



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ในถังปฏิบัติการแบบทีละเท แบบปิด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล โดยการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง

- การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย
- การทดลองที่ 2 ศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ทำปฏิกิริยา
- การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

2. ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ด้วยโปรแกรมมินิแทป เวอร์ชัน 14 โดยเลือกการออกแบบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน โดยมีตัวแปรที่เลือกศึกษาและมีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่

- ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย
- ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ทำปฏิกิริยา
- ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลจะใช้น้ำล้างน้ำมันผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 5 ครั้ง เท่าๆกัน ซึ่งน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากการผสมน้ำล้างน้ำมันผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 2-5 เข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เท่ากัน เพื่อเป็นตัวแทนของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงที่เป็นตัวแทนของน้ำเสียไบโอดีเซลชุมชนทั่วไป โดยลักษณะน้ำเสียจากการล้างน้ำมันผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ดังตารางที่

4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียจากการล้างน้ำมันผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากการล้างไบโอดีเซล				
	น้ำล้างครั้งที่ 2	น้ำล้างครั้งที่ 3	น้ำล้างครั้งที่ 4	น้ำล้างครั้งที่ 5	น้ำล้างรวมครั้งที่ 2-5
1.พีเอช	10.49	7.84	6.95	6.67	8.99
2.ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/ซม.)	0.58	0.39	0.26	0.18	0.35
3.ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	850	440	212	85	400
4.ซีไอดี (มก./ล.)	79,120	16,879	5,275	1,945	28,750
5.น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	15,880	4,605	2,565	523	6,020
6.กลีเซอรอล (มก./ล.)	2,581	942	611	430	1,360
7.เมทานอล (มก./ล.)	35,937	7,402	1,269	836	10,667

4.2 การออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

4.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียไบโอดีเซลมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ด้วยการปรับเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 5 ชุด และปรับเปลี่ยนค่าพีเอช 3 ค่า คือ 4, 6 และ 9 คือ

- ชุดที่ 1 ใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นขั้วเหล็ก
- ชุดที่ 2 ใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นขั้วแกรไฟต์
- ชุดที่ 3 ใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นขั้วอลูมิเนียม
- ชุดที่ 4 ใช้ขั้วแอโนดเป็นขั้วเหล็กและขั้วแคโทดเป็นขั้วแกรไฟต์
- ชุดที่ 5 ใช้ขั้วแอโนดเป็นขั้วอลูมิเนียมและขั้วแคโทดเป็นขั้วแกรไฟต์

โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 30 นาที คงที่ทุกชุดการทดลอง ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 ถึง 4.7 และมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าต่างๆ

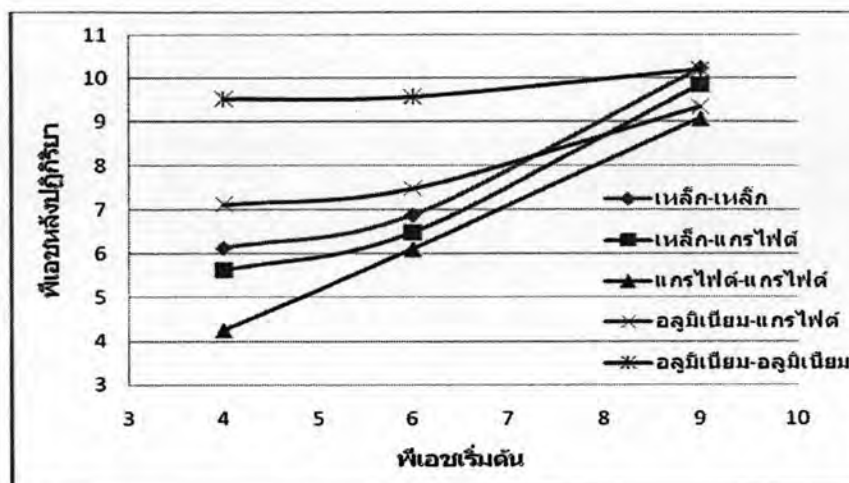
ขั้วไฟฟ้า (แอโนด- แคโทด)	พีเอช เริ่ม	พีเอช หลัง ปฏิกิริยา	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)			ปริมาณ ก๊าซ (มล.)	กระแส ไฟฟ้า (แอมแปร์)	น้ำหนักขั้วที่ลดลง (กรัม)			ค่าขั้ว ไฟฟ้า (บาท)
			ซีโอดี	ของแข็ง แขวนลอย	น้ำมันและ ไขมัน			แอโนด	แคโทด	รวม	
เหล็ก- เหล็ก	4	6.13	53.26	93.75	97.34	375	1.16	0.6768	0.0304	0.7072	0.030
	6	6.88	57.61	95.00	98.17	290	0.82	0.3848	0.0141	0.3989	0.017
	9	10.24	15.22	25.00	27.41	105	0.44	0.2272	0.0117	0.2389	0.010
เหล็ก- แกรไฟต์	4	5.63	52.84	91.67	97.22	355	1.11	0.5572	0.0151	0.5724	0.023
	6	6.49	56.82	93.06	97.98	207.5	0.81	0.3554	0.0097	0.3651	0.015
	9	9.86	14.77	19.44	33.75	140	0.47	0.1733	0.0090	0.1823	0.007
แกรไฟต์- แกรไฟต์	4	4.26	32.56	41.18	50.00	267.5	0.67	+0.017	+0.020	+0.038	0
	6	6.11	26.74	26.47	41.95	205	0.54	+0.051	+0.003	+0.054	0
	9	9.09	18.60	14.71	34.32	115	0.37	+0.099	+0.001	+0.100	0
อลูมิเนียม- แกรไฟต์	4	7.12	50.57	95.00	96.82	462.5	0.90	0.1807	0.0132	0.1938	0.028
	6	7.49	55.68	97.50	97.83	432.5	0.83	0.1565	0.008	0.1644	0.024
	9	9.36	35.23	50.00	54.43	102.5	0.37	0.0661	0.0036	0.0697	0.010
อลูมิเนียม- อลูมิเนียม	4	9.53	50.12	92.76	96.84	815	1.09	0.3557	0.0238	0.3795	0.059
	6	9.58	56.73	98.03	98.42	710	0.92	0.3272	0.0151	0.3423	0.053
	9	10.21	36.90	57.89	68.60	385	0.49	0.2300	0.0120	0.2420	0.038

4.2.1.1 พีเอช

จากการทดลองใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะพบว่าพีเอชหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 เนื่องจากเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถังปฏิกิริยา จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของขั้วไฟฟ้า โดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด ทำให้โลหะเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำ ในขณะที่ขั้วแคโทด จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากเกิดตะกอนของเฟอร์ริไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$)

เมื่อใช้ขั้วแคโทดเป็นแกรไฟต์ จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นน้อยกว่าที่ใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นโลหะประเภทเดียวกัน เนื่องจากแกรไฟต์สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะ โดยเมื่อให้กระแสไฟฟ้าในอัตราที่เท่ากัน เมื่อใช้แกรไฟต์เป็นขั้วแคโทด จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) น้อยกว่าเมื่อใช้โลหะเป็นขั้วแคโทด ทำให้เกิดตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์น้อยกว่าทำให้ค่าพีเอชต่ำกว่า ส่วนขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ ค่าพีเอชของน้ำจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากแกรไฟต์เป็นธาตุที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ มีความเสถียรสูง จึงไม่แตกตัวที่ขั้วแอโนด แต่ที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) โดยจะเกิดปฏิกิริยาในอัตราที่ต่ำทำให้

เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH) ในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก ทำให้ค่าพีเอชในน้ำเสียเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น



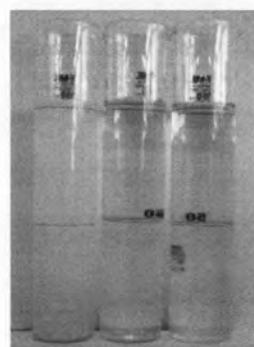
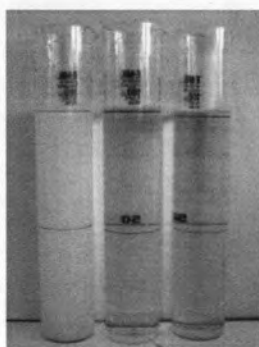
รูปที่ 4.1 ผลของขั้วไฟฟ้าและพีเอชเริ่มต้นต่อค่าพีเอชหลังการทดลอง

4.2.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วแอโนดที่พีเอช 4 และ 6 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 52.84 และ 57.61 แต่ที่พีเอช 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดต่ำลงอยู่ในช่วงร้อยละ 14.77-15.22 น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วแอโนดในตอนแรกจะมีตะกอนสีเขียวของเฟอร์ริไฮดรอกไซด์ ($Fe(H_2O)_4(OH)_2$) จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองของเฟอร์ริไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) โดยน้ำเสียที่พีเอช 4 และ 6 เมื่อปล่อยทิ้งไว้ จะสามารถตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์เป็นเฟอร์ริไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ส่วนที่พีเอช 9 อยู่ในช่วงพีเอชที่ไม่เหมาะสมกับการตกตะกอนของเฟอร์ริไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) โดยช่วงที่สามารถตกตะกอนในรูป $Fe(OH)_n$ ได้น้อยที่สุด คือ พีเอช 7-8 ทำให้เกิดตะกอนเหล็กสีเหลืองในรูป Fe_2O_3 หรือ $FeO(OH)$ หรือรูปอื่น (David และคณะ 2007) ปนอยู่ในน้ำเสียทำให้ตะกอนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตกตะกอนได้ยาก และเมื่อเวลาผ่านไปจะมีพวกไขมันต่างๆ มาเกาะที่ขั้วแคโทดทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลงปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH) ที่เกิดขึ้นจึงลดลงเช่นกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าต่ำ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

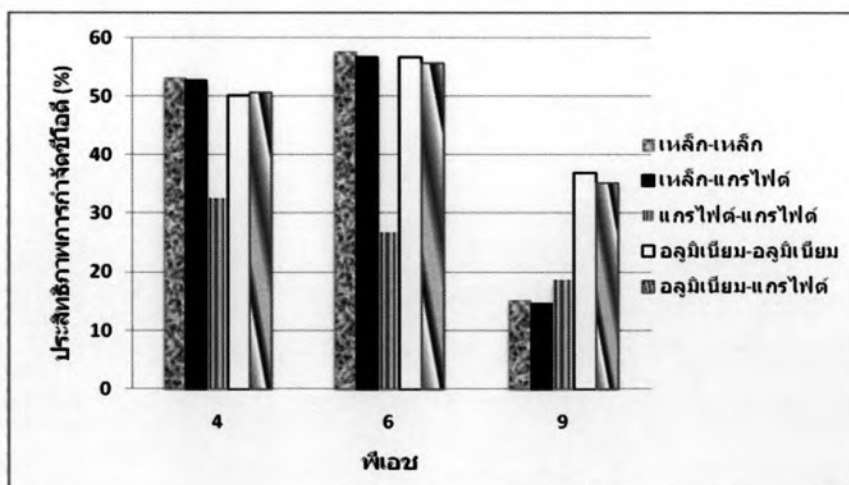


ขี้วัวไฟฟ้าแบบเหล็ก-เหล็ก ขี้วัวไฟฟ้าแบบเหล็ก-แกรไฟต์ ขี้วัวไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์



ขี้วัวไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ขี้วัวไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-อลูมิเนียม

รูปที่ 4.2 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ ที่เวลา 30 นาที ที่พีเอช 4, 6 และ 9 โดยเรียงจากซ้ายไปขวา



รูปที่ 4.3 ผลของขี้วัวไฟฟ้าและพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

เมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดที่พีเอช 4 และ 6 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอคืออยู่ในช่วงร้อยละ 50.12-56.73 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ขั้วเหล็ก แต่ที่พีเอช 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอคือจะลดต่ำลงอยู่ในช่วงร้อยละ 35.23-36.90 โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดจะใส โดยตะกอนที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) แต่ที่พีเอช 9 เนื่องจากพีเอชอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานของอลูมิเนียม และเมื่อเวลาผ่านไปจะมีพวกไขมันต่างๆ มาเกาะที่ขั้วแคโทด ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลง ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงลดลงเช่นกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าต่ำ และน้ำที่ผ่านการบำบัดก็ยังคงมีความขุ่นอยู่ ดังรูปที่ 4.2

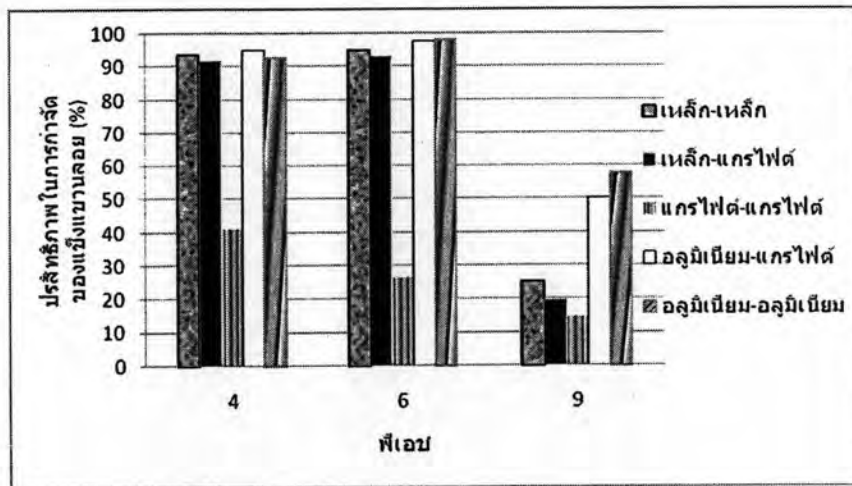
แต่เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่พีเอช 4-9 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอคือจะมีค่าต่ำ คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 18.60-32.56 เนื่องจากขั้วแกรไฟต์สามารถนำไฟฟ้าได้ต่ำ และไม่มีการแตกตัวให้โลหะอินอน เพื่อใช้เป็นสารช่วยรวมตะกอนในน้ำ แต่จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นแทน ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยพาพวกน้ำมันและไขมัน และสารแขวนลอยต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียบางส่วนออกไปได้ ทำให้สามารถลดค่าซีโอคือได้บางส่วน แต่ไม่สามารถทำให้น้ำใสได้ ดังรูปที่ 4.2 จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าที่พีเอช 6 เมื่อใช้โลหะเป็นขั้วแอโนดจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอคือใกล้เคียงกัน โดยหากดูจากสภาพของน้ำเสีย และน้ำหนักขั้วไฟฟ้าที่สลายไปหลังการทดลองจะพบว่าขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ จะมีความเหมาะสมมากที่สุด และขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมัน แต่เหมาะที่จะนำไปใช้กับการเป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับการนำกลับพวกโลหะต่างๆ จากน้ำเสีย หรือจากตะกอนต่างๆ แทน

4.2.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

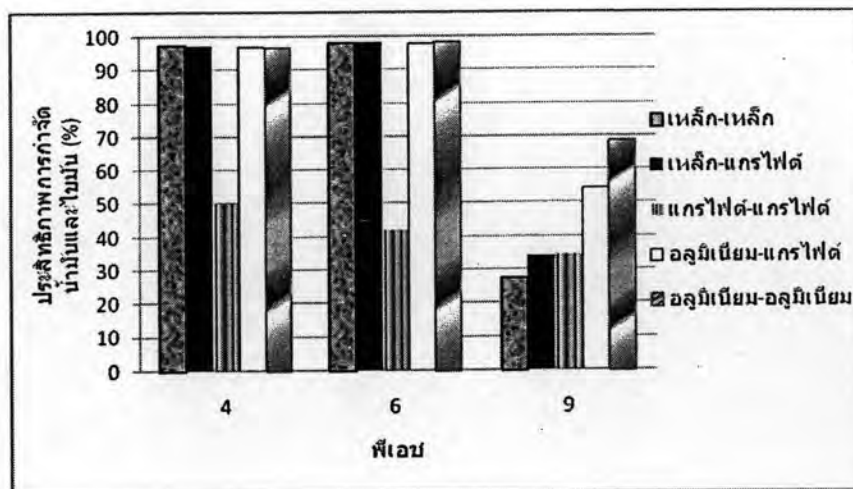
น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีสภาพเป็นสีขาวขุ่น มีองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันลอยอยู่ที่ผิวหน้าเป็นจำนวนมาก น้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดโดยการใช้โลหะเป็นขั้วแอโนด ที่พีเอช 4 และ 6 มีลักษณะใส เกิดเป็นตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาของกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน ซึ่งสารเหล่านี้จะรวมตัวกับสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำ และถูกพาขึ้นสู่ด้านบนผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยา ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส มีสารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันในปริมาณต่ำ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 91.67-98.03 และ 96.82-98.42 ตามลำดับ และผลการทดลองที่พีเอช 9 พบว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่พีเอชเป็นกรด ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 สรุปได้ว่าการใช้โลหะเป็นขั้วแอโนด ที่พีเอช 6 มี

ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.2.1.2

เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่ทุกพีเอชของการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันต่ำ คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 26.47-41.18 และ 34.32-50.00 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 สรุปได้ว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่พีเอช 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงที่สุดทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนมากกว่าที่พีเอช 6 และ 9 ดังนั้นพวกรวบรวมสารแขวนลอยต่างๆที่อยู่ในน้ำจึงถูกฟองก๊าซนำขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลดลงบางส่วน แต่ไม่สามารถทำให้น้ำใสได้ เนื่องจากไม่มีฟลอคของตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ที่จะช่วยจับสารแขวนลอยในน้ำให้รวมเป็นตะกอนและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ โดยลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วดังแสดงในรูปที่ 4.2



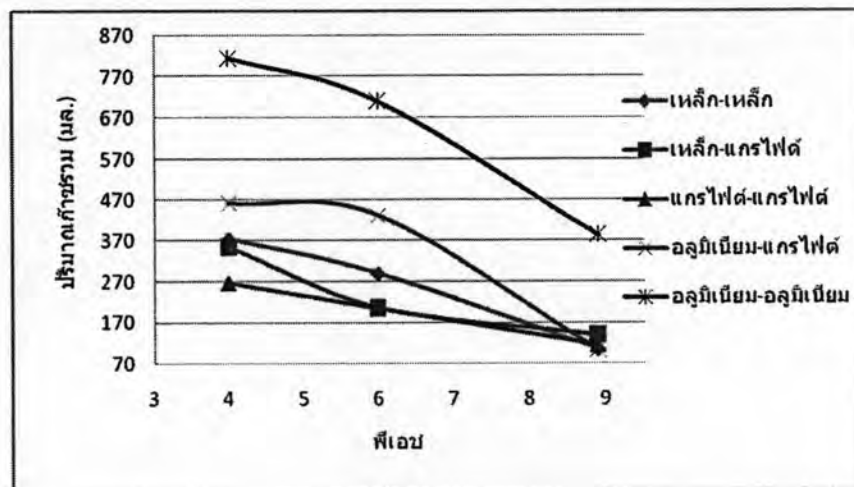
รูปที่ 4.4 ผลของขั้วไฟฟ้าและพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย



รูปที่ 4.5 ผลของขั้วไฟฟ้าและพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

4.2.1.4 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

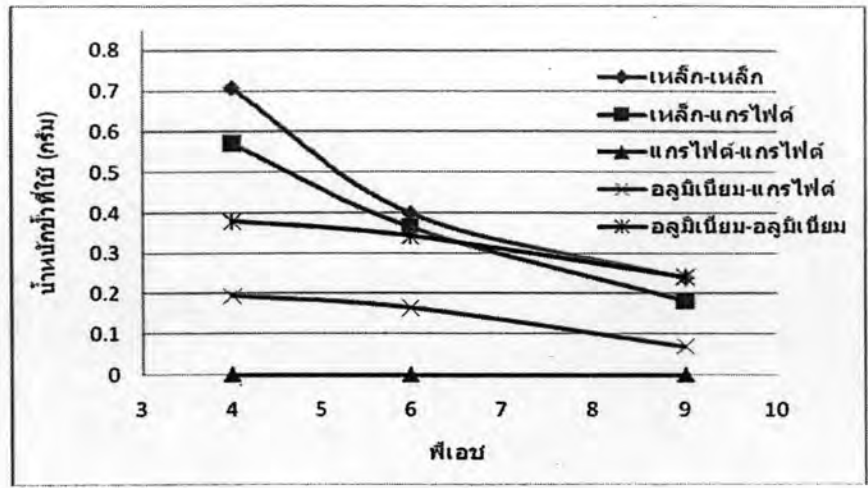
การทดลองเก็บปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบ โดยใช้หลักการแทนที่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร พบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นมีผลต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่ออิออนที่อยู่ในน้ำ และมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ดังรูปที่ 4.6 พบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าทุกแบบ ที่ค่าพีเอช 4 มีอัตราการผลิตก๊าซมากที่สุด รองลงมา คือ ที่พีเอช 6 โดยขั้วไฟฟ้าที่เกิดก๊าซมากที่สุด คือ อลูมิเนียม-อลูมิเนียม โดยที่พีเอช 4 และ 6 มีปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เท่ากับ 815 และ 710 มิลลิลิตร ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ การใช้ขั้วแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่ามีอัตราการผลิตก๊าซเท่ากับ 462.5 และ 432.5 มิลลิลิตร ที่พีเอช 4 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ผลของขั้วไฟฟ้าและพีเอชเริ่มต้นต่อปริมาณการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นที่จากปฏิกิริยา

4.2.1.5 น้ำหนักขั้วไฟฟ้าที่สลายตัวไปหลังการทดลอง

น้ำหนักของขั้วไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีการหลุดของโลหะอิออน โดยพบว่าน้ำหนักของขั้วเหล็กจากขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด มีการสลายไปมากที่สุด ดังรูปที่ 4.7 โดยที่ขั้วไฟฟ้าแบบเหล็ก-เหล็ก/ เหล็ก-แกรไฟต์ และอลูมิเนียม-อลูมิเนียม ที่พีเอช 6 น้ำหนักขั้วแอโนดรวมกับน้ำหนักขั้วแคโทดที่หายไปเท่ากับ 0.3989, 0.3651 และ 0.3423 กรัม และเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ น้ำหนักขั้วรวมที่หายไปเท่ากับ 0.1645 กรัม ซึ่งถือว่าน้อยที่สุด ดังนั้นถ้าใช้โลหะเป็นขั้วแอโนดจะทำให้เกิด $M(OH)_3$ ทำให้โลหะที่ขั้วบางส่วนหายไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งพบว่ามีการใช้กระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกัน ทำให้น้ำหนักขั้วที่แอโนดมีปริมาณลดลงใกล้เคียงกัน แต่ที่ขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่พีเอช 4-9 จากการทดลองพบว่าขั้วมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีพวกสารอินทรีย์ เช่น ไขมัน สารแขวนลอยต่างๆ เข้าไปเกาะที่ขั้ว ทำให้น้ำหนักของขั้วเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.7 ผลของขั้วไฟฟ้าและพีเอชเริ่มต้นต่อปริมาณขั้วไฟฟ้าที่ใช้ไป

4.2.1.6 สรุปผลการทดลองหาขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชที่เหมาะสม

จากผลการทดลองผลของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่ 4-9 ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ ที่เวลา 30 นาที เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์-แกรไฟต์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่พีเอช 4 สูงที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันร้อยละ 32.56, 41.18 และ 50 ตามลำดับ ซึ่งยังถือว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าที่สูงสุด

เมื่อใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้าพบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 เป็นค่าที่เหมาะสม เนื่องจากทำให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันสูงที่สุด และมีการใช้สารเคมีในการปรับพีเอชอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดของการใช้ขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิด

ขั้วไฟฟ้า (แอนโนด-แคโทด)	พีเอช เริ่ม ต้น	พีเอช หลัง ปฏิกิริยา	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)			ปริมาณ ก๊าซ (มล.)	กระแส ไฟฟ้า (แอมแปร์)	น้ำหนักขั้วที่ลดลง (กรัม)			ค่าขั้ว ไฟฟ้า (บาท)
			ซีโอดี	ของแข็ง แขวนลอย	น้ำมันและ ไขมัน			แอนโนด	แคโทด	รวม	
เหล็ก-เหล็ก	6	6.88	57.61	95.00	98.17	290	0.82	0.3848	0.0141	0.3989	0.017
เหล็ก-แกรไฟต์	6	6.49	56.82	93.06	97.98	207.5	0.81	0.3554	0.0097	0.3651	0.015
แกรไฟต์-แกรไฟต์	4	4.26	32.56	41.18	50.00	267.5	0.67	+0.051	+0.003	+0.054	0
อลูมิเนียม-แกรไฟต์	6	7.49	55.68	97.50	97.83	432.5	0.83	0.1565	0.008	0.1645	0.024
อลูมิเนียม-อลูมิเนียม	6	9.58	56.73	98.03	98.42	710	0.92	0.3272	0.0151	0.3423	0.053

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อใช้โลหะเป็นขั้วแอโนดจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน อยู่ในช่วง 55.68-57.61, 93.06-98.03 และ 97.83-98.42 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การใช้ขั้วไฟฟ้าแบบเหล็ก-เหล็ก และเหล็ก-แกรไฟต์ จากการสังเกตขณะทดลองพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในตอนแรกจะมีสีเขียวและเมื่อตั้งทิ้งไว้จะกลายเป็นสีเหลือง และในการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้เกิดการสลายตัวของขั้วไฟฟ้ามาก ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-อลูมิเนียม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส แต่ในการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้เกิดการสลายตัวของขั้วไฟฟ้ามาก และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าพีเอชที่สูงกว่ามาตรฐานทำให้ขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 แบบนี้ไม่เหมาะสม ขณะที่ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบเหล็ก-เหล็ก/ เหล็ก-แกรไฟต์ และอลูมิเนียม-อลูมิเนียม เพียงเล็กน้อย น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าพีเอชเป็นกลาง มีปริมาณน้ำหนักขั้วที่สลายไปน้อยที่สุด และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีลักษณะใส ดังนั้นขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ อลูมิเนียม-แกรไฟต์ โดยพบว่า ที่พีเอช 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเท่ากับร้อยละ 55.68, 97.50 และ 97.83 สามารถเกิดก๊าซจากปฏิกิริยาได้เท่ากับ 432.5 มิลลิลิตร พีเอชหลังการทดลองเท่ากับ 7.49 น้ำหนักขั้วที่สลายไปเท่ากับ 0.1645 กรัม โดยมีค่าขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 0.024 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร โดยข้อดีของการใช้ขั้วแคโทดเป็นแกรไฟต์คือ ทำให้ค่าพีเอชหลังการทดลองไม่สูงมากนัก ปริมาณตะกอนต่ำกว่าการใช้โลหะแบบเดียวกันทั้งสองขั้ว เนื่องจากเกิดไฮดรอกไซด์ของโลหะในปริมาณน้อย ให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้ขั้วแบบอื่นๆ ที่เป็นโลหะ และขั้วแกรไฟต์เกิดการสลายตัวน้อยมากหลังเกิดปฏิกิริยา

4.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

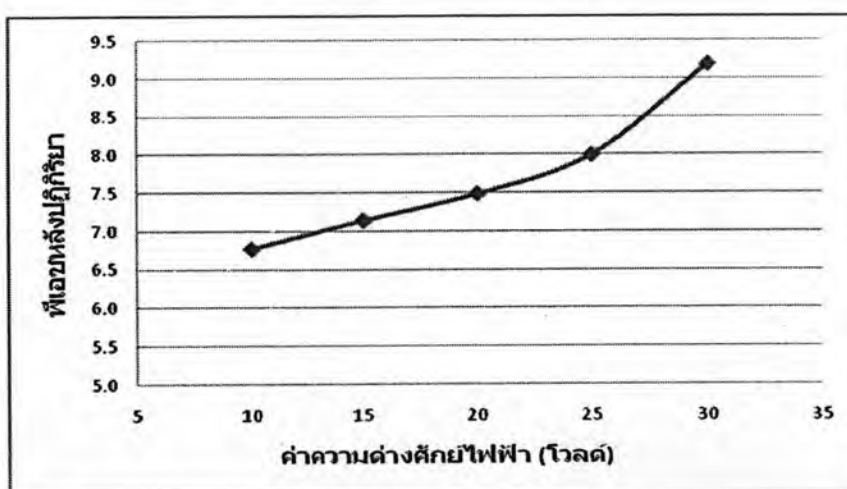
จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้าต่างๆ ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นน้ำเสียต่างกัน 3 ค่า พบว่าขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียไบโอดีเซล คือ การใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่พีเอช 6 ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงทำการศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยการใช้ค่าความต่างศักย์ 5 ค่า คือ 10, 15, 20, 25 และ 30 โวลต์ โดยผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 ถึง 4.11

ตารางที่ 4.4 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัด เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่พีเอช 6

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	พีเอช หลัง ปฏิกริยา	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)			ปริมาณ ก๊าซ (มล.)	กระแส ไฟฟ้า (แอมแปร์)	น้ำหนัก ขั้วแอโนดที่ใช้ (กรัม)	ค่า ขั้วไฟฟ้า (บาท)
		ซีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	น้ำมันและไขมัน				
10	6.77	47.09	86.88	88.75	155	0.35	0.0756	0.012
15	7.14	52.33	93.75	90.25	275	0.76	0.1468	0.023
20	7.49	55.68	97.50	97.83	432.5	0.83	0.1565	0.024
25	8.00	56.98	97.50	98.25	517.5	0.91	0.2083	0.032
30	9.19	57.56	98.75	98.75	527.5	1.09	0.2698	0.042

4.2.2.1 พีเอช

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนนี้มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 จากการทดลองเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ พบว่าค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.77-9.19 ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้ขั้วไฟฟ้าสลายตัวมากขึ้น เกิดหมู่ไฮดรอกซิล (OH) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากเกิดตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$)

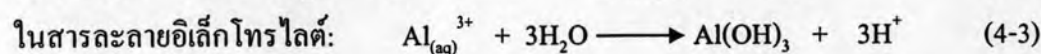


รูปที่ 4.8 ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ต่อค่าพีเอชหลังจากปฏิกริยา

4.2.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

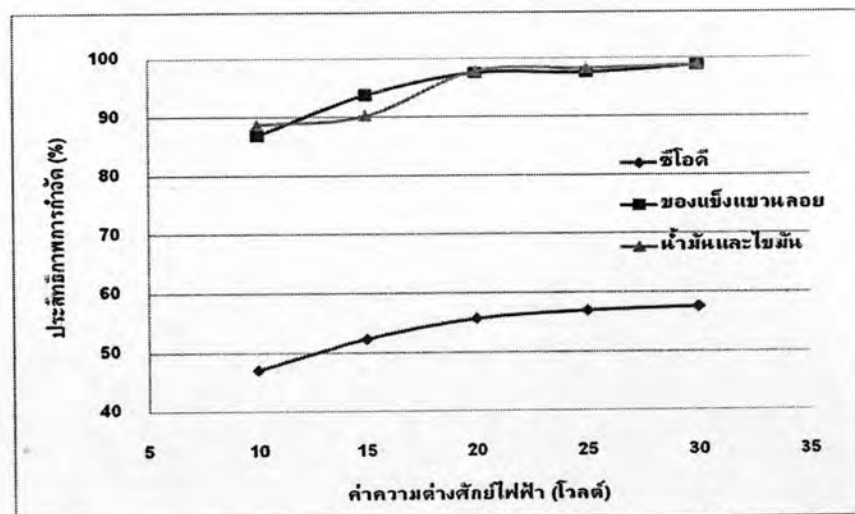
จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เพิ่มขึ้น โดยพวกสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกจับโดยอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) และจะถูกทำให้ลอยขึ้นสู่

ผิวน้ำโดยฟองก๊าซของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ซึ่งการที่ค่าความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ปริมาณของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เพิ่มมากขึ้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายก็จะสูงขึ้นตาม ดังสมการที่ 4-1 ถึง 4-3 (Daneshvar และคณะ, 2006).



ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการจับของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ

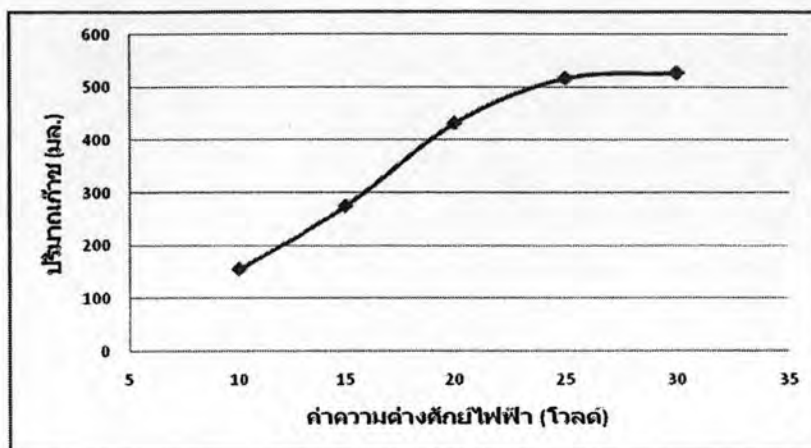
จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ มีผลเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 47.09-57.56, 86.88-98.75 และ 88.79-98.75 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9 พบว่าที่ความต่างศักย์ 30 โวลต์ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน จะสูงสุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากการใช้ค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ เท่ากับร้อยละ 10 เท่านั้น



รูปที่ 4.9 ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

4.2.2.3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

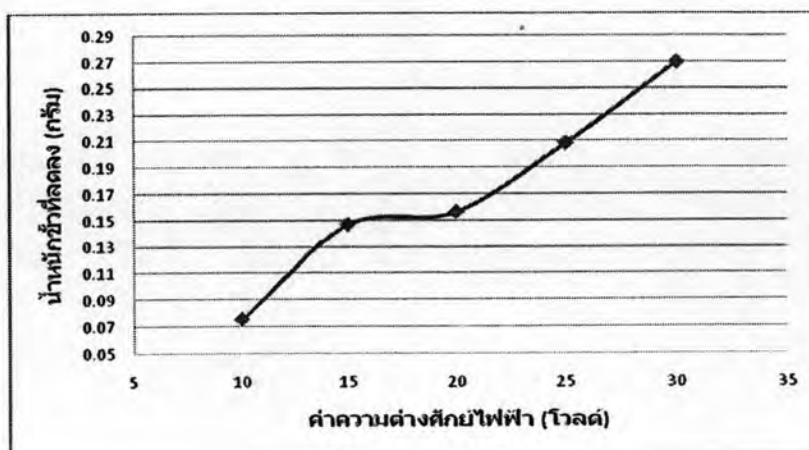
การเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีผลต่อการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซที่ขั้วแคโทดให้สูงขึ้น ดังรูปที่ 4.10 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10-30 โวลต์ จะมีก๊าซเกิดขึ้นในช่วง 155-527.5 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.10 ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ต่อปริมาณการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นที่จากปฏิกิริยา

4.2.2.4 น้ำหนักขั้วไฟฟ้าที่สลายตัวไปหลังการทดลอง

น้ำหนักของขั้วไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีการหลุดของโลหะออก โดยเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้น ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ขั้วไฟฟ้ามีการสลายออกมามากขึ้น ดังรูปที่ 4.11 โดยตรงตามกฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ที่ว่า ปริมาณสารโคสารหนึ่งที่แยกสลายออกมาจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไป ถ้าผ่านน้อยสารที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วยเช่นกัน (วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์, 2546) โดยน้ำหนักขั้วที่สลายออกมาที่ความต่างศักย์ 10-30 โวลต์ อยู่ในช่วง 0.0756-0.2698 กรัม



รูปที่ 4.11 ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ต่อน้ำหนักขั้วไฟฟ้าที่สลายไปหลังการทดลอง

4.2.2.5 สรุปการหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากการทดลองหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 10-30 โวลต์ ใช้พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ จากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่พารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 20 โวลต์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเท่ากับร้อยละ 55.68, 97.50 และ 97.83 ตามลำดับ น้ำหนักขั้วที่สลายไปเท่ากับ 0.1565 กรัม ค่าขั้วไฟฟ้า 0.024 บาท สามารถผลิตก๊าซจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 432.5 มิลลิลิตร พีเอชน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 7.49 โดยจากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ วรชวรณ เทียงวรรณกานต์ (2546) ได้ศึกษาการบำบัดสีในน้ำเสียที่มีสีข้อมริแอกทีฟ โดยพบว่า เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-20 โวลต์ จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี มีค่าเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ 30 โวลต์ จะมีค่าสูงถึงร้อยละ 98 ขึ้นไป

4.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

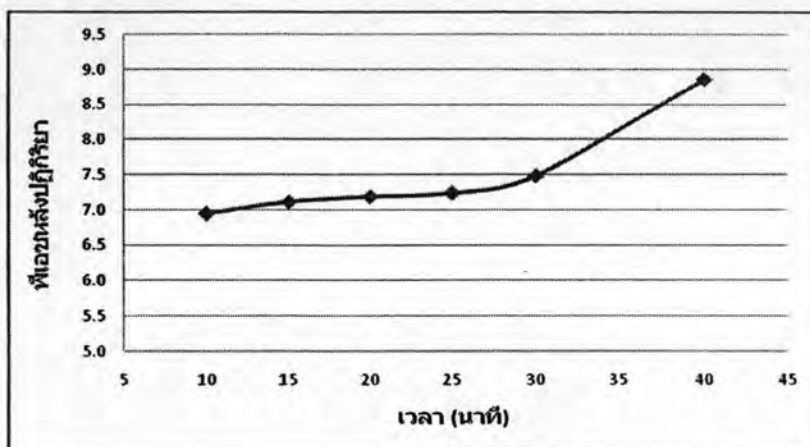
ทำการศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยการใช้ระยะเวลา 6 ค่า คือ 10, 15, 20, 25, 30, และ 40 นาที ซึ่งขั้วไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ คือ ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 และใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลต์ โดยผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการกำจัด เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้า อลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่พีเอช 6 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์

เวลา (นาที)	พีเอช หลัง ปฏิกิริยา	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	น้ำหนัก ขั้วแอโนดที่ใช้ (กรัม)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)			ปริมาณ ก๊าซ (มล.)	ค่า ขั้วไฟฟ้า (บาท)
				ซีโอดี	ของแข็ง แขวนลอย	น้ำมันและ ไขมัน		
10	6.95	0.79	0.0587	49.78	85.42	88.34	145	0.009
15	7.12	0.8	0.0941	50.54	89.38	90.03	210	0.015
20	7.19	0.80	0.1257	52.17	94.37	92.19	295	0.019
25	7.24	0.83	0.1475	55.43	96.88	97.76	390	0.023
30	7.49	0.83	0.1565	55.68	97.50	97.83	432.5	0.024
40	8.86	0.91	0.2727	57.03	97.92	98.07	560	0.042

4.2.3.1 พีเอช

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 โดยการใส่กรดซัลฟิวริกในการปรับค่าพีเอชของน้ำเสีย การทดลองนี้เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.95-8.86 ดังรูปที่ 4.12 เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้ขั้วไฟฟ้าสลายตัวมากขึ้น เกิดหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากเกิดตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$)



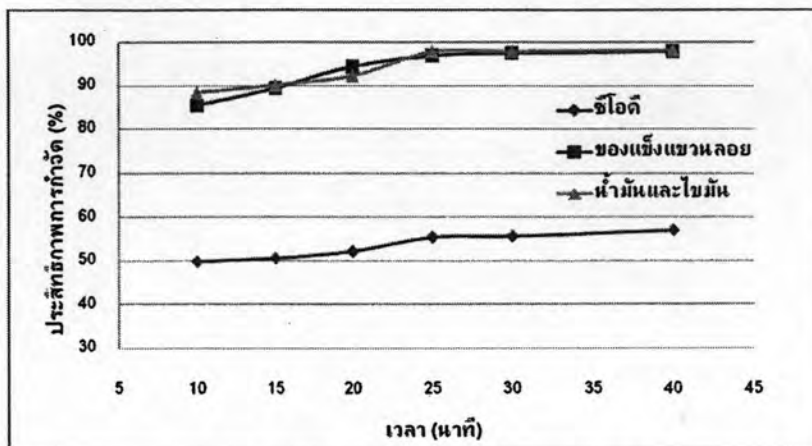
รูปที่ 4.12 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อพีเอชหลังการทดลอง

4.2.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

จากรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เพิ่มมากขึ้น โดยพวกสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกจับโดยอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) และจะถูกทำให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยฟองก๊าซของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ซึ่งการที่เพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้เวลาในการที่จะสัมผัสกันของสารรวมตะกอนกับสารแขวนลอยก็จะสูงขึ้นด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการขจัดของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ

โดยจากการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 49.78-57.03, 85.42-97.92 และ 88.34-98.07 ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 4.13 พบว่าที่ระยะเวลา 25 นาที

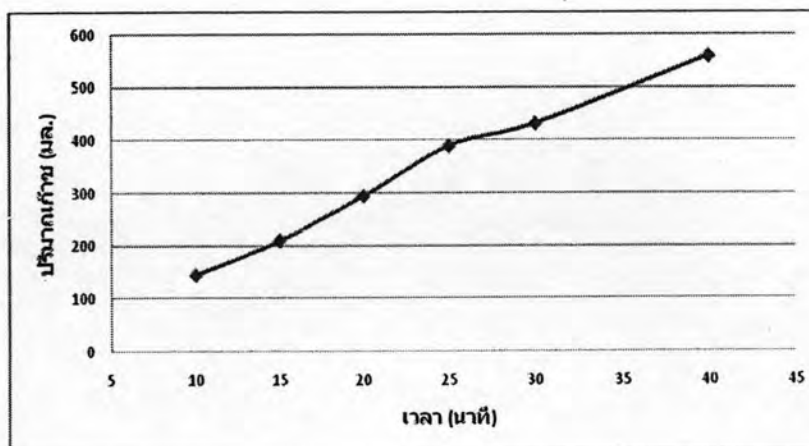
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน จะเริ่มคงที่ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 55.43, 96.88 และ 97.76 ตามลำดับ ดังนั้นค่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการทดลองนี้จึงเท่ากับ 25 นาที



รูปที่ 4.13 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

4.2.3.3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

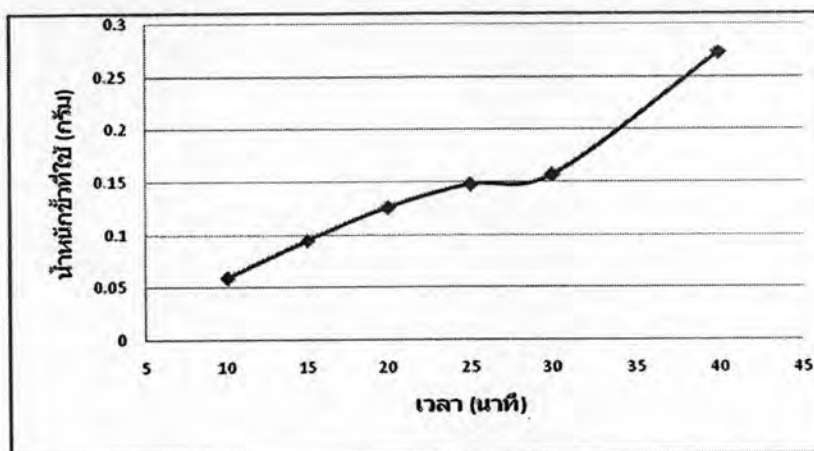
การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งก็คือ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ให้สูงขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน-รีดักชันก็จะสูงขึ้นนั่นคือ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้นานขึ้น ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซ ที่ชั่วแควโทดที่ทำให้เพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.14 พบว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที จะมี ก๊าซเกิดขึ้นอยู่ในช่วง 145-560 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.14 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

4.2.3.4 น้ำหนักขี้ไฟฟ้าที่สลายตัวไปหลังการทดลอง

น้ำหนักของขี้ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีการหลุดของโลหะออก โดยเมื่อเพิ่มค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา มากขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ปริมาณของขี้ไฟฟ้าที่สลายออกมีปริมาณต่างกันเล็กน้อยเช่นกัน ดังรูปที่ 4.15 โดยตรงตามกฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ที่ว่า ปริมาณสารโคสสารหนึ่งที่แยกสลายออกมาจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไป ถ้าผ่านน้อยสารที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วยเช่นกัน (วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์, 2546) โดยน้ำหนักขี้ไฟฟ้าที่สลายออกมาที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที อยู่ในช่วง 0.0587-0.2727 กรัม



รูปที่ 4.15 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อน้ำหนักขี้ไฟฟ้าที่สลายไปหลังการทดลอง

4.2.3.5 สรุปการหาค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

จากการทดลองหาค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยทำการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที ใช้พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ และใช้ขี้ไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ จากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่พารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า ค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 25 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเท่ากับร้อยละ 55.43, 96.88 และ 97.76 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 30 และ 40 นาที น้ำหนักขี้ไฟฟ้าที่สลายไปเท่ากับ 0.1475 กรัม ค่าขี้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.023 บาท สามารถผลิตก๊าซจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 390 มิลลิลิตร และพีเอชน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 7.24 และจากการทดลองพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Mohamed และคณะ (2008) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและซีโอดีจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และ Xiangfeng และคณะ (2004) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารซึ่งมีน้ำมันและไขมัน พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 5-60 นาที

จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่เวลา 30 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันเท่ากับร้อยละ 75 และ 98 แต่ที่เวลา 60 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันเท่ากับร้อยละ 77 และมากกว่า 99

4.2.4 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย โดยการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง

จากการทดลองที่ 1-3 พบว่าสถานะที่เหมาะสม คือ การใช้ขี้วัวไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ น้ำเสียมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 25 นาที พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เท่ากับร้อยละ 55.43, 96.88 และ 97.76 ตามลำดับ น้ำหนักขี้วัวที่ใช้เท่ากับ 0.1475 กรัม สามารถผลิตก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาได้เท่ากับ 390 มิลลิลิตร ใช้ค่าพลังงานเท่ากับ 6.92 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร ค่าไฟฟ้าในการบำบัด 13.36 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และพีเอชน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 7.24 นอกจากนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอล และกลีเซอรอลได้ร้อยละ 16.85 และ 3.49 ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดตะกอนเท่ากับ 75 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 4.16 (ก) โดยเมื่อนำมาอบให้แห้งจะมีน้ำหนักเท่ากับ 1.1852 กรัม โดยลักษณะตะกอนที่อบแห้งดังรูปที่ 4.16 (ข) ซึ่งจะเป็นสีเหลืองเข้ม



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 ตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา

((ก) คือ ตะกอนที่ยังไม่ได้อบแห้ง (ข) คือ ตะกอนที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 100-103 °ซ)

เมื่อทำสมดุลมวลสาร (mass balance) ของน้ำหนักขี้วัวอลูมิเนียมที่ใช้ไป เทียบกับ ปริมาณของอลูมิเนียมที่พบในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (0.00503 กรัม) และที่พบในตะกอนหลังการบำบัด (0.837 กรัม) พบว่า

ปริมาณอลูมิเนียมที่หายไป = ปริมาณอลูมิเนียม (ในน้ำเสีย + ในตะกอน) + อื่นๆ

$$0.1475 = 0.00503 + 0.837 + 0.695$$

$$0.1475 = 0.1475$$

จากสมมูลมวลสารพบว่าปริมาณของอลูมิเนียมในกรณีอื่นๆ อาจมาจากขั้นตอนของการวิเคราะห์ปริมาณของอลูมิเนียมที่อยู่ในน้ำเสีย และในตะกอน เนื่องจากว่าในขั้นตอนของการวิเคราะห์อลูมิเนียมในน้ำเสีย และในตะกอนต้องมีการนำตัวอย่างไปทำการย่อย (Digest) ก่อนการวิเคราะห์ และเนื่องจากอลูมิเนียมเป็นธาตุที่ทำการย่อยได้ยาก หากทำการย่อยไม่หมด ก็จะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งไม่สามารถตรวจพบได้ ทำให้ผลการวิเคราะห์ได้ค่าปริมาณของอลูมิเนียมในน้ำเสีย และในตะกอนน้อยกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ปริมาณของอลูมิเนียมที่หายไปอีกส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการล้างแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งจะต้องมีการขัดและถูเพื่อขจัดเอาสิ่งสกปรกออกไป ทำให้เนื้อของอลูมิเนียมบางส่วนหลุดออกไปด้วยเช่นกัน

จากการที่พบปริมาณอลูมิเนียมส่วนใหญ่ในตะกอน ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กลไกที่เกิดขึ้นในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียของการทดลองนี้ คือ กลไกการสร้างผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เพื่อให้เกิดเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะถูกกำจัดออกจากน้ำเสียโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น และทำให้ค่าความสกปรกของน้ำเสียน้ำต่ำลง

ตารางที่ 4.6 พบว่าค่าซีโอดียังมีค่าสูง เนื่องจากในน้ำเสียไบโอดีเซลจะประกอบด้วยกลีเซอรอลและเมทานอลเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีทางเคมีได้

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการศึกษการบำบัดไบโอดีเซลด้วยการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง

พารามิเตอร์	น้ำเสียดิบ	น้ำเสียหลังบำบัด
ซีโอดี (มก./ล.)	30,980	13,226
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	6,020	135
กลีเซอรอล (มก./ล.)	1,360	1,312
เมทานอล (มก./ล.)	10,667	8,869
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	350	13
ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.)	350	405
พีเอช	8.9	7.24
ค่าขี้ไฟฟ้า (บาท/ล.)	-	0.023
ค่าพลังงาน (กิโลวัตต์/ลบ.ม.)	-	6.92
ค่าไฟฟ้าในการบำบัด (บาท/ลบ.ม.)	-	13.36
ค่าสารเคมีในการปรับพีเอช (บาท/ล.)	-	0.011

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการตรวจวัดเนื่องจากเป็นน้ำเสียดิบก่อนการทำปฏิกิริยา

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลได้ เนื่องจากสามารถช่วยลดพวกสารแขวนลอย น้ำมันและไขมันต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และขั้นตอนการบำบัดต่อจากนี้ ควรเป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพ เพื่อทำการย่อยสลายพวกเมทานอล และกลีเซอรอลที่เหลืออยู่ให้หมดไป ซึ่งระบบบำบัดทางเคมีไม่สามารถทำการกำจัดให้หมดไปได้

4.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง ในหัวข้อที่ผ่านมามีการดำเนินการในลักษณะที่กำหนดตัวแปรอื่นๆ คงที่ แล้วทำการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรแต่ละตัว แต่ในกรณีที่ตัวแปรแต่ละตัวมีการเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆ กันจะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยส่วนนี้จึงได้ใช้วิธีการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนและวิเคราะห์ผลด้วยพื้นที่การตอบสนอง ซึ่งสามารถใช้หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ วิธีพื้นที่การตอบสนองเป็นวิธีที่สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ระดับของปัจจัย : Level of factor) กับตัวแปรตอบสนองโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อหาค่าความเหมาะสม (Optimal settings) ของระดับในแต่ละปัจจัยที่สนใจในการออกแบบการทดลอง โดยมีตัวแปรที่เลือกศึกษาและมีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่

- ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย
- ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ทำปฏิกิริยา
- ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 1 คือ ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ที่สภาวะการทดลองต่างๆ ตามการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ที่ได้จากการ ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน โดยใช้โปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
				ซีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	น้ำมันและไขมัน
1	6.5	30	40	57.81	98.86	98.92
2	6.5	30	10	53.65	92.05	90.03
3	4.0	20	40	54.20	96.88	96.01
4	4.0	10	25	48.81	83.75	83.64
5	4.0	30	25	52.59	95.63	95.85
6	6.5	20	25	55.21	98.30	98.34
7	9.0	10	25	32.03	29.55	29.07
8	9.0	30	25	44.46	61.36	59.80
9	6.5	10	10	40.32	47.73	43.36
10	9.0	20	40	41.15	59.09	57.31
11	6.5	20	25	55.73	97.16	97.67
12	4.0	20	10	46.66	79.38	75.91
13	9.0	20	10	34.51	29.55	26.58
14	6.5	10	40	51.82	91.48	90.86
15	6.5	20	25	55.21	98.30	98.26

4.3.1 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีด้วยโปรแกรมมินิแทป ผลการวิเคราะห์ แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

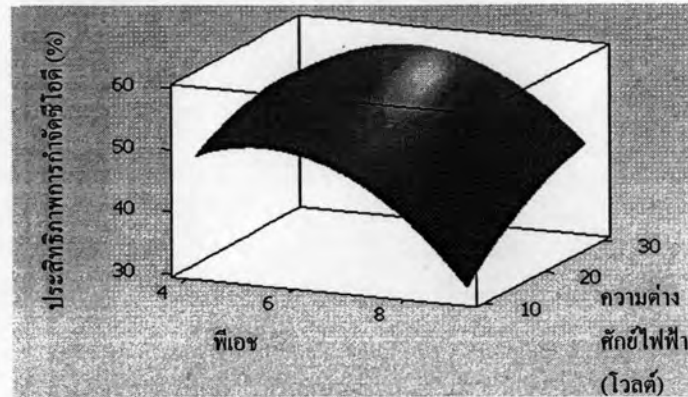
4.3.1.1 อิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

การศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4-9 มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 40-55 แต่เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 50-55

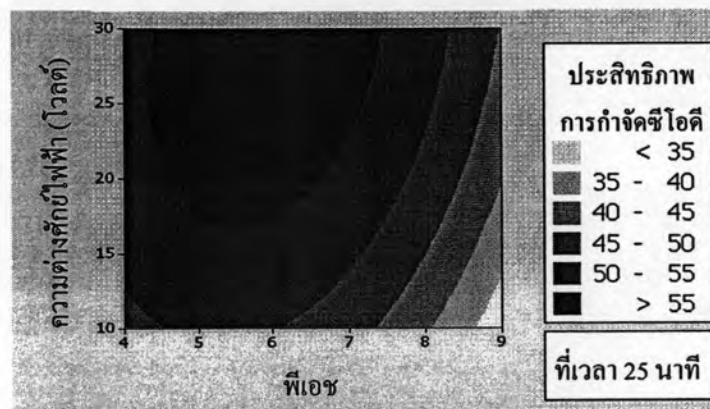
เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี พบว่า เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4 เป็น 6 ทำให้ประสิทธิภาพในการ

กำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมากกว่า 6 ถึง 9 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง เนื่องจากเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของขั้วไฟฟ้า จะทำให้โลหะที่ขั้วแอโนดเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำ ขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทด จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) โลหะที่ละลายอยู่ในน้ำและไฮดรอกไซด์จะรวมตัวกันเกิดเป็นสารคอมเพล็กซ์โดยทั่วไป คือ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ที่จะไปจับสารแขวนลอยต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียแล้วทำให้ตกตะกอน และฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวพาตะกอนเหล่านี้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้ค่าซีโอดีลดลง

ถ้าพีเอชของน้ำเป็นกรด จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2550) และจะรวมกับพวกคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำที่มีประจุตรงข้ามตกลงมา แต่ถ้าสารคอมเพล็กซ์เหล่านี้หากมีมากเกินไปตะกอนที่เกิดขึ้นจะไม่จับกันเป็นก้อน สามารถแตกออกจากกันได้ง่าย ถ้าพีเอชเป็นด่าง จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$, $Al(OH)_5^{2-}$ (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2550) ซึ่งจะมีประจุเหมือนกับพวกคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำทำให้ไม่เกิดการรวมตะกอนตกลงมา แต่จะมีฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเป็นตัวช่วยพาตะกอนพวกสารแขวนลอย ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำบางส่วนทำให้ค่าซีโอดีลดลง แต่น้ำเสียที่ได้หลังปฏิกิริยาจะมีสารแขวนลอยอยู่ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี พบว่า เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การลดของค่าน้ำมัน ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี จะเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการขจัดของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ โดยสารก่อการจับตัวที่กล่าวถึงได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) คังสมการที่ 4-1 ถึง 4-3



(ก)



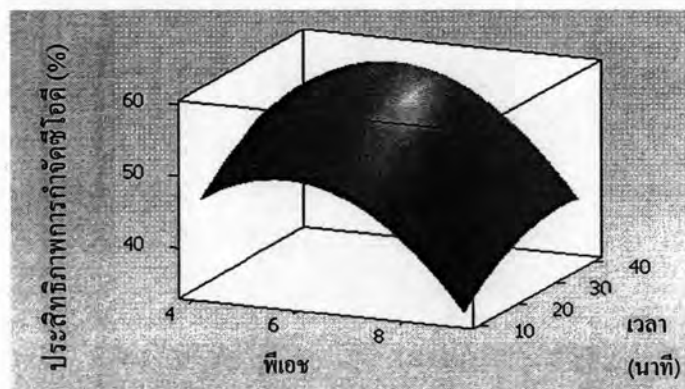
(ข)

รูปที่ 4.17 แผนภาพพื้นที่ผิว (Surface Plot) (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (Contour Plot) (ข) แสดงอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี

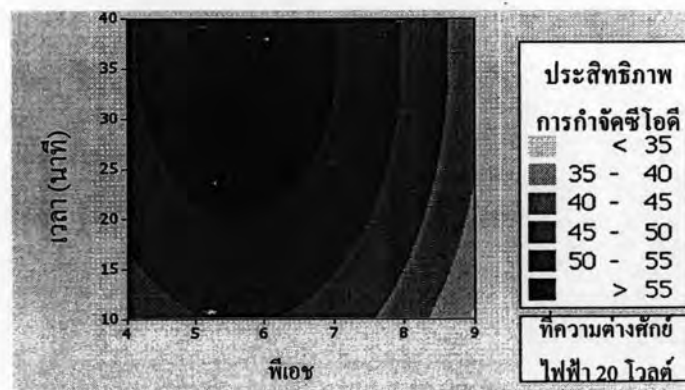
4.3.1.2 อิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

การศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4-9 มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 40-55 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 50-55

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี พบว่า เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4 เป็น 6 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมากกว่า 6 ถึง 9 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.3.1.1 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น การที่เพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะทำให้เวลาในการที่จะสัมผัสกันของสารรวมตะกอนกับสารแขวนลอยก็จะสูงขึ้นด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามี่ค่ามาก จะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน



(ก)



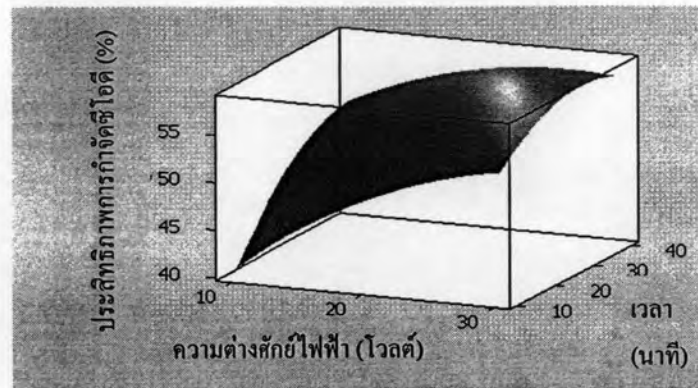
(ข)

รูปที่ 4.18 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

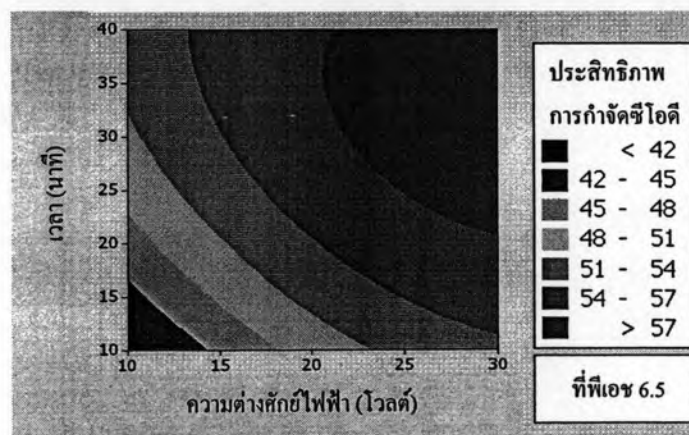
4.3.1.3 อิทธิพลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

การศึกษาอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 48-57 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 48-57

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี พบว่า เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การลดของค่าน้ำมัน ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี จะเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการขจัดของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ โดยสารก่อการจับตัวที่กล่าวถึงได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ดังสมการที่ 4-1 ถึง 4-3 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น การที่เพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะทำให้เวลาในการที่จะสัมผัสกันของสารรวมตะกอนกับสารแขวนลอยก็จะสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์เช่นกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

4.3.2 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

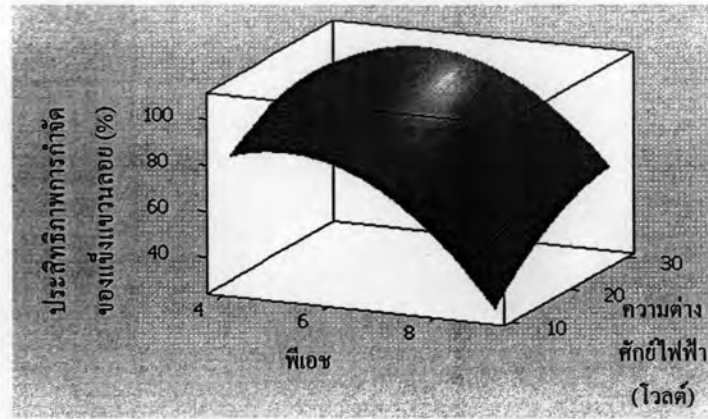
นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยโปรแกรมมินิแทป ผลการวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.3.2.1 อิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

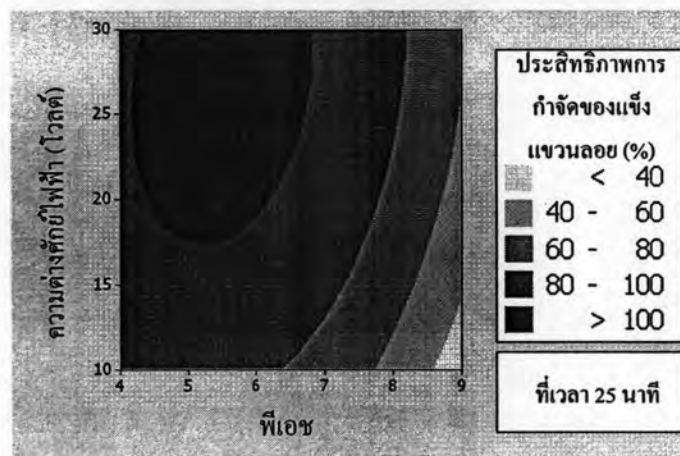
การศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4-9 มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย เปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 40-100 แต่เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย เปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 80-100

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย พบว่า เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4 เป็น 6 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมากกว่า 6 ถึง 9 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.3.1.1

และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย พบว่า เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การลดของค่าน้ำมัน ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี จะเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่า ปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการขจัดของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ โดยสารก่อการจับตัวที่กล่าวถึงได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ดังสมการที่ 4-1 ถึง 4-3



(ก)



(ข)

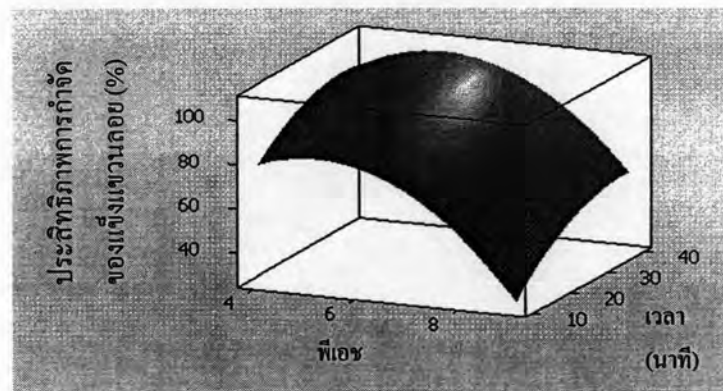
รูปที่ 4.20 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

4.3.2.2 อิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

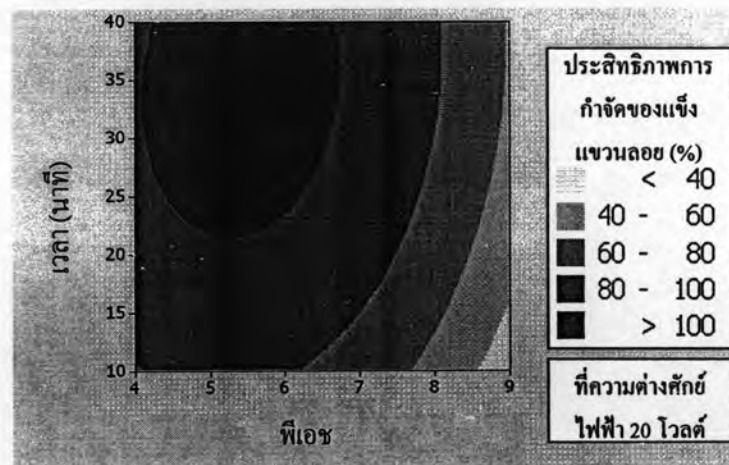
การศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4-9 มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 40-100 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 80-100

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยพบว่า เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4 เป็น 6 ทำให้

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมากกว่า 6 ถึง 9 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.3.1.1 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น การที่เพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้เวลาในการที่จะสัมผัสกันของสารรวมตะกอนกับสารแขวนลอยก็จะสูงขึ้นด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขี้โคลนที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขี้โคลนละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน



(ก)



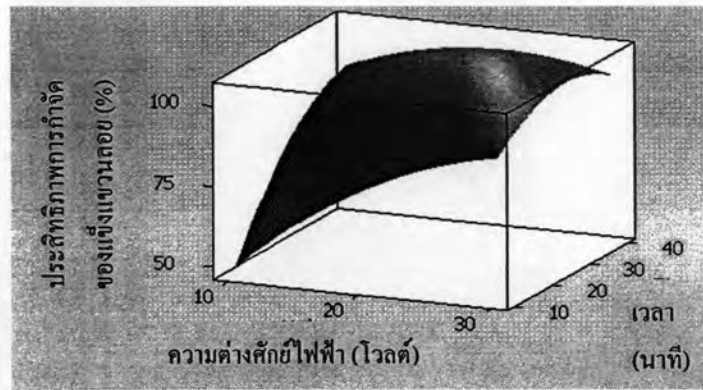
(ข)

รูปที่ 4.21 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

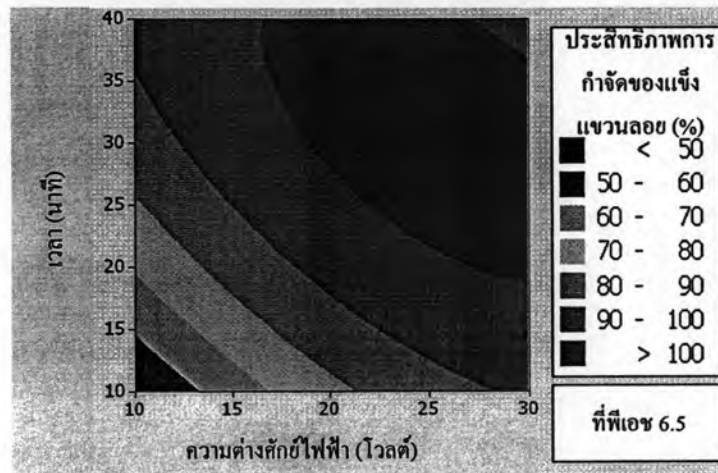
4.3.2.3 อิทธิพลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

การศึกษาอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยคั่งแสดงในรูปที่ 4.22 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 70-100 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 70-100

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย พบว่า เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การลดของค่าน้ำมัน ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี จะเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่าปริมาณขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากจะส่งผลให้มีขั้วโลหะละลายสู่น้ำตัวอย่างมาก ทำให้มีสารก่อการจับตัวมากขึ้น โอกาสในการพบกันของสารมลพิษกับตัวตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการขจัดของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ โดยสารก่อการจับตัวที่กล่าวถึงได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ดังสมการที่ 4-1 ถึง 4-3 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น การที่เพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้เวลาในการที่จะสัมผัสกันของสารรวมตะกอนกับสารแขวนลอยก็จะสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์เช่นกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.22 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

4.3.3 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

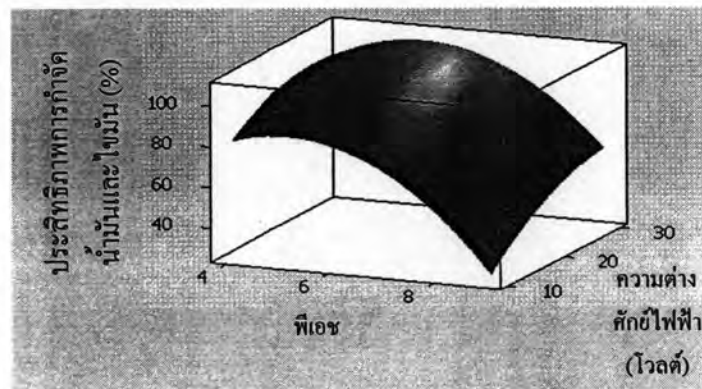
นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ด้วยโปรแกรมมินิแทป ผลการวิเคราะห์ แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.3.3.1 อิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

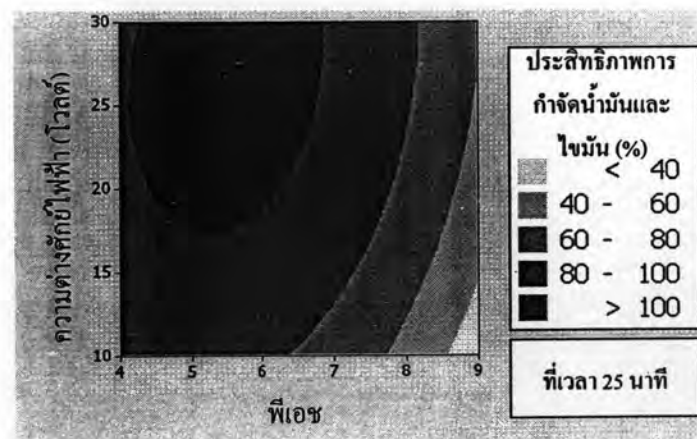
การศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่าง

ศักย์ไฟฟ้าต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4-9 มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน เปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 40-100 แต่เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน เปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 80-100

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย และอิทธิพลของการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับของแข็งแขวนลอย เนื่องจากของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ มาจากน้ำมันและไขมันที่เป็นส่วนประกอบหลักในน้ำเสียไบโอดีเซล โดยอาจเป็นส่วนของน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาในการผลิตหรือน้ำมันที่หลุดออกมาพร้อมกับน้ำล้างน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังมีสบู่ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งก็จะปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งสามารถตรวจพบเป็นส่วนใหญ่โดยการหาปริมาณของแข็งแขวนลอยเช่นกัน



(ก)



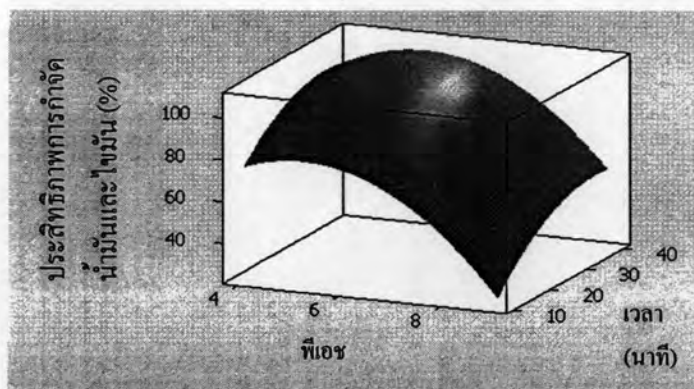
(ข)

รูปที่ 4.23 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

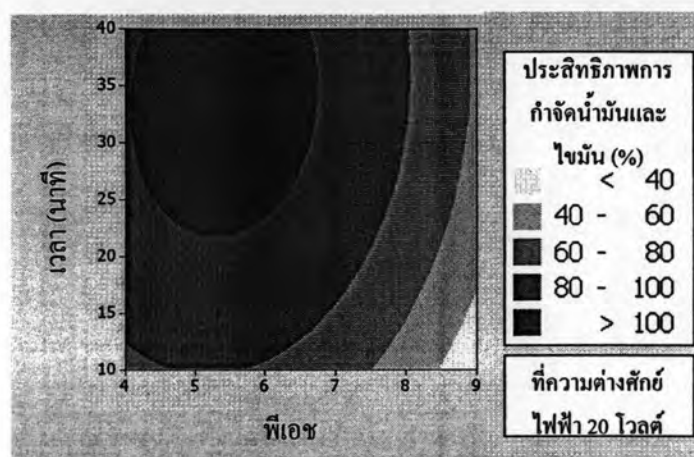
4.3.3.2 อิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

การศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 4-9 มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 40-100 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 80-100

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย และอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Mohamed และคณะ (2008) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการทำปฏิกิริยา และ Xiangfeng และคณะ (2004) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารซึ่งมีน้ำมันและไขมัน พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยา จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 30 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเท่ากับร้อยละ 98 แต่ที่เวลา 60 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันมากกว่าร้อยละ 99 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันมีลักษณะเหมือนกับแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.3.3.1



(ก)



(ข)

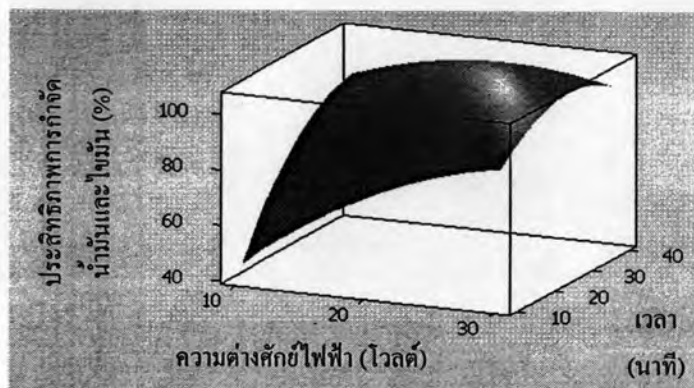
รูปที่ 4.24 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

4.3.3.3 อิทธิพลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

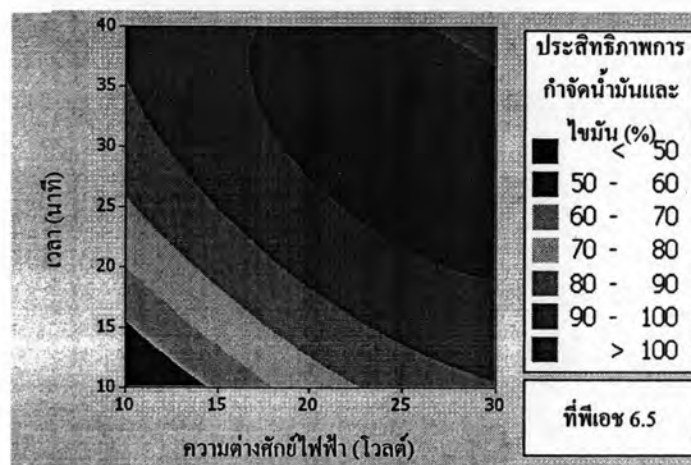
การศึกษาอิทธิพลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (ก) และ (ข) เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10-30 โวลต์ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 70-100 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10-40 นาที มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 70-100

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน พบว่ามีแนวโน้มของประสิทธิภาพใน

การกำจัดน้ำมันและไขมันเช่นเดียวกับแนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.3.3.1 ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่กล่าวไว้ในข้อ 4.3.2.3



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.25 แผนภาพพื้นที่ผิว (ก) และแผนภาพคอนทัวร์ (ข) แสดงอิทธิพลความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

4.4 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลอง

ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมมินิแทปนั้น มีแบบจำลองที่มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ด้วยตัวแปรอิสระ (พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย ความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา) อยู่ 4 แบบจำลอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยที่

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \text{ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี} \\
 Y_2 &= \text{ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย} \\
 Y_3 &= \text{ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน}
 \end{aligned}$$

X_i, X_{ii}, X_{iii} คือ ตัวแปรอิสระ β_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของแบบจำลอง และ $\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรอิสระในแบบจำลอง

ในการพิจารณาตัวแบบจำลองทั้ง 4 แบบนี้ ต้องพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแต่ละแบบจำลองเปรียบเทียบกับเพื่อเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด จากการใช้โปรแกรมมินิแทปประมวลผลด้วยวิธีพื้นที่การตอบสนอง ได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแต่ละตัวแบบดังในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

พารามิเตอร์	แบบจำลอง	R^2 (%)	R^2 (adj) (%)	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)
1. ซีโอดี	Linear	63.2	53.1	5.557
	Linear + Square	96.3	93.5	2.065
	Linear + Interaction	66.7	41.7	6.197
	Full Quadratic	99.8	99.5	0.5804
2. ของแข็งแขวนลอย	Linear	69.4	61.0	15.79
	Linear + Square	94.6	90.5	7.804
	Linear + Interaction	74.7	55.7	16.82
	Full Quadratic	99.9	99.7	1.451
3. น้ำมันและไขมัน	Linear	69.1	60.6	16.41
	Linear + Square	94.7	90.7	7.979
	Linear + Interaction	74.2	54.8	17.59
	Full Quadratic	99.8	99.3	2.114

จากตารางที่ 4.8 พบว่า แบบจำลอง Full Quadratic ของค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานน้อยที่สุด คือ 0.5804, 1.451 และ 2.114 ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้วเท่ากับร้อยละ 99.5, 99.7 และ 99.3 ตามลำดับ แสดงว่า แบบจำลอง Full Quadratic มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นตัวแทนอธิบายผลการทดลอง

4.4.1 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของตัวแบบจำลอง

เมื่อได้ตัวแบบจำลองที่เหมาะสม นั่นคือ แบบจำลองแบบ Full Quadratic สำหรับการอธิบายผลการทดลองได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปร (X_i) โดยใช้วิธีการถดถอยแบบพื้นที่การตอบสนอง (Response Surface Regression) จากโปรแกรมมินิแทป ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

พารามิเตอร์	Term	Coef	StDev	t	p
1. ซีโอดี	ค่าคงที่	-14.0024	3.33	-4.205	0.008
	พีเอช (A)	14.2979	0.702	20.368	0
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B)	1.0149	0.15183	6.685	0.001
	เวลา (C)	1.0688	0.09338	11.446	0
	พีเอช*พีเอช (A^2)	-1.4142	0.04833	-29.261	0
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า*ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B^2)	-0.0207	0.00302	-6.855	0.001
	เวลา*เวลา (C^2)	-0.0107	0.00134	-7.987	0
	พีเอช*ความต่างศักย์ไฟฟ้า ($A*B$)	0.0866	0.01161	7.462	0.001
	พีเอช*เวลา ($A*C$)	-0.0061	0.00774	-0.785	0.468
ความต่างศักย์ไฟฟ้า*เวลา ($B*C$)	-0.0122	0.00193	-6.318	0.001	
2. ของแข็งแขวนลอย	ค่าคงที่	-89.8540	8.32429	-10.794	0
	พีเอช (A)	33.7184	1.75484	19.214	0
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B)	4.2428	0.37954	11.179	0
	เวลา (C)	3.3823	0.23344	14.489	0
	พีเอช*พีเอช (A^2)	-3.7322	0.12081	-30.893	0
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า*ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B^2)	-0.0702	0.00755	-9.296	0
	เวลา*เวลา (C^2)	-0.0372	0.00336	-11.083	0
	พีเอช*ความต่างศักย์ไฟฟ้า ($A*B$)	0.1994	0.02902	6.873	0.001
	พีเอช*เวลา ($A*C$)	0.0803	0.01935	4.151	0.009
ความต่างศักย์ไฟฟ้า*เวลา ($B*C$)	-0.0616	0.00484	-12.727	0	
3. น้ำมันและไขมัน	ค่าคงที่	-105.595	12.1298	-8.705	0
	พีเอช (A)	35.345	2.5571	13.823	0
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B)	4.458	0.5530	8.062	0
	เวลา (C)	3.990	0.3402	11.731	0

พารามิเตอร์	Term	Coef	StDev	t	p
	พีเอช*พีเอช (A ²)	-3.827	0.1760	-21.741	0
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า*ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B ²)	-0.071	0.0110	-6.435	0.001
	เวลา*เวลา (C ²)	-0.045	0.0049	-9.285	0
	พีเอช*ความต่างศักย์ไฟฟ้า (A*B)	0.185	0.0423	4.380	0.007
	พีเอช*เวลา (A*C)	0.071	0.0282	2.514	0.054
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า*เวลา (B*C)	-0.064	0.0070	-9.134	0

หมายเหตุ

1. ซีไอดี S = 0.5804 R-Sq = 99.8% R-Sq (adj) = 99.5%
2. ของแข็งแขวนลอย S = 1.451 R-Sq = 99.9% R-Sq (adj) = 99.7%
3. น้ำมันและไขมัน S = 2.114 R-Sq = 99.8% R-Sq (adj) = 99.3%

S คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

Coef คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย β_i ของแต่ละตัวแปรในสมการ Full Quadratic

StDev คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

t และ p คือ ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานและค่าความน่าจะเป็น ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.9 สามารถเขียนแบบจำลองแบบ Full Quadratic แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันกับตัวแปรอิสระ (พีเอช เริ่มต้นของน้ำเสีย ความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา) ได้ดังสมการ ที่ 4-4 ถึง 4-6

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละในการกำจัดซีไอดี} = & -14.0024 + 14.2979A + 1.0149B + 1.0688C \\ & -1.4142A^2 - 0.0207B^2 - 0.0107C^2 + 0.0866AB \\ & -0.0061AC - 0.0122BC \end{aligned} \quad (4-4)$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละในการกำจัดของแข็งแขวนลอย} = & -89.854 + 33.7184A + 4.2428B + 3.3823C \\ & -3.7322A^2 - 0.0702B^2 - 0.0372C^2 \\ & + 0.1994AB + 0.0803AC - 0.0616BC \end{aligned} \quad (4-5)$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละในการกำจัดน้ำมันและไขมัน} = & -105.595 + 35.345A + 4.458B + 3.99C \\ & -3.827A^2 - 0.071B^2 - 0.045C^2 + 0.185AB \\ & + 0.071AC - 0.064BC \end{aligned} \quad (4-6)$$

โดยที่

A	=	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย
B	=	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ (โวลต์)
C	=	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)

4.4.2 การวิเคราะห์นัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของแต่ละตัวแปร

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและรูปแบบจำลอง ขึ้นต่อไปเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งเป็นการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ X_i แต่ละตัวในสมการนั้นมีอิทธิพลหรือไม่ต่อตัวแปรตาม โดยกำหนดสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k = 0 \quad \text{ตัวแปรอิสระที่ } i (X_i) \text{ ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม}$$

$$H_1: \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k \neq 0 \quad \text{ตัวแปรอิสระที่ } i (X_i) \text{ มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม}$$

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตัวสถิติ t หรือ p -value

เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่ระดับนัยสำคัญ α จะปฏิเสธ H_0 ก็ต่อเมื่อ t_0 (ค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.9) มีค่ามากกว่า $t_{\alpha/2, n-k-1}$ (n เป็นจำนวนการทดลองและ k คือ จำนวนสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง) ซึ่งเป็นค่าที่เปิดจากตารางสถิติ (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2548) นอกเหนือจากการพิจารณาค่าตัวสถิติ t แล้ว ยังสามารถพิจารณาค่า p -value ได้ด้วย โดยจะปฏิเสธ H_0 ก็ต่อเมื่อค่า p -value ของตัวแปรอิสระมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จากการใช้โปรแกรมมินิแทปประมวลผลค่า p -value ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวได้ผลลัพธ์ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่า p -value ของแบบจำลอง

พารามิเตอร์	Term	p
1. ซีไอคี่	Linear	0
	Square	0
	Interaction	0.001
2. ของแข็งแขวนลอย	Linear	0
	Square	0
	Interaction	0

พารามิเตอร์	Term	<i>p</i>
3. น้ำมันและไขมัน	Linear	0
	Square	0
	Interaction	0.001

4.4.2.1 ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีใน ส่วนของ Linear Terms อันได้แก่ A, B และ C มีค่า *p-value* เป็น 0, 0.001 และ 0 ตามลำดับ ดังนั้นที่ ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า *p-value* ของ A, B และ C มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับตัวแปรอิสระ A, B และ C เป็นไป อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาในส่วนของ Linear Terms ที่มีค่า *p-value* เท่ากับ 0 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นสรุปได้ว่า Linear Terms ตัวแปรอิสระ A, B และ C สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแบบจำลองได้

เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระในส่วนของ Square Terms ในตารางที่ 4.9 ได้แก่ A^2 , B^2 , และ C^2 มีค่า *p-value* เป็น 0, 0.001 และ 0 ตามลำดับ ฉะนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า *p-value* ของ A^2 , B^2 , และ C^2 มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับตัวแปรอิสระ A^2 , B^2 , และ C^2 เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาส่วนของ Square Terms พบว่ามีค่า *p-value* เป็น 0 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Square Terms ตัวแปรอิสระ A^2 , B^2 และ C^2 สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในแบบจำลองได้

สุดท้ายพิจารณาตัวแปรอิสระในส่วนของ Interaction Terms ในตารางที่ 4.9 อันได้แก่ AB, AC, และ BC มีค่า *p-value* เป็น 0.001, 0.468 และ 0.001 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นที่ ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า *p-value* ของ AB และ BC มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับตัวแปรอิสระ AB และ BC เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาส่วนของ Interaction Terms พบว่ามีค่า *p-value* เป็น 0.001 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Interaction Terms ตัวแปรอิสระ AB และ BC สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการ กำจัดซีโอดีในแบบจำลองได้ ส่วนตัวแปรอิสระ AC พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 มีค่า *p-value* ของตัวแปรอิสระมากกว่า 0.05 ดังตารางที่ 4.9 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับตัวแปรอิสระใน Interaction Terms ที่เป็นไปอย่างมี นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่า ตัวแปรอิสระ AC ใน Interaction Terms ไม่มี อิทธิพลต่อร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

4.4.2.2 ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในส่วนของ Linear Terms อันได้แก่ A, B, และ C มีค่า p -value เป็น 0, 0 และ 0 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า p -value ของ A, B, และ C มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับตัวแปรอิสระ A, B และ C เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาในส่วนของ Linear Terms ที่มีค่า p -value เท่ากับ 0 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า Linear Terms ตัวแปรอิสระ A, B และ C สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในแบบจำลองได้

เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระในส่วนของ Square Terms ในตารางที่ 4.9 ได้แก่ A^2 , B^2 และ C^2 มีค่า p -value เป็น 0, 0 และ 0 ตามลำดับ ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า p -value ของ A^2 , B^2 และ C^2 มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับตัวแปรอิสระ A^2 , B^2 และ C^2 เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาส่วนของ Square Terms ที่มีค่า p -value เป็น 0 ดังตารางที่ 4.10 จึงสรุปได้ว่า Square Terms ตัวแปรอิสระ A^2 , B^2 และ C^2 สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในแบบจำลองได้

สุดท้ายพิจารณาตัวแปรอิสระในส่วนของ Interaction Terms ในตารางที่ 4.9 อันได้แก่ AB, AC และ BC มีค่า p -value เป็น 0.001, 0.009 และ 0 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า p -value ของ AB, AC และ BC มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับตัวแปรอิสระ AB, AC และ BC เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาส่วนของ Interaction Terms พบว่ามีค่า p -value เป็น 0 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Interaction Terms ตัวแปรอิสระ AB, AC และ BC สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในแบบจำลองได้

4.4.2.3 ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันในส่วนของ Linear Terms อันได้แก่ A, B และ C มีค่า p -value เป็น 0, 0 และ 0 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า p -value ของ A, B และ C มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันกับตัวแปรอิสระ A, B และ C เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการ

พิจารณาในส่วนของ Linear Terms ที่มีค่า p -value เท่ากับ 0 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า Linear Terms ตัวแปรอิสระ A, B และ C สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันในแบบจำลองได้

เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระในส่วนของ Square Terms ในตารางที่ 4.9 อันได้แก่ A^2 , B^2 และ C^2 มีค่า p -value เป็น 0, 0.001 และ 0 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า p -value ของ A^2 , B^2 และ C^2 มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันกับตัวแปรอิสระ A^2 , B^2 และ C^2 เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาส่วนของ Square Terms พบว่ามีค่า p -value เป็น 0 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Square Terms ตัวแปรอิสระ A^2 , B^2 และ C^2 สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันในแบบจำลองได้

สุดท้ายพิจารณาตัวแปรอิสระในส่วนของ Interaction Terms ในตารางที่ 4.9 อันได้แก่ AB, AC และ BC มีค่า p -value เป็น 0.007, 0.054 และ 0 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่าค่า p -value ของ AB และ BC มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันกับตัวแปรอิสระ AB และ BC เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาส่วนของ Interaction Terms พบว่ามีค่า p -value เป็น 0.001 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Interaction Terms ตัวแปรอิสระ AB และ BC สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในแบบจำลองได้ ส่วนตัวแปรอิสระ AC พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 มีค่า p -value ของตัวแปรอิสระมากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันกับตัวแปรอิสระใน Interaction Terms ที่เป็นไปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่า ตัวแปรอิสระ AC ใน Interaction Terms ไม่มีอิทธิพลต่อร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน

4.4.3 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม

การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมมินิแทป ซึ่งเป็นการนำเอาเทคนิค Simultaneous Optimization Technique โดยนำ Desirability Functions มาใช้ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม (Myers และ Montgomery, 2002) การใช้โปรแกรมมินิแทป ในการประมวลผล มีสิ่งที่ต้องกำหนดดังต่อไปนี้

ก. ค่าขอบเขตบน (Upper Limit)

ค่าขอบเขตบนเป็นค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน มากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขอบเขตบนในที่นี่กำหนดให้เท่ากับร้อยละ 58, 99 และ 99 ตามลำดับ

ข. ค่าเป้าหมาย (Target)

วัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้เพื่อต้องการค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่สามารถทำได้ คู่กับค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงกำหนดเป้าหมายเท่ากับร้อยละ 55, 97.5 และ 97.5 ตามลำดับ

ค. ค่าขอบเขตล่าง (Lower Limit)

เป็นค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันน้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขอบเขตล่างในที่นี่ให้ร้อยละ 32, 30 และ 30 ตามลำดับ

ง. ค่าน้ำหนัก (Weight)

เป็นตัวกำหนดรูปแบบของ Desirability Functions ในที่นี่กำหนดให้เป็น 1

เมื่อกำหนดค่าดังกล่าวข้างต้นแล้ว โปรแกรม มินิแทป สามารถประมวลผลได้สถานะที่เหมาะสม คือ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6.06 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 18.2 โวลต์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 23 นาที 34 วินาที

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง Full Quadratic จึงได้ทำการทดลองภายใต้สถานะดังกล่าวผลการทดลองพบว่า ได้ค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเท่ากับ 55.43, 96.59 และ 98.42 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้กำหนดเป็นค่าเป้าหมาย (ร้อยละ 55, 97.5 และ 97.5) ดังนั้นแบบจำลอง Full Quadratic จึงมีความถูกต้องแม่นยำในการกำหนดสถานะที่เหมาะสม

เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากการทดลองกับค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic ดังตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างจากค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแฉ่งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากแบบจำลองเล็กน้อย โดยมีค่าผลต่างสูงสุดไม่เกินร้อยละ 1.56

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากการทดลองกับค่าร้อยละที่ได้จากแบบจำลอง

Full Quadratic

การทดลองที่	พีเอช (A)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (B)	เวลา (C) (นาที)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)			ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (%)			ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมัน (%)		
				X	Y	X-Y	X	Y	X-Y	X	Y	X-Y
1	6.5	30	40	57.81	57.29	0.52	98.86	97.35	1.52	98.92	97.63	1.29
2	6.5	30	10	53.65	53.45	0.20	92.05	91.46	0.59	90.03	89.19	0.85
3	4.0	20	40	54.20	54.40	-0.20	96.88	97.37	-0.50	96.01	97.87	-1.86
4	4.0	10	25	48.81	48.48	0.34	83.75	82.63	1.12	83.64	82.16	1.48
5	4.0	30	25	52.59	53.04	-0.46	95.63	96.47	-0.85	95.85	97.32	-1.47
6	6.5	20	25	55.21	55.40	-0.19	98.30	97.88	0.41	98.34	98.43	-0.09
7	9.0	10	25	32.03	31.61	0.42	29.55	28.63	0.91	29.07	28.25	0.82
8	9.0	30	25	44.46	44.84	-0.38	61.36	62.42	-1.06	59.80	61.91	-2.11
9	6.5	10	10	40.32	40.89	-0.58	47.73	49.16	-1.43	43.36	45.58	-2.22
10	9.0	20	40	41.15	41.41	-0.26	59.09	59.37	-0.28	57.31	58.54	-1.23
11	6.5	20	25	55.73	55.40	0.33	97.16	97.88	-0.73	97.67	98.43	-0.75
12	4.0	20	10	46.66	46.44	0.22	79.38	79.03	0.35	75.91	75.55	0.36
13	9.0	20	10	34.51	34.36	0.15	29.55	28.98	0.56	26.58	25.57	1.01
14	6.5	10	40	51.82	52.06	-0.24	91.48	92.01	-0.53	90.86	92.42	-1.56
15	6.5	20	25	55.21	55.40	-0.19	98.30	97.88	0.41	98.92	97.63	1.29
สถานะที่เหมาะสม	6.06	18.2	23.54	55.43	55.01	0.43	96.59	97.45	-0.86	98.42	97.77	0.65

หมายเหตุ X = ค่าร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากการทดลอง Y = ค่าร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic

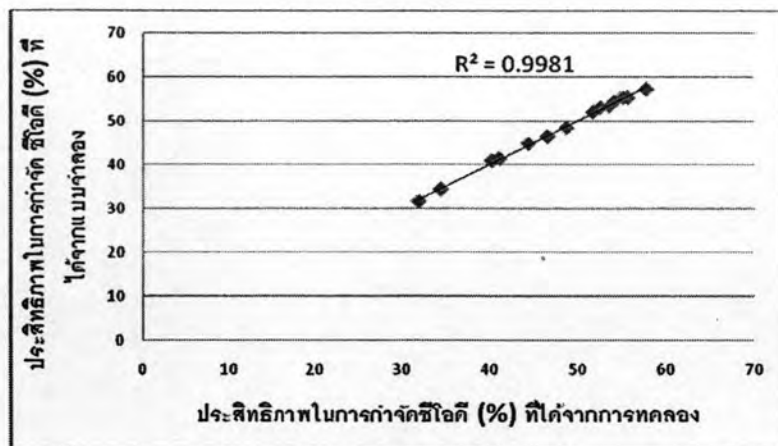
4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสม

การทดลองจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล โดยการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง และการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ด้วยโปรแกรมมินิแทป เวอร์ชัน 14 โดยเลือกการออกแบบแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน ซึ่งผลการทดลองของทั้ง 2 วิธี แสดงในตารางที่ 4.12

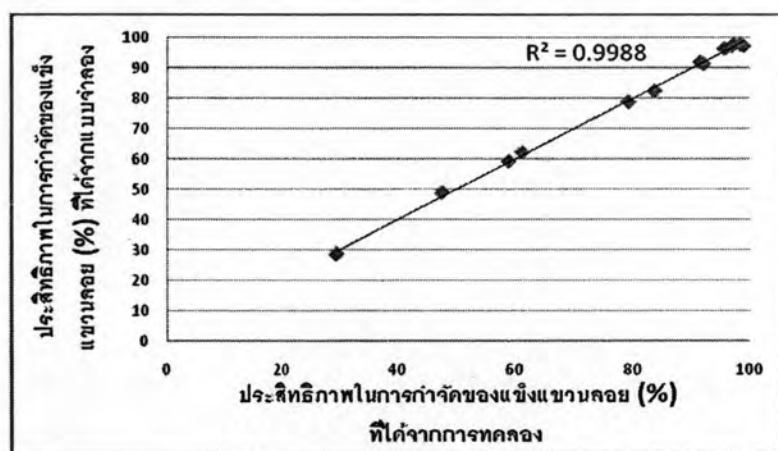
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง และการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

พารามิเตอร์	การออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดียวในการทดลองแต่ละครั้ง	การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน
1. สภาวะที่เหมาะสม		
• พีเอช	6	6.06
• ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	20	18.2
• เวลา (นาที)	25	23.54
2. พีเอช	7.24	7.23
3. ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.)	405	400
4. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	55.43	55.43
5. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (%)	96.88	96.59
6. ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมัน (%)	97.76	98.42
7. เมทานอล (มก./ล.)	8,869	8,713
8. กลีเซอรอล (มก./ล.)	1,312	1,319
9. ก๊าซ (มล.)	390	310
10. น้ำหนักขี้ที่สลายไป (กรัม)	0.1475	0.13
11. ปริมาณตะกอน (มล.)	75	60
12. ค่าขี้ไฟฟ้า (บาท/ล.)	0.023	0.02
13. ค่าพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์/ลบ.ม.)	6.917	5.57
14. ค่าไฟฟ้า (บาท/ลบ.ม.)	13.36	10.75
15. ค่าสารเคมีปรับพีเอช (บาท/ล.)	0.011	0.01

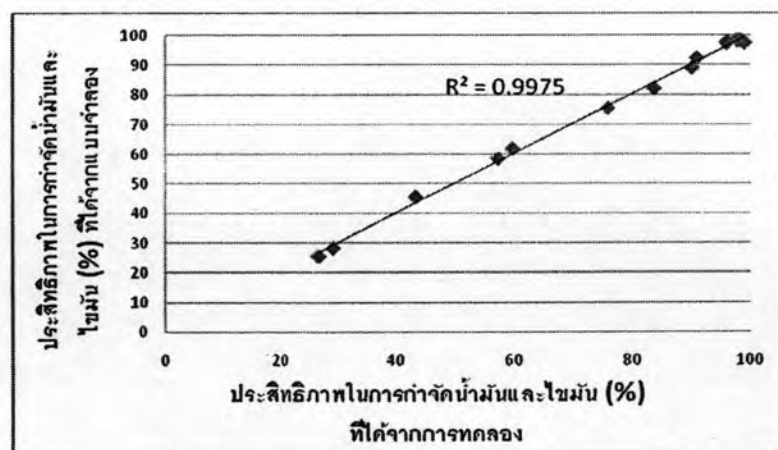
โดยเมื่อนำค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากการทดลองกับค่าร้อยละที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic จากตารางที่ 4.11 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์จะได้กราฟดังรูปที่ 4.26 ถึง 4.28



รูปที่ 4.26 ค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ที่ได้จากการทดลอง กับค่าร้อยละที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic



รูปที่ 4.27 ค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ที่ได้จากการทดลอง กับค่าร้อยละที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic



รูปที่ 4.28 ค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ที่ได้จากการทดลอง กับค่าร้อยละที่ได้จากแบบจำลอง Full Quadratic

จากผลการทดลองพบว่า น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วยังมีค่าซีโอดี และน้ำมัน และไขมันเกินค่ามาตรฐาน และเนื่องจากองค์ประกอบหลักของน้ำเสียไป โอดีเซล คือ เมทานอล และกลีเซอรอล ดังนั้นระบบขั้นต่อไปที่จะนำมาใช้ในการบำบัดต่อก็ควรจะเป็นระบบทางชีวภาพ เนื่องจากแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารเหล่านี้ได้ แต่ระบบบำบัดทางเคมีไม่สามารถทำได้ และจากตารางที่ 4.12 พบว่า ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของทั้ง 2 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน และมีประสิทธิภาพการกำจัดรวมทั้งค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกันด้วย ซึ่งเป็นการยืนยันว่าผลการทดลองของทั้ง 2 วิธี สามารถเชื่อถือได้ ซึ่งในการนำไปใช้งาน ต้องเลือกสภาวะที่มีความเหมาะสมกับเครื่องมือและเทคโนโลยีที่ใช้ สามารถควบคุมง่าย เกิดความคุ้มค่าสูงสุด