

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองและปริมาณการกรอง

ผลการวิจัยนี้ได้จากการทดลอง โดยการนำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความเป็นกรดต่าง 2) อุณหภูมิ และ 3) อัตราการไหล ไปออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน 3 ระดับ 3 ปัจจัย เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกรองและปริมาณการกรอง ซึ่งเมื่อทำการทดลองการล้างเมมเบรนตามการออกแบบการทดลองครบทั้ง 54 การทดลอง และเก็บข้อมูลก่อนและหลังการล้างเมมเบรนเพื่อคำนวณผลต่างของค่าประสิทธิภาพการกรองและผลต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้หรือค่าประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองที่ได้เพิ่มขึ้น ได้ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลต่างของค่าประสิทธิภาพการกรองและผลต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองที่ได้จากการทดลอง

ลำดับการทดลอง	ลำดับการมาตรฐาน	ลำดับการ	Blocks	pH	Temperature (°C)	Flow Rate (Liters/min)	Difference %Salt Rejection	Difference %Recovery
1	19	1	1	11	25	500	0.04	0.45
2	24	1	1	11.5	25	500	0.01	0.00
3	25	1	1	12	25	500	-0.05	0.00
4	5	1	1	11	30	500	0.03	0.00
5	22	1	1	11.5	30	500	0.13	0.41
6	12	1	1	12	30	500	0.13	0.00
7	7	1	1	11	35	500	0.19	0.84
8	9	1	1	11.5	35	500	0.21	0.41
9	6	1	1	12	35	500	0.24	0.84
10	20	1	1	11	25	625	0.03	0.00
11	11	1	1	11.5	25	625	0.11	0.44
12	23	1	1	12	25	625	0.04	0.00
13	8	1	1	11	30	625	0.15	0.41
14	17	1	1	11.5	30	625	0.15	0.84
15	16	1	1	12	30	625	0.16	0.84
16	1	1	1	11	35	625	0.26	0.84
17	14	1	1	11.5	35	625	0.26	0.84

ตาราง 4.1 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการต้ม	Blocks	pH	Temperature (°C)	Flow Rate (Liters/min)	Diff. %Salt Rejection	Diff %Recovery
18	27	1	12	35	625	0.38	0.84
19	2	1	11	25	750	0.07	0.43
20	21	1	11.5	25	750	0.11	0.43
21	13	1	12	25	750	0.06	0.00
22	4	1	11	30	750	0.18	0.41
23	15	1	11.5	30	750	0.20	0.41
24	3	1	12	30	750	0.23	0.84
25	26	1	11	35	750	0.31	0.84
26	10	1	11.5	35	750	0.26	0.40
27	18	1	12	35	750	0.33	0.84
28	35	2	11	25	500	0.04	0.43
29	33	2	11.5	25	500	0.01	0.00
30	36	2	12	25	500	0.01	0.43
31	39	2	11	30	500	0.10	0.43
32	47	2	11.5	30	500	0.11	0.41
33	40	2	12	30	500	0.20	0.43
34	53	2	11	35	500	0.17	0.84
35	44	2	11.5	35	500	0.26	0.84
36	52	2	12	35	500	0.28	0.84
37	51	2	11	25	625	0.10	0.43
38	37	2	11.5	25	625	0.11	0.41
39	29	2	12	25	625	0.12	0.43
40	48	2	11	30	625	0.34	0.84
41	38	2	11.5	30	625	0.14	0.00
42	31	2	12	30	625	0.34	2.20
43	42	2	11	35	625	0.32	1.73
44	45	2	11.5	35	625	0.30	0.84
45	32	2	12	35	625	0.37	1.24
46	28	2	11	25	750	0.02	0.00
47	30	2	11.5	25	750	0.15	0.87
48	34	2	12	25	750	0.13	0.00
49	54	2	11	30	750	0.16	0.44
50	50	2	11.5	30	750	0.22	0.84
51	41	2	12	30	750	0.25	1.28
52	49	2	11	35	750	0.29	0.84
53	43	2	11.5	35	750	0.32	0.84
54	46	2	12	35	750	0.37	1.28

เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรอง ผู้ศึกษาค้นคว้าได้เลือกใช้โปรแกรม MINITAB Release 14 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อผลตอบทางด้านประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรอง (คิดในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงหลังจากการล้าง) โดยนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า P-Value จะได้ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตาราง 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตาราง 4.2 ค่า P-Value ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น

General Linear Model: Diff. %SR versus Blocks, pH, ...

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	2	1, 2
pH	fixed	3	11.0, 11.5, 12.0
Temperature	fixed	3	25, 30, 35
Flow Rate	fixed	3	500, 625, 750

Analysis of Variance for Diff. %SR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.018891	0.018891	0.018891	12.05	0.002
pH	2	0.018011	0.018011	0.009006	5.74	0.009
Temperature	2	0.447078	0.447078	0.223539	142.59	0.000
Flow Rate	2	0.090144	0.090144	0.045072	28.75	0.000
pH*Temperature	4	0.017978	0.017978	0.004494	2.87	0.043
pH*Flow Rate	4	0.006811	0.006811	0.001703	1.09	0.384
Temperature*Flow Rate	4	0.000744	0.000744	0.000186	0.12	0.975
pH*Temperature*Flow Rate	8	0.020933	0.020933	0.002617	1.67	0.154
Error	26	0.040759	0.040759	0.001568		
Total	53	0.661350				

S = 0.0395937 R-Sq = 93.84% R-Sq(adj) = 87.44%

จากตาราง 4.2 สังเกตค่า P-Value ของปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองในระดับที่มีนัยสำคัญ ซึ่งได้ผลดังนี้

- 1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง
- 2) อุณหภูมิ
- 3) อัตราการไหล
- 4) อันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิ

ตาราง 4.3 ค่า P-Value ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้

General Linear Model: Diff. %Recovery versus Blocks, pH, ...

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	2	1, 2
pH	fixed	3	11.0, 11.5, 12.0
Temperature	fixed	3	25, 30, 35
Flow Rate	fixed	3	500, 625, 750

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.79692	0.79692	0.79692	9.52	0.005
pH	2	0.27940	0.27940	0.13970	1.67	0.208
Temperature	2	3.51951	3.51951	1.75976	21.02	0.000
Flow Rate	2	0.87536	0.87536	0.43768	5.23	0.012
pH*Temperature	4	1.12733	1.12733	0.28183	3.37	0.024
pH*Flow Rate	4	0.33262	0.33262	0.08315	0.99	0.429
Temperature*Flow Rate	4	0.47611	0.47611	0.11903	1.42	0.255
pH*Temperature*Flow Rate	8	1.24668	1.24668	0.15584	1.86	0.110
Error	26	2.17708	2.17708	0.08373		
Total	53	10.83101				

S = 0.289368 R-Sq = 79.90% R-Sq(adj) = 59.03%

จากตาราง 4.3 สังเกตค่า P-Value ของปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงจะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณการกรองในระดับที่มีนัยสำคัญ ซึ่งได้ผล ดังนี้

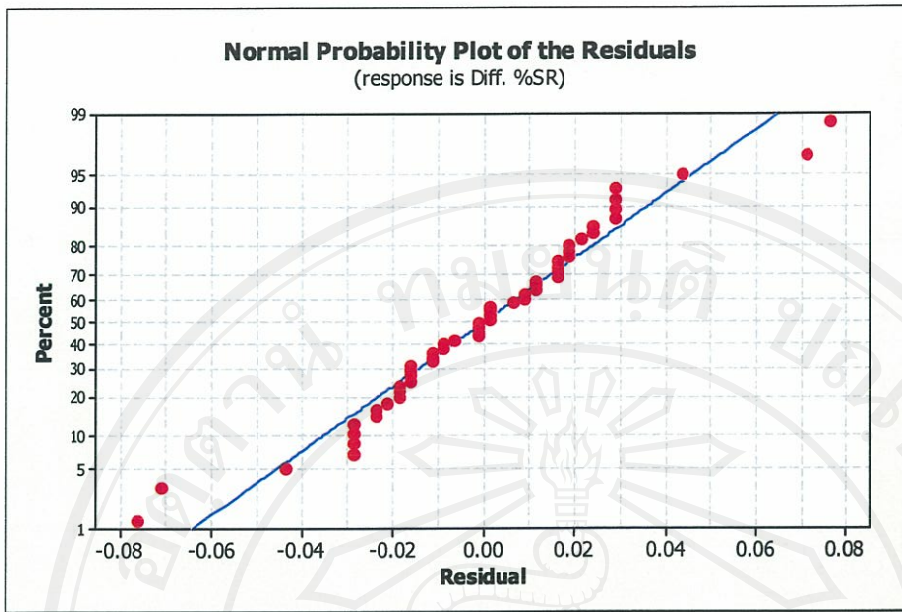
- 1) อุณหภูมิ
- 2) อัตราการไหล
- 3) อันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิ

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

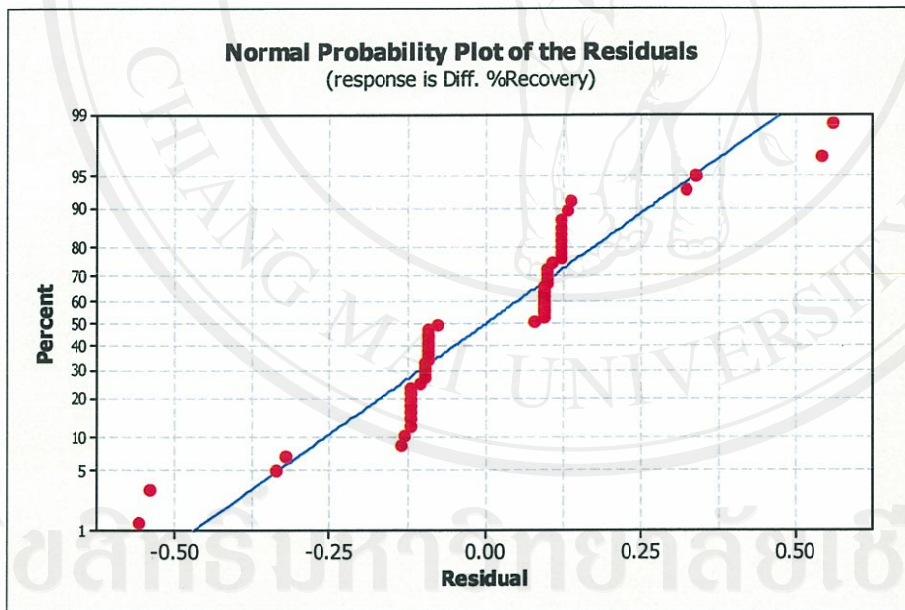
การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง โดยต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลดังนี้

