บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ข้อมูลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจางด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีได้แสดงในภาคผนวก ค โดยการทดลองนี้ต้องปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการให้คงที่ตลอดช่วงการทดลองแล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำเสียในการทดลองที่เวลาต่างๆ ไปวิเคราะห์หาค่าดรรชนีต่างๆ จนกระทั่งสีของน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดลดลงในระดับที่เหมาะสม ซึ่งสีของน้ำเสียในการทดลองนี้แสดงเป็น %Transmittance ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ในการหาวิเคราะห์สีที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับน้ำกากส่านั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ส่วนสีของน้ำกากส่าเจือจางก่อนผ่านการบำบัดและผ่านการบำบัดแล้วซึ่งวัดอยู่ในรูปของ %Transmittance ได้แสดงดังรูปที่ จ.1 ในงานวิจัยนี้ใช้ 60 %Transmittance ที่ 580 นาโนเมตร เป็นสีของน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจางด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ นอกจากการกำจัดสีแล้วดรรชนีต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการบำบัด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังจะกล่าวต่อไป

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำกากส่า

น้ำกากส่าเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการหมักสุรา มีสีน้ำตาลเข้ม ทึบแสง เนื่องจากมีสารเมลานอยดีน ซึ่งไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยการบำบัดทางชีววิทยา มีปริมาณสารอินทรีย์สูงคือ COD ประมาณ 90,000-120,000 mg/l มีไอออนของโลหะและสารประกอบต่างๆ ในปริมาณมาก เช่น K^{+}, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Ca^{2+} เป็นต้น จึงทำให้น้ำกากส่ามีค่าการนำไฟฟ้าสูง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นกรด pH ประมาณ 4.6-5.8

4.2 ระบบไฟฟ้าเคมีที่มีไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นอิเล็กโตรด

4.2.1 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า

ตารางที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นอิเล็กโตรด ที่สภาวะความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

4.2.1.1 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสี</u> จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 และตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อใช้อิเล็กโตรดจำนวนเท่ากัน ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดยาวนานขึ้นในการกำจัดสี ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้น ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเช่นเดียวกัน

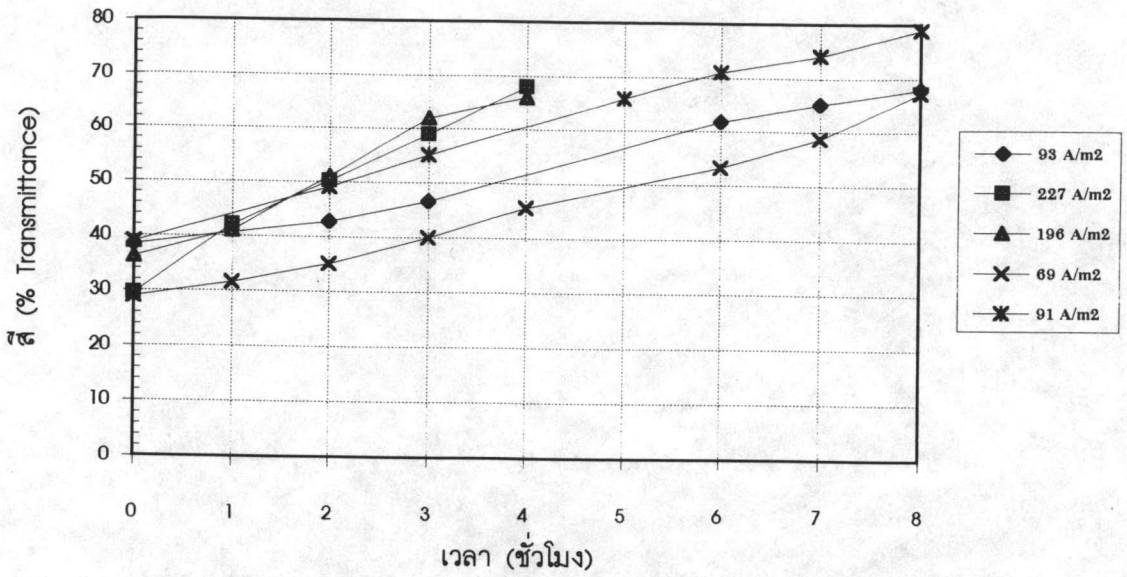
4.2.1.2 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์</u> จากรูปที่ 4.3 พบว่า COD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วลดลงไม่มากนักประมาณ 10% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Comninellis (1992) ซึ่งรายงานผลการทดลองว่าเซลล์อิเล็กโตรลิติกที่ใช้แพลทินัมเป็นอิเล็กโตรดให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำมาก แต่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนรูปปานกลาง ก๊าซออกซิเจนที่แอโนดสามารถช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์โดยที่ขั้วแอโนดจะเกิดออกซิเจนอะตอมซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา แต่ออกซิเจนอะตอมนี้จะเกิดบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโตรดและไม่เสถียร (Patermarakis และ Foutoukidis, 1990) จึงทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ

4.2.1.3 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย</u> ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงอยู่ในช่วง 59-72% ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการอิเล็กโตรลิซิสของน้ำได้ก๊าซไฮโดรเจนที่แคโทดและก๊าซออกซิเจนที่แอโนด ฟองก๊าซขนาดเล็กที่เกิดขึ้นบริเวณอิเล็กโตรดจะพยุงอนุภาคของแข็งในน้ำลอยขึ้นมาบนผิวของเซลล์อิเล็กโตรลิติก

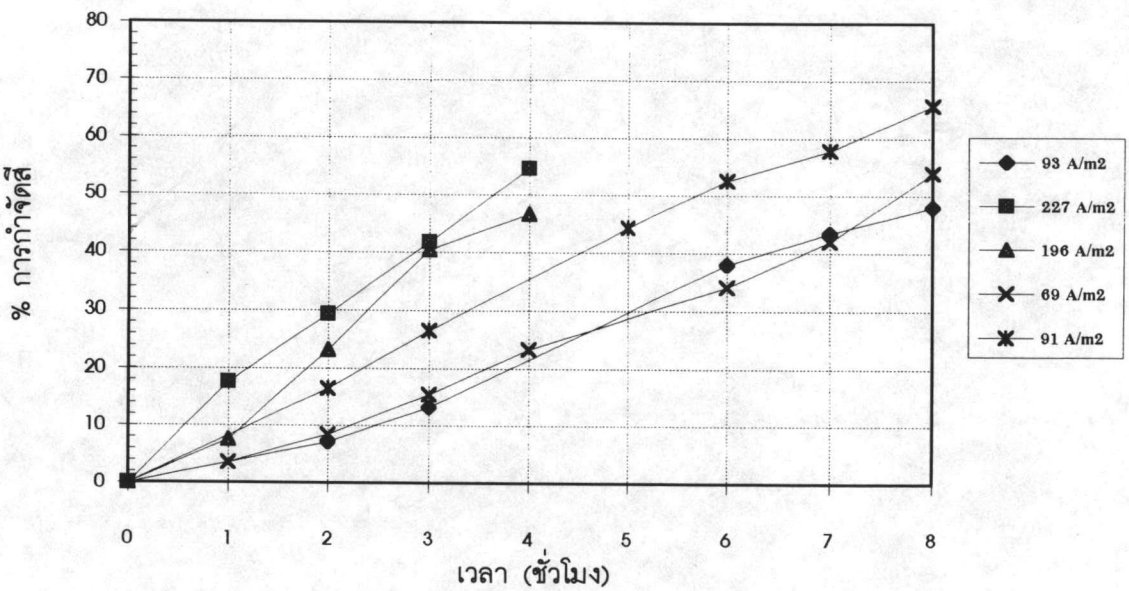
4.2.1.4 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง</u> น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมี pH เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.4) ซึ่งถือว่าค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกับ pH ของน้ำกากส่าเจือจางที่ใช้ในการทดลอง คือประมาณ 5-6

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

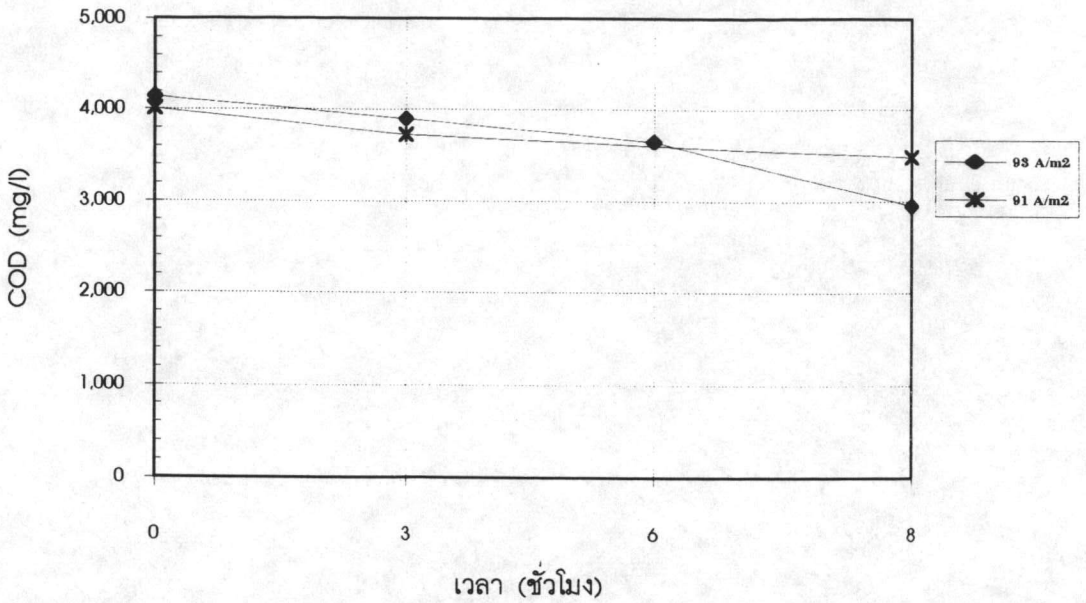
ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	% Transmittance ที่ 580 nm		COD (mg/l)		% การกำจัด COD	SS (mg/l)		% การกำจัด SS	pH		อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
0.8	Pt - Pt	4	6	2.1	93	8	38.4	68	4,139	2,951	28.70	232.5	65	72.04	5.48	5.1	27	40
	Pt - Pt	4	10	5.1	227	4	29.6	68							5.76		27	64
	Pt - Pt	4	10	4.4	196	4	36.2	66				136	56	58.82	6.05		27	
	Pt - Pt	6	6	2.6	69	8	29	67.3				371	139	62.53	5.6	5.4	27	44.5
	Pt - Pt	6	6	3.4	91	8	38.9	79	4,008	3,482	13.12				5.3	4.9	25	45



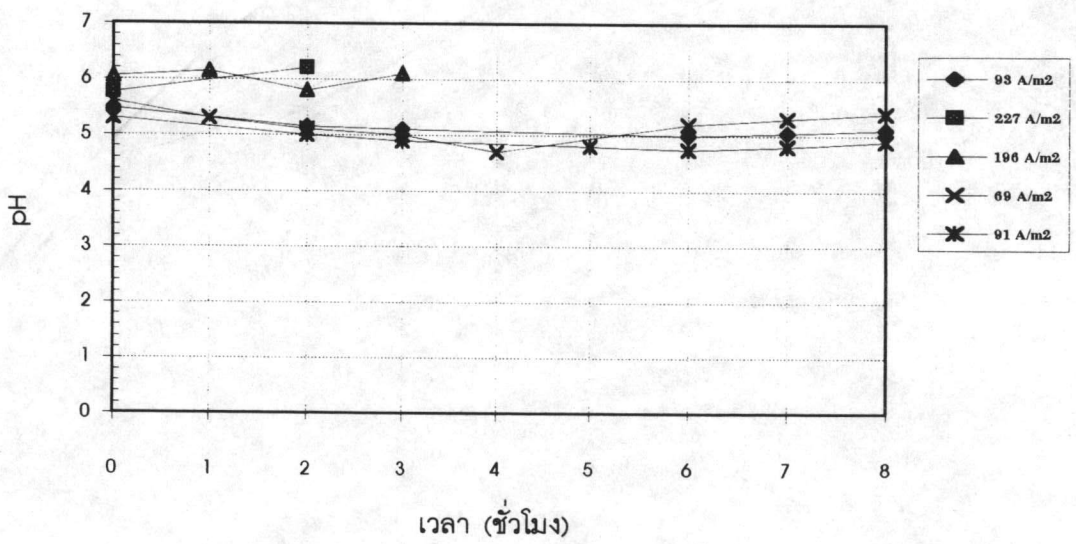
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

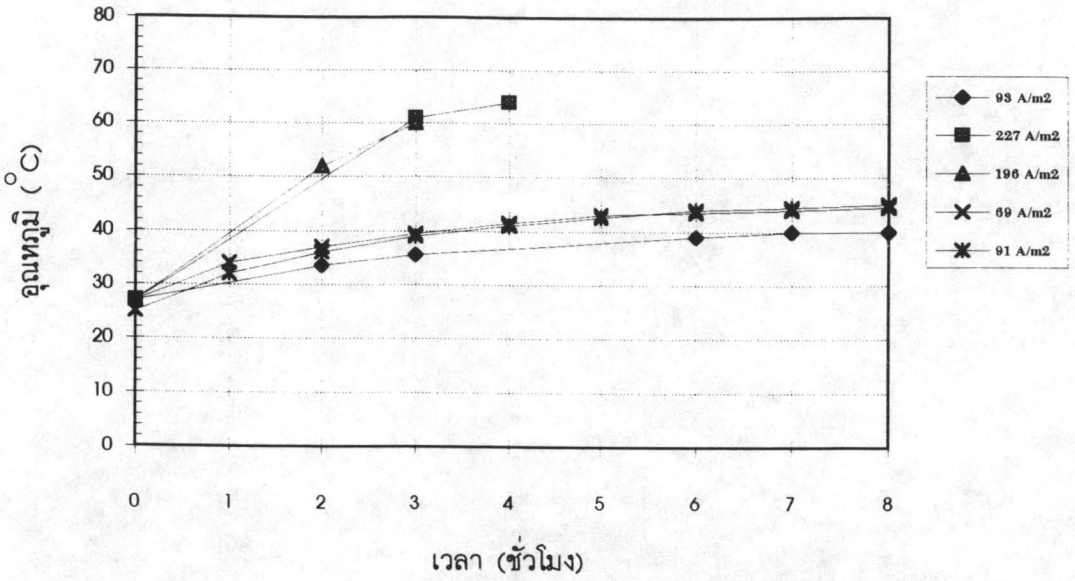


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

4.2.1.5 <u>การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u> จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีนี้ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นนี้จะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากมีการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนนั่นเอง (Ampere loss) ดังนั้นการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน

4.2.1.6 <u>สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี</u> เนื่องจากการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้ ดังนั้นการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีจึงต้องพิจารณาระบบการทดลองที่มีอัตราการใช้พลังงานในการบำบัดต่ำที่สุด จากตารางที่ 4.2 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 93 A/m^2 ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์

4.2.1.7 <u>เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเคมี</u> ในการทดลองนี้ใช้เวลาทดลองยาวนานที่สุด 8 ชั่วโมง โดยพบว่าที่ผิวแคโทดมีตะกรันมาจับ ทั้งนี้เนื่องจากแคทไอออนมารับประจุลบที่ผิวแคโทด ถ้าเซลล์อิเล็กโตรลิติกนี้ถูกใช้งานยาวนานมากจะมีความต้านทานสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากชั้นตะกรันบนผิวแคโทดทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนแคโทดหรือทำความสะอาดหรือทำการสลับขั้วไฟฟ้าเพื่อกำจัดชั้นตะกรันบนผิวแคโทด



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

ตารางที่ 4.2 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3)*
0.8	4	6	2.1	93	5.60	470
	4	10	5.1	227	3.09	1051
	4	10	4.4	196	2.81	824
	6	6	2.6	69	5.09	529
	6	6	3.4	91	3.85	523

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

4.2.2 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัดไฟฟ้าเคมีที่ทดลองสภาวะต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

4.2.2.1 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสี</u> พบว่า เมื่อน้ำกากส่ามีความเข้มข้นมากขึ้น น้ำเสียจะมีสีเข้มขึ้น ทำให้ต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นหรือระยะเวลาในการบำบัดมากขึ้นเพื่อลดสีของน้ำเสีย จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นและเวลากำจัดยาวนานขึ้น แต่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงนั้นถึงจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่า เช่น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 249 A/m^2 แต่พบว่า เมื่อทำการทดลองได้ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำเสียในระบบบำบัดสูงมากถึง 72 องศาเซลเซียส ทำให้ต้องลดความต่างศักย์ไฟฟ้าลงเพื่อลดกระแสไฟฟ้าในระบบการทดลอง ในขณะที่จำนวนของอิเล็กโตรดที่ใช้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเช่นกัน ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 357 A/m^2 จำนวนของอิเล็กโตรดที่ใช้ในการทดลอง 2 แผ่น มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ต่ำกว่าการใช้อิเล็กโตรด 4 แผ่น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 249 A/m^2 ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนของอิเล็กโตรดที่น้อยเกินไป ทำให้ระบบมีพื้นที่ผิวน้อยในการเกิดปฏิกิริยา

4.2.2.2 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์</u> จากรูปที่ 4.8 พบว่า COD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วลดลงไม่มากนักประมาณ 19% เหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า

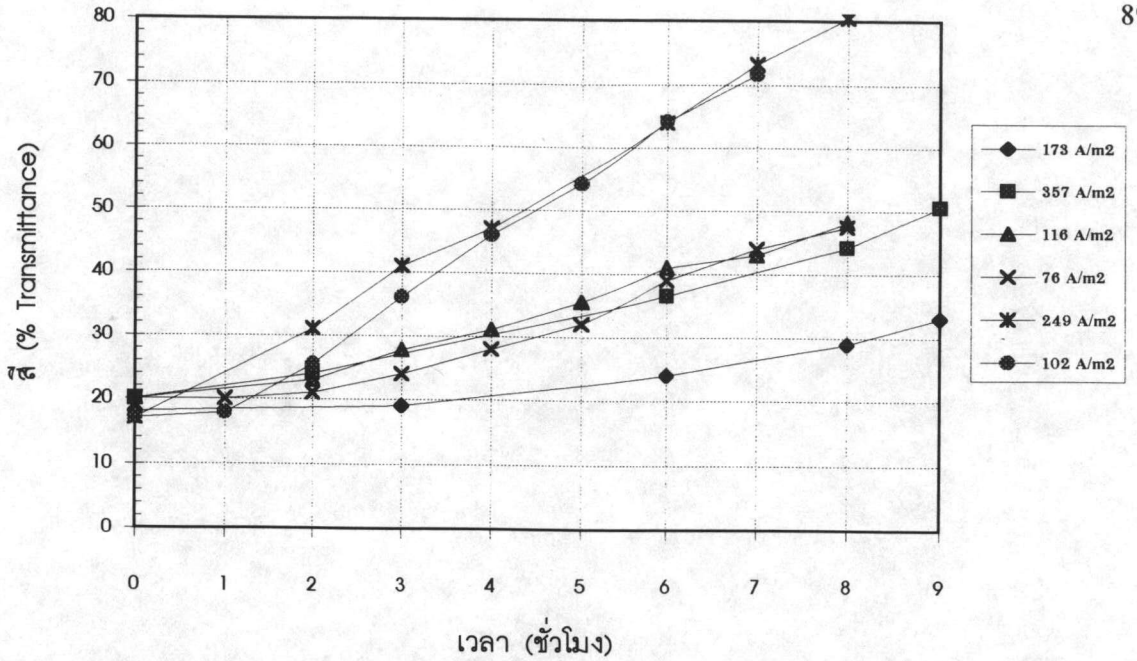
4.2.2.3 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย</u> จากตารางที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูง อยู่ในช่วง 40-70% เนื่องจากฟองก๊าซที่เกิดจากการอิเล็กโตรลิซิสจะเป็นตัวพยุงอนุภาคของแข็งในน้ำเสียลอยขึ้นมากบนผิวของเซลล์อิเล็กโตรลิติก

4.2.2.4 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง</u> น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมี pH ลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.9) ซึ่งถือว่าค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกับ pH ของน้ำกากส่าเจือจางที่ใช้ในการทดลอง คือประมาณ 5

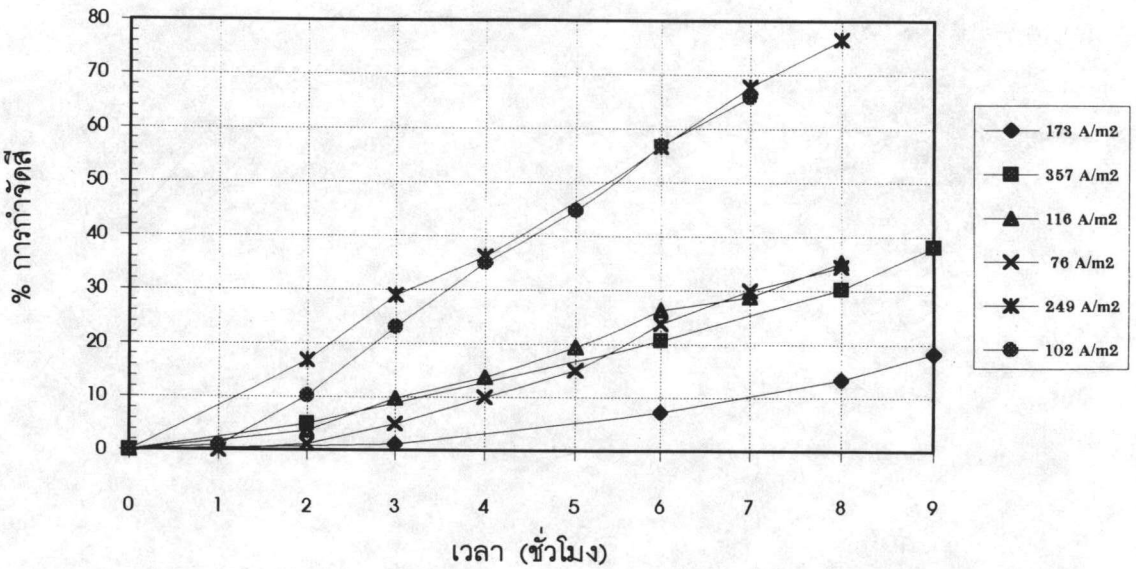
4.2.2.5 <u>การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u> จากรูปที่ 4.10 พบว่า การบำบัด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

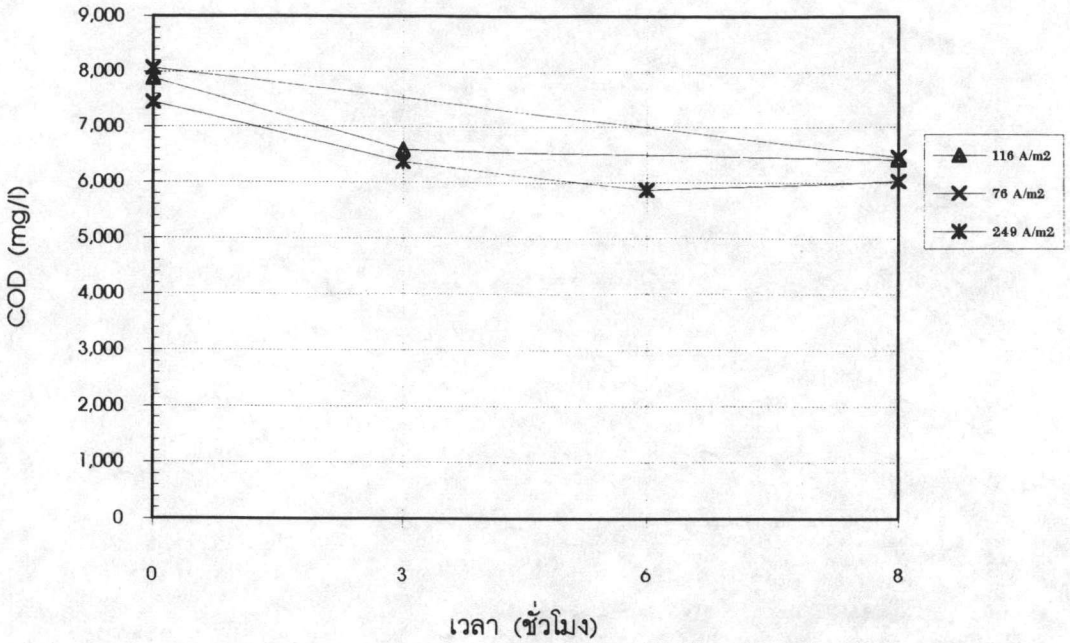
ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	% Transmittance ที่ 580 nm		COD (mg/l)		% การกำจัด COD	SS (mg/l)		% การกำจัด SS	pH		อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
0.8	Pt - Pt	2	6	1.3	173	9	18	33				740	410	44.59	5.21	5.2	28.5	
	Pt - Pt	2	7.17	2.68	357	9	20	50.5				274	124	54.74	5.12	4.78	27	
	Pt - Pt	4	6	2.6	116	8	20	48.2	7,879	6,407	18.68				4.95	4.6	27	42.5
	Pt - Pt	4	6	1.6	76	8	20	47.5	8,064	6,452	19.99	737	216	70.69	5	4.9	28	
	Pt - Pt	4	7.16	5.61	249	8	17	80.5	7,448	6,025	19.11				5.2	4.8	25	49
	Pt - Pt	6	6	3.56	102	8	17	75							5.8		27.5	



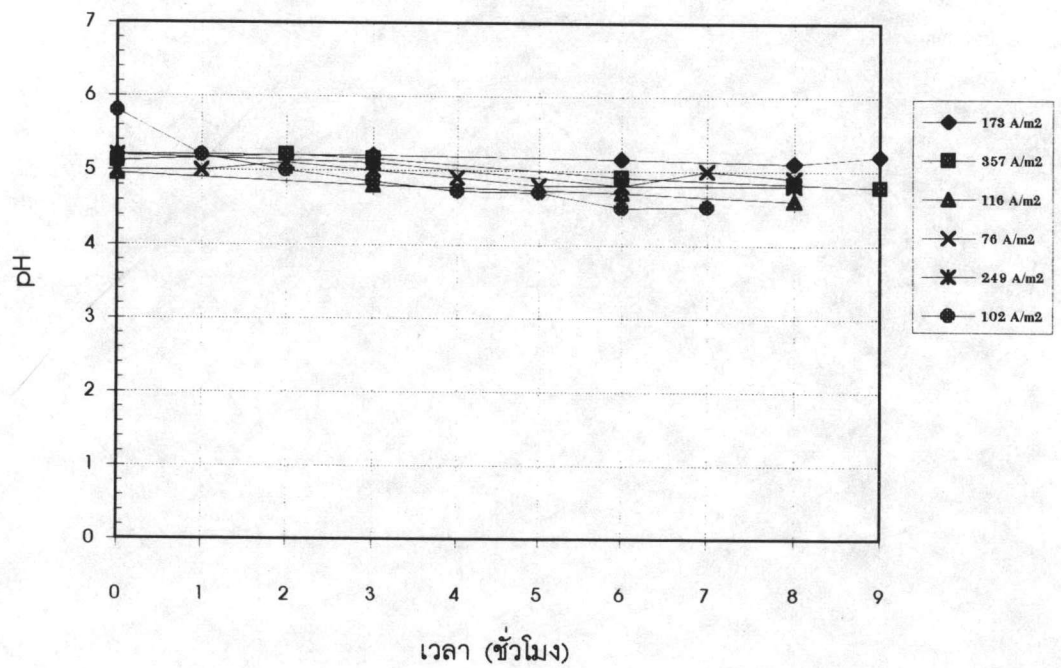
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด



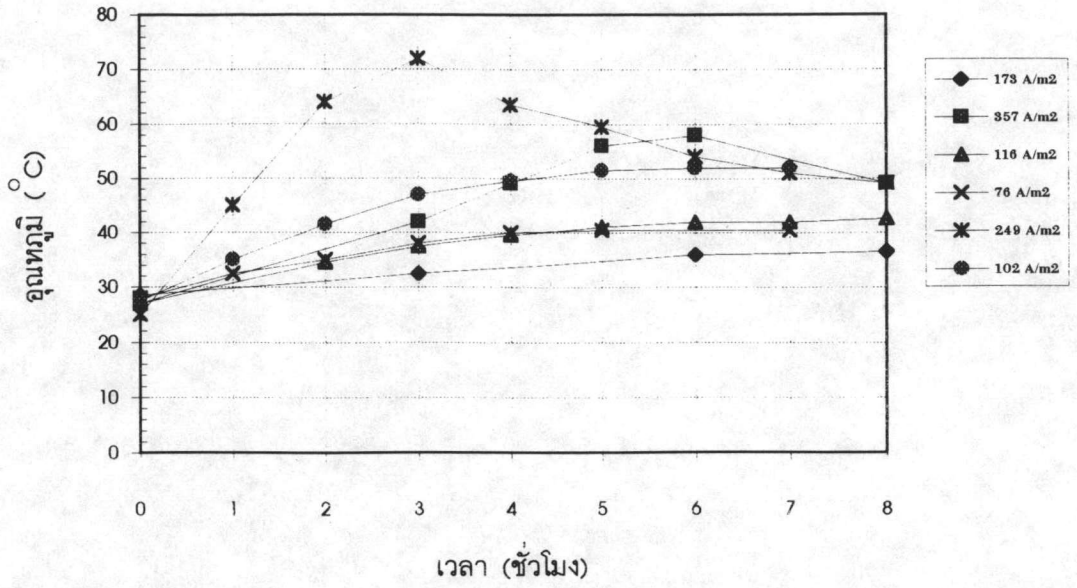
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

น้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสูงขึ้น โดยเฉพาะระบบการทดลองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 249 A/m^2 เมื่อทำการทดลองได้ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำเสียในระบบบำบัดสูงมากถึง 72 องศาเซลเซียส ทำให้ต้องลดความต่างศักย์ไฟฟ้าลงเพื่อลดกระแสไฟฟ้าในระบบการทดลอง ดังนั้นจึงสรุปว่า ถึงแม้ระบบที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูง แต่สิ่งที่ตามมาคือ อุณหภูมิของระบบขณะบำบัดสูงเกินไป ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากนั่นเอง

4.2.2.6 <u>สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี</u> จากตารางที่ 4.4 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรดเพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 102 A/m^2 ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะนี้จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงมากนัก

4.2.2.7 <u>เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเคมี</u> เมื่อใช้อิเล็กโตรดแบบเสถียรจะเกิดปัญหาการเกาะของตะกรันที่ผิวแคโทด ซึ่งทำให้พื้นผิวของอิเล็กโตรดในการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง นอกจากนี้เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะทำให้อุณหภูมิของระบบบำบัดเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งทำให้เซลล์อิเล็กโตรลิติก (ทำด้วยพลาสติกอะครีลิค) อุณหภูมิสูงเกินไป

ตารางที่ 4.4 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3)
0.8	2	6	1.3	173	--	--
	2	7.17	2.68	357	--	--
	4	6	2.6	116	--	--
	4	6	1.6	76	--	--
	4	7.16	5.61	249	5.5	1473
	6	6	3.56	102	5.5	783

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

4.3 ระบบไฟฟ้าเคมีที่มีไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ, เหล็ก หรือ อะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโตรด

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้วัสดุอิเล็กโตรดต่างๆ โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า

4.3.1 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสี</u> จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 ที่จำนวนอิเล็กโตรดและความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกัน พบว่า ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำทั้งแคโทดและแอโนด (Pt-Pt) ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำที่สุดคือใช้ระยะเวลาในการบำบัดนานถึง 8 ชั่วโมงในการกำจัดสี 40% ในขณะที่ Fe-Fe, Al-Al, Pt-Fe และ Pt-Al ใช้ระยะเวลาในการบำบัดเพียง 3 ชั่วโมงในการกำจัดสีได้มากกว่า 80% ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนของ $Fe(OH)_3$ และ $Al(OH)_3$ ทำหน้าที่เป็นสาร Coagulant และ Flocculant ในการแยกสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ก่อให้เกิดสี

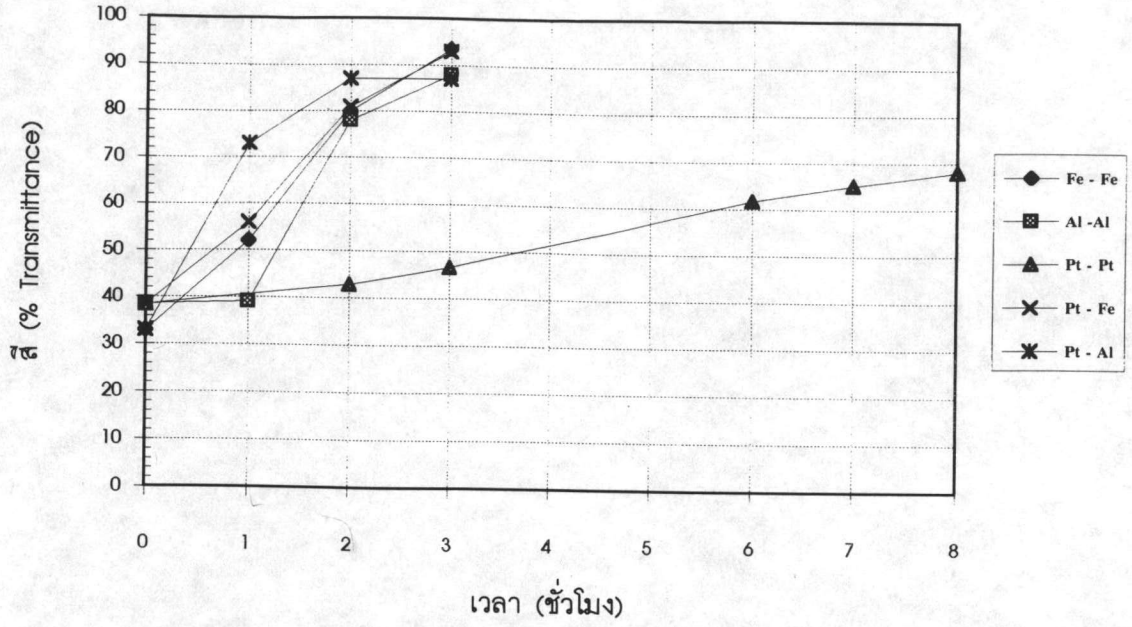
4.3.2 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์</u> จากตารางที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในกรณีใช้เหล็กหรืออะลูมิเนียมสูงกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แพลทินัมเป็นอิเล็กโตรด ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนของ $Fe(OH)_3$ และ $Al(OH)_3$ ช่วยแยกสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปแขวนลอยออกได้สูงขึ้น

4.3.3 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย</u> จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดตะกอนเบาในรูปของเหล็กไฮดรอกไซด์ หรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสลายตัวของอิเล็กโตรด ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยในการตกตะกอน ดังนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจะมีปริมาณสารแขวนลอยลดลง นอกจากนี้ปริมาณสารแขวนลอยบางส่วนจะถูกฟองก๊าซที่เกิดจากการอิเล็กโตรลิซิสเป็นตัวพยุงอนุภาคของแข็งในน้ำเสียลอยขึ้นมาบนเซลล์อิเล็กโตรลิติกด้วย

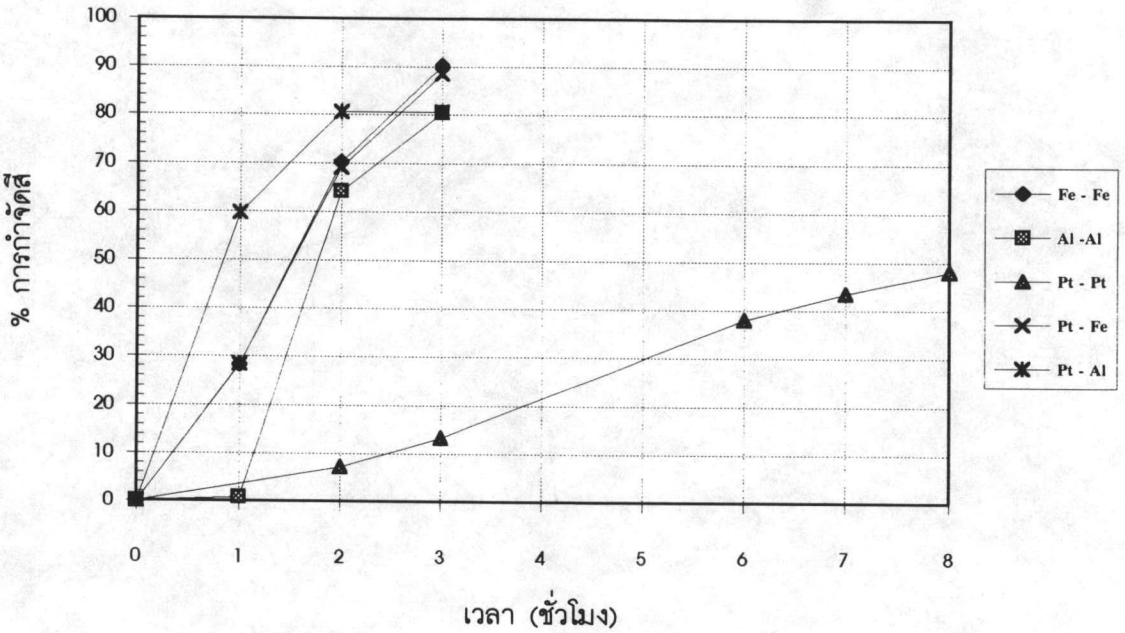
4.3.4 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง</u> จากรูปที่ 4.13 พบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในกรณีใช้เหล็กหรืออะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโตรดมี pH เพิ่มขึ้น คือมีคุณสมบัติเป็นกลาง pH ประมาณ 7 ในขณะที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรดนั้นมี pH ค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกับ pH ของน้ำกากส่าเจือจางที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ

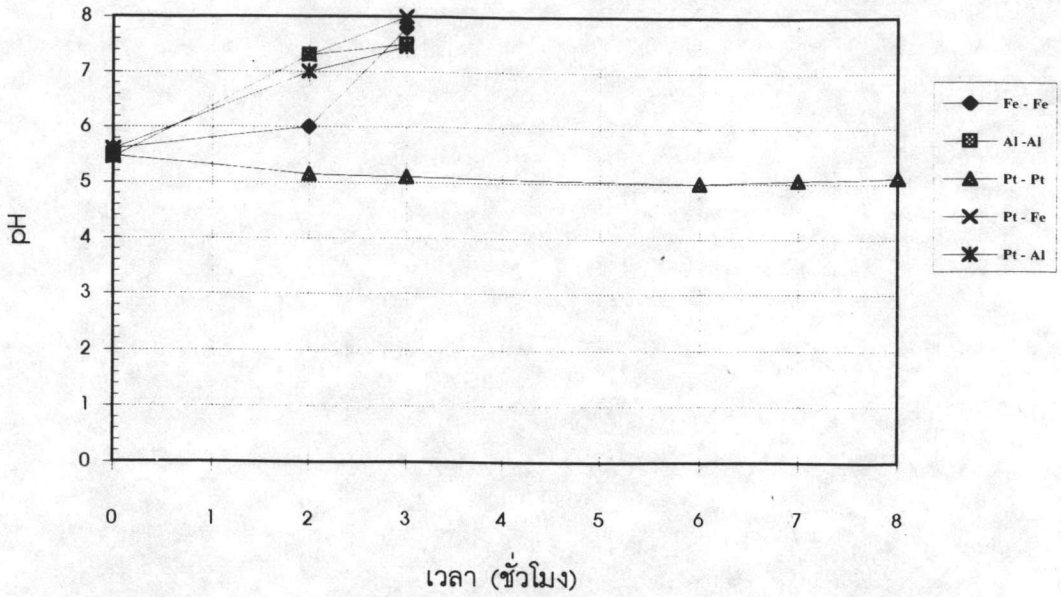
ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	% Transmittance ที่ 580 nm		COD (mg/l)		% การกำจัด COD	SS (mg/l)		% การกำจัด SS	pH		อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
0.8	Fe - Fe	4	6	2.3	102	3	33	94	4,571	2,529	44.67				5.6	7.8	26	37
	Al -Al	4	6	2.1	93	3	38.5	88	4,765	2,707	43.19				5.45	7.5	25.5	37
	Pt - Pt	4	6	2.1	93	8	38.4	68	4,139	2,951	28.70	232.5	65	72.04	5.48	5.1	27	40
	Pt - Fe	4	6	2.2	98	3	38.5	93	4,765	2,635	44.70				5.45	8	26	37
	Pt - Al	4	6	2.5	111	3	33	87	4,751	2,567	45.97				5.6	7.45	26	40



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ

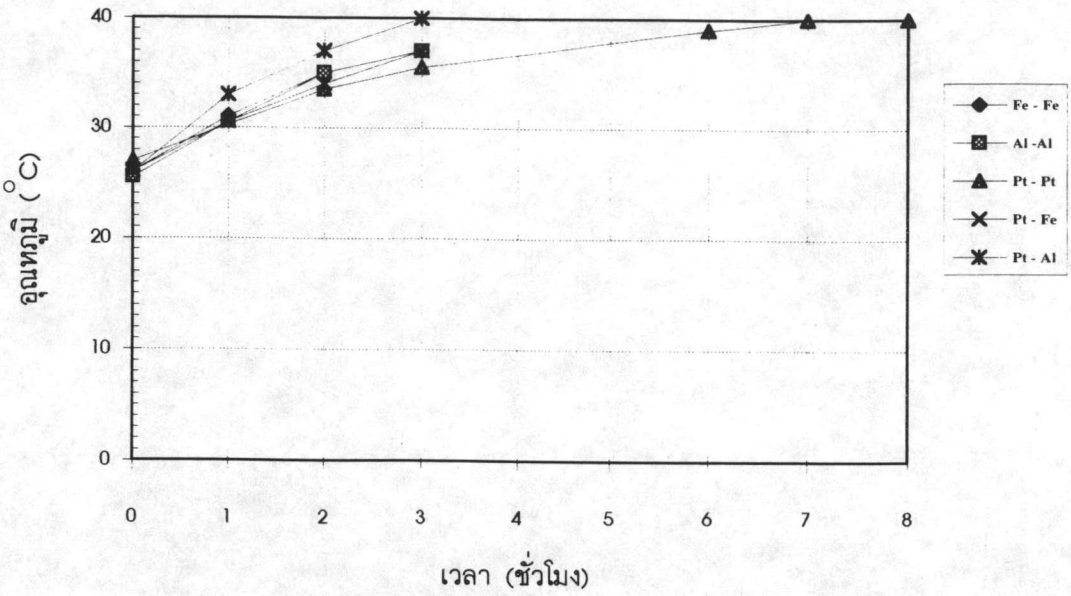


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ

ซึ่งประมาณ 5 ทั้งนี้เนื่องจาก $Fe(OH)_3$ และ $Al(OH)_3$ มีค่า pH เป็นด่างจึงทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า pH สูงขึ้น

4.3.5 <u>การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u> จากรูปที่ 4.14 พบว่า ที่เวลาเดียวกันระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Fe-Fe, Al-Al, Pt-Fe และ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด ทำให้ระบบบำบัดมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด

4.3.6 <u>สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี</u> จากตารางที่ 4.6 สรุปได้ว่า ระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Fe-Fe, Al-Al, Pt-Fe และ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด มีการใช้พลังงานต่ำกว่าระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรดประมาณ 3 เท่า โดยที่ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe, Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด มีการใช้พลังงานต่ำกว่าระบบที่ใช้ Fe-Fe, Al-Al เป็นอิเล็กโตรดเล็กน้อย จากการทดลองในขั้นตอนนี้ กำหนดให้จำนวนของอิเล็กโตรด, ความต่างศักย์ไฟฟ้า, ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดคงที่ จึงสรุปได้ว่า ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าด้วยระบบไฟฟ้าเคมีควรใช้ Pt-Fe, Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด เพราะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารอินทรีย์สูงกว่า, การใช้พลังงานในการบำบัดต่ำกว่า และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมี pH เพิ่มขึ้นเป็นกลาง



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.6 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3)*
0.8	Fe - Fe	4	6	2.3	102	1.26	116
	Al -Al	4	6	2.1	93	1.52	128
	Pt - Pt	4	6	2.1	93	5.43	456
	Pt - Fe	4	6	2.2	98	1.13	99
	Pt - Al	4	6	2.5	111	0.65	65

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

ตารางที่ 4.7 สภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	COD (mg/l)		% การกำจัด COD	pH		อุณหภูมิ (°C)	
						เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
Fe - Fe	4	6	2.3	102	1.26	4,751	3,818	19.64	5.6	5.8	26	32
Al - Al	4	6	2.1	93	1.52	4,765	3,722	21.89	5.5	6.9	26	33
Pt - Pt	4	6	2.1	93	5.43	4,139	3,696	10.70	5.5	5.0	27	38
Pt - Fe	4	6	2.2	98	1.13	4,765	3,963	16.83	5.5	6.5	26	31
Pt - Al	4	6	2.5	111	0.65	4,751	4,276	10.00	5.6	6.0	26	31

4.3.7 <u>เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเคมี</u> เนื่องจากเหล็กหรืออะลูมิเนียมที่ใช้เป็นอิเล็กโตรดแบบไม่เสถียร นั่นคือสามารถสลายตัวให้ตะกอนเบาในรูปของเหล็กไฮดรอกไซด์หรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่แอโนด ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยในการตกตะกอน จึงทำให้กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าในระบบการทดลองไม่คงที่ ในขณะที่แคโทดจะเกิดตะกรันบนพื้นผิวซึ่งมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซ เพราะขนาดของฟองก๊าซมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยนั่นเอง ดังนั้นเมื่อใช้งานระบบไฟฟ้าเคมีในระยะเวลาหนึ่งจำเป็นต้องเปลี่ยนแอโนดใหม่ ส่วนแคโทดจะต้องทำการกำจัดตะกรัน

4.4 ระบบไฟฟ้าเคมีที่มีไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นแคโทด และอะลูมิเนียมหรือเหล็กเป็นแอโนด

จากผลสรุปว่าระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Pt-Pt, Fe-Fe และ Al-Al เป็นอิเล็กโตรด ดังนั้นจึงทำการทดลองบำบัดน้ำกากส่าที่อัตราเจือจางต่างๆ โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด

4.4.1 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวน 2,4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8, 1.6 เซนติเมตร ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างๆ รายละเอียดผลการทดลองดังจะกล่าวต่อไป

4.4.1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี

ก) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด จากรูปที่ 4.15 และ 4.19 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นและความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 429 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 95 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด ดังนั้นเมื่อจำนวนของอิเล็กโตรดที่ใช้เท่ากัน ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงตามความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของระบบบำบัด ส่วนในการทดลองที่ลดจำนวนอิเล็กโตรดลงเหลือ 2 แผ่น แต่เพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบขึ้นทำให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงถึง 653 A/m^2 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำกว่าระบบบำบัดที่ใช้อิเล็กโตรด 4 แผ่น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 429 A/m^2 สำหรับระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดนั้นพบว่าในช่วงแรกของการบำบัด สีของน้ำเสียในระบบคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเริ่มเกิดตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสลายตัวของอิเล็กโตรดนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดพบว่า ระยะห่างสั้น (0.8 cm.) มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่าระยะห่างกว้าง (1.6 cm.) ทั้งนี้เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าลดต่ำลงเมื่อระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดสั้นลง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้สูงขึ้น

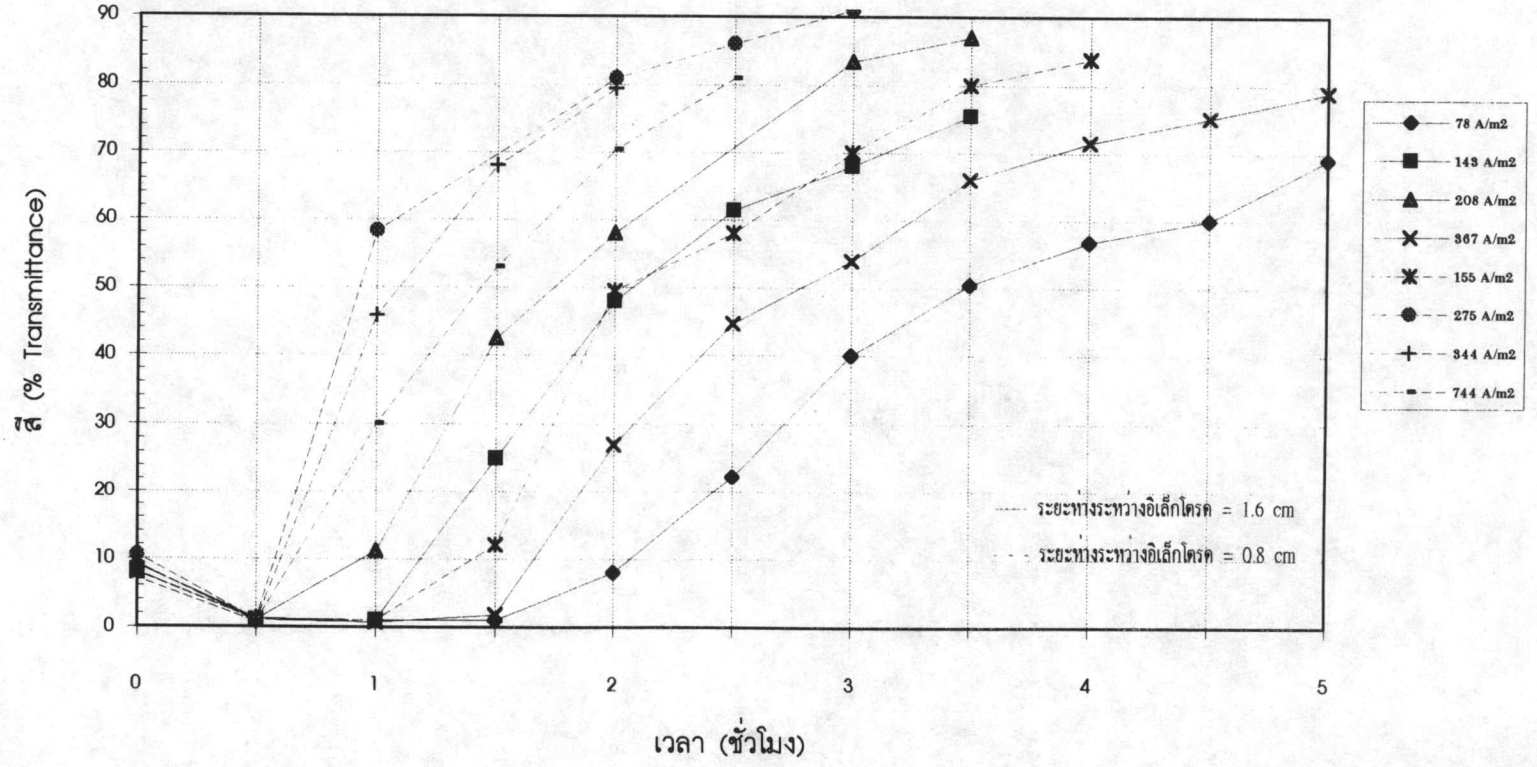
ข) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จากรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al หรือ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด

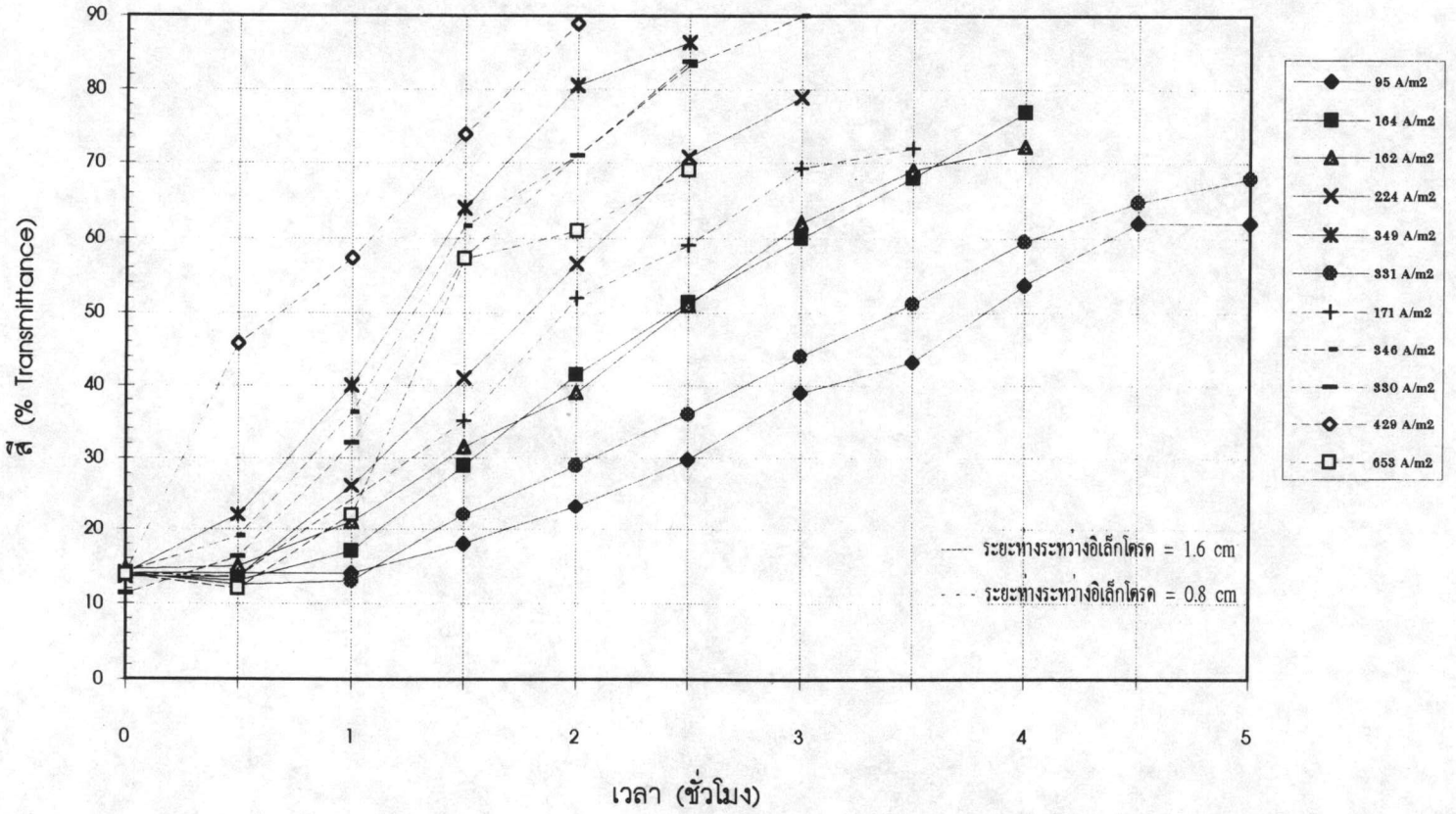
ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	% Transmittance ที่ 580 nm		COD (mg/l)		% การกำจัด COD	BOD (mg/l)		% การกำจัด BOD	SS (mg/l)			% การกำจัด SS		TS (mg/l)			% การกำจัด TS		SO_4^{2-} (mg/l)		% การกำจัด SO_4^{2-}	K^+ (mg/l)		% การกำจัด K^+	ค่าการนำไฟฟ้า (mS)		pH		อุณหภูมิ (°C)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย			เริ่มต้น	สุดท้าย			เริ่มต้น	สุดท้าย													
																ทั้งหมด	ส่วนใส			ทั้งหมด	ส่วนใส			ทั้งหมด	ส่วนใส										
1.6	Pt - Al	4	4	2.14	96	5	20	62	11,042	6,167	44.15				355	7,180		(1,922.64)		12,780	14,860		(16.28)		2,007	624	68.91				4.2	3.69	5	7.5	29	40
	Pt - Fe	4	4	1.75	78	5	11	69	10,771	6,166	42.75	5,061	3,061	39.52	395	6,940	20	(1,656.96)	94.94						1,338	1,294	3.29				4.05	3.58	4.9	6.85	30	37.5
	Pt - Al	4	6	3.68	164	4	13.8	77	11,053	6,095	44.86				320	9,100		(2,743.75)							614	221	64.01	1,750	1,750	0.00			5.2	7.5	30	
	Pt - Al	4	6	3.65	162	4	14.5	72.3	10,345	5,819	43.75																						5.25	7.7	29	54
	Pt - Fe	4	6	3.21	143	3.5	8	75.5	10,968	6,166	43.78				596	9,010	64	(1,411.74)	89.26						673	384	42.94	1,750	1,750	0.00			5.25	7.9	27	41
	Pt - Al	4	8	5.03	224	3	13.5	79	10,646	5,469	48.62				896	7,990	30	(791.74)	96.65						692	311	55.06	1,750	1,750	0.00			5.2	7.8	27	59
	Pt - Fe	4	8	4.68	208	3.5	9	87	10,897	5,299	51.37				1,272	13,770	238	(982.56)	81.29						636	298	53.14	1,750	1,750	0.00			5.1	8	28	57
	Pt - Al	4	9.7	7.85	349	2.5	14	86.4	11,067	6,621	40.17																						5.35	7	29	80.5
	Pt - Al	2	9.1	2.48	331	5	14	68	11,042	6,280	43.13	4,322	2,267	47.55	315	8,240	500	(2,515.87)	(58.73)	12,850	16,640	8,240	(29.49)	35.88	1,116	604	45.88				4.12	3.85	5.2	7.65	28	51
	Pt - Fe	2	9.5	2.75	367	5	8	79	11,702	6,128	47.63	5,028	3,472	30.95	570	11,740	47	(1,959.65)	91.75	13,120	19,760	8,085	(50.61)	38.38	914	760	16.85				3.99	3.67	5.05	7.75	29	56
0.8	Pt - Al	4	4	3.84	171	3.5	14	72	10,729	5,972	44.34				628	8,400		(1,237.58)							591	230	61.08	1,750	1,750	0.00			5.15	7.5	30	48.5
	Pt - Fe	4	4	3.49	155	4	7.9	83.8	11,179	5,528	50.55	3,822	2,711	29.07	310	12,920	88	(4,067.74)	71.61	12,660	20,320	7,530	(60.51)	40.52	1,059	591	44.19				4.3	3.76	5.1	8.2	29	42
	Pt - Al	4	6	7.79	346	3	14.2	90	10,798	5,642	47.75																						5.3	8	29	67
	Pt - Al	4	6	7.42	330	2.5	11.3	83.7	12,247	6,640	45.78	5,733	3,011	47.48	1,860	12,240	210	(568.06)	88.71	15,760		8,910		43.46	601	239	60.23	2,000	2,000	0.00	4.55	3.92	5	7.5	28	60
	Pt - Fe	4	6	6.18	275	3	10.5	91	10,632	4,981	53.15				324	13,780	48	(4,153.09)	85.19						594	196	67.00	1,750	1,500	14.29			5.1	8.4	28	52
	Pt - Al	4	7.5	9.65	429	2	14	89	10,744	5,888	45.20				4,496	16,110		(258.32)							565	405	28.32	1,750	1,750	0.00			5.15		30	74
	Pt - Fe	4	7.5	7.74	344	2	9.2	79.5	11,260	5,620	50.09	5,506	2,728	50.45	870	13,100	36	(1,405.75)	95.86						501	249	50.30				4.11	3.68	5	8.3	29	
	Pt - Pt	4	7.4	4.4	196	4	16	29	9,502	8,966	5.64														403	313	22.33						4.95	4.48	27	49
	Pt - Al	2	9.2	4.9	653	2.5	13.8	69	11,157	6,364	42.96	4,844	2,844	41.29	715	9,240	328	(1,192.31)	54.13	12,130	18,280	8,335	(50.70)	31.29	644	314	51.24	1,750	1,750	0.00	4.1	3.82	5	7.32	28	60
	Pt - Fe	2	9.7	5.58	744	2.5	7	81	11,245	5,917	47.38	5,694	3,083	45.86	1,130	11,380	100	(907.08)	91.15						956	390	59.21				3.97	3.41	5.1	7.95	30	67

และ 4.20 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 275 และ 344 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 78 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด ดังนั้นเมื่อจำนวนของอิเล็กโตรดที่ใช้เท่ากัน ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงตามความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของระบบบำบัด ส่วนในการทดลองที่ลดจำนวนอิเล็กโตรดเหลือ 2 แผ่นแต่เพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบขึ้นทำให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงถึง 744 A/m^2 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำกว่าระบบบำบัดที่ใช้อิเล็กโตรด 4 แผ่น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 275 A/m^2 สำหรับระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดนั้นพบว่า ในช่วงแรกของการบำบัดสีของน้ำเสียในระบบจะลดลง เนื่องจากเริ่มเกิดตะกอนสีเขียวเข้มของเหล็กไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสลายตัวของอิเล็กโตรดนั่นเอง

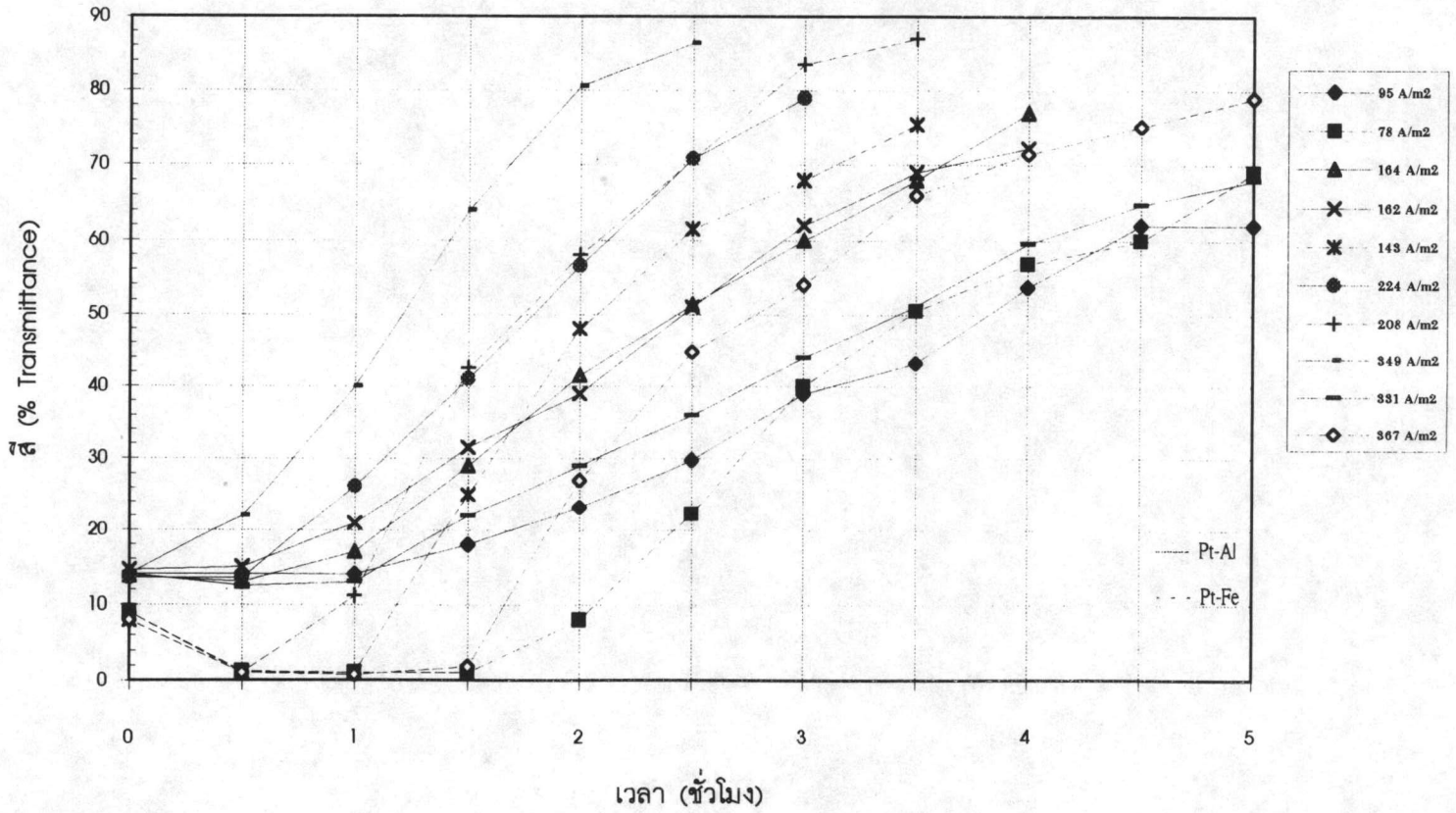
จากรูปที่ 4.17, 4.18, 4.21 และ 4.22 พบว่า ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่าระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดเล็กน้อย เนื่องจากที่สภาวะการทดลองเดียวกันระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดจะให้กระแสไฟฟ้าสูงกว่า ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้ขึ้นกับจลนพลศาสตร์ของอิเล็กโตรดนั้นๆ (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528) และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น นอกจากกระแสไฟฟ้าจะมีผลโดยตรงแล้วความต่างศักย์ไฟฟ้าก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีในปฏิกิริยาและจลนพลศาสตร์ของอิเล็กโตรด ดังนั้นในระหว่างการทดลองความต่างศักย์ไฟฟ้าอาจจะไม่คงที่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีในปฏิกิริยานั่นเอง ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเป็นตัวบังคับให้กระแสไฟหรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในวงจรได้ จากการทดลองพบว่า ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดมากจะมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานที่ต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง ซึ่งคือการเพิ่มอัตราการใช้พลังงานนั่นเอง ส่วนการใช้จำนวนอิเล็กโตรดน้อยเกินไปทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำ เนื่องจากระบบมีพื้นที่ผิวน้อยในการเกิดปฏิกิริยาและการสลายตัวของอิเล็กโตรด ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีนี้ขึ้นอยู่กับการสลายตัวของอิเล็กโตรด จากการทดลองสรุปว่า ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดจำนวน 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 7.5 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 429 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด ในขณะที่ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดจำนวน 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด



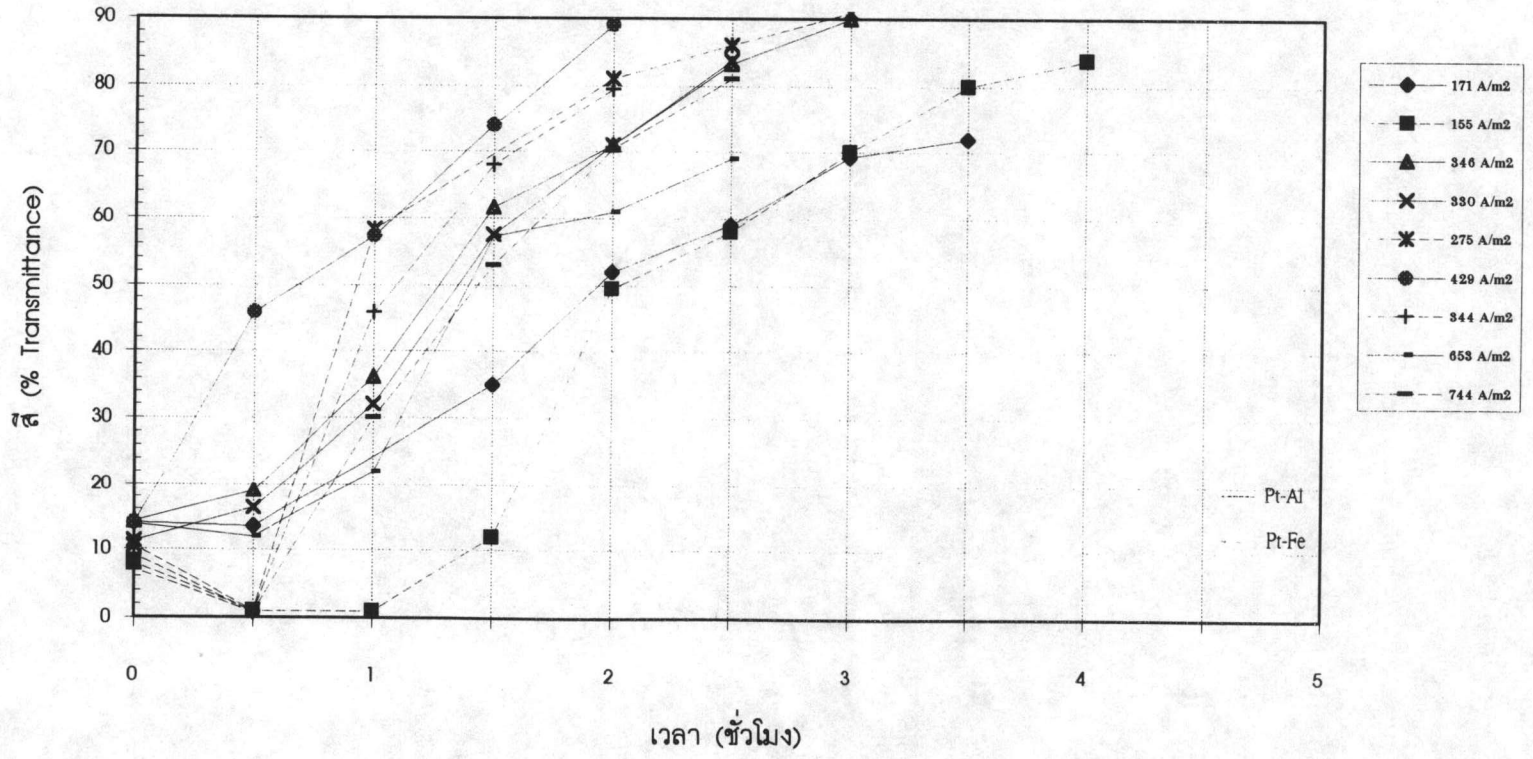
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



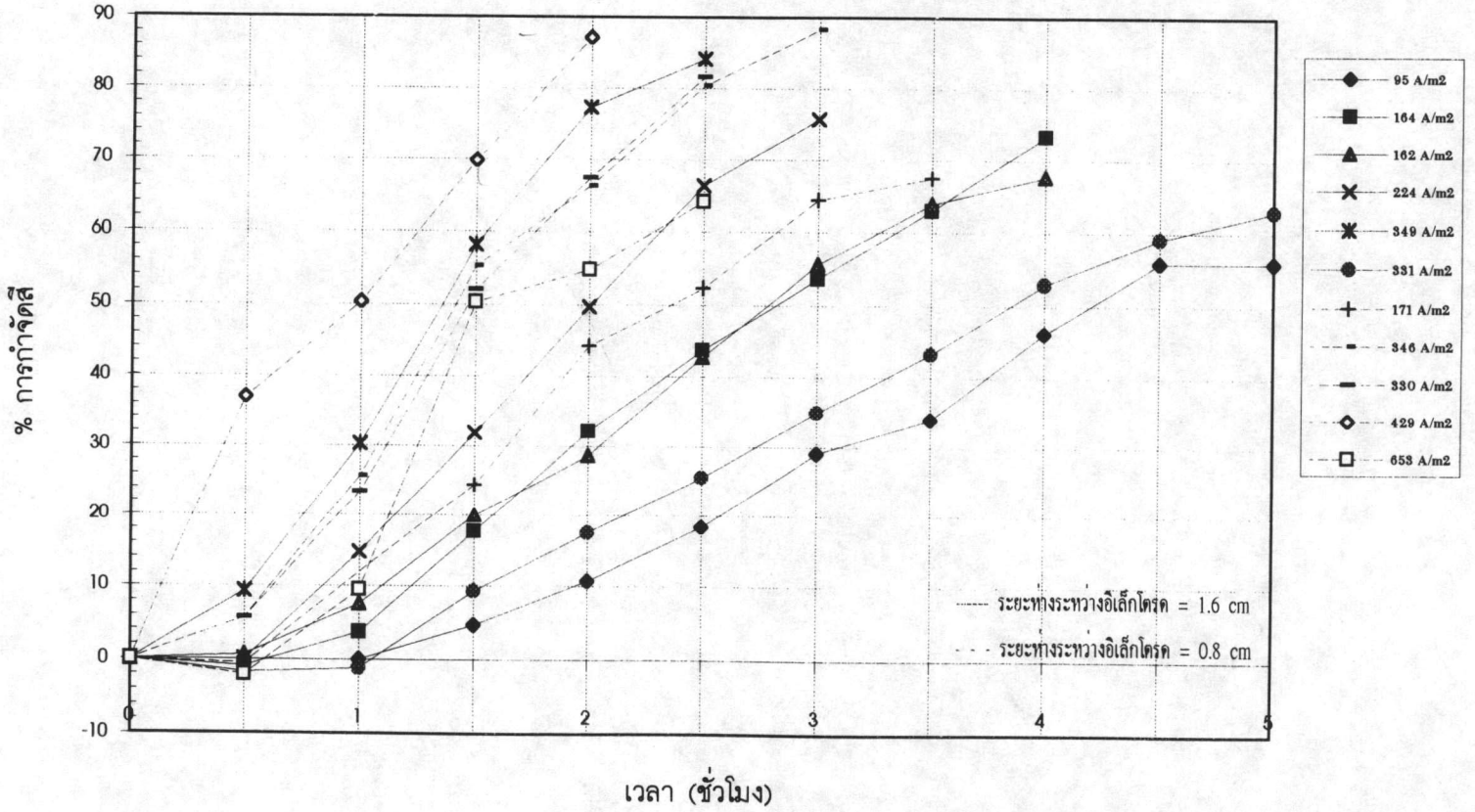
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



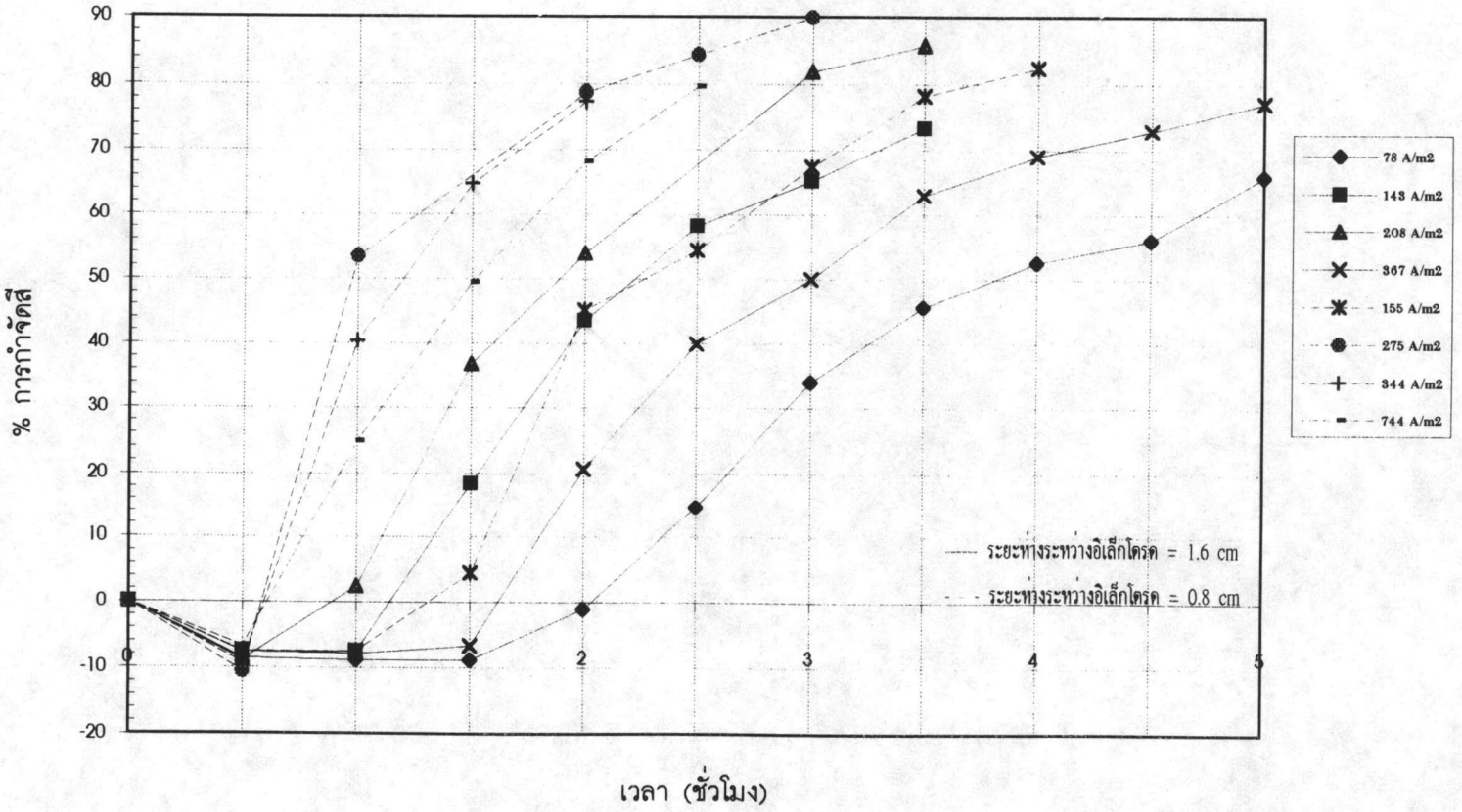
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



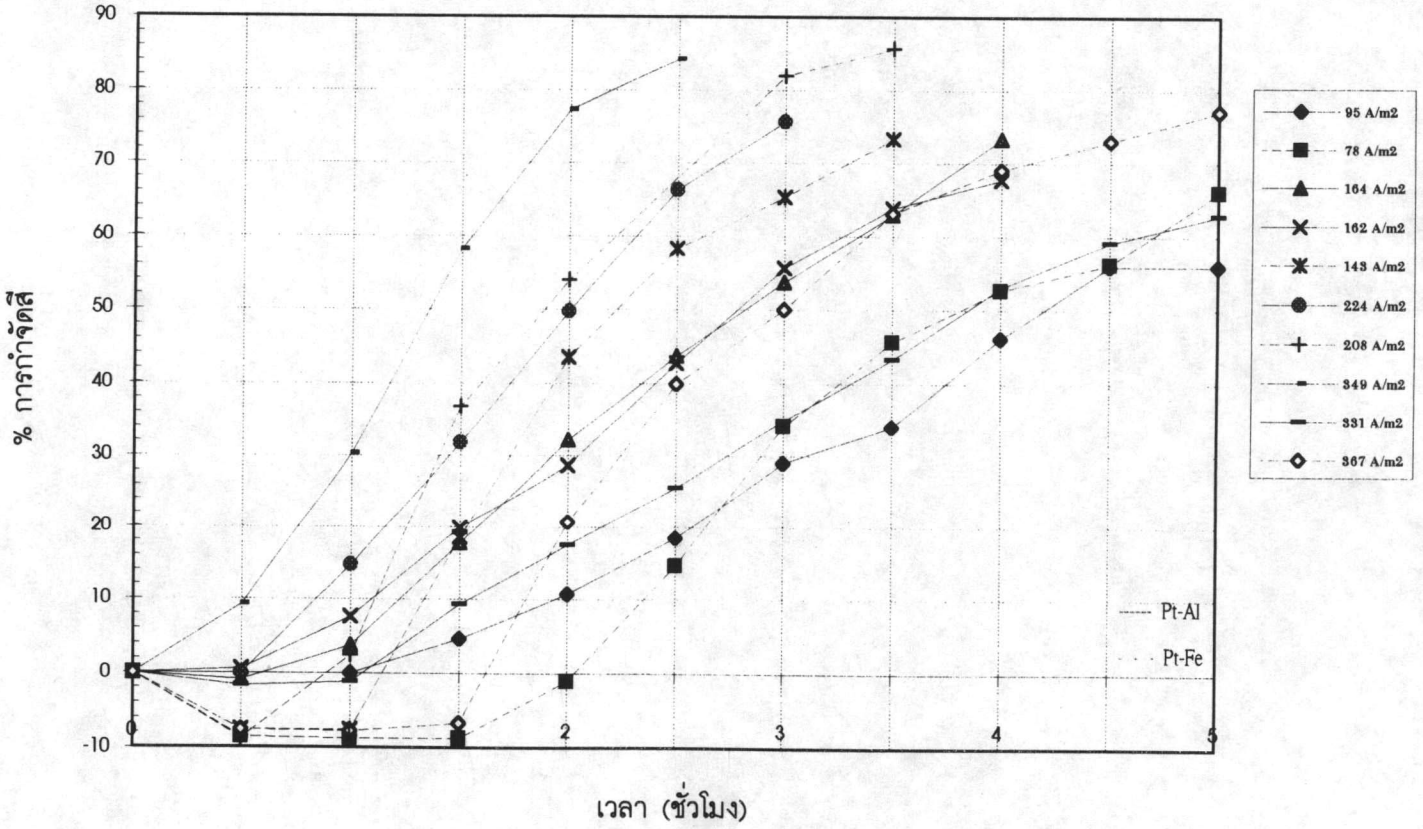
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร



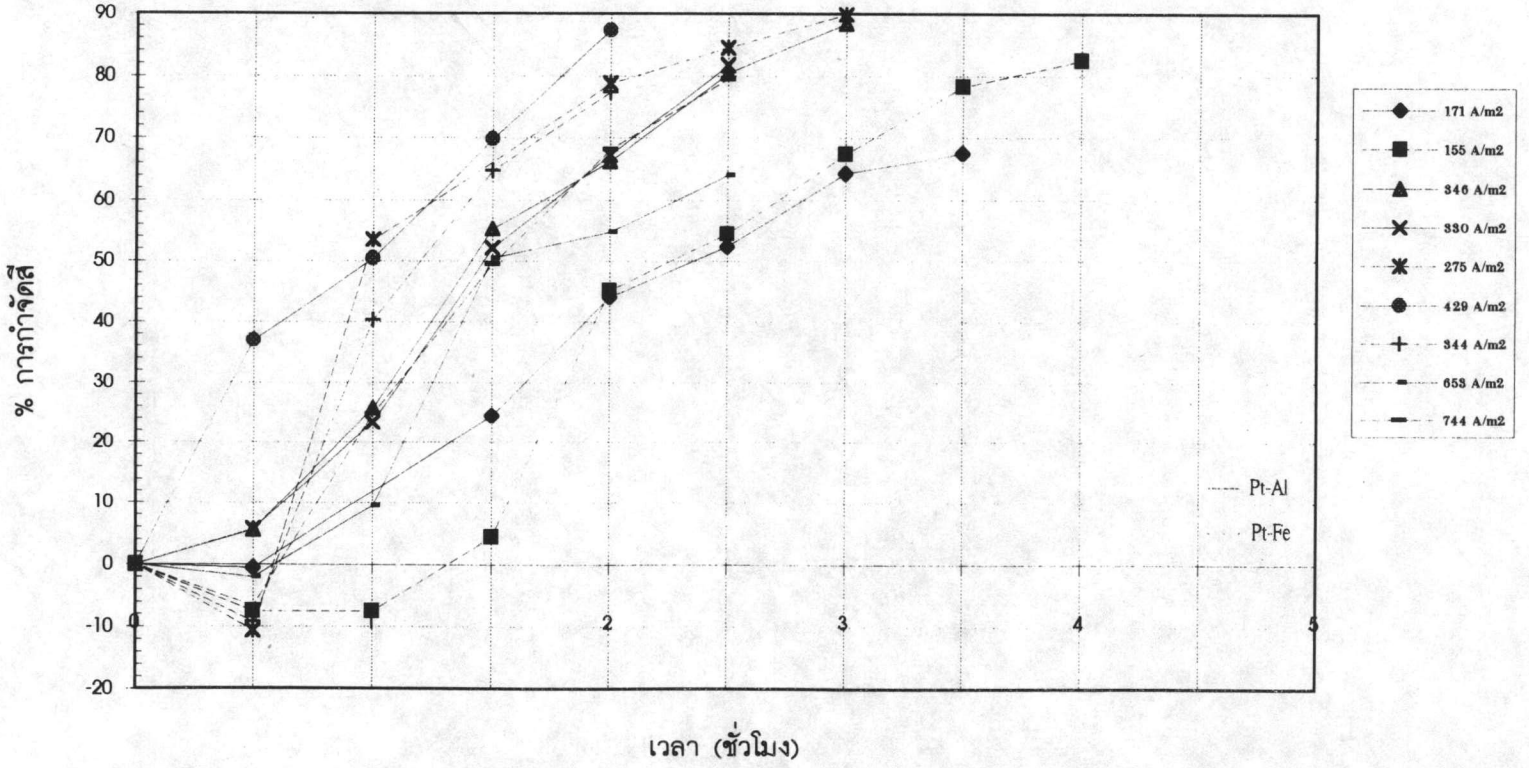
รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร

1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 95 และ 78 A/m^2 ตามลำดับ เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด

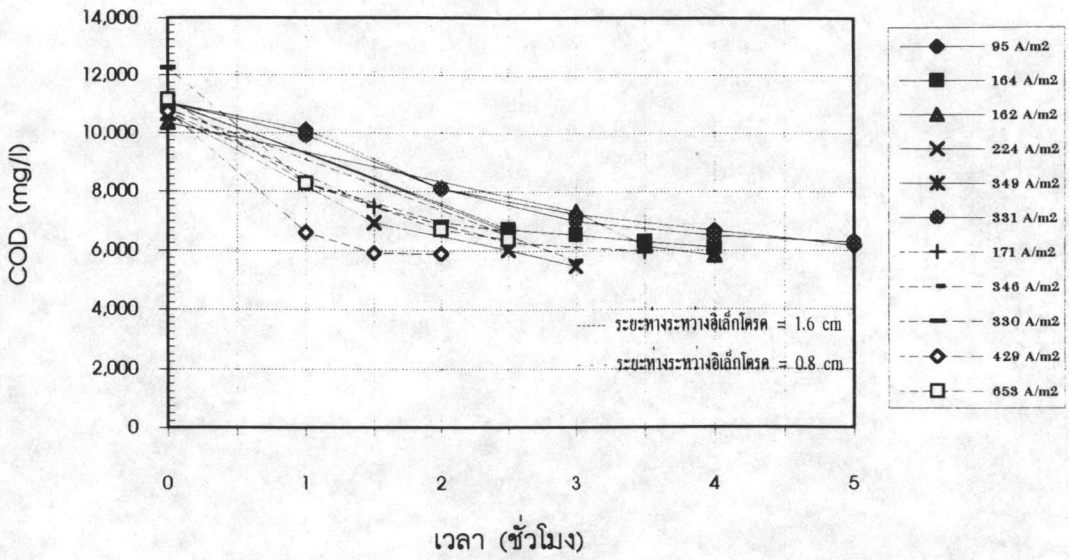
จากลักษณะสมบัติน้ำกากส่าที่มีสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีสารเมลานอยดีน ซึ่งมีประจุเป็นลบ ในขณะที่สารช่วยในการตกตะกอนซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอิเล็กโตรดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กออกไซด์หรือเหล็กไฮดรอกไซด์ที่ละลายน้ำได้น้อยมาก มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่สามารถดูดซับไอออนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5 $Fe(OH)_3$ ดูดซับ H^+ ไว้ที่ผิวของอนุภาค จึงทำให้ผิวของ $Fe(OH)_3$ มีประจุบวก ดังนั้นจึงเกิดการรวมตัวกันได้ระหว่าง $Fe(OH)_3$ กับสารเมลานอยดีนเป็นตะกอนตกอยู่ในเซลล์อิเล็กโตรลิติก นอกจากนี้ตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ หรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับไอออนของโลหะและสารมลพิษต่างๆ ในน้ำเสียได้เช่นกัน

4.4.1.2 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์</u>

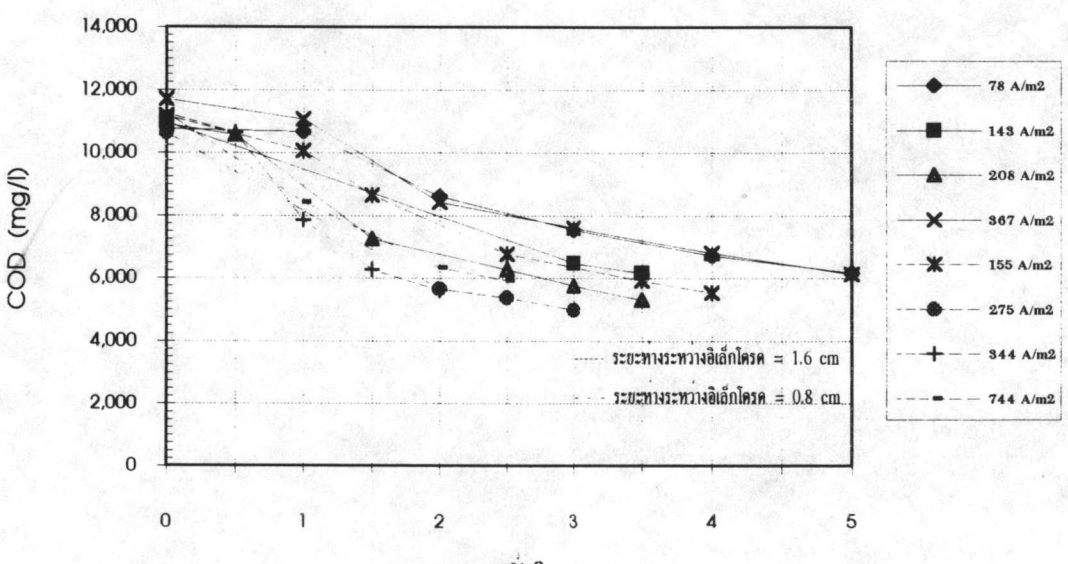
ก) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด จากรูปที่ 4.23 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 429 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 95 และ 331 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำที่สุด สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี พบว่า ในช่วงแรกจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูง เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพจะลดลงจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ข) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จากรูปที่ 4.24 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 275 A/m^2 และ 344 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 78 A/m^2 และ 367 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำที่สุด สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีพบว่าในช่วงแรกจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูง เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพจะลดลงจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด

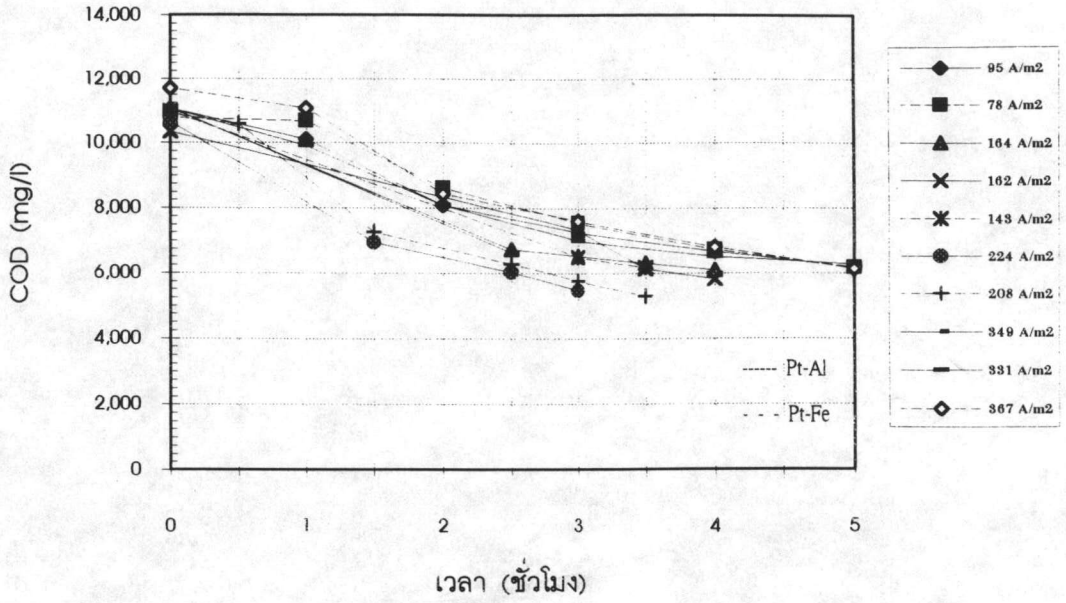
จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 สรุปว่า ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดจำนวน 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 7.5 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 429 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูง



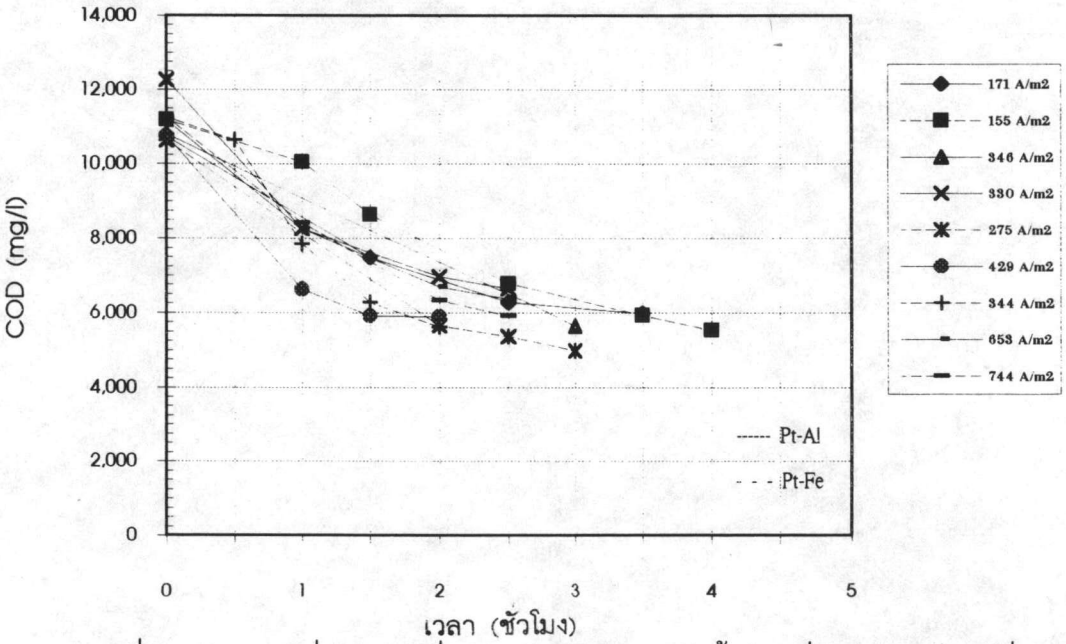
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร

สุด ในขณะที่ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดจำนวน 4, 2 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4,9.5 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 78 A/m^2 และ 367 A/m^2 ตามลำดับ เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำที่สุด ดังนั้นการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีจึงต้องการพลังงานไฟฟ้าในการบำบัดสูงและพื้นที่ผิวของอิเล็กโตรดมาก

ปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นที่แอโนด เช่น ไอออนลบถูกทำให้เป็นกลาง หรืออาจจะให้อิเล็กตรอน ซึ่งในปฏิกิริยาที่มีศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาต่ำจะเกิดปฏิกิริยาก่อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโตรดจะให้อนุพันธ์อิสระซึ่งว่องไวในการทำปฏิกิริยา เช่น OH ซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนแต่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาใดๆ สามารถทำปฏิกิริยากันเอง หรือทำปฏิกิริยากับไอออน, สารประกอบ หรืออนุพันธ์อิสระอื่นๆ บริเวณใกล้อิเล็กโตรด รวมทั้งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วย หรืออาจจะรวมตัวกับอนุพันธ์อิสระอื่นได้สารที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ แต่การกำจัดสารอินทรีย์แบบสมบูรณ์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีนี้ไม่เป็นที่นิยม เพราะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ใช่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย จะเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์บางตัวในอัตราการกำจัดต่ำและบางสภาวะเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ต้องการการถ่ายเทอิเล็กตรอนจำนวนมาก จึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก อีกทั้งต้องใช้อิเล็กโตรดที่มีพื้นที่ผิวมาก ดังนั้นการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ให้เล็กลงนอกจากจะสามารถลดความเป็นพิษได้แล้ว ยังทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอีกด้วย

4.4.1.3 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย</u> จากการทดลองปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ หรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสลายตัวของอิเล็กโตรด แต่เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนพบว่า ปริมาณของแข็งในน้ำเสียลดลงทั้งปริมาณสารแขวนลอยและปริมาณของแข็งทั้งหมด แต่ส่วนใหญ่จะเป็นการลดลงของปริมาณสารแขวนลอย ซึ่งลดลงประมาณ 90% เนื่องจากเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่แคโทด จึงทำให้ฟองก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวพยุงอนุภาคของแข็งแขวนลอยขึ้นมาสู่ผิวหน้าของเซลล์อิเล็กโตรลิติก ซึ่งพบว่าในการทดลองที่กระแสไฟฟ้าสูงจะเกิดฟองก๊าซมากจนกระทั่งมีลักษณะเกิดเป็นโฟม ซึ่งในระบบการทดลองแบบต่อเนื่องมัก จะมีเครื่องกวาดตะกอนเพื่อกำจัดโฟมเหล่านั้น ขนาด

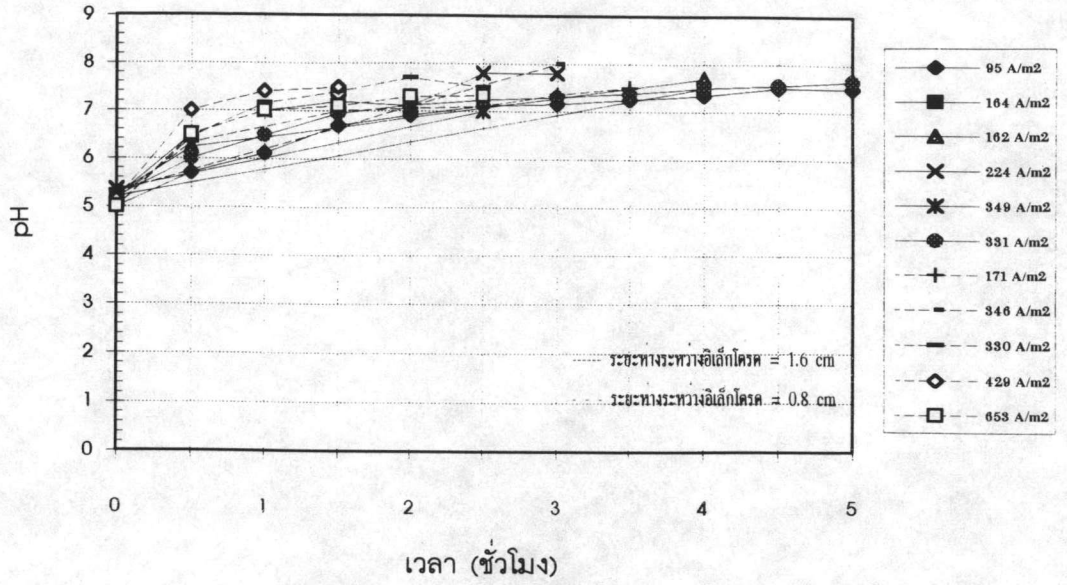
ของฟองก๊าซมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ ประสิทธิภาพในการแยกสาร ซึ่งขึ้นกับกระแสไฟฟ้า, ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ, พื้นที่ผิวของอิเล็กโตรด และการเกิดตะกรันบนพื้นผิวแคโทด

4.4.1.4 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง</u> จากผลการทดลองพบว่า pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นจากประมาณ 5 เป็น 7-8 (รูปที่ 4.27 ถึง 4.30) การเปลี่ยนแปลง pH ขึ้นกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งในช่วงแรกของการบำบัด pH จะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปการเพิ่มขึ้นของ pH เริ่มลดลงและไม่มีการเปลี่ยนแปลงในที่สุด การที่ pH ของน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดของ $Fe(OH)_3$ และ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นผลดีต่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วคือ ถูกปรับจากสภาพเป็นกรดมาเป็นกลาง

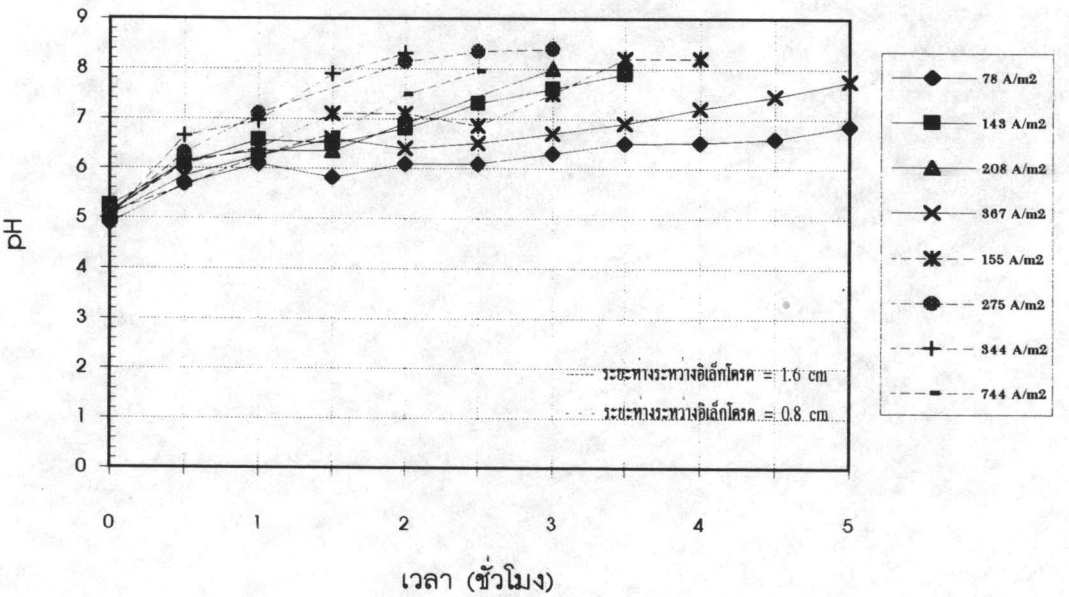
4.4.1.5 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า</u> เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ถ้าน้ำเสียมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำเกินไป จะต้องมีการปรับสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนเข้าเซลล์อิเล็กโตรลิติกด้วยโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำทะเลให้มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 4-15 mS ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าน้ำกากส่าที่ใช้มีค่าการนำไฟฟ้าเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีคือ ประมาณ 4 mS จากผลการทดลองพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่บำบัดลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะไอออนในน้ำเสียเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้มีปริมาณไอออนลดลง ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงลดลง (รูปที่ 4.31 ถึง 4.34)

4.4.1.6 <u>การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u> การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีนี้ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเพิ่มสูงขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.35 ถึง 4.38 พลังงานไฟฟ้าบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Ampere loss) ดังนั้นถ้าระบบบำบัดใช้กระแสไฟฟ้าสูงมากจะทำให้มีอัตราการใช้พลังงานในการบำบัดสูง

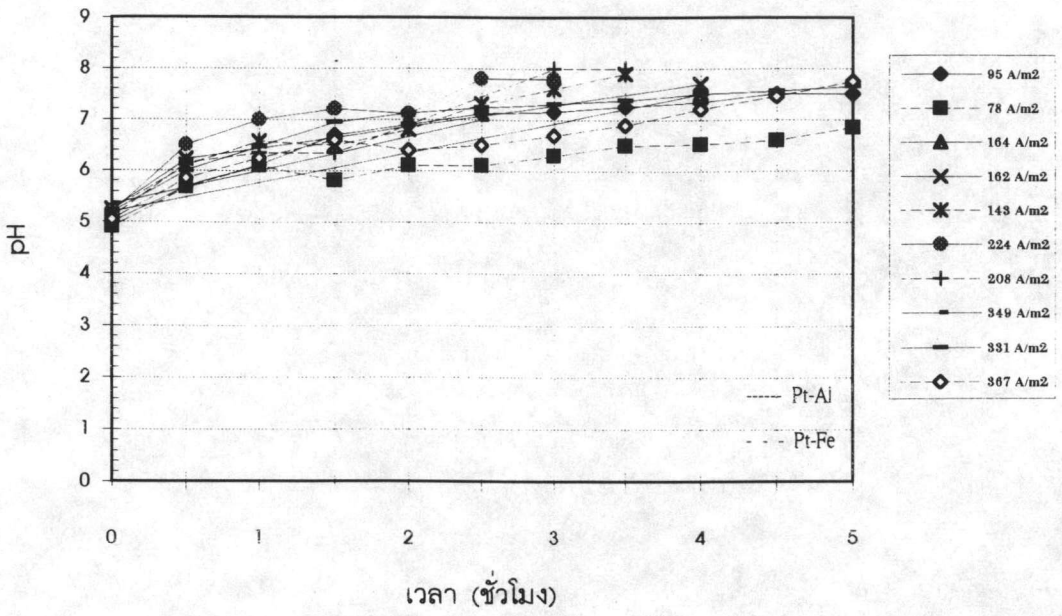
4.4.1.7 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารซัลเฟต</u> จากผลการทดลองพบว่าทุกการทดลองสามารถกำจัดซัลเฟตได้ เนื่องจากซัลเฟตไอออนจะถูกออกซิไดส์ให้อยู่ในรูปของเปอร์ซัลเฟต ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี (Patermarakis และ Foutoukidis, 1990) และเกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมซัลเฟตซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก (ตารางที่ 4.8) เพราะในน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณแคลเซียมไอออนอยู่มาก (2,100-2,815 mg/l)



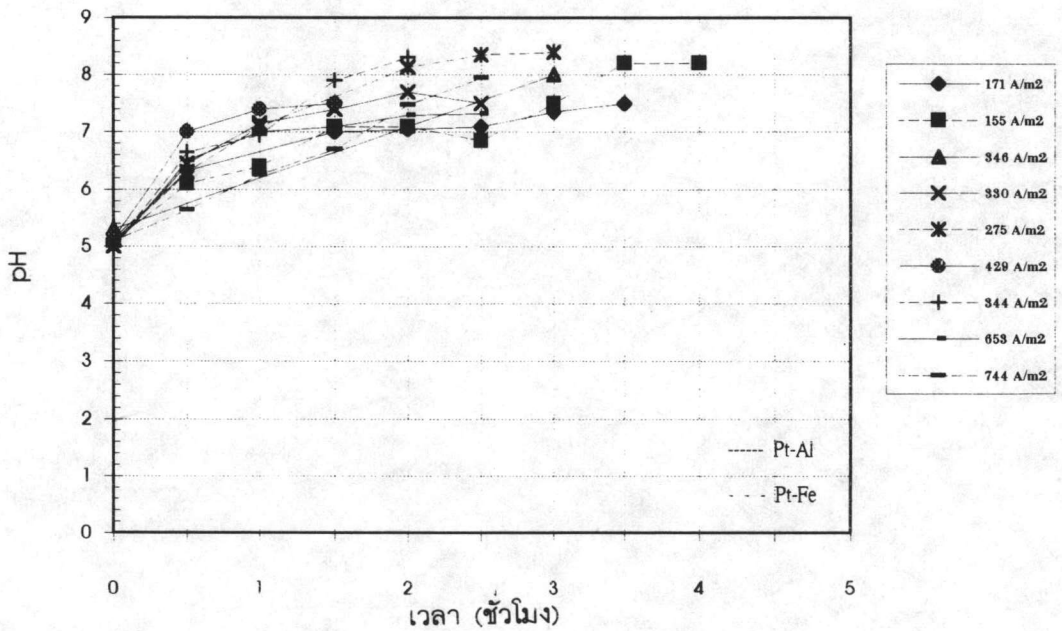
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



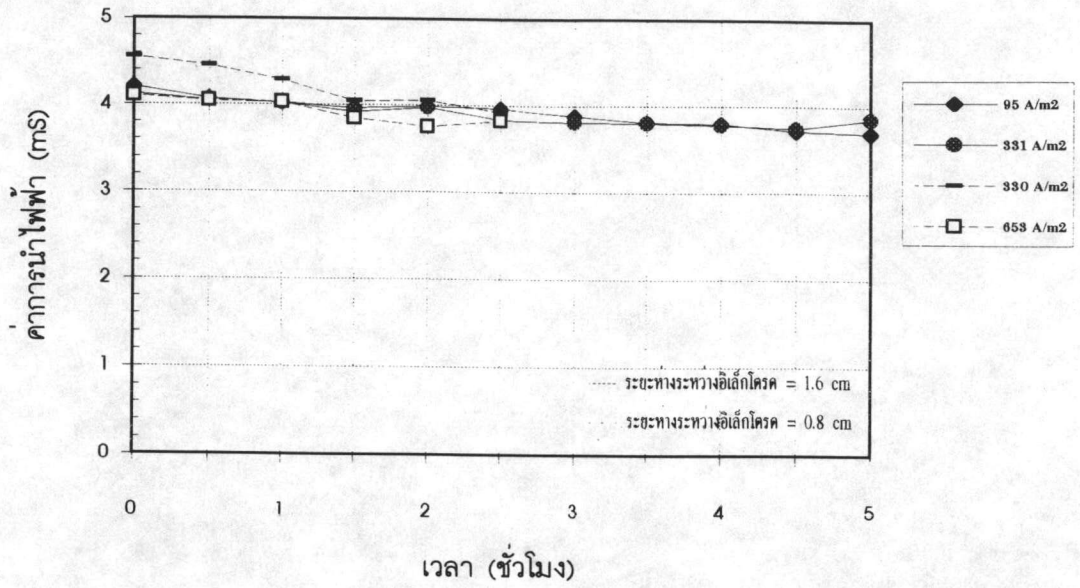
รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



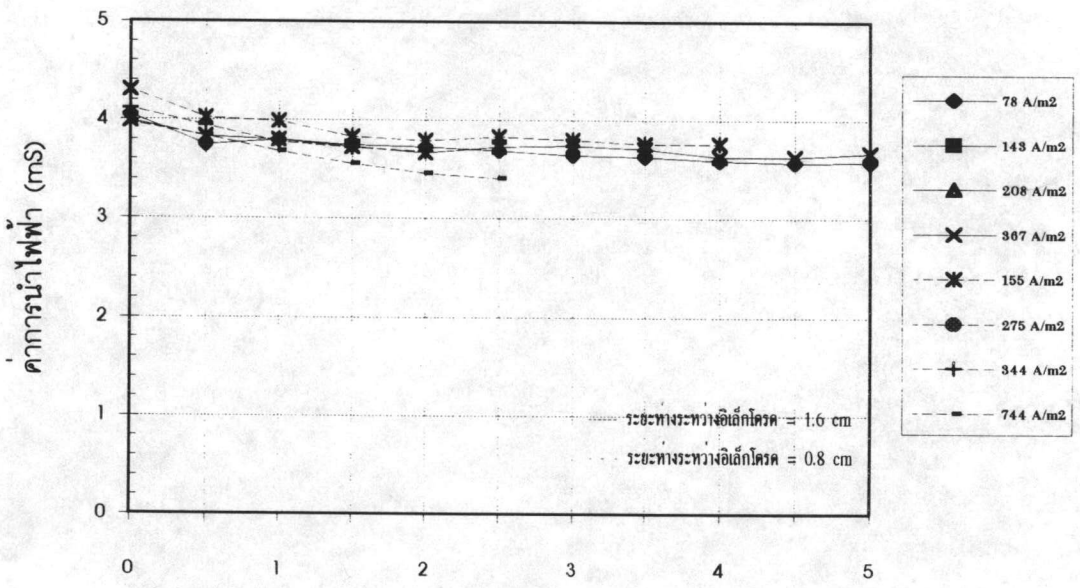
รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



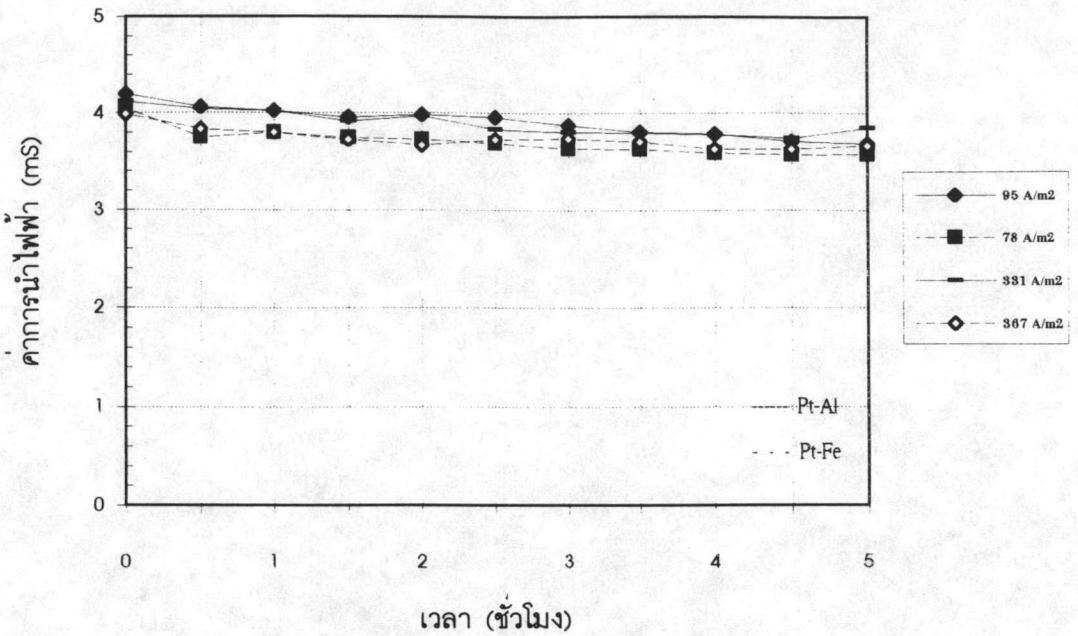
รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร



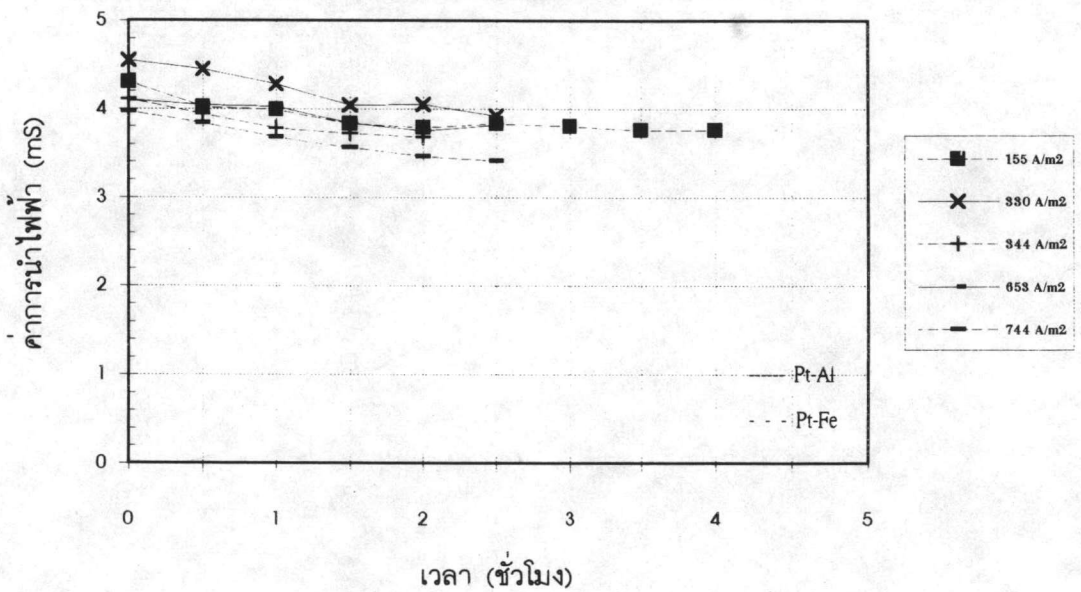
รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



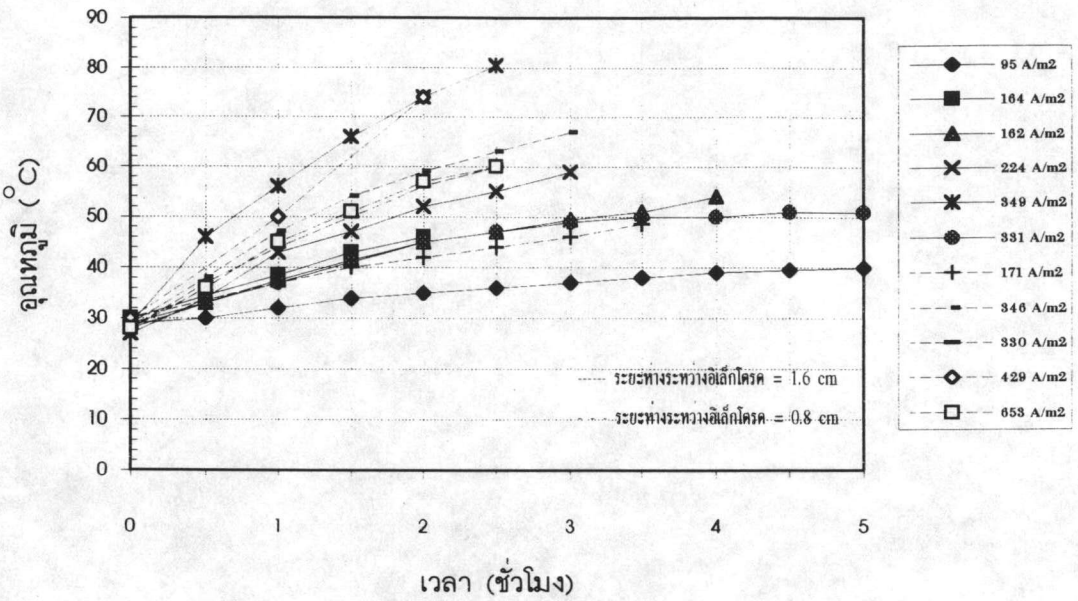
รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



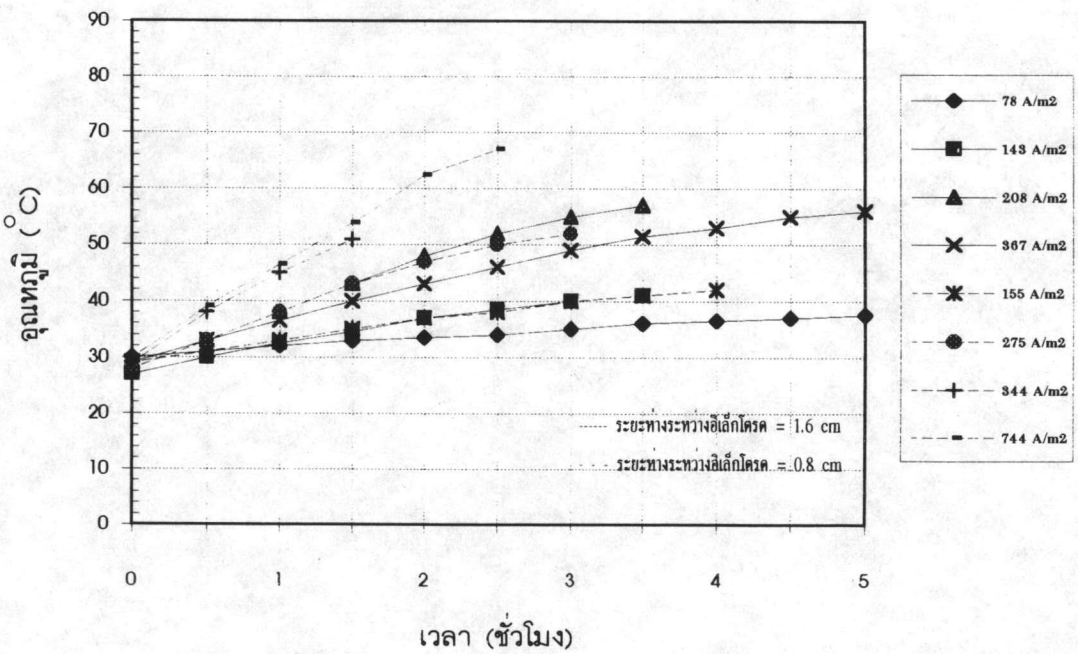
รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



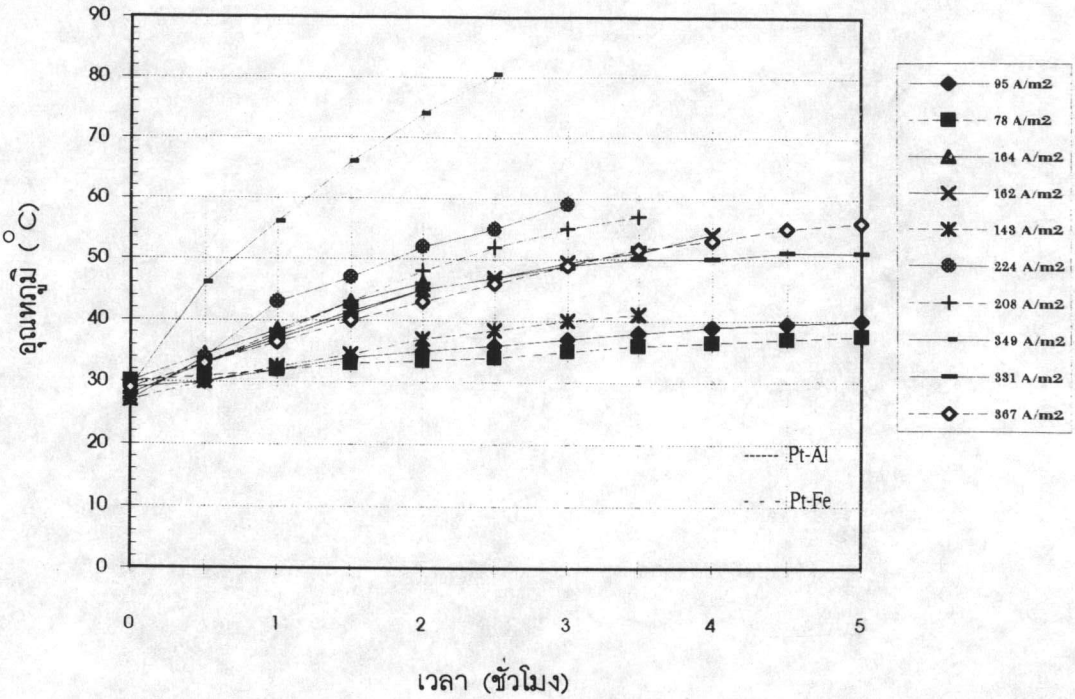
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร



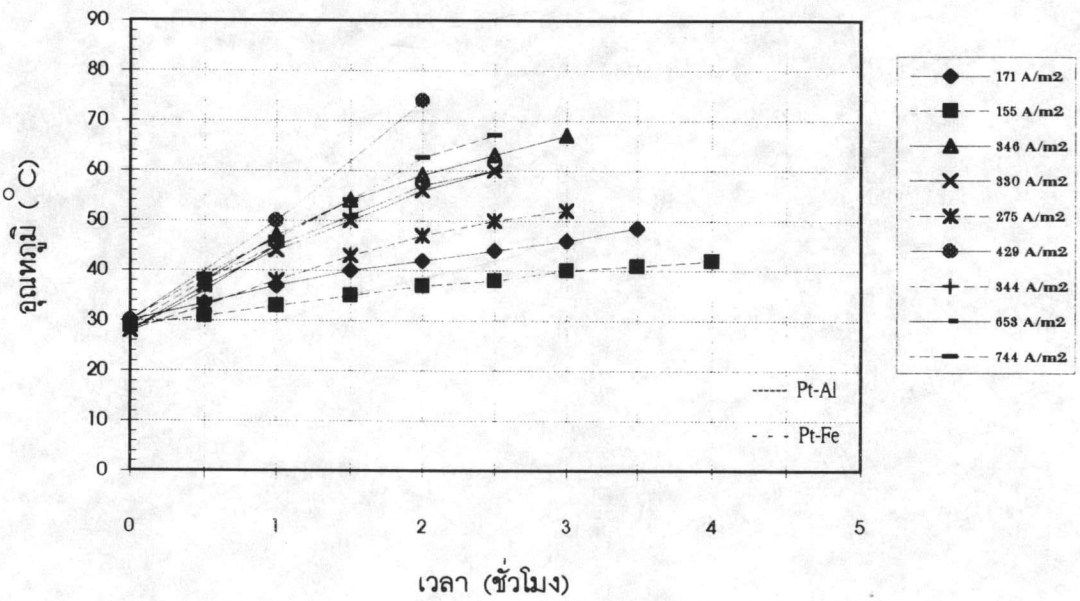
รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร

4.4.1.8 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพแทสเซียม</u> จากผลการทดลองพบว่าทุกการทดลองไม่สามารถกำจัดโพแทสเซียมได้เลย (ตารางที่ 4.8) เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นโลหะที่ว่องไว จึงปรากฏอยู่ในรูปสารประกอบอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารประกอบไอออนิกที่ละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้นจึงเป็นการยากในการกำจัดโพแทสเซียมด้วยวิธีใดๆ แต่เนื่องจาก K^+ อาจตกตะกอนกับเปอร์คลอเรตไอออน (ClO_4^-) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าถ้าเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบไฟฟ้าเคมีจะทำให้เกิดก๊าซคลอรีนและอนุพันธ์ซึ่งสามารถกำจัดโพแทสเซียมได้

4.4.1.9 <u>สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี</u>

ก) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด จากตารางที่ 4.9 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 95 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรด 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ อัตราการใช้พลังงาน 125 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 4.37 ชั่วโมง หรือที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 171 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรด 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ อัตราการใช้พลังงาน 130 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 2.53 ชั่วโมง ในสภาวะเหมาะสมทั้งสองสภาวะดังกล่าวควรเลือกสภาวะที่สอง ทั้งนี้เนื่องจากเวลาบำบัดสั้นกว่า ทำให้ขนาดเซลล์อิเล็กโตรลิติกเล็กกว่า

ข) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จากตารางที่ 4.10 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าเพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 78 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรด 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ อัตราการใช้พลังงาน 105 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 4.48 ชั่วโมง หรือที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 155 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรด 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ อัตราการใช้พลังงาน 119 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 2.56 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.9 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้การบำบัด (kWh/m^3)*
1.6	Pt - Al	4	4	2.14	95	4.37	125
	Pt - Al	4	6	3.68	164	3.00	221
	Pt - Al	4	6	3.65	162	2.91	212
	Pt - Al	4	8	5.03	224	2.11	283
	Pt - Al	4	9.7	7.85	349	1.41	359
	Pt - Al	2	9.1	2.48	331	4.03	303
0.8	Pt - Al	4	4	3.84	171	2.53	130
	Pt - Al	4	6	7.79	346	1.47	229
	Pt - Al	4	6	7.42	330	1.57	233
	Pt - Al	4	7.5	9.65	429	1.07	257
	Pt - Al	2	9.2	4.9	653	1.84	283

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

ตารางที่ 4.10 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3)*
1.6	Pt - Fe	4	4	1.75	78	4.48	105
	Pt - Fe	4	6	3.21	143	2.43	156
	Pt - Fe	4	8	4.68	208	2.05	384
	Pt - Fe	2	9.5	2.75	367	3.23	281
0.8	Pt - Fe	4	4	3.49	155	2.56	119
	Pt - Fe	4	6	6.18	275	1.07	132
	Pt - Fe	4	7.5	7.74	344	1.32	255
	Pt - Fe	2	9.7	5.58	744	1.68	303

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

จากตารางที่ 4.11 จึงสรุปว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าเพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance คือ ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวน 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 155 A/m^2 อัตราการใช้พลังงาน 119 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 2.56 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD 40.4%, pH = 7.2 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

4.4.1.10 <u>เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเคมี</u> เนื่องจากเหล็กหรืออะลูมิเนียมที่ใช้ เป็นอิเล็กโตรดแบบไม่เสถียร นั่นคือสามารถสลายตัวให้ตะกอนเบาในรูปของเหล็กไฮดรอกไซด์และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่แอโนด ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยในการตกตะกอน จึงทำให้กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าในระบบการทดลองไม่คงที่ นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีในบางสภาวะการทดลองทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเพิ่มสูงขึ้นมากเกินไป ในขณะที่แคโทดจะเกิดตะกรันบนพื้นผิว ซึ่งมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซที่ใช้ในการกำจัดสารแขวนลอย

ตารางที่ 4.11 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3)*
1.6	Pt - Al	4	4	2.14	95	4.37	125
	Pt - Fe	4	4	1.75	78	4.48	105
	Pt - Al	4	6	3.68	164	3.00	221
	Pt - Al	4	6	3.65	162	2.91	212
	Pt - Fe	4	6	3.21	143	2.43	156
0.8	Pt - Al	4	4	3.84	171	2.53	130
	Pt - Fe	4	4	3.49	155	2.56	119
	Pt - Al	4	6	7.79	346	1.47	229
	Pt - Al	4	6	7.42	330	1.57	233
	Pt - Fe	4	6	6.18	275	1.07	132

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

ตารางที่ 4.12 สภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	COD (mg/l)		% การกำจัด COD	pH		อุณหภูมิ (°C)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
1.6	Pt - Al	4	4	2.14	95	4.37	11,042	6,482	41.30	5	7.4	29	39
	Pt - Fe	4	4	1.75	78	4.48	10,771	6,455	40.07	4.9	6.6	30	37
0.8	Pt - Al	4	4	3.84	171	2.53	10,729	6,275	41.51	5.15	7.1	30	44
	Pt - Fe	4	4	3.49	155	2.56	11,179	6,663	40.40	5.1	7.2	29	38
	Pt - Fe	4	6	6.18	275	1.07	10,632	7,967	25.07	5.1	7.1	28	38

4.4.2 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวน 2,4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8, 1.6 เซนติเมตร ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างๆ รายละเอียดผลการทดลองดังจะกล่าวต่อไป

4.4.2.1 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสี</u>

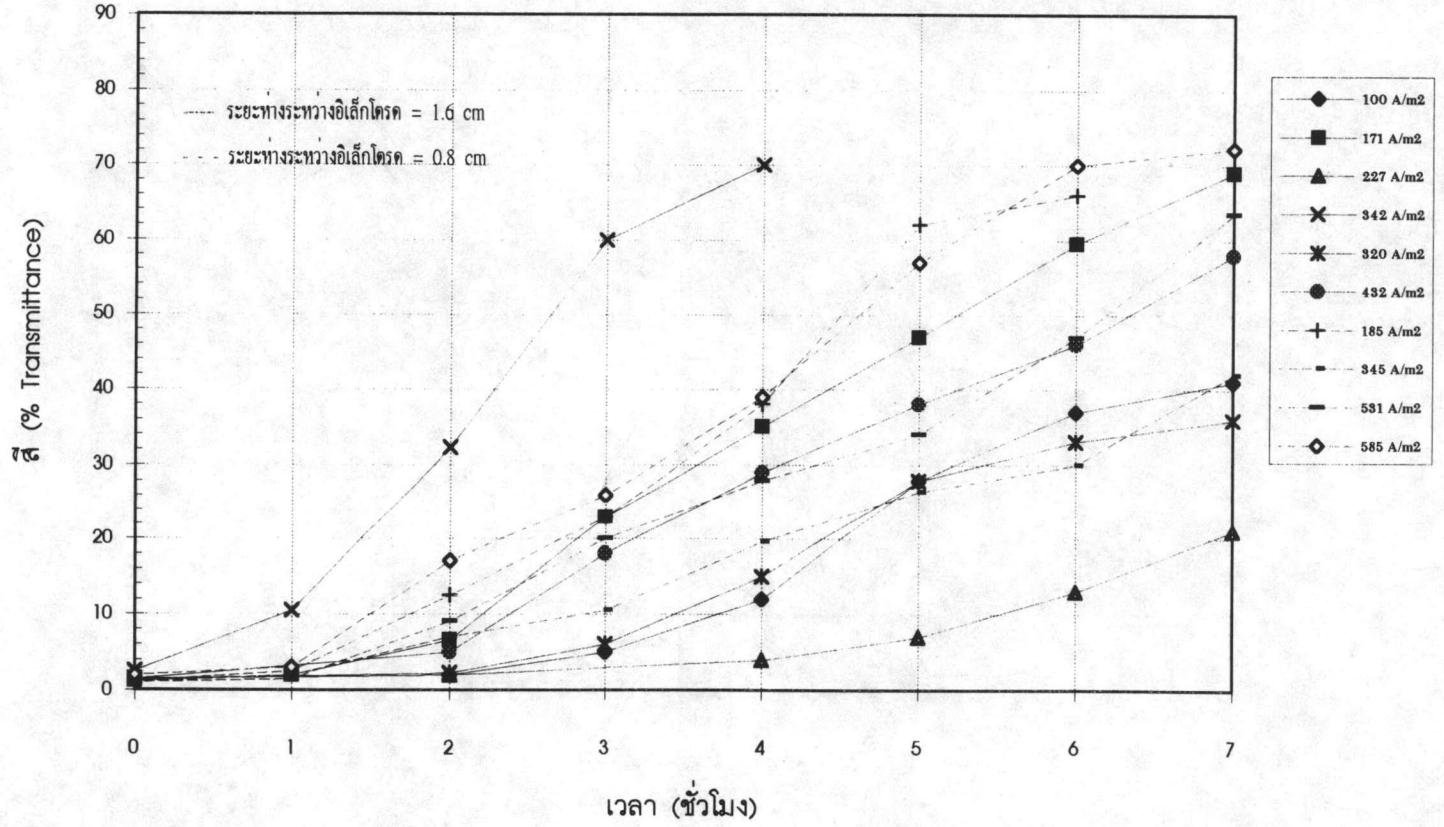
ก) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด จากรูปที่ 4.39 และ 4.43 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 342 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 227 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำที่สุด ดังนั้นเมื่อจำนวนของอิเล็กโตรดที่ใช้เท่ากัน ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงตามความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของระบบบำบัด ส่วนในการทดลองที่ลดจำนวนอิเล็กโตรดน้อยเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำ เนื่องจากระบบมีพื้นที่ผิวน้อยในการเกิดปฏิกิริยาและการสลายตัวของอิเล็กโตรด เช่น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 227 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรดที่ใช้ 2 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์ จากการทดลองพบว่าในช่วง 3-4 ชั่วโมงแรกนั้นระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำเสียที่ทำการบำบัดเลย

ข) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จากรูปที่ 4.40 และ 4.44 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 641 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด โดยสภาวะการทดลองนี้ใช้อิเล็กโตรดจำนวน 2 แผ่น ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 9.6 โวลท์ และกระแสไฟฟ้า 4.81 แอมแปร์ โดยการทดลองพบว่าในช่วง 1 ชั่วโมงแรกยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำกากส่า

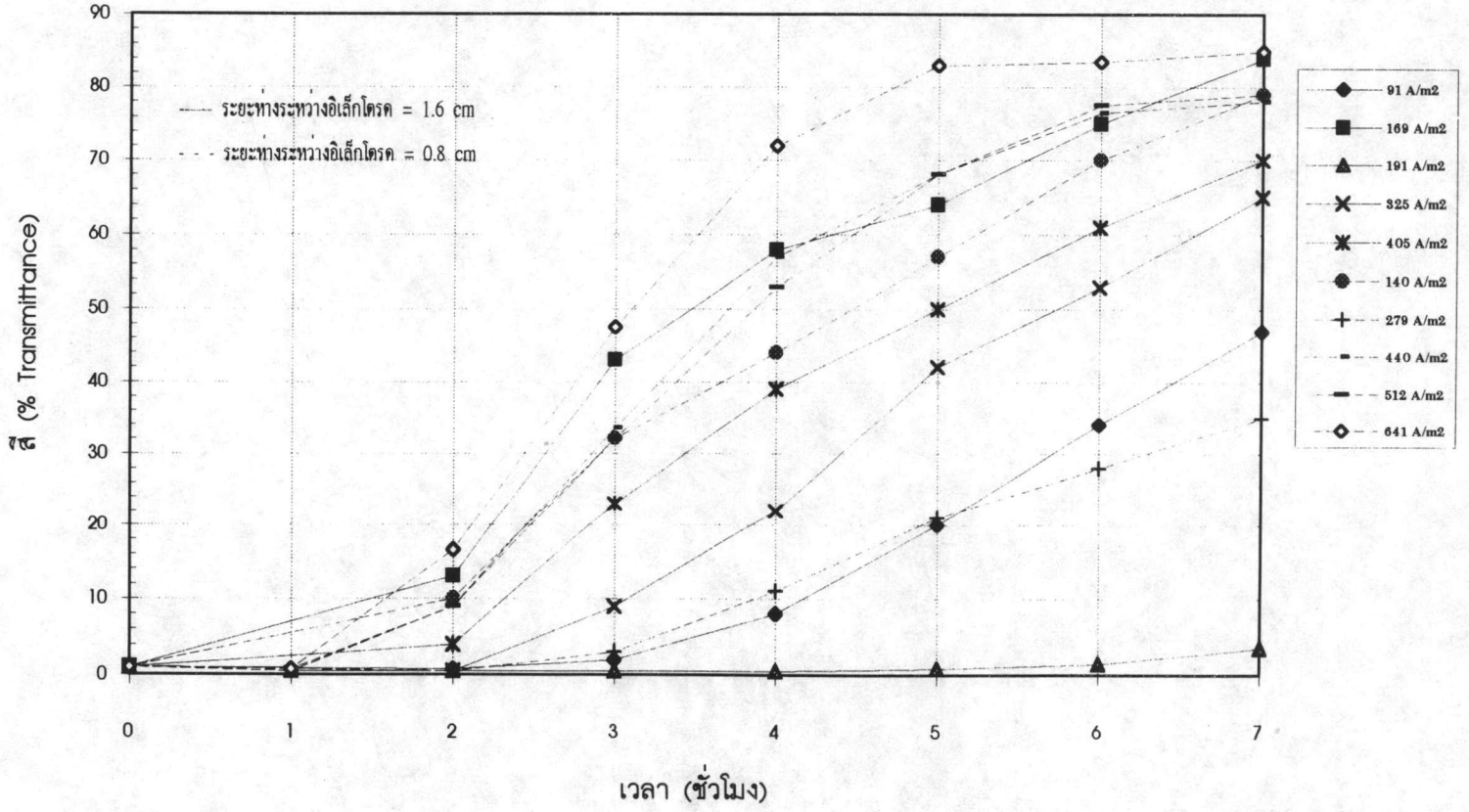
จากรูปที่ 4.41, 4.42, 4.45 และ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีระหว่าง Pt-Fe กับ Pt-Al ที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 และ 0.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบไฟฟ้าที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดสูงกว่าระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดภายใต้สภาวะการทดลองเหมือนกัน

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al หรือ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด

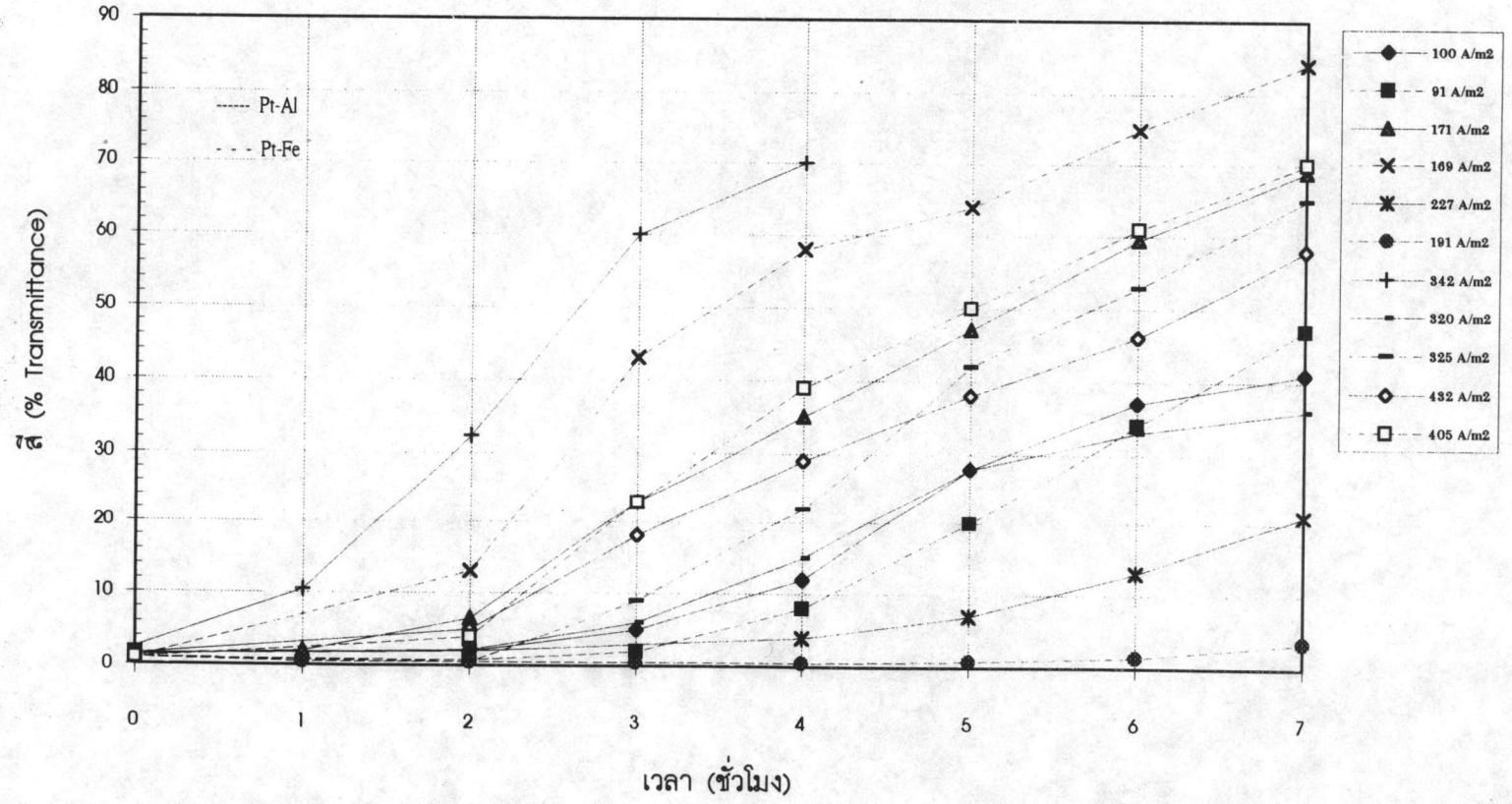
ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	% Transmittance ที่ 680 nm		COD (mg/l)		% การกำจัด COD	BOD (mg/l)		% การกำจัด BOD	SS (mg/l)			% การกำจัด SS		TS (mg/l)			% การกำจัด TS		SO_4^{2-} (mg/l)		% การกำจัด SO_4^{2-}	K^+ (mg/l)		% การกำจัด K^+	ค่าการนำไฟฟ้า (mS)		pH		อุณหภูมิ (°C)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		ทั้งหมด	ส่วนใส	เริ่มต้น	สุดท้าย		ทั้งหมด	ส่วนใส	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
1.6	Pt - Al	4	4	2.26	100	7	1.5	41	21,457	10,628	50.47	6,822	5,488	19.55	110	8,300	4,475	(7,445.45)	(3,968.18)	21,100	20,480	16,960	2.94	19.62	967	626	35.26				6.42	5.79	5.3	7.58	25	41.5
	Pt - Fe	4	4	2.04	91	7	1	47	20,000	10,185	49.08	7,404	5,072	31.50	227	12,820	45	(5,547.58)	80.18	20,360	27,980	13,660	(37.43)	32.91	919	649	29.38				5.94	5.65	4.6	6.1	25	36.6
	Pt - Al	4	6	3.85	171	7	1.2	69	21,862	10,324	52.78	7,700	5,380	30.13	2,230	19,000	513	(752.02)	77.00	25,000	31,200	12,566	(24.80)	49.74	527	278	47.25				7.11	6.06	5.3	7.7	24	57.5
	Pt - Fe	4	6	3.81	169	7	1	84	21,400	8,100	62.15	7,960	3,738	53.04	5,800	28,320	180	(388.28)	96.90	28,260	42,820	10,960	(51.52)	61.22	1,475	1,334	9.56				7.01	6.4	4.9	8	25	49
	Pt - Al	2	6	1.7	227	7	1.5	21	21,308	13,186	38.12	7,049	5,493	22.07	820	6,120	4,920	(646.34)	(500.00)	23,100	20,720	19,010	10.30	17.71							6.45	6.02	5.05	7.25	24	42
	Pt - Fe	2	6	1.43	191	7	1	35	22,134	15,810	28.57	8,244	6,244	24.26	2,247	8,140	680	(262.26)	69.74	24,940	26,580	19,900	(6.58)	20.21	1,195	1,040	12.97				7	6.67	5.3	6.5	25	37
	Pt - Al	4	6.9	7.7	342	4	2.5	70	22,541	12,740	43.48				385	19,567		(4,982.34)							1,539	792	48.54	3,500	3,500	0.00	8.5		5.05	7.4	30	81
	Pt - Al	2	8	2.4	320	7	1.5	36	21,757	12,239	43.75	6,160	4,361	29.20	860	11,180	5,020	(1,200.00)	(483.72)	22,640	24,580	18,240	(8.57)	19.43	562	417	25.80				6.72	6.12	5.1	7.4	25	54
	Pt - Fe	2	8	2.44	325	7	1	65	20,833	10,516	49.52	5,800	4,912	15.31	87	16,880	50	(19,302.30)	42.53	20,840	29,520	13,420	(41.65)	35.60	705	563	20.14				6.56	5.99	5.2	7	25	50
	Pt - Al	2	10	3.24	432	7	1.5	58	20,318	10,259	49.51	8,378	5,378	35.81	1,727	14,060	1,030	(714.13)	40.36	23,540	27,880	14,320	(18.44)	39.17	1,423	502	64.72				6.88	6.19	5.3	7.63	25	67
	Pt - Fe	2	10	3.04	406	7	1	70	20,386	10,000	50.94	6,044	4,488	25.74	907	20,780	15	(2,191.07)	98.35	21,840	33,760	13,140	(54.58)	39.84	925	820	11.35				6.58	6.21	5.25	7.6	25	59.5
0.8	Pt - Al	4	4	4.17	185	6	1.2	66	22,521	10,847	51.84	8,320	4,463	46.36	2,280	18,280	780	(701.75)	65.79	24,960	31,440	13,427	(25.96)	46.21	772	324	58.03				7.3	6.23	5.5	7.4	25	56.5
	Pt - Fe	4	4	3.16	140	7	1	79	21,825	8,631	60.45	8,106	4,174	48.51	3,700	23,160	20	(525.95)	99.46	24,975	31,300	12,020	(25.33)	51.87	1,860	1,334	28.28				6.78	6.16	4.9	8	27	42
	Pt - Al	2	6	2.59	345	7	1	42	25,510	11,633	54.40	8,320	3,860	53.61	4,740	15,460	6,040	(226.16)	(27.43)	24,660	29,260	21,080	(18.65)	14.52	1,600	440	72.50				7.7	6.83	5.25	6.95	25	47
	Pt - Fe	2	6	2.09	279	7	1	35	20,307	12,261	39.62	6,266	5,156	17.71	273	10,880	35	(3,885.35)	87.18	20,800	25,040	15,000	(20.38)	27.88	1,014	568	43.98				6.47	5.91	5	6.8	25	40
	Pt - Al	2	8	3.98	531	7	1	63.5	22,267	10,931	50.91	7,920	5,700	28.03	1,290	18,520	1,060	(1,335.66)	17.83	25,380	34,560	14,055	(36.17)	44.62	494	199	59.72				6.8	6.04	5.3	7.5	26	65.5
	Pt - Fe	2	8	3.3	440	7	1	78																	501	249	50.30									
	Pt - Fe	2	8	3.84	512	7	1	79	20,612	9,796	52.47	8,320	4,876	41.39	1,280	26,720	20	(1,987.50)	98.44	22,540	38,680	12,625	(71.61)	43.99	1,543	1,408	8.75				6.65	5.93	4.5	8.1	26	61
	Pt - Al	2	9.4	4.39	585	7	2	72.3	21,548	10,356	51.94	7,542	4,320	42.72	1,210	22,880	675	(1,790.91)	44.21	22,210	34,600	13,140	(55.79)	40.84	901	836	7.21				6.39	5.59	4.7	7.5	28	72
	Pt - Fe	2	9.6	4.81	641	7	1	86	21,457	9,717	54.71	6,328	4,996	21.06	1,100	29,560	60	(2,586.36)	94.55	21,280	41,640	12,450	(95.68)	41.49	1,157						6.44	5.6	4.6	8.95	27	76



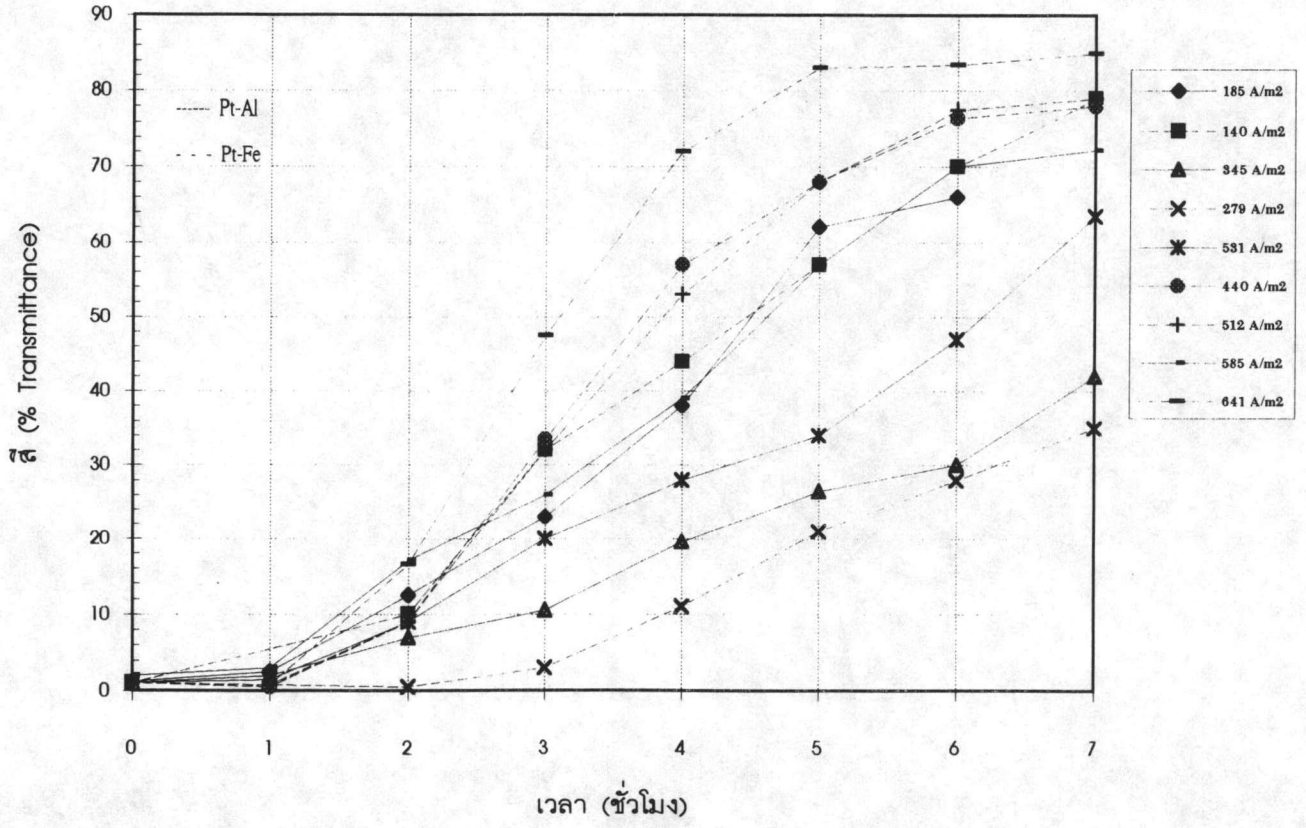
รูปที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



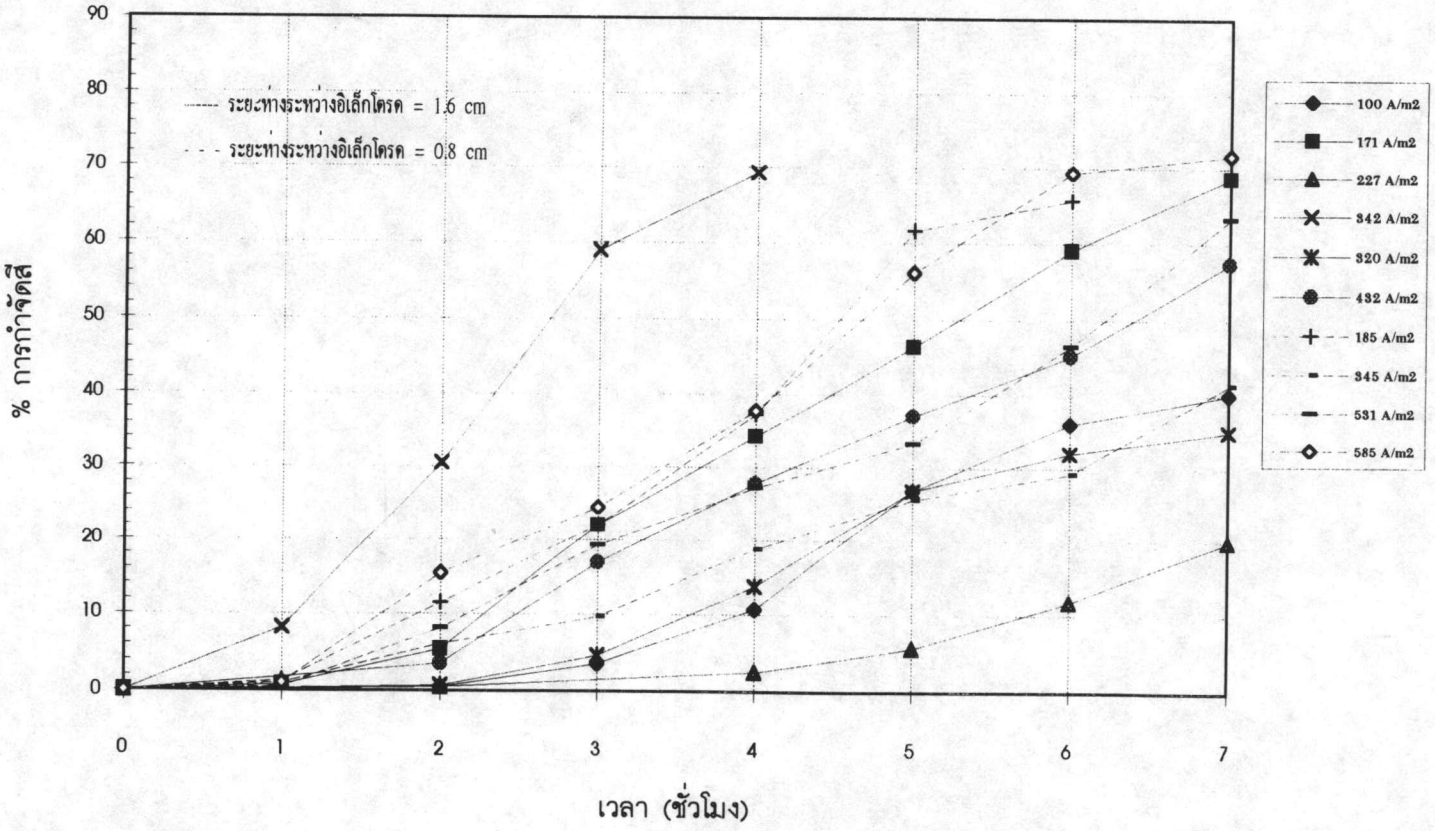
รูปที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



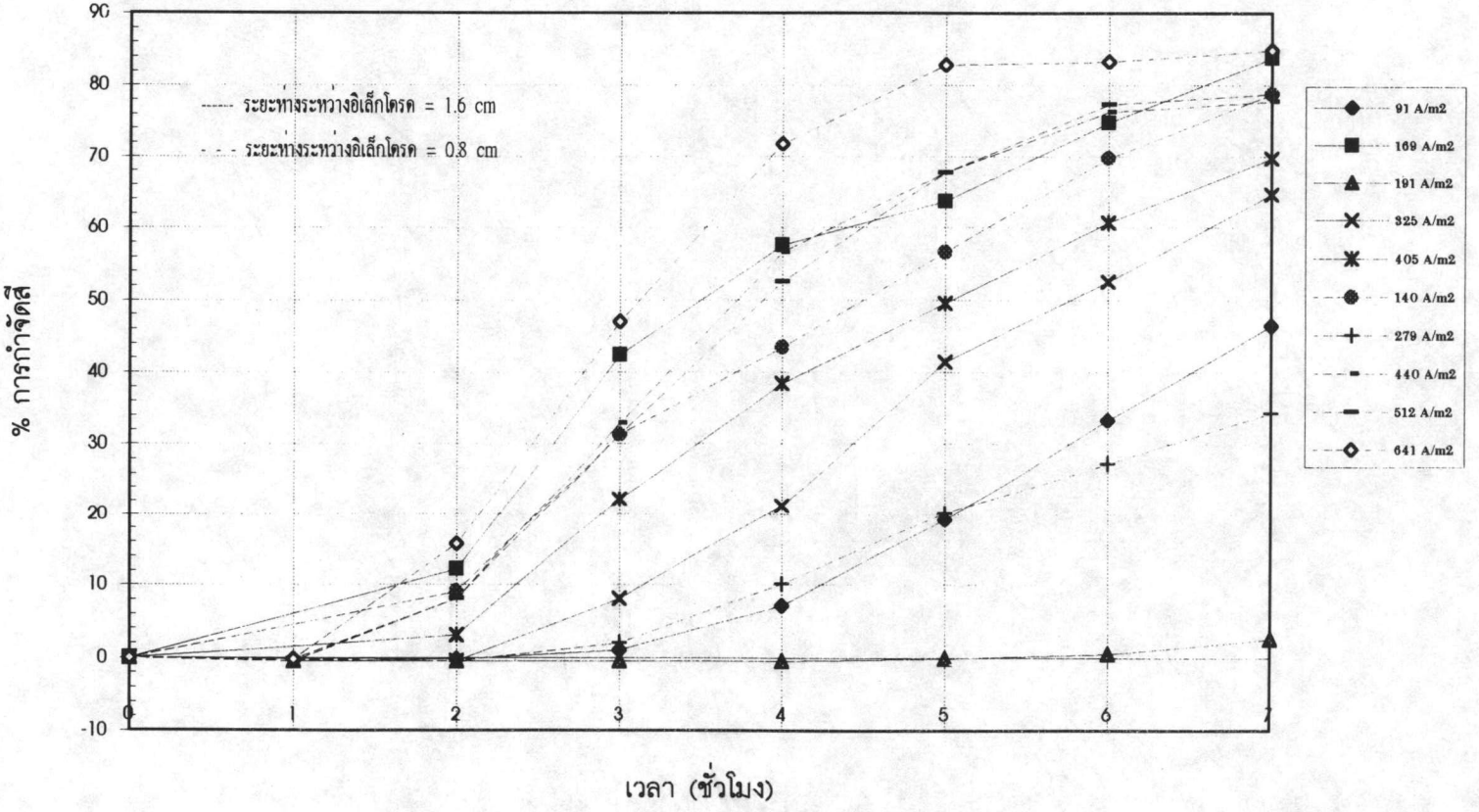
รูปที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



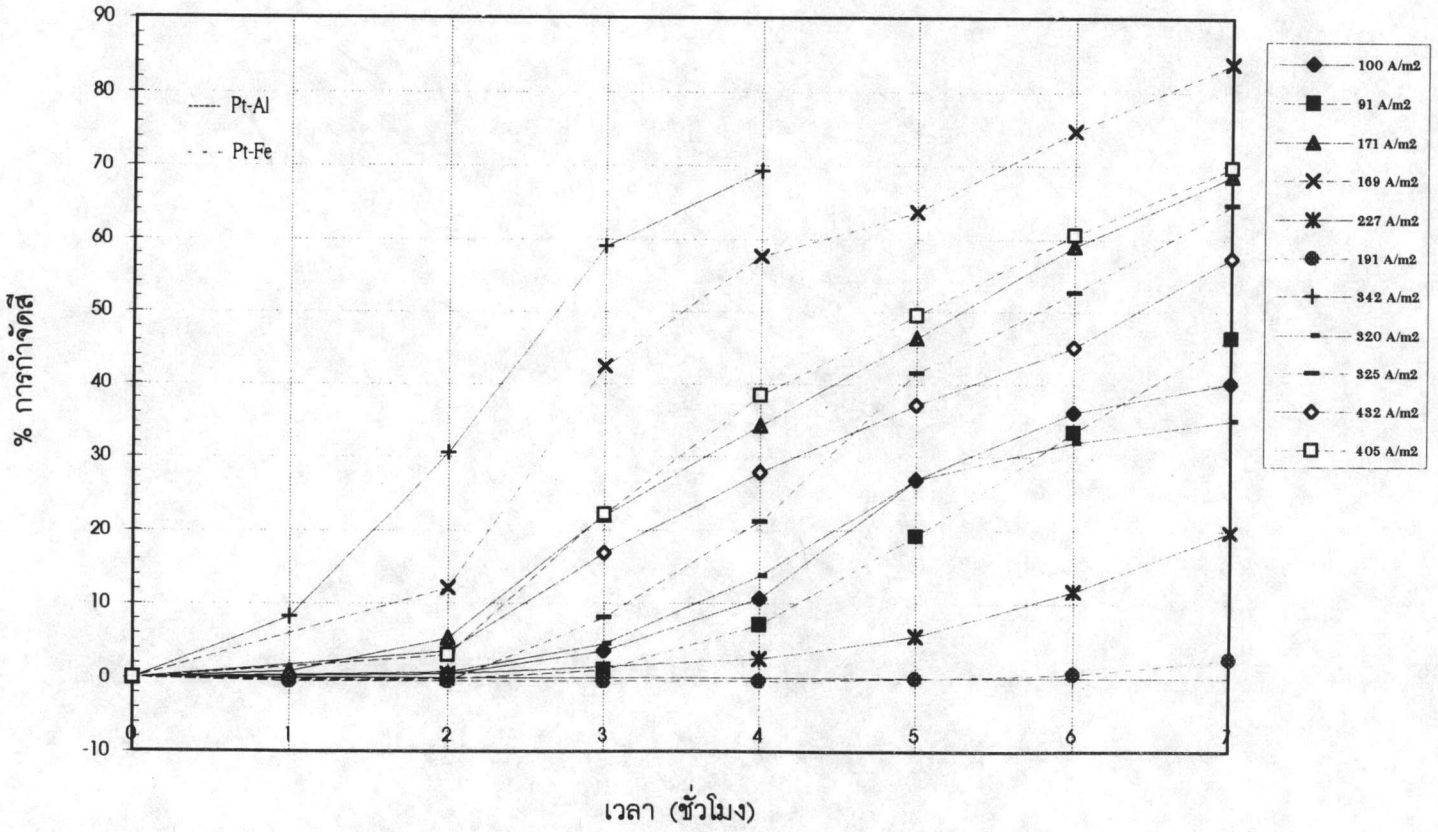
รูปที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร



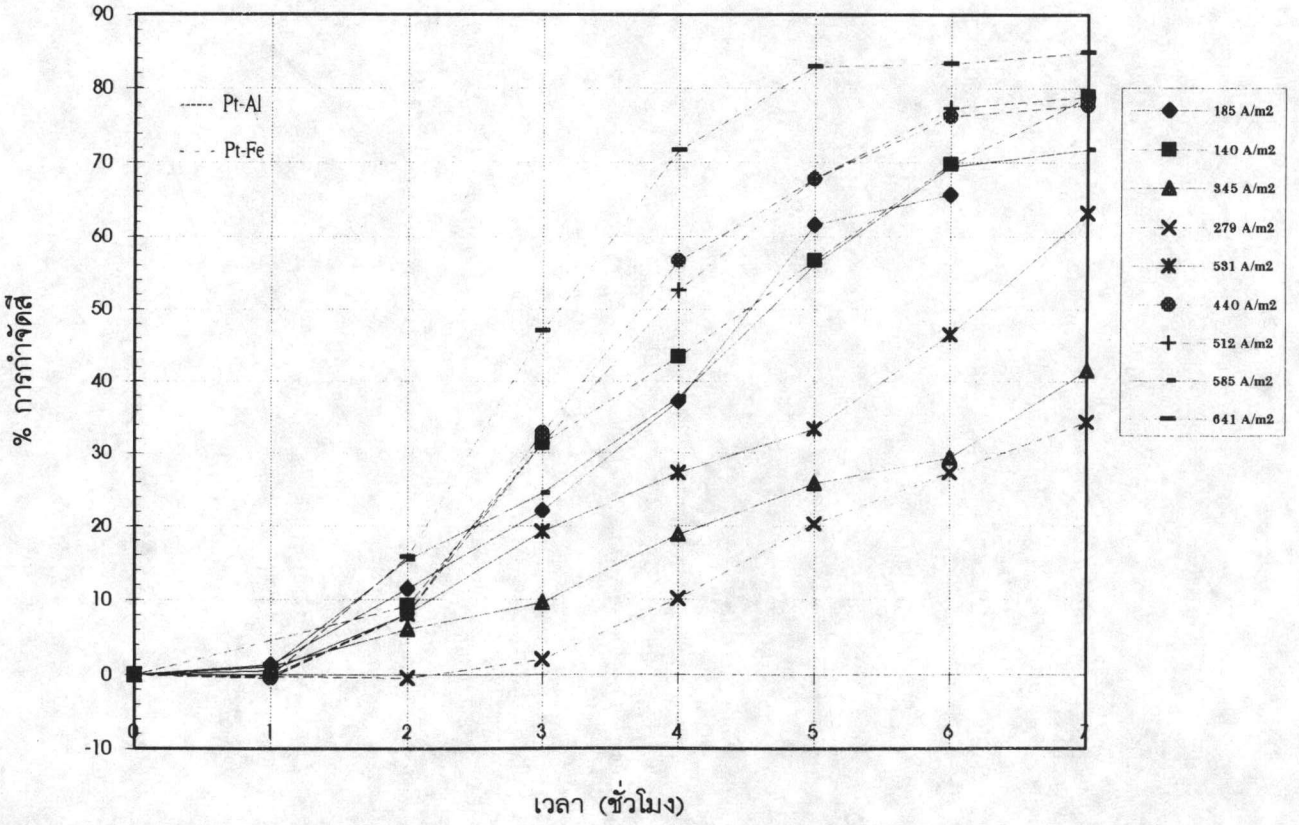
รูปที่ 4.43 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.45 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.46 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร

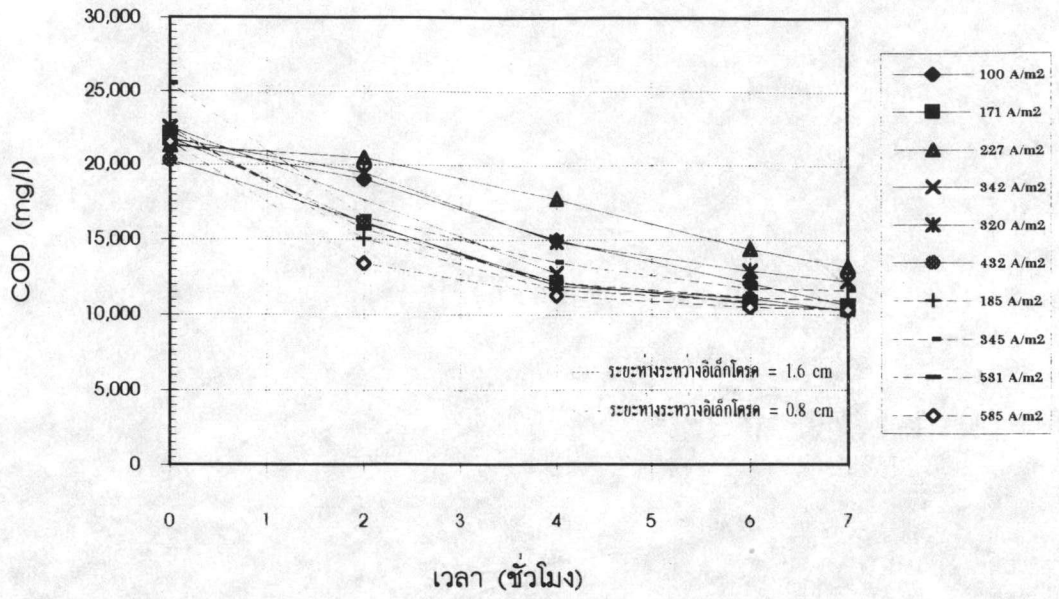
4.4.2.2 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์</u>

ก) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด จากตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.47 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 585 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 227 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำที่สุด สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีพบว่า ในระบบที่ใช้จำนวนอิเล็กโตรดน้อยเกินไปและกระแสไฟฟ้าต่ำ ช่วงแรกของการทดลองจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ

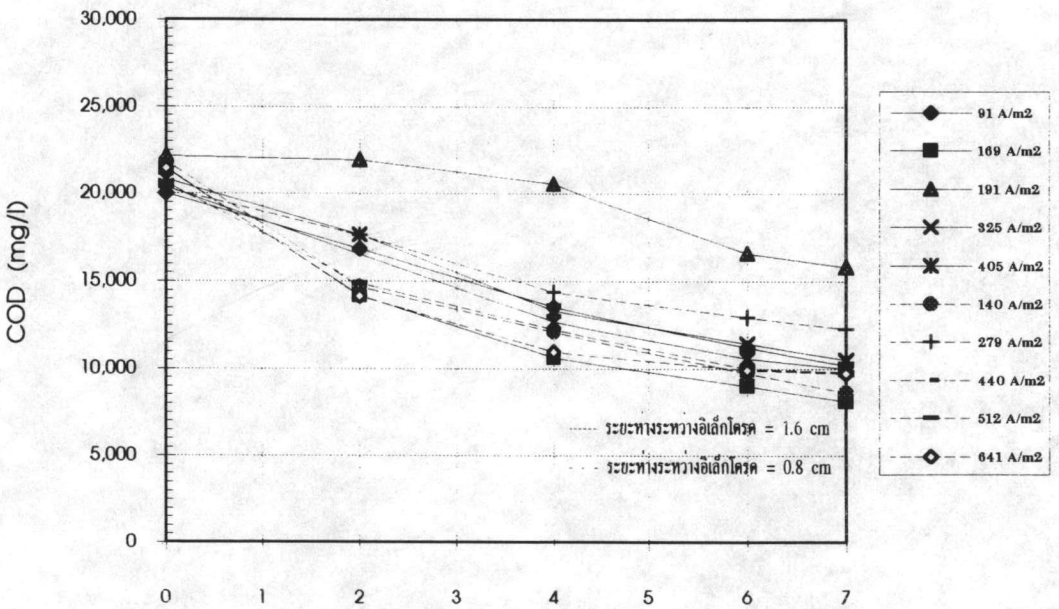
ข) ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จากตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.48 พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 169 A/m^2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 191 A/m^2 เป็นระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำที่สุด สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดพบว่า ในระบบที่ใช้จำนวนอิเล็กโตรดน้อยเกินไปและกระแสไฟฟ้าต่ำ ช่วงแรกของการทดลองจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ

จากผลการทดลองทั้งกรณีใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, พื้นที่ผิวของอิเล็กโตรด และเวลาในการบำบัด ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดสี ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในกรณีใช้ Pt-Al และ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดสามารถเปรียบเทียบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.49 และ 4.50 ซึ่งสรุปได้ว่า ในกรณีใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดนั้นจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด

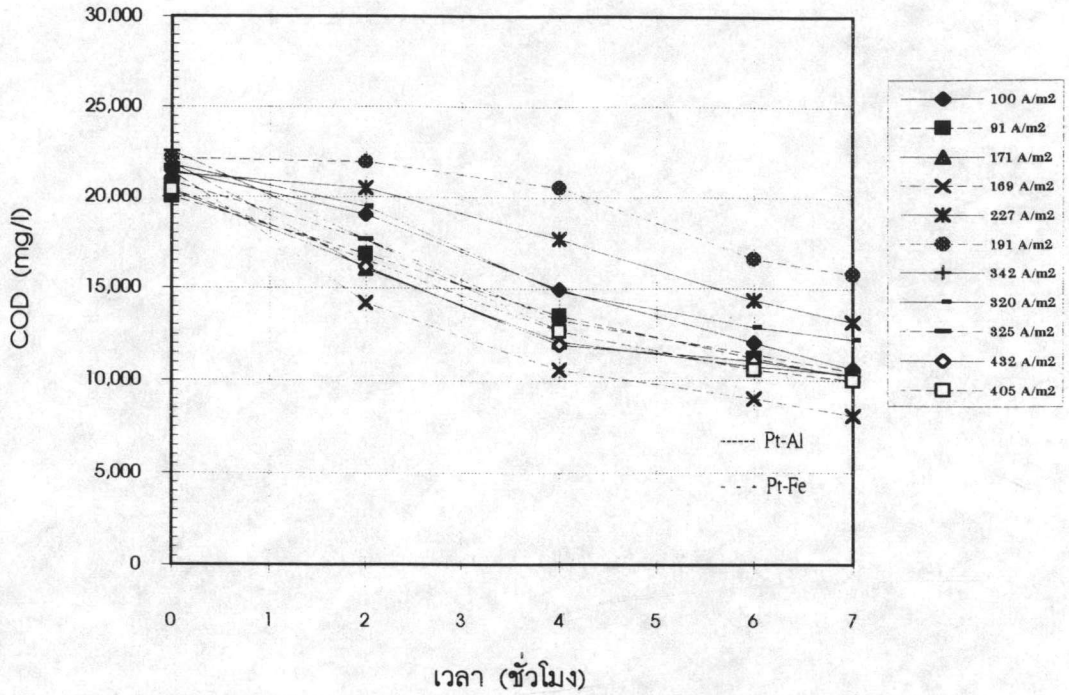
4.4.2.3 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย</u> จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าระบบบำบัดที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูงจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนมาก เนื่องจากเกิดตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสลายตัวของอิเล็กโตรด เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนพบว่า ระบบการทดลองส่วนมากจะมีปริมาณสารแขวนลอยลดลง ยกเว้นในระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดที่กระแสไฟฟ้าต่ำ จะมีปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่กระแสไฟฟ้าต่ำจะทำให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสลายตัวของอิเล็กโตรดมีลักษณะเป็นอนุภาค



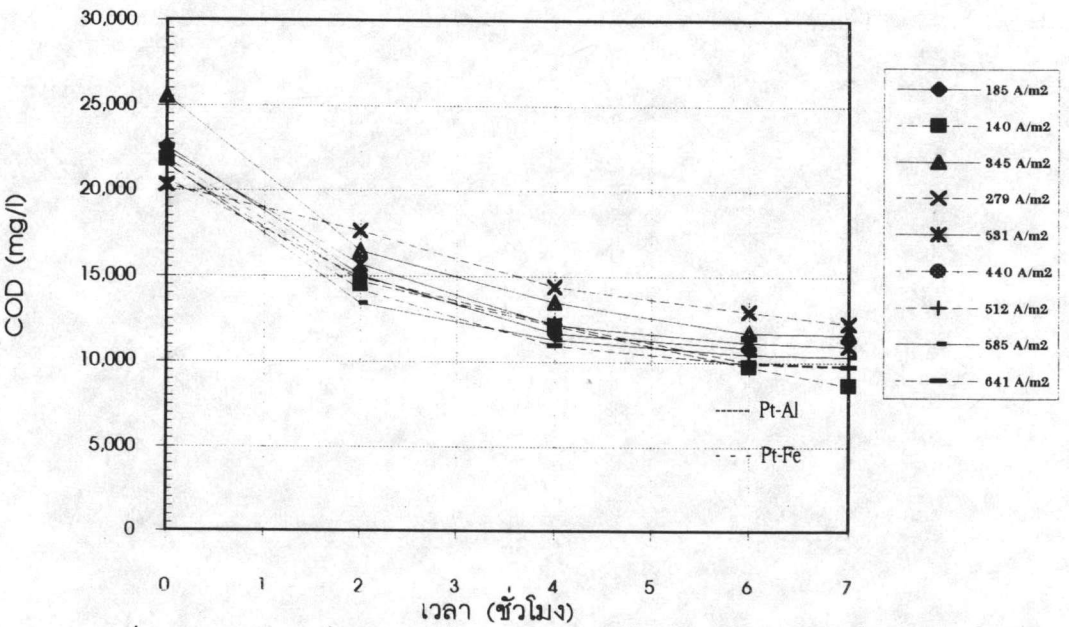
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.50 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร

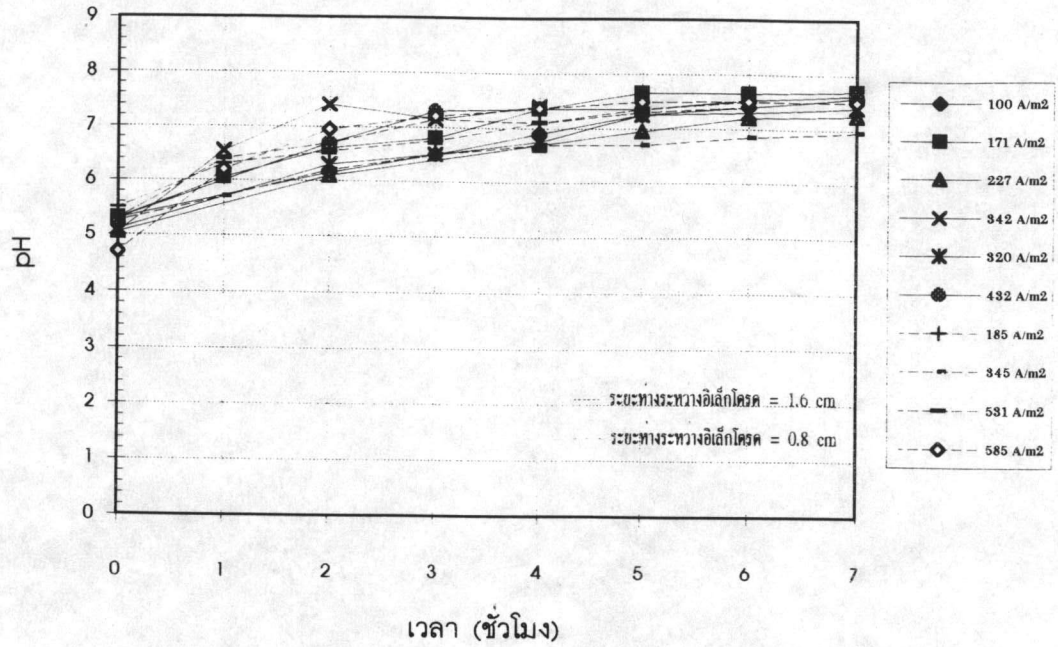
คอลลอยด์ขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ในน้ำทิ้งและไม่ตกตะกอน ดังนั้นระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดจึงไม่มีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยที่กระแสไฟฟ้าต่ำๆ เมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ให้ประสิทธิภาพการลดสารแขวนลอยได้ดีกว่าการใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนเหล็กไฮดรอกไซด์จมตัวได้ดีกว่าตะกอนของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์

4.4.2.4 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง</u> จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.51 ถึง 4.54 พบว่า pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นจากประมาณ 5 เป็น 6-8 ขึ้นกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งในช่วงแรกของการบำบัด pH เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป การเพิ่มขึ้นของ pH เริ่มลดลงและไม่มีการเปลี่ยนแปลงในที่สุด ยกเว้นระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 641 A/m^2 ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ pH ตลอดการทดลอง สำหรับสภาวะการทดลองเดียวกันพบว่า เมื่อใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดทำให้ค่า pH สูงกว่าในกรณีใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด

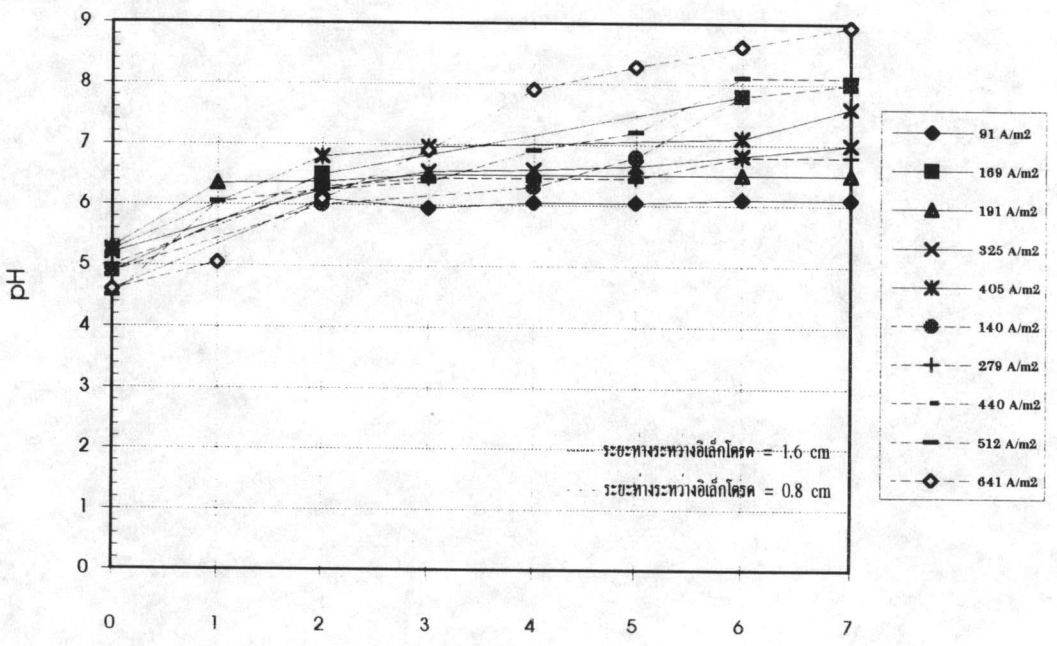
4.4.2.5 <u>การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า</u> น้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่านี้มีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูงคือ ประมาณ 6-7 mS ซึ่งเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี จากผลการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกากส่าในการบำบัดลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.55 ถึง 4.58 ทั้งนี้เนื่องจากแคทไอออนบางส่วนตกตะกอน ซึ่งเกิดจากค่า pH สูงขึ้น

4.4.2.6 <u>การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u> จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.59 ถึง 4.62 พบว่า อุณหภูมิของน้ำเสียในการบำบัดเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งพลังงานไฟฟ้าบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นถ้าระบบบำบัดใช้กระแสไฟฟ้าสูงมากจะทำให้มีอัตราการใช้พลังงานในการบำบัดสูง โดยเฉพาะระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีและสารอินทรีย์สูง อุณหภูมิของน้ำเสียที่บำบัดสูงถึง 70-80 องศาเซลเซียส

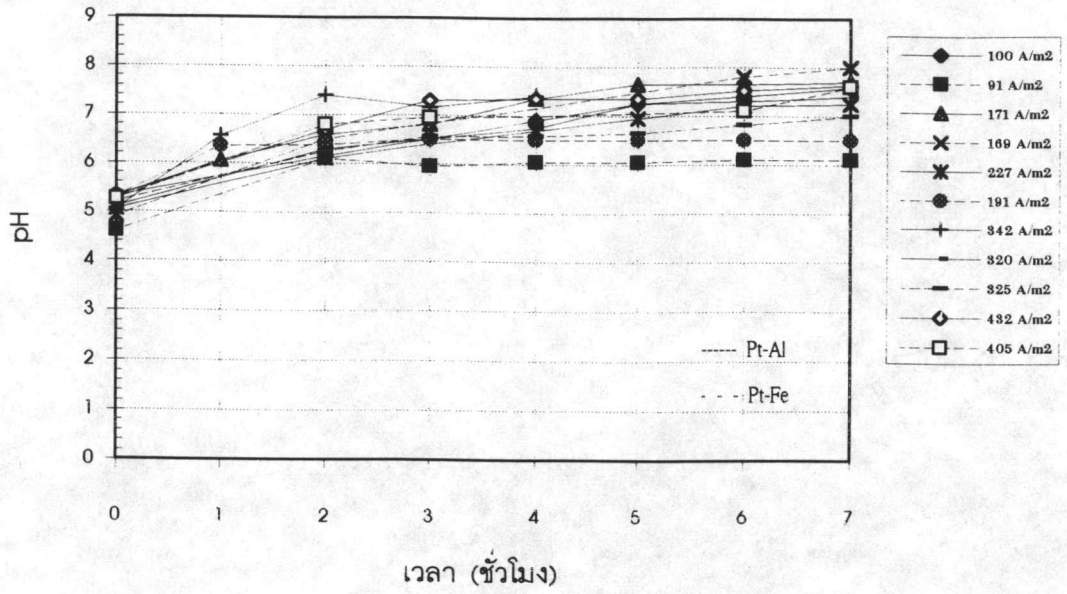
4.4.2.7 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารซัลเฟต</u> ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสารซัลเฟตแปรผันโดยตรงกับค่า pH ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า pH ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สารซัลเฟตจะรวมตัวกับแคลเซียมในน้ำกากส่าตกตะกอนในรูปแคลเซียมซัลเฟต เมื่อเปรียบเทียบโลหะเหล็กและ



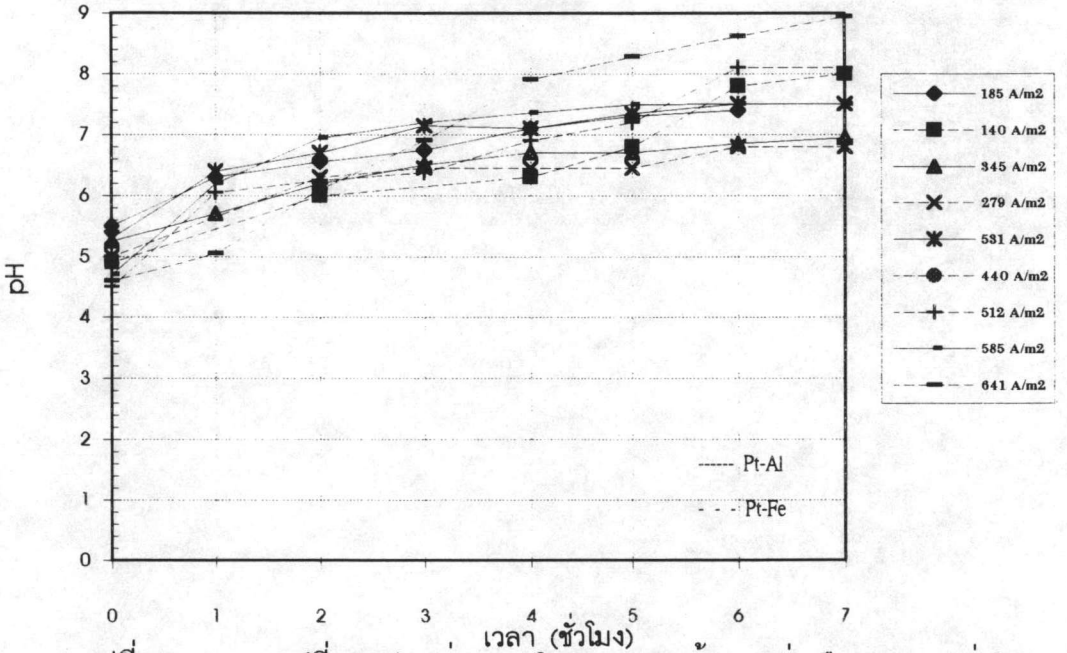
รูปที่ 4.51 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



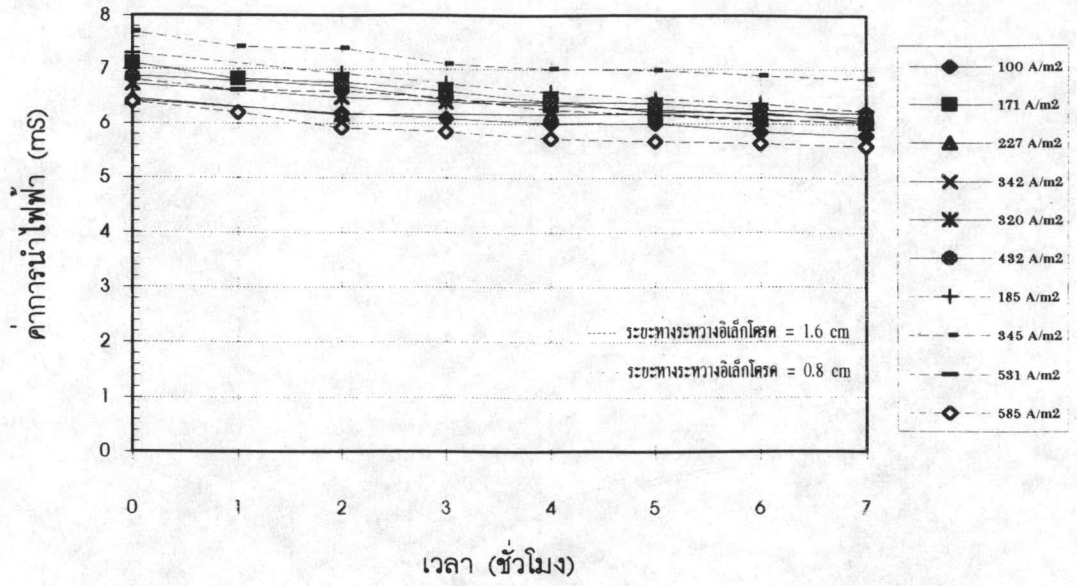
รูปที่ 4.52 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



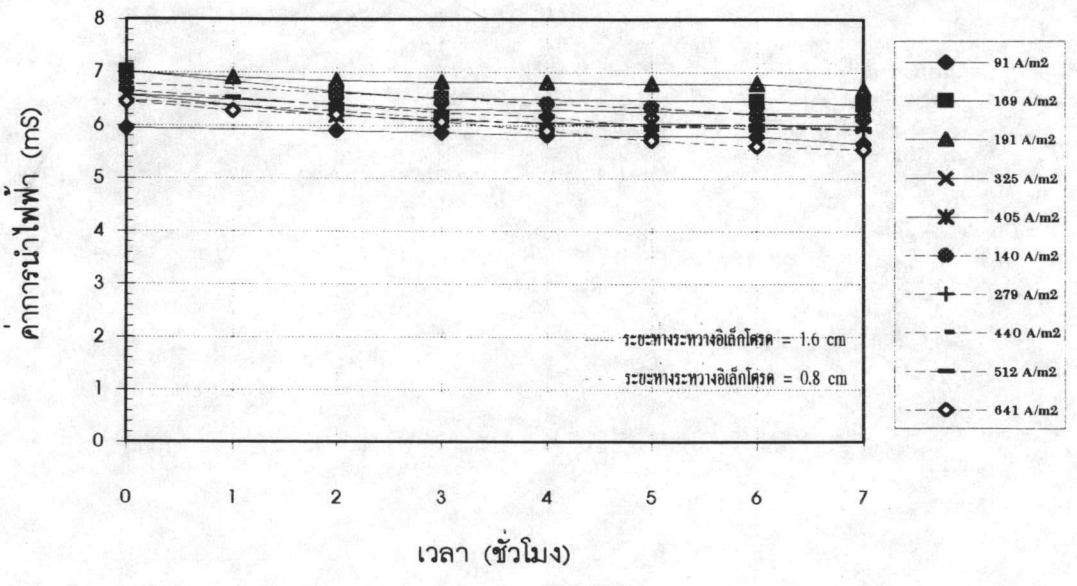
รูปที่ 4.53 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



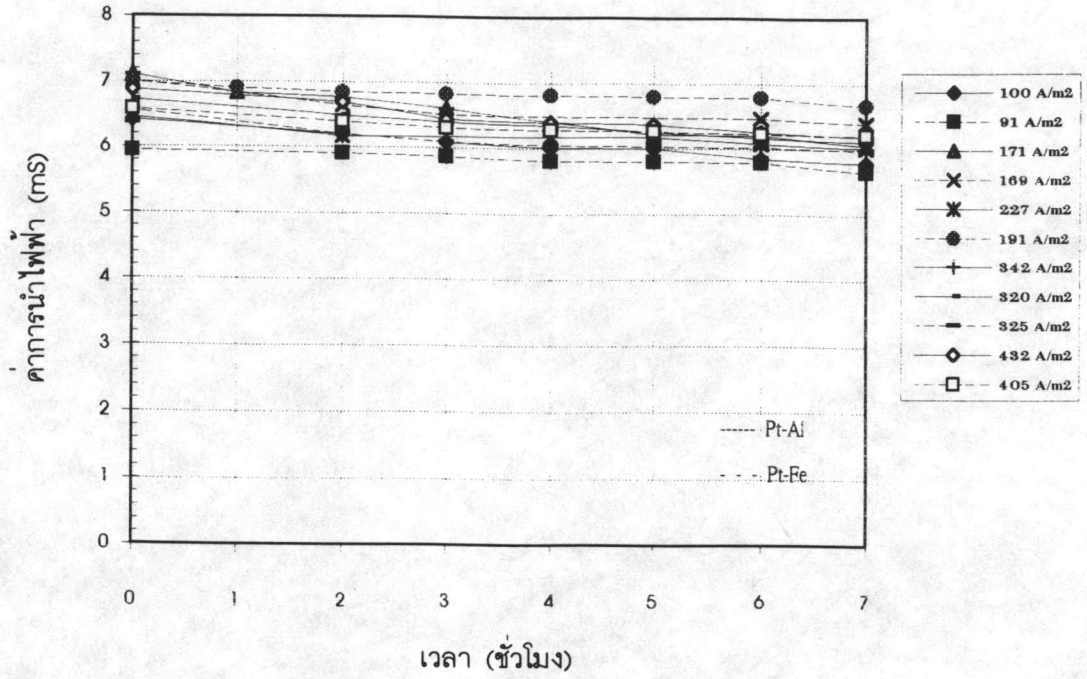
รูปที่ 4.54 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร



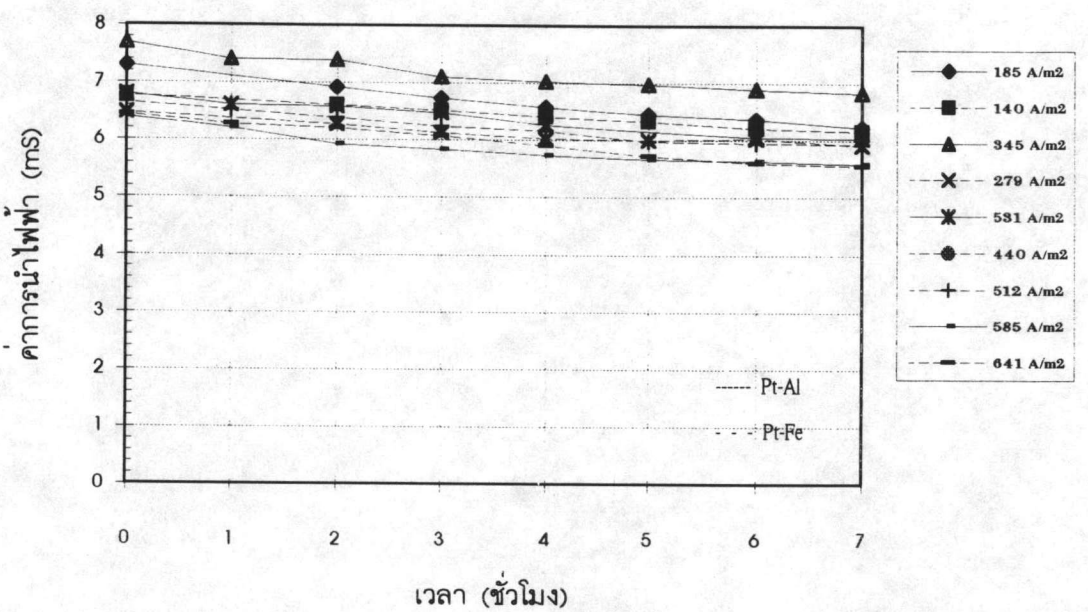
รูปที่ 4.55 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



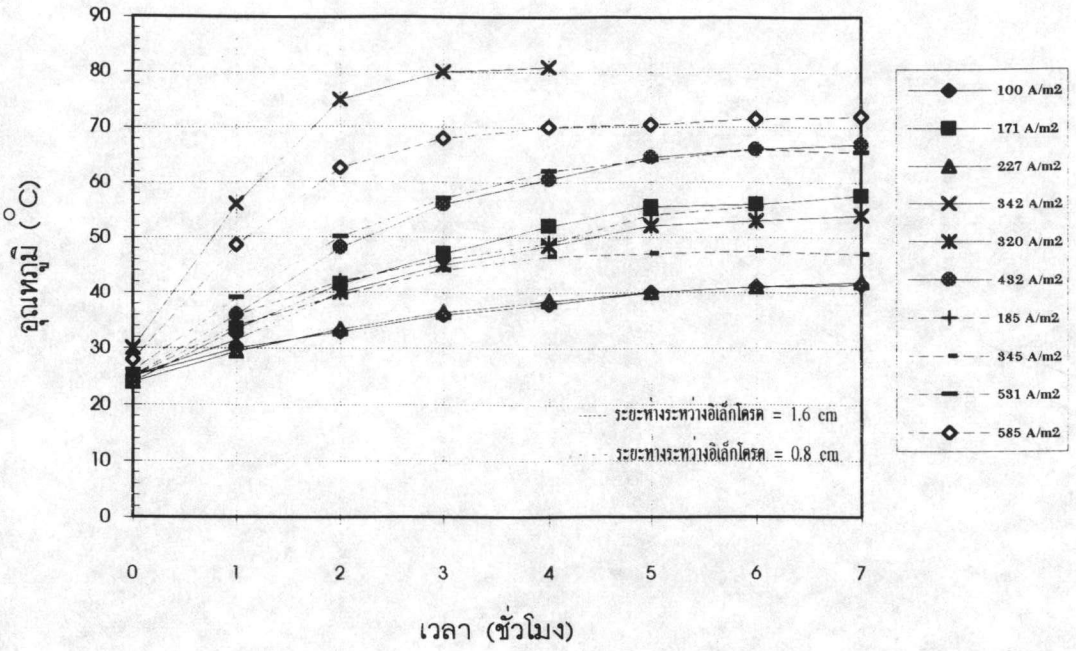
รูปที่ 4.56 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



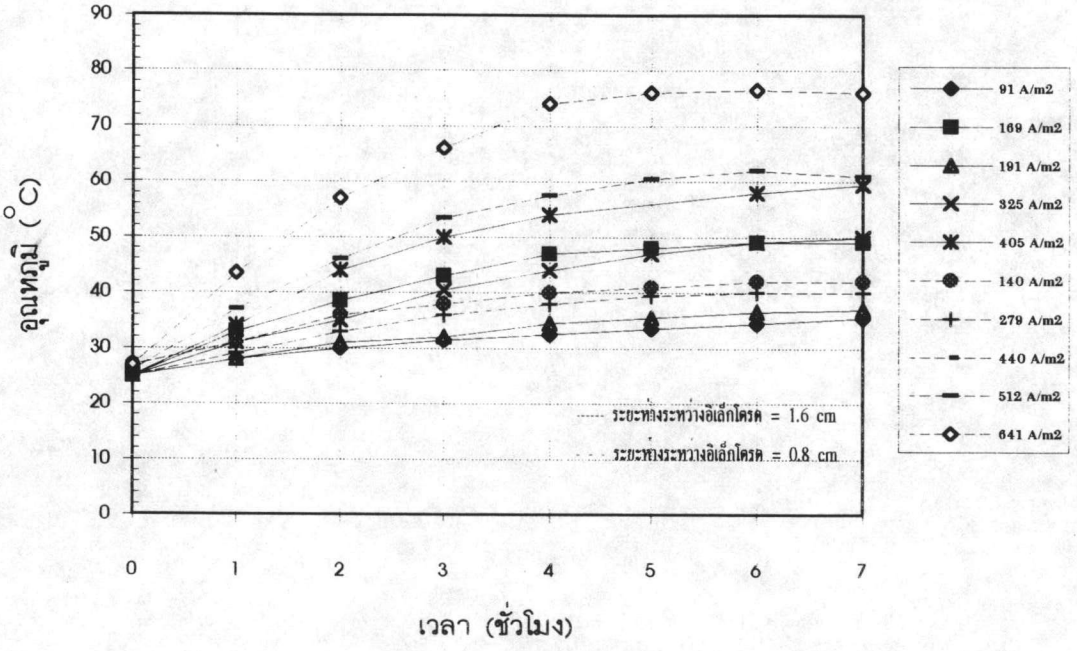
รูปที่ 4.57 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



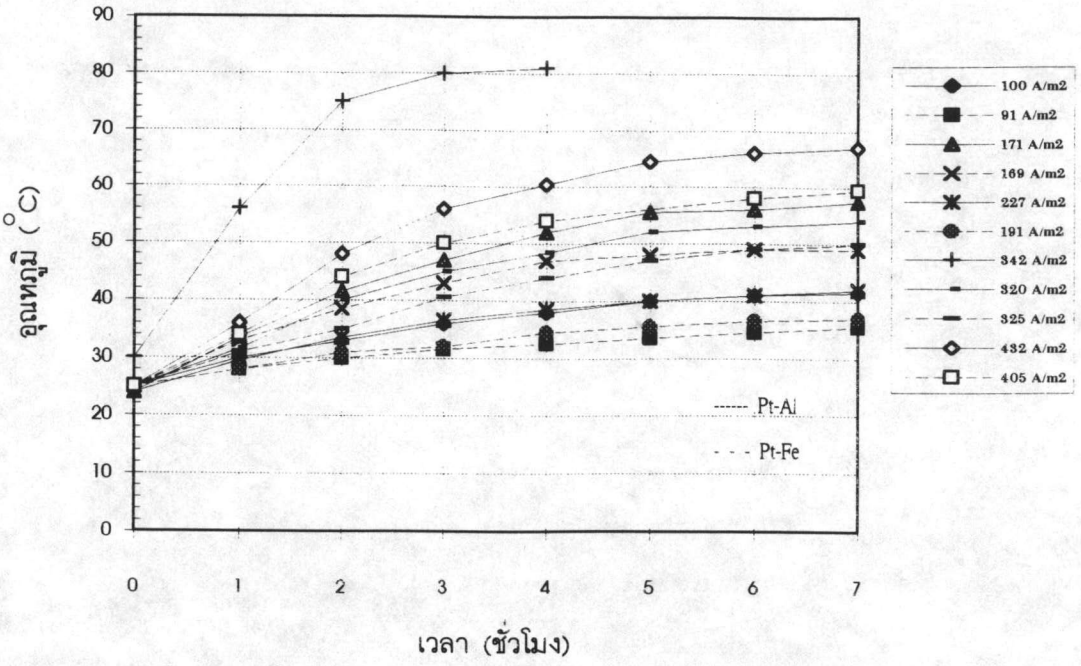
รูปที่ 4.58 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า โดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร



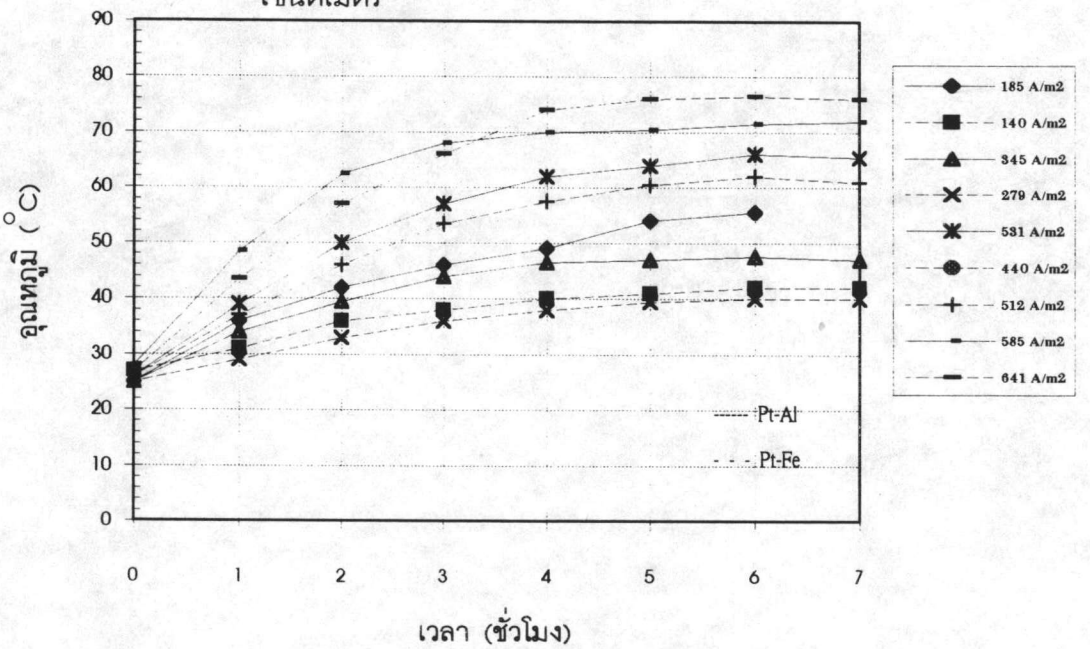
รูปที่ 4.59 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.60 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด



รูปที่ 4.61 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.62 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร

อะลูมิเนียมใช้เป็นอิเล็กโตรด พบว่าแผ่นอะลูมิเนียมให้ประสิทธิภาพการลดสารซัลเฟตสูงกว่าแผ่นเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกากส่าเมื่อผ่านการบำบัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดมีค่า pH สูงกว่าเมื่อใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด

4.4.2.8 <u>ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพแทสเซียม</u> จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ทุกระบบการทดลองไม่สามารถกำจัดโพแทสเซียมได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากเกลือของโพแทสเซียมทุกตัวสามารถละลายน้ำได้ดี

4.4.2.9 <u>สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี</u>

จากตารางที่ 4.14 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance โดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 185 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรด 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 137 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 4.91 ชั่วโมง จากตารางที่ 4.15 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance โดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 140 A/m^2 จำนวนอิเล็กโตรด 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 110 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 5.21 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.16 แสดงเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าระหว่างอิเล็กโตรดที่เป็น Pt-Al และ Pt-Fe สามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 % Transmittance คือ ระบบบำบัดที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวน 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 140 A/m^2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 110 kWh/m^3 ระยะเวลาในการบำบัด 5.21 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD 50.4%, pH = 7.0 ดังแสดงในตารางที่ 4.17 นอกจากนี้การใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรดมีข้อดีกว่าการใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรดหลายประการดังกล่าวมาแล้ว คือ มีการเปลี่ยนแปลง pH น้อยกว่า, ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสารแขวนลอยสูงกว่า

ตารางที่ 4.14 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3*)
1.6	Pt - Al	4	4	2.26	100	–	–
	Pt - Al	4	6	3.85	171	6.00	231
	Pt - Al	2	6	1.7	227	–	–
	Pt - Al	4	6.9	7.7	342	3.00	266
	Pt - Al	2	8	2.4	320	–	–
	Pt - Al	2	10	3.24	432	3.00	266
0.8	Pt - Al	4	4	4.17	185	4.91	137
	Pt - Al	2	6	2.59	345	–	–
	Pt - Al	2	8	3.98	531	6.79	360
	Pt - Al	2	9.4	4.39	585	5.21	359

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

ตารางที่ 4.15 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3*)
1.6	Pt - Fe	4	4	2.04	91	–	–
	Pt - Fe	4	6	3.81	169	4.28	163
	Pt - Fe	2	6	1.43	191	–	–
	Pt - Fe	2	8	2.44	325	6.56	214
	Pt - Fe	2	10	3.04	405	5.89	298
0.8	Pt - Fe	4	4	3.16	140	5.21	110
	Pt - Fe	2	6	2.09	279	–	–
	Pt - Fe	2	8	3.3	440	4.24	186
	Pt - Fe	2	8	3.84	512	4.46	229
	Pt - Fe	2	9.6	4.81	641	3.49	268

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

ตารางที่ 4.16 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3)
1.6	Pt - Al	4	6	3.85	171	6.00	231
	Pt - Fe	4	6	3.81	169	4.28	163
	Pt - Al	4	6.9	7.7	342	3.00	266
	Pt - Fe	2	8	2.44	325	6.56	214
0.8	Pt - Al	4	4	4.17	185	4.91	137
	Pt - Fe	4	4	3.16	140	5.21	110
	Pt - Al	2	8	3.98	531	6.79	360
	Pt - Fe	2	8	3.3	440	4.24	186
	Pt - Fe	2	8	3.84	512	4.46	229

* พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (kWh/m^3 of raw distillery waste)

ตารางที่ 4.17 สภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าที่ 60 %Transmittance

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด (cm)	ชนิดของอิเล็กโตรด	จำนวนของอิเล็กโตรด (แผ่น)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	เวลาในการกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance (h)	COD (mg/l)		% การกำจัด COD	pH		อุณหภูมิ (°C)	
							เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
0.8	Pt - Al	4	4	4.17	185	4.91	22,521	11,298	49.83	5.5	7.3	25	54
	Pt - Fe	4	4	3.16	140	5.21	21,825	10,825	50.40	4.9	7	27	41

4.5 การพิจารณาประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีสำหรับกำจัดสีของน้ำกากส่า

เนื่องจากอิเล็กโตรดเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการบำบัด ดังนั้น การพิจารณาระบบไฟฟ้าเคมีที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสีของน้ำกากส่า จึงต้องพิจารณาถึงอิเล็กโตรดที่นำไปใช้ในการบำบัด

4.5.1 **ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำทั้งแคโทดและแอโนด** (Pt-Pt) ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นอิเล็กโตรดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจางด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ต่ำ, น้ำกากส่าเจือจางที่ผ่านการบำบัดแล้วมี pH คงที่ นั่นคือมีคุณสมบัติเป็นกรด และเป็นวัสดุที่มีราคาแพง

4.5.2 **ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นแคโทดและอะลูมิเนียมเป็นแอโนด** (Pt-Al) ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นอิเล็กโตรดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจางด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี เนื่องจากเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าต่ำในการบำบัดพบว่า ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วหลังจากตกตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้น, มีราคาแพงเมื่อเทียบราคากันระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียม และตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการบำบัดมีความเป็นพิษมากกว่าตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์

4.5.3 **ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นแคโทดและเหล็กเป็นแอโนด** (Pt-Fe) เหมาะสมที่จะใช้เป็นอิเล็กโตรดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีและสารอินทรีย์, pH ของน้ำกากส่าเจือจางที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณสมบัติเป็นกลางประมาณ 7.0, ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วหลังจากตกตะกอนมีค่าลดลงทุกค่าของกระแสไฟฟ้า, เป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก และตะกอนเบาของเหล็กไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการบำบัดไม่มีความเป็นพิษ