ ที่ 300 มก./ล. จุดยุติของการล้างปริมาณโลหะนิกเกิลได้อย่างสูงอยู่ประมาณที่ 4-5 BV. ส่วนที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. จุดยุติของการล้างประมาณโลหะนิกเกิลได้อย่างสูงอยู่ประมาณที่ 6-7 BV. และหลังจากปริมาตรกรดที่ล้างที่ตำแหน่งนั้นทั้ง3ความเข้มข้นปริมาณโลหะนิกเกิลจะถูกล้างออกได้น้อย เมื่อเทียบกับปริมาตรกรดที่ใช้ไป และที่ปริมาตรกรดที่ล้างที่ 10 BV. จะวัดค่า ปริมาณโลหะนิกเกิลได้ 58,000 มก.ต่อเรซิน ที่ความเข้มข้นการแลกเปลี่ยนนิกเกิล 300 มก./ล. วัดค่าปริมาณโลหะนิกเกิลได้ 68,000 และ 65,000 มก.ต่อลิตรเรซิน ที่ความเข้มข้นการแลกเปลี่ยนนิกเกิลที่ 200 มก./ล. และ 100 มก./ล. ซึ่งพบว่าปริมาณโลหะนิกเกิลที่การแลกเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. หลังจากการล้างด้วยกรด แล้วจะให้ปริมาณโลหะนิกเกิต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. และ 100 มก./ล. ประมาณ 10,000 มก.ต่อลิตรเรซิน

เมื่อเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ แทนน้ำเสียจริง และน้ำเสียสังเคราะห์ เฉพาะที่มีโลหะนิกเกิล ณ พบว่าปริมาณนิกเกิลที่ถูกล้างออกด้วยปริมาตรกรดที่จุดอิ่มตัวของการล้างเท่า ๆ กันแล้ว น้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะที่มีโลหะนิกเกิลหลังจากล้างแล้วจะมีปริมาณนิกเกิลสูงกว่าน้ำเสียสังเคราะห์พบว่ามีน้ำเสียจริงอยู่ประมาณ 5,000 มก.ต่อลิตรเรซิน

5.2.2.3 เปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลจากการล้างที่ปริมาตรการล้างกรดใดๆ โดยการแลกเปลี่ยนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆและเรซินชนิดต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 5.28 เปรียบเทียบโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลค่า

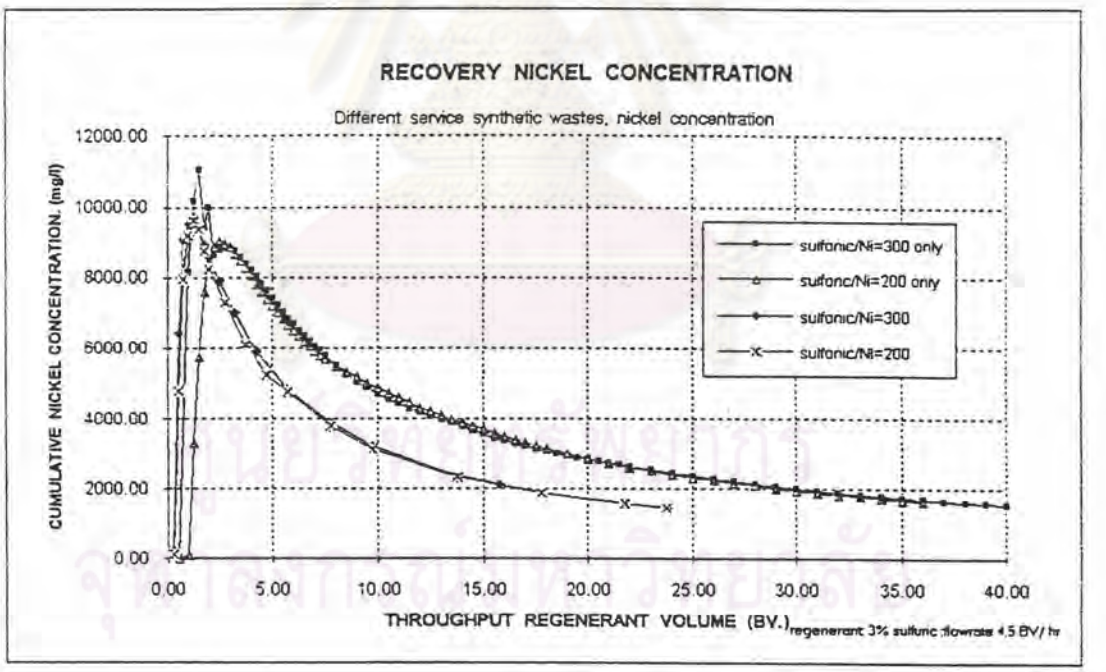




รูปที่ 5.28 กราฟเปรียบเทียบนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา กับชนิดพิเศษ ที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ

ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. จากลักษณะของกราฟปริมาณนิกเกิลที่ถูกล้างด้วยกรดของเรซินชนิดพิเศษจะมีค่าสูงกว่าเรซินชนิดธรรมดา ที่จุดอิ่มตัวของการล้างด้วยกรดปริมาตรที่ 20 BV. สำหรับเรซินชนิดพิเศษ ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณนิกเกิลประมาณ 72,000 มก. ต่อลิตรเรซิน สำหรับแคทอิออนเรซินชนิดธรรมดาจะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณนิกเกิลประมาณ 57,000 มก.ต่อลิตรเรซิน ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 15,000 มก.ต่อลิตรเรซิน

จากกราฟรูปที่ 5.28 เปรียบเทียบโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง ค่าความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. ปริมาณนิกเกิลที่ถูกล้างออกมานั้นในเรซินพิเศษได้ค่าสูงกว่า เช่นที่จุดอิ่มตัวของการล้างด้วยกรด ปริมาตรที่ 10 BV. สำหรับเรซินชนิดพิเศษได้ค่าเฉลี่ยปริมาณนิกเกิลประมาณ 62,000 มก.ต่อลิตรเรซิน สำหรับแคทอิออนเรซินชนิดธรรมดาจะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณนิกเกิลประมาณ 30,000 มก.ต่อลิตรเรซิน



รูปที่ 5.29 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา

5.2.2.4 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ปริมาตรการล้างกรดใด ๆ ของแคทไอออนชนิดธรรมดา

จากผลการทดลองทำการ เปรียบเทียบความเข้มข้นรวมสูงสุดที่เรซินชนิดธรรมดาสามารถออกได้สูงสุดที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ และคิดเป็นปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกมาได้เพื่อนำกลับไปใช้ในถังชุบ คิดเป็นประสิทธิภาพในการการนำนิกเกิลกลับเมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไป

จากกราฟรูปที่ 5.29 สำหรับการแลกเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. ส่วนใหญ่จะมีค่าความเข้มข้นรวมของโลหะนิกเกิลต่ำกว่า การล้างด้วยกรดเมื่อแลกเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์ แทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นโลหะนิกเกิล 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. ค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดของการแลกเปลี่ยนความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. ของน้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะที่มีโลหะนิกเกิลอยู่ 11,032 มก./ล. และ 9,049 มก./ล. ที่ปริมาตรกรดที่ 1.5 BV. และ 2.5 BV. ตามลำดับ ดูจากตารางที่ 5.6 ปริมาณนิกเกิลที่นำกลับมาใช้ที่ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 16,548 และ 22,622 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้เมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไปเท่ากับ 60.5 % และ 49.3 % ส่วนค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดของการแลกเปลี่ยน ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. ของน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงอยู่ที่ 9,711 มก./ล.และ 9,614 มก./ล.ที่ปริมาตรกรดประมาณ 12.5 BV. และ1.25 BV.ตามลำดับ ดูจากตารางที่ 5.6 ปริมาณนิกเกิลที่นำกลับมาใช้ที่ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 12,138และ12,017 มก./ล.คิดเป็นประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้เมื่อเทียบบกับกรดที่ใช้ไปเท่ากับ 52.9% และ 52.8 %

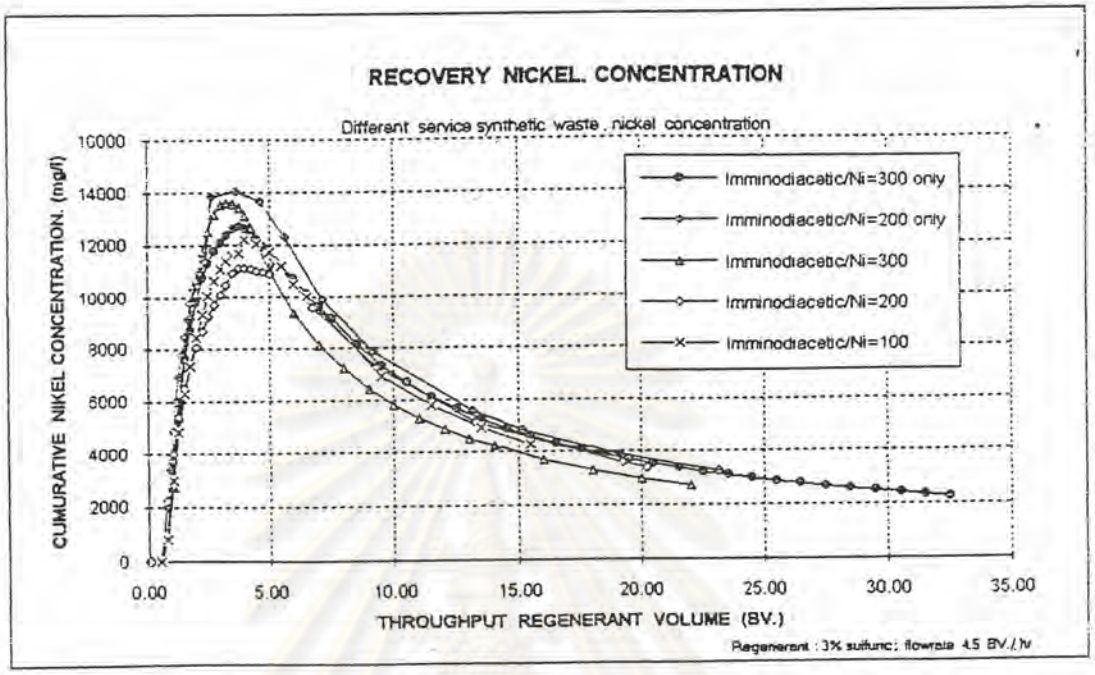
5.2.2.5 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นรวมโลหะนิกเกิลที่ปริมาตรการล้างกรดใด ๆ ของแคทไอออนชนิดพิเศษ

เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบในหัวข้อ 5.2.2.4 แต่ใช้เรซินชนิดพิเศษ จากกราฟรูปที่ 5.30 สำหรับการแลกเปลี่ยน น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. และ 200 มก./ล. ส่วนใหญ่จะมีค่าความเข้มข้นรวมของโลหะนิกเกิลใกล้เคียงกันกับการล้างเรซินจากการแลกเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง ค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดของการแลกเปลี่ยน ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก/ล. และ 200 มก/ล. ของน้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะที่มีโลหะนิกเกิลอยู่ 12,699 และ 14,036 มก/ล. ที่ปริมาตรกรดที่ 3.75BV.และ3.625 BV.ตามลำดับ ดูจากตารางที่ 5.6 ปริมาณนิกเกิลที่นำกลับมาใช้ที่ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 47,621 มก/ล.และ 50,880 มก/ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้เมื่อเทียบ

กับกรดที่ใช้ไปเท่ากับ 69.5 % และ 76.8 % ส่วนค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดของการแลกเปลี่ยนความเข้มข้นนิกเกิลที่ 300 มก/ล.,200 มก/ล.และ 100 มก./ล.ของน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงอยู่ที่ 13,602 11,427 และ 12,194 มก./ลิตรเรซิน ที่ปริมาตรกรดที่ 3.25 BV., 5.25 BV.,และ4 BV. ตามลำดับดูจากตารางที่ 5.6 ปริมาณนิกเกิลที่นำกลับมาใช้ที่ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 44,206 มก./ล.,59,991และ 48,776 มก./ล.คิดเป็นประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้เมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไปเท่ากับ 74.7 % 62.5 % และ 66.7 %

ตารางที่ 5.6 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับเมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไปที่ความเข้มข้นรวมสูงสุด ที่การล้างด้วยกรด

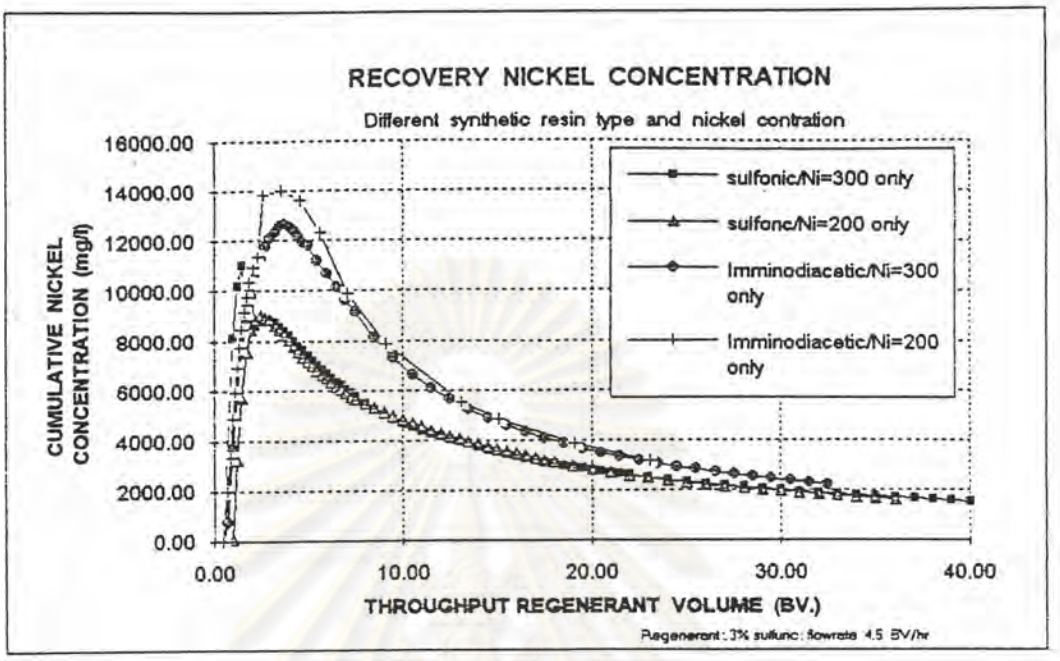
ชนิดเรซิน	ชนิดน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นนิกเกิลเข้าระบบช่วงการแลกเปลี่ยน (mg/l.)	ความเข้มข้นรวมนิกเกิลสูงสุดที่ล้างด้วยกรดที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ		ปริมาณนิกเกิลที่จุดความเข้มข้นสูงสุด	ปริมาณกรดที่จุดความเข้มข้นสูงสุด	ประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับเทียบกับกรดที่ใช้ (%)
			(mg/l.)	(BV.)	mg/l.resin or eq/l. - resin	mg/l.resin or eq/l.- resin	
ธรรมดา	มีเฉพาะนิกเกิล	300	11,032	1.5	16,548/ 0.56	45.8/ 0.93	60.5
		200	9,049	2.5	22,622/ 0.77	76.4/ 1.56	49.3
	แทนน้ำเสียจริง	300	9,711	1.25	12,138/ 0.41	38.2/ 0.78	52.9
		200	9,614	1.25	12,017/ 0.41	38.2/ 0.78	52.9
พิเศษ	มีเฉพาะนิกเกิล	300	12,699	3.75	47,621/ 1.62	114.6/2.33	69.5
		200	14,036	3.63	50,880/ 1.73	110.8/2.25	76.8
	แทนน้ำเสียจริง	300	13,602	3.25	44,206/ 1.51	99.3/ 2.02	74.7
		200	11,427	5.25	59,991/ 2.04	160.4/3.27	62.5
		100	12,194	4	48,776/ 1.66	122.2/2.49	66.7