- 4.2.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูล ซึ่งจากรูป 4.1 แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างจากผลการทดลองค่าประสิทธิภาพการกรองส่วนใหญ่อยู่บนเส้นตรง แสดงว่าการกระจายแบบแจกแจงปกติ

ในส่วนเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น จากรูป 4.2 ซึ่งจากราฟแล้วส่วนตกค้างส่วนใหญ่ไม่อยู่บนเส้นตรง แสดงว่ามีการกระจายแบบแจกแจงแบบไม่ปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากเครื่องในการเก็บข้อมูลไม่ละเอียดเพียงพอ ทำให้ข้อมูลไม่แตกต่างกันมากนัก



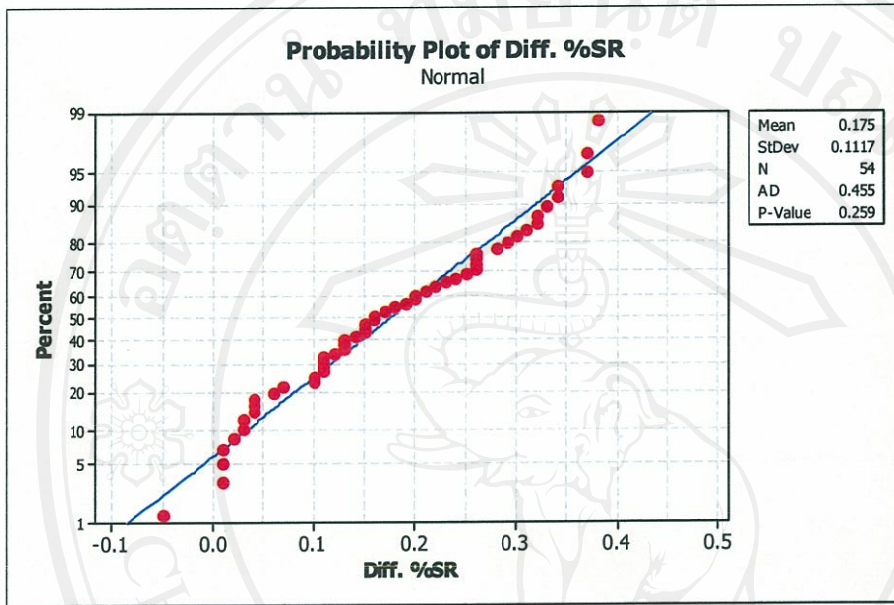
รูป 4.1 การกระจายแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น



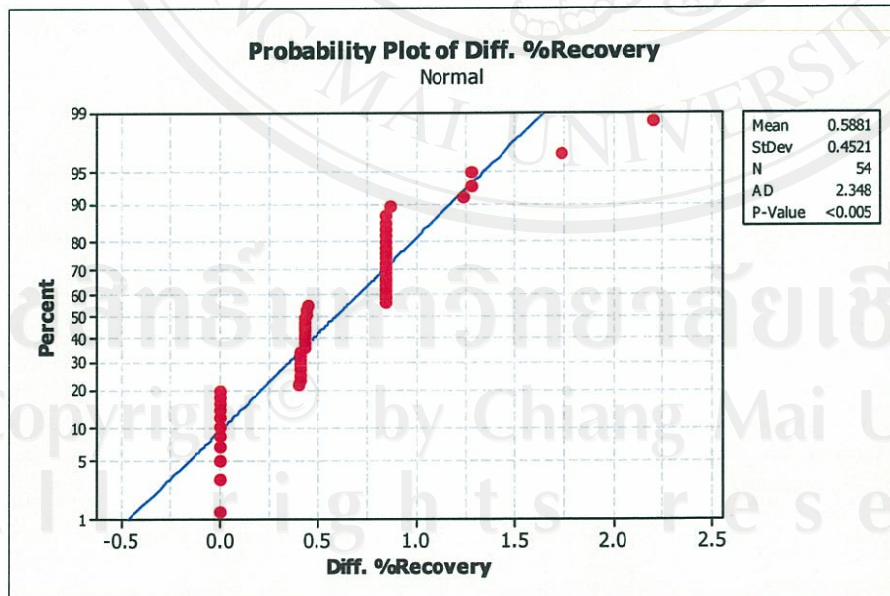
รูป 4.2 การกระจายแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
All rights reserved

และการทำ Normality Test เพื่อตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ซึ่งมีการเปรียบเทียบค่า P-Value กับค่านัยสำคัญ (0.05) โดยจากรูป 4.3 แสดงให้เห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่ามีการกระจายแบบปกติ และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.259 มากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 แสดงว่ามีการกระจายแบบปกติ



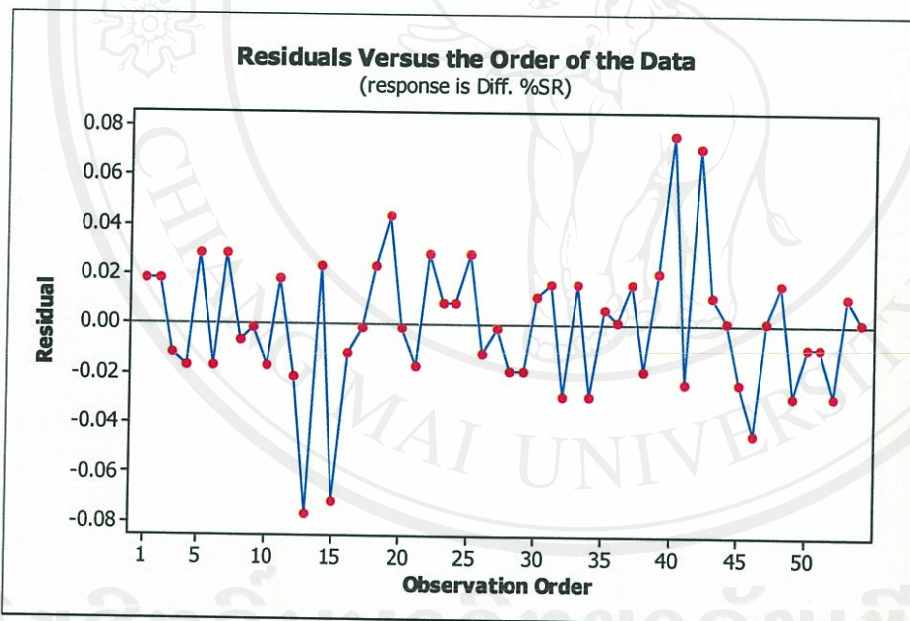
รูป 4.3 การกระจายแบบปกติของข้อมูลในด้านประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น



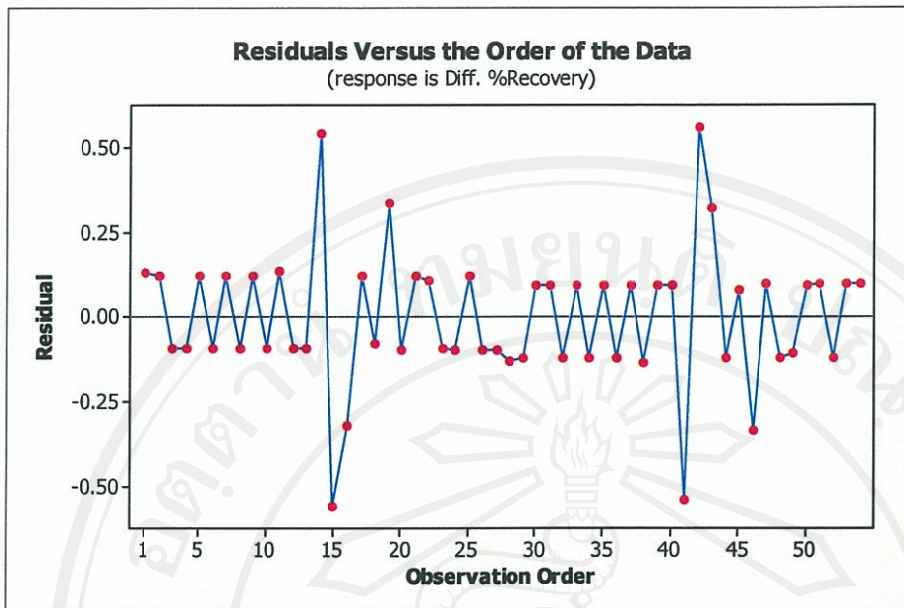
รูป 4.4 การกระจายแบบปกติของข้อมูลของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น

แต่ในส่วนของการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติในด้านผลตอบปริมาณการกรอง พบว่า กราฟมีลักษณะต่างไปจากเส้นตรง และค่า P-Value น้อยกว่าค่านัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลไม่มีการกระจายแบบปกติ ดังรูป 4.4 ซึ่งเป็นผลมาจากอุปกรณ์ในเก็บข้อมูลในส่วนของอัตราการไหลมีความละเอียดไม่เพียงพอ ทำให้ค่าผลตอบในแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลทำให้ข้อมูลไม่อยู่บนเส้นตรง ซึ่งอาจมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ซึ่งดูลักษณะการกระจายตัวของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ จากรูป 4.5 และ 4.6 ส่วนตกค้างของผลการทดลองค่าประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ มีการกระจายตัวแบบสุ่ม และไม่มีแนวโน้ม แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

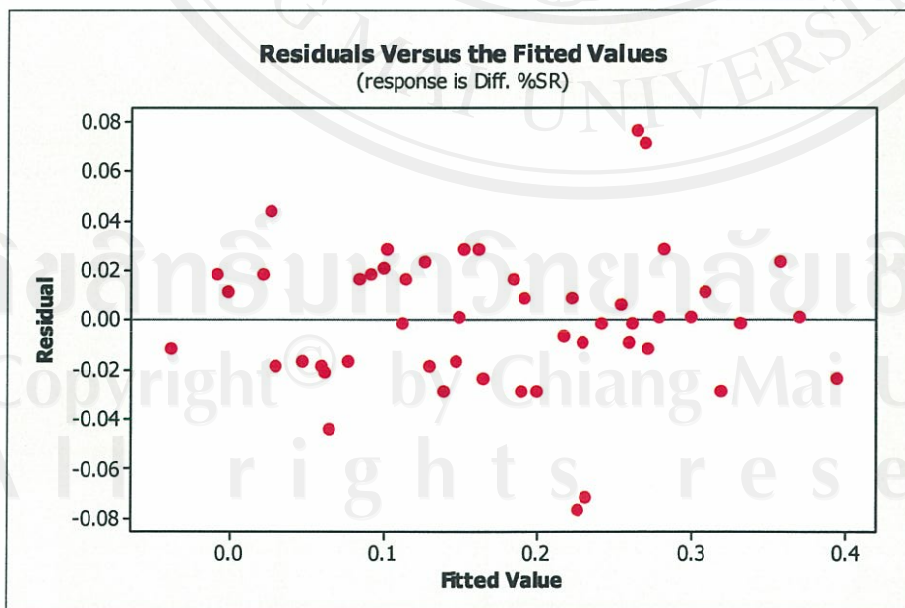


รูป 4.5 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูลประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น



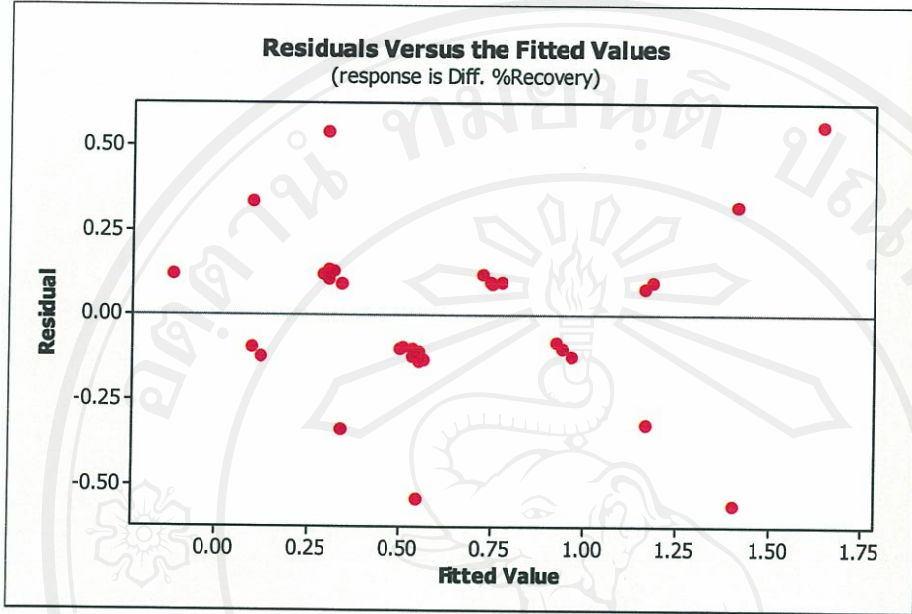
รูป 4.6 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น

- 4.2.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัย พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองค่าประสิทธิภาพการกรองมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งบวกและลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังรูป 4.7



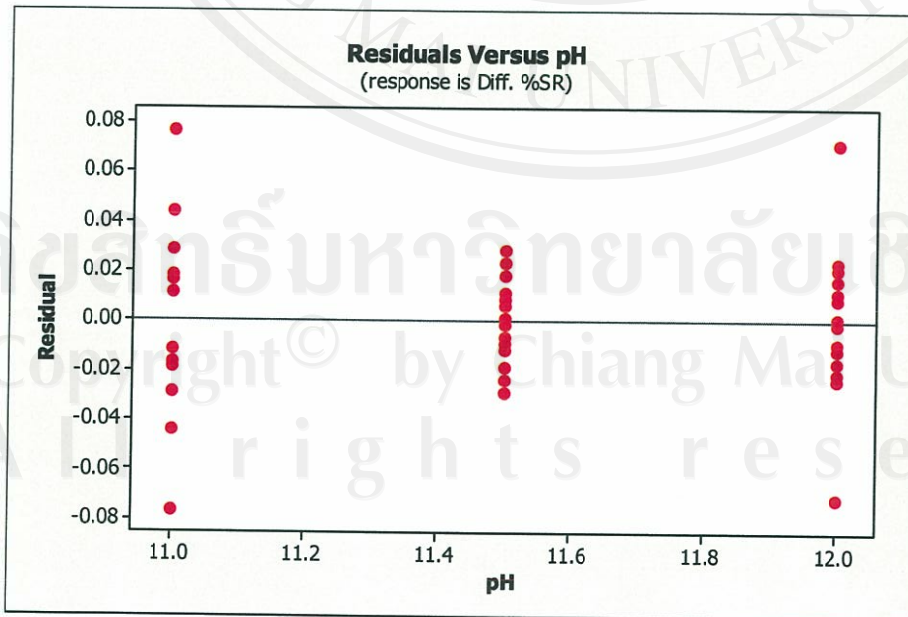
รูป 4.7 กราฟส่วนตกค้างกับค่าทำนายของประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น

ในส่วนเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ก็เช่นกันที่เพิ่มขึ้นมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังรูป 4.8

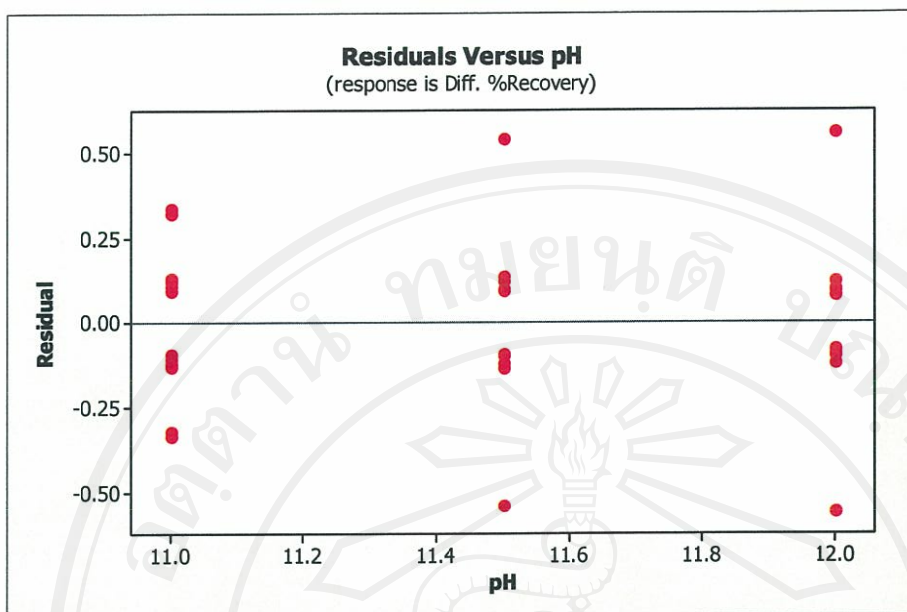


รูป 4.8 กราฟส่วนตกค้างกับค่าทำนายของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น

สำหรับรูป 4.9–4.14 แสดงถึงลักษณะความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างกับปัจจัยในการทดลอง

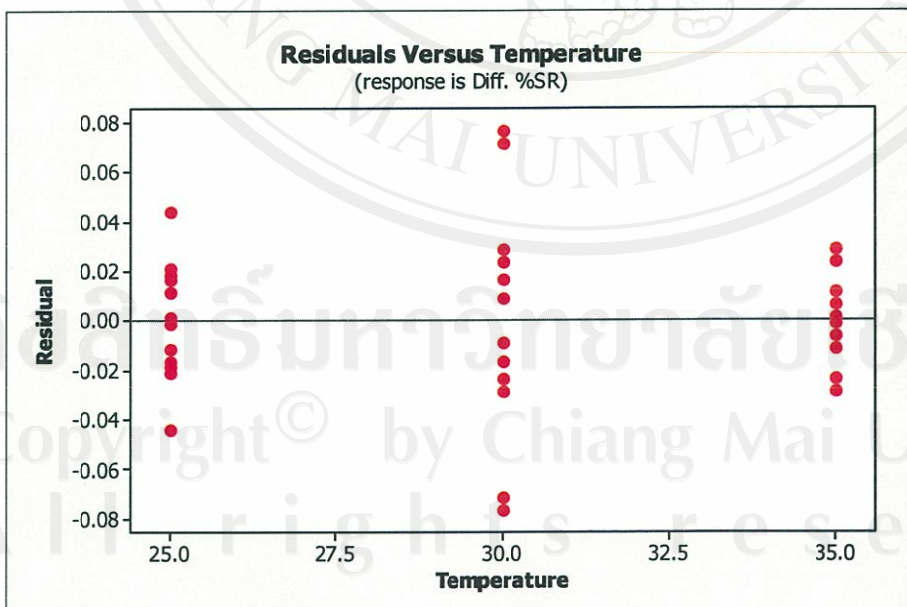


รูป 4.9 ส่วนตกค้างกับค่าความเป็นกรดค่า (ผลตอบประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น)

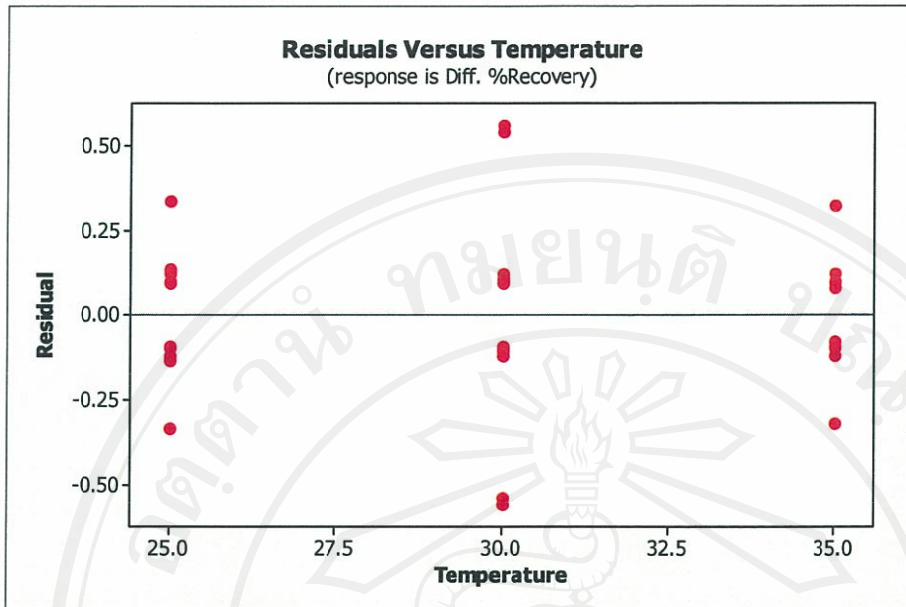


รูป 4.10 ส่วนตกค้างกับค่าความเป็นกรดค่า (ผลตอบเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น)

