

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารมลพิษจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) และการทดลองในระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous system) โดยการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ตัวแปรที่ศึกษาคือ ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความเป็นกรด – เบสเริ่มต้นของน้ำเสีย ผลของสารช่วยตกตะกอน (Coagulant aids) และอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนการทดลองในระบบแบบต่อเนื่อง จะนำภาวะที่เหมาะสมของการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะมาทำการทดลอง โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาเพิ่มเติมคือ อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าเครื่องปฏิกรณ์

4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

รายการ	ปริมาณ	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง*
ค่าความเป็นกรด - เบส	6.6-10	5.5-9
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27 - 29	≤ 40
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	1650 - 1790	ไม่ได้กำหนด
ของแข็งละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,310 – 1,560	≤ 3,000
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	40 - 260	≤ 150
ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	490 – 1,114	≤ 400
ค่าบีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	810 – 1,095	< 60
สี (หน่วยของแพลทินัม – โคบอลต์)	1,813 - 1,984	ไม่พึงรังเกียจ

*ที่มา ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ. ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษมีสีน้ำตาลเข้ม มีความขุ่นสูง มีตะกอนของเศษเยื่อ และมีกลิ่นเหม็น ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียดังกล่าวเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสมบัติของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารแขวนลอย สี ค่าซีโอดี และค่าบีโอดี ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ค่าซีโอดีสูงกว่าเกณฑ์ 2-3 เท่า และค่าบีโอดีสูงกว่าเกณฑ์มากกว่า 10-20 เท่า เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษจึงต้องผ่านการบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

4.2 การกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

การลดสีและสารมลพิษในน้ำเสียของอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าจะศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ขนาดประมาณ $0.12 \times 0.21 \times 0.15$ ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าคือแผ่นเหล็ก จำนวน 6 แผ่น โดยแต่ละแผ่นมีพื้นที่ผิวประมาณ 0.0161 ตารางเมตร ที่ปลายขั้วไฟฟ้าจะต่อกับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และมีปั๊มเพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำตัวอย่าง การทดลองแต่ละครั้งใช้น้ำตัวอย่างประมาณ 3 ลิตร ค่าความเป็นกรด - เบสประมาณ 7 - 9 การทดลองทำในระบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Galvanostatic mode) และวิเคราะห์หาปริมาณของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในน้ำเสียตามวิธีมาตรฐาน

4.2.1 ผลความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ในกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการหลุดของโลหะไอออนจากขั้วไฟฟ้าแอโนด โลหะไอออนเหล่านี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่หลุดจากขั้วไฟฟ้าแคโทด เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Polynuclear metal hydroxyl complexes ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารสร้างตะกอน ดังนั้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้ามาก การหลุดของโลหะไอออนจากขั้วไฟฟ้าจึงมากขึ้น ทำให้เกิดสารสร้างตะกอนมากขึ้นเช่นกัน (Chen, 2004 และ Mollah, 2004)

ในการทดลองเพื่อหาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ จะทำการปรับเปลี่ยนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 ค่าคือ 10.4, 14.5, 20.7, 26.9, 31.1 แอมแปร์ต่อตารางเมตร โดยมีอัตราการไหลวนของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เท่ากับ 6.9 ลิตรต่อนาที เก็บสารตัวอย่างทุกๆ 15 นาที

เป็นเวลา 90 นาที โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของซี 1909 หน่วยซี (แพลทินัม-โคบอลต์) ค่า บีไอดี ซีไอดี ของแข็งที่ละลายน้ำและของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเริ่มต้น เท่ากับ 870, 623, 1428 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

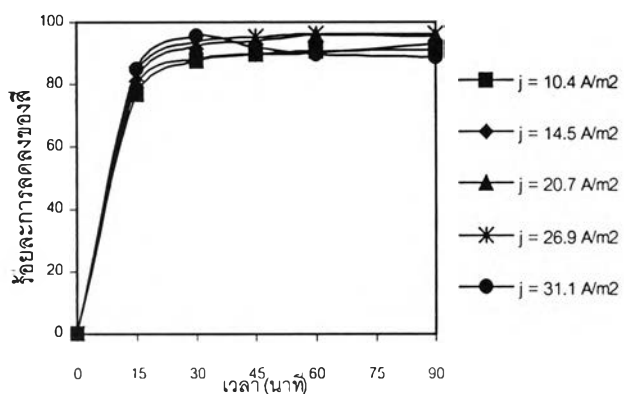
รูปที่ 4.1 (ก) แสดงร้อยละการลดลงของซีและเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่าการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อการกำจัดซี กล่าวคือ ร้อยละการลดลงของซี เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงเวลา 15 นาที และมีแนวโน้มคงที่ที่เวลามากกว่า 30 นาที โดยเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ด้วย เนื่องจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีผลต่อปริมาณประจุของขั้วไฟฟ้าที่ปล่อยออกมา ยกเว้นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 31.1 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ร้อยละการลดลงซีจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงมาก ทำให้ปริมาณประจุขั้วไฟฟ้าหลุดออกมามากเกินพอตามกฎของฟาราเดย์ข้อที่ 1 ที่ว่า “เมื่อกระแสไฟฟ้าและเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้น ปริมาณประจุขั้วไฟฟ้าจะมากขึ้น” จึงทำให้ร้อยละการลดลงของซีมีค่าลดลง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 96.2 ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 26.9 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาในการทดลอง 90 นาที อย่างไรก็ตาม ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาในการทดลองเท่ากับ 45 นาที มีซีที่เหลือประมาณ 119 หน่วยซี (แพลทินัม-โคบอลต์) และประสิทธิภาพการกำจัดก็สูงกว่าร้อยละ 93 เมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่าพบว่าน้ำเสียหลังตกตะกอนมีความใสและสีอ่อนมาก

รูปที่ 4.1 (ข) แสดงร้อยละการลดลงของบีไอดีและเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่าการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นไฟฟ้าจะมีผลต่อการกำจัดบีไอดี กล่าวคือ ร้อยละการลดลงของบีไอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 31.1 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ประสิทธิภาพในการกำจัด บีไอดีจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงมาก ปริมาณเหล็กที่เป็นขั้วไฟฟ้าหลุดออกมามากเกินพอ จึงเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ ทำให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์สามารถย่อยสลายได้น้อยลง จึงทำให้ร้อยละการลดลงของบีไอดีมีค่าลดลง ดังสมการที่ (4.1) (Mollah, 2001)

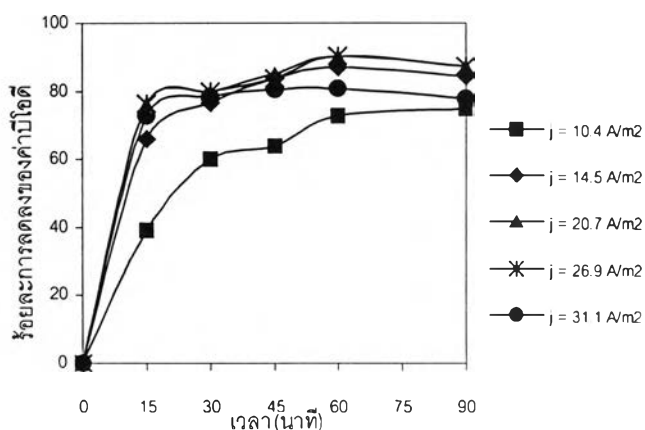


รูปที่ 4.1 (ค) แสดงร้อยละการลดลงของซีไอดีและเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่าการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีผลต่อการกำจัดค่าซีไอดีอย่างมีนัยสำคัญ คือ เมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม

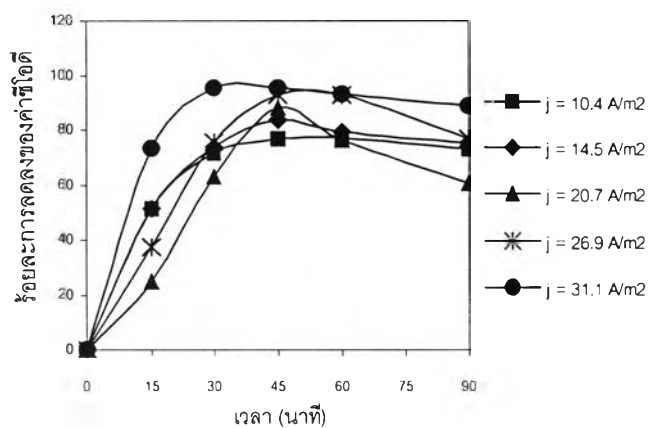
ต้นฉบับ หน้าขาดหาย



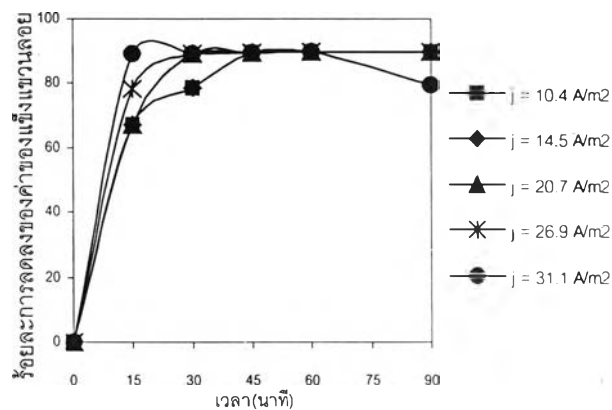
(ก) ร้อยละการลดลงของเหล็ก



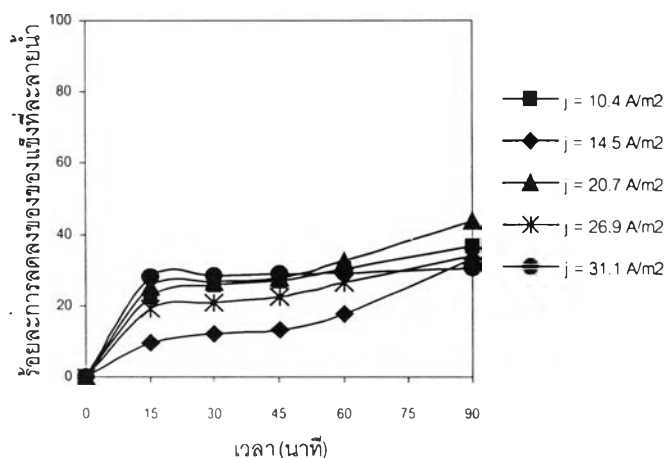
(ข) ร้อยละการลดลงของค่าบีไอดี



(ค) ร้อยละการลดลงของค่าซีไอดี



(ง) ร้อยละการลดลงของสารแขวนลอย

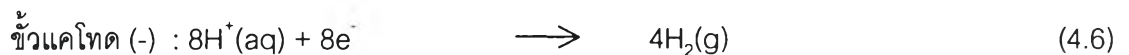
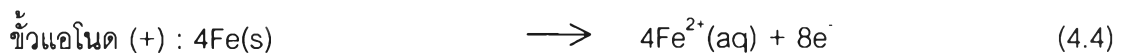


(จ) ร้อยละการลดลงของค่าขุ่นที่ละลายน้ำ

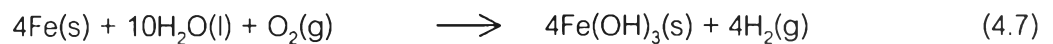
รูปที่ 4.1 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ต่อร้อยละการกำจัดดีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ที่เวลาต่าง ๆ

สำหรับกลไกการลดลงของสีและสารมลพิษสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ขั้วแอโนดซึ่งเป็นขั้วเหล็กถูกออกซิไดส์กลายเป็น Fe^{2+} ในสารละลาย ดังปฏิกิริยาที่ (4.4) และ (4.8) และตกตะกอนออกมาในรูปของ $(\text{Fe}(\text{OH})_n)$ เมื่อ $n = 2$ หรือ 3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงในปฏิกิริยาที่ (4.7) และ (4.11) และที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำดังปฏิกิริยาที่ (4.6) และ (4.10) (Mollah, 2001)

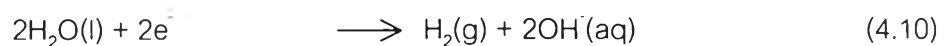
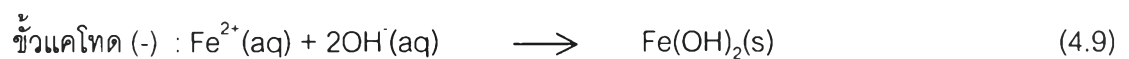
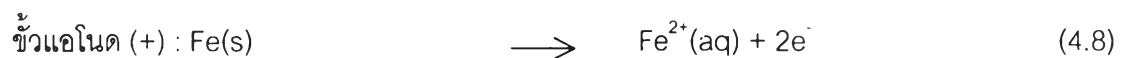
กลไกที่ 1



ปฏิกิริยารวม



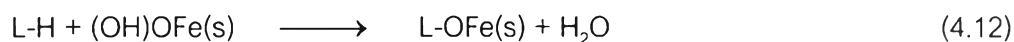
กลไกที่ 2



ปฏิกิริยารวม



ในสารละลาย Fe(OH)_2 และ Fe(OH)_3 จะอยู่ในรูปของ Polyhydroxyl iron (III) complexes โดยส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็น $(\text{OH})\text{OFe}$ (Hydrous iron) ซึ่งสามารถจับตัวกับสารอินทรีย์จำพวกลิกนินและสารมลพิษในน้ำเสียอื่น และทำให้ความเสถียรของสารมลพิษลดลงด้วย กระบวนการทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) หรือกระบวนการ Surface complexation ดังปฏิกิริยา (4.12) เกิดเป็นตะกอนของสารประกอบเหล็กออกไซด์-สารอินทรีย์ (Iron hydroxide-organic complex) ตกตะกอนลงมาทำให้สีของน้ำเสียลดลงได้ (Daneshvar, 2003)



จากการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารมลพิษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า คือ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen (2004) ที่กล่าวว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าควรมีค่าประมาณ 20-25 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษได้ดี และสามารถทำการทดลองได้ยาวนานโดยไม่ต้องทำการดูแลรักษา และยังเป็นที่ยืดอายุขั้วไฟฟ้าอีกด้วย

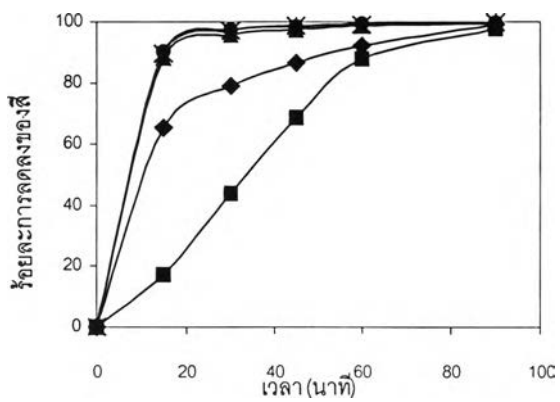
4.2.2 ผลของความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น

การศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นของน้ำเสียที่บำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากความเป็นกรด-เบสของสารละลายเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ซึ่งมีผลต่อการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสีย (Chen, 2004)

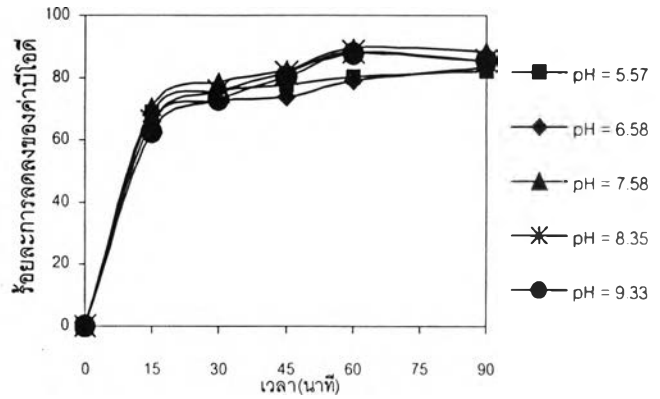
รูปผลการทดลองที่ 4.2 (ก) ถึง รูปที่ 4.2 (จ) แสดงร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นต่างๆ โดยทำการปรับเปลี่ยนความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 5.57, 6.58, 7.58, 8.35, 9.33 โดยผ่านความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 90 นาที โดยมีอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 6.9 ลิตรต่อนาที เก็บสารตัวอย่างทุกๆ 15 นาที โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของสีเท่ากับ 1862 หน่วยสี (แพลทินัม-โคบอลต์) ค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งที่ละลายน้ำและของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 948, 1108, 1327 และ 251 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าร้อยละการลดลงของสารมลพิษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด - เบสในระบบ

เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระดับความเป็นกรด - เบสให้อยู่ในช่วง 7.58 - 9.33 จะส่งผลต่อร้อยละการลดลงของสารมลพิษน้อย เนื่องจากความเป็นกรด - เบส ในช่วงนี้โครงสร้างของ Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นในระบบจะกลายเป็นไอออนของมอนอเมอร์ ได้แก่ $Fe(OH)_3$ และ Polyhydroxyl iron (III) complexes ได้แก่ $Fe(OH)^{2+}$ $Fe(OH)_2^+$ $Fe(H_2O)_5OH^{2+}$ และ $Fe(H_2O)_4(OH)_2^+$ ซึ่งไอออนเหล่านี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของสารมลพิษในน้ำเป็นก้อนจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Chen, 2004 และ Mollah, 2004) แต่ถ้าระดับความเป็นกรด-เบสที่ 5.57 และ 6.58 โครงสร้างของ Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นในระบบจะกลายเป็นไอออนของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งไอออนนี้จะเสถียรและละลายน้ำ จึงไม่เกาะตัวเป็นก้อนกับสารมลพิษและไม่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษต่ำ จากผลการทดลองพบว่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นเท่ากับ 7.58 จะมีค่าเหมาะสมสำหรับการกำจัดสีและสารมลพิษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen (2004) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษของน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าจะดีที่สุดที่ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นประมาณ 7

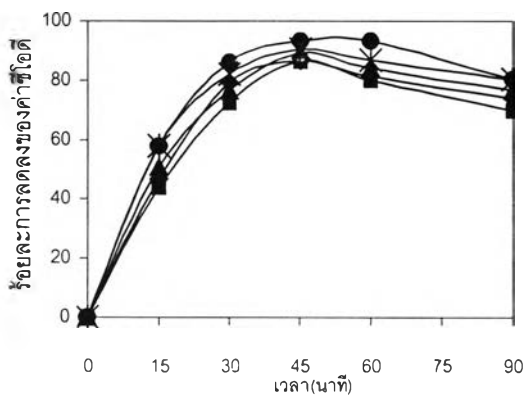




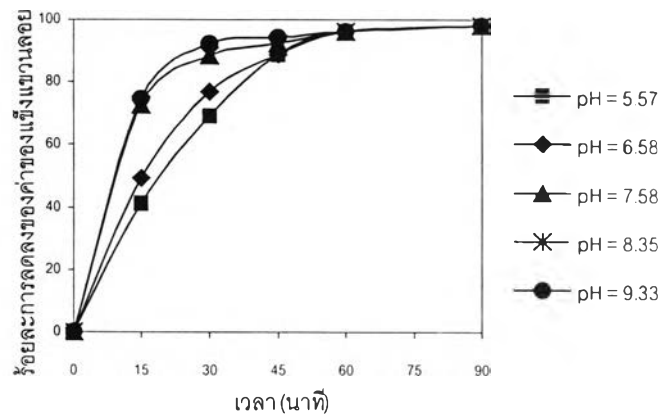
(ก) ร้อยละการลดลงของคลอรีน



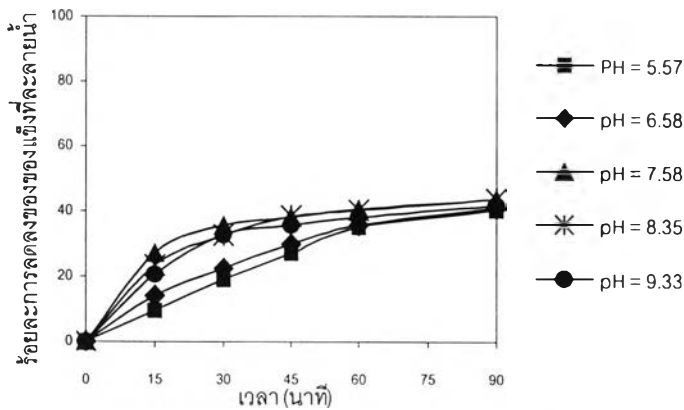
(ข) ร้อยละการลดลงของค่าบีโอดี



(ค) ร้อยละการลดลงของค่าซีโอดี



(ง) ร้อยละการลดลงของสารแขวนลอย



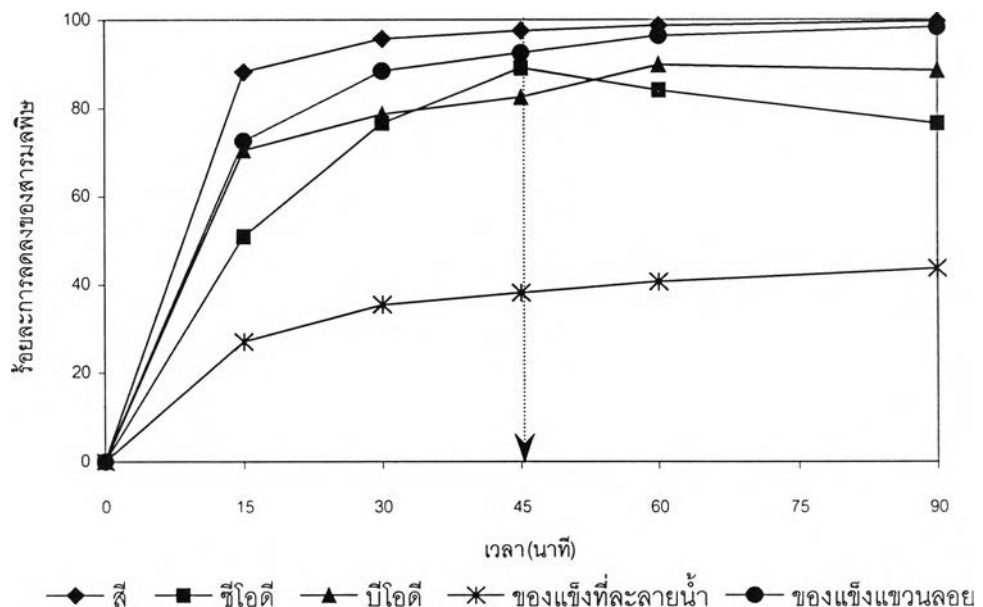
(จ) ร้อยละการลดลงของของแข็งที่ละลายน้ำ

รูปที่ 4.2 ผลของความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นต่อ ร้อยละการกำจัดสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เยื่อและกระดาษเวลาต่างๆ

4.2.3 ผลของเวลาต่อการลดของสีและสารมลพิษ

ในกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาในการทดลองเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดสีและสารมลพิษในน้ำเสีย เนื่องจากถ้าเวลาในการทดลองที่เพิ่มมากขึ้น โลหะไอออนจะหลุดออกจากขั้วไฟฟ้าแอโนดมากขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ซึ่งส่งผลให้เกิดสารสร้างตะกอนมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเวลาที่ใช้ในการบำบัดมากเกินไปก็อาจส่งผลถึงต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียตามมา

รูปที่ 4.3 แสดงร้อยละการลดลงของสีและสารมลพิษกับเวลาในการทดลองต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 7.58 อัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 6.9 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษ จะเป็นฟังก์ชันกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง คือเมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้นประสิทธิภาพในการลดสีและสารมลพิษจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย ยกเว้นค่าซีไอดีที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นตามเหตุผลที่กล่าวไปแล้วในรูปที่ 4.1 (ค) โดยเวลาที่เหมาะสมในการทดลองคือเวลาที่ 45 นาที เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงถึงร้อยละ 97.5 ประสิทธิภาพในการกำจัด ซีไอดีและบีไอดี เท่ากับ ร้อยละ 89.1 และร้อยละ 82.6 สำหรับสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ร้อยละ 92.4 และ 38.1 ตามลำดับ และพบว่าค่าความเข้มข้นของสีและสารมลพิษหลังการบำบัดทั้งระบบมีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งยกเว้นบีไอดี

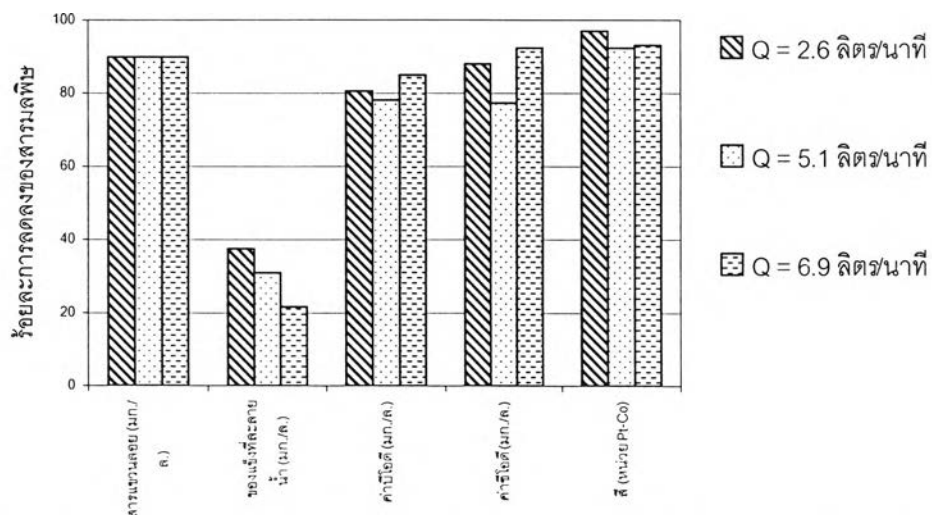


รูปที่ 4.3 ร้อยละการลดสารมลพิษกับเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

4.2.4 ผลของอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์

การไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดสีและสารมลพิษ ในกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากการไหลวนในเครื่องปฏิกรณ์เป็นการทำให้น้ำเสียเกิดความเป็นเนื้อเดียวกันทั้งระบบและเป็นการเพิ่มโอกาสให้สารสร้างตะกอนชนและรวมตัวกับสารมลพิษมากขึ้น แต่อัตราการไหลวนในเครื่องปฏิกรณ์ต้องเป็นอัตราที่เหมาะสมเนื่องจากถ้ามีอัตราการไหลวนที่สูงเกินไปจะทำให้สารสร้างตะกอนแตกตัวไม่จับกันเป็นกลุ่มก้อนและถ้าอัตราการไหลวนที่ต่ำเกินไปสารสร้างตะกอนจะไม่เจอและรวมตัวกับสารมลพิษให้เป็นกลุ่มก้อนใหญ่ได้

รูปที่ 4.4 แสดงร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ที่อัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์ค่าต่างๆ โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลวนในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2.6 5.1 และ 6.9 ลิตรต่อนาที โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 และเวลาในการทดลองเท่ากับ 45 นาที โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของสี เท่ากับ 1733 หน่วยสี (แพลทินัม-โคบอลต์) ค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งที่ละลายน้ำและของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 845, 992, 1315 และ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษมีแนวโน้มที่ค่อนข้างสูงที่อัตราการไหลวนเท่ากับ 2.6 ลิตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการไหลวนในเครื่องปฏิกรณ์ที่สูงไปจะทำให้เกิดการแตกตัวของสารสร้างตะกอนมากขึ้น ทำให้สารสร้างตะกอนจับตัวกับสารมลพิษได้น้อยลง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษจึงต่ำ



รูปที่ 4.4 ผลของอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์ต่อร้อยละการลดลงของสีและสารมลพิษที่เวลาต่างๆ ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบส 7.58 และเวลา 45 นาที

4.2.5 ผลของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน (Polyelectrolyte or Coagulant aids)

พอลิอิเล็กโทรไลต์ เป็นสารเคมีจำพวกพอลิเมอร์ที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนเป็นตัวช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ มีลักษณะเป็นเส้นยาว และมีประจุไฟฟ้าด้วย ซึ่งจะช่วยให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวรวมกันเป็น絮เร็วขึ้น และช่วยให้絮เล็กๆ จับเป็นตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้น พอลิอิเล็กโทรไลต์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 10,000-1,000,000 หรือมากกว่า สารเหล่านี้ได้แก่พวก พอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) พอลิเอไมด์ (Polyamine) พอลิอะครีเลต (Polyacrylate) พอลิเอทิลีนอิมิน (Polyethyleneimine)

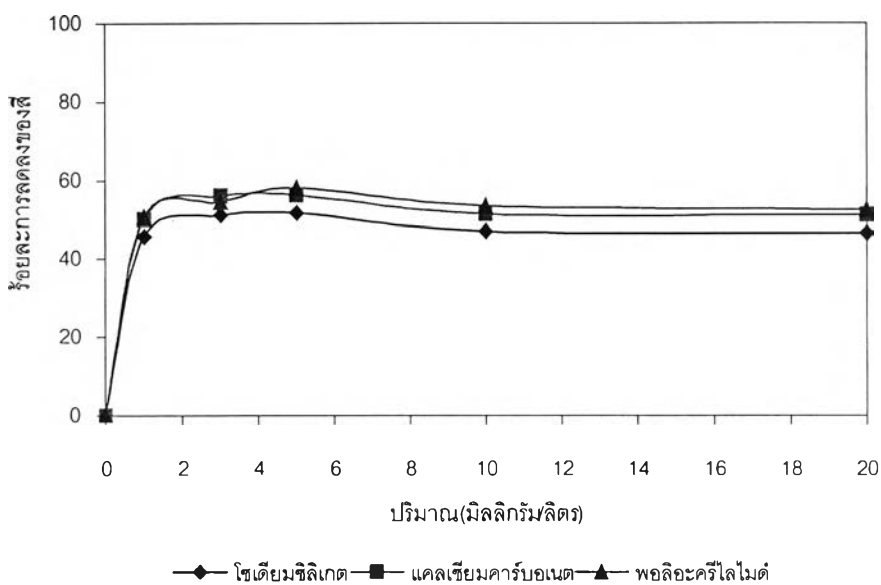
การทดลองนี้เป็นการศึกษาหาผลของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ก่อนและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

- การหาปริมาณสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนที่เหมาะสม

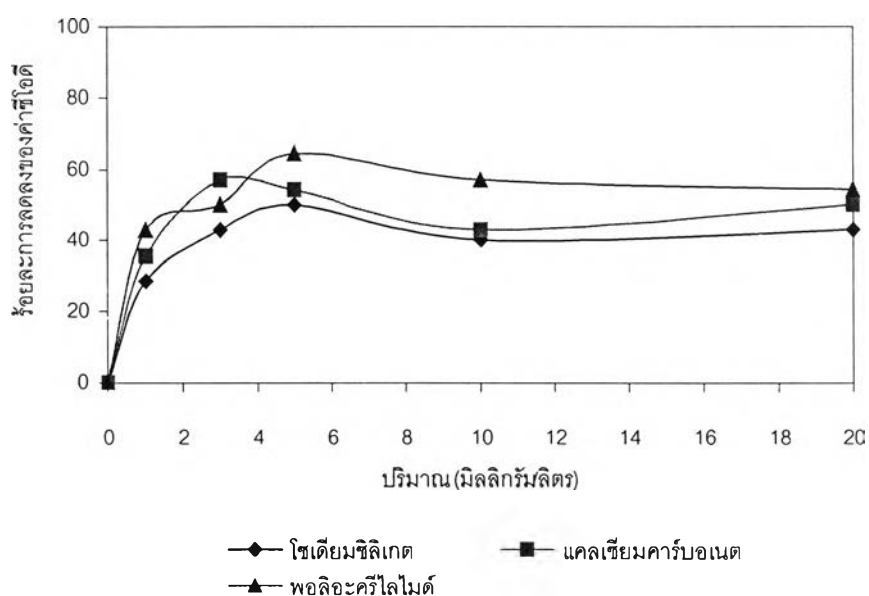
ในการทดลองนี้ใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ พอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide, PAM) โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate, $\text{Na}_4\text{O}_4\text{Si}$) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, CaCO_3) โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณ 5 ค่าคือ 1 3 5 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนเหล่านี้ในน้ำเสีย และวิเคราะห์สมบัติน้ำเสียว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

รูปที่ 4.5 (ก) และ 4.5 (ข) แสดงร้อยละการลดลงของสีและค่าซีไอดีต่อปริมาณของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีมีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งและมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยสารช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดจะให้ร้อยละการลดลงของสีไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเมื่อใส่พอลิอะคริลาไมด์เป็นสารช่วยตกตะกอน จะสามารถลดสีลงได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 58.2 ที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อพิจารณาการลดลงของซีไอดี พบว่าสารช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด จะให้ผลที่แตกต่างกัน โดยพอลิอะคริลาไมด์จะให้ร้อยละการลดลงของซีไอดีมากที่สุดที่ร้อยละ 64.3 เมื่อใช้ปริมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยวิธีนี้จะมีค่าต่ำ เนื่องจากการตกตะกอนทางเคมีจะอาศัยการทำลายประจุและรวมตัวเป็น絮ของอนุภาคสี ซึ่ง絮ของสีไม่จับตัวกันหนาแน่นเพียงพอทำให้ไม่สามารถตกตะกอนลงมาได้ ดังรูปที่ 4.6

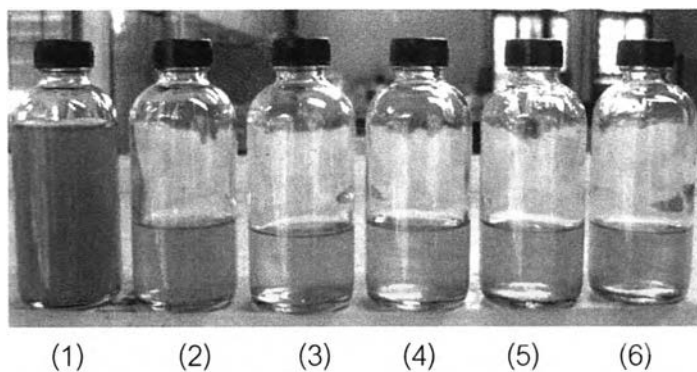


(ก) ร้อยละการลดลงของสี



(ข) ร้อยละการลดลงของค่าซีไอดี

รูปที่ 4.5 ร้อยละการกำจัดสีและค่าซีไอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนที่ปริมาณต่างๆ



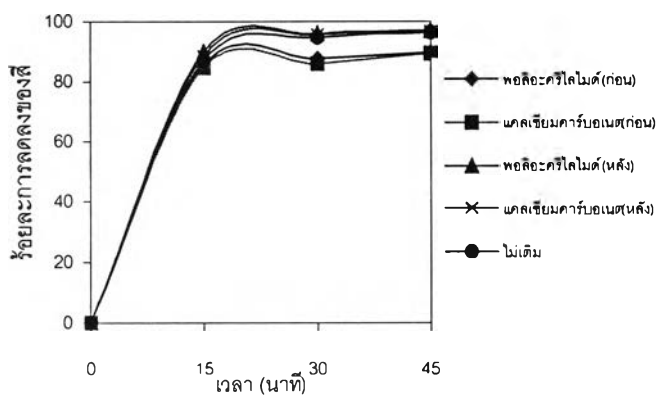
รูปที่ 4.6 สีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยพอลิอะครีลาไมด์ ที่ปริมาณต่างๆ

- (1) น้ำเสียก่อนการบำบัด และเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพ 1 มก./ล. (2) 3 มก./ล.
 (3) 5 มก./ล. (4) 10 มก./ล. (5) 20 มก./ล. (6)

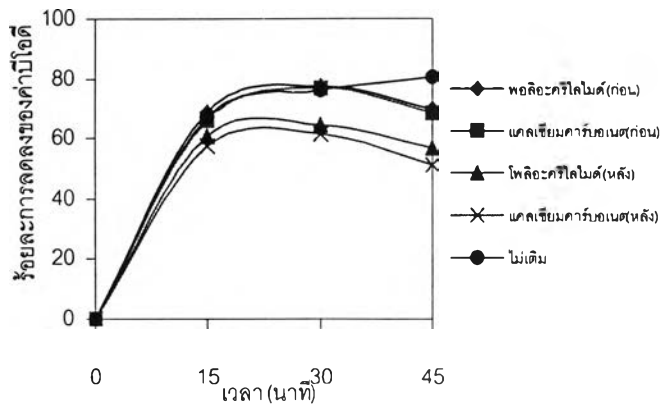
- ผลของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนในกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

รูปผลการทดลองที่ 4.7 (ก) ถึง 4.7 (จ) แสดงร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนคือ พอลิอะครีลาไมด์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรและแคลเซียมคาร์บอเนต 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 และอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 2.6 ลิตรต่อนาที เก็บสารตัวอย่างทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 45 นาที โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของสีเท่ากับ 2430 หน่วยสี (แพลทินัม-โคบอลต์) ค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งที่ละลายน้ำและของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 900, 1108, 1335 และ 260 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

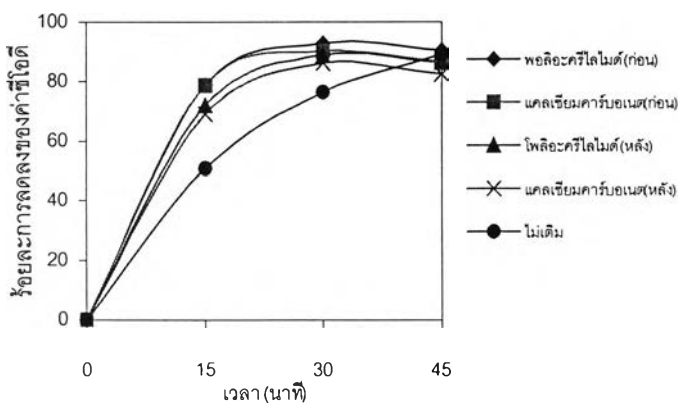
พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษมีแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อมีการใส่สารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า กับภาวะที่ไม่มีการใส่สารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน จึงกล่าวได้ว่าสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในการกำจัดสีหรือสารมลพิษทั้งก่อนและหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในทางปฏิบัติจริงจึงไม่จำเป็นต้องใส่สารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า



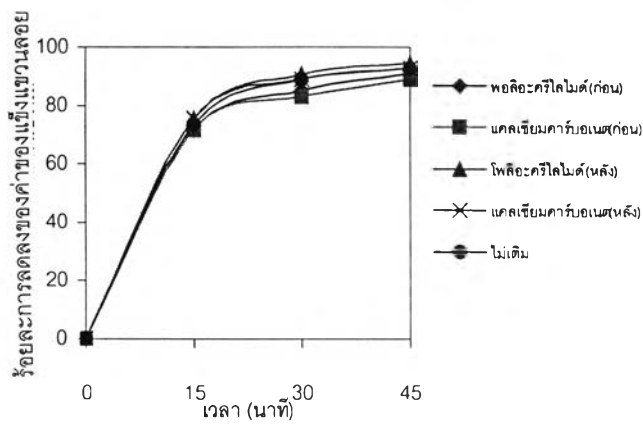
(ก) ร้อยละการลดลงของสี



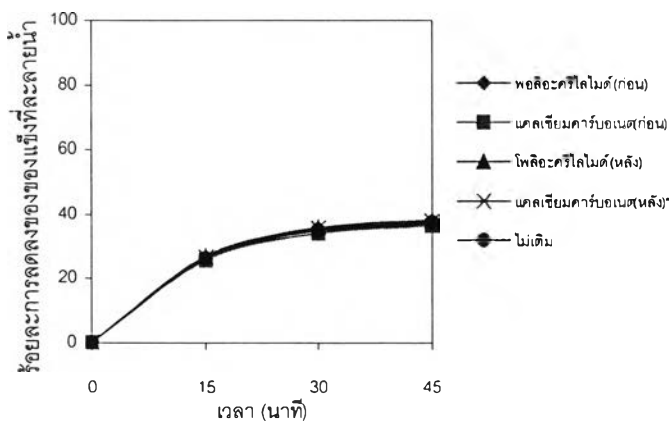
(ข) ร้อยละการลดลงของค่าบีโอดี



(ค) ร้อยละการลดลงของค่าซีโอดี



(ง) ร้อยละการลดลงของสารแขวนลอย



(จ) ร้อยละการลดลงของของแข็งที่ละลายน้ำ

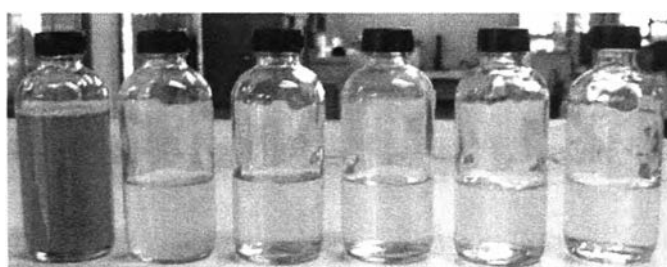
รูปที่ 4.7 ร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เมื่อใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนก่อนและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของสีและสารมลพิษหลังจากการบำบัดที่เวลาต่างๆในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ พบว่ากระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการลดสารมลพิษอื่นๆ ในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าของบีโอดีซึ่งยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 2 เท่า ซึ่งสามารถบำบัดต่อเนื่องได้โดยการพักไว้ในบ่อเติมอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำเสีย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของสีและสารมลพิษหลังจากการบำบัดที่เวลาต่างๆในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

รายการ	มาตรฐาน ของประเทศ ไทย	น้ำก่อน บำบัด	หลังการบำบัดด้วย				
			ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลวน 2.6 ลิตร/นาที และความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58				
			15(นาที)	30(นาที)	45(นาที)	60(นาที)	90(นาที)
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 150	46.7	15	5	5	5	5
ของแข็งที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 3,000	1315	985	885	865	845	815
ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 400	992.2	556.6	270.4	127.2	238.6	318.1
ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 60	845	285	210	174	105	120
สี (หน่วยของ Pt-Co)	ไม่พึง รังเกียจ	1733.7	290	100.7	51.3	33.3	18.7
ความเป็นกรด -เบส	7-9	7.58	8.67	8.69	8.84	8.79	8.83

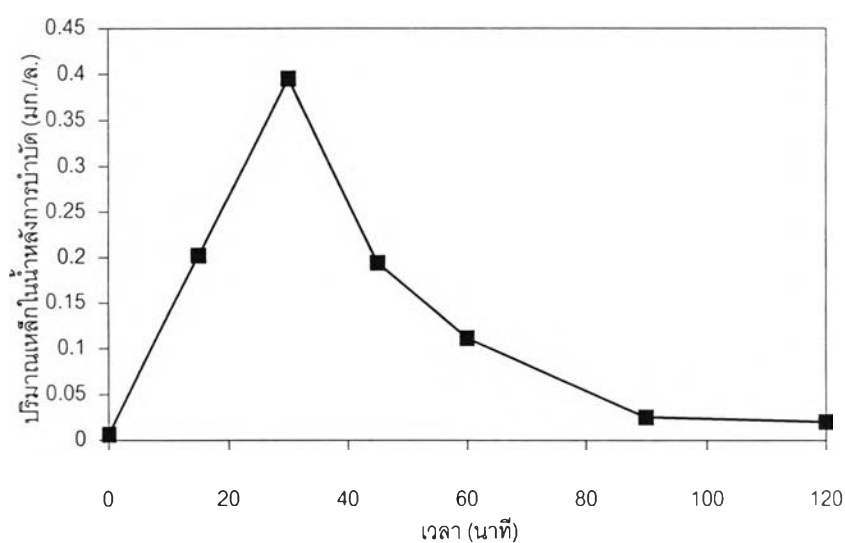
รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่เวลาต่างๆ พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดใส ไม่มีสี ไม่เป็นที่รังเกียจ นอกจากนี้กลิ่นเหม็นของน้ำเสียก็ลดลงด้วยเช่นกัน



(1) (2) (3) (4) (5) (6)

รูปที่ 4.8 สีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าที่เวลาการทดลองต่างๆ (1) น้ำเสียก่อนบำบัด (2) หลังบำบัด 15 นาที (3) หลังบำบัด 30 นาที (4) หลังบำบัด 45 นาที (5) หลังบำบัด 60 นาที (6) หลังบำบัด 90 นาที

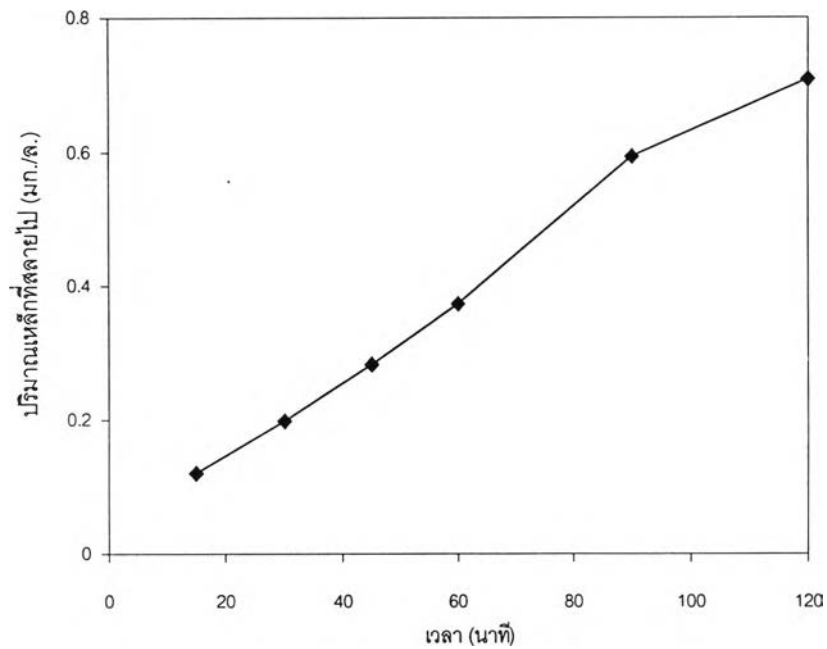
รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณของเหล็กที่อยู่ในน้ำเสีย หลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าปริมาณของเหล็กที่อยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ภาวะเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้เหลือเพียง 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 45 นาที ซึ่งความเข้มข้นของเหล็กในระดับนี้สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ยังไม่ได้กำหนดระดับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ดังนั้นปริมาณของเหล็กที่เหลือในน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4.9 ปริมาณของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

ส่วนน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้มีการหลุดของโลหะไอออนที่ขั้วบวก รูปที่ 4.10 แสดงน้ำหนักของขั้วเหล็กที่เป็นขั้วแอโนด (ขั้วบวก) หลังการทดลองพบว่ามีค่าต่ำลงเมื่อเพิ่มเวลาในการทดลองมากขึ้น ส่วนขั้วเหล็กที่เป็นขั้วลบจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากเป็นขั้วที่มีการรับอิเล็กตรอน

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะคือที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 เวลาในการทดลองเท่ากับ 45 นาที และอัตราการไหลวนเท่ากับ 2.6 ลิตรต่อนาที

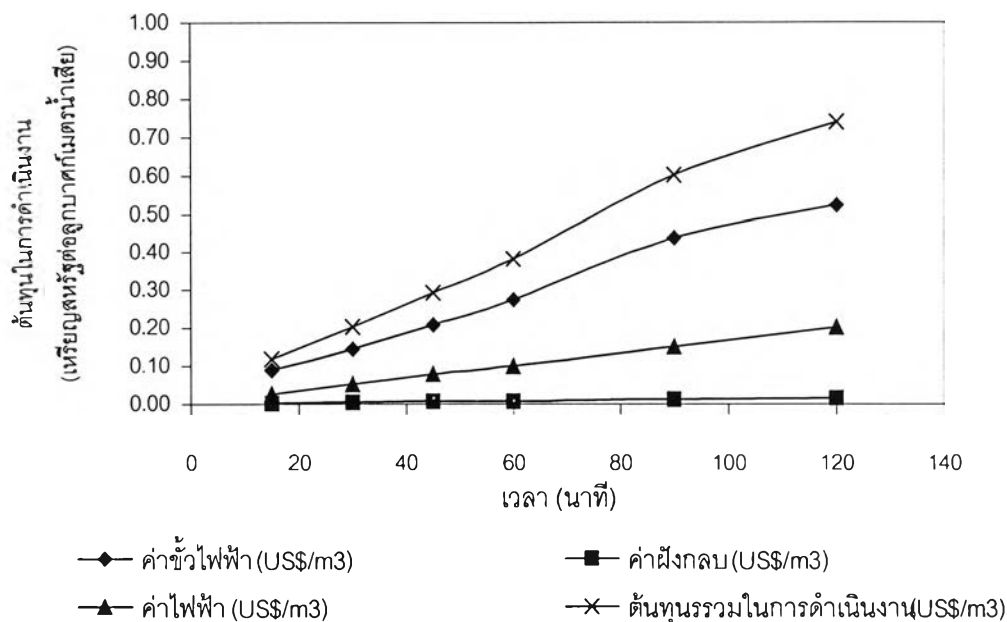


รูปที่ 4.10 ปริมาณข้าวเหล็กที่สลายไปหลัง การบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

4.2.6 ต้นทุนในการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดลองในห้องปฏิบัติการเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของต้นทุนในการดำเนินการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อและกระดาษ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าไฟฟ้า ค่าฝังกลบทะกอน และค่าข้าวไฟฟ้า(เหล็ก) ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.11 แสดงต้นทุนในการดำเนินงานกับเวลา ในภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดดีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าคือที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 และอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 2.6 ลิตรต่อนาทีและเวลาเท่ากับ 45 นาที พบว่าที่ภาวะดังกล่าวต้องการกำลังไฟฟ้าเพียง 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำตัวอย่าง และมีต้นทุนในการทำงานที่ต่ำที่สุดประมาณ 11.74 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย หรือประมาณ 0.29 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย



รูปที่ 4.11 ต้นทุนในการดำเนินงานกับเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร (ตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ค)

4.2.7 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ พบว่าของกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงกว่าและสามารถลดสารมลพิษในน้ำเสียได้หลายค่า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง ร้อยละ 97.0 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ แต่ยังคงต่ำกว่ากระบวนการออกซิเดชันด้วยแสงและโอโซนเล็กน้อย แต่กระบวนการออกซิเดชันนี้เป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งความเข้มข้นสีก่อนการทดลองมีค่าน้อยกว่างานวิจัยนี้ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าประมาณร้อยละ 87.8 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสามารถกำจัดได้ร้อยละ 80.4 ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยที่ตกตะกอนแบบเร่ง แต่เมื่อนำไปทำการบำบัดในระบบแบบต่อเนื่องพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีจะเพิ่มขึ้นอีก ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำ สามารถกำจัดได้ร้อยละ 89.8 และ 37.5 ตามลำดับซึ่งสูงกว่างานวิจัยตกตะกอนแบบเร่งแต่ต่ำกว่างานวิจัยอื่นๆ แต่ความเข้มข้นในน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจึงสามารถปล่อยทิ้งได้

ดังนั้นกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่น่าจะนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดสี และสารมลพิษสูง ต้นทุนในดำเนินงานต่ำและเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยาก

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ (Pokhrel, 2004)

ผู้วิจัย (ปี)	กระบวนการบำบัด	ซีไอดี		บีไอดี		ของแข็งละลายน้ำ		ของแข็งแขวนลอย		สี	
		ก	ข	ก	ข	ก	ข	ก	ข	ก	ข
Saunamaki (1997)	Aerobic Biological	1192	57.1	336	93.8	-	-	738	76.4	-	-
Torrades et al. (2001)	Photo cat. + Ozone	515	85	-	-	-	-	-	-	250	100
Rohella et al. (2001)	Coagulation	4112	55.65	-	-	-	-	3620	100	4667.5	82.58
De Pinho et al. (2000)	Microfiltration + UF	-	-	-	-	-	-	397	100	1747	88
งานวิจัยนี้ (2005)	Electrocoagulation	992.2	87.8	845	80.4	1315	37.5	46.7	89.8	1733.7	97.0

หมายเหตุ *ก คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำเสียก่อนการบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

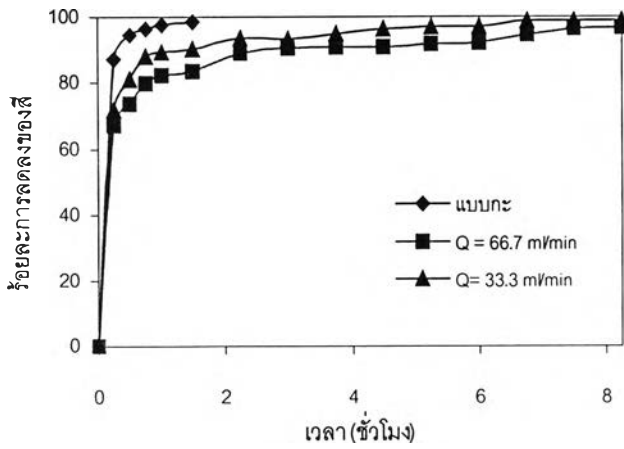
ข คือ ร้อยละการลดของสารมลพิษหลังบำบัด

4.3 การกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบแบบต่อเนื่อง

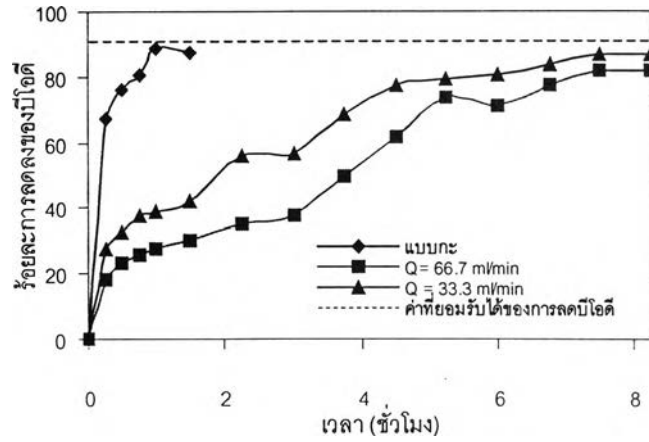
การศึกษาส่วนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบแบบต่อเนื่อง โดยทำการทดลองและใช้เครื่องปฏิกรณ์เหมือนการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ แต่เพิ่มทางน้ำเข้าและออกอีกหนึ่งช่องทาง เพื่อทำให้เกิดระบบแบบต่อเนื่อง โดยนำภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ คือค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 อัตราการไหลวนในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 2.6 ลิตรต่อนาที โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์ 2 ค่าคือ ที่ 66.7 และ 33.3 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่มีการคำนวณจากเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ คือเท่ากับ 45 จากนั้นเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 45 นาที เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง นำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณของสีและสารมลพิษอื่นๆ ตามมาตรฐานของการวิเคราะห์น้ำเสีย

รูปที่ 4.12 (ก) ถึง 4.12 (จ) แสดงร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าเครื่องปฏิกรณ์ค่าต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่ต่ำลง โดยที่อัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 33.3 มิลลิลิตรต่อนาที จะมีแนวโน้มของร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษที่มากกว่าอัตราการไหลที่ 66.7 มิลลิลิตรต่อนาทีเล็กน้อย เนื่องจากอัตราการไหลที่ต่ำจะทำให้น้ำเสียมีเวลาในการทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์มากขึ้น จึงทำให้มีการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ขึ้นจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษที่ดีขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จะพบว่าประสิทธิภาพในการลดสีและสารมลพิษในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะจะให้ประสิทธิภาพที่ค่อนข้างดีกว่าระบบต่อเนื่องอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะจะมีการไหลวนของน้ำในเครื่องปฏิกรณ์โดยไม่มีการปล่อยทิ้ง จึงมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์มากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษจึงสูง

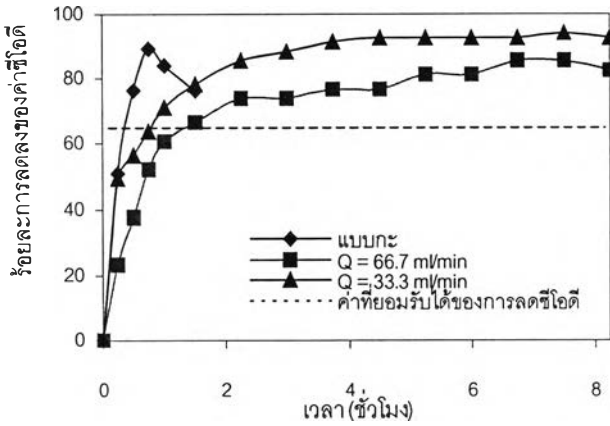
ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีและสารมลพิษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบแบบต่อเนื่องในการทดลองนี้คืออัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 66.7 มิลลิลิตรต่อนาทีเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษที่ใกล้เคียงกับอัตราไหลที่ 33.3 มิลลิลิตรต่อนาทีและมีต้นทุนในการดำเนินงานที่ต่ำกว่า



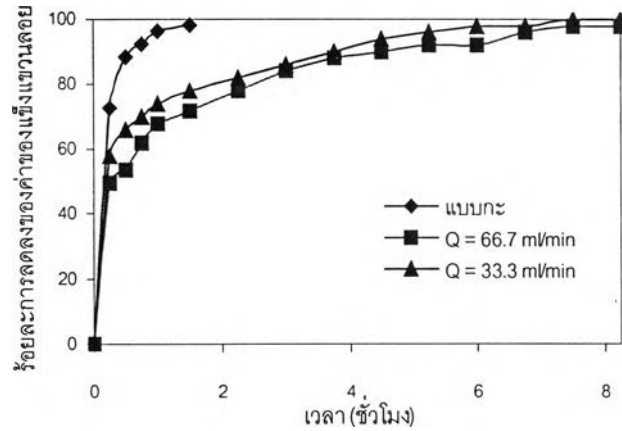
(ก) ร้อยละการลดลงของสี



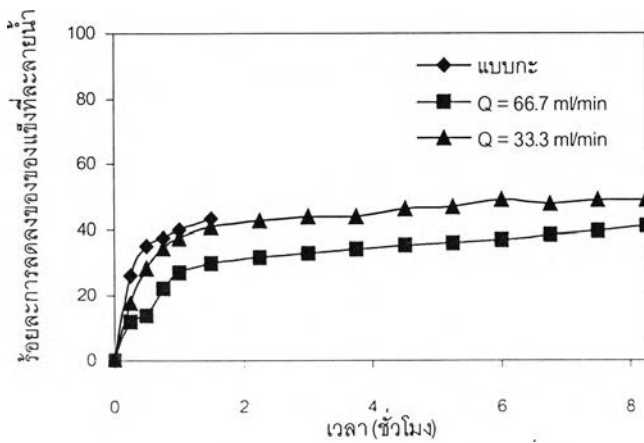
(ข) ร้อยละการลดลงของค่าบีโอดี



(ค) ร้อยละการลดลงของค่าซีโอดี



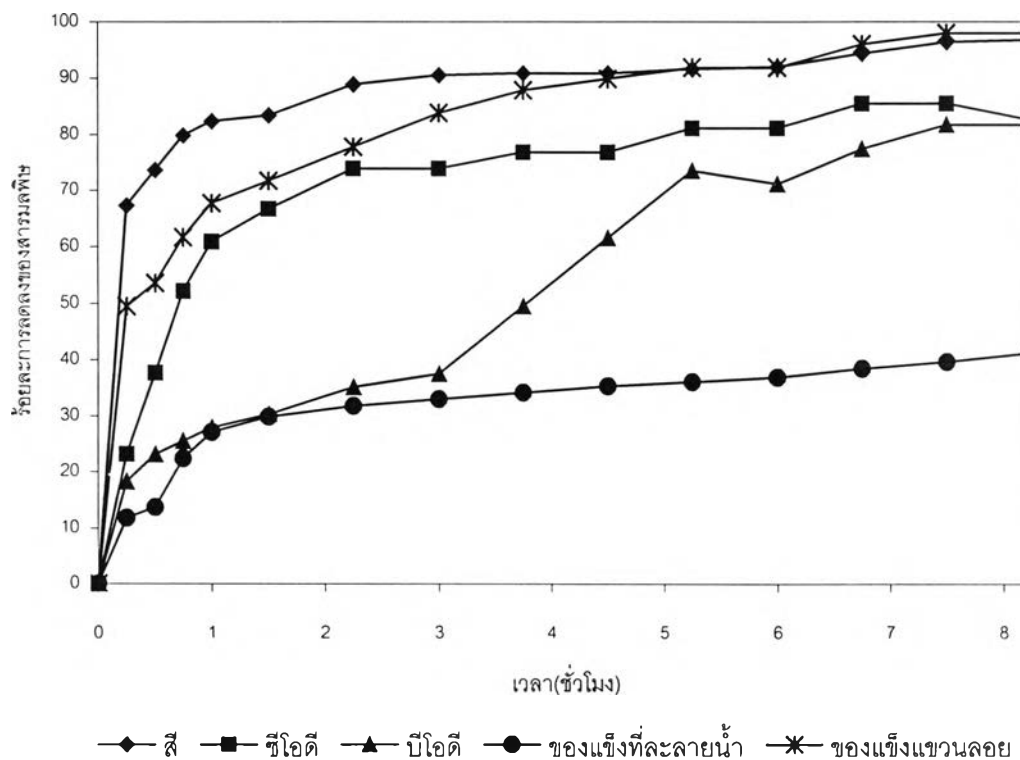
(ง) ร้อยละการลดลงของสารแขวนลอย



(จ) ร้อยละการลดลงของของแข็งที่ละลายน้ำ

รูปที่ 4.12 ร้อยละการกำจัดสีในน้ำเสีย จากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่อัตรา การไหลค่าต่างๆในระบบแบบต่อเนื่อง

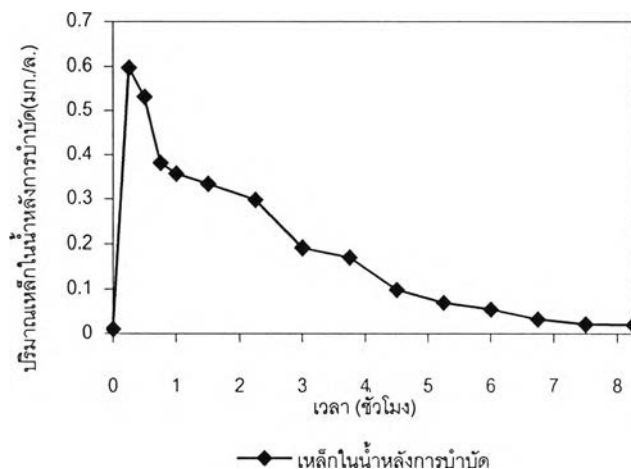
รูปที่ 4.13 แสดงร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษโดยผ่านความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด – เบสเริ่มต้น เท่ากับ 7.58 อัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 66.7 มิลลิลิตรต่อนาที และเวลาในการทดลองเท่ากับ 8 ชั่วโมง 15 นาที พบว่าร้อยละการกำจัดสีและสารมลพิษจะเป็นฟังก์ชันกับเวลาที่ใช้ในการทดลองคือ เมื่อมีระยะเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้น ร้อยละการกำจัดของสี บีโอดี ซีโอดี ของแข็งที่ละลายน้ำ และของแข็งแขวนลอย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มเข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อระยะเวลาในการทดลองประมาณ 1-2 ชั่วโมง แต่ร้อยละการกำจัดบีโอดีจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อเวลาในการทดลองมากกว่า 3 ชั่วโมง และมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อมีระยะเวลาในการทดลองเท่ากับ 5 ชั่วโมง แต่เนื่องจากที่ 1-2 ชั่วโมง สีของน้ำที่มองเห็นด้วยตาเปล่ายังมีสีที่เข้มอยู่ จึงเลือกเวลาในการทดลองเท่ากับ 4 ชั่วโมง 30 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการทดลอง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีสามารถกำจัดได้สูงถึงร้อยละ 90.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดี เท่ากับร้อยละ 76.8 และ 61.5 สำหรับสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ร้อยละ 89.9 และ 35.3 ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้นของสีและสารมลพิษหลังการบำบัดทั้งระบบมีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นบีโอดี



รูปที่ 4.13 ร้อยละการลดสารมลพิษกับเวลาในระบบแบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 66.7 มิลลิลิตรต่อนาที

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบแบบต่อเนื่อง คือที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 อัตราการไหลวนเท่ากับ 2.6 ลิตร/นาที อัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 66.7 มิลลิลิตรต่อนาที และระยะเวลาในการทดลองเท่ากับ 4.5 ชั่วโมง

รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าปริมาณของเหล็กที่อยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ภาวะเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้เหลือเพียง 0.098 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของเหล็กในระดับนี้สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ยังไม่ได้กำหนดระดับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ดังนั้นปริมาณของเหล็กที่เหลือในน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบแบบต่อเนื่อง จะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4.14 ปริมาณของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบต่อเนื่อง ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของสีและสารมลพิษหลังจากการบำบัดที่เวลาต่างๆ ในระบบแบบต่อเนื่อง พบว่ากระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการลดสีและสมบัติอื่นๆ ในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าของบีโอดีซึ่งยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 4 เท่า ซึ่งสามารถบำบัดต่อเนื่องได้โดยการพักไว้ในบ่อเติมอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำเสีย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของสีและสารมลพิษหลังจากการบำบัดที่เวลาต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องหลังการบำบัดด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.7

แอมแปร์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลวน 2.6 ลิตร/นาที ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 7.58 และอัตราการไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 66.7 มิลลิลิตร ต่อนาทีที่เวลาต่างๆ

รายการ	มาตรฐาน ของ ประเทศ ไทย	น้ำก่อน บำบัด	เวลา (ชั่วโมง)													
			0.25	0.5	0.75	1	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 150	247.5	125	115	95	80	70	55	40	30	25	20	20	10	5	5
ของแข็งที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 3,000	1275	1125	1100	990	930	895	870	855	840	825	815	805	785	770	750
ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 400	1097.4	842.9	683.9	524.8	429.4	365.8	286.3	286.3	254.5	254.5	206.8	206.8	159	159	190.8
ค่าบีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 60	624	510	480	465	450	435	405	390	315	240	165	180	141	114	114
สี (หน่วยของ Pt-Co)	ไม่พึง รังเกียจ	1833.4	600	483.3	370	323.3	303.3	203.3	173.3	166.7	166.7	153.3	146.7	103.3	66.7	60
ความเป็นกรด-เบส	7-9	7.58	7.75	7.83	7.82	7.85	7.87	7.90	7.89	7.95	8.05	8.05	8.09	8.10	8.15	8.19