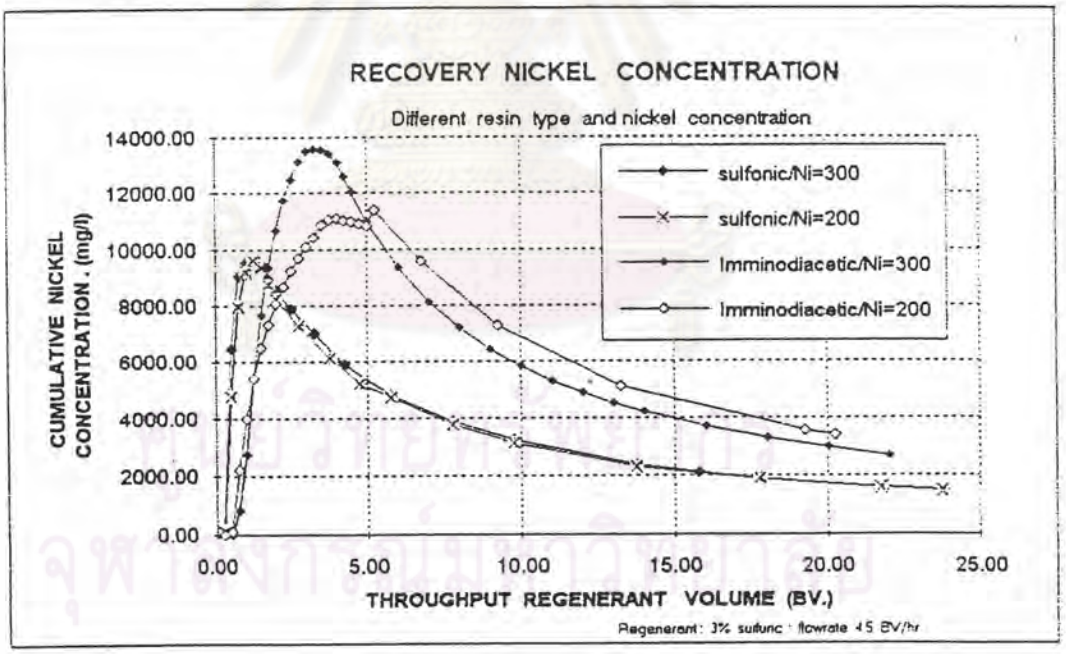


รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

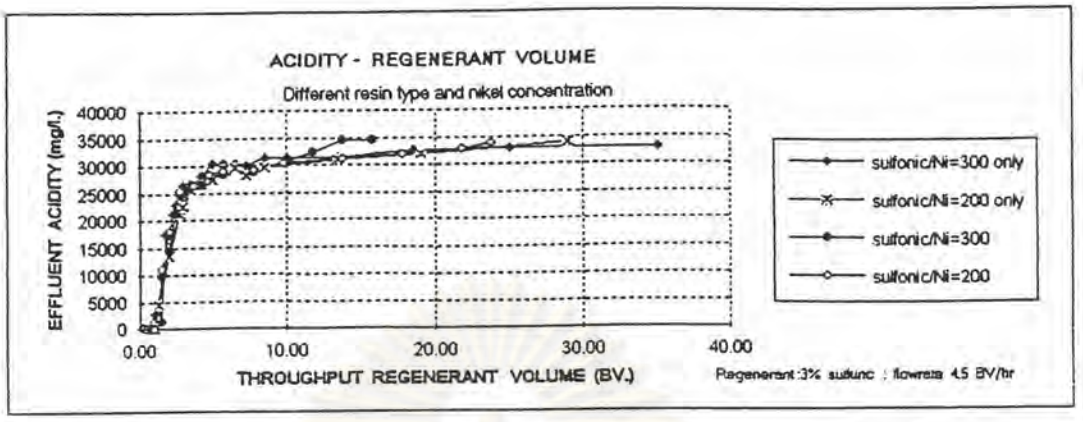
5.2.2.6 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นรวมโลหะนิกเกิลที่ปริมาตรการล้างกรดใด ๆจากการแลกเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆที่เรซินต่างชนิด

จากกราฟรูปที่ 5.31 เห็นได้ชัดว่าความเข้มข้นโลหะนิกเกิลหลังจากการล้างด้วยกรดที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ ของเรซินชนิดพิเศษจะมีค่าสูงกว่าเรซินชนิดธรรมดาโดยจะมีความเข้มข้นรวมโลหะนิกเกิลสูงที่ปริมาตรกรดล้างที่สูงด้วย ตัวอย่างที่ความเข้มข้นรวมสูงสุดสำหรับการแลกเปลี่ยนด้วยความเข้มข้นนิกเกิล 300 และ 200 มก./ล. ของเรซินชนิดพิเศษจะมีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ประมาณ 12,699 และ 14,036 มก.ต่อลิตรเรซิน ที่ 3.75 BV.และ 3.625 BV. แต่สำหรับเรซินชนิดธรรมดา จะมีค่าความเข้มข้นรวมของนิกเกิลอยู่ประมาณที่ 11,032 และ 9,049 มก./ลิตรเรซินปริมาตรกรดล้างที่ 1.5 และ 2.5 BV.สำหรับความเข้มข้นนิกเกิลที่ 300





รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรดากับชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยน โดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ



รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา

และ 200 มก./ล.ของการแลกเปลี่ยน

จากกราฟรูปที่ 5.31 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลหลังจากการล้างด้วยกรดที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ ของเรซินชนิดพิเศษจะมีค่าสูงกว่าเรซินชนิดธรรมดา โดยจะมีความเข้มข้นรวมโลหะนิกเกิลสูงที่ปริมาตรกรดล้างที่สูงด้วย ตัวอย่างที่ความเข้มข้นรวมสูงสุดสำหรับการแลกเปลี่ยนด้วยความเข้มข้นนิกเกิล 300 และ 200 มก./ล. ของเรซินชนิดพิเศษจะมีค่าความเข้มข้นรวมของนิกเกิล 11,427 และ 12,194 มก.ต่อลิตรเรซิน ที่ปริมาตรกรดล้าง 5.25 และ 4 BV.แต่สำหรับเรซินชนิดธรรมดา จะมีค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลอยู่ประมาณที่ 9,711 มก./ล. และ 9,614 มก./ล.เรซินที่ปริมาตรกรดล้างที่ 2 BV. และ 2 BV. ตามลำดับ

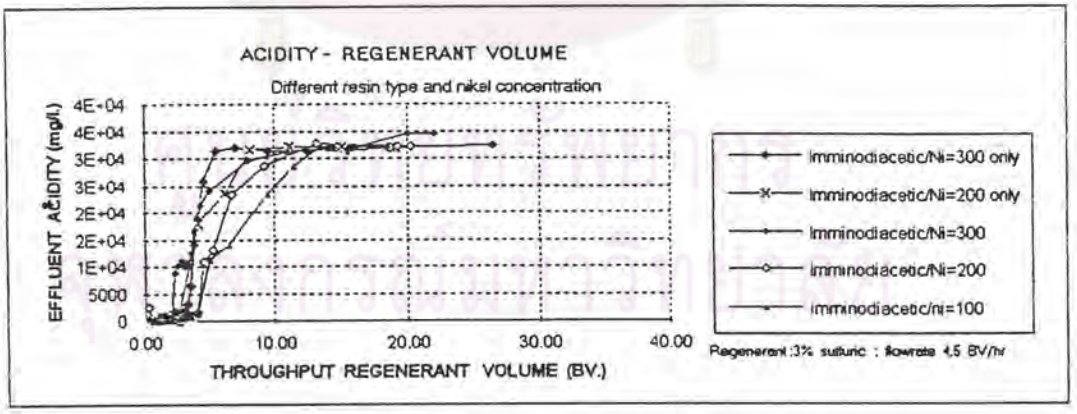
และจากตารางที่ 5.6 นอกจากเรซินชนิดพิเศษจะให้ความเข้มข้นรวมสูงสุดในการล้างนิกเกิลแล้ว ปริมาณนิกเกิลที่นำกลับไปใช้จะสูงกว่าและประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับไปใช้เมื่อเทียบกบกรดที่ใช้ไปจะสูงกว่าเรซินชนิดธรรมดา ซึ่งสามารถใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้เรซินชนิดพิเศษในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่

5.2.2.7 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ จากการล้างแคทอิออนเรซินชนิดธรรมดา

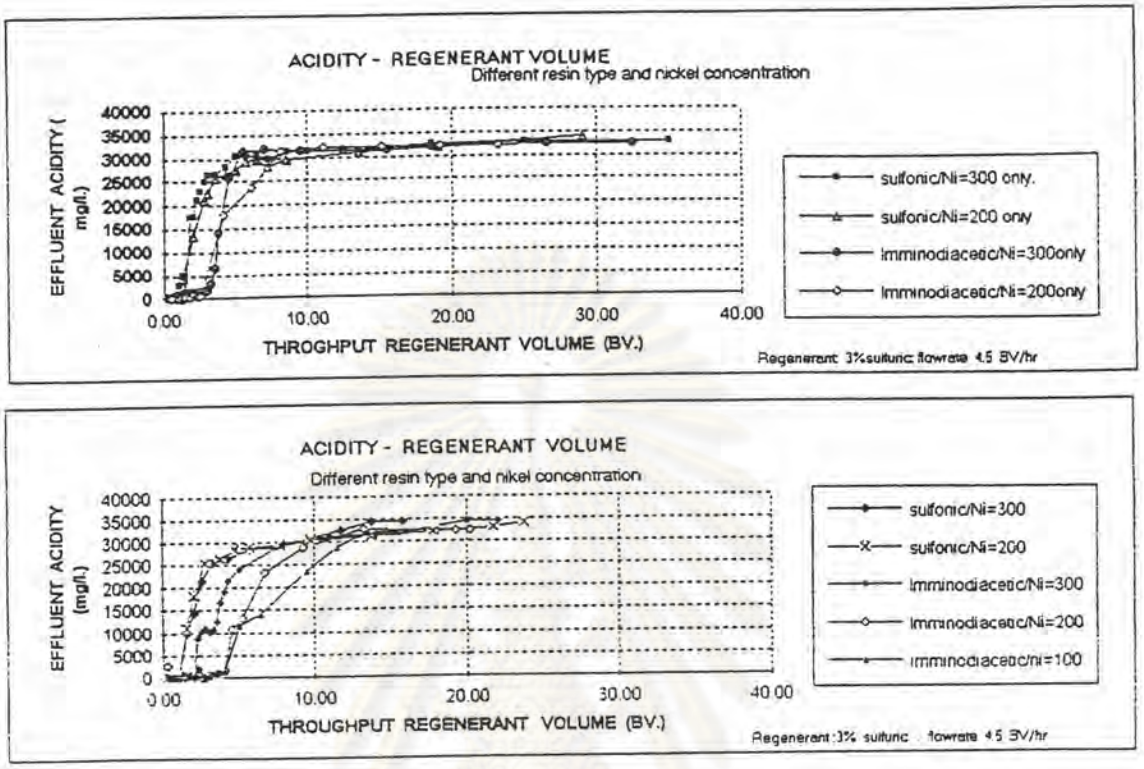
จากกราฟรูปที่ 5.32 แนวโน้มของกราฟจะมีลักษณะคล้ายกันสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ คือในช่วงปริมาตรกรดล้างที่ 5 BV. ค่าความเป็นกรดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปริมาตรกรดที่ 5 BV. ขึ้นไป ค่าความเป็นกรดจะสูงขึ้นอย่างช้าและเกือบคงที่ ค่าความเป็นกรดต่ำจะมีปริมาณโลหะนิกเกิลที่ออกจากเรซินสูง จนกระทั่งค่าความเป็นกรดสูงสุด ซึ่งจะไม่มีปริมาณนิกเกิลออกจากเรซิน ซึ่งค่าความเป็นกรดจะเท่ากับสารที่ใช้ล้าง

5.2.2.8 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดต่างกันและใช้แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

จากกราฟรูปที่ 5.33 แนวโน้มของกราฟมีลักษณะคล้ายแต่ไม่เกาะกลุ่มกัน ในช่วงปริมาตรกรดล้างที่ 2.5 BV. ถึง 15 BV. และค่าความเป็นกรดหลังจากช่วง 10 BV.จะเกือบเท่ากันทุกการเข้าสู่สภาพค่าความเป็นกรดคงที่ จะเรียงลำดับจากก่อนไปหลังตามน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ อันดับ 1 น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแต่โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 300 มก./ล.เข้าสู่สภาวะคงที่ที่ปริมาตรกรดล้างประมาณ 6 BV. อันดับ 2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแต่โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. ที่ปริมาตรกรด 7 BV. อันดับ 3 น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล. ที่ปริมาตรกรด 12 BV. อันดับ 4 น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นนิกเกิล 200 มก./ล. ที่ปริมาตรกรด 14 BV.อันดับสุดท้าย น้ำเสียสังเคราะห์ แทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นนิกเกิล 100 มก./ล. ที่ปริมาตรกรดประมาณ 15 BV.



รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ



รูปที่ 5.34 กราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด ที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ

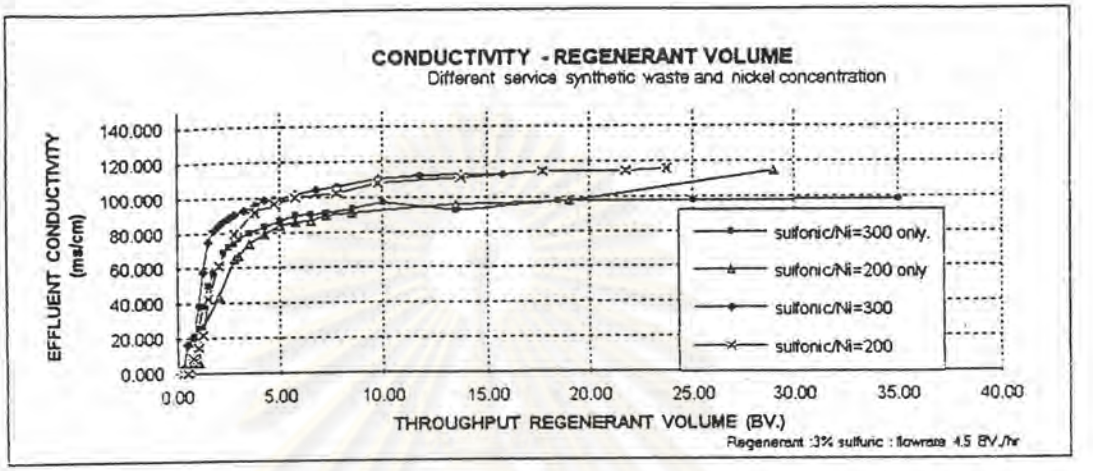
5.2.2.9 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา

จากกราฟรูปที่ 5.35 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าจากการล้างด้วยกรด สำหรับการแลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันโดยในช่วงแรกค่าการนำไฟฟ้าก็จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าถึงเกือบจะคงที่ที่ปริมาตรกรดล้างประมาณ 5 BV.