จากรูป 4.9 และ 4.10 จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีช่วงความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ แสดงว่าค่าความเป็นกรดค่าของสารเคมีไม่มีความแตกต่างในความแปรปรวน คือ ข้อมูลมีความเสถียรในความแปรปรวน

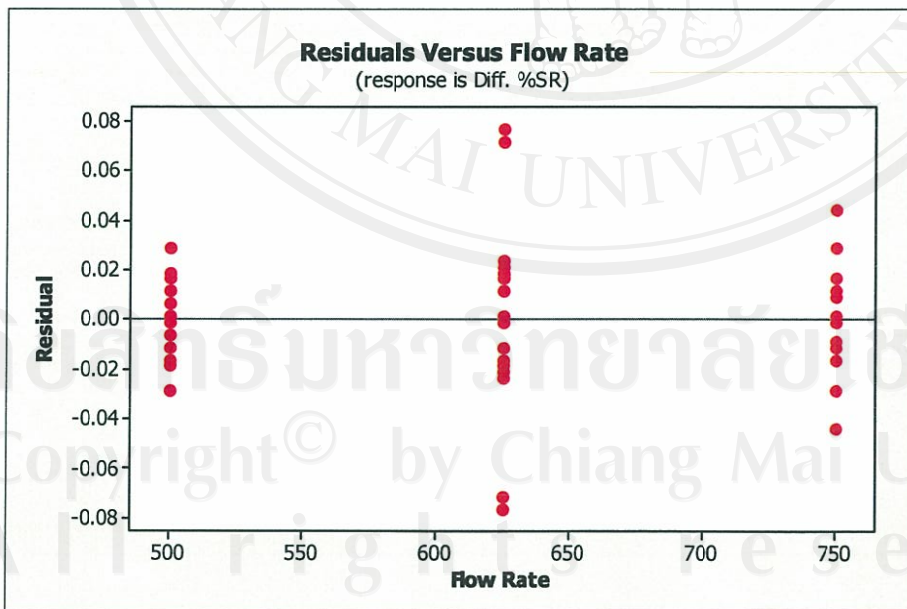


รูป 4.11 ส่วนตกค้างกับค่าอุณหภูมิ (ผลตอบประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น)

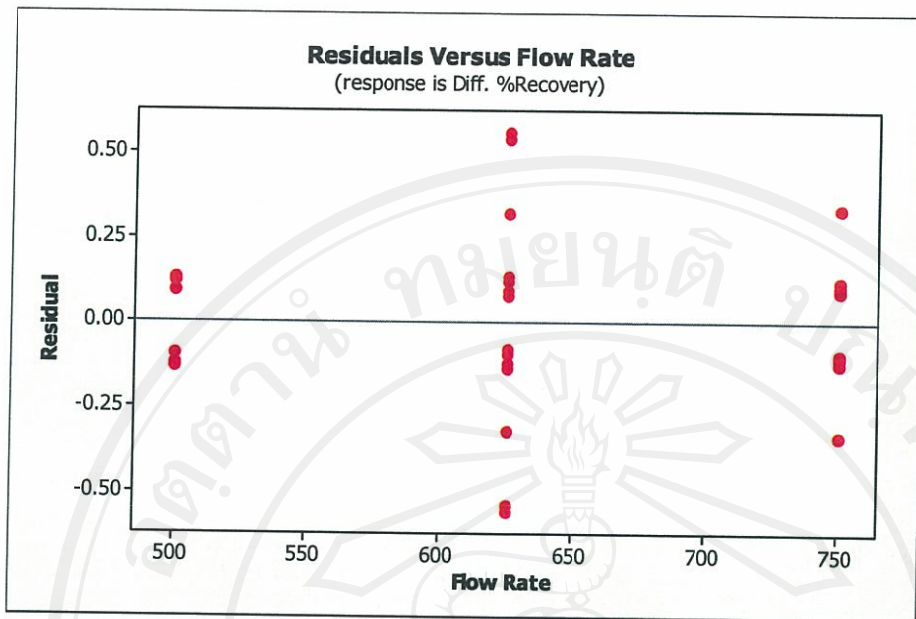


รูป 4.12 ส่วนตกค้างกับค่าอุณหภูมิ (ผลตอบเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น)

จากรูป 4.11 และ 4.12 จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีช่วงความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ แสดงว่าค่าอุณหภูมิของสารเคมีไม่มีความแตกต่างในความแปรปรวน คือ ข้อมูลมีความเสถียรในความแปรปรวน



รูป 4.13 ส่วนตกค้างกับอัตราการไหล (ผลตอบประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น)



รูป 4.14 ส่วนตกค้างกับอัตราการไหล (ผลตอบเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น)

จากรูป 4.13 และ 4.14 จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีช่วงความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ แสดงว่าอัตราการไหลของสารเคมีไม่มีความแตกต่างในความแปรปรวน คือ ข้อมูลมีความเสถียรในความแปรปรวน

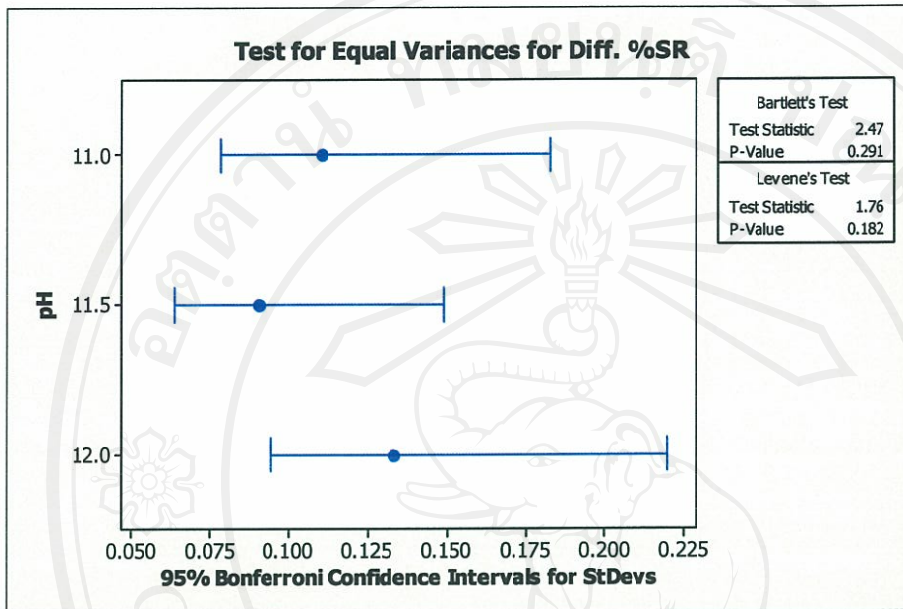
4.3 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมแล้วทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ซึ่งจากตาราง 4.2 และ 4.3 ที่ผ่านมานั้นค่า R-Square ของการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 93.84 % และ 79.90 % สำหรับผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมดี

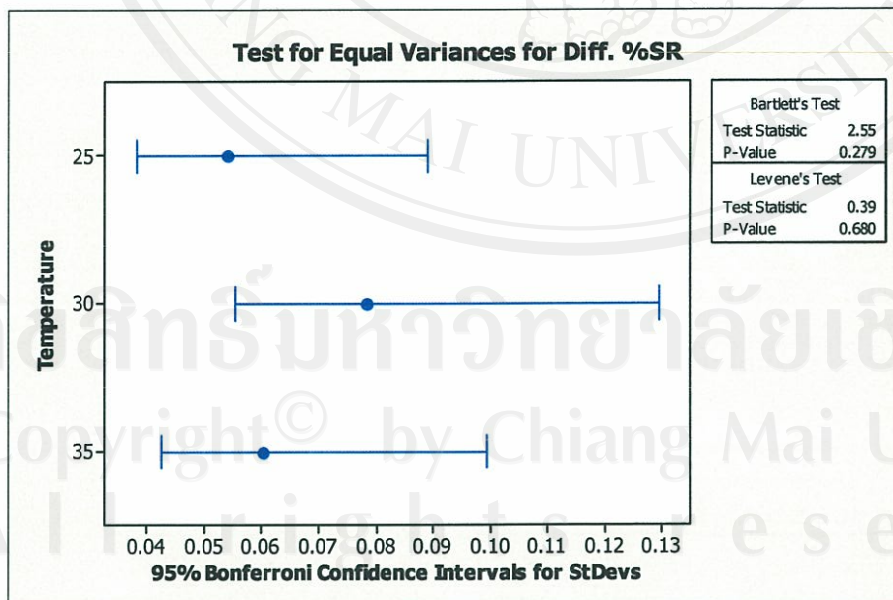
4.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อเป็นการตรวจสอบแหล่งแปรผันของแบบจำลอง ซึ่งหลังจากประมวลผลแล้วตามตาราง 4.2 โปรแกรม MINITAB Release 14 จะคำนวณค่า P-Value มาให้สำหรับเปรียบเทียบกับค่า α ที่กำหนด สำหรับการค้นคว้าแบบอิสระนี้ได้กำหนดไว้ที่ 0.05 ซึ่งจากตาราง 4.2 ค่า P-Value ของ Blocks = 0.002 แสดงว่าปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ไม่มีผลต่อแบบจำลอง

การทดสอบความแปรปรวนโดยใช้ Test of Equal Variance ซึ่งได้กราฟและค่า P-Value ของข้อมูล ดังรูป 4.15 โดยในส่วนของ Levene's Test นั้นค่า P-Value เท่ากับ 0.182 มากกว่า 0.05 แสดงว่า ข้อมูลไม่มีความแปรปรวน

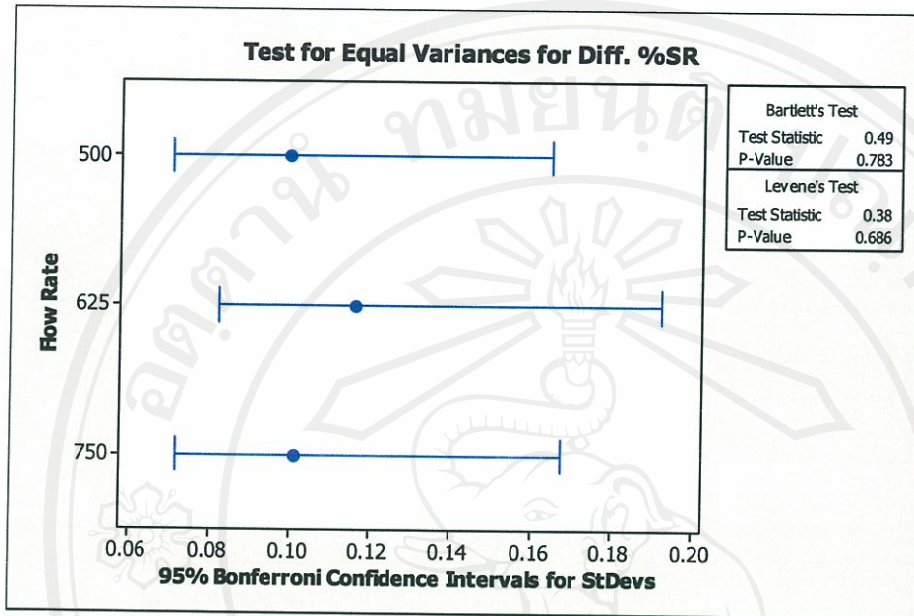


รูป 4.15 การทดสอบความแปรปรวนของความเป็นกรด-ด่าง (ผลตอบประสิทธิภาพการกรอง)



รูป 4.16 การทดสอบความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิ (ผลตอบประสิทธิภาพการกรอง)

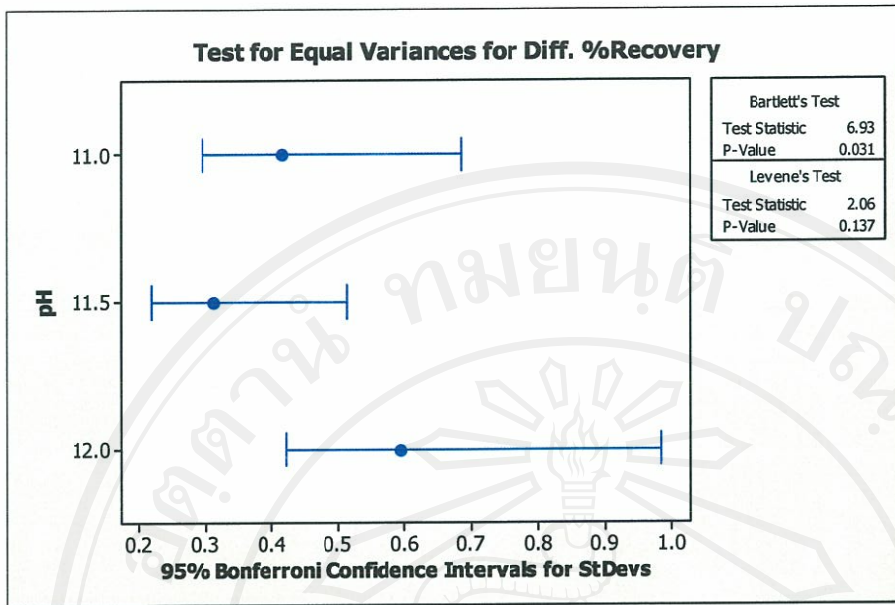
เช่นกันในส่วนของคุณภูมิและอัตราการไหล ค่า P-Value เท่ากับ 0.690 และ 0.636 ตามลำดับ มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า ข้อมูลไม่มีความแปรปรวน ดังรูป 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



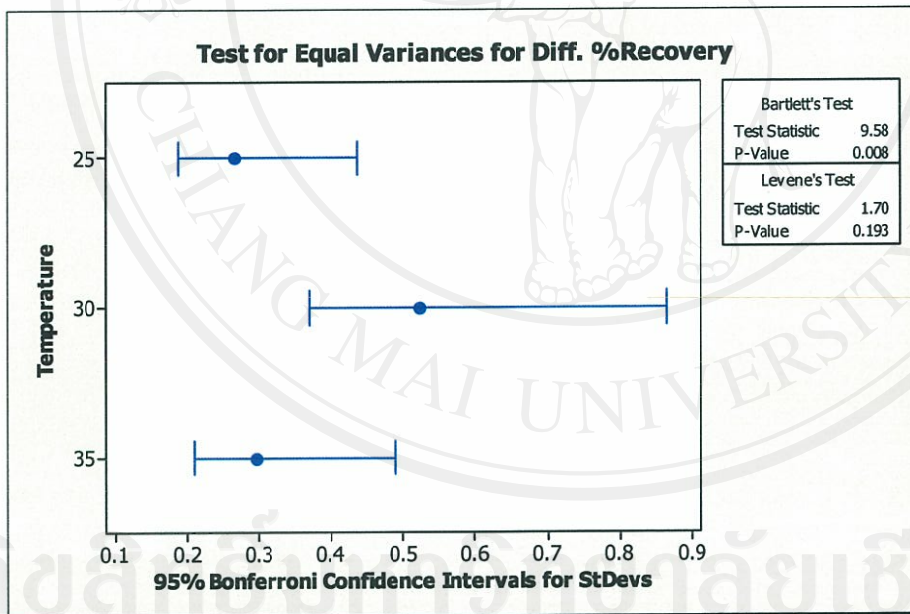
รูป 4.17 การทดสอบความแปรปรวนของค่าอัตราการไหล (ผลตอบประสิทธิภาพการกรอง)

ในส่วนของ Interaction Term มีเพียงอันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับ คุณภูมิ เท่ากับ 0.43 จากตาราง 4.2 ที่มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่ามีผลนัยสำคัญ จึงต้องใช้ในการ ทำนายค่าผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น

ในส่วนของผลตอบด้านเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้นนั้น จากตาราง 4.3 ค่า P-Value ของ Blocks = 0.005 แสดงว่าปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ไม่มีผลต่อแบบจำลอง การทดสอบ ความแปรปรวนโดยใช้ Test of Equal Variance ซึ่งได้กราฟและค่า P-Value ของข้อมูล ดังรูป 4.18 โดยในส่วนของ Levene's Test นั้นค่า P-Value เท่ากับ 0.137 มากกว่า 0.05 แสดงว่า ข้อมูล ไม่มีความแปรปรวน

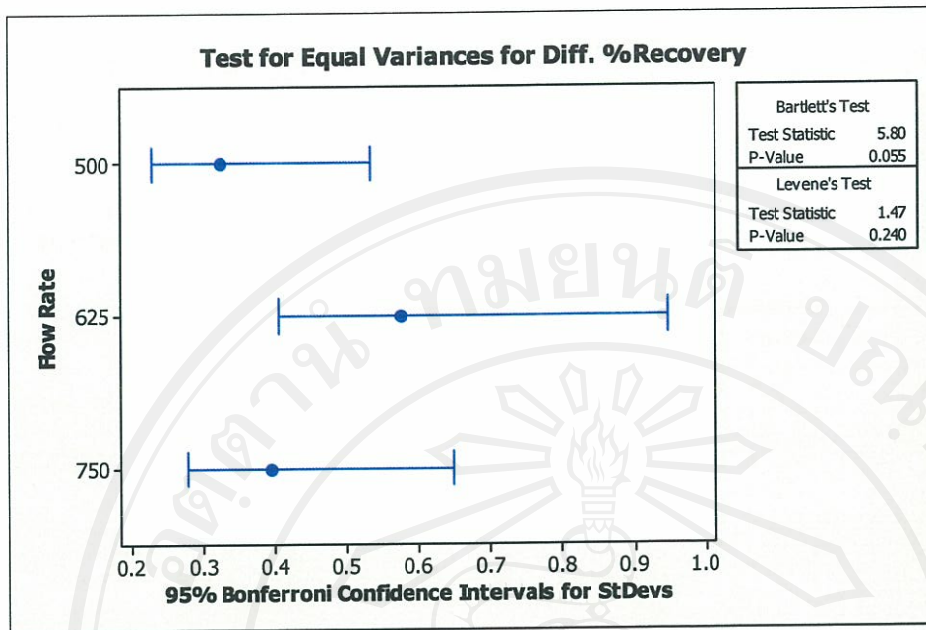


รูป 4.18 การทดสอบความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (ผลตอบปริมาณการกรอง)



รูป 4.19 การทดสอบความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิ (ผลตอบปริมาณการกรอง)

เช่นกันในส่วนของอุณหภูมิและอัตราการไหล ค่า P-Value เท่ากับ 0.193 และ 0.240 ตามลำดับ มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า ข้อมูลไม่มีความแปรปรวน ดังรูป 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



รูป 4.20 การทดสอบความแปรปรวนของค่าอัตราการไหล (ผลตอบปริมาณการกรอง)

และในส่วนของ Interaction Term มีเพียงอันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง กับอุณหภูมิ เท่ากับ 0.25 ที่มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่ามีผลนัยสำคัญ จึงต้องใช้ในการทำนายค่าผลตอบ ด้านเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น

4.5 สร้างสมการทำนาย

โปรแกรมโปรแกรม MINITAB Release 14 มีฟังก์ชัน Regression ที่สามารถวิเคราะห์สมการทำนายค่าผลตอบได้ โดยการนำปัจจัยที่มีผลนัยสำคัญต่อผลตอบในตาราง 4.2 มาทำการวิเคราะห์ในส่วนของผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค ได้สมการสำหรับทำนายค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น ดังนี้ คือ

$$\text{Diff. \%SR} = 1.20 - 0.166 \text{ pH} - 0.0582 \text{ Temperature} + 0.000344 \text{ Flow Rate}$$

$$+ 0.00700 \text{ pH} * \text{Temperature} \quad (4.1)$$

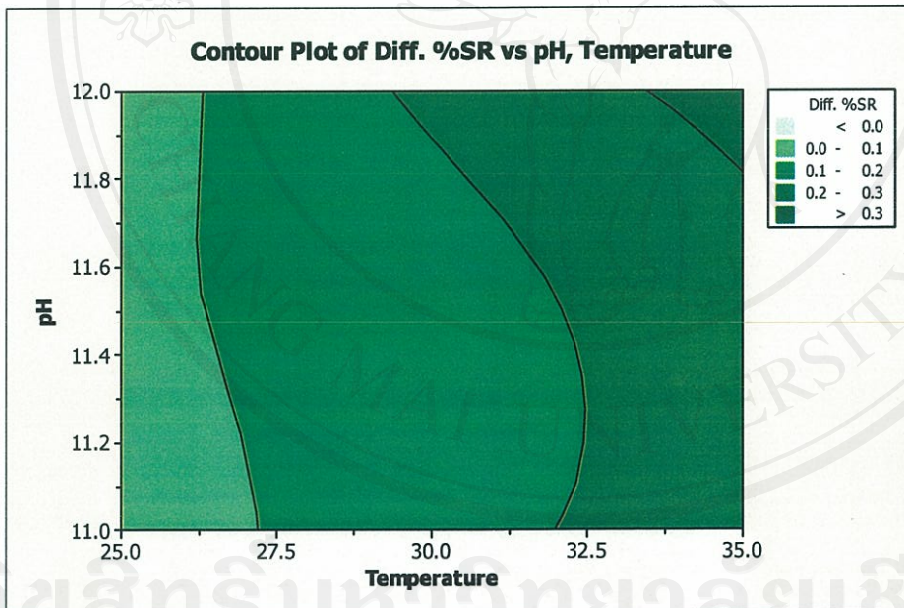
ในส่วนของผลตอบด้านเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น นำปัจจัยที่มีผลนัยสำคัญต่อผลตอบในตาราง 4.3 มาทำการวิเคราะห์สมการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค โดยในส่วนของปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่างนั้นไม่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อผลตอบด้านปริมาณ แต่ในส่วนของอันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับ

อุณหภูมิมีผลอย่างนัยสำคัญต่อผลตอบทำให้ไม่สามารถตัดปัจจัยด้านความเป็นกรด-ด่างในการวิเคราะห์หาสมการทำนายค่าได้ ทำให้ได้สมการสำหรับทำนายเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น ดังนี้ คือ

$$\text{Diff. \%Recovery} = 1.7 - 0.297 \text{ pH} - 0.097 \text{ Temperature} + 0.000753 \text{ Flow Rate} + 0.0138 \text{ pH*Temperature} \quad (4.2)$$

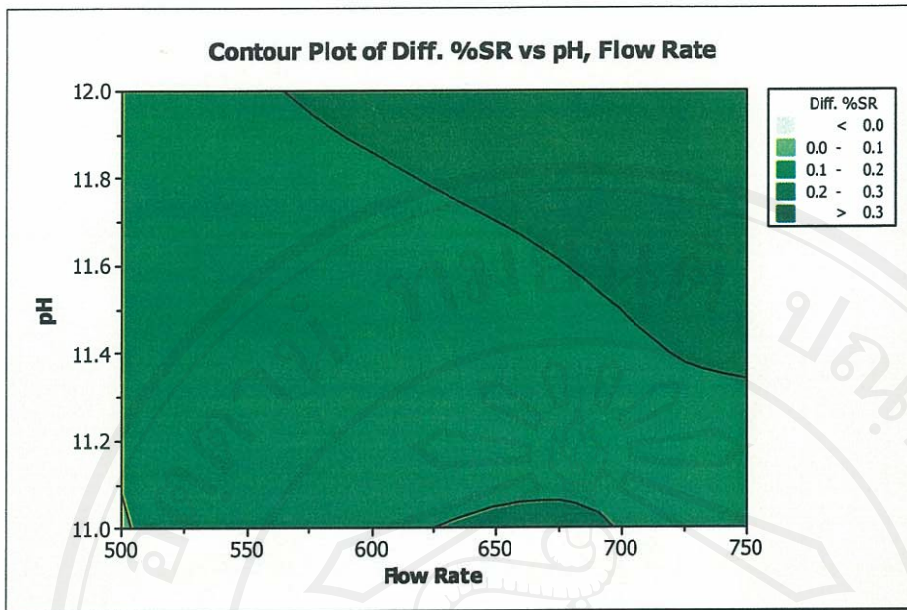
4.6 สร้างกราฟโครงร่าง (Contour plot) และพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot)

เมื่อทราบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบด้วยโปรแกรม MINITAB Release 14 โดยแสดงถึงปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบ ดังรูป 4.21 - 4.28



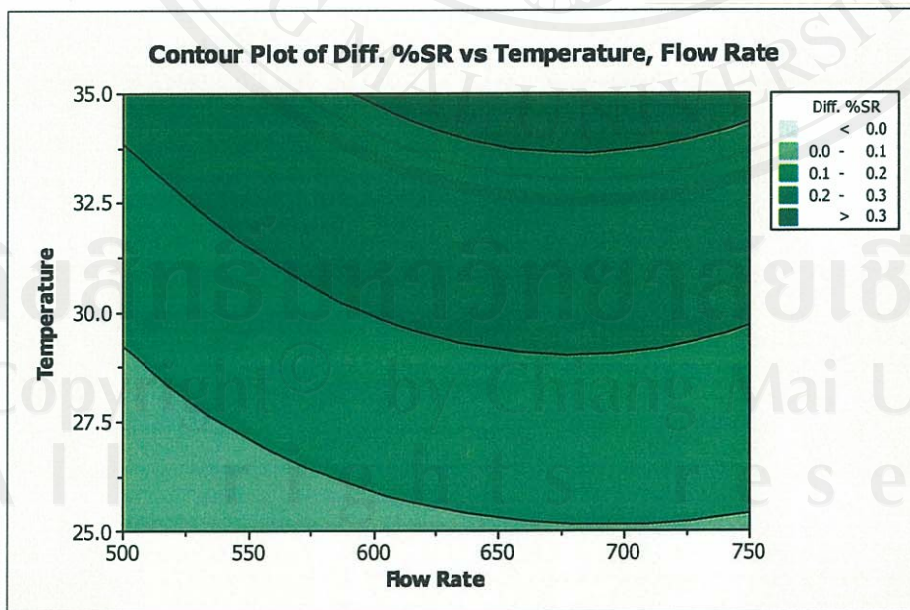
รูป 4.21 กราฟโครงร่างระหว่างความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ (ประสิทธิภาพการกรอง)

จากรูป 4.21 แสดงถึงพื้นที่ที่มีผลต่อผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองของค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงยิ่งทำให้ค่าผลตอบที่ได้มีค่าที่ดี (> 0.3) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 11.8 – 12.0 เช่นเดียวกันอุณหภูมิยังมีค่ามากยิ่งดี โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 33 – 35 องศาเซลเซียส



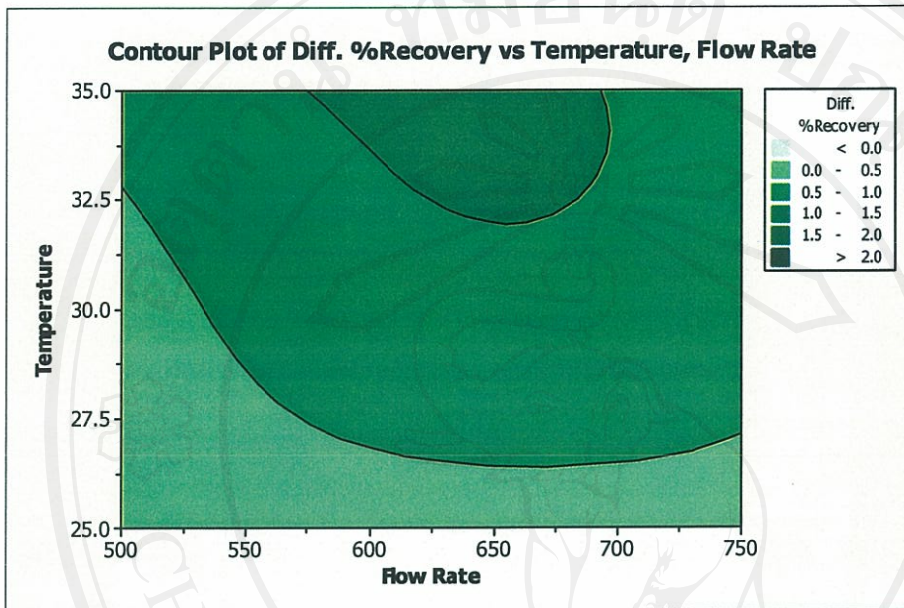
รูป 4.22 กราฟโครงร่างระหว่างความเป็นกรด-ด่างและอัตราการไหล (ประสิทธิภาพการกรอง)

จากรูป 4.22 แสดงถึงพื้นที่ที่มีผลต่อผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองของค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการไหล โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงยิ่งทำให้ค่าผลตอบที่ได้มีค่าที่ดี (0.2-0.3) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 11.4 – 12.0 แต่ในส่วนของอัตราการไหลที่เหมาะสมนั้นไม่ควรสูงมากเกินไป อยู่ในช่วงที่กว้างมาก ระหว่าง 570 – 700 ลิตรต่ออนาที



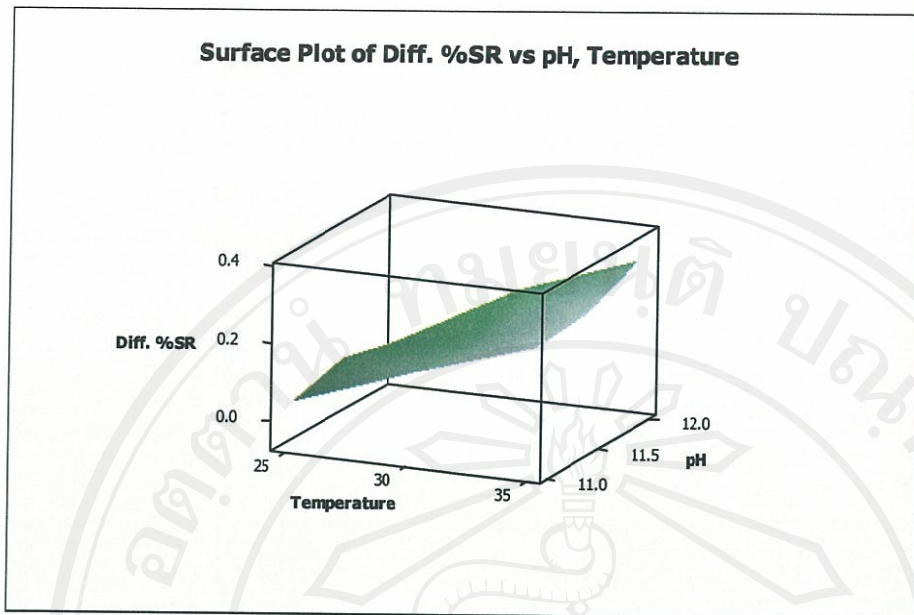
รูป 4.23 กราฟโครงร่างระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหล (ประสิทธิภาพการกรอง)

จากรูป 4.23 แสดงถึงพื้นที่ที่มีผลต่อผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองของค่าอุณหภูมิและอัตราการไหล โดยที่อุณหภูมิยิ่งสูงยิ่งทำให้ค่าผลตอบที่ได้มีค่าที่ดี (>0.3) โดยมีค่าที่เหมาะสมตั้งแต่ 33 ขึ้นไป แต่ในส่วนของอัตราการไหลที่เหมาะสมนั้นไม่ควรสูงมากเกินไป อยู่ในช่วงที่กว้างมาก ระหว่าง 570 – 750 ลิตรต่อนาที



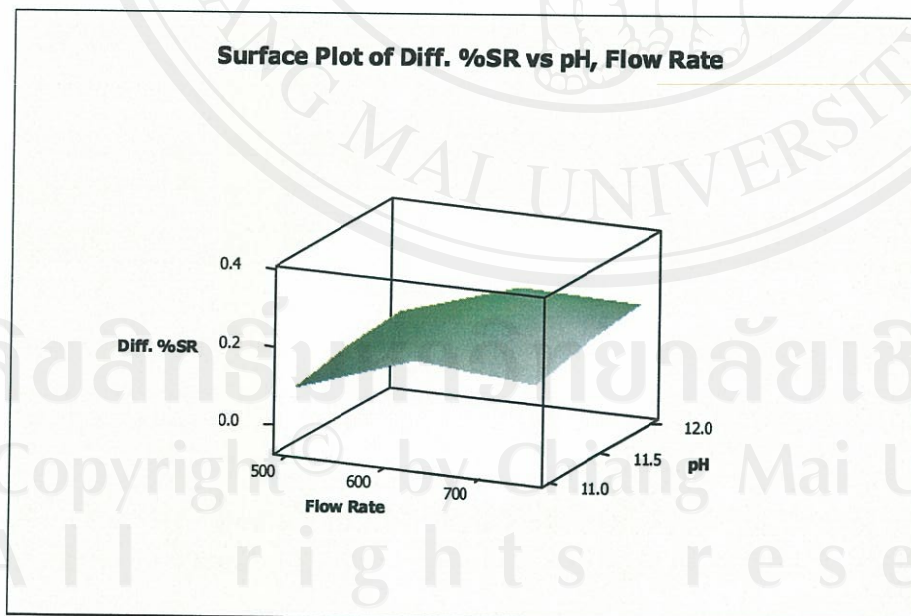
รูป 4.24 กราฟโครงสร้างระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหล (เปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้)

จากรูป 4.24 แสดงถึงพื้นที่ที่มีผลต่อผลตอบด้านปริมาณการกรองของค่าอุณหภูมิและอัตราการไหล โดยที่อุณหภูมิยิ่งสูงยิ่งทำให้ค่าผลตอบที่ได้มีค่าที่ดี (1.5-2.0) โดยมีค่าที่เหมาะสมตั้งแต่ 32 ขึ้นไป แต่ในส่วนของอัตราการไหลที่เหมาะสมนั้นไม่ควรสูงมากเกินไป อยู่ในช่วงระหว่าง 570 – 690 ลิตรต่อนาที



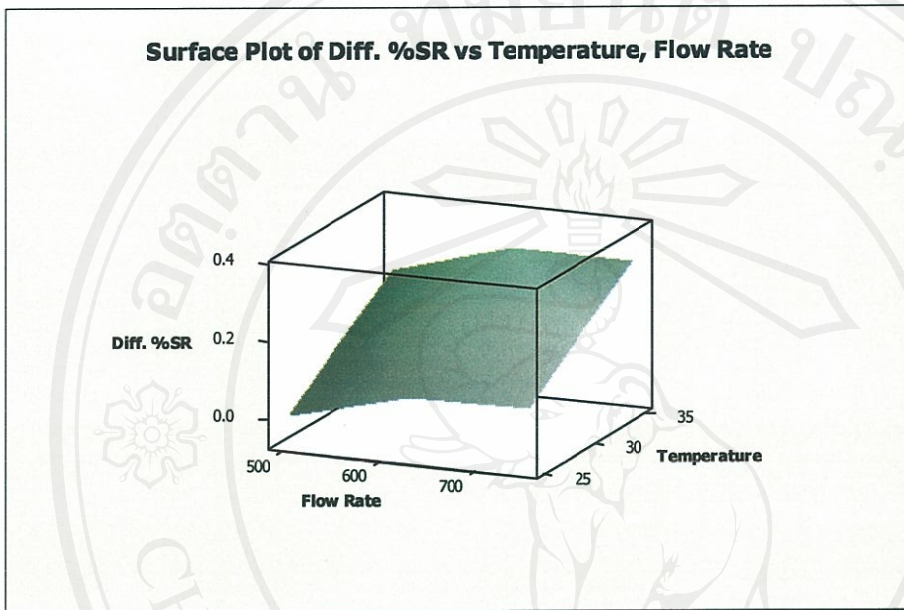
รูป 4.25 พื้นผิวผลตอบของค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลคงที่

จากรูป 4.25 แสดงถึงพื้นผิวผลตอบที่มีผลต่อด้านประสิทธิภาพการกรองของค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ โดยที่พื้นผิวมีลักษณะตรงและชันขึ้นตามค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ แสดงว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิยิ่งสูงยิ่งดีต่อผลตอบ



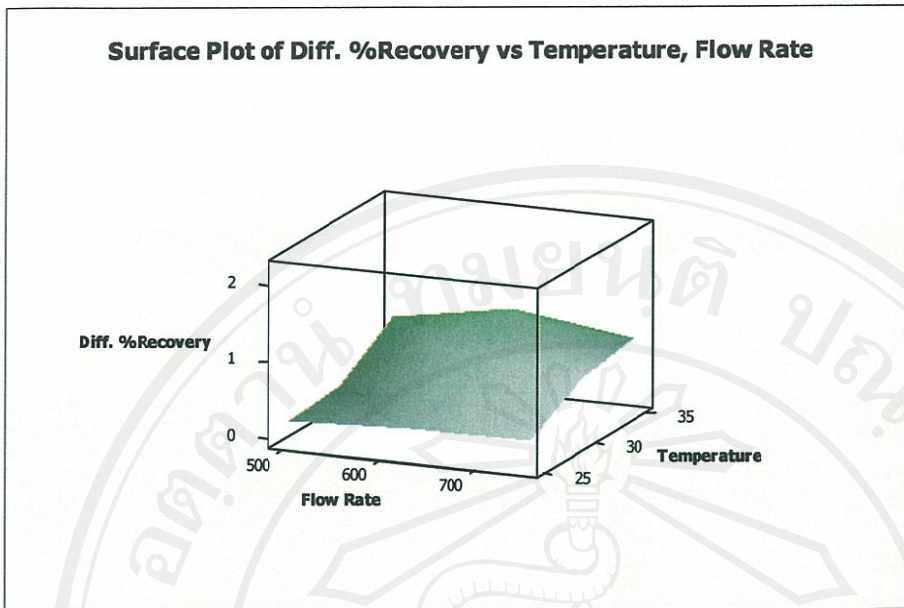
รูป 4.26 พื้นผิวผลตอบของค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิคงที่

จากรูป 4.26 แสดงถึงพื้นผิวผลตอบที่มีผลต่อด้านประสิทธิภาพการกรองของค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการไหล โดยที่พื้นผิวมีลักษณะ โค้งลงและเอียงขึ้นตามค่าความเป็นกรด-ด่าง แสดงว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างยิ่งสูงยิ่งดีต่อผลตอบแต่ในส่วนของอัตราการไหลนั้นควรมีค่าสูงในระดับที่เหมาะสมจะมีผลที่ดีต่อผลตอบ



รูป 4.27 พื้นผิวผลตอบของค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่

จากรูป 4.27 แสดงถึงพื้นผิวผลตอบที่มีผลต่อด้านประสิทธิภาพการกรองของค่าอุณหภูมิและอัตราการไหล โดยที่พื้นผิวมีลักษณะเอียงขึ้นตามค่าอุณหภูมิ แสดงว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างยิ่งสูงยิ่งดีต่อผลตอบ แต่มีลักษณะ โค้งลงเล็กน้อยซึ่งแสดงว่า อัตราการไหลนั้นควรสูงในระดับที่เหมาะสมจะมีผลที่ดีต่อผลตอบ

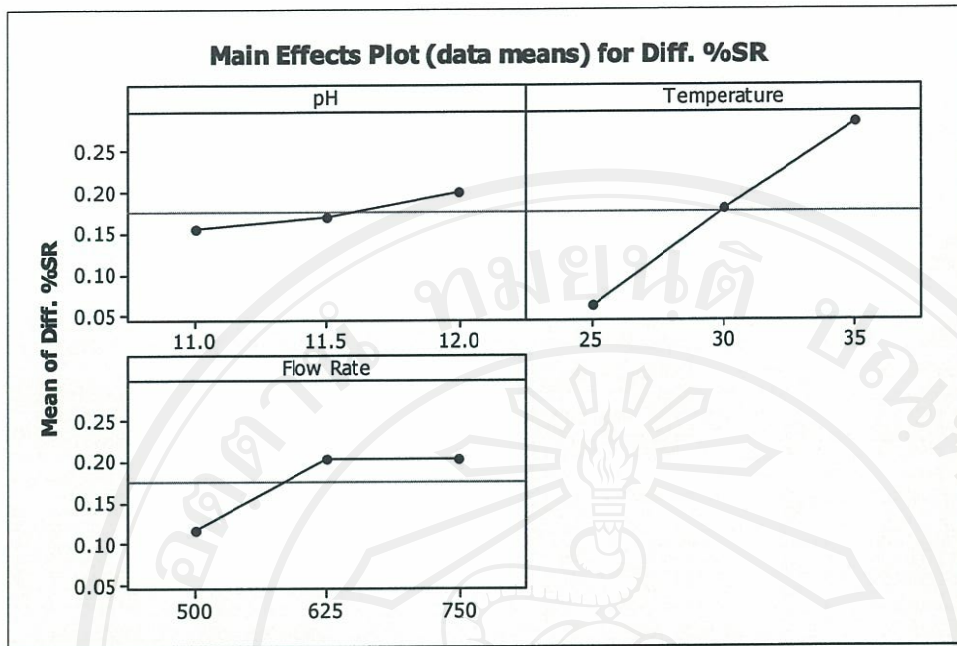


รูป 4.28 พื้นผิวผลตอบของค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่

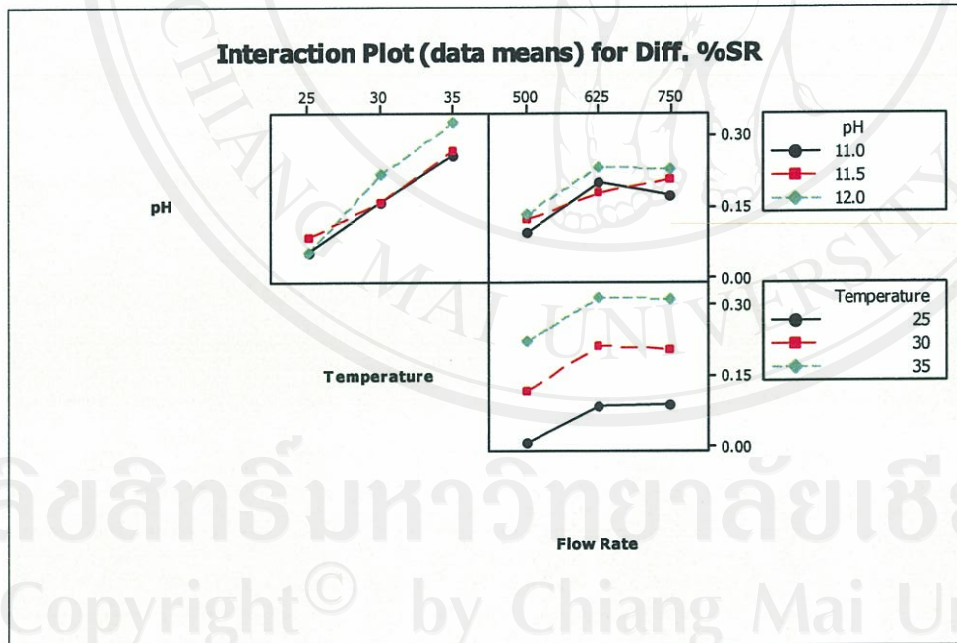
จากรูป 4.28 แสดงถึงพื้นผิวผลตอบที่มีผลต่อด้านปริมาณการกรองของค่าอุณหภูมิและอัตราการไหล โดยที่พื้นผิวมีลักษณะเอียงขึ้นตามค่าอุณหภูมิ แสดงว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างยิ่งสูงยิ่งดีต่อผลตอบ แต่มีลักษณะโค้งลงเล็กน้อยซึ่งแสดงว่า อัตราการไหลนั้นควรสูงในระดับที่เหมาะสมจะมีผลที่ดีต่อผลตอบ

4.7 การหาค่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

จากสมการทำนายค่าประสิทธิภาพการกรองและเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น นำไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยแล้วโปรแกรม MINITAB Release 14 สามารถวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักที่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น ดังรูป 4.29 และผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ดังรูป 4.30



รูป 4.29 กราฟแสดงค่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น



รูป 4.30 กราฟแสดงผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น

จากรูป 4.29 และ 4.30 สามารถสรุปได้ว่า

1) ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าแปรผันตรงกับค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีให้สูงขึ้น (เป็นค่า) ทำให้สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น หมายถึง ประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มสูงขึ้น

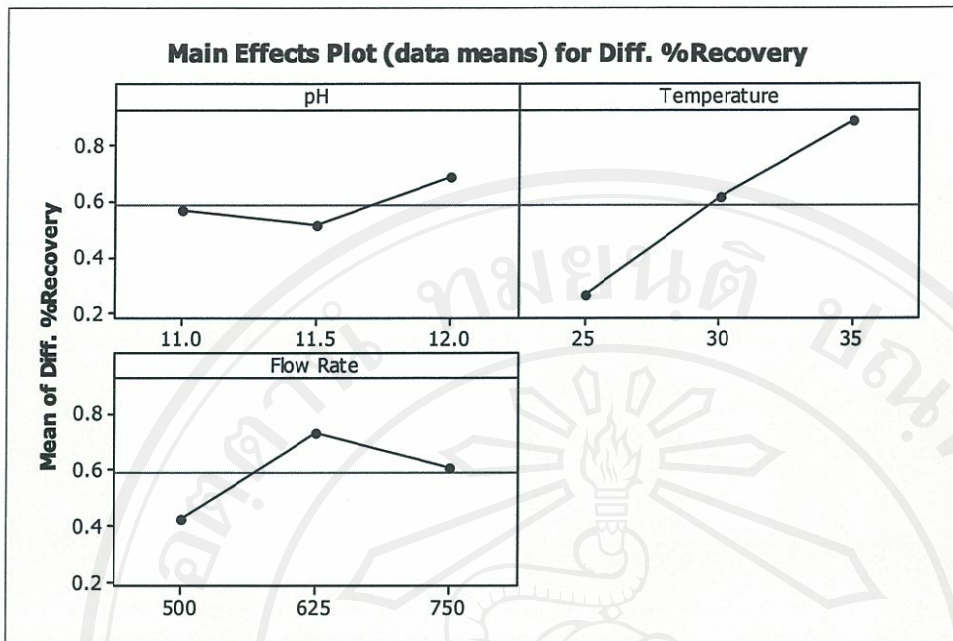
2) อุณหภูมิมีค่าแปรผันตรงกับค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มอุณหภูมิของสารเคมีให้สูงขึ้น ทำให้สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น หมายถึง ประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มสูงขึ้น

3) อัตราการไหลมีค่าแปรผันตรงกับค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มอัตราการไหลของสารเคมีในการชะล้างให้สูงขึ้น ทำให้สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น หมายถึง ประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ก็มีค่าที่เหมาะสม คือ เพียงพอในระดับหนึ่ง ไม่ควรใช้ค่าที่มากเกินไปจนจำเป็น

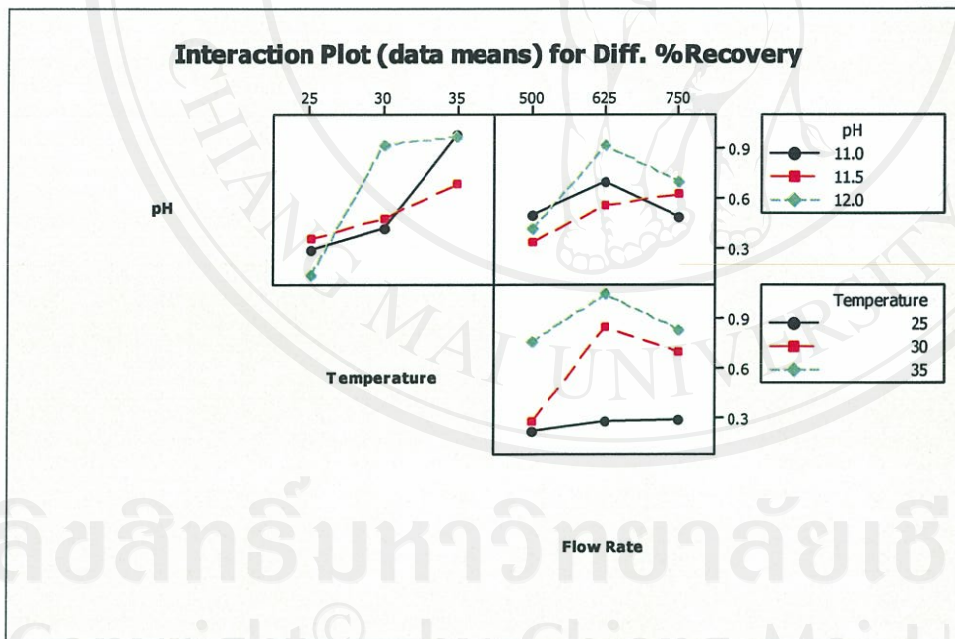
4) อันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิมีผลต่อค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น คือ ในสภาวะที่ปัจจัยทั้งสองมีค่าสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการกรองเพิ่มสูงขึ้น คือ การกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น

ดังนั้นค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบด้านประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB Release 14 สำหรับการทดลองนี้ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 12 อุณหภูมิของสารเคมี เท่ากับ 35 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารเคมี เท่ากับ 625 ลิตรต่อนาที โดยมีค่าทำนายของค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้นหลังจากการล้างเมมเบรน (predicted response) เท่ากับ 0.33 และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหลังจากการล้างของประสิทธิภาพการกรอง เท่ากับ 16.5 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้นจากสมการทำนายเพื่อนำไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยแล้วโปรแกรม MINITAB Release 14 สามารถวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักที่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อค่าประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น ดังรูป 4.31 และผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ดังรูป 4.32



รูป 4.31 กราฟแสดงค่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น



รูป 4.32 กราฟแสดงผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น

จากรูป 4.31 และ 4.32 สามารถสรุปได้ว่า

1) อุณหภูมิมีแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มอุณหภูมิของสารเคมีให้สูงขึ้น ทำให้สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น หมายถึงสามารถกรองน้ำได้ปริมาณที่มากขึ้น

2) อัตราการไหลมีแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มอัตราการไหลของสารเคมีในการชะล้างให้สูงขึ้น ทำให้สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น หมายถึงสามารถกรองน้ำได้ปริมาณที่มากขึ้น แต่ก็มีค่าที่เหมาะสม คือ เพียงพอในระดับหนึ่งไม่ควรใช้ค่าที่มากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งอาจจะทำให้สารเคมีเข้าไปอุดตันในรูของเมมเบรนแทน ทำให้กรองได้ลดลง

3) อันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้เพิ่มขึ้น คือ ในสภาวะที่ปัจจัยทั้งสองมีค่าสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณการกรองได้สูงขึ้น คือการกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้น และกรองได้ปริมาณที่มากขึ้น

ในส่วนของค่าความเป็นกรด-ด่างนั้น จากผลการวิเคราะห์แล้วไม่มีผลนัยสำคัญต่อผลตอบด้านค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น แต่มีผลในส่วนของอันตรกิริยาระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีผลในปัจจัยหลักเช่นกัน คือ การเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของสารเคมีในการชะล้างให้สูงขึ้น ทำให้สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวเมมเบรนได้ดีขึ้นและสามารถกรองน้ำได้ปริมาณที่มากขึ้น

ดังนั้นค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบด้านเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINTAB Release 14 สำหรับการทดลองนี้ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 อุณหภูมิของสารเคมี เท่ากับ 35 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารเคมี เท่ากับ 625 ลิตรต่อนาที โดยมีค่าทำนายของเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกรองได้ที่เพิ่มขึ้น หลังจากการล้างเมมเบรนหลังจากการล้างเมมเบรน (predicted response) เท่ากับ 1.01 และคิดเป็นปริมาณน้ำที่กรองได้เพิ่มขึ้นต่อวัน เท่ากับ 158.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน