

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากการสุ่มตัวอย่างเปลือก ช้างและแกนขนุนสดและอบแห้งมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีของ AOAC (1990) ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า ปริมาณ โปรตีน และ ไขมัน ในส่วนเปลือกทั้งของขนุนสดทั้ง 3 ส่วน มีค่าสูงกว่าส่วนเปลือกทั้งของ ขนุนอบแห้ง และพบว่าส่วนเปลือกทั้งของขนุนอบแห้งทั้ง 3 ส่วนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า ส่วนเปลือกทั้งของขนุนสด โดยมีค่าสูงสุดในเปลือกขนุนอบแห้ง เท่ากับ 91.50 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนักแห้ง รองลงมาเป็นแกน และช้างขนุน ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 90.57 และ 89.87 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือก ช้างและแกนขนุนสดและอบแห้ง

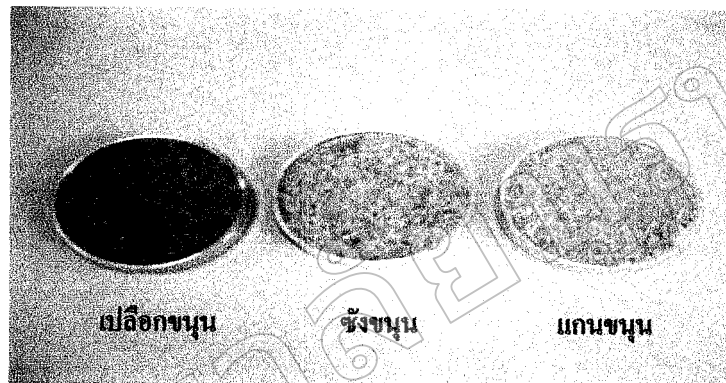
ชนิดวัตถุดิบ	ความชื้น (%)	เถ้า (% db)	โปรตีน (% db)	ไขมัน (% db)	คาร์โบไฮเดรต (% db)
เปลือกสด	92.18 ± 0.20	0.33 ± 0.03	6.32 ± 0.01	3.80 ± 0.14	89.55 ± 0.02
เปลือกอบแห้ง	10.03 ± 0.06	2.96 ± 0.07	5.99 ± 0.02	0.56 ± 0.14	91.50 ± 0.01
ช้างสด	90.16 ± 0.16	0.56 ± 0.06	8.31 ± 0.01	2.02 ± 0.07	89.12 ± 0.06
ช้างอบแห้ง	10.01 ± 0.05	3.01 ± 0.05	6.67 ± 0.03	0.45 ± 0.04	89.87 ± 0.05
แกนสด	91.37 ± 0.26	0.57 ± 0.06	8.11 ± 0.02	2.29 ± 0.02	89.03 ± 0.04
แกนอบแห้ง	11.11 ± 0.31	3.35 ± 0.08	5.63 ± 0.02	0.45 ± 0.01	90.57 ± 0.07

หมายเหตุ % db หมายถึง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

ผลการคัดเลือกชนิดของส่วนเปลือกทั้งของขนุนที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน

เมื่อนำเปลือก ช้าง และแกนขนุนอบแห้ง (ภาพที่ 4-1) มาสกัดและตกตะกอนเพกทินโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก ณรงค์ ศิริรัมย์ (2546) ซึ่งทำการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล อัตราส่วนของขนุนต่อกรดไฮโดรคลอริก เป็น 1: 10 (น้ำหนัก/ ปริมาตร) ที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที พบว่า ส่วนเปลือกทั้งต่าง ๆ ของขนุนมีปริมาณเพกทินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$) โดยพบปริมาณเพกทินสูงสุดในเปลือกเท่ากับ 7.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณเพกทินต่ำสุดในแกนเท่ากับ 6.73 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ดังตารางที่ 4-2 โดยลักษณะของเพกทินที่สกัดได้แสดงดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-1 ชนิดส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่ใช้สกัดเพกทิน (เปลือก ซัง และแกนขนุนอบแห้ง)



ภาพที่ 4-2 เพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน (เปลือก ซัง และแกนขนุนอบแห้ง)

ตารางที่ 4-2 ปริมาณของเพกทินจากส่วนเหลือทิ้งต่างๆ ของขนุน

ส่วนเหลือทิ้งของขนุน	เปอร์เซ็นต์ของเพกทินที่สกัดได้ ^{ns} (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)
เปลือก	7.20 ± 0.39
ซัง	7.01 ± 0.13
แกน	6.73 ± 0.02

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากเปลือก ซัง และแกนมีปริมาณเพกทิน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นเพื่อให้เป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งของขนุนให้มากที่สุด จึงเลือกใช้ของผสมทั้งเปลือก ซัง และแกน ในอัตราส่วน เปลือก: ซัง: แกน เป็น 1: 1: 1 เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2⁴ ผลการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุนแสดงดังตารางที่ 4-3 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 ปริมาณและคุณภาพเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุนในแต่ละระดับปัจจัย

การทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา				ปริมาณและคุณภาพของเพกทิน						
	Conc. (N)	Temp. (°C)	Time (min)	Ratio	Yield (%)	Eq.Wt.	MeO (%)	Uronic Acid(%)	DE (%)	เถ้า (%)	ความชื้น (%)
1	0.2	60	45	1:10	1.31	960.47	3.09	52.15	33.67	2.48	10.57
2	0.4	60	45	1:10	3.25	879.25	2.72	47.93	32.20	2.49	10.50
3	0.2	90	45	1:10	4.54	683.05	4.06	31.10	74.18	2.51	10.57
4	0.4	90	45	1:10	4.41	572.99	4.68	32.69	81.36	2.51	10.61
5	0.2	60	90	1:10	1.73	991.2	2.82	34.64	46.16	2.48	10.57
6	0.4	60	90	1:10	2.71	865.85	2.17	35.91	34.37	2.45	10.59
7	0.2	90	90	1:10	4.62	578.99	3.88	40.29	54.68	2.49	10.61
8	0.4	90	90	1:10	4.15	467.79	4.07	39.00	59.27	2.61	10.60
9	0.2	60	45	1:20	2.24	572.99	5.22	55.55	53.33	2.60	10.58
10	0.4	60	45	1:20	2.92	535.73	5.04	55.58	51.46	2.55	10.49
11	0.2	90	45	1:20	4.70	491.10	1.48	29.17	28.86	2.63	10.56
12	0.4	90	45	1:20	3.53	417.23	2.12	41.85	28.73	2.50	10.61
13	0.2	60	90	1:20	3.30	784.2	4.88	50.39	54.99	2.46	10.56
14	0.4	60	90	1:20	3.00	711.12	4.39	49.29	50.53	2.61	10.61
15	0.2	90	90	1:20	5.72	575.7	1.14	40.73	15.92	2.57	10.54
16	0.4	90	90	1:20	3.21	521.5	1.41	51.60	15.56	2.54	10.61
17	0.3	75	67.5	1:15	7.20	701.11	3.63	53.19	38.79	2.48	10.57
18	0.3	75	67.5	1:15	7.04	719.68	3.61	55.77	36.72	2.51	10.57
19	0.3	75	67.5	1:15	7.20	710.51	3.58	52.97	38.37	2.46	10.57
20	0.3	75	67.5	1:15	7.15	712.31	3.59	53.33	38.22	2.49	10.57
21	0.3	75	67.5	1:15	7.04	709.64	3.58	53.83	37.77	2.50	10.57

ตารางที่ 4-4 ค่าอิทธิพลและระดับนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละปัจจัยต่อปริมาณและคุณภาพเพกทิน

ปัจจัย ที่ศึกษา	ปริมาณ เพกทิน	น้ำหนัก สมมูลย์	ปริมาณ เมทอกซิล	ปริมาณ กรดยูโรนิก	ระดับการเกิด เอสเทอร์
A	9.00	629.29*	0.10	19.09	6.94
B	1997.15*	5628.16*	6787.12*	273.42*	0.35
C	23.08	208.56*	1618.61*	0.84	274.41*
D	34.82*	2739.23*	403.32*	177.77*	1362.08*
A×B	552.43*	1.49	1415.86*	37.72*	95.61*
A×C	126.84*	5.35	229.87*	0.01	24.79
A×D	305.09*	50.87*	23.15*	30.63*	2.85
B×C	2.46	255.29*	0.13	294.25*	693.08*
B×D	88.77*	897.06*	45195.15*	19.30	5989.34*
C×D	44.23*	834.89*	21.28	27.75	0.23

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

A หมายถึง ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

B หมายถึง อุณหภูมิในการสกัด

C หมายถึง เวลาที่ใช้ในการสกัด

D หมายถึง อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด

จากตารางที่ 4-4 ปัจจัยหลักของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกไม่มีผลต่อปริมาณเพกทิน ปริมาณเมทอกซิล ปริมาณกรดยูโรนิก และระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทีละคู่ พบว่า ปัจจัยแต่ละคู่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินจึงไม่สามารถที่จะตัดปัจจัยของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในการศึกษาการสกัดเพกทินออกได้

ปัจจัยหลักของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณเพกทิน น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทีละ

คู่ พบว่า ปัจจัยแต่ละคู่มิอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินจึงไม่สามารถที่จะตัดปัจจัยของอุณหภูมิในการศึกษาการสกัดเพกทินออกได้

ปัจจัยหลักของเวลาในการสกัดมีผลต่อ น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล และระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทีละคู่ พบว่า ปัจจัยแต่ละคู่มิอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินจึงไม่สามารถที่จะตัดปัจจัยของเวลาในการศึกษาการสกัดเพกทินออกได้

ปัจจัยหลักของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีผลต่อปริมาณเพกทิน น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล ปริมาณกรดยูโรนิก และระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทีละคู่ พบว่า ปัจจัยแต่ละคู่มิอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทิน

จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัด และปัจจัยแต่ละคู่มิอิทธิพลร่วมกันอีก ดังนั้นจึงไม่สามารถตัดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งออกได้จึงเลือกทั้ง 4 ปัจจัย ดังกล่าวเพื่อทำการศึกษหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินในขั้นต่อไป

ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน โดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design แบบสมบูรณ์ โดยออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 29 การทดลอง ผลการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ในแต่ละภาวะแสดงดังตารางที่ 4-5

ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากทุกการทดลองมีค่าระหว่าง 1.3-7.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์มัล อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด 67.5 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15 สามารถสกัดเพกทินได้ปริมาณสูงสุด (7.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

น้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้จากทุกการทดลองมีค่าระหว่าง 380.40-1,135.20 โดยที่ภาวะความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์มัล อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด 67.5 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด 1: 15 เพกทินที่สกัดได้มีน้ำหนักสมมูลย์สูงสุด (1,135.20)

ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้จากทุกการทดลองมีค่าระหว่าง 1.14-5.22 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ภาวะความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.2 นอร์มัล อุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด 45 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด 1: 20 เพกทินที่สกัด
ได้มีปริมาณเมทอกซิลสูงสุด (5.22 เปอร์เซ็นต์)

ปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้จากทุกการทดลองมีค่าระหว่าง 29.17-55.77
เปอร์เซ็นต์ โดยที่ภาวะความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์มัล อุณหภูมิ 75
องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด 67.5 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด 1: 15 เพกทินที่
สกัดได้มีปริมาณกรดยูโรนิกสูงสุด (55.77 เปอร์เซ็นต์)

ระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้จากทุกการทดลองมีค่าระหว่าง 15.56-81.36
เปอร์เซ็นต์ โดยที่ภาวะความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.4 นอร์มัล อุณหภูมิ 90
องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด 45 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด 1: 10 เพกทินที่สกัด
ได้มีระดับการเกิดเอสเทอร์สูงสุด (81.36 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 4-5 ปริมาณและคุณภาพเพกทินในแต่ละระดับปัจจัยเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

การทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา				ปริมาณและคุณภาพของเพกทิน						
	Conc.	Temp.	Time	Ratio	Yield	Eq.Wt.	MeO	Uronic	DE	เถ้า	ความชื้น
	(N)	(°C)	(min)		(%)		(%)	Acid(%)	(%)	(%)	(%)
1	0.2	60	45	1:10	1.31	960.47	3.09	52.15	33.67	2.48	10.57
2	0.4	60	45	1:10	3.25	879.25	2.72	47.93	32.20	2.49	10.50
3	0.2	90	45	1:10	4.54	683.05	4.06	31.10	74.18	2.51	10.57
4	0.4	90	45	1:10	4.41	572.99	4.68	32.69	81.36	2.51	10.61
5	0.2	60	90	1:10	1.73	991.2	2.82	34.64	46.16	2.48	10.57
6	0.4	60	90	1:10	2.71	865.85	2.17	35.91	34.37	2.45	10.59
7	0.2	90	90	1:10	4.62	578.99	3.88	40.29	54.68	2.49	10.61
8	0.4	90	90	1:10	4.15	467.79	4.07	39.00	59.27	2.61	10.60
9	0.2	60	45	1:20	2.24	572.99	5.22	55.55	53.33	2.60	10.58
10	0.4	60	45	1:20	2.92	535.73	5.04	55.58	51.46	2.55	10.49
11	0.2	90	45	1:20	4.70	491.10	1.48	29.17	28.86	2.63	10.56
12	0.4	90	45	1:20	3.53	417.23	2.12	41.85	28.73	2.50	10.61
13	0.2	60	90	1:20	3.30	784.2	4.88	50.39	54.99	2.46	10.56
14	0.4	60	90	1:20	3.00	711.12	4.39	49.29	50.53	2.61	10.61
15	0.2	90	90	1:20	5.72	575.7	1.14	40.73	15.92	2.57	10.54
16	0.4	90	90	1:20	3.21	521.5	1.41	51.60	15.56	2.54	10.61
17	0.1	75	67.5	1:15	5.63	621.42	3.17	46.24	38.91	2.56	10.61
18	0.5	75	67.5	1:15	5.22	465.33	3.20	50.31	36.10	2.50	10.56
19	0.3	45	67.5	1:15	2.43	1135.2	3.98	43.61	51.81	2.52	10.50
20	0.3	105	67.5	1:15	6.51	640.86	2.21	30.63	40.96	2.49	10.62
21	0.3	75	22.5	1:15	1.52	695.91	3.76	40.67	52.49	2.50	10.49
22	0.3	75	112.5	1:15	2.01	730.63	2.77	44.90	35.03	2.52	10.57
23	0.3	75	67.5	1:5	2.12	710.59	3.83	36.85	59.01	2.54	10.68
24	0.3	75	67.5	1:25	2.84	380.40	3.31	50.14	37.48	2.50	10.58
24	0.3	75	67.5	1:15	7.20	701.11	3.63	53.19	38.79	2.48	10.57
26	0.3	75	67.5	1:15	7.04	719.68	3.61	55.77	36.72	2.51	10.57
27	0.3	75	67.5	1:15	7.20	710.51	3.58	52.97	38.37	2.46	10.57
28	0.3	75	67.5	1:15	7.15	712.31	3.59	53.33	38.22	2.49	10.57
29	0.3	75	67.5	1:15	7.04	709.64	3.58	53.83	37.77	2.50	10.57

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรตามกับค่าตอบสนองหรือตัวแปรอิสระ และทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองกับข้อมูลโดยใช้ Lack of Fit Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 4-6 พบว่า แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทิน (Y_1) น้ำหนักสมมูลย์ (Y_2) ปริมาณเมทอกซิล (Y_3) ปริมาณกรดยูโรนิก (Y_4) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Y_5) กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (X_1) อุณหภูมิ (X_2) เวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) กับปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูล ($p \geq 0.05$) และพบว่ามีปัจจัยหลักบางปัจจัยและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยบางคู่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและเส้นโค้งกับปริมาณและคุณภาพของเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จึงต้องทำการตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติออกแล้วสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ พร้อมทั้งทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองกับข้อมูล (Lack of Fit Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทิน (Y_1) น้ำหนักสมมูลย (Y_2) ปริมาณเมทอกซิล (Y_3) ปริมาณกรดยูโรนิก (Y_4) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Y_5) กับ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (X_1) อุณหภูมิ (X_2) เวลา (X_3) และอัตราส่วนของ วัตถุบดต่อกรด (X_4) กับปัจจัยที่ทำการศึกษา

Independent Variable	Regression Coefficients (β)				
	%Yield (Y_1)	Eq.Wt. (Y_2)	%MeO (Y_3)	%Uronic Acid (Y_4)	%DE (Y_5)
Constant	-56.22*	2759.34*	-13.14*	3.12	120.34*
X_1	67.03*	2057.46*	-3.36*	-39.26	-63.10*
X_2	0.66*	-41.03*	0.25*	1.43*	2.17*
X_3	0.39*	1.10	0.02*	-0.53*	0.69*
X_4	1.74*	-51.24*	1.19*	3.20*	10.86*
X_1^2	-43.88*	-4339.68*	-9.54*	-137.06*	0.48
X_2^2	-0.003*	0.19*	-0.0005*	-0.02*	0.01*
X_3^2	-0.002*	-0.002	-0.0001*	-0.01*	0.003*
X_4^2	-0.05*	-1.72*	0.00004	-0.10*	0.11*
$X_1 X_2$	-0.32*	-1.35	0.15*	1.17*	1.29*
$X_1 X_3$	-0.11*	1.71	-0.04*	-0.02	-0.44*
$X_1 X_4$	-0.69*	23.68*	0.05*	3.10*	-0.67
$X_2 X_3$	-0.001	-0.08*	0.00001	0.01*	-0.02*
$X_2 X_4$	-0.002*	0.66*	-0.02*	-0.02*	-0.20*
$X_3 X_4$	0.001*	0.43*	-0.0003*	0.01*	0.001
ค่า p ของความเหมาะสมของแบบจำลอง (Lack of Fit Test)	0.10	0.05	0.05	0.06	0.003
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง (Adjust R^2)	0.99	0.98	0.93	0.93	0.95
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)	0.99	0.94	0.97	0.96	0.97

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-7 ค่าสัมประสิทธิ์หรืออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทิน (Y_1) น้ำหนักสมมูล (Y₂) ปริมาณเมทอกซิล (Y_3) ปริมาณกรดยูโรนิก (Y_4) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Y_5) กับ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (X_1) อุณหภูมิ (X_2) เวลา (X_3) และอัตราส่วนของ วัตถุดิบต่อกรด (X_4) กับปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

Independent Variable	Regression Coefficients (β)				
	%Yield	Eq. Wt.	%MeO	%Uronic Acid	%DE
Constant	-55.62*	2824.28*	-13.17*	3.48	-118.20*
X_1	67.03*	1840.98*	-3.36*	-40.47	-73.09*
X_2	0.65*	-41.43*	0.24*	1.43*	2.17*
X_3	0.38*	0.58	0.02*	-0.54*	0.71*
X_4	1.74*	-51.24*	1.19*	3.23*	10.71*
X_1^2	-43.88*	-4339.68*	-9.54*	-137.06*	0.48
X_2^2	-0.003*	0.19*	-0.001*	-0.02*	0.01*
X_3^2	-0.002*	-0.002	-0.0001*	-0.01*	0.003*
X_4^2	-0.04*	-1.72*	0.00004	-0.10*	0.11*
$X_1 X_2$	-0.32*	-	0.15*	1.17*	1.29*
$X_1 X_3$	-0.11*	-	-0.04*	-	-0.44*
$X_1 X_4$	-0.69*	23.68*	0.05*	3.10*	-
$X_2 X_3$	-	-0.08*	-	0.01*	-0.02*
$X_2 X_4$	-0.002*	0.66*	-0.02*	-0.02*	-0.20*
$X_3 X_4$	0.001*	0.43*	-0.0003*	0.01*	-
ค่า p ของความเหมาะสมของแบบจำลอง (Lack of Fit Test)	0.10	0.05	0.06	0.06	0.003*
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง (Adjust R ²)	0.99	0.98	0.93	0.93	0.95
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)	0.99	0.94	0.97	0.96	0.97

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- หมายถึง ตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 4-7 พบว่า แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างของปริมาณเพกทิน (Y_1) น้ำหนักสมมูลย์ (Y_2) ปริมาณเมทอกซิล (Y_3) ปริมาณกรดยูโรนิก (Y_4) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Y_5) กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (X_1) อุณหภูมิ (X_2) เวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) กับปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูล ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน

1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้และตัวแปรที่ศึกษา

จากตารางที่ 4-7 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้กับตัวแปร (ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_1 = -55.62 + 67.03X_1 + 0.65X_2 + 0.39X_3 + 1.74X_4 - 43.89X_1^2 - 0.003X_2^2 - 0.002X_3^2 - 0.05X_4^2 - 0.32X_1X_2 - 0.11X_1X_3 - 0.69X_1X_4 - 0.002X_2X_3 + 0.001X_3X_4$$

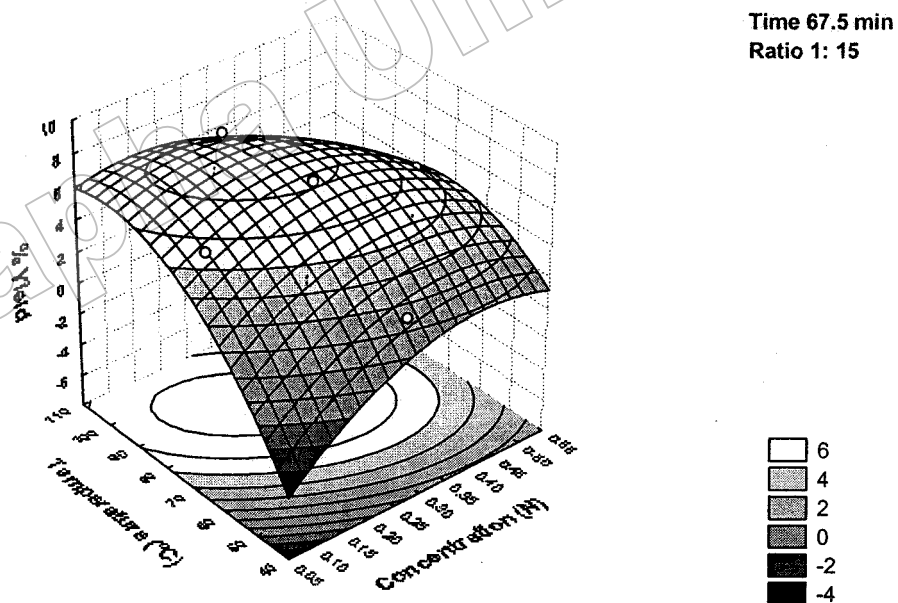
ผลจากความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.99 หมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้อธิบายความแปรเปลี่ยนของปริมาณเพกทินเมื่อแปรเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ศึกษาได้มากถึง 99 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองนี้มีระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Lack of Fit Test) พบว่าแบบจำลองนี้มีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ ($p \geq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยหลักในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุน คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ใช้ ($p < 0.05$) กล่าวคือ ในระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษาเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส เวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 1:10 เป็น 1:20 พบว่า เพกทินที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น (ค่าอิทธิพลเป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาที่ละคู่ พบว่า อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและอุณหภูมิ อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและเวลา อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด และอิทธิพลร่วมของเวลาและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้อย่างมี

นัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาไม่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

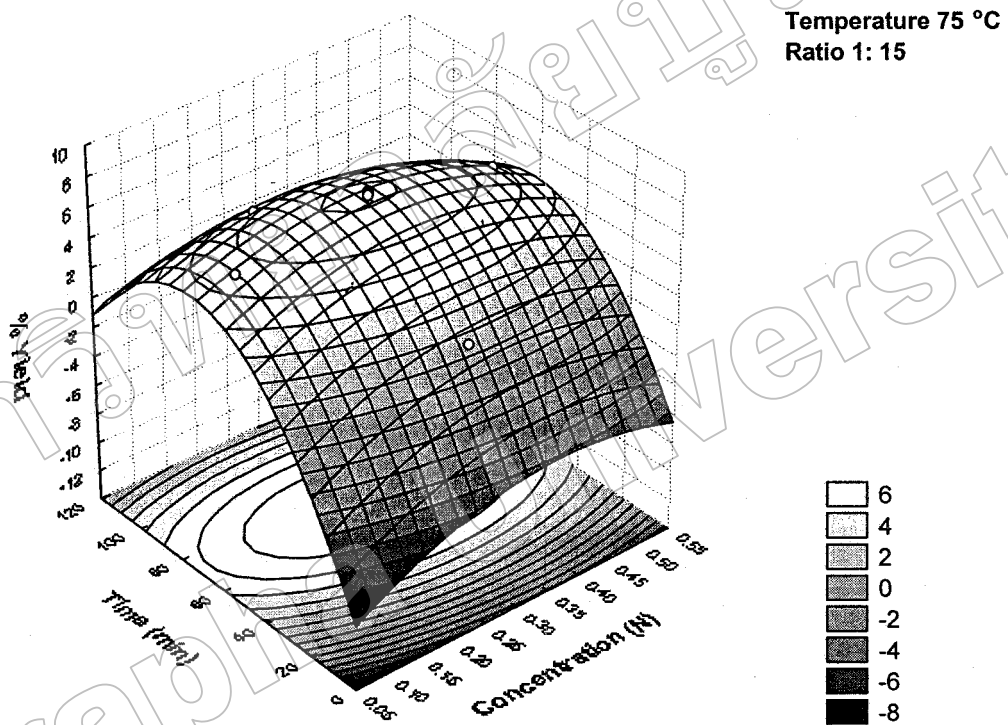
จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น โดยพิจารณาร่วมกับกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับตัวแปร พบว่า ปริมาณเพกทินมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับความเข้มข้น (Quadratic, $-43.88 X_1^2$) อุณหภูมิ (Quadratic, $-0.002 X_2^2$) เวลา (Quadratic, $-0.003 X_3^2$) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (Quadratic, $-0.05 X_4^2$) นั่นคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็นผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งปริมาณเพกทินที่สกัดได้จะลดลง