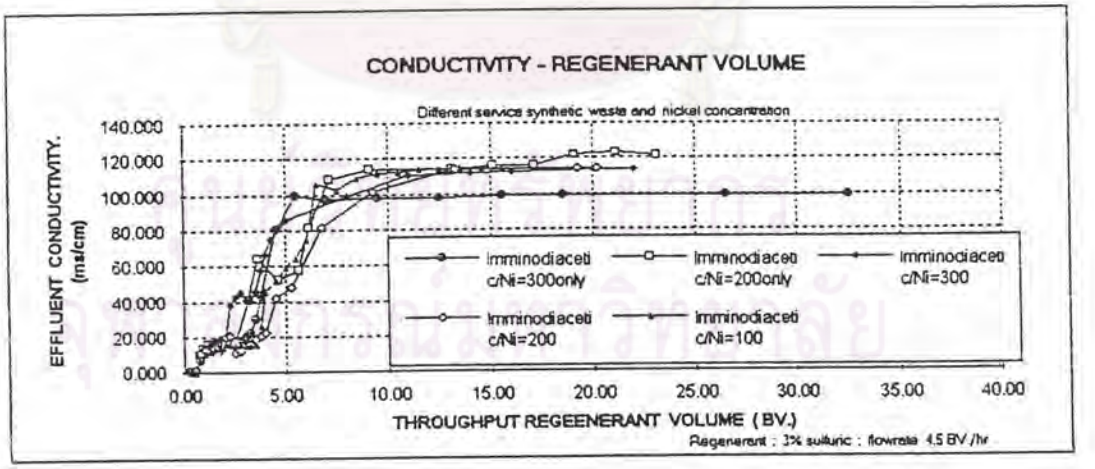
5.2.2.10 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ จากการล้างแคทไอออนเรซิน ชนิดพิเศษ

จากกราฟรูปที่ 5.36 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าจากการล้างด้วยกรดสำหรับการแลกเปลี่ยน

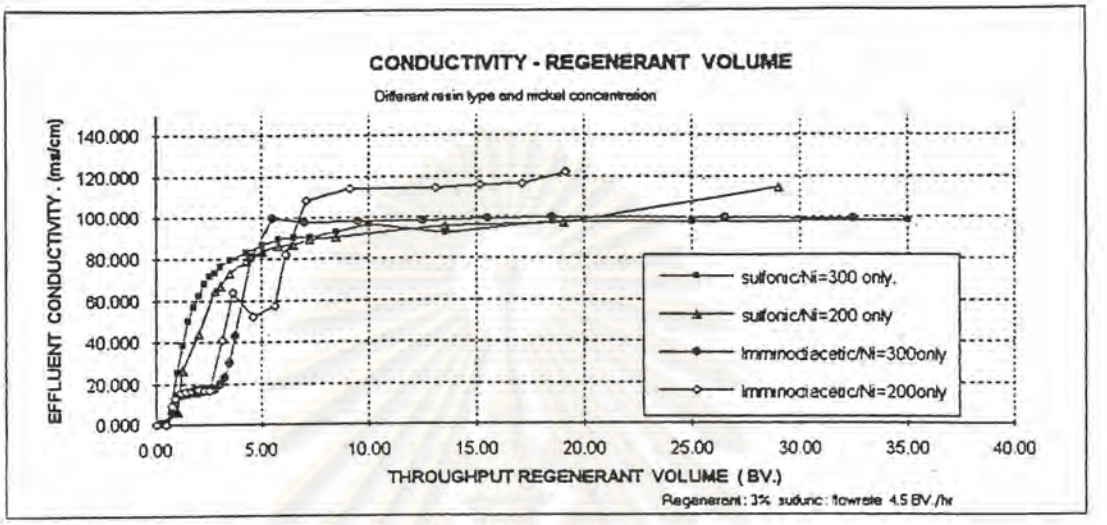
โดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ จะมีลักษณะกราฟคล้ายคลึงกัน คือเส้นกราฟจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนถึงปริมาตรกรดล้างประมาณ 7 BV. เส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าจนเกือบคงที่

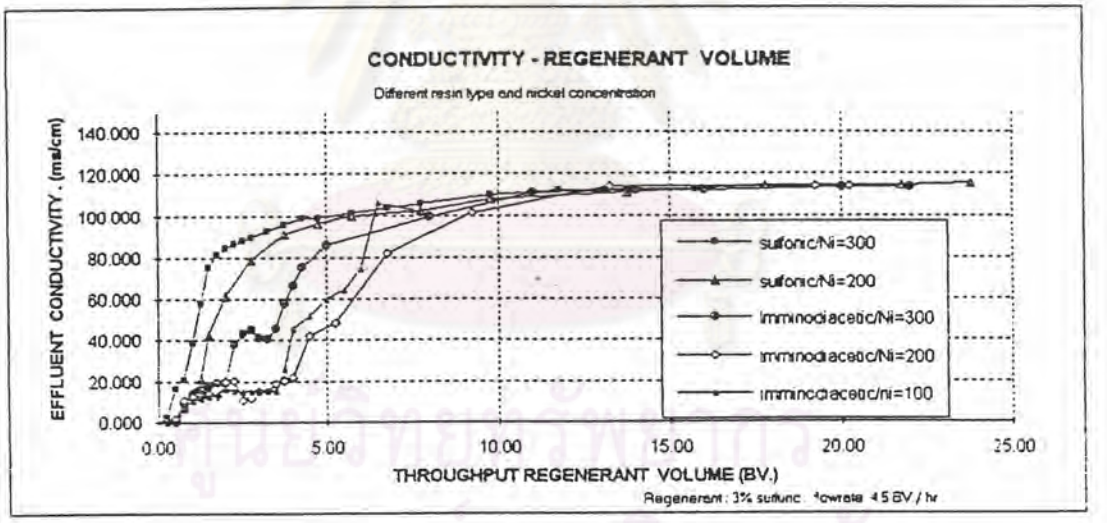


รูปที่ 5.35 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา



รูปที่ 5.36 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ





รูปที่ 5.37 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซิน ชนิดธรรมดากับชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยน โดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ

5.2.2.11 ประสิทธิภาพในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่

จากที่ได้ทราบปริมาณโลหะนิกเกิลในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้อัตราการไหล 20 BV./hr และในการล้างเรซินด้วยกรดที่อัตราการล้าง 4.5 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริค 3% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปริมาตรกรดเกินพอ ทำให้ทราบปริมาณโลหะนิกเกิลในการล้างออกด้วยกรดของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ กับเรซินทั้ง 2 ชนิด จากนั้นจึงนำไปหาประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ได้ ดังสรุปได้ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนไอออนและการล้างเรซิน

ชนิดน้ำสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลเพียงอย่างเดียว	ชนิดเรซิน	ปริมาณนิกเกิลในการแลกเปลี่ยน (มก./ล.เรซิน)	ปริมาณนิก-เกิลที่ล้างออกด้วยกรด (มก./ล.เรซิน	ประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้เมื่อล้างกรดจนหมด(%)
ความเข้มข้นนิกเกิล 300 (มก./ล.)	ชนิดธรรมดา ชนิดพิเศษ	66,553 73,909	52,274 72,772	78.5 98
ความเข้มข้นนิกเกิล 200 (มก./ล.)	ชนิดธรรมดา ชนิดพิเศษ	55,657 76,228	49,661 74,636	89.2 97.9
ชนิดน้ำสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง				
ความเข้มข้นนิกเกิล 300 (มก./ล.)	ชนิดธรรมดา ชนิดพิเศษ	34,083 60,664	33,517 59,369	98.3 97.8
ความเข้มข้นนิกเกิล 100 (มก./ล.)	ชนิดธรรมดา ชนิดพิเศษ	37,071 65,427	35,063 68,410	94.5 95.6
ความเข้มข้นนิกเกิล 100 (มก./ล.)	ชนิดพิเศษ	73,053	666,698	91.3

*หมายเหตุ ข้อมูลจากการทดลองตามตารางในภาคผนวก จ

จากตารางที่ 5.7 จะพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ของแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษจะดีกว่าแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาอยู่บ้างที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลเฉพาะที่ความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยประสิทธิภาพในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ของแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาอยู่ที่ 78.5% ส่วนของเรซินชนิดพิเศษจะอยู่ที่ 98% จากตารางพบว่า ประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ของแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาจะลดลงตรงข้ามกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนของเรซิน คือถ้าเรซินแลกเปลี่ยนได้ปริมาณนิกเกิลมาก ความสามารถในการนำนิกเกิลกลับมาใช้จะต่ำลง ส่วนประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ของเรซินพิเศษจะสูงเกิน 90% ขึ้นไป

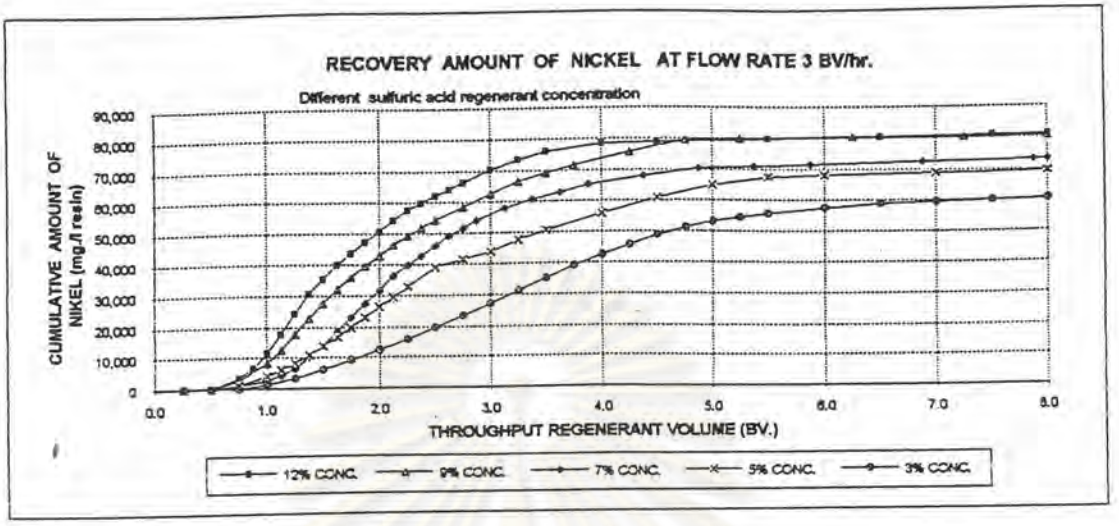
5.3 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่สำคัญในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ ขั้นตอนการฟื้นอำนาจเรซิน

หลังจากทำการทดลองเปรียบเทียบแคทไอออนเรซินที่เหมาะสม ในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่โดยเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออน และการทดลองอื่น ๆ พบว่าเรซินชนิดพิเศษเหมาะสมในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะนิกเกิลเจือปนจากโรงงานชุบโลหะบริเวณถังน้ำล้น (rinse tank) โดยเราศึกษาผลการทดลอง ขั้นตอนหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ในช่วงการฟื้นอำนาจเรซิน จากการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดซัลฟุริคให้เข้มข้น 3%, 5%, 7%, 9% และ 12% โดยในแต่ละความเข้มข้นจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล 3 ค่า คือ 3 BV/hr 4.5 BV/hr และ 6 BV/hr ได้ผลการทดลองเปรียบเทียบได้ดังนี้

5.3.1 เปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลจากการล้างด้วยกรดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยอัตราการล้างกรด 3 BV/hr

จากกราฟรูปที่ 5.38 ที่อัตราการล้างที่ 3 BV/hr ลักษณะของกราฟที่ความเข้มข้นกรดล้างต่าง ๆ จะมีลักษณะคล้ายกัน คือในช่วงปริมาตรกรดล้างที่ 0 ถึง 2 BV. เส้นกราฟจะเพิ่มขึ้น โดยนิกเกิลจะลดลงตาม ความเข้มข้นของกรดที่ล้าง ในช่วงปริมาตรกรดล้างที่ 2 ถึง 5 BV. เส้นกราฟมีลักษณะสูงขึ้น แต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟเป็นลบ คือ อัตราการล้างออกของปริมาณนิกเกิลจะลดลง โดยความเข้มข้นของกรดล้างที่ 12% จะให้ค่าปริมาณนิกเกิลสูงสุดอยู่ และที่ความเข้มข้น 9% จะมีปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกเท่ากับ 12% ที่ปริมาตรกรดล้างที่ 5 BV. หลังจากปริมาตรกรดล้างที่ 5 BV. เป็นต้นไป อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกจะเริ่มเป็นศูนย์ คือไม่สามารถล้างนิกเกิลออกจากเรซินได้ ซึ่งปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้สูงสุดที่ความเข้มข้นกรด 12% โดยน้ำหนัก และ 9% โดย

น้ำหนัก จะมีค่าเท่ากัน คือ ประมาณ 80,000 มก.ต่อลิตรเรซิน



รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิล โดยใช้อัตราการล้างที่ 3 BV/hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ

แนวโน้มของกราฟที่อัตราการล้าง 4.5 BV/hr และ 6 BV/h จะมีแนวโน้มของกราฟคล้ายคลึง ดังนั้นจะทำสรุปการเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้สูงสุดที่ปริมาตรกรดล้างที่ 7 BV.และ ที่ปริมาณกรดล้างที่เท่ากันที่ 361.09 g.H_2SO_4/l.resin ตามพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ในตารางที่ 5.8 และ 5.9 ก่อนเพื่อเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลสูงสุดที่ล้างออกในแต่ละอัตราการล้าง ในการทำการทดลองเปรียบเทียบจะทำการล้างด้วยกรดที่มีปริมาตรมากเกินพอ ตามที่ผู้ผลิตกำหนด (ภาคผนวก ฌ.) เรซินชนิดพิเศษปริมาณกรดที่ใช้ล้างประมาณ 200 g.H_2SO_4 /l. resin ซึ่งเมื่อทำการวัดค่าเปรียบเทียบ จะวัดที่ปริมาตรกรดล้าง 7 BV.ที่จุดความเข้มข้นต่ำสุดที่ความเข้มข้นกรด 3 % โดย นน. เทียบเท่าปริมาณกรด 213.86 g.H_2SO_4/l.resin ซึ่งมีค่าปริมาณกรดล้างมากพอที่ที่ใช้ฟื้นอำนาจเรซินที่ผู้ผลิตแนะนำ และที่ที่ปริมาตร 7 BV. ในกราฟการทดลองปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกจะเพิ่มน้อยมากเกือบไม่มีการเพิ่มอีก ในตารางที่ 5.9 จะทำการเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกด้วยปริมาณกรดที่เท่ากัน ว่าที่ความเข้มข้นกรดเท่าใดที่ให้ค่านิกเกิลสูงสุดและที่เลือกปริมาณกรดที่ 361.09 g.H_2SO_4/l.resin ซึ่งเป็นเป็นปริมาณที่คิดจากค่าความเข้มข้นกรด 5% โดย นน.ที่ปริมาตรกรดล้าง 7 BV. จะเป็นจุดที่ความเข้มข้นกรดต่ำคือ 3 % และ 5% อิ่มตัวในการล้างซึ่งจุดนี้ที่ค่าความเข้มข้นทั้งสองล้างปริมาณนิกเกิลออกได้สูงแต่ดูค่าความเข้มข้นนิกเกิลแล้วจะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับความเข้มข้นกรดล้างที่สูง และเป็นจุดที่ดูจากกราฟปริมาณนิกเกิลกับปริมาตรน้ำเสียสามารถครอบคลุมตรวจสอบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้างที่ 3%, 5%, 7%, 9%,และ 12%

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลที่ล้างออกสูงสุด โดยใช้กรดความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ที่อัตราการล้างใด ๆปริมาตรกรดล้างที่ 7 BV.

อัตราการล้างด้วยกรด (BV/hr)	ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ล้าง (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสารรีเจนเนอแลนท์ 7 BV.		ปริมาณนิกเกิล* ที่ล้างออกได้สูงสุด (mg./l.เรซิน)
		($g.H_2SO_4$ /l.เรซิน)	($eq.H_2SO_4$ /l.เรซิน)	
3	3%	213.86	4.36	59530
	5%	361.09	7.36	68743
	7%	512.20	10.46	69001
	9%	667.23	13.62	80430
	12%	907.36	18.50	80500
4.5	3%	213.86	4.36	56803
	5%	361.09	7.36	64350
	7%	512.20	10.46	76200
	9%	667.23	13.62	80800
	12%	907.36	18.50	84932
6	3%	213.86	4.36	50200
	5%	361.09	7.36	65450
	7%	512.20	10.46	70500
	9%	667.23	13.62	69450
	12%	907.36	18.50	69335

* ข้อมูลนำมาจากตารางการทดลอง ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ ในภาคผนวก ฉ.