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอุณหภูมิ (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-3 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นถึง 0.37 นอร์มัล ส่วนในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น



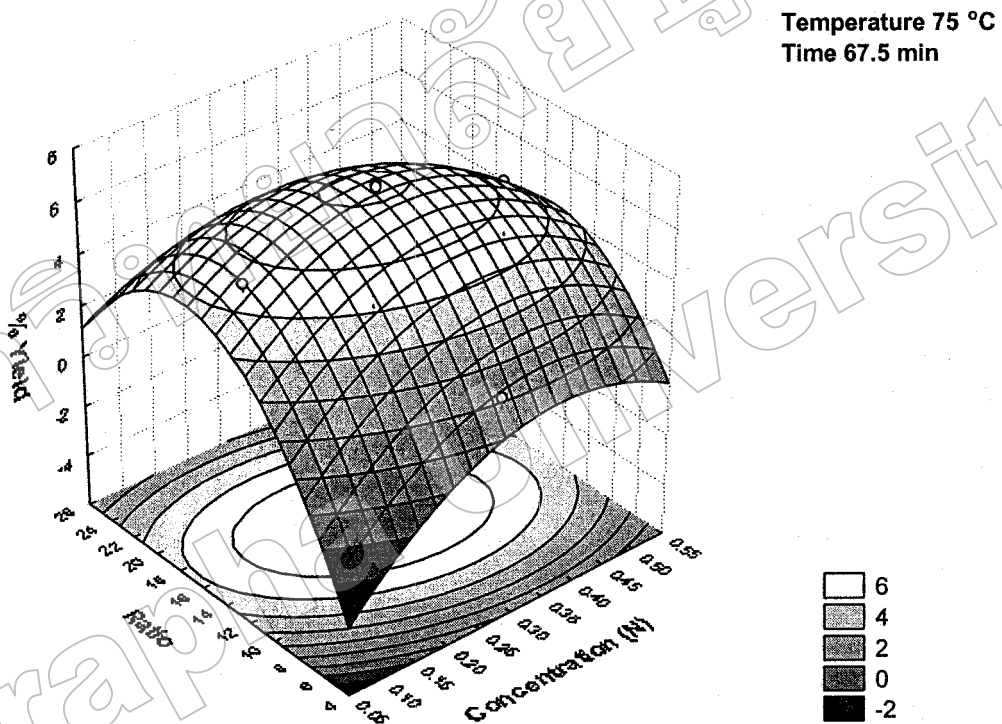
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก และเวลา (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-4 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นถึง 0.35 นอร์มัล ส่วนในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นถึง 75 นาที



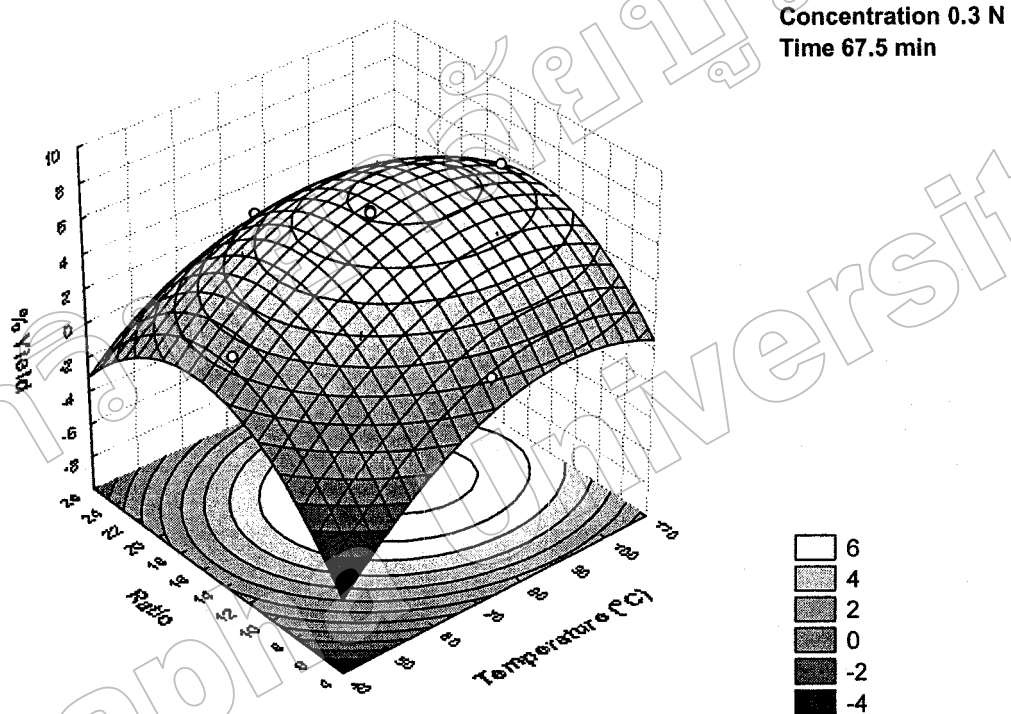
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และเวลา (X_2)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_1, X_4) (ภาพที่ 4-5) พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 0.35 นอร์มัล ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่อใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นถึง 1: 17



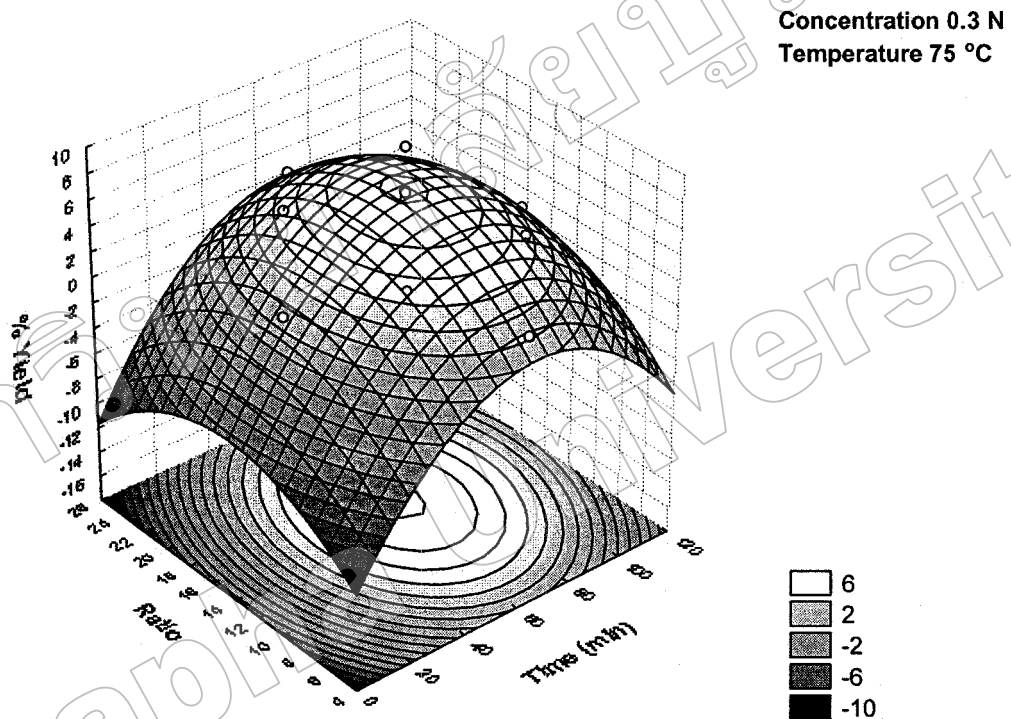
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับอุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2, X_4) (ภาพที่ 4-6) พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดในระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา (1: 10 -1: 20) พบว่าเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นถึง 1: 17



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินกับเวลาและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_3, X_4) ดังภาพที่ 4-7 พบว่า ในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่อเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นถึง 78 นาที ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 มีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเพกทินเริ่มลดลงเมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นถึง 1: 17



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับเวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

อย่างไรก็ตามจากแบบจำลองที่ได้ไม่สามารถแสดงจุดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินให้ได้ปริมาณสูงสุดได้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ แบบจำลอง รวมทั้งภาพที่ 4-3 ถึง ภาพที่ 4-7 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สรุปได้ว่า ภาวะที่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.24 นอร์มัล สกัดที่อุณหภูมิ 88.56 องศาเซลเซียส นาน 69.72 นาที โดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15.46 ให้ปริมาณเพกทิน 7.59 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณเพกทินสูงสุดในขอบเขตที่ทำการศึกษา

2. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมุทธ์ของเพกทินที่สกัดได้และตัวแปรที่ศึกษา

จากตารางที่ 4-7 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมุทธ์ของเพกทินที่สกัดได้กับตัวแปร (ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_2 = 2824.28 + 1840.98X_1 - 41.43X_2 + 0.58X_3 - 51.24X_4 - 4339.68X_1^2 + 0.19X_2^2 - 0.002X_3^2 - 1.72X_4^2 + 23.68X_1X_4 - 0.08X_2X_3 + 0.66X_2X_4 + 0.43X_3X_4$$

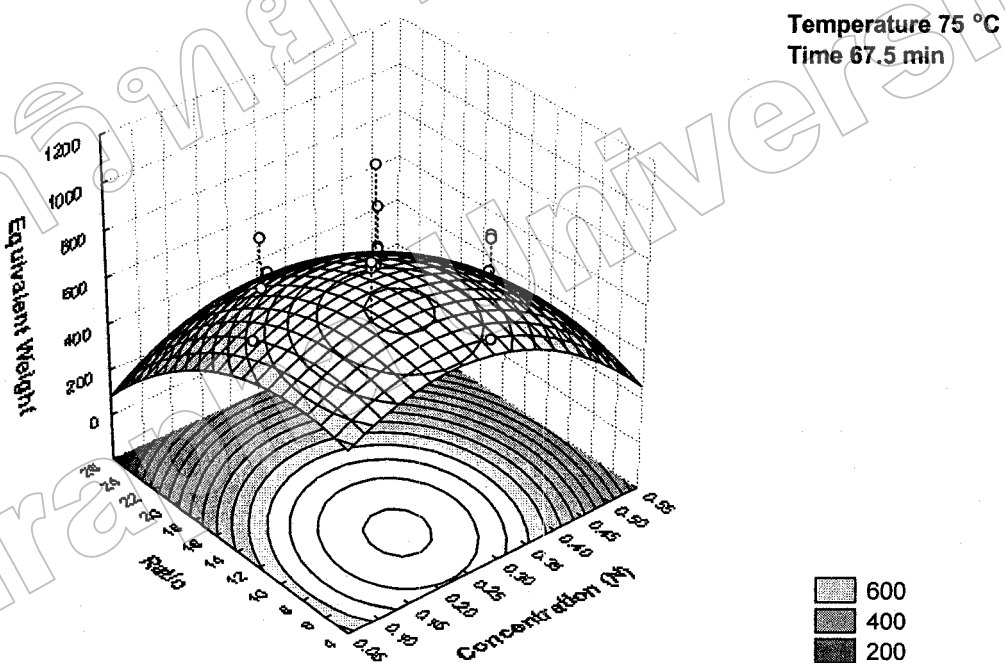
ผลจากความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.94 หมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้อธิบายความแปรเปลี่ยนของน้ำหนักสมมุทธ์เมื่อแปรเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ศึกษาได้มากถึง 94 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองนี้มีระดับความเชื่อมั่น 98 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ ($p \geq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมีผลต่อน้ำหนักสมมุทธ์ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล น้ำหนักสมมุทธ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่าอิทธิพลเป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 98 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 น้ำหนักสมมุทธ์มีแนวโน้มลดลง (ค่าอิทธิพลเป็นลบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 94 เปอร์เซ็นต์) ส่วนผลของเวลาไม่มีผลต่อน้ำหนักสมมุทธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาที่ละคู่ พบว่า อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลา และอิทธิพลร่วมของเวลาและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและอุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและเวลาไม่มีผลต่อน้ำหนักสมมุทธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น โดยพิจารณาร่วมกับกราฟพื้นผิวตอบสนองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมุทธ์กับตัวแปร พบว่า น้ำหนักสมมุทธ์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับความเข้มข้น (Quadratic, $-4339.68 X_1^2$) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (Quadratic, $-1.72X_4^2$) นั่นคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็นผลให้น้ำหนักสมมุทธ์เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งน้ำหนักสมมุทธ์จะลดลง ในขณะที่น้ำหนักสมมุทธ์กับอุณหภูมิ

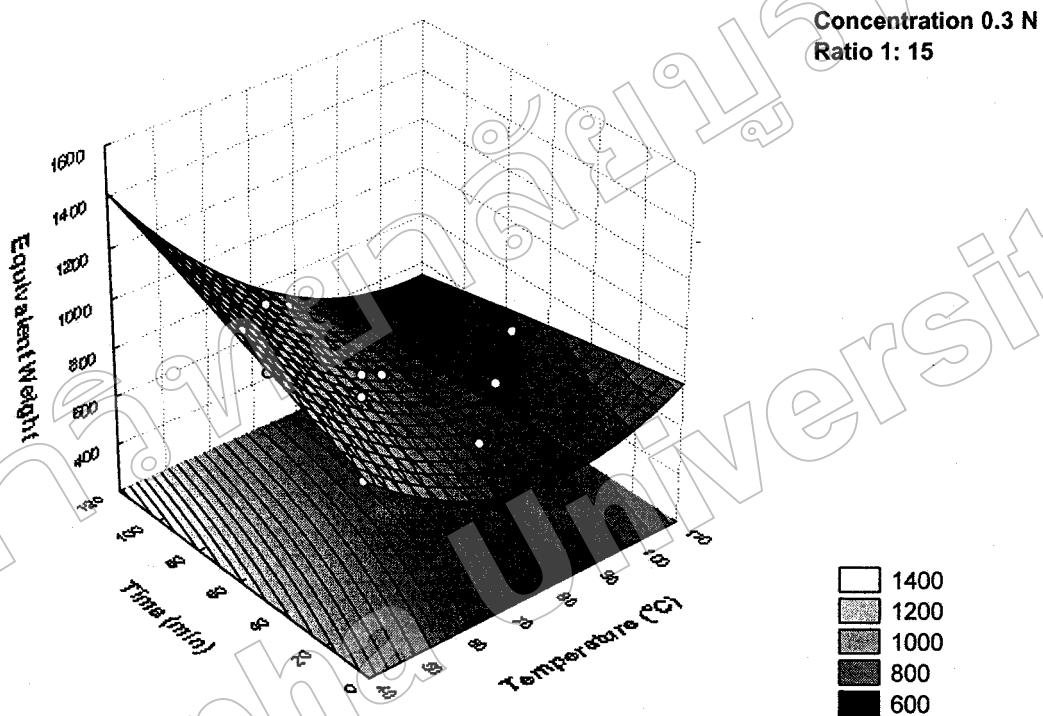
มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic, $0.19X_2^2$) นั่นคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดมีผลให้น้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาในการสกัดไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งต่อน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด ดังภาพที่ 4-8 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล น้ำหนักสมมูลจะเพิ่มขึ้นและน้ำหนักสมมูลเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 0.28 นอร์มัล ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 มีผลให้น้ำหนักสมมูลจะเพิ่มขึ้น และน้ำหนักสมมูลเริ่มลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นถึง 1:14.25



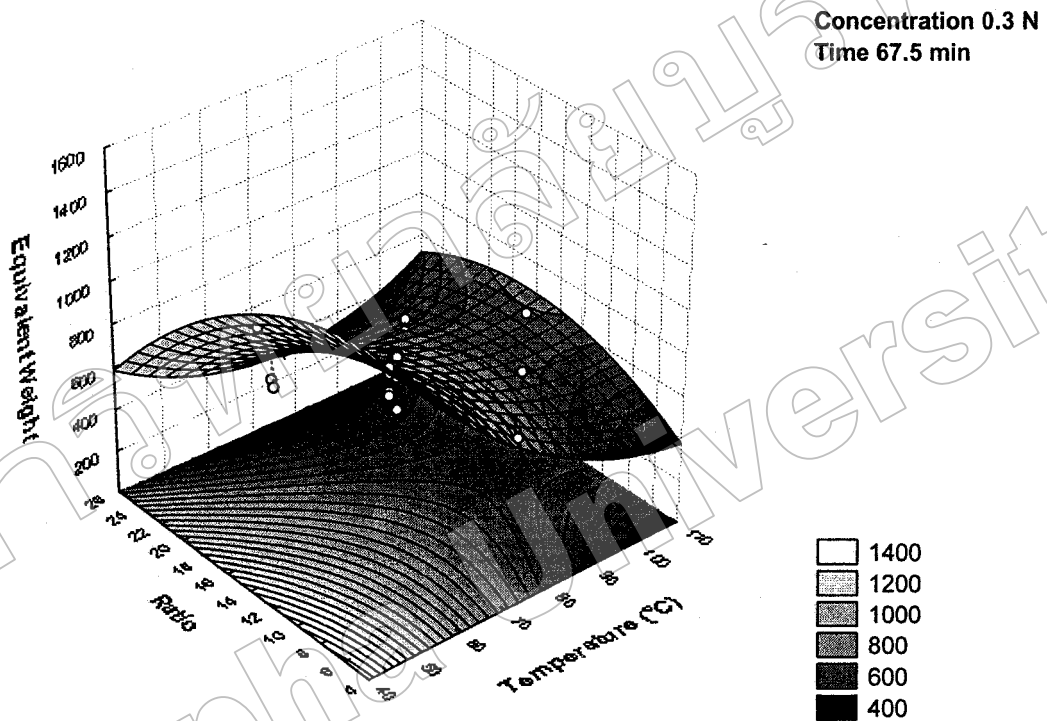
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลกับอุณหภูมิและเวลา (X_2, X_3) ดังภาพที่ 4-9 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้น้ำหนักสมมูลลดลง ส่วนในช่วงเวลาในที่ศึกษา (45-90 นาที) พบว่า เมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที มีผลให้น้ำหนักสมมูลเพิ่มขึ้น



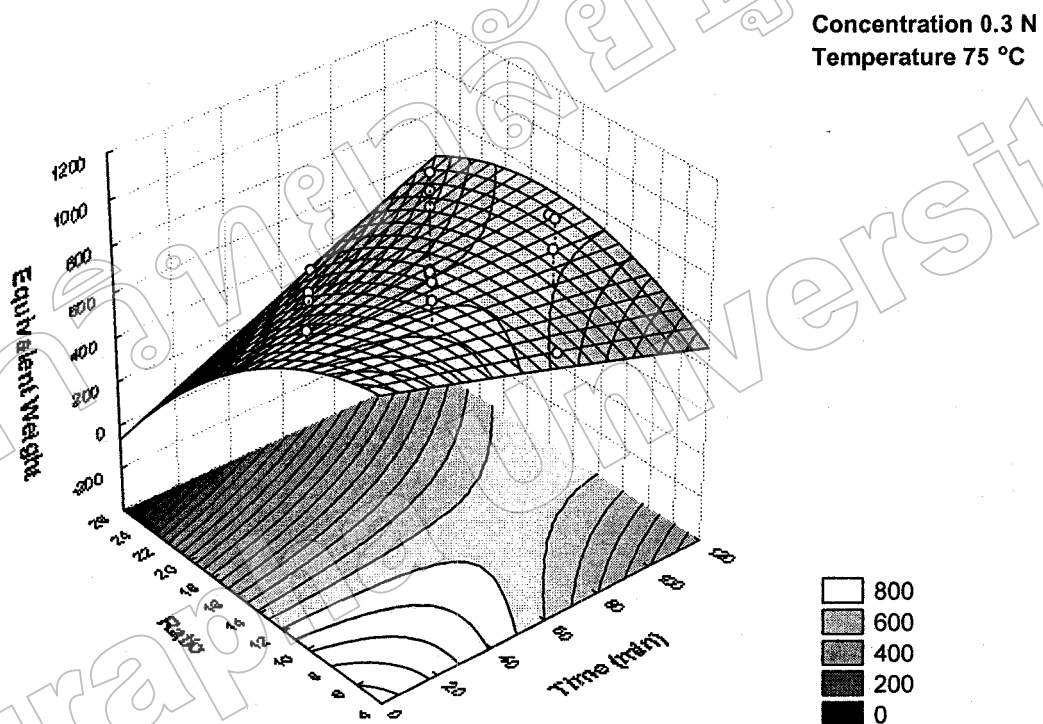
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับอุณหภูมิ (X_2) และเวลา (X_3)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลกับอุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2, X_4) ดังภาพที่ 4-10 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 65 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้น้ำหนักสมมูลลดลง ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้น้ำหนักสมมูลลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้กับเวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_3, X_4) ดังภาพที่ 4-11 พบว่า ในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) เมื่อเพิ่มเวลาจาก 45 นาที เป็น 90 นาที น้ำหนักสมมูลจะลดลง ส่วนอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 15) พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 15 น้ำหนักสมมูลจะลดลงเช่นกัน นอกจากนี้พบว่า อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิ (X_1, X_2) และความเข้มข้นของกรดและเวลา (X_1, X_3) ไม่มีความสัมพันธ์ต่อน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)



ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับเวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

แต่อย่างไรก็ตามจากแบบจำลองที่ได้ไม่สามารถแสดงจุดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินให้ได้น้ำหนักสมมูลสูงสุดได้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ แบบจำลองรวมทั้งภาพที่ 4-8 ถึงภาพที่ 4-11 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สรุปได้ว่า ภาวะที่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.26 นอร์มัล สกัดที่อุณหภูมิ 97.95 องศาเซลเซียส นาน 94.16 นาที โดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 17.49 ให้เพกทินที่มีน้ำหนักสมมูลเป็น 613.71 ซึ่งเป็นน้ำหนักสมมูลของ

เพกทินที่สกัดได้สูงสุดในขอบเขตที่ทำการศึกษา

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้และตัวแปรที่ศึกษา

จากตารางที่ 4-7 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้กับตัวแปร (ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_3 = -13.17 - 3.36X_1 + 0.25X_2 + 0.02X_3 + 1.19X_4 - 9.54X_1^2 - 0.001X_2^2 - 0.0001X_3^2 + 0.15X_1X_2 - 0.04X_1X_3 + 0.05X_1X_4 - 0.02X_2X_4 - 0.0003X_3X_4$$

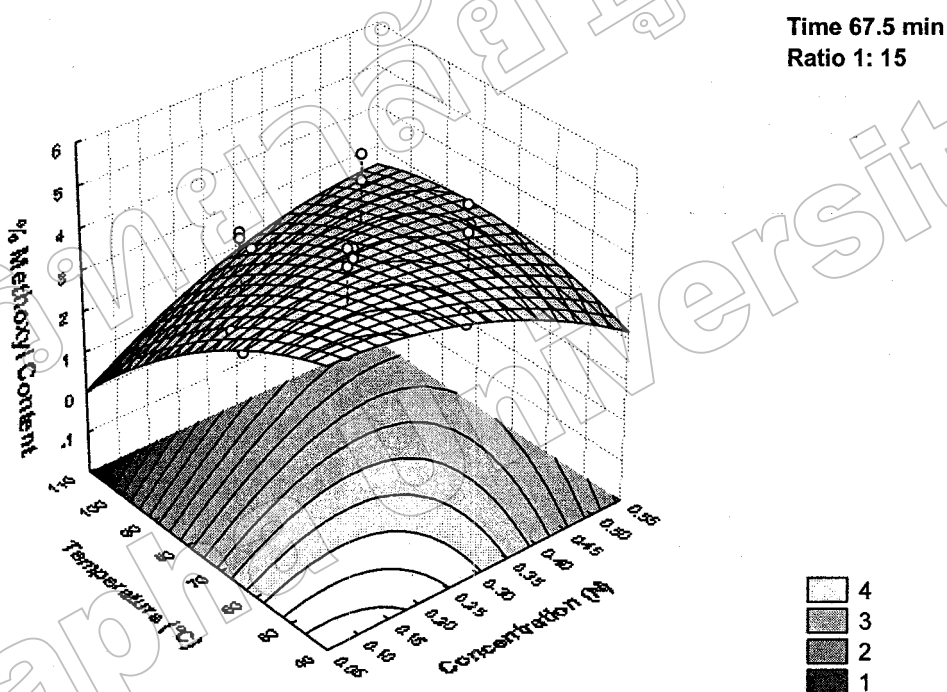
ผลจากความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.97 หมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้อธิบายความแปรเปลี่ยนของปริมาณเมทอกซิลเมื่อแปรเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ศึกษาได้มากถึง 97 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองนี้มีระดับความเชื่อมั่น 93 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-7 ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล ปริมาณเมทอกซิลมีแนวโน้มลดลง (ค่าอิทธิพลเป็นลบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส เวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1:10 เป็น 1:20 ปริมาณเมทอกซิลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่าอิทธิพลเป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาที่ละคู่ พบว่าอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและอุณหภูมิ อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและเวลา อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด อิทธิพลร่วมของเวลาและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด มีผลต่อปริมาณเมทอกซิลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาไม่มีผลต่อปริมาณเมทอกซิลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น โดยพิจารณาร่วมกับกราฟพื้นผิวตอบสนองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลกับตัวแปร พบว่า ปริมาณเมทอกซิลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (Quadratic, $-9.54X_1^2$) อุณหภูมิ (Quadratic, $-0.001X_2^2$) และเวลา (Quadratic, $-0.0001X_3^2$) นั่นคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และเวลา ในการสกัดเป็นผลให้ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง

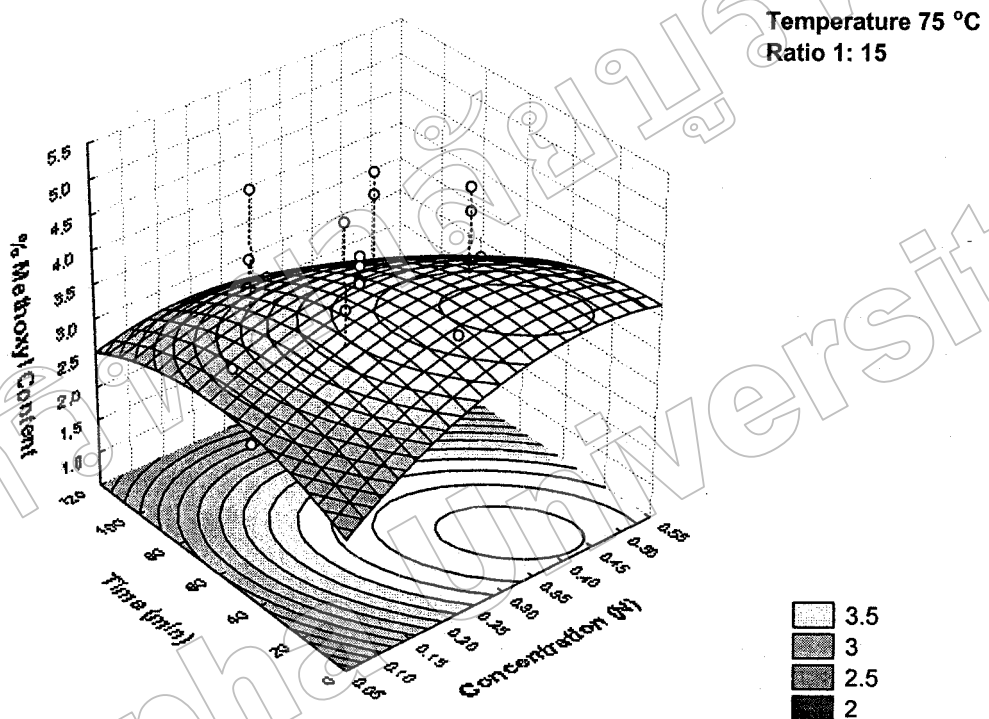
ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้จะลดลง นอกจากนี้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ใ้กับปริมาณเมทอกซิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอุณหภูมิ (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-12 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณเมทอกซิลลดลง ส่วนในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทอกซิลลดลง



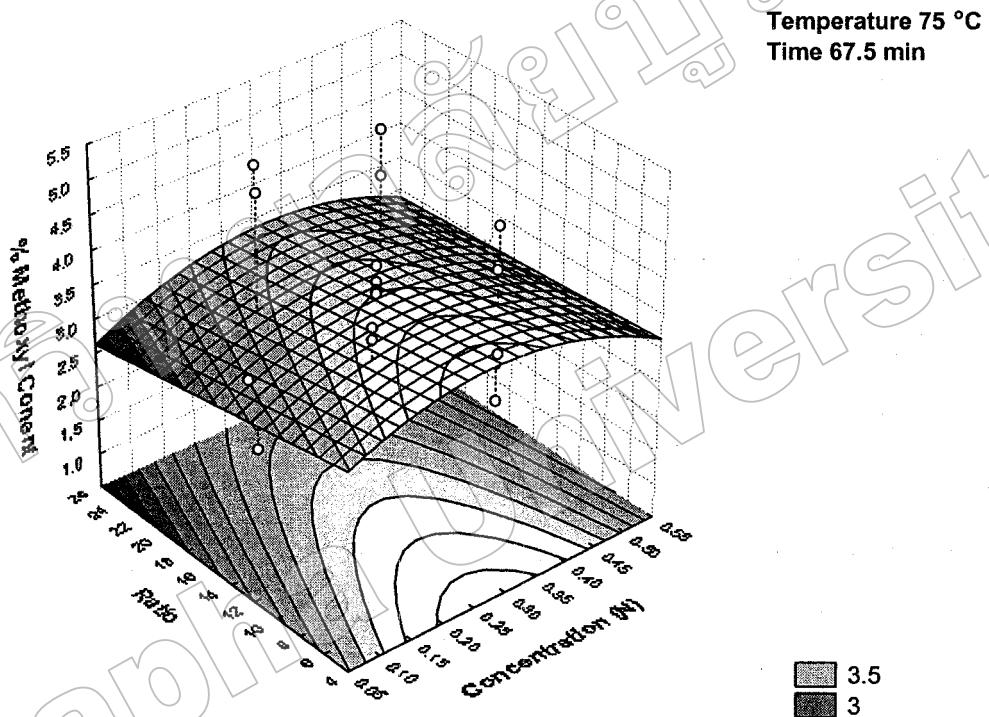
ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและเวลา (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-13 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณเมทอกซิลเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) พบว่า เมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที ปริมาณเมทอกซิลจะลดลง



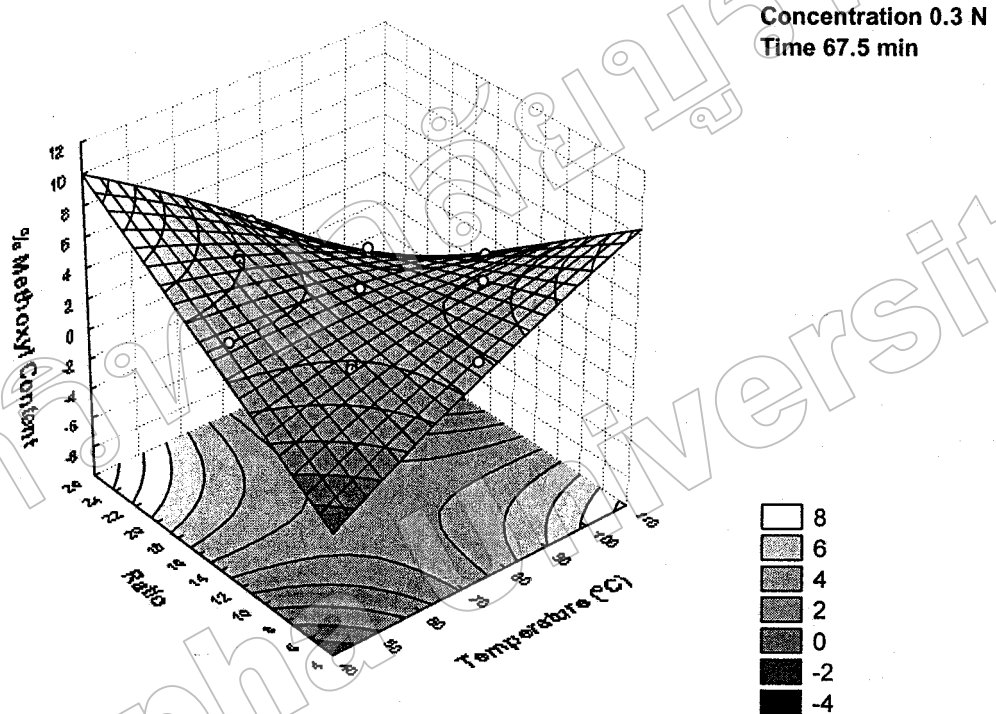
ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และเวลา (X_2)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-14 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มจาก 0.2 นอร์มัล ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และปริมาณเมทอกซิลเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 0.35 นอร์มัล ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 พบว่า ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ลดลง



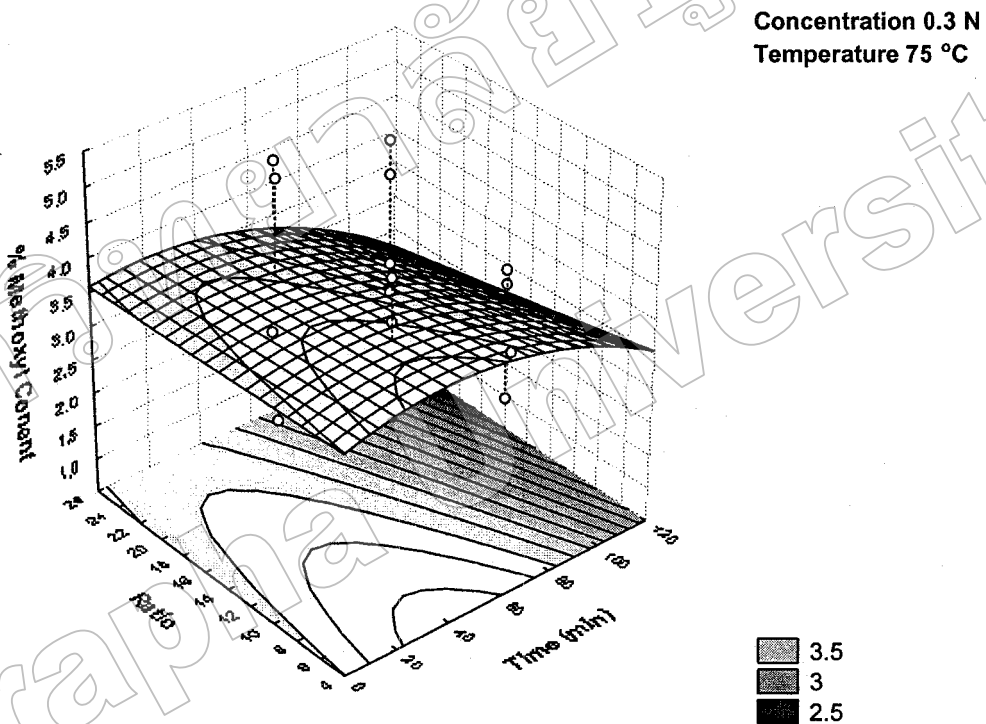
ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้น HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2)

เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้กับ อุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2, X_4) ดังภาพที่ 4-15 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้ ปริมาณเมทอกซิลเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่อ ใช้อัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้ปริมาณเมทอกซิลเพิ่มขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลกับเวลาและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_3, X_4) ดังภาพที่ 4-16 พบว่า ในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) เมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที มีผลให้ปริมาณเมทอกซิลเพิ่มขึ้น และปริมาณเมทอกซิลเริ่มลดลงเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นถึง 60 นาที ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้ปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ลดลง นอกจากนี้ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลกับอุณหภูมิและเวลา (X_2, X_3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)



ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับเวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

อย่างไรก็ตามจากแบบจำลองที่ได้ไม่สามารถแสดงจุดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินให้ได้ปริมาณเมทอกซิลสูงสุดได้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ แบบจำลอง รวมทั้งภาพที่ 4-12 ถึง 4-16 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สรุปได้ว่า ภาวะที่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.38 นอร์มัล สกัดที่อุณหภูมิ 74.51 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 23.55 นาที โดยใช้อัตราส่วน

ของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 13.82 ให้เพกทินที่มีปริมาณเมทอกซิลเป็น 3.85 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็น ปริมาณเมทอกซิลสูงสุดของเพกทินที่สกัดได้ในขอบเขตที่ทำการศึกษา

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้และตัวแปรที่ศึกษา

จากตารางที่ 4-7 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้กับตัวแปร (ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_4 = 3.48 - 40.47X_1 + 1.43X_2 - 0.54 X_3 + 3.23X_4 - 137.06X_1^2 - 0.02X_2^2 - 0.005X_3^2 - 0.10X_4^2 + 1.17X_1X_2 + 3.10X_1X_4 + 0.01X_2X_3 - 0.02X_2X_4 + 0.01X_3X_4$$

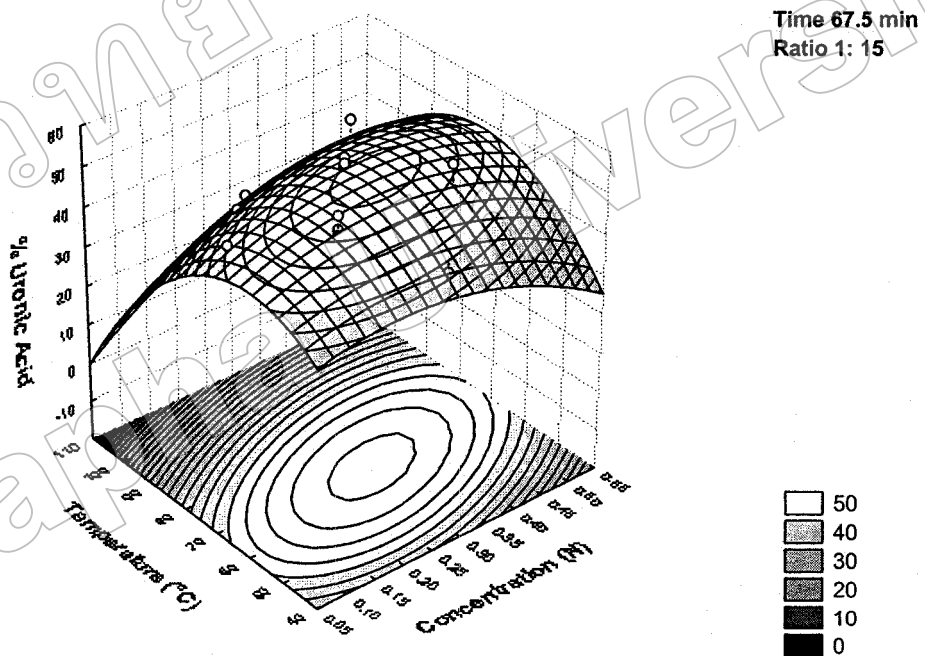
จากสมการที่ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.96 หมายความว่า แบบจำลองใน สมการที่ 4 สามารถใช้อธิบายความแปรเปลี่ยนของปริมาณเมทอกซิลเมื่อแปรเปลี่ยนระดับของ ปัจจัยที่ศึกษาได้มากถึง 96 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองนี้มีระดับความเชื่อมั่น 92 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบความเหมาะสมของ แบบจำลอง พบว่า แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-7 ปริมาณกรดยูโรนิกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบ ต่อกรด ($p < 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส และเมื่อ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 ปริมาณกรดยูโรนิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่าอิทธิพลเป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 96 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที ปริมาณกรดยูโรนิกมีแนวโน้มลดลง (ค่าอิทธิพลเป็นลบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 96 เปอร์เซ็นต์) ส่วนผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกไม่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกของ เพกทินที่สกัดได้ ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาก็จะดู พบว่า อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิ อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรด และอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรด อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลา อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรด และอิทธิพลร่วมของเวลาและอัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรดมีผลต่อปริมาณ กรดยูโรนิกอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรดและเวลาไม่มี ผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น โดยพิจารณาร่วมกับกราฟพื้นผิวตอบสนองที่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกกับตัวแปร พบว่า ปริมาณกรดยูโรนิกมี

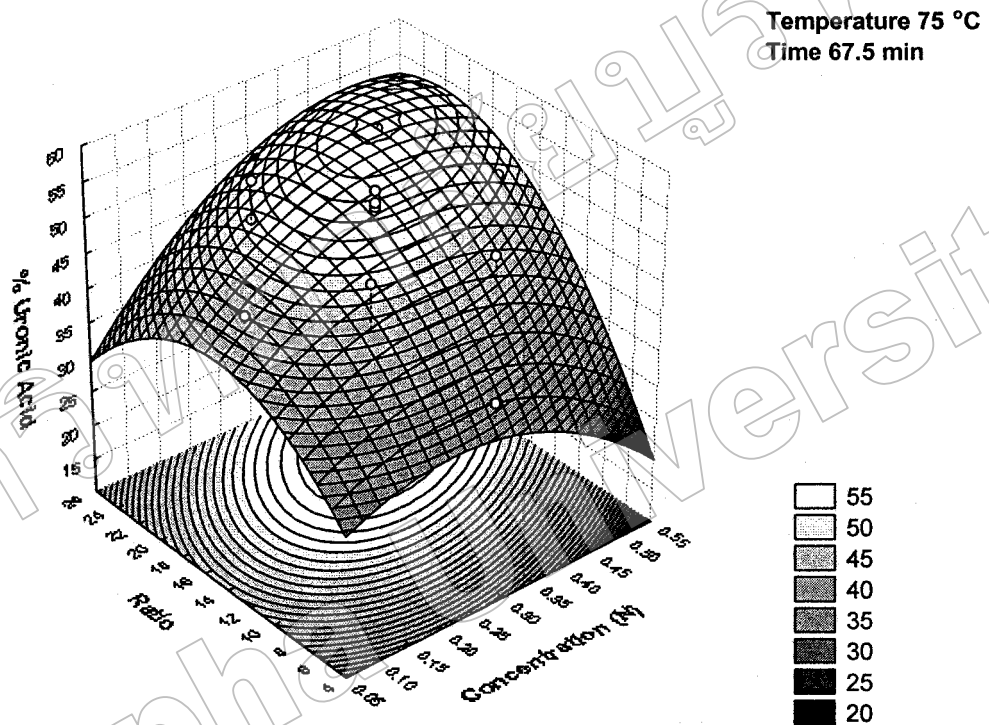
ความสัมพันธ์เชิงเส้น โค้งกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (Quadratic, $-40.47X_1^2$) อุณหภูมิ (Quadratic, $-0.012X_2^2$) เวลา (Quadratic, $-0.01X_3^2$) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (Quadratic, $-0.10X_4^2$) นั่นคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด เป็นผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งปริมาณเพกทินที่สกัดได้จะลดลง

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอุณหภูมิ (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-17 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น และปริมาณกรดยูโรนิกเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 0.4 นอร์มัล ส่วนในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียสมีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 72 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดยูโรนิกจะเริ่มลดลง



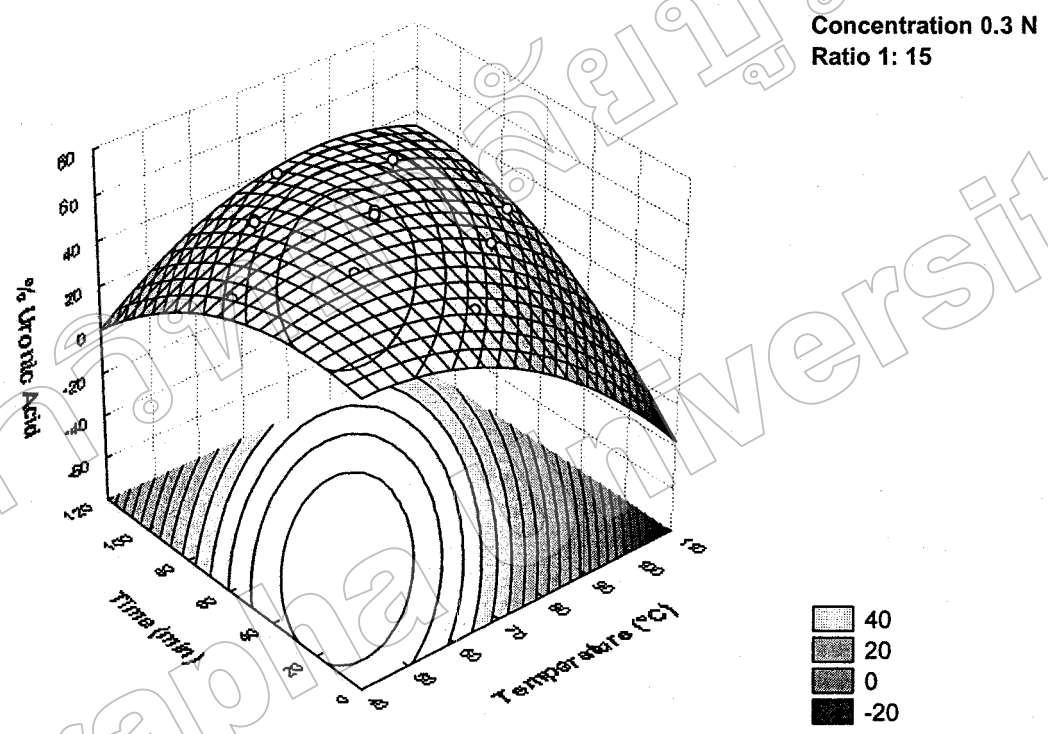
ภาพที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_1, X_4) ดังภาพที่ 4-18 พบว่าในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่าเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น



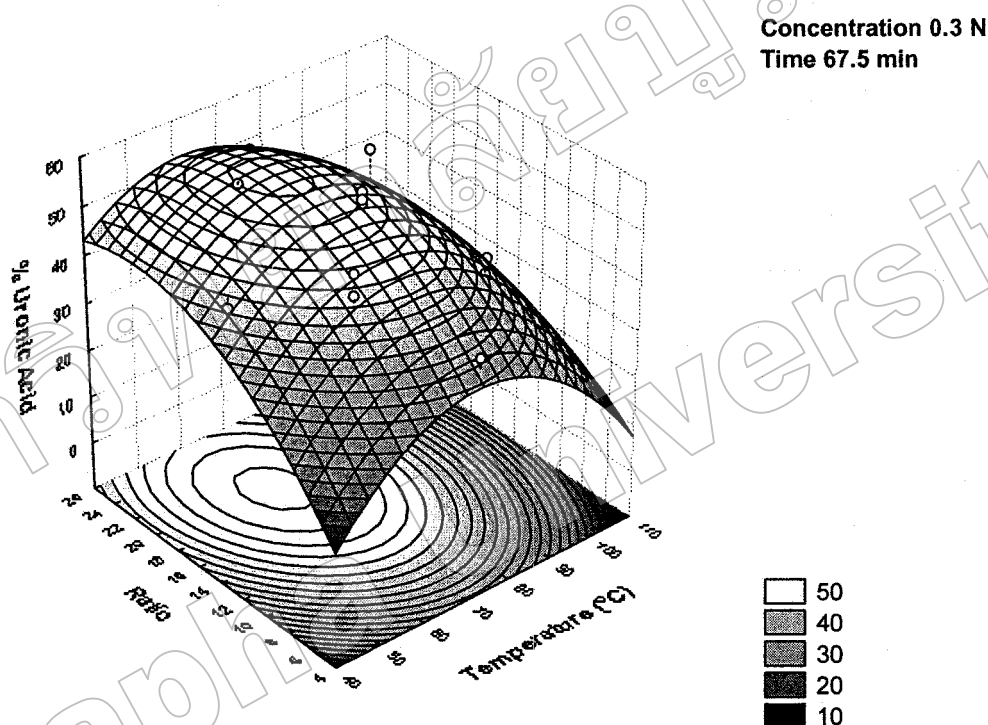
ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้กับ อุณหภูมิและเวลา (X_2, X_3) ดังภาพที่ 4-19 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิในระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น และ ปริมาณกรดยูโรนิกเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) พบว่า เมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นถึง 83 นาที ปริมาณกรดยูโรนิกจะเริ่มลดลง



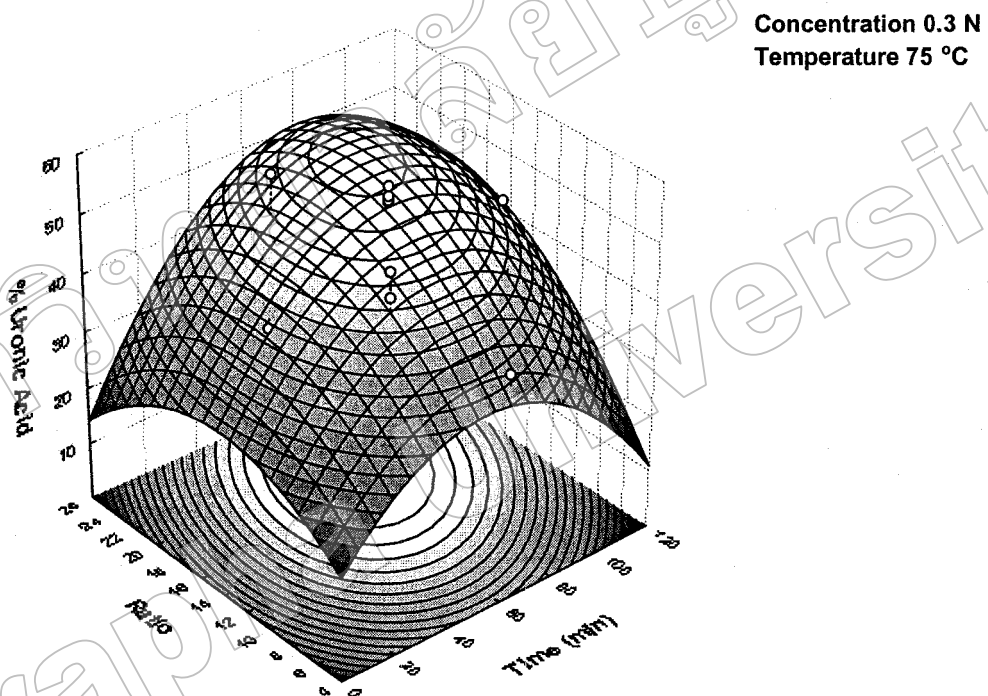
ภาพที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับอุณหภูมิ (X_2) และเวลา (X_3)

เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดโรนิกของเพกทินที่สกัดได้กับ อุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2, X_4) ดังภาพที่ 4-20 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณกรดโรนิก เพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 72 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดโรนิกจะเริ่มลดลง ส่วนในช่วง อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้ปริมาณกรดโรนิกเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้กับเวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_3, X_4) ดังภาพที่ 4-21 พบว่า ในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น และปริมาณกรดยูโรนิกเริ่มลดลงเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นถึง 90 นาที ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้ปริมาณกรดยูโรนิกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกกับความเข้มข้นของกรดและเวลา (X_1, X_2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)



ภาพที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับเวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

อย่างไรก็ตามจากแบบจำลองที่ได้ไม่สามารถแสดงจุดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินให้ได้ปริมาณกรดยูโรนิกสูงสุดได้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ แบบจำลอง รวมทั้งภาพที่ 4-17 ถึงภาพที่ 4-21 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สรุปได้ว่า ภาวะที่เข้มข้นกรด

ไฮโดรคลอริก 0.34 นอร์มัล สกัดที่อุณหภูมิ 63.02 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 57.94 นาที โดยใช้ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 19.53 ให้เพกทินที่มีปริมาณกรดยูโรนิก 57.35 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นปริมาณกรดยูโรนิกสูงสุดของเพกทินที่สกัดได้ในขอบเขตที่ทำการศึกษา

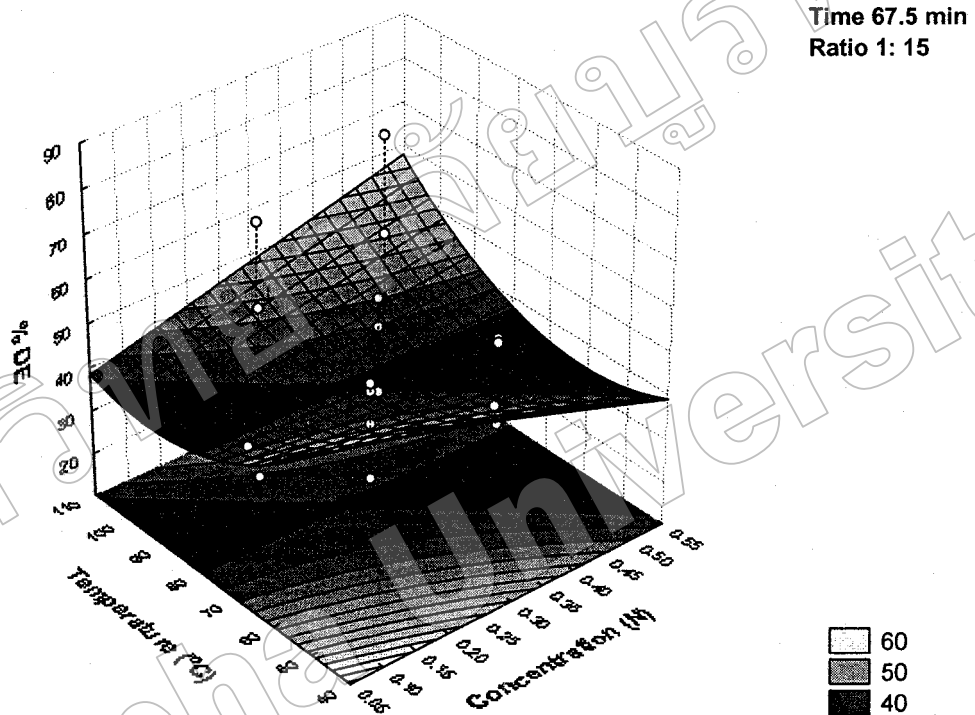
5. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้และตัวแปรที่ศึกษา จากตารางที่ 4-7 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้กับตัวแปร (ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_5 = -118.20 - 73.09X_1 + 2.17X_2 + 0.71X_3 + 10.73X_4 + 0.48X_1^2 + 0.01X_2^2 + 0.003X_3^2 + 0.11X_4^2 + 1.29X_1X_2 - 0.44X_1X_3 - 0.02X_2X_3 - 0.20X_2X_4$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น โดยพิจารณาร่วมกับกราฟพื้นผิวตอบสนองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์กับตัวแปร พบว่า ระดับการเกิดเอสเทอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้น โค้งกับอุณหภูมิ (Quadratic, $0.01X_2^2$) เวลา (Quadratic, $0.003X_3^2$) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (Quadratic, $0.11X_4^2$) นั่นคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น โค้งต่อระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

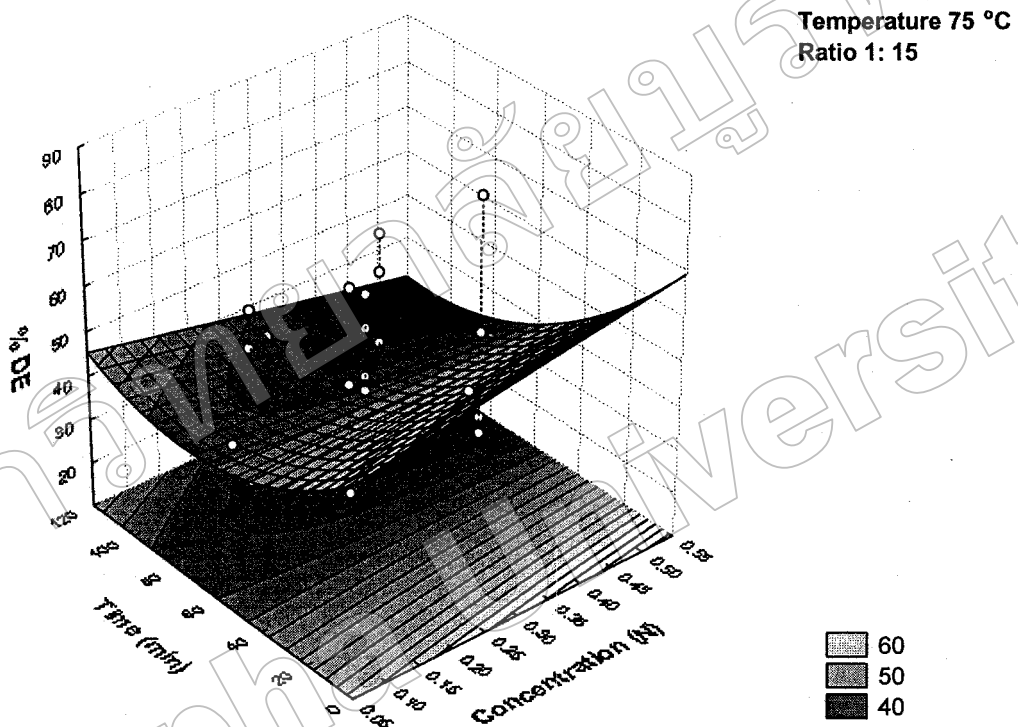
ระดับการเกิดเอสเทอร์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อกรด ($p < 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส เวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที และอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 เป็นผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่าอิทธิพลเป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เมื่อเพิ่มขึ้นจาก 0.2 นอร์มัล เป็น 0.4 นอร์มัล ปริมาณกรดยูโรนิกมีแนวโน้มลดลง (ค่าอิทธิพลเป็นลบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาที่ละคู่ พบว่า อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิ อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรดและเวลา อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลา อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดมีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของกรดและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด และอิทธิพลร่วมของเวลาและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด ไม่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและอุณหภูมิ (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-22 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 0.4 นอร์มัล มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ลดลง ส่วนในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 60 นาที เป็น 90 นาที มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ลดลง



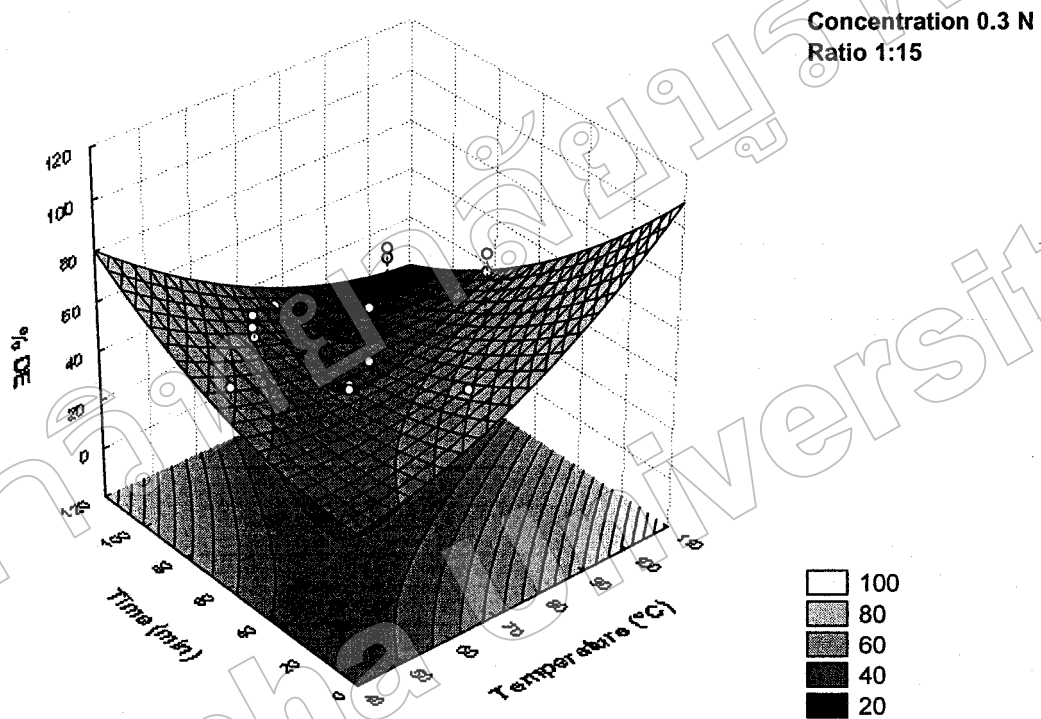
ภาพที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2)

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและเวลา (X_1, X_2) ดังภาพที่ 4-23 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (0.2-0.4 นอร์มัล) เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มจาก 0.2 เป็น 0.4 นอร์มัล มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ลดลง



ภาพที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และเวลา (X_2)

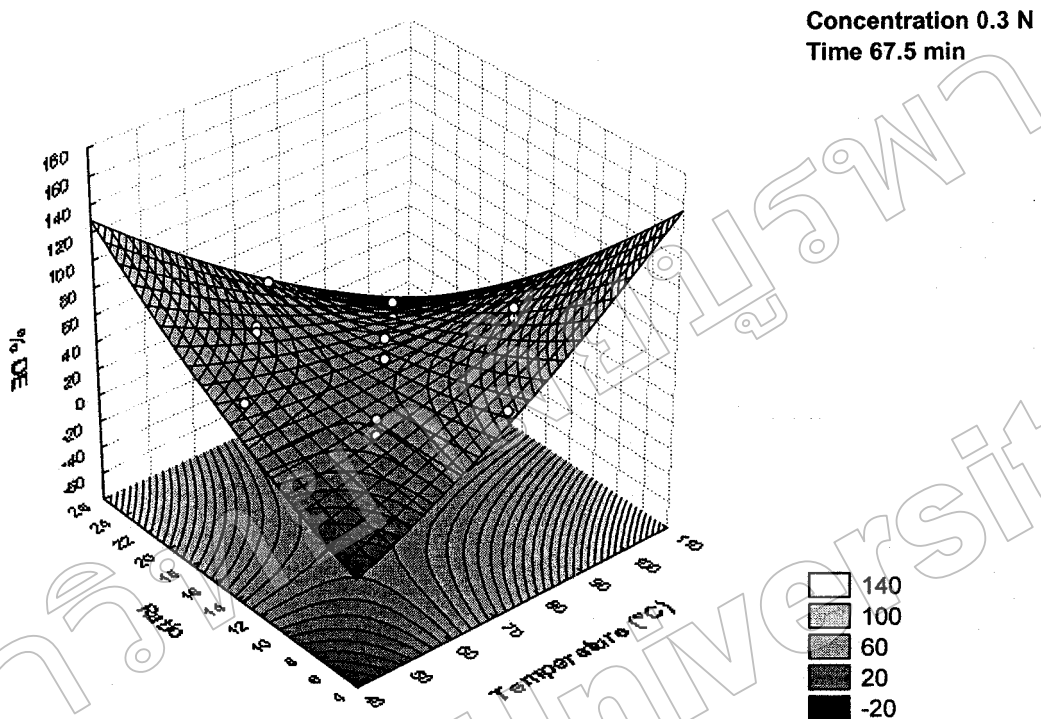
เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้กับ อุณหภูมิและเวลา (X_2, X_3) (ภาพที่ 4-24) พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงเวลาที่ศึกษา (45-90 นาที) พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 90 นาที มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับอุณหภูมิ (X_2) และเวลา (X_3)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้กับ อุณหภูมิและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_2, X_4) ดังภาพที่ 4-25 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิในที่ศึกษา (60-90 องศาเซลเซียส) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส มีผลให้ ระดับการเกิดเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดที่ศึกษา (1: 10-1: 20) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเพิ่มขึ้นจาก 1: 10 เป็น 1: 20 มีผลให้ระดับการเกิดเอสเทอร์ เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์กับความเข้มข้นของ

กรดไฮโดรคลอริกและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_1, X_4) และเวลากับอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_3, X_4) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)



ภาพที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)

ผลจากความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.97 หมายความว่า แบบจำลองในสมการดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้อธิบายความแปรเปลี่ยนของระดับการเกิดเอสเทอร์เมื่อแปรเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ศึกษาได้มากถึง 97 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองนี้มีระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบความไม่เหมาะสมของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ที่ได้นี้ไม่มีความเหมาะสมและไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ ($p < 0.05$)

การพิจารณาเลือกภาวะการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณเพกทินที่สกัดได้เป็นหลัก โดยพิจารณาร่วมกับคุณลักษณะที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ด้วยคือ น้ำหนักสมมูล ปริมาณเมทอกซิล ปริมาณกรดยูโรนิก และระดับการเกิดเอสเทอร์ โดยปริมาณเมทอกซิล และระดับการเกิดเอสเทอร์เป็นตัวบ่งชี้ว่าเพกทินที่สกัดได้เป็นเพกทินชนิด

เมทอกซิลสูงหรือเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ ส่วนปริมาณกรดยูโรนิกเป็นตัวบ่งชี้ถึงความบริสุทธิ์ของเพกทิน ส่วนน้ำหนักสมมูลย์เป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนกรดกาแลกทูโรนิกที่มีอยู่ในเพกทินที่สกัดได้จากการทดลองพบว่าภาวะการสกัดที่เพกทินมีค่าน้ำหนักสมมูลย์สูงสุด เป็นภาวะที่มีสกัดได้ปริมาณเพกทินต่ำ และปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ต่ำเกินไปไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงพิจารณาจากปริมาณเพกทิน และเลือกใช้แบบจำลองของปริมาณเพกทินที่สกัดได้เพื่อหาภาวะที่มีความเหมาะสมที่สุดในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน จากแบบจำลองดังกล่าวภาวะที่มีความเหมาะสมในการสกัดเพกทิน คือ ความเข้มข้น 0.24 นอร์มัล อัตราส่วน 1: 15 อุณหภูมิ 89 องศาเซลเซียส และเวลา 70 นาที โดยสกัดได้ปริมาณเพกทินสูงสุดเป็น 7.59 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง

ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม

เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ จึงสุ่มเลือกภาวะการสกัดทั้งหมด 5 ภาวะที่ครอบคลุมระดับสูงสุดและต่ำสุดของปัจจัยทุกปัจจัยที่ภาวะเหมาะสมมาทำการสกัดหาปริมาณเพกทิน และคำนวณหาปริมาณเพกทิน โดยการแทนค่าของระดับปัจจัยในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-26

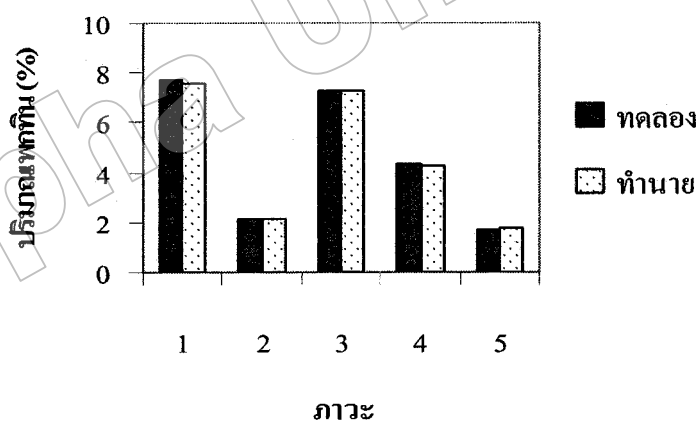
$$Y = -55.615 + 67.033X_1 + 0.648X_2 + 0.387X_3 + 1.741X_4 - 43.882X_1^2 - 0.003X_2^2 - 0.003X_3^2 - 0.047X_4^2 - 0.322 X_1X_2 - 0.105X_1X_3 - 0.688X_1X_4 - 0.002X_2X_4 + 0.001X_3X_4$$

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณเพกทิน ซึ่งได้จากการทดลองสกัดจริงเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4-8 พบว่า ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ ใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังภาพที่ 4-26 โดยสรุปแล้วถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้สามารถนำไปใช้ทำนายที่มีความแม่นยำที่เชื่อถือได้ในช่วงของภาวะที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4-8 ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากการทดลองทำการสกัดจริงเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ภาวะ	ระดับของปัจจัยที่ศึกษา (โดยการสุ่มเลือก)				ปริมาณเพกทิน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	
	ความเข้มข้น	อุณหภูมิ	เวลา	อัตราส่วน	ทดลอง	ทำนาย
	(N)	(°C)	(นาที)			
1	0.24	89	70	1:15	7.73 ^a	7.59 ^a
2	0.10	60	90	1:20	2.10 ^a	2.15 ^a
3	0.15	89	70	1:15	7.32 ^a	7.25 ^a
4	0.25	75	90	1:10	4.35 ^a	4.29 ^a
5	0.30	100	50	1:5	1.68 ^a	1.74 ^a

หมายเหตุ^a หมายถึง ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4-26 ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เปรียบเทียบกับปริมาณเพกทินที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการศึกษสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกตินที่สกัดได้ในภาวะเหมาะสม เปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้า

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเพกตินที่สกัดได้และเพกตินทางการค้าชนิด เมทอกซิลต่ำ

จากการสกัดเพกตินจากส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่ภาวะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.24 นอร์มัล อุณหภูมิ 89 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที และใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15 พบว่า เพกตินที่สกัดได้มีสมบัติทางเคมีต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-9 พบว่า เพกตินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีปริมาณเมทอกซิล และระดับการเกิดเอสเทอร์มากกว่า เพกตินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของเพกตินที่สกัดจากของเหลือทิ้งของขนุนที่ภาวะเหมาะสมเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

ปริมาณ และ สมบัติของเพกติน	เพกตินจากของเหลือทิ้ง ของขนุน	เพกตินทางการค้า ชนิดเมทอกซิลต่ำ ¹
ความชื้น (%)	11.65	10.22
ปริมาณเถ้า (%)	2.70	1.25
น้ำหนักสมมูลย์	1409.11	1984.15
ปริมาณเมทอกซิล (%)	2.69	2.65
ปริมาณกรดยูโรนิก (%)	57.08	61.19
ระดับการเกิดเอสเทอร์ (%)	26.75	24.59

หมายเหตุ ¹ หมายถึง ชื่อทางการค้า คือ Red Ribbon Pure ของบริษัท Obipektin ประเทศอังกฤษ

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเพกตินที่สกัดได้และเพกตินทางการค้าชนิด เมทอกซิลต่ำ

จากการวิเคราะห์ค่าสีของเพกติน พบว่า เพกตินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำกว่าเพกตินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ และเพกตินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มของสี (C*) สูงกว่า

เพกทินทางการค้า ส่วนค่าเฉลี่ย (h^*) ของเพกทินที่สกัดได้ต่ำกว่าเพกทินทางการค้า ดังตารางที่ 4-10 โดยเพกทินที่สกัดได้มีสีน้ำตาลแดง ส่วนเพกทินทางการค้ามีสีเหลืองนวล ดังภาพที่ 4-27



ภาพที่ 4-27 เพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

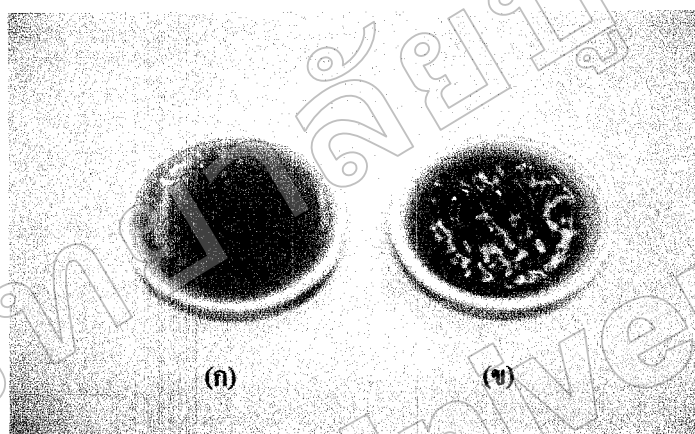
ตารางที่ 4-10 ค่าสีของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ

ค่าสี	เพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน	เพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ
ค่าความสว่าง (L^*)	59.53	82.10
ค่าความเป็นสีแดง (a^*)	12.92	4.42
ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)	31.24	23.05
ค่าเฉลี่ย (h^*)	67.53	79.15
ค่าความเข้มของสี (C^*)	33.81	23.47

ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์เพกทินที่ผลิตได้กับเพกทินทางการค้าในการผลิตเยลลี่สับปะรดเคลือบรีตาร์ท

เพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีปริมาณระดับการเกิดเอสเทอร์ 26.75 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ เพราะมีระดับการเกิดเอสเทอร์ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จึง

ได้ทดลองนำมาใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่สับประรดแคลอรีต่ำ จากนั้นวัดสมบัติทางกายภาพของเยลลี่ ได้แก่ ค่าสี และความแข็งแรงของเจลเปรียบเทียบกับเยลลี่สับประรดที่ใช้เพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ พบว่า เยลลี่ที่ใช้เพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ค่ากรดสี และค่าความเข้มของสีใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า โดยลักษณะปรากฏของเยลลี่สับประรดแคลอรีต่ำที่เตรียมจากเพกทินที่สกัดได้และเพกทินทางการค้า แสดงดังภาพที่ 4-28 รวมทั้งค่าความแข็งแรงของเยลลี่ที่ใช้เพกทินที่สกัดได้กับเพกทินทางการค้าก็มีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4-11



ภาพที่ 4-28 เยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน (ก) และเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ (ข)

ตารางที่ 4-11 สมบัติทางกายภาพของเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้า

ค่าสี	เพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน	เพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ
ค่าความสว่าง (L*)	21.66	25.41
ค่าความเป็นสีแดง (a*)	5.34	3.99
ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	10.72	12.27
ค่ากรดสี (h*)	63.53	71.99
ค่าความเข้มของสี (C*)	11.98	12.91
ค่าความแข็งแรงของเจล (นิวตัน.มิลลิเมตร)	2.02	2.08