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลที่ล้างออกสูงสุด โดยใช้กรดความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ที่อัตราการล้างใด ๆปริมาณกรดล้างที่ 361.09 g.H_2SO_4 /l.resin

อัตราการล้างด้วยกรด (BV/hr)	ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ล้าง (% โดยนน.)	ปริมาตรสารรีเจนเนอแลนท์ที่ปริมาณกรด 361.09g.H_2SO_4 /l.เรซิน) 7.36eq.H_2SO_4 /l.เรซิน) (BV.)	ปริมาณนิกเกิล* ที่ล้างออกได้สูงสุด (mg. /l.เรซิน)	(eq. /l.เรซิน)	ประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับเมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไป (%)
3	3%	11.818	59530	2.07	28.1
	5%	7.0	68743	2.34	31.8
	7%	4.934	66625	2.26	30.6
	9%	3.788	74635	2.54	34.5
	12%	2.785	66889	2.27	30.8
4.5	3%	11.818	56803	1.93	26.2
	5%	7.0	64350	2.19	29.7
	7%	4.934	70963	2.41	32.7
	9%	3.788	76724	2.61	35.5
	12%	2.785	75505	2.57	34.9
6	3%	11.818	50200	1.71	23.2
	5%	7.0	65450	2.23	30.3
	7%	4.934	68870	2.35	31.9
	9%	3.788	65994	2.25	30.6
	12%	2.785	60988	2.07	28.1

* ข้อมูลนำมาจากตารางการทดลอง ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ ในภาคผนวก ฉ.

จากตารางที่ 5.8 อัตราการล้างที่ 3 BV./hr ความเข้มข้นกรด 12% โดยน้ำหนักจะให้ปริมาณนิกเกิลออกมาสูงสุดเกือบเท่ากับที่ใช้ความเข้มข้นกรด 9% คือปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้ที่ 12% โดยน้ำหนักและ 9% คือ 80,500 และ 80,430 มก./ล.เรซิน เมื่อคิดจากปริมาณกรดที่เพิ่มจาก 667 g.จนถึง 907 g.เพื่อให้ได้นิกเกิลเพิ่มเพียง 70 มก./ล. เรซินควรใช้ความเข้มข้นกรดที่ 9% จะเหมาะสมกว่า จากตารางที่ 5.9 เมื่อคิดปริมาณกรดล้างที่เท่ากันที่ 361 g. H_2SO_4 /l.resin ค่าความเข้มข้นกรดล้างที่ 9% จะให้ค่านิกเกิลที่เหมาะสมที่สุด

5.3.2 เปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลจากการล้างด้วยกรด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยอัตราการล้างที่ 4.5 BV/hr

จากกราฟรูปที่ 5.39 ลักษณะเส้นกราฟจะมีลักษณะคล้ายกัน คือในช่วงปริมาตรกรดล้างที่ 0 ถึง 2 BV เส้นกราฟจะมีลักษณะเพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้จะมีลักษณะเพิ่ม ความเข้มข้นกรดล้างที่ 12% โดยน้ำหนัก จะล้างปริมาณนิกเกิลออกมาที่สุด และปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้จะลดลงตามความเข้มข้นของกรดที่ล้าง ยกเว้นที่ความเข้มข้นกรดล้างที่ 3% จะสูงกว่า 5% ช่วงปริมาตรกรดล้างที่ 2-5 BV กราฟจะสูงขึ้น แต่ค่าอัตราการล้างออกของปริมาณนิกเกิลจะลดลง ความเข้มข้นกรดล้างที่ 12% โดยน้ำหนัก จะล้างปริมาณนิกเกิลออกมากที่สุด ปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้จะลดลงตามความเข้มข้นของกรดที่ล้าง หลังปริมาตรกรดล้างที่ 5 BV เป็นต้นไปอัตราการล้างออกของนิกเกิลจากเรซินจะเกือบเท่าศูนย์ และเท่ากับศูนย์ในที่สุด

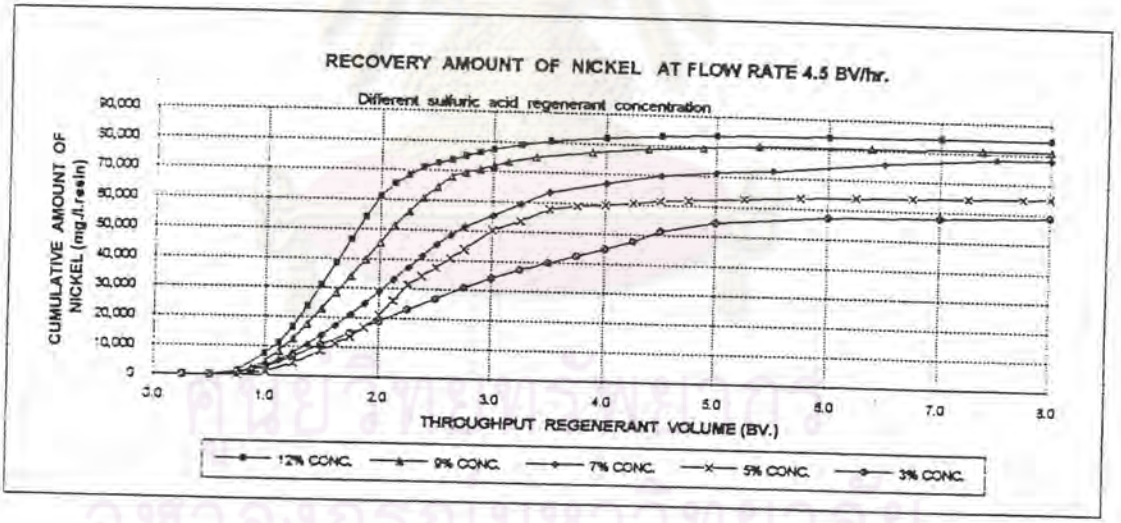
จากตารางที่ 5.8 ที่ความเข้มข้นกรดล้างที่ 3%, 5%, 7%, 9%และ 12 % ที่ปริมาตรกรดล้างที่ 7 BV. จะเท่ากับ 56803, 64350, 76200, 80800 และ 84932 มก./ล.เรซิน ซึ่งที่ความเข้มข้นกรด 12% จะให้ปริมาณกรดล้างสูงสุดเมื่อคิดจากปริมาณกรดที่เพิ่มจาก 667 g.ที่ความเข้มข้นกรด 9% จนถึง 907 g.ที่ความเข้มข้นกรด 12% เพื่อให้ได้นิกเกิลเพิ่มเพียง 132 มก./ล.เรซินควรใช้ความเข้มข้นกรดที่ 9% จะเหมาะสมกว่า จากตารางที่ 5.8 เมื่อคิดปริมาณกรดล้างที่เท่ากันที่ 361 g.H_2SO_4 /l.resin ค่าความเข้มข้นกรดล้างที่ 9% จะให้ค่านิกเกิลที่เหมาะสมสุด

5.3.3 เปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลจากการล้างด้วยกรด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยอัตราการล้างที่ 6 BV./hr

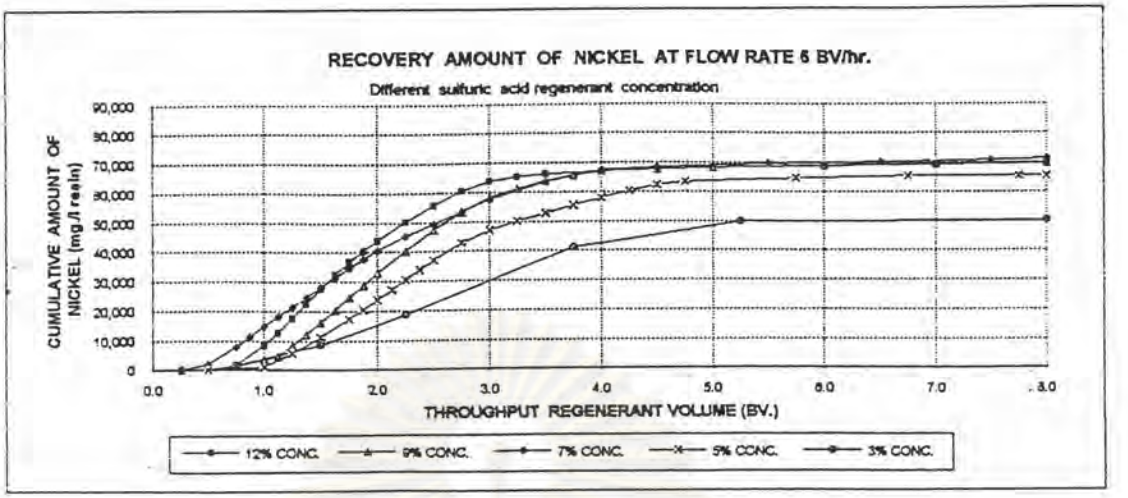
ตามกราฟรูปที่ 5.40 ลักษณะเส้นกราฟจะมีลักษณะคล้ายกันกับอัตราการล้างด้วยกรดที่ 3 และ 4.5 BV/hr แตกต่างกันตรงที่ความเข้มข้นกรดล้างที่ 7% ให้ปริมาณนิกเกิลสูงกว่าที่ความ

เข้มข้น 12% ในช่วง 0-1.8 BV และ 5 BV ขึ้นไป จากตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกได้ ที่ความเข้มข้นกรดล้าง 3%, 5%, 7%, 9%, และ 12% จะเท่ากับ 50,200, 65,450, 70,500, 69,450, และ 69,335 จะพบว่าที่อัตราล้างที่ 6 BV/hr ค่าความเข้มข้นกรดที่ 7 %โดยน.น. จะให้ปริมาณนิกเกิลที่ล้างออกสูงสุดเมื่อล้างด้วยกรดจนหมด จากตารางที่ 5.9 เมื่อคิดปริมาณกรดล้างที่เท่ากันที่ 361 g.H_2SO_4 /l.resin ค่าความเข้มข้นกรดล้างที่ 9% จะให้ค่านิกเกิลที่สูงสุด แสดงว่าที่ความเข้มข้น 9% จะให้ประสิทธิภาพการล้างสูง

โดยสรุปจากตาราง 5.9 เมื่อคิดปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการล้างที่ปริมาณกรดล้างที่เท่ากัน ในทุกอัตราการล้างค่าความเข้มข้น 9% จะให้ค่านิกเกิลที่สูงที่สุด และที่อัตราการล้างที่ 4. BV./hr จะให้ปริมาณนิกเกิล สูงสุดเช่นกัน



รูปที่ 5.39 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 4.5 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ

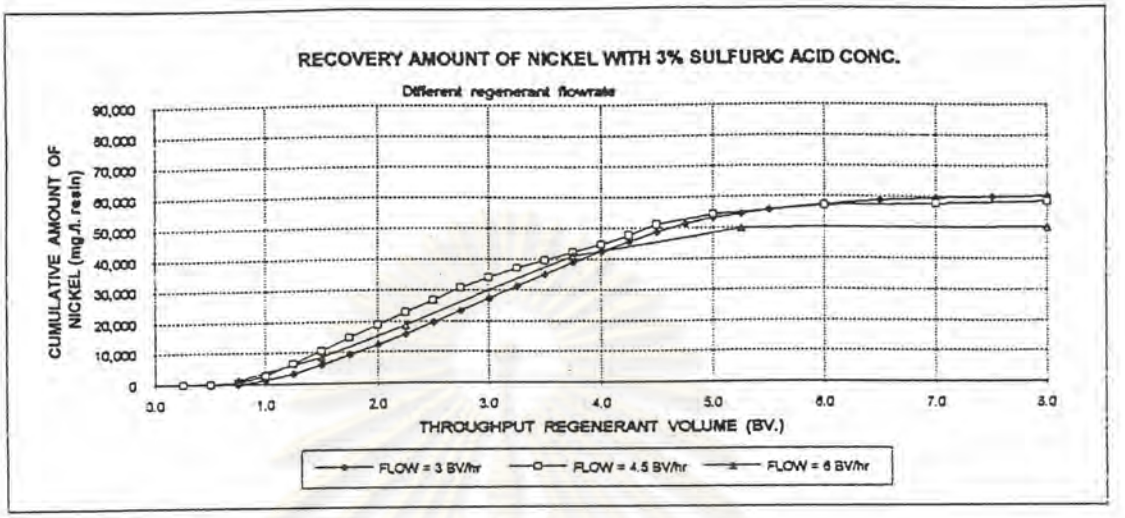


รูปที่ 5.40 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 6 BV./hr ที่ความเข้มข้นใด ๆ

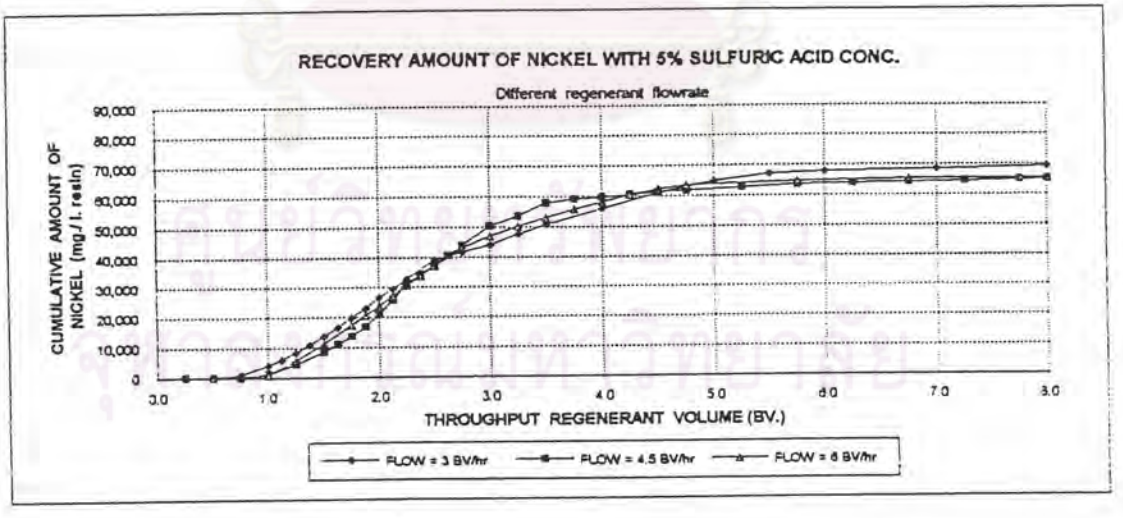
5.3.4 เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลจากการล้างด้วยกรดที่อัตราการล้างด้วยกรดต่าง ๆ กัน

จากกราฟรูปที่ 5.41 ถึง 5.45 ที่ปริมาตรกรดล้าง 5 BV ขึ้นไป อัตราการล้างกรดที่ 4.5 BV/hr จะให้ค่าปริมาณนิกเกิลสูงกว่าที่อัตราการล้างกรดอื่น ๆ ยกเว้นที่ความเข้มข้น 3% และ 5% อัตราการล้างด้วยกรดที่ 3 BV/hr จะให้ค่าปริมาณนิกเกิลสูงกว่า (ดูจากตารางที่ 5.6 ประกอบ) อาจสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นกรดล้างที่ต่ำ ควรใช้อัตราการล้างที่ต่ำด้วย

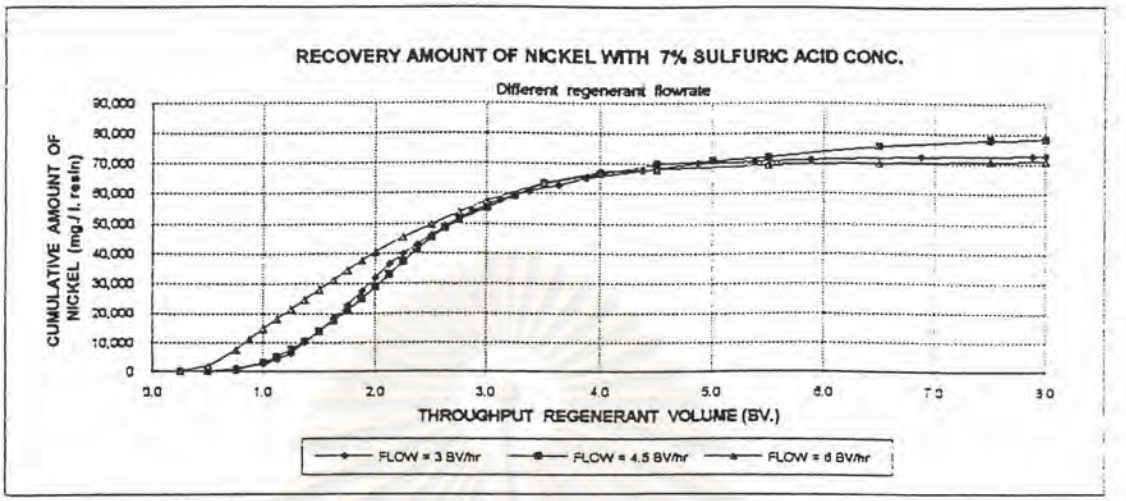
จากตารางที่ 5.9 เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณกรดล้างที่เท่ากันที่ 361.09 g.H_2SO_4/l resin จะพบค่าอัตราการล้างที่ 4.5 BV./hrให้ค่านิกเกิลที่สูงทุกอัตราการล้างยกเว้นที่อัตราการล้างที่ 3 BV./hr เฉพาะค่าความเข้มข้นกรด 3 % และ 5% โดยสรุปความเข้มข้นที่อัตราการล้างที่ 4.5 BV./hr จะเหมาะสมกับการทดลองน้ำเสียจริง



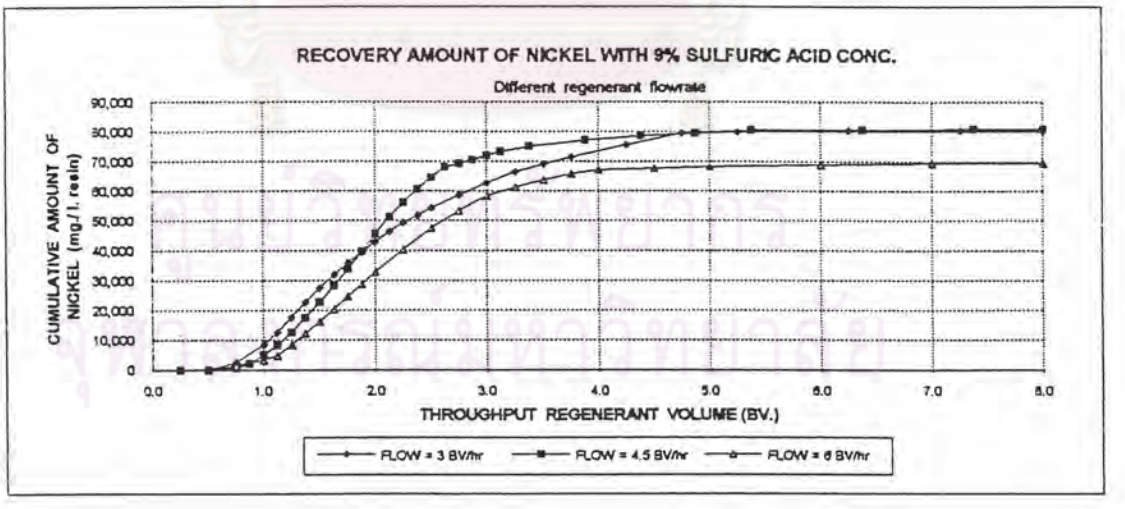
รูปที่ 5.41 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 3%โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ



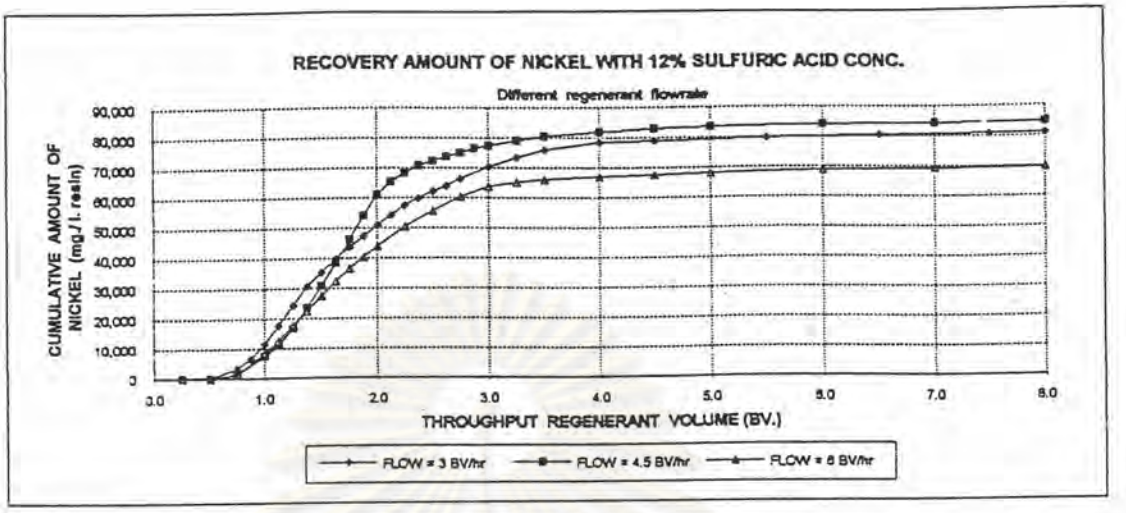
รูปที่ 5.42 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 5%โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ



รูปที่ 5.43 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 7%โดยน. ที่อัตราการล้างใด ๆ



รูปที่ 5.44 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 9%โดยน. ที่อัตราการล้างใด ๆ

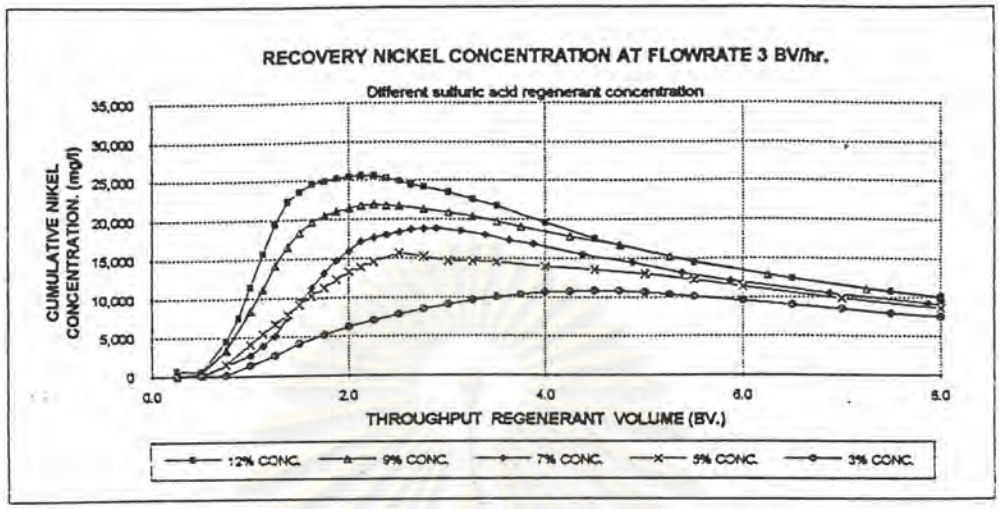


รูปที่ 5.45 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 12% โดยนน.ที่อัตราการล้างใด ๆ

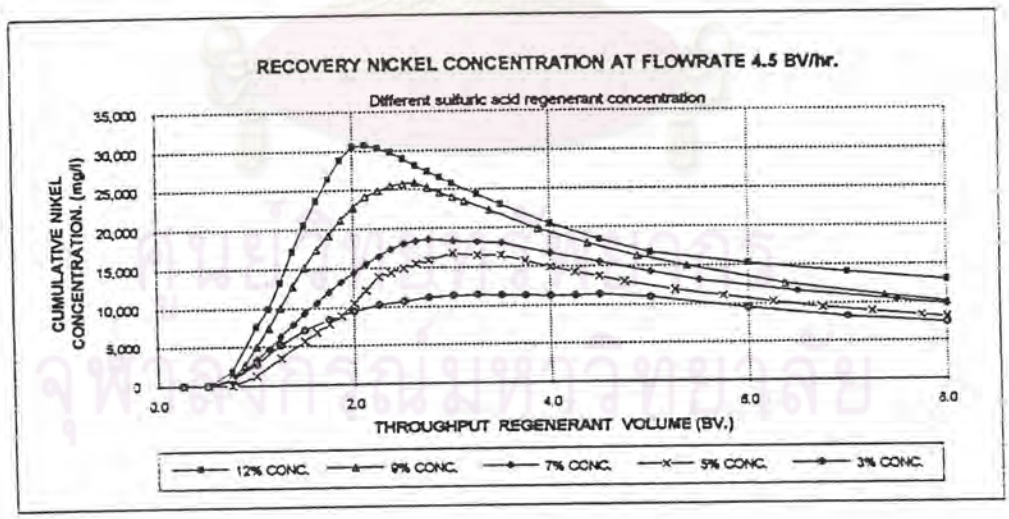
5.3.5 เปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิล จากการล้างกรดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันด้วยอัตราการล้างกรด 3 BV/hr, 4.5 BV/hr และ 6 BV/hr

จากตารางในภาคผนวก ฉ. ตารางขั้นตอนการฟื้นอำนาจเรซินทำการหาความเข้มข้นรวมของน้ำเสียที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ โดยคิดจากปริมาณนิกเกิลรวมที่จุดนั้นหารเฉลี่ยด้วยปริมาตรน้ำเสียรวมที่จุดเดียวกัน นำมาเขียนกราฟ ค่าความเข้มข้นรวมกับปริมาตรน้ำเสียเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นกรดต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าที่ปริมาตรน้ำเสียดังกล่าวสามารถหาความเข้มข้นรวมในการตรวจสอบการนำไปใช้ในถังน้ำยาชุบได้

จากกราฟรูปที่ 5.46 ถึง 5.48 พบว่าค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลสูงสุดอยู่ที่ค่าความเข้มข้นกรดล้างที่ 12% และค่าความเข้มข้นรวมที่สูงต่อมาจะลดลงตาม % ความเข้มข้นกรดล้าง ยกเว้นที่อัตราการล้างกรด 6 BV/hr ความเข้มข้นรวมที่ความเข้มข้นกรดล้างที่ 7% จะสูงกว่าที่ความเข้มข้น 9%



รูปที่ 5.46 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 3 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ

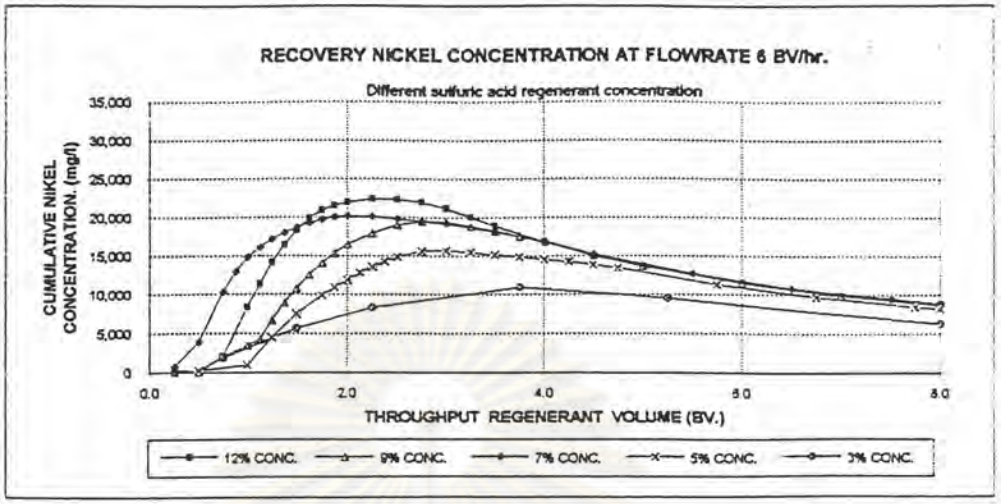


รูปที่ 5.47 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิล โดยใช้อัตราการล้างที่ 4.5 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ

ตารางที่ 5.10 ค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่สูงสุด ที่ความเข้มข้นกรดล้างใด ๆ ตามอัตราการล้างกรดต่าง ๆ

อัตราการล้างด้วยกรด (BV/hr)	ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ล้าง (% โดยนน.)	ค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่วัดได้สูงสุดที่ปริมาตรกรดล้างใด ๆ (มก./ลิตร)	ปริมาณกรดที่ใช้ล้าง (eq.H_2SO_4-/l.resin)	ปริมาณนิกเกิลที่วัดได้ (eq.Ni^{2+}/l.resin	ประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับเมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไป (%)
3	3%	10838 ที่ 4.25 BV	2.65	1.60	59
	5%	15643 ที่ 2.5 BV	2.63	1.33	50.6
	7%	18213 ที่ 2.875 BV	4.29	1.78	41.5
	9%	21902 ที่ 2.25 BV	4.36	1.67	38
	12%	25590 ที่ 2.125 BV	5.62	1.85	32.9
4.5	3%	13602 ที่ 3.25 BV	2.03	1.51	74
	5%	16799 ที่ 3 BV	3.16	1.71	54.3
	7%	18601 ที่ 2.75 BV	4.11	1.74	34.5
	9%	25937 ที่ 2.625 BV	5.11	2.31	45.2
	12%	30759 ที่ 2.125 BV	5.62	2.23	39.6
6	3%	11056 ที่ 4.05 BV	2.52	1.53	60
	5%	15683 ที่ 3 BV	3.16	1.60	50.6
	7%	20238 ที่ 2 BV	2.98	1.38	46.2
	9%	19468 ที่ 3 BV	5.82	1.98	34
	12%	22423 ที่ 2.25 BV	5.94	1.72	28.9

* หมายเหตุ * ข้อมูลจากการทดลองตามตารางในภาคผนวก ฉ.

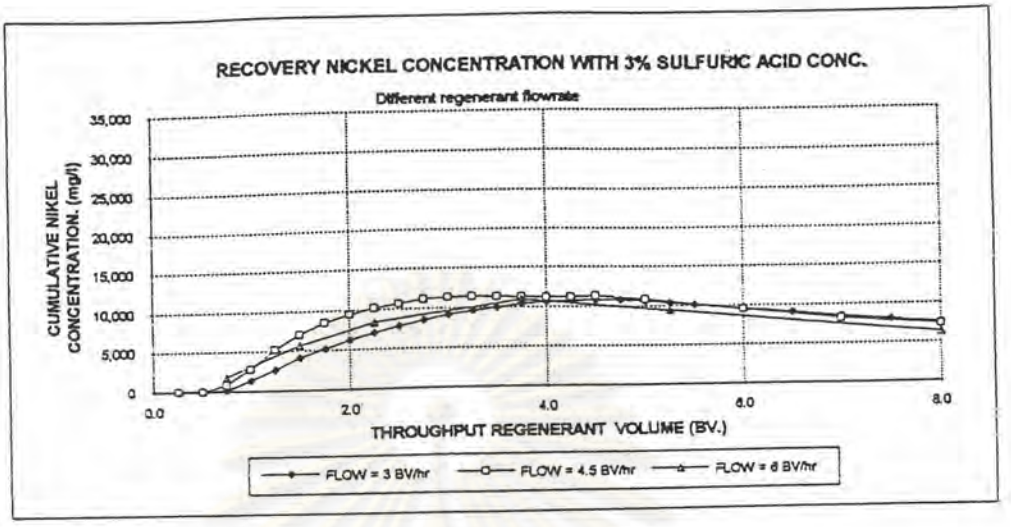


รูปที่ 5.48 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 6 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ

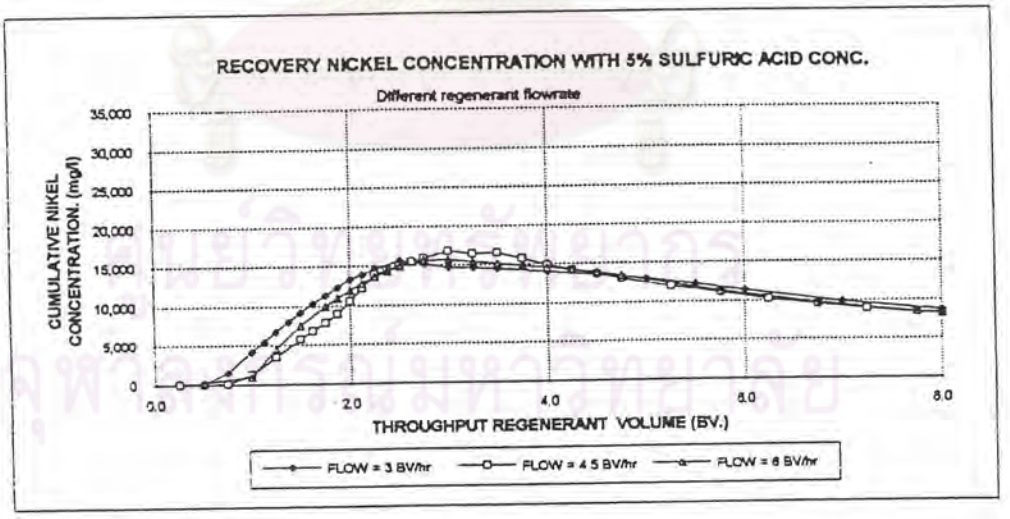
จากข้อมูลการทดลองจากตารางการทดลองขั้นตอนหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ ภาคผนวก ฉ. สามารถนำมาสรุปในตารางที่ 5.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยนิกเกิลที่สูงสุดที่ความเข้มข้นกรดล้างใด ๆ ตามอัตราการล้างกรดต่าง ๆ ดังนี้

จากตารางที่ 5.10 พบว่าที่ความเข้มข้นกรดล้าง 12% โดยน้ำหนักจะให้ค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลสูงสุดทุกอัตราการล้าง 3, 4.5 และ 6 BV/hr

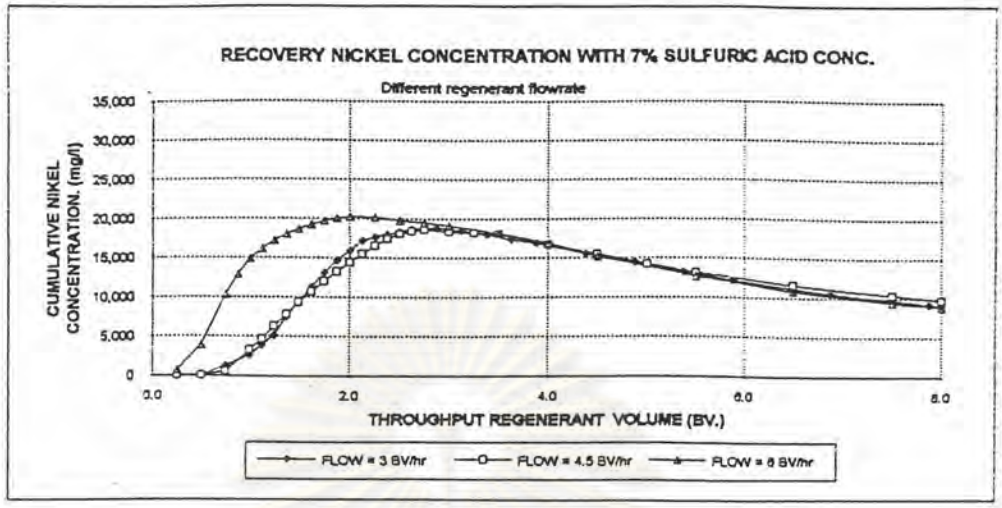
จากกราฟรูปที่ 5.49 ถึง 5.53 ที่ความเข้มข้นกรดล้างใด ๆ อัตราการล้างด้วยกรดที่ 4.5 BV/hr จะให้ค่าความเข้มข้นรวมนิกเกิลสูงสุด ยกเว้นที่ค่าความเข้มข้นกรดล้างที่ 7% โดยน้ำหนัก อัตราการล้างที่ 6 BV จะให้ค่าความเข้มข้นรวมสูงสุด



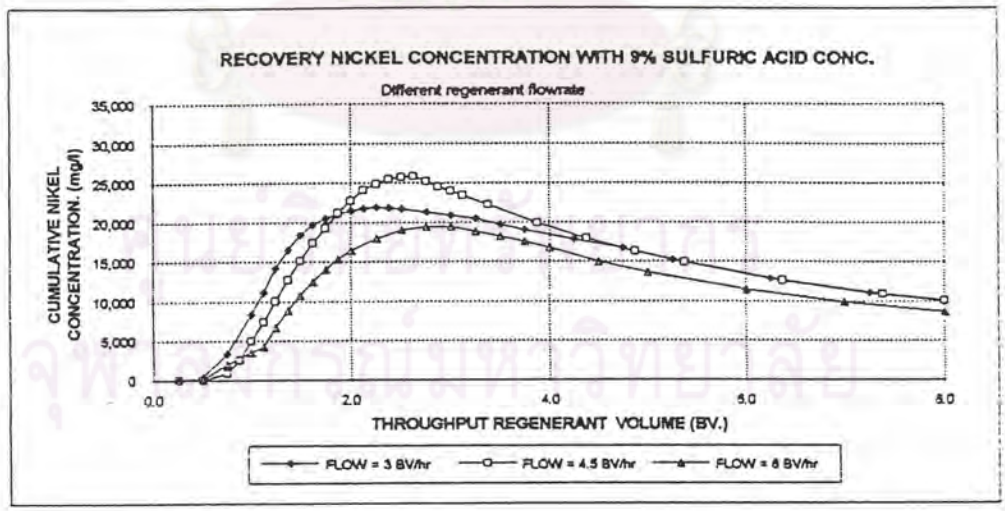
รูปที่ 5.49 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 3% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ



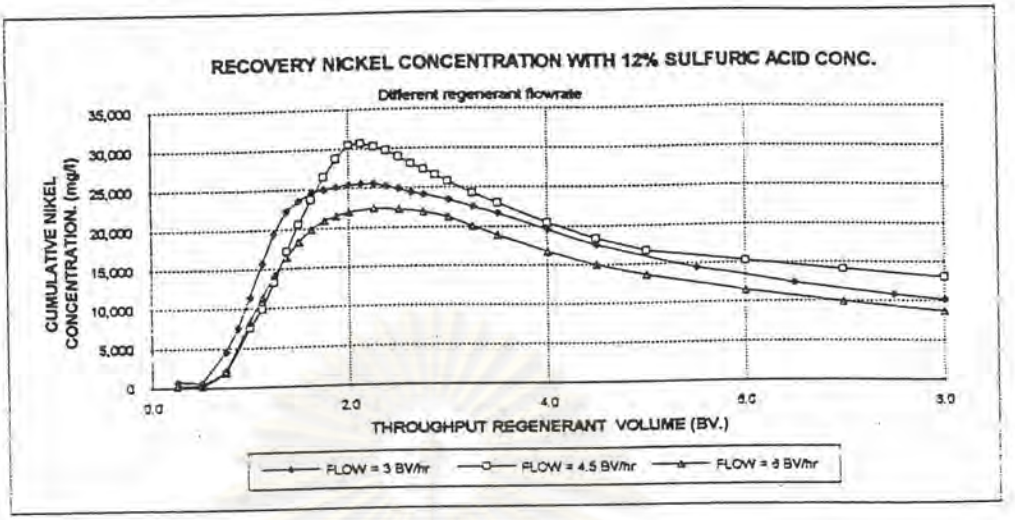
รูปที่ 5.50 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 5% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ



รูปที่ 5.51 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 7% โดยน.น. ที่อัตราการล้างใด ๆ



รูปที่ 5.52 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 9% โดยน.น. ที่อัตราการล้างใด ๆ



รูปที่ 5.53 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 12% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ

สรุปจากหัวข้อ 5.3.1 ถึง 5.3.5 จะเห็นว่า ที่อัตราการล้างด้วยกรดที่ 4.5 BV/hr จะให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดทุกค่าความเข้มข้นของกรดล้าง และเมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลที่สูงสุดจะพิจารณาที่อัตราการล้างด้วยกรด 4.5 BV./hr.ความเข้มข้นกรดล้างที่ 9 % และ 12 % จะเห็นว่าที่ 12 % จะให้ความเข้มข้นรวมสูงสุดโดยพิจารณาดูพบว่าค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดจะเพิ่มตาม % ความเข้มข้นกรดที่ใช้ล้างยกเว้นอัตราการล้างที่ 6 BV./hr แต่เมื่อดูที่ปริมาตรที่กรดล้างแล้ว ค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดปริมาตรกรดล้างของ 9% จะให้ค่าสูงกว่าที่ 12% คือที่ 9% จะให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ปริมาตรกรดล้างที่ 2.625 BV และที่ 12% จะให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ปริมาตรกรดล้างที่ 2.125 BVซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาณนิกเกิลที่จุดนี้ ที่ 9% จะได้ค่าปริมาณนิกเกิล 68,084 มก. ส่วนที่ 12% จะได้ค่าปริมาณนิกเกิล 65,362 มก.เมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพในการนำกลับเมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไป ที่กรด9%จะให้ประสิทธิภาพ 45.2% ส่วนที่กรด 12% จะให้ประสิทธิภาพ 39.6% ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนการแลกเปลี่ยน โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานจึงจะให้ค่าความเข้มข้นกรดล้างที่ 9% โดยน้ำหนัก และใช้อัตราการล้างที่ 4.5 BV/hr

5.4 ผลของ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีต่อเรซินชนิดพิเศษ

จากการทดลองศึกษาเรซินชนิดพิเศษ ช่วงเวลาที่ค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ผ่านแล้วค่าความเข้มข้นของนิกเกิลไม่สามารถถูกกำจัดอย่างหมดสิ้น จึงทำการทดลองศึกษา

โดยให้ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์เป็นตัวแปรในการทดลอง โดยศึกษาค่า pH ว่ามีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลอย่างหมดสิ้นหรือไม่ จึงทำการทดลองโดยใช้เปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่มีเฉพาะโลหะ เป็นจำนวน 4 ค่า คือ pH 3, pH 5, pH 7 และ pH 9 โดยใช้อัตราการแลกเปลี่ยน = 20 BV/hr น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลความเข้มข้นประมาณ 300 มก/ล. ได้ผลจากการศึกษาจากตารางที่ 5.11 สรุปการศึกษาผลของ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชนิดมีโลหะนิกเกิลเฉพาะ ว่า pH ไม่มีผลต่อการกำจัดอย่างหมดสิ้นของเรซินชนิดพิเศษเช่นกัน และที่ pH 7 ของน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้เรซินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออนได้สูงสุด ส่วนที่ pH 9 เรซินไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออนได้เลย ที่ pH 5 จะสามารถแลกเปลี่ยนค่านิกเกิลลองจากค่า pH 7 ส่วนที่ pH 3 สามารถแลกเปลี่ยนได้น้อยที่สุด (ดูกราฟรูปที่ 5.54)

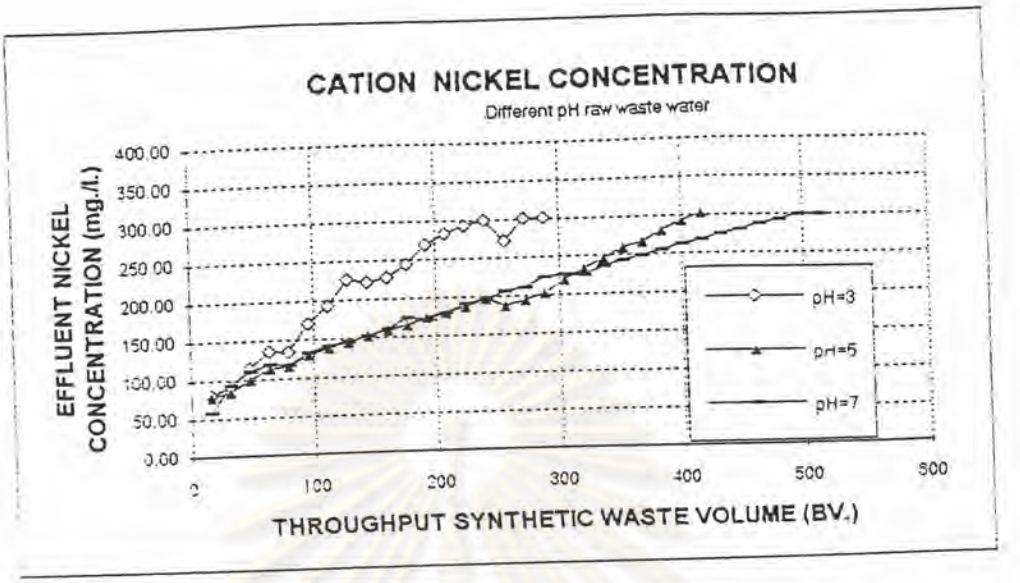
ตารางที่ 5.11 สรุปค่าผลของ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเฉพาะนิกเกิลมีผลต่อการแลกเปลี่ยนเรซินชนิดพิเศษ

สภาพ pH	ปริมาณนิกเกิลที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ได้ (มก.ต่อลิตรเรซิน)	ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่จุดอิ่มตัวในการแลกเปลี่ยน (BV.)
3	25338	288
5	48625	416
7	50488	512
9	-	0

* หมายเหตุ * ข้อมูลจากการทดลองตาราง ที่ผลการทดลองผลของ pH ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีต่อความสามารถ ในการแลกเปลี่ยนไอออนเรซินภาคผนวกที่ ช.

น้ำเสียจากโรงงานที่ใช้ในการทดลองจริง ค่า pH อยู่ในช่วง 7-8 เป็นสภาพที่เหมาะในการแลกเปลี่ยนไอออนเรซินชนิดพิเศษอยู่แล้วจึงไม่ต้องนำมาปรับสภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.54 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่า pH ใดๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

5.5 การทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงาน

จากผลการทดลองที่ผ่านมา เรซินชนิดพิเศษนั้นมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุนิกเกิลได้มากกว่าเรซินชนิดธรรมดา และประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ได้สูงกว่า แต่มีข้อเสีย คือความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลเป็นไปอย่างไม่หมดสิ้นแตกต่างเรซินชนิดธรรมดา ดังนั้นในการนำเรซินชนิดพิเศษมาใช้ในการกำจัดนิกเกิล และการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ จึงต้องหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด เพราะถ้าน้ำเสียจากโรงงานผ่านเรซินชนิดพิเศษ และออกจากโรงงานโดยตรง ถ้านิกเกิลที่เป็นโลหะหนักจะหลุดออกจากโรงงานเป็นจำนวนมาก วิธีการที่จะไม่ให้นิกเกิลดังกล่าวทิ้งไปนั้น คือนำน้ำที่ผ่านนิกเกิลแล้วให้ไหลวนเข้าถังเก็บน้ำเสียโรงงานอีกแล้วค่อยไหลผ่านถังปฏิกรณ์เรซินอีกครั้งเป็นวัฏจักร เพื่อเป็นการลดค่าความเข้มข้นของนิกเกิลที่ออกจากก่อนเข้าถังแคทไอออนเรซิน จนกระทั่งเรซินไม่สามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้อีก แต่จากการศึกษาค่าสภาพ pH ที่เหมาะสม ในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลของเรซินชนิดพิเศษจะอยู่ที่ค่า pH 5-7 ซึ่งสภาพดังกล่าวจะควบคุมยาก ถ้าให้ไหลผ่านเฉพาะเรซินชนิดพิเศษ ดูจากกราฟรูปที่ 5.54 เปรียบเทียบผลของ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ โดยน้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล.ผ่านเฉพาะ

แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ ค่า pH จะมีค่า เท่ากับ 2-3 ซึ่งนำน้ำเสียที่ผ่านเฉพาะแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษลงไปในถังเก็บน้ำเสียจริง ถ้าน้ำเสียจริงมีปริมาตรน้อยจะทำให้ค่า pH ในถังซึ่งประมาณ 7 เปลี่ยนไปดีอลดลงตาม pH ที่เข้าใหม่จนกระทั่งเรซินไม่สามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้ เพื่อยืดอายุการทำงานดังกล่าว และต้องการลดประจุลบเนื่องจาก SO_4^{2-}, Cl^-,บางส่วนจึงให้ผ่านแอนไอออนเรซินก่อนไหลวนกลับสู่ถังเก็บน้ำเสียจริง ซึ่งค่า pH ที่ออกจากถังปฏิกรณ์แอนไอออนเรซินจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 10-12 ในช่วง 50 BV.แรก(จากกราฟรูปที่ 5.54 เปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ของน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ผ่านแอนไอออนเรซินหลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริง 300 มก./ล.) ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการปรับสภาพ pH รูปแบบหนึ่งก่อนนำน้ำเสียเข้าบำบัดด้วยแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ

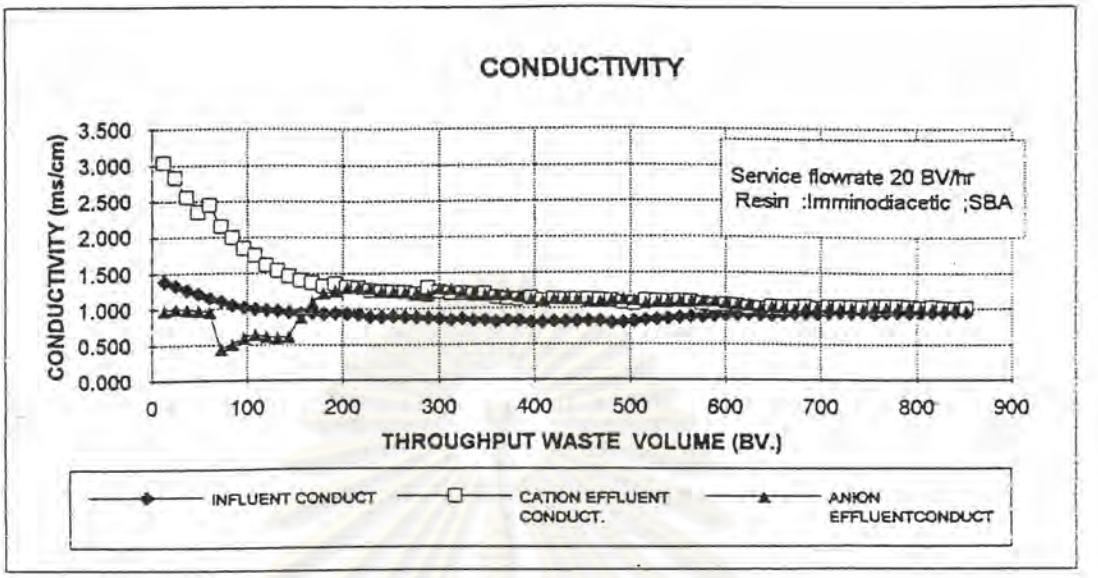
5.5.1 ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริง

จะทำการศึกษาโดยให้ผ่านถังปฏิกรณ์แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ และตามด้วยแอนไอออนเรซิน จากนั้นจะไหลวนกลับเข้าถังเก็บน้ำเสียจริง โดยทำการกวนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาสภาพ pH ให้คงที่ตลอดถังก่อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษอีกครั้ง ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า ค่า pH ค่าความเข้มข้นนิกเกิล ค่าของแข็งละลายก่อนเข้าถังปฏิกรณ์แคทไอออนชนิดพิเศษ หลังจากออกจากถังปฏิกรณ์แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษและแอนไอออนทำการวัดปริมาณนิกเกิลที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และทำการฟื้นอำนาจเรซินเพื่อหาปริมาณ ความเข้มข้นของนิกเกิลที่ล้างออกจากเรซิน ประสิทธิภาพในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ค่าเหมาะสมของอัตราการล้างกรดที่ 4.5 BV/hr และความเข้มข้นกรด 9% โดยน้ำหนัก ซึ่งทำการทดลองได้ผลการทดลองนำเสนอในตารางที่ 1 การทดลองการแลกเปลี่ยนนิกเกิลโดยเรซินชนิดพิเศษสำหรับน้ำเสียจริงจากโรงงาน ภาคผนวกที่ ช.สามารถสรุปในกราฟรูปที่ 5.55 ถึง 5.58 ส่วนช่วงการฟื้นอำนาจเรซิน ผลการทดลองนำเสนอในตารางที่ 2การนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่สำหรับน้ำเสียจริงจากโรงงาน ภาคผนวกที่ ช. สรุปในกราฟรูปที่ 5.59 ถึง 5.62

สรุปจากตารางที่ 1 ภาคผนวกที่ ช.พบว่าปริมาณโลหะนิกเกิลที่แลกเปลี่ยนได้ คือ 72,744 มก/ล.เรซิน ที่ปริมาตรน้ำเสียที่ 852 BV. คิดเป็นค่าความจุอิ่มตัวเฉพาะนิกเกิล 2.48 eq.Ni^{2+}/l. resin และปริมาณนิกเกิลถูกนำกลับมาโดยการล้างด้วยกรด ที่ปริมาตรกรดล้าง 6 BV จำนวน 58,065 มก./ล.เรซิน (ดูจากตารางที่ 2 ภาคผนวก ช.)ประสิทธิภาพในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้เทียบกับการแลกเปลี่ยนนิกเกิลเมื่อล้างเรซินจนหมดคือ 78 % และความเข้มข้นเฉลี่ยนิกเกิลสูงสุดอยู่ที่ 19,359 มก./ล.ที่ปริมาตรกรดล้าง 2.25 BV คิดเป็นปริมาณนิกเกิล 44.5 g. Ni^{2+}/l.resin ประสิทธิในการนำนิกเกิลกลับเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้ไปเท่ากับ 33.7 % เทียบกับประสิทธิภาพในตารางที่ 5.9 การทดลอง โดยน้ำเสียสังเคราะห์

ได้ประสิทธิในการนำนิกเกิลกลับเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้ไปเท่ากับ 45.2 % จากกราฟรูปที่ 5.57 กราฟแสดงความเข้มข้นนิกเกิลก่อน และหลังออกจากถังปฏิกรณ์แคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ ความเข้มข้นสุดท้ายของนิกเกิลจะอยู่ที่ประมาณ 50 มก./ล. เป็นจุดที่เรซินไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ เนื่องจากการปรับสภาพ pH ของน้ำเสียที่เข้าถังน้ำดิบโดยถังแอนไอออนหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสียประมาณ 50 BV โดยดูจากรูปที่ 5.56 ทำให้น้ำเสียที่ไหลกลับเข้าถังมี pH ลดลงประสิทธิภาพในการจับเรซินจึงไม่ดี

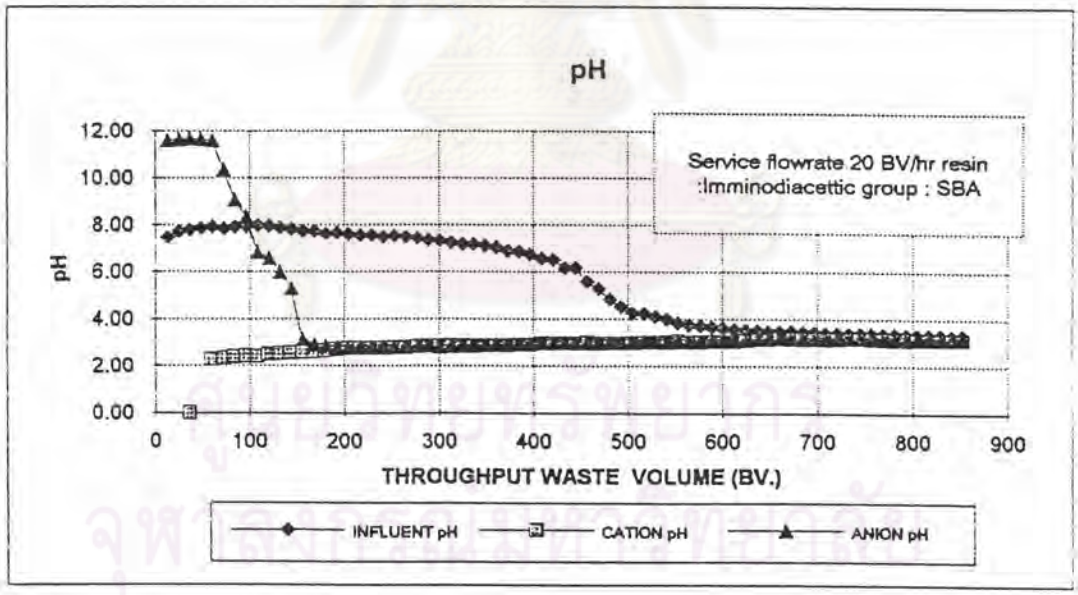
จากตัวอย่างที่นำเรซินชนิดพิเศษ ในการนำโลหะทองแดงจากถังน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่โดยผู้ผลิต(ดูแผนภาพกระบวนการ และข้อมูลจากโรงงานที่ผู้ผลิตเรซินนำไปใช้งาน(ในภาคผนวก ฌ. Schematic representation of the recovery of bivalent metals from rinse water) โดยกระบวนการจะเริ่มจากน้ำเสียจะออกจากถังน้ำล้างความเข้มข้นประมาณ 10-100 mg.Me^{2+}/l. จากนั้นจะทำการปรับ pH แล้วผ่านถังกรองทรายจากนั้นจึงทำการกำจัดโลหะหนัก โดยผ่านถังแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ Lewatit TP207 จำนวน 2 ถังจะได้ค่าโลหะทองแดงน้อยกว่า 50 ppb (ส่วนใน10ล้านส่วน) จากข้อมูลน้ำเสียจะมีค่า pH 1.8-2 มีกรด H_2SO_4 โลหะหนักประกอบด้วยทองแดง CU^{2+} ประมาณ 300-700 ppm. ประจุ Ca^{2+},Zn^{2+}, Fe^{2+} รวมกัน 100 ppm.รูปแบบของเรซินจะอยู่ในรูป H-Form (ดูภาคผนวก ฌ. Lewatit Prosible appplication forms)อัตราการแลกเปลี่ยนที่ใช้ 20 BV./hr ซึ่งจะให้ค่าความจุปฏิบัติงาน = 50 g.Cu^{2+}/l.resin ในรูป H-Form การรีเจนเนอเรชันใช้กรดH_2SO_4 15% จำนวน 2 BV. โดยสามารถนำสารละลายโลหะทองแดงกลับมาใช้ในถังชุบใหม่ ความเข้มข้น 40-45 g.Cu^{2+} /l. จำนวน 0.5-1.5 BV.จากข้อมูลข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ ในการวิจัยพบว่าเรซิน TP207 จะมีการแลกเปลี่ยน Cu^{2+} ได้ดีกว่า Ni^{2+}(ดู Selectivity ของเรซินได้ในภาคผนวก ฌ. Functional group and selectivity) ซึ่งหาค่าความจุปฏิบัติงานได้ถึง 50 g. Cu^{2+}/l.resinและมีค่าความเข้มข้นที่ทางออก Me^{2+} น้อยกว่า 50 ppb.ตลอดอัตราการไหล 20 BV./hr ซึ่งจากการวิจัยใช้ค่าความเข้มข้นNi^{2+} 300 ppm. อัตราการแลกเปลี่ยน 20 BV./hr จะไม่สามารถหาค่าความจุปฏิบัติงานได้แต่สามารถหาค่าความจุรวมได้เท่ากับ 2.48 eq.NI^{2+}/l.resin หรือ 72.7 g.Ni^{2+}/l.resin ส่วนในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ที่ค่าความเข้มรวมสูงสุด 19.3 g.Ni^{2+} /l ปริมาตร 2.25 BV.เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานจากผู้ผลิตแล้วจะมีค่าความเข้มข้นนิกเกิลของการวิจัยจะต่ำกว่าทั้งนี้อาจจะเกิดจากความเข้มข้นกรดในการวิจัยใช้เพียง 9% แต่การใช้งานของผู้ผลิตใช้ถึง 15%การปรับสภาพจากผู้ผลิตใช้ทำการล้างด้วย NaOH อยู่ในรูป Mono-Na-Form เพื่อทำการปรับสภาพ น้ำที่ออกจากแคทไอออนเรซินจะมี pHใกล้เคียง 7



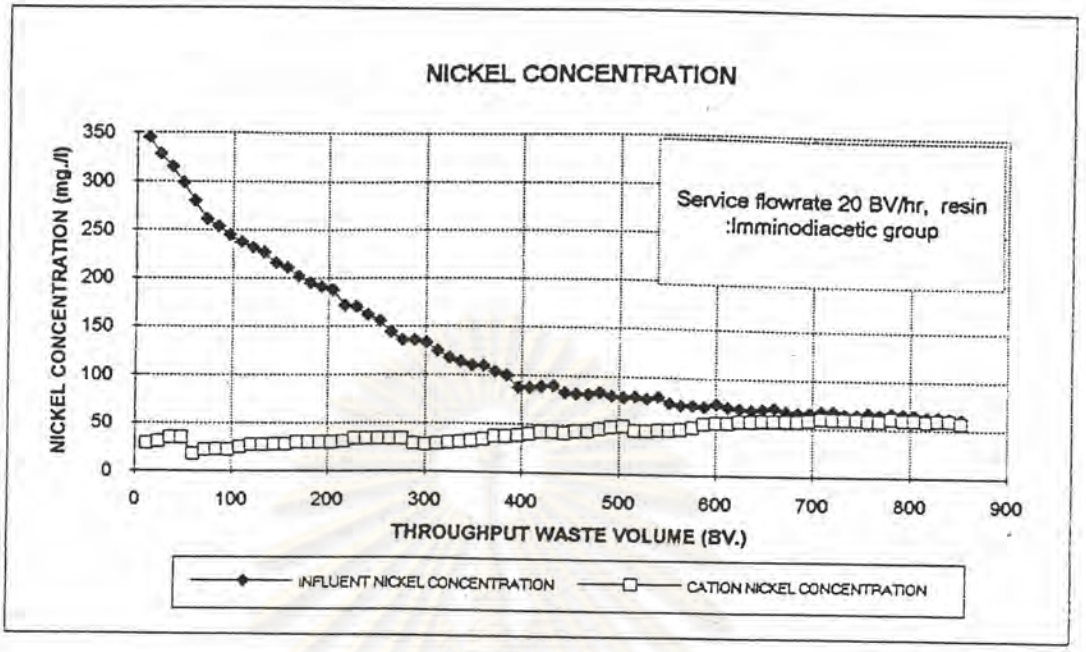
รูปที่ 5.55 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าในการทดลองน้ำเสียจริง

ตัวอย่างที่ 2 เป็นการนำเรซินชนิดพิเศษ ไปใช้ในการกำจัดโลหะหนักส่วนที่เหลือจากการกำจัดก๊าซ ที่มีโลหะหนักปนอยู่ โดยใช้น้ำ (ดูแผนภาพ และข้อมูลประกอบในภาคผนวก ฌ. Removal of residual heavy metals from flue gas scrubbing water with lewatit selective resin) เมื่อน้ำที่ออกจาก Gas scrubber จะผ่าน Filter และผ่านแคทไอออนเรซิน TP214 จำนวน 2 ถัง จากนั้นจึงทำการตกตะกอนความขุ่นจากสารแขวนลอยต่าง ๆโดยใช้ปูนขาว (Lime slurry) ต่อด้วยกระบวนการรวมตะกอนที่ pH 8.5-9 และทำการตกตะกอนในถัง Sedimentation เสร็จแล้วน้ำใสจะนำไปปรับ pH เพื่อตกตะกอนอีกครั้งที่ประมาณ 6.5-7 ด้วย HCl แล้วทำการตกตะกอนที่ ถัง Clarifier น้ำใสจะผ่าน Sand filter และผ่านแคทไอออนเรซิน TP207 จำนวน 2ถังก่อนนำไปปล่อยลงในแหล่งน้ำผิวดิน จากข้อมูลผู้ผลิตใช้เรซิน TP207 เพื่อการแลกเปลี่ยน Cu^{2+},Ni^{2+},Zn^{2+},Cd^{2+},Mn^{2+}และCO^{2+} และใช้เรซินTP214เพื่อดูดซับHg^{2+} สภาพน้ำเสียที่เข้าระบบ pH 6-7 ค่าความเข้มข้น Ca^{2+} มากถึง 20 g./l และใช้อัตราการแลกเปลี่ยน (Exhaustion flowrate) 20 BV./hr ต่อยูนิต โดยสามารถกำจัด Cu^{2+},Ni^{2+},Zn^{2+},Mn^{2+},CO^{2+}ให้เหลือน้อยกว่า 50 ppb. และกำจัด Cd^{2+},Hg^{2+}ให้เหลือน้อยกว่าน้อยกว่า 5 ppb. โดยจุดเบรกทรูอยู่ที่ค่า Cd^{2+} น้อยกว่า 50 ppb ที่ถัง TP207 ในยูนิตแรกค่าความจุปฏิบัติงานวัดที่เรซิน Lewatit TP207 คือ 15-25 g.Heavy metal/l.resin การรีเจนเนอเรชันและการปรับ

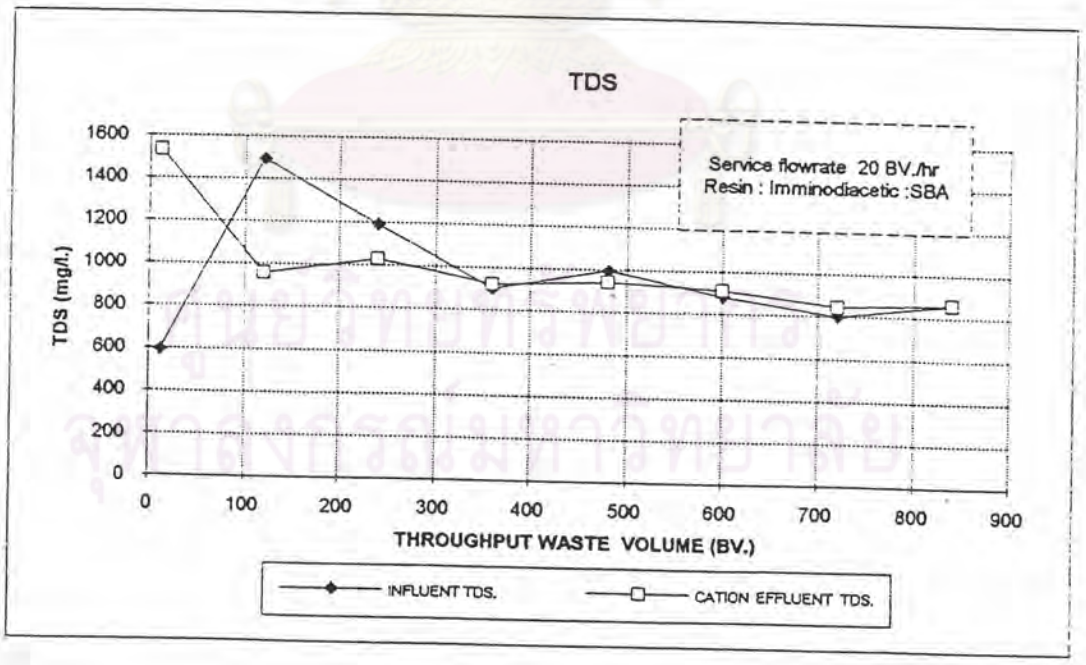
สภาพที่เรซิน TP207จะใช้กรด HCl 7.5% จำนวน 2 BV. การปรับสภาพ จะใช้ NaOH 4% จำนวน 2.2 BV.ให้เรซินอยู่ในสภาพ Di-Na-Form (ดูในภาคผนวก ฌ.การรีเจนเนอเรชั่น - TP207 Possible application form)จากผู้ผลิต ค่า pH ออกจากเรซิน = 8-9 จากการเปรียบเทียบกับการวิจัยอัตราการแลกเปลี่ยนใช้ 20 BV./hr เท่ากัน แต่ความเข้มข้นโลหะหนักจะมีค่าต่ำกว่าที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เพราะก่อนที่จะทำการบำบัดด้วยเรซินจะผ่านกระบวนการตกตะกอนโดยการปรับpH ด้วยการเติมปูนขาวซึ่งโลหะนิกเกิลจะลดลงจาก 200-300 mg./l. เหลือ 0.1-5 mg./l. แต่ในการวิจัยใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้น นิกเกิล 300 mg./l. ทำให้ไม่สามารถกำจัดนิกเกิลอย่างหมดสิ้นได้ทำให้มีสามารถหาความจุเบรกทรูหรือความจุปฏิบัติการจากการทดลองแต่จากตัวอย่างในกรณีนี้หาความจุเบรกทรูได้ 15-25 g. heavy metal /l.resin ในกรณีนี้ไม่ได้ระบุการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่



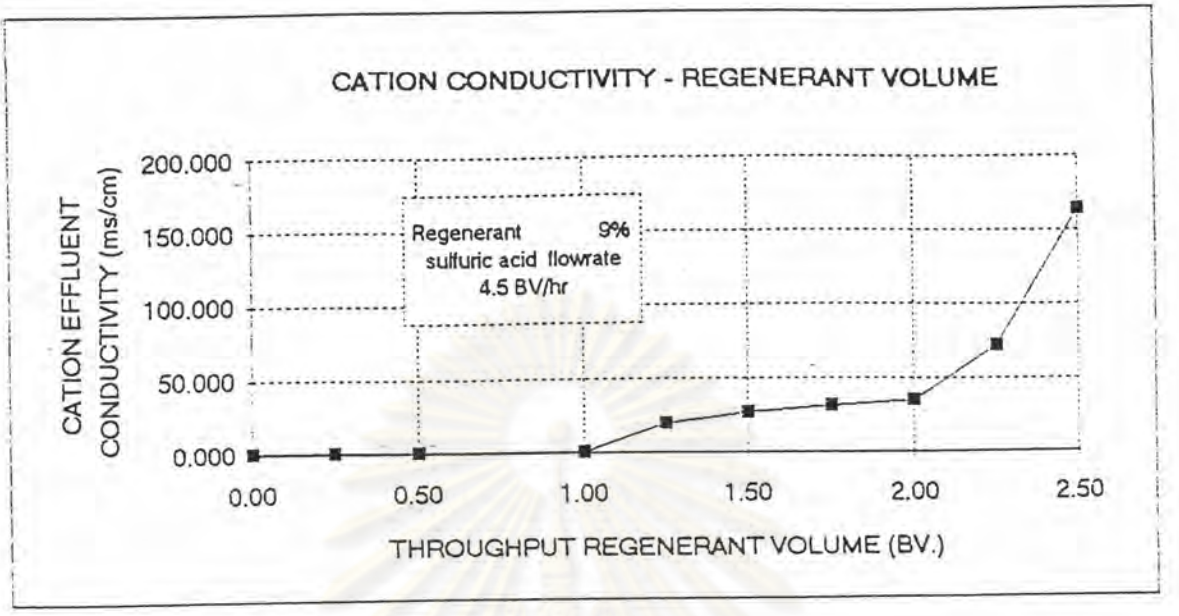
รูปที่ 5.56 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ในการทดลองน้ำเสียจริง



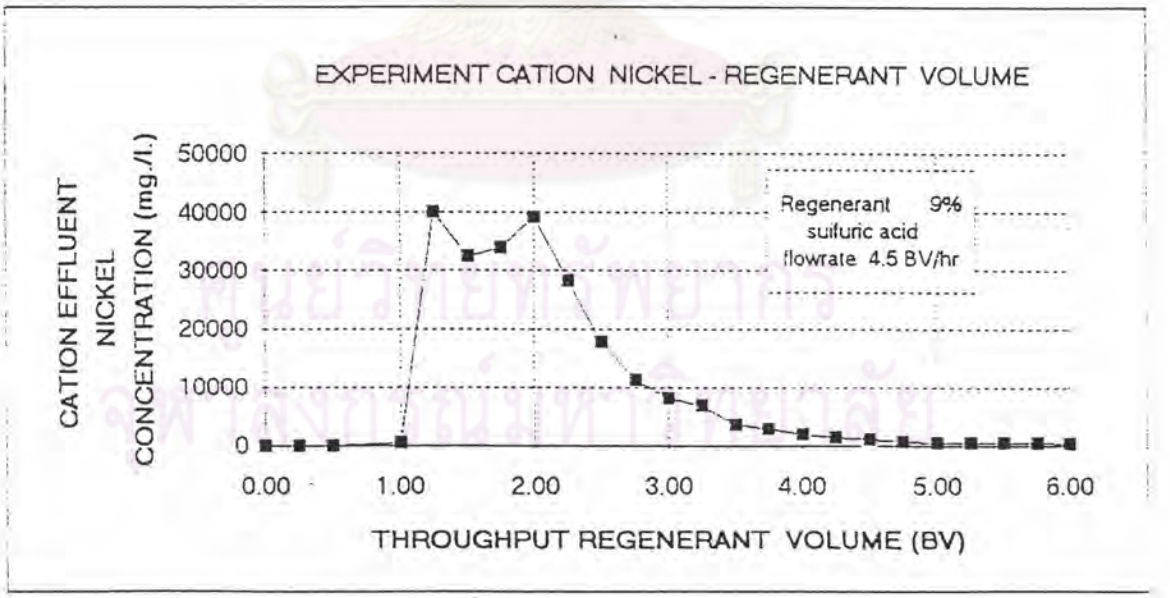
รูปที่ 5.57 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลในการทดลองน้ำเสียจริง



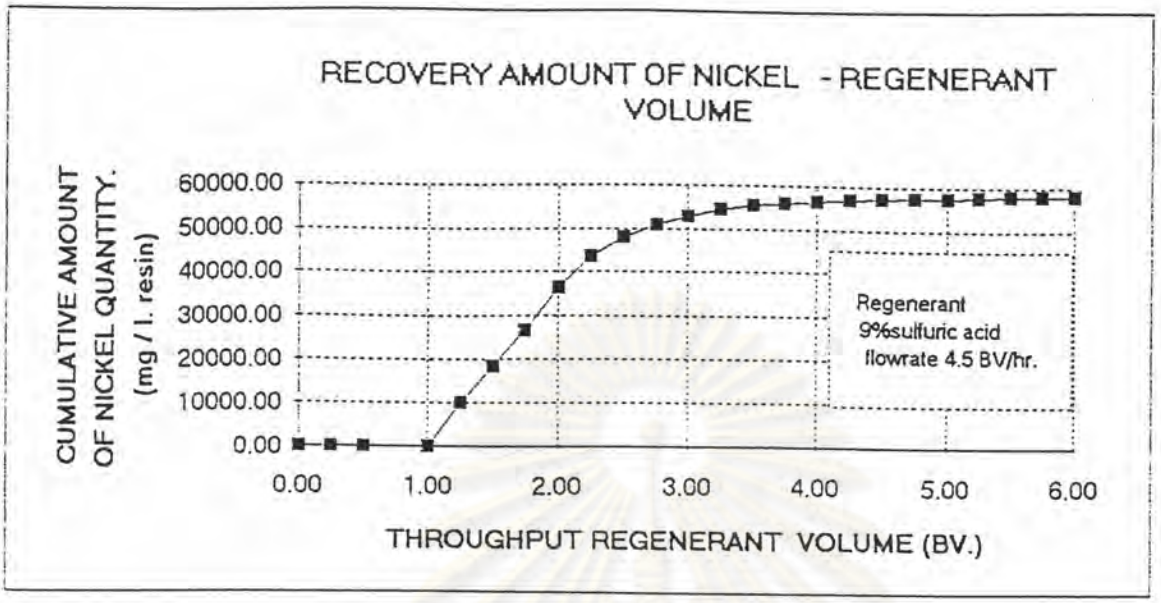
รูปที่ 5.58 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลายในการทดลองน้ำเสียจริง



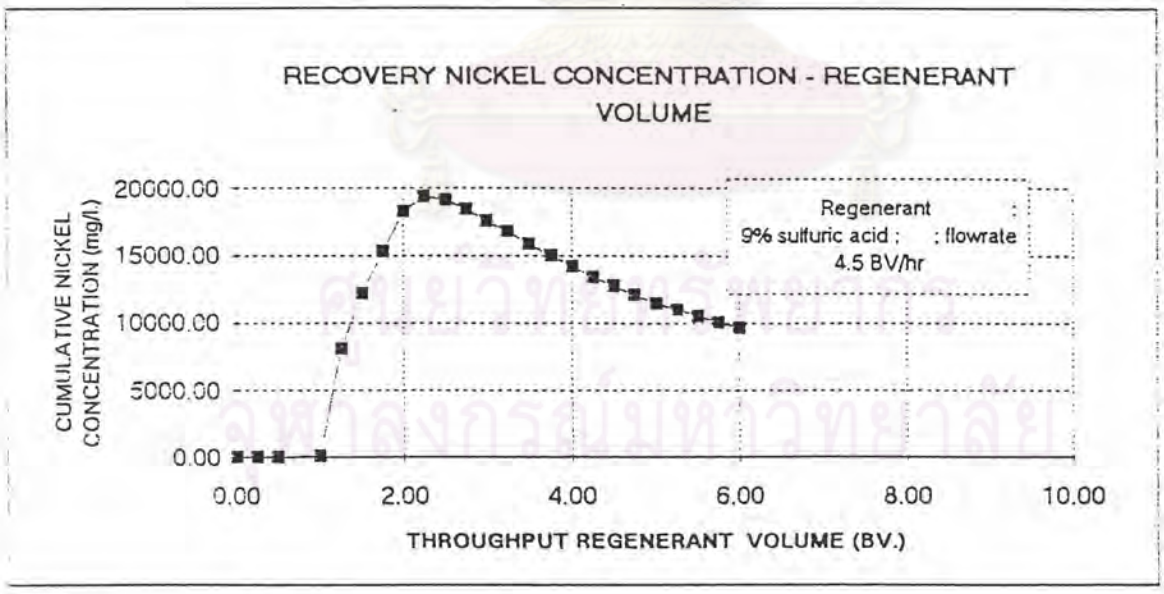
รูปที่ 5.59 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง



รูปที่ 5.60 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง



รูปที่ 5.61 กราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณนิกเกิลช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง



รูปที่ 5.62 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลเฉลี่ยช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง