

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการเตรียมไคติน ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

4.1.1 ผลการสกัดไคโตซาน

เปลือกกุ้งอบแห้งปริมาณ 1,022.15 กรัม สามารถสกัดไคตินได้ 557.62 กรัม ปริมาณร้อยละของไคตินเทียบกับเปลือกกุ้งอบแห้งเท่ากับ 54.55 เมื่อนำไคตินปริมาณ 500.00 กรัม ผ่านกระบวนการกำจัดหมู่แอสีทิลออกได้ไคโตซานปริมาณ 361.11 กรัม โดยปริมาณร้อยละไคโตซานเทียบกับไคตินเท่ากับ 72.22 เกล็ดไคตินและไคโตซานที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 โดยลักษณะปรากฏทางสายตาที่แตกต่างกันคือ ไคตินมีสีเข้มกว่าไคโตซาน



รูปที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของไคติน (บน) และไคโตซาน (ล่าง)

4.1.2 สมบัติของไคโตซาน

สมบัติของไคโตซานที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล ความหนืด และระดับการกำจัดหมู่เอซีทิล ได้ผลคือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.8×10^5 คอลตัน ความหนืดมีค่าเท่ากับ 54.6 เซนติพอยต์ และระดับการกำจัดหมู่เอซีทิลจากวิธี Colloidal titration (Amino residue analysis) มีค่าเท่ากับร้อยละ 90.09 ± 4.50 ดังตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบไคโตซานที่สกัดได้กับไคโตซานเชิงการค้า จัดเป็นไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ตารางที่ 4.1 สมบัติของไคโตซาน

สมบัติ	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	งานวิจัยนี้	เอกสาร อ้างอิง	ไคโตซานเชิงการค้า (Aldrich 2003-2004)		
				เกษม (2544)	ชนิด น้ำหนัก โมเลกุลสูง	ชนิด น้ำหนัก โมเลกุล ปานกลาง	ชนิด น้ำหนัก โมเลกุลต่ำ
น้ำหนักโมเลกุล เฉลี่ย	GPC	คอลตัน	$1.8 \times 10^{5,b}$	3.3×10^5	-	-	-
ความหนืด	Brookfield	เซนติ พอยต์	$54.6^{a,b}$	30^a	$800-2,000^a$	$200-800^a$	$20-200^a$
ระดับการกำจัดหมู่ เอซีทิล	Colloidal titration	%	90.09 ± 4.50	-	-	75-85	75-85
	NMR		100^b	94	-	-	-

หมายเหตุ: ^a สารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในสารละลายกรดเอซีติกความเข้มข้นร้อยละ 1

^b ผลการวิเคราะห์โดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

4.2 ผลการหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำหลังการข้อมและน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อม

จากการวัดการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำหลังการข้อมประเภทสีเอซิด สีไคเร็กซ์ สีรีแอกทีฟ และน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อมพบว่า น้ำหลังการข้อมสีเอซิด สีไคเร็กซ์ และสีรีแอกทีฟ มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ณ ความยาวคลื่น 557 513 และ 622 นาโนเมตร ตามลำดับ น้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด บริษัทศิลป์เสณีพาณิชย์จำกัด และหสน.ชนไพศาล

มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ณ ความยาวคลื่น 502 514 และ 513 นาโนเมตร ตามลำดับ (รูปที่ ก.3 ภาคผนวก ก)

4.3 สมบัติของตัวอย่างน้ำจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากโรงงานกรณีศึกษา แสดงผลดังตารางที่ 4.2 สีของตัวอย่างน้ำมีหลายโทนสี ซึ่งลักษณะสีของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมยังไม่มีหน่วยมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัด เพียงแต่ระบุว่าลักษณะสีของน้ำทิ้งต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจ จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของตัวอย่างน้ำ แสดงผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) สารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD และค่าพีเอชของน้ำเสียรวม เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดและ พื้นที่การดูดกลืนแสงได้พีคหลัก ของตัวอย่างน้ำจากโรงงานฟอกย้อม

ที่มา	ประเภทน้ำ	ค่าการดูดกลืนแสง		ลักษณะสี
		สูงสุด	พื้นที่ได้พีคหลัก	
บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีแอซิด	1.3143	1.3650	ดำ
	น้ำเสียรวม	0.1264	0.1456	น้ำตาล
บริษัทศิลปเสณีพาณิชย์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีไคเร็กซ์	0.3542	0.3586	ชมพู
	น้ำเสียรวม	0.1611	0.1847	ม่วงอ่อน
หสน.ธนไพศาล	น้ำหลังการข้อมสีรีแอกทีฟ	2.1117	2.1685	น้ำเงิน
	น้ำเสียรวม	0.1254	0.1428	น้ำตาล

ตารางที่ 4.3 สมบัติของตัวอย่างน้ำจากโรงงานฟอกย้อม (เก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง)

ที่มา	ประเภทน้ำ	pH	สมบัติ		
			BOD (mg /l)	COD (mg /l)	TSS (mg /l)
บริษัทเอเชีย ไฟเบอร์ จำกัด	น้ำหลังการย้อม สีแอสซิด	5.07 - 6.02	225.0 - 432.0	560.0 - 604.0	520.0 - 670.0
	น้ำเสียรวม	7.13 - 7.35	228.0 - 462.0	620.0 - 736.1	120.0 - 140.0
บริษัทศิลปเสนี พาณิชย์ จำกัด	น้ำหลังการย้อม สีไคเร็กซ์	9.85 - 10.05	268.2 - 309.0	605.0 - 653.8	500.0 - 800.0
	น้ำเสียรวม	8.20 - 8.50	102.0 - 258.0	480.3 - 576.8	105.0 - 195.0
หสน.ธนไพศาล	น้ำหลังการย้อม สีรีแอกทีฟ	10.26 - 10.88	414.0 - 620.0	986.0 - 1,096.0	1,260.0 - 1,310.0
	น้ำเสียรวม	10.42 - 11.40	237.0 - 360.0	580.0 - 687.5	150.0 - 192.0

หมายเหตุ: ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

pH มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

BOD ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

COD ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร

TSS ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมจากตัวอย่างน้ำของโรงงานฟอกย้อม

4.4.1 ผลการหาอัตราเร็วและเวลาในการกวนที่เหมาะสม

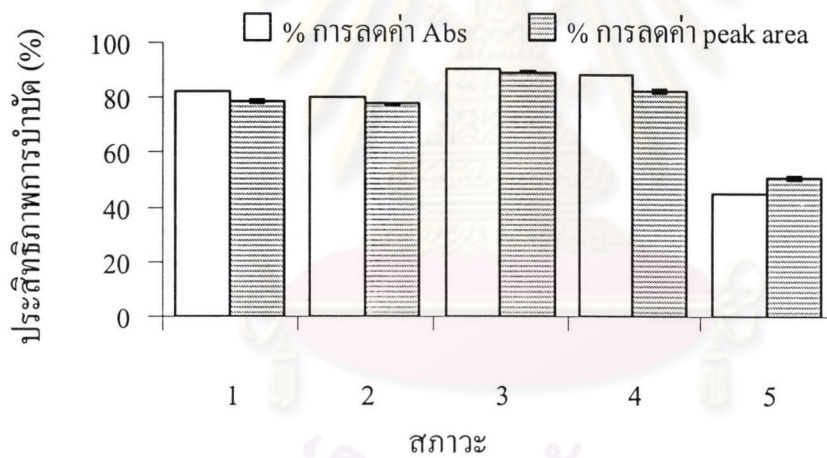
จากการทดสอบอัตราเร็วและเวลาในการกวนที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำหลังการย้อมและน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษา ที่สภาวะต่างๆ ตามตารางที่ 4.4

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำหลังการย้อมสีแอสซิดและสีไคเร็กซ์ คือ สภาวะที่ 3 อัตราเร็วในการกวน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการย้อมสีแอสซิดและสีไคเร็กซ์ เมื่อคิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 90.24 ± 0.36 และ 98.87 ± 0.23 ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละการลดลงของพื้นที่ใต้พีคหลักเท่ากับ 89.06 ± 0.36 และ 89.53 ± 0.66 ตามลำดับ สำหรับสีรีแอกทีฟไม่สามารถบำบัดได้โดยใช้สภาวะทั้ง 5 เนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟของโรงงานกรณีศึกษา ใช้วิธีย้อมแบบจุ่มอัด-หมัก (Cold pad-batch) ซึ่งวิธีนี้ใช้น้ำในการย้อมน้อย คือ อัตราส่วนน้ำ

1 ลิตรต่อผ้า 1 กิโลกรัม ทำให้น้ำหลังการซักมีความเข้มข้นของสีสูง เกินความสามารถในการดูดซับของไคโตซาน

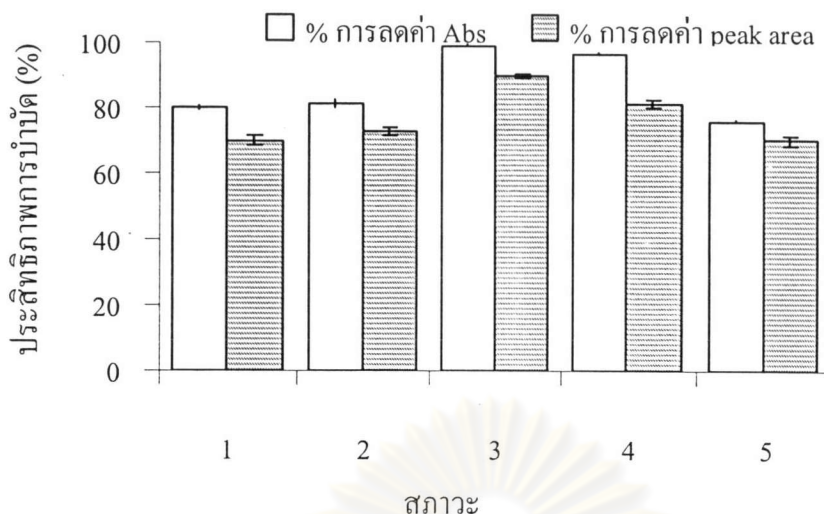
ตารางที่ 4.4 อัตราเร็วและเวลาในการกวนของสภาวะต่างๆ

พารามิเตอร์	สภาวะ				
	1	2	3	4	5
1. อัตราเร็วในการกวน (รอบต่อนาที)	กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที	150	150	80	กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
2. เวลาในการกวน (ชั่วโมง)	เป็นเวลา 5 นาที กวนช้า 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที	1	4	4	กวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที



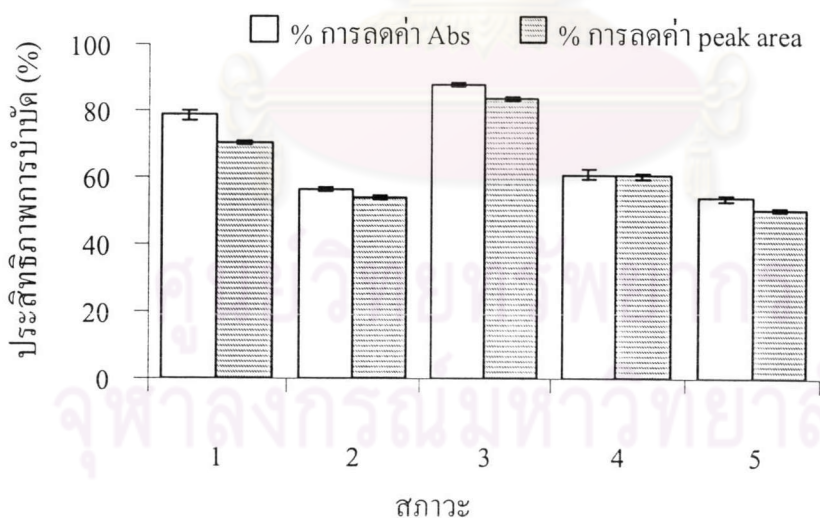
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการซักสีแฉะของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีไดเร็กซ์ของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด

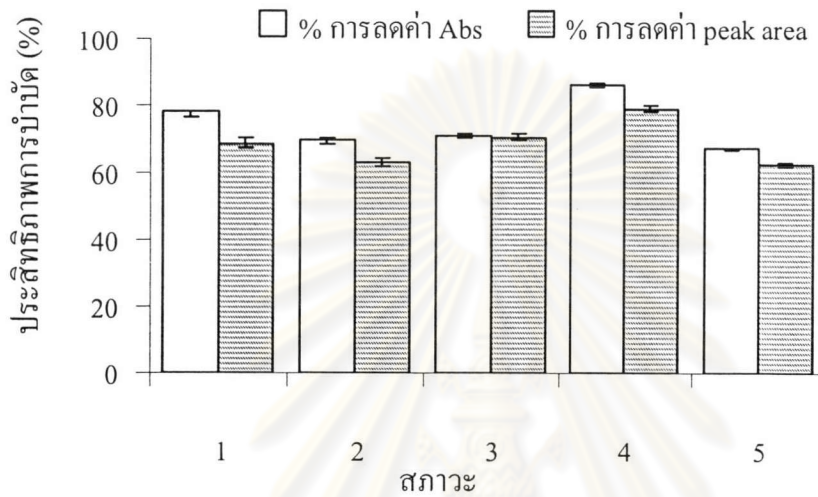
อัตราเร็วและเวลาในการกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด คือ สถานะที่ 3 อัตราเร็วในการกวน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดแสดงดังรูปที่ 4.4 เมื่อคิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 87.89 ± 0.46 และคิดเป็นร้อยละการลดลงของพื้นที่ใต้พีคหลักเท่ากับ 83.69 ± 0.48



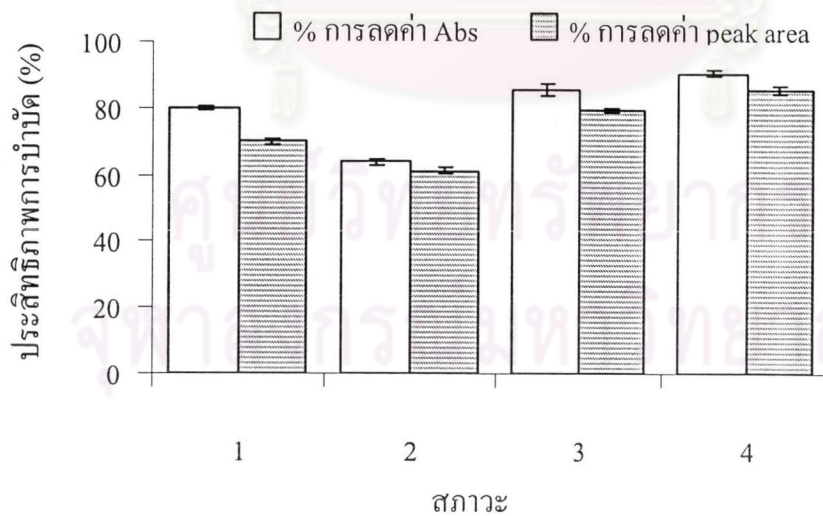
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด

สถานะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียรวมของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด และน้ำเสียรวมของหสน.ชนไพศาล คือสถานะที่ 4 อัตราเร็วในการกวน 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 เมื่อคิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการ

ดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 86.19 ± 0.27 และ 90.39 ± 0.82 ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละการลดลงของพื้นที่ใต้พีคหลักเท่ากับ 79.09 ± 0.89 และ 85.20 ± 1.21 ตามลำดับ โดยสถานะที่ 5 ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียรวมของหสน.ชนไพศาล เนื่องจากในวิธีการบำบัดของสถานะที่ 5 กำหนดให้ไม่มีการปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำก่อนการบำบัด ในขณะที่น้ำเสียรวมของหสน.ชนไพศาลมีค่าพีเอชในช่วง 10.89 ± 0.49 ทำให้โคโคซานไม่สามารถดูดซับสีย้อมได้



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทศิปปเสนิพาณิชย์ จำกัด



หมายเหตุ: สถานะที่ 5 ไม่สามารถบำบัดได้

รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของ หสน.ชนไพศาล

จากตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมและน้ำเสียรวม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสูงกว่าน้ำเสียรวม เนื่องจากน้ำเสียรวมของโรงงานมีสีข้อมหลายประเภทและ โทนสีต่างๆปะปนกัน รวมทั้งสารอินทรีย์ด้วย ทำให้เกิดการแย่งขันดูดซับบนโคโคซาน

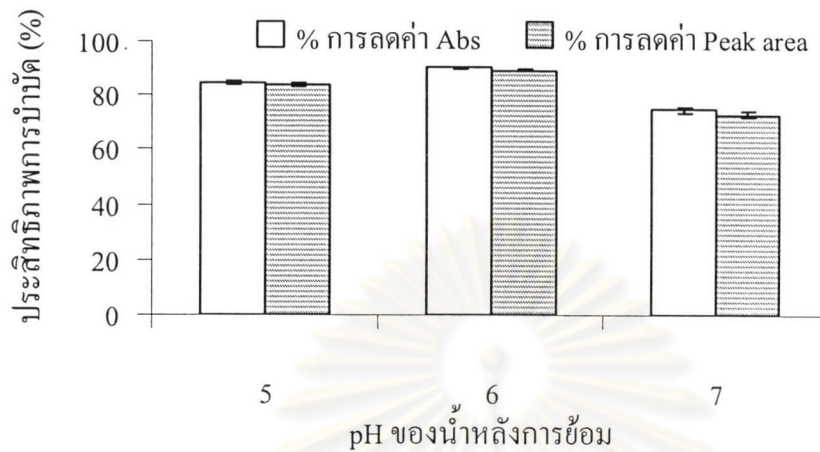
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อม ณ อัตราเร็วและเวลาในการกวนที่ดีที่สุด

ที่มา	ประเภทน้ำ	อัตราเร็ว/เวลาในการกวน	ประสิทธิภาพการบำบัด	
			ร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	ร้อยละการลดลงของพื้นที่ได้ฟักหลัก
บริษัทเอเชีย ไฟเบอร์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีแอสซิด	150 rpm /4 ชม.	90.24 ± 0.36	89.06 ± 0.36
	น้ำเสียรวม	150 rpm /4 ชม.	87.89 ± 0.46	83.69 ± 0.48
บริษัทซิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีโคเร็กซ์	150 rpm /4 ชม.	98.87 ± 0.23	89.53 ± 0.66
	น้ำเสียรวม	80 rpm /4 ชม.	86.19 ± 0.27	79.09 ± 0.89
หสน.ธนไพศาล	น้ำหลังการข้อมสีรีแอกทีฟ	-	-	-
	น้ำเสียรวม	80 rpm /4 ชม.	90.39 ± 0.82	85.20 ± 1.21

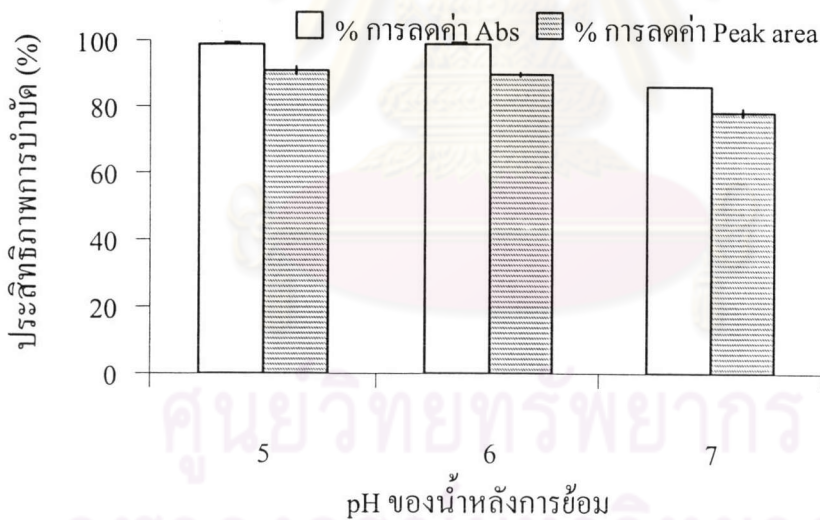
4.4.2 ผลการหาพีเอชที่เหมาะสม

จากการศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้ปริมาณเกลือโคโคซาน อัตราเร็วในการกวนและเวลากวน ตามข้อ 4.4.1 ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 พบว่าน้ำหลังการข้อมสีแอสซิด น้ำหลังการข้อมสีโคเร็กซ์และน้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด ต้องปรับพีเอชเท่ากับ 6 ทำให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด เมื่อคิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 90.24±0.36 98.87±0.23 และ 87.89±0.46ตามลำดับ ร้อยละการลดลงของพื้นที่ได้ฟักหลักเท่ากับ 89.06±0.36 89.53±0.66 และ 83.69±0.48 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียรวมของบริษัทซิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด และน้ำเสียรวมของหสน.ธนไพศาล แสดงผลดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่า ต้องปรับพีเอชเท่ากับ 5 ทำให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด เมื่อคิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 86.19±0.27 และ 90.39±0.82 ตามลำดับ ร้อยละการลดลงของพื้นที่ได้ฟักหลักเท่ากับ 79.09±0.89 และ 85.20±1.21 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมเกิดขึ้นได้ดี เมื่อปรับค่าพีเอชเป็นกรด เนื่องจากสภาวะเป็นกรดทำให้

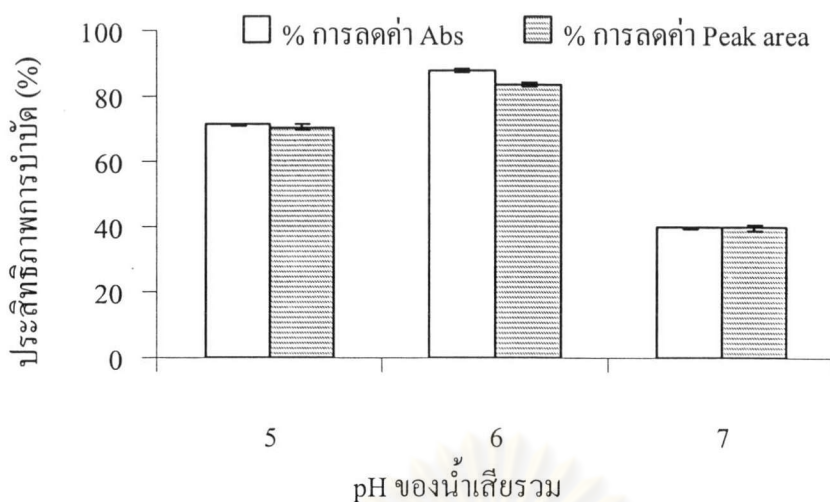
หมู่แอมิโน (NH_2) ของไคโตซานถูกโปรโตเนต (NH_3^+) ทำให้สามารถจับประจุลบ (SO_3^-) ของสีข้อมได้ (Wong et al, 2003) และประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น



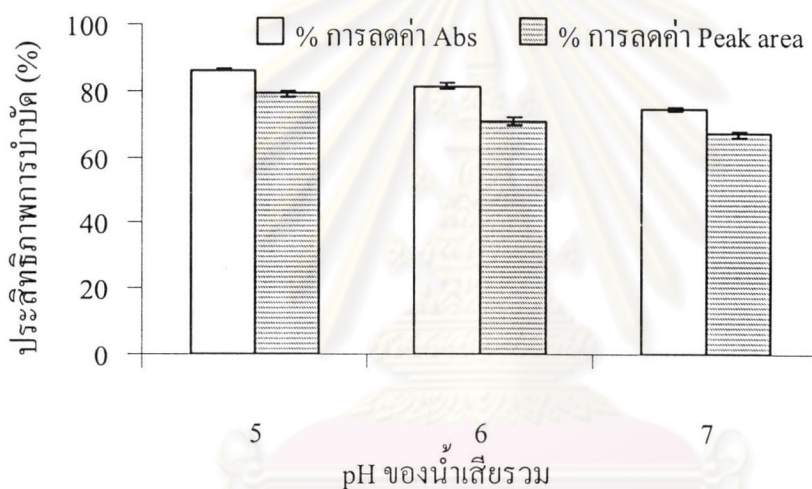
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีแอซิดของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด ณ พีเอช ต่างๆ



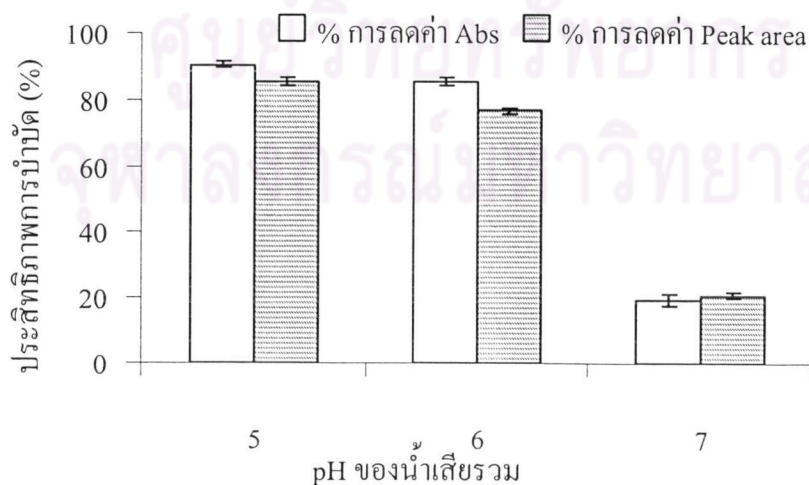
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีไคเร็กซ์ของบริษัทซิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด ณ พีเอช ต่างๆ



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด ณ พีเอช ต่างๆ



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด ณ พีเอช ต่างๆ



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของหสน.ชนไพศาล ณ พีเอช ต่างๆ

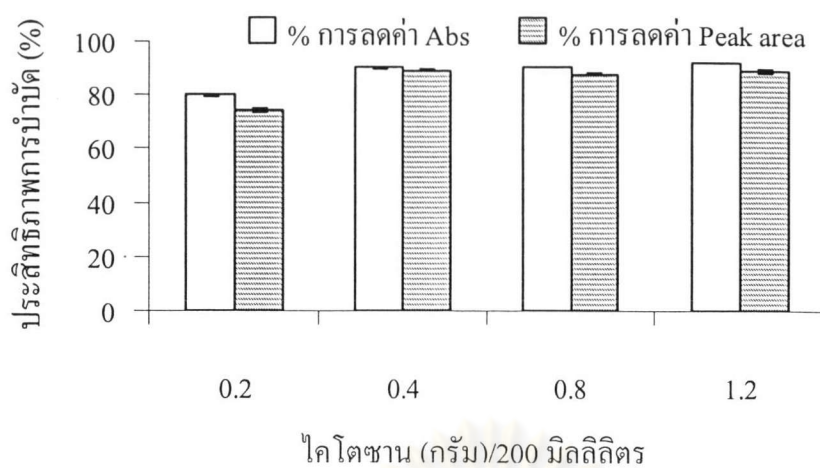
4.4.3 ผลการหาปริมาณเกลือโคโคซานที่เหมาะสม

ปริมาณเกลือโคโคซานที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีแอสิดน้ำหลังการข้อมสีไคเร็กซ์ น้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด และน้ำเสียรวมของหสน.รณไพศาล จำกัด แสดงผลดังรูปที่ 4.12 4.13 4.14 และ 4.16 พบว่า ปริมาณเกลือโคโคซานที่เหมาะสมคือ 0.4 กรัมต่อน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร โคลโคซานสามารถดูดซับสีข้อมได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 90.24 ± 0.36 98.87 ± 0.23 87.89 ± 0.45 และ 90.39 ± 0.82 ตามลำดับ และร้อยละการลดลงของพื้นที่ได้ฟีกหลักเท่ากับ 89.06 ± 0.36 89.53 ± 0.66 83.69 ± 0.48 และ 85.20 ± 1.21 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียรวมของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ แสดงผลดังรูปที่ 4.15 พบว่า ปริมาณเกลือโคโคซานที่เหมาะสมคือ 0.2 กรัมต่อน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร โคลโคซานสามารถดูดซับสีข้อมได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดและร้อยละการลดลงของพื้นที่ได้ฟีกหลักเท่ากับ 84.72 ± 0.60 และ 77.16 ± 0.92 ตามลำดับ ลักษณะสีของน้ำหลังการบำบัดแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งส่วนใหญ่ได้น้ำใสไม่มีสี ทั้งสู่สิ่งแวดล้อมได้ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ

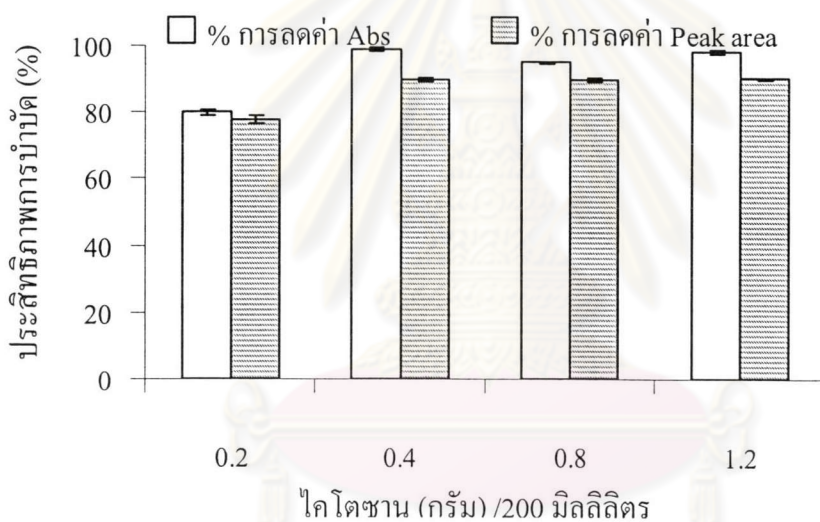
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมกับงานวิจัยของ รัตนา รุจิรวนิช (2543) ซึ่งใช้โคลโคซานที่มีร้อยละการกำจัดหมู่แอสีทิลเท่ากับ 71.08 ขนาด 425-710 μm สามารถบำบัดสีข้อมประเภทสีแอสิดและสีไคเร็กซ์ เมื่อคิดเป็นร้อยละการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 71.94 และ 94.04 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโคลโคซานของงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีสูงกว่า เนื่องจากมีร้อยละการกำจัดหมู่แอสีทิลสูงกว่า (90.1 ± 4.5 โดยวิธี Colloidal titration)

อย่างไรก็ตาม การทดลองใช้เกลือโคโคซานเป็นสารดูดซับสีข้อมในน้ำหลังการข้อมและน้ำเสียรวมของโรงงานกรณีศึกษา มีข้อดีและข้อเสีย แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

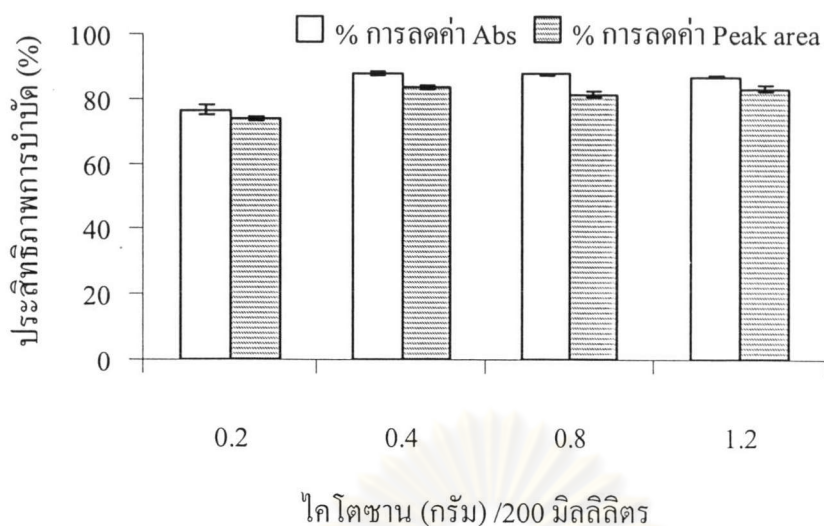


รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีแอสิดของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด ณ ปริมาณไคโตซาน ต่างๆ

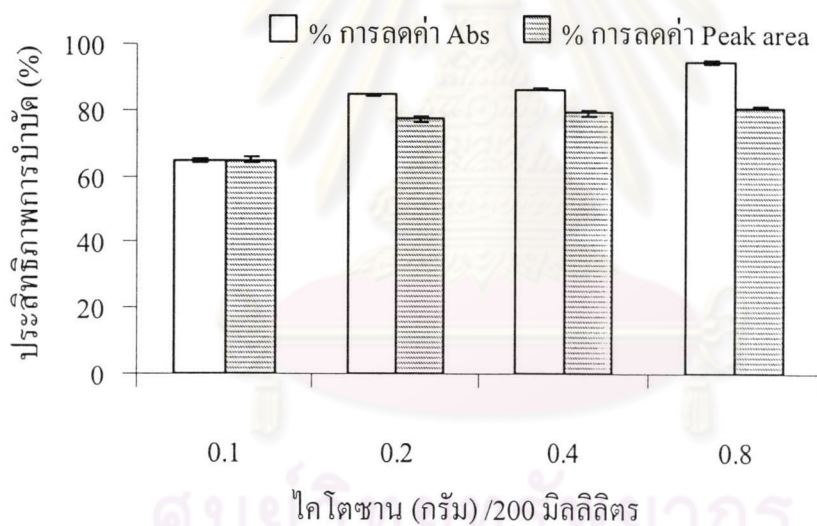


รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีไคเร็กซ์ของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด ณ ปริมาณไคโตซานต่างๆ

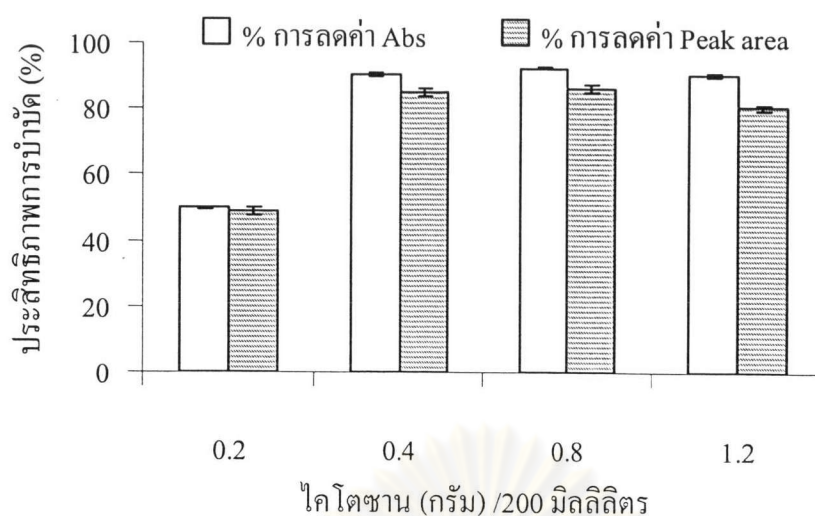
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด ณ ปริมาณโคโคซานต่างๆ



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด ณ ปริมาณโคโคซานต่างๆ



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียรวมของ หสน.รณไพศาล ณ ปริมาณไคโตซาน ต่างๆ

ตารางที่ 4.6 ลักษณะสีของน้ำหลังการบำบัดด้วยเกลือไคโตซาน

ที่มา	ประเภทน้ำ	ลักษณะสี	
		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด
บริษัทเอเชีย ไฟเบอร์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีแอซิด	ดำ	ไม่มีสี
	น้ำเสียรวม	น้ำตาล	ไม่มีสี
บริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีไคเร็กซ์	ชมพู	ไม่มีสี
	น้ำเสียรวม	ม่วงอ่อน	ไม่มีสี
หสน.รณไพศาล	น้ำหลังการข้อมสีรีแอกทีฟ	น้ำเงิน	น้ำเงิน
	น้ำเสียรวม	น้ำตาล	ไม่มีสี

ตารางที่ 4.7 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ไคโตซานบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> มีประสิทธิภาพการกำจัดสีออกจากน้ำเสียสูง ใช้ปริมาณไคโตซานน้อย (2 กรัม ไคโตซานต่อ ปริมาตรน้ำเสีย 1 ลิตร) ระยะเวลาในการบำบัดต่อรอบสั้น (4 ชั่วโมงต่อรอบ) 	<ol style="list-style-type: none"> ไม่สามารถบำบัดน้ำหลังการข้อมที่ใช้วิธีการข้อมแบบ Cold pad batch ใช้ปริมาณสารเคมีมากในการปรับ pH ของตัวอย่างน้ำให้มีสภาพกรดก่อนการบำบัด ซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่มีสภาพเป็นด่าง

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมจากตัวอย่างน้ำของโรงงานฟอกย้อมตามข้อ 4.4.1 4.4.2 และ 4.4.3 สามารถสรุปดังตารางที่ 4.8 และตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดตามสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว ยังได้รับการทดสอบหาคุณภาพน้ำอื่นๆ ในหัวข้อต่อไป

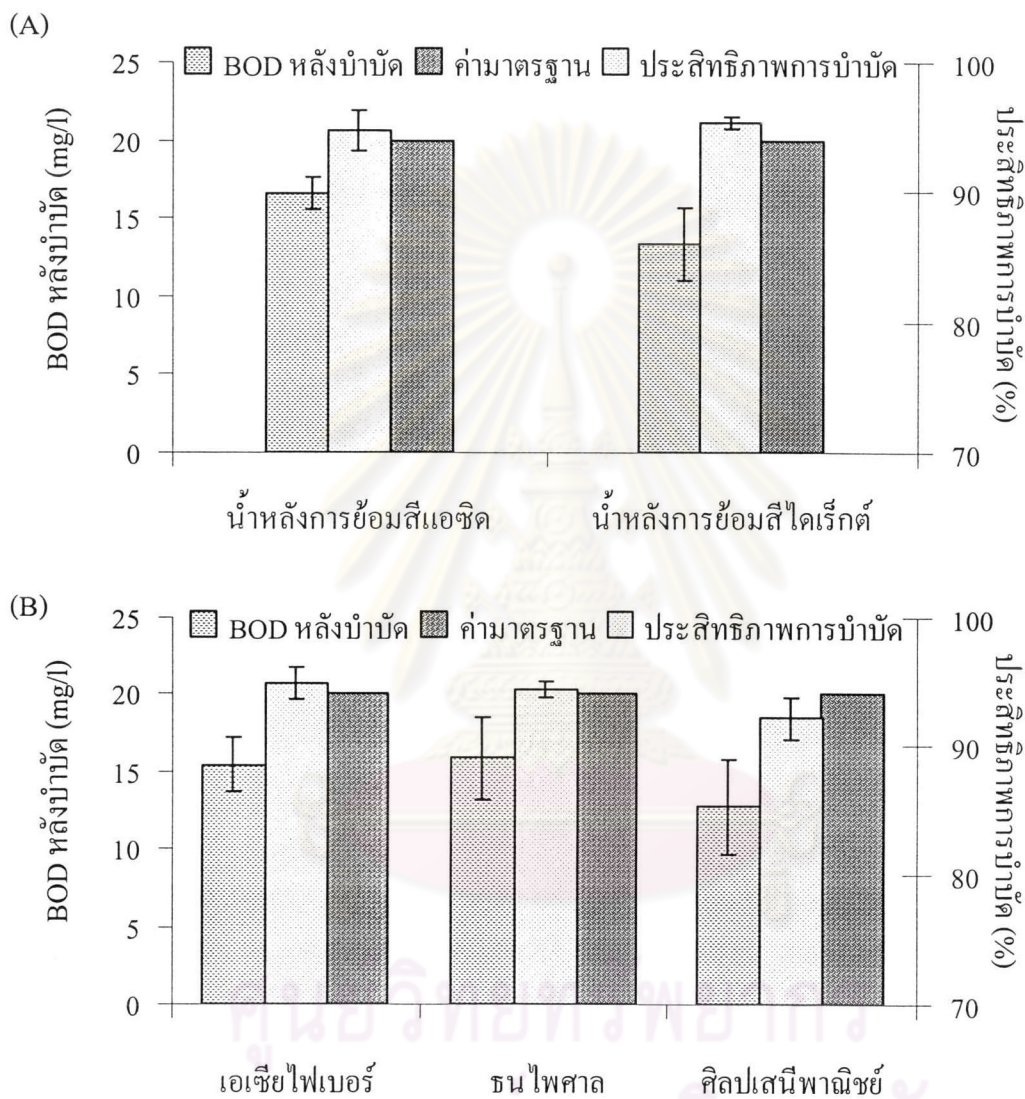
ตารางที่ 4.8 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดสีย้อม

ที่มา	ประเภทน้ำ	สภาวะ			
		พีเอช	ปริมาณโคโคซาน (g) ต่อปริมาตรน้ำ 200 ml	อัตราเร็วในการ กวน (รอบต่อนาที)	เวลาในการ กวน (ชั่วโมง)
1. บริษัทเอเชีย ไฟเบอร์ จำกัด	น้ำหลังการย้อม สีแอสซิด	6	0.4	150	4
	น้ำเสียรวม	6	0.4	150	4
2. บริษัทศิลป เสนีพาณิชย์ จำกัด	น้ำหลังการย้อม สีไดเร็กต์	6	0.4	150	4
	น้ำเสียรวม	5	0.2	80	4
3. หสน.ธน ไพศาล	น้ำหลังการย้อม สีรีแอกทีฟ	-	-	-	-
	น้ำเสียรวม	5	0.4	80	4

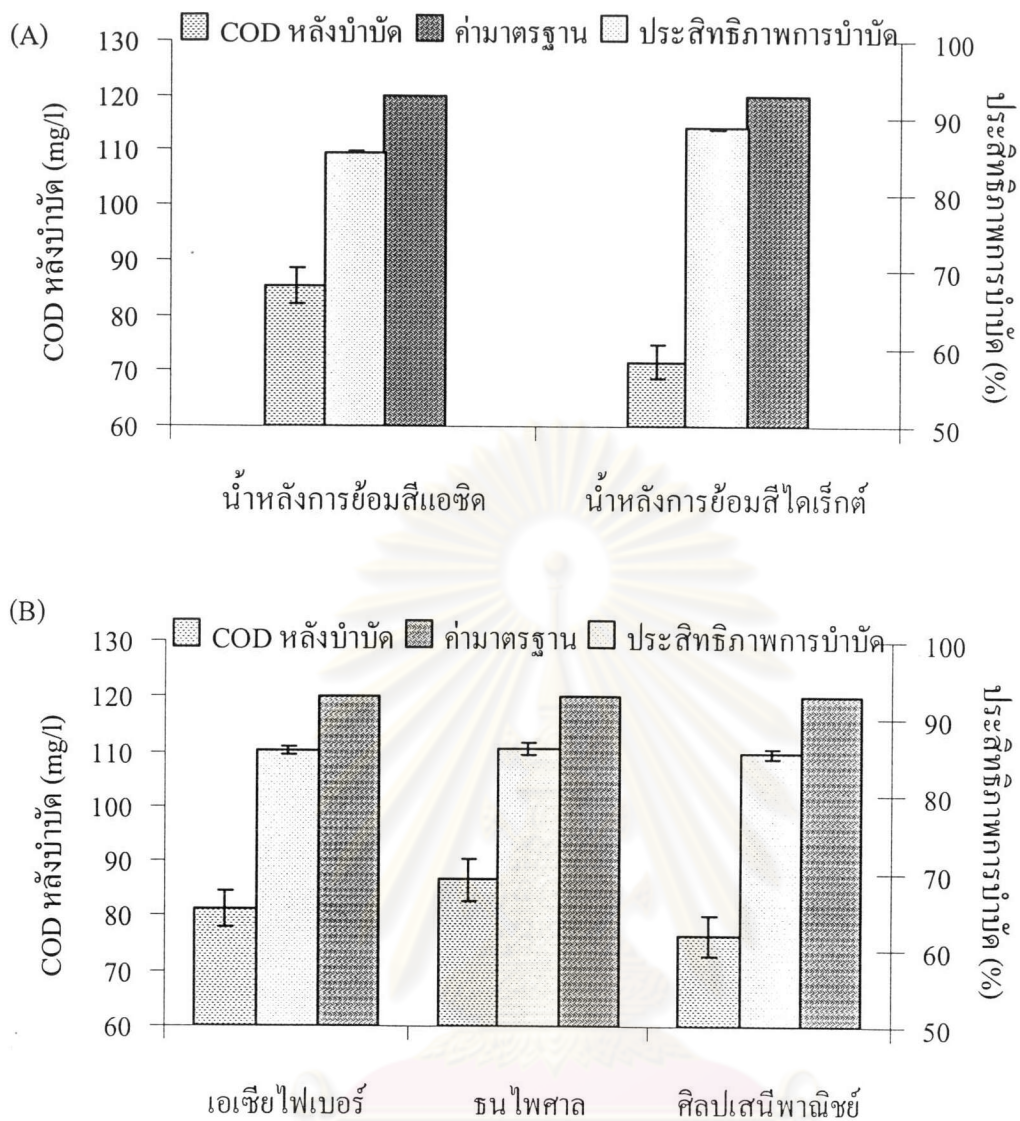
4.5 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำหลังจากการบำบัดด้วยเกลือโคโคซาน

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า BOD COD TSS และพีเอช ในน้ำหลังการย้อมและน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อม หลังการบำบัดด้วยเกลือโคโคซาน โดยทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงผลดังรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 พบว่า โคโคซานสามารถลดค่า BOD COD และ TSS ของน้ำหลังการย้อมให้อยู่ในช่วง 13.34 – 16.60 71.70 – 85.26 และ 26.33 – 34.23 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 94.72 – 95.38 85.40 – 88.55 และ 94.21 – 95.94 ตามลำดับ และลดค่า BOD COD และ TSS ของน้ำเสียรวมให้อยู่ในช่วง 12.75 – 15.83 76.60 – 86.67 11.70 – 18.31 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 92.14 – 94.79 85.49 – 86.19 และ 89.48 – 92.15 ตามลำดับ ตารางที่ 4.9 แสดงค่าพีเอชหลังการบำบัดอยู่ในช่วง 5.99 – 7.36 โดยปริมาณ BOD COD TSS และพีเอชที่วิเคราะห์ได้ มีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค) เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยเกลือโคโคซานและวิธีการบำบัดของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษา (ตัวอย่างน้ำที่ใช้คือ น้ำเสียรวม) แสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าคุณภาพน้ำหลังการบำบัดโดย

โคโคซานมีคุณภาพดีกว่าและการเบี่ยงเบนน้อยกว่า การลดลงของสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอย อธิบายได้ว่า โคโคซานซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวกสามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้สารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพอยู่ในสถานะแขวนลอยในน้ำถูกทำลายและจับตัวกันเป็นก้อน (Floc) ตกตะกอนลงมา (Huang et al. 1996)

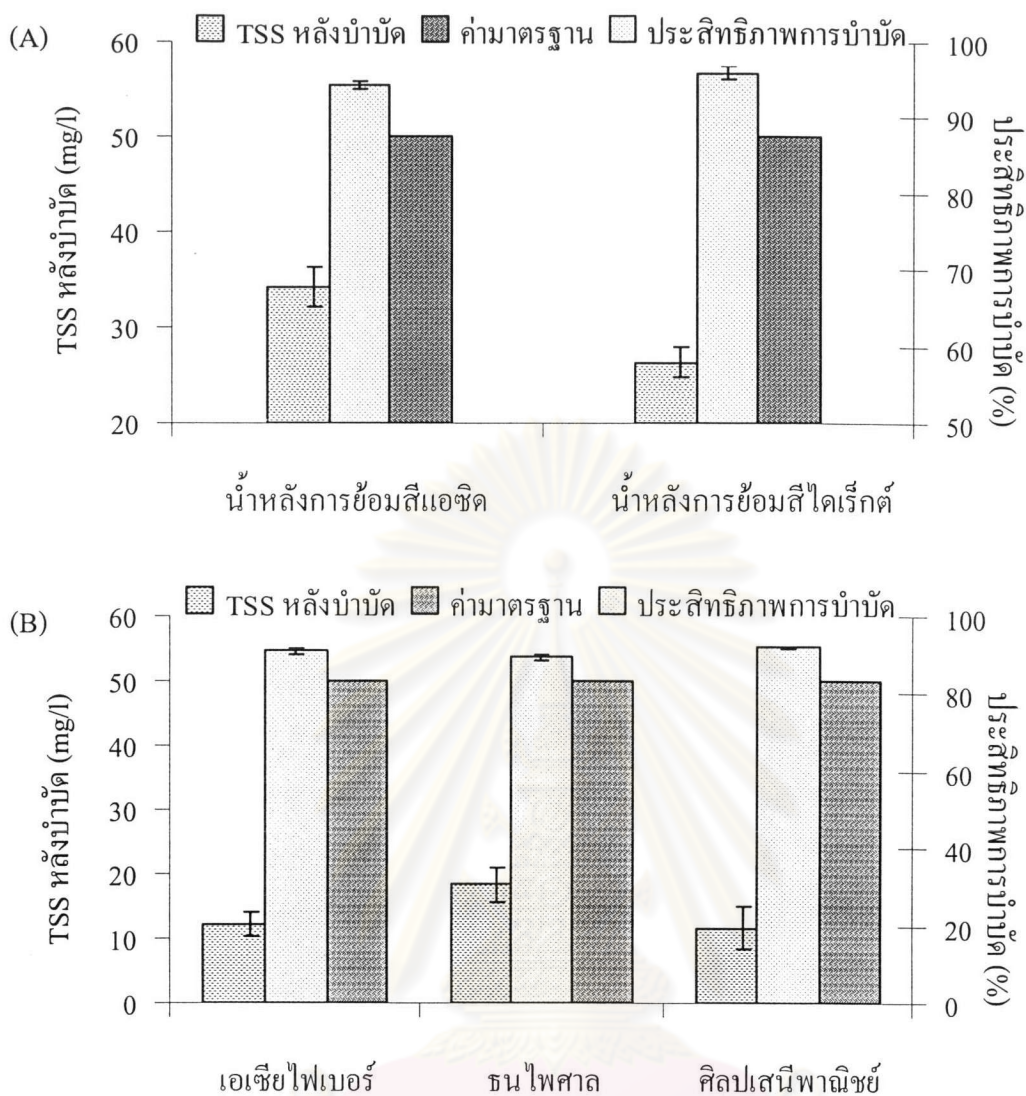


รูปที่ 4.17 การลดค่า BOD ของน้ำหลังการข้อม (A) และ น้ำเสียรวม (B) ของโรงงานกรณีศึกษา
หมายเหตุ: น้ำหลังการข้อมของหสน.ชนไพศาลไม่สามารถบำบัดได้



รูปที่ 4.18 การลดค่า COD ของน้ำหลังการย้อม (A) และ น้ำเสียรวม (B) ของโรงงานกรณีศึกษา
หมายเหตุ: น้ำหลังการย้อมของหสน.ธนไพศาลไม่สามารถบำบัดได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 การลดค่า TSS ของน้ำหลังการข้อม (A) และ น้ำเสียรวม (B) ของโรงงานกรณีศึกษา
หมายเหตุ: น้ำหลังการข้อมของหสน.ชนไพศาลไม่สามารถบำบัดได้

ตารางที่ 4.9 ค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำของโรงงานฟอกข้อมหลังการบำบัดด้วยเกลือโคโคซาน

ที่มา	ประเภทน้ำ	ค่าพีเอช		ค่ามาตรฐาน
		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	
1. บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีแอซิด	6.00±0.01	5.99±0.04	ไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
	น้ำเสียรวม	6.02±0.04	6.57±0.01	
2. บริษัทศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด	น้ำหลังการข้อมสีไดเรกต์	6.02±0.05	7.09±0.01	9.0
	น้ำเสียรวม	5.04±0.05	7.36±0.03	
3. หสน.ชนไพศาล	น้ำหลังการข้อมสีรีแอกทีฟ	-	-	-
	น้ำเสียรวม	5.02±0.03	6.84±0.01	

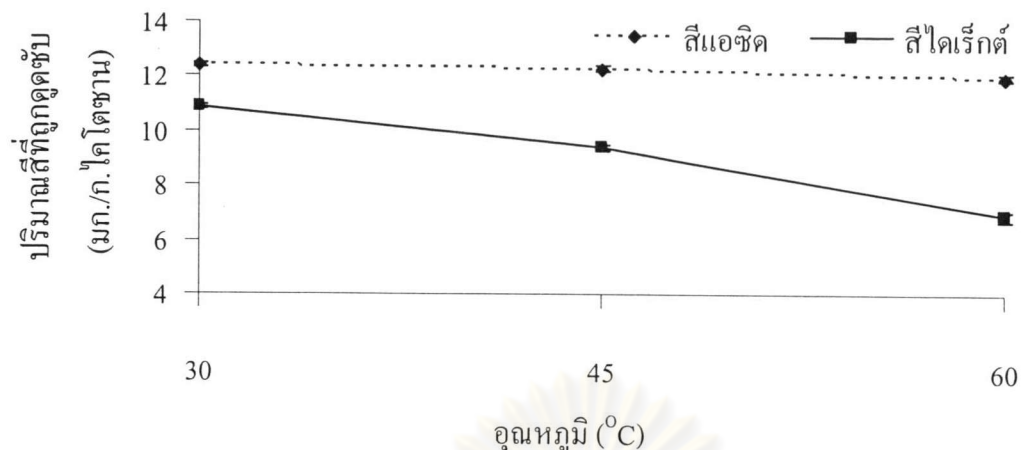
ตารางที่ 4.10 คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยเกลือโคโคซานและการบำบัดของโรงงานฟอกย้อม

คุณภาพน้ำ	บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด		บริษัทสีปเสณีพาณิชย์ จำกัด		หสน.ธนไพศาล		ค่ามาตรฐาน
	งานวิจัยนี้	ตกตะกอนด้วยสารเคมี	งานวิจัยนี้	ระบบเอส	งานวิจัยนี้	ระบบเอส	
1. BOD (mg/l)	13.8 - 17.3	17.0 - 48.5	9.8 - 15.5	13.0 - 15.0	12.9 - 18.1	3.3 - 3.6	20
2. COD (mg/l)	78.0 - 84.5	90.6 - 125.4	73.3 - 80.4	98.0 - 256.0	84.0 - 91.0	114.0 - 152.0	120
3. TSS (mg/l)	10.0 - 13.7	10.2 - 13.9	8.6 - 15.0	3.0 - 18.0	15.3 - 20.5	4.4 - 17.0	50
4. pH	6.4 - 6.5	6.3 - 7.3	6.8 - 7.1	7.7 - 9.5	6.5 - 6.6	8.7 - 8.9	ไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

หมายเหตุ: สุ่มตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง

4.6 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการบำบัดสีย้อม

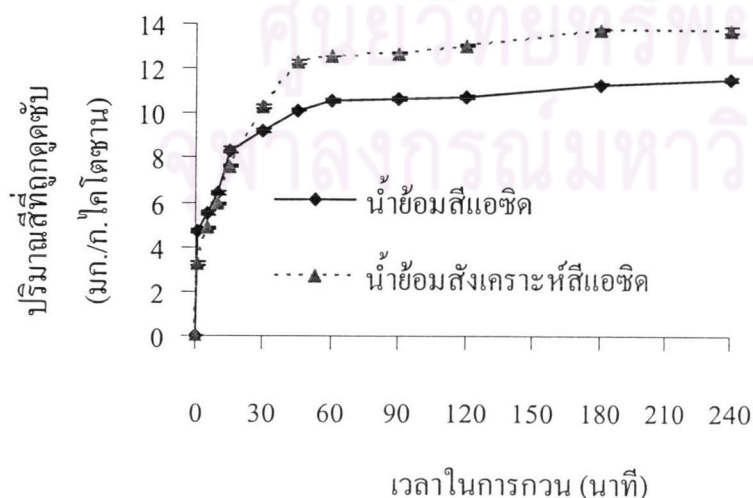
รูปที่ 4.20 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการบำบัดน้ำหลังการย้อมสีแอซิด และสีไดเร็กต์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส ความสามารถของโคโคซานในการดูดซับสีแอซิด เท่ากับ 12.39 12.27 และ 11.98 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และในการดูดซับสีไดเร็กต์ เท่ากับ 10.84 9.38 และ 6.89 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมลดลง เนื่องจากการดูดซับสีย้อมของโคโคซานเป็นการจับระหว่างหมู่ที่มีประจุลบ (SO_3^-) ของสีย้อมกับหมู่ที่มีประจุบวก (NH_3^+) ของโคโคซานซึ่งเป็นแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยปกติแรงดึงดูดนี้อ่อนแรงลง ทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง โดยโมเลกุลสีย้อมหลุดออกจากตัวดูดซับเข้าไปใน Bulk phase อีกครั้ง จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปฏิกิริยาการดูดซับสีแอซิดและสีไดเร็กต์ของโคโคซาน เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และเมื่อนำโคโคซานไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมควรลดถึงอุณหภูมิของน้ำเสียลงให้เท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ (30 องศาเซลเซียส โดยประมาณ)



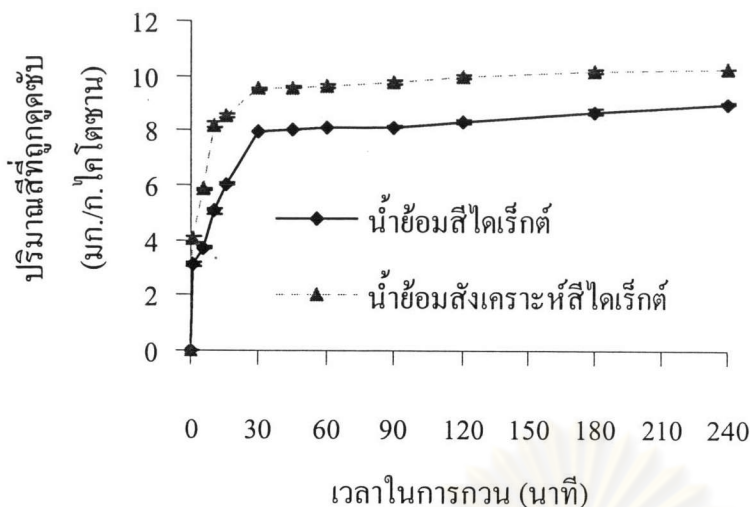
รูปที่ 4.20 ปริมาณการดูดซับสีย้อมประเภทสีเอซิด และสีไคเร็กต์ ณ อุณหภูมิต่างๆ

4.7 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

รูปที่ 4.21 แสดงผล ปริมาณสีย้อมที่ถูกลด ณ เวลาในการกวนต่างๆ ของน้ำหลังการย้อมสีเอซิดของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด และน้ำย้อมสังเคราะห์สีเอซิด รูปที่ 4.22 แสดงผลปริมาณสีย้อมที่ถูกลด ณ เวลาในการกวนต่างๆ ของน้ำหลังการย้อมสีไคเร็กต์ของบริษัทศิลปเสณีพาณิชย์ และน้ำย้อมสังเคราะห์สีไคเร็กต์ พบว่า การดูดซับสีย้อมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกของการกวน โดยน้ำหลังการย้อมสีเอซิดของบริษัทเอเชียไฟเบอร์และน้ำย้อมสังเคราะห์สีเอซิด การดูดซับเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการกวน 60 และ 45 นาที ตามลำดับ สำหรับน้ำหลังการย้อมสีไคเร็กต์ของบริษัทศิลปเสณีพาณิชย์ จำกัด และน้ำย้อมสังเคราะห์สีไคเร็กต์ การดูดซับเริ่มคงที่ เมื่อเวลาในการกวน 45 และ 30 นาที ตามลำดับ

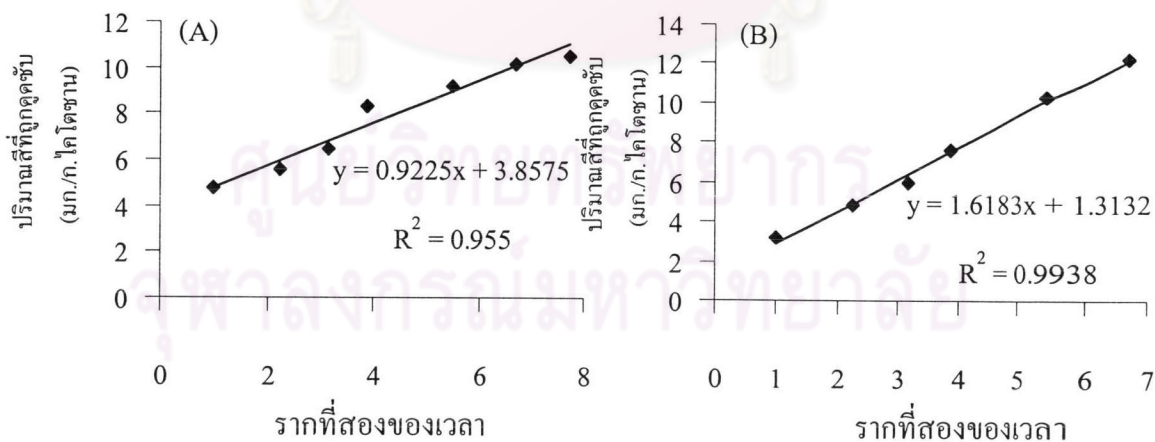


รูปที่ 4.21 ปริมาณสีเอซิดที่ถูกลด ณ เวลาในการกวนต่างๆ

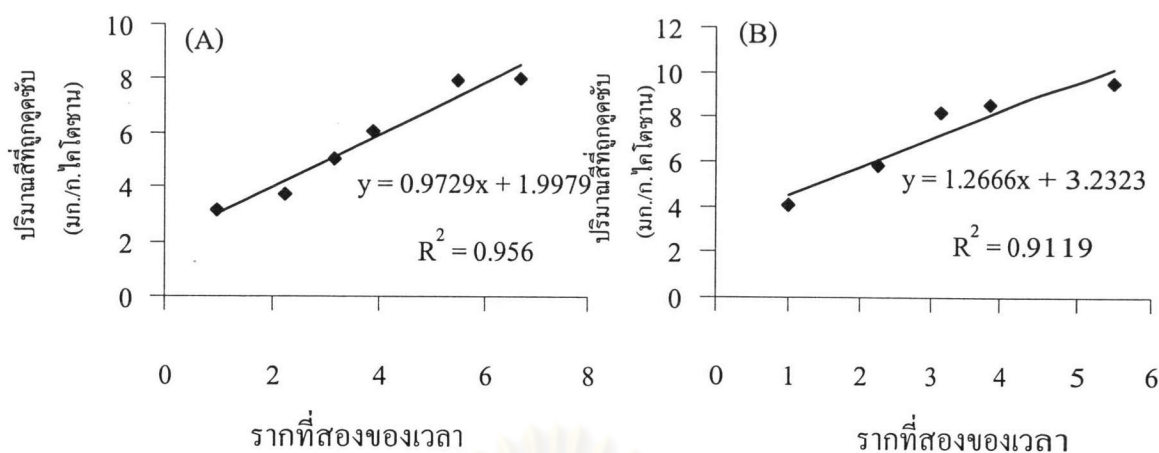


รูปที่ 4.22 ปริมาณสีไคเร็กซ์ที่ถูกดูดซับ ณ เวลาในการกวนต่างๆ

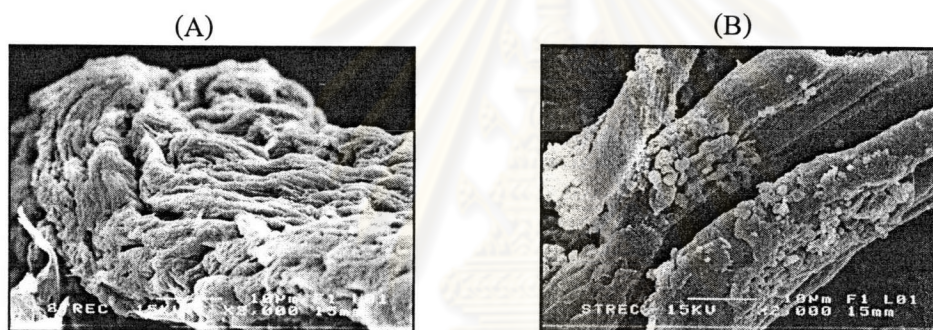
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดซับกับเวลาที่สองของเวลา แสดงดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งได้เป็นเส้นตรง แสดงว่าขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับคือ ขั้นตอน Intraparticle diffusion แต่จากการศึกษาลักษณะตะกอนไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังรูปที่ 4.25 ไม่เห็นอนุภาคในช่องว่าง แต่เห็นเป็นคราบสารมลทินบนผิวไคโตซาน เนื่องจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตของประจุตรงข้ามกัน ดังนั้นสำหรับไคโตซานควรเรียกขั้นตอนนี้ใหม่ว่า Electrostatic Attraction Transport



รูปที่ 4.23 ปริมาณสีเอซิดที่ถูกดูดซับจากน้ำหลังการย้อมบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด (A) และน้ำย้อมสังเคราะห์ (B)



รูปที่ 4.24 ปริมาณสีไคเร็กซ์ที่ถูกดูดซับจากน้ำหลังการข้อมบริษัทศิลปะเสนีพาณิชย์ จำกัด (A) และน้ำข้อมสังเคราะห์ (B)



รูปที่ 4.25 ภาพขยายพื้นผิวของไคโตซานเมื่อดูด้วยกล้อง SEM ก่อนการบำบัดกับน้ำหลังการข้อมของโรงงานฟอกข้อม (A) และหลังการบำบัดกับน้ำหลังการข้อมของโรงงานฟอกข้อม (B)

อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา (k) โดยคิดจากความชันของกราฟในรูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงในตารางที่ 4.11 โดยมีอัตราเร็วการดูดซับสีแอสิดในน้ำหลังการข้อมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด และน้ำข้อมสังเคราะห์สีแอสิด เท่ากับ 0.9225 และ 1.6183 $\text{mg/g}\cdot\text{min}^{1/2}$ ตามลำดับ สำหรับอัตราเร็วการดูดซับสีไคเร็กซ์ในน้ำหลังการข้อมของบริษัทศิลปะเสนีพาณิชย์ จำกัด และน้ำข้อมสังเคราะห์สีไคเร็กซ์ เท่ากับ 0.9729 และ 1.2666 $\text{mg/g}\cdot\text{min}^{1/2}$ ตามลำดับ เห็นได้ว่าอัตราเร็วการดูดซับสีข้อมในน้ำหลังการข้อมของโรงงานฟอกข้อมมีค่าน้อยกว่าน้ำข้อมสังเคราะห์ เนื่องจากกระบวนการข้อมผ้ามีการเติมสารช่วยข้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ซึ่งไอออนของ Cl^- และ SO_4^{2-} สามารถแย่งจับกับหมู่ NH_3^+ ของไคโตซานได้ ทำให้จำนวนประจุบวกของไคโตซานที่สามารถจับกับหมู่ SO_3^- ของสีข้อมลดลง

ตารางที่ 4.11 อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในการดูดซับสีแอสซิดและสีไครีคต์ด้วยเกลือโคโคซาน

ประเภทน้ำ	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	สีแอสซิด			สีไครีคต์		
		k_1 (mg/g-min ^{1/2})	t_{lim} (min)	R^2	k_1 (mg/g-min ^{1/2})	t_{lim} (min)	R^2
น้ำหลังการข้อมสีแอสซิดของบริษัท เอเชียไฟเบอร์ จำกัด	26.24	0.9225	60	0.9550			
น้ำข้อมสังเคราะห์สีแอสซิด	30.43	1.6183	45	0.9938			
น้ำหลังการข้อมสีไครีคต์ของบริษัท ศิลปะเน็พทอซ จำกัด	19.41				0.9729	45	0.9560
น้ำข้อมสังเคราะห์สีไครีคต์	20.97				1.2666	30	0.9119

หมายเหตุ: t_{lim} = limit time for the rate determining step

4.8 ผลการศึกษากลไกในการบำบัดสีข้อม

4.8.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการดูดซับสีแอสซิดและสีไครีคต์ในน้ำข้อมสังเคราะห์ โดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษารูปแบบสมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir) และฟรุนดลิช (Freundlich)

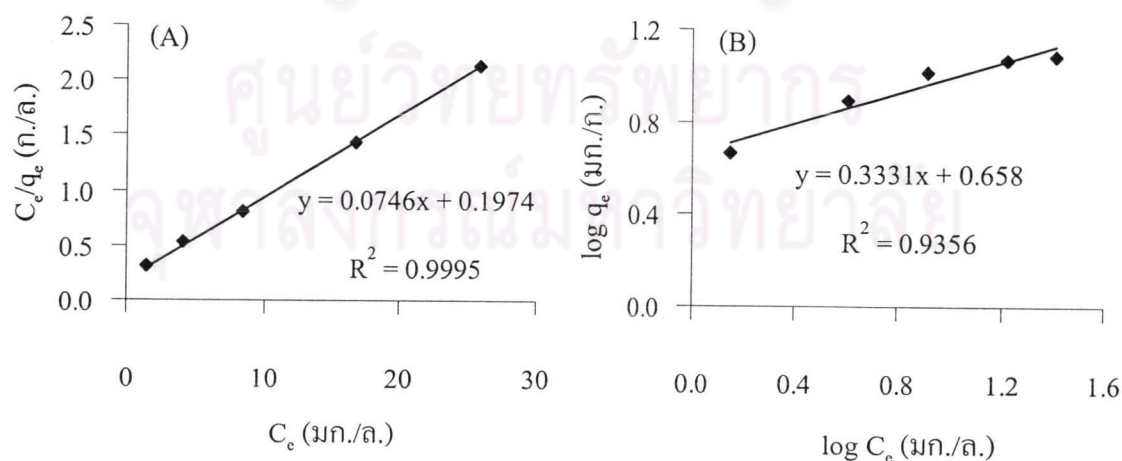
การศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับสีแอสซิดและสีไครีคต์ในน้ำข้อมสังเคราะห์ ด้วยโคโคซานกับสมการแลงเมียร์ (สมการ (2.2)) และสมการฟรุนดลิช (สมการ (2.4)) ได้ผลตามรูปที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ จากรูปสามารถคำนวณสีข้อมที่ถูกดูดซับได้สูงสุด (X_m) และค่าคงที่ของการดูดซับ (b) ตามสมการแลงเมียร์ ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย (K) และค่า Correction factor (m) ตามสมการฟรุนดลิชได้ดังตารางที่ 4.12 พบว่า การดูดซับสีแอสซิดและสีไครีคต์เข้ากันได้ทั้งกับสมการแลงเมียร์ (R^2 ของสีแอสซิดและสีไครีคต์ เท่ากับ 0.9995 และ 0.9766 ตามลำดับ) และสมการฟรุนดลิช (R^2 ของสีแอสซิดและสีไครีคต์ เท่ากับ 0.9356 และ 0.9754 ตามลำดับ)

$$C_e/q_e = (1/bX_m) + (C_e/X_m) \quad (2.2)$$

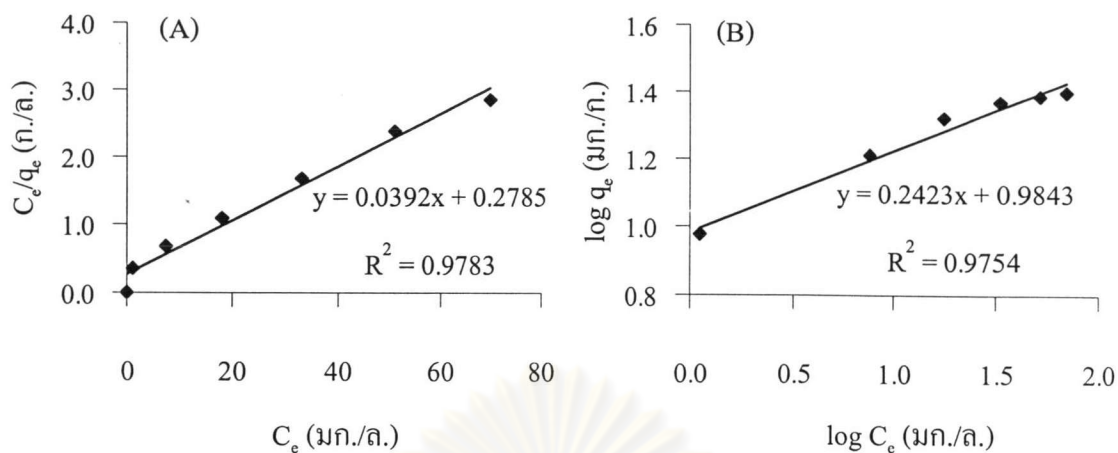
$$\log q_e = \log K + (1/n) \log C_e \quad (2.4)$$

ค่า X_m ของสีแอสิดและสีโคเร็กซ์จากสมการของแลงเมียร์เท่ากับ 13.40 และ 25.51 มิลลิกรัม/กรัม ไคโตซาน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไคโตซานสามารถดูดซับสีโคเร็กซ์มากกว่าสีแอสิด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้อ 4.4 คือ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำหลังการข้อมสีโคเร็กซ์สูงกว่าน้ำหลังการข้อมสีแอสิด แต่ตรงข้ามกับอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา ในตารางที่ 4.11 ของน้ำข้อมสังเคราะห์สีโคเร็กซ์ต่ำกว่าของสีแอสิด พบว่า ค่า b ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานพันธะ (Bonding energy) ของสีแอสิดสูงกว่าสีโคเร็กซ์ เท่ากับ 0.3780 และ 0.1408 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า แรงพันธะระหว่างสีแอสิดกับไคโตซานแข็งแรงกว่าแรงพันธะของสีโคเร็กซ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้อ 4.6 คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30°C , 45°C และ 60°C ปริมาณการดูดซับสีโคเร็กซ์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด 10.84 ± 0.07 , 9.38 ± 0.12 และ 6.89 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ แต่ปริมาณการดูดซับสีแอสิดมีค่าลดลงเล็กน้อย 12.39 ± 0.05 , 12.26 ± 0.10 และ 11.98 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า K และค่า $1/n$ ของสีแอสิดและสีโคเร็กซ์จากสมการฟลูนคลิซพบว่า มีค่า K เท่ากับ 1.9309 และ 2.6759 มิลลิกรัม/กรัมไคโตซาน ตามลำดับ ค่า $1/n$ ของสีแอสิดและสีโคเร็กซ์เท่ากับ 0.3331 และ 0.2423 ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 สมการการดูดซับสีแอสิดในน้ำข้อมสังเคราะห์ด้วยเกลือไคโตซานตามสมการแลงเมียร์ (A) และฟลูนคลิซ (B)



รูปที่ 4.27 สมการการดูดซับสีไคเร็กซ์ในน้ำย้อมสังเคราะห์ด้วยเกลือโคโตซานตามสมการแลงเมียร์ (A) และฟลินคลิช (B)

เมื่อเปรียบเทียบค่า X_m ที่ได้จากงานวิจัยนี้กับค่า X_m ของงานวิจัยของจินตนา (2542) ซึ่งใช้โคโตซานที่มีร้อยละการกำจัดหมู่แอซิติลเท่ากับ 71.08 ดังแสดงในตารางที่ 4.12 แสดงว่า โคโตซานที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมสูงกว่า เนื่องจากโคโตซานในงานวิจัยนี้ มีร้อยละการกำจัดหมู่แอซิติลสูงกว่า (90.1 ± 4.5 โดยวิธี Colloidal titration) ทำให้มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลสีย้อมสูงกว่า

ตารางที่ 4.12 ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์และฟลินคลิช จากการดูดซับสีแอซิดและไคเร็กซ์ในน้ำย้อมสังเคราะห์ด้วยโคโตซาน

แหล่งที่มา	ชนิดของโคโตซาน	ค่าคงที่ของแลงเมียร์			ค่าคงที่ของฟลินคลิช		
		X_m (mg/g)	b	R^2	K	$1/n$	R^2
1. งานวิจัยนี้; Acid dye Direct dye	Flakes, ขนาด 710 -	13.40	0.3780	0.9995	1.9309	0.3331	0.9356
	850 μm	25.51	0.1408	0.9783	2.6759	0.2423	0.9754
2. จินตนา (2542); C.I. Acid Red 360 C.I. Direct Red 80	Flakes,	11.83	-	-	-	-	-
	ขนาด 425 - 710 μm	11.99	-	-	-	-	-

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับสีของสีย้อมสูงสุดด้วยเกลือโคโคซานกับถ่านกัมมันต์ แสดงผลดังตารางที่ 4.13 พบว่า ปริมาณการดูดซับสีแอซิดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยของ Faria et al. (2004) มีค่าสูงกว่าเกลือโคโคซาน เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดลองมีขนาดน้อยกว่า 50 ไมโครเมตร แต่ขนาดเกลือโคโคซานที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 710-850 ไมโครเมตร ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสีแอซิดมากกว่าเกลือโคโคซาน และปริมาณการดูดซับสีโคเร็กต์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยของMohan et al. (2002) ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 106 ไมโครเมตร มีค่าต่ำกว่าเกลือโคโคซานถึง 3 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยของ Faria et al. (2004) ผ่านการทำปฏิกิริยาเพื่อให้โครงสร้างทางเคมีที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับสีได้ดี

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสูงสุดของสีย้อมบนโคโคซานและถ่านกัมมันต์

แหล่งที่มา	ตัวดูดซับ	ขนาด (μm)	ปริมาณการดูดซับสีของสีย้อมสูงสุด (mg/g)
1. งานวิจัยนี้; Acid dye Direct dye	โคโคซาน	710-850	13.40 25.51
2. Faria P.C.C (2004); C.I. acid blue 113	ถ่านกัมมันต์	น้อยกว่า 50	197.00
3. Mohan S.V (2002); C.I. direct brown	ถ่านกัมมันต์	106	7.69

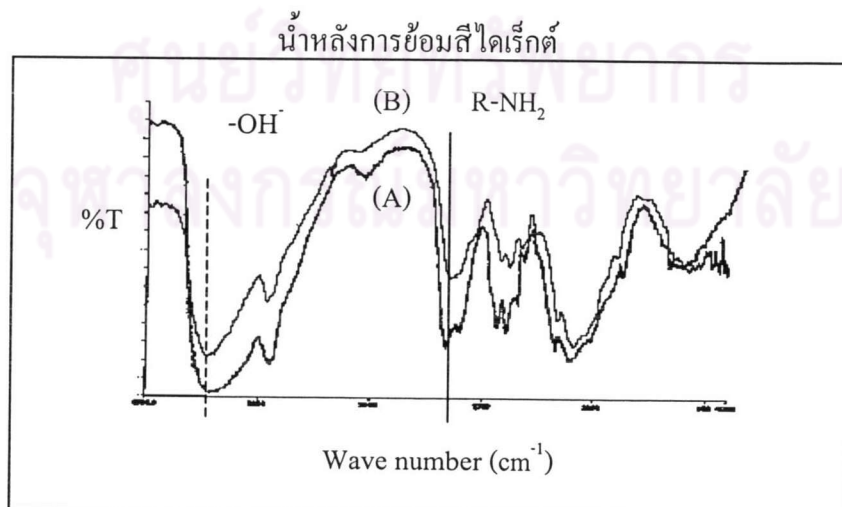
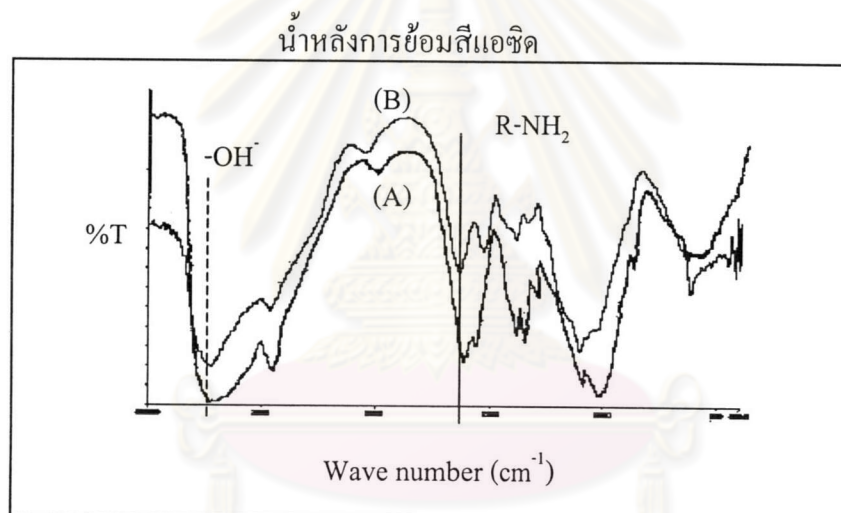
4.8.2 ผลการศึกษาโคโคซานด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกป (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR)

หมู่ฟังก์ชันของโคโคซานที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของสารอื่นได้ คือ หมู่ $-\text{NH}_2$ และ $-\text{OH}$ เพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าวจึงได้ศึกษาโคโคซานด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกป โดยพิจารณาดำแหน่งกราฟของหมู่ฟังก์ชันแอมิโนและหมู่ไฮดรอกซิล จากรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของโคโคซานก่อนและหลังใช้บำบัดกับน้ำหลังการย้อมของโรงงานฟอกย้อม เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งกราฟของหมู่ฟังก์ชันแอมิโนบนโคโคซานก่อนบำบัดและหลังการตกตะกอนกับน้ำหลังการย้อมของโรงงานฟอกย้อม พบว่ามีการเลื่อนของหมายเลขคลื่นมากกว่า 4 cm^{-1} ซึ่งเป็นความสามารถในการแยกชัด (Resolution) ของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ แสดงว่าหมู่ฟังก์ชันมีการเปลี่ยนแปลง และจากรูปที่ 4.28 และ 4.29 ไม่มีพีค (Peak) ใหม่เกิดขึ้น แสดงว่าหมู่เอมีนของโคโคซานเกิดพันธะกับหมู่ฟังก์ชัน

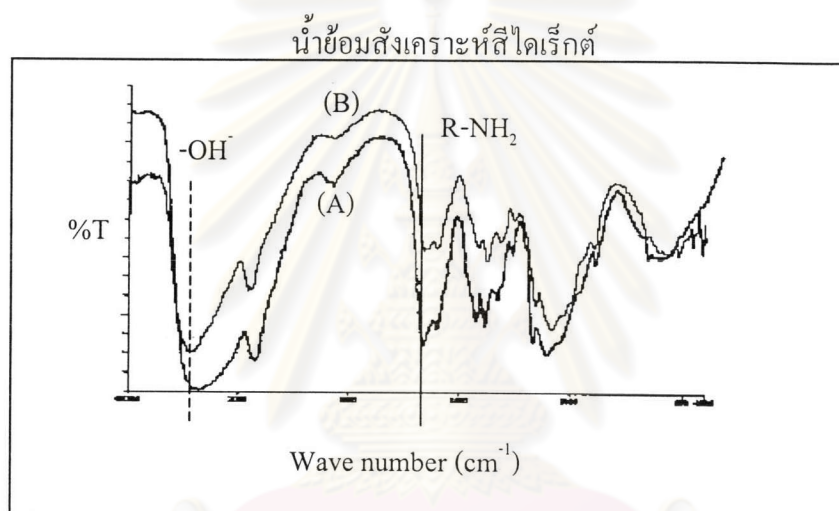
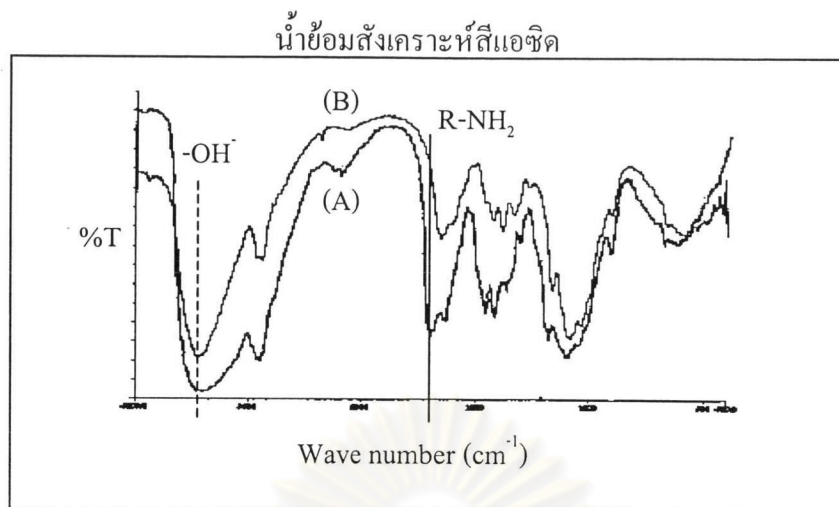
ของสี่ข้อม สำหรับหมู่ไฮดรอกซิลไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในหมายเลขคลื่นของหมู่ไฮดรอกซิลอาจเนื่องมาจาก หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลน้ำก็ได้

ตารางที่ 4.14 หมู่ฟังก์ชันของโคโตซานก่อนและหลังใช้บำบัดกับน้ำหลังการข้อมและน้ำข้อมสังเคราะห์

ตัวอย่าง	Wave number (cm ⁻¹) ของหมู่ R-NH ₂	
	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด
น้ำหลังการข้อมสี่แอซิด	1655.30	1639.43
น้ำหลังการข้อมสี่ไคเร็กซ์	1655.30	1641.48
น้ำข้อมสังเคราะห์สี่แอซิด	1655.30	1651.31
น้ำข้อมสังเคราะห์สี่ไคเร็กซ์	1655.30	1659.88



รูปที่ 4.28 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของโคโตซานเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ก่อนบำบัด (A) และหลังบำบัดน้ำหลังการข้อมของโรงงานฟอกข้อม (B)



รูปที่ 4.29 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของไคโตซานเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ก่อนบำบัด (A) และหลังบำบัดน้ำย้อมสั้เกราะห้ (B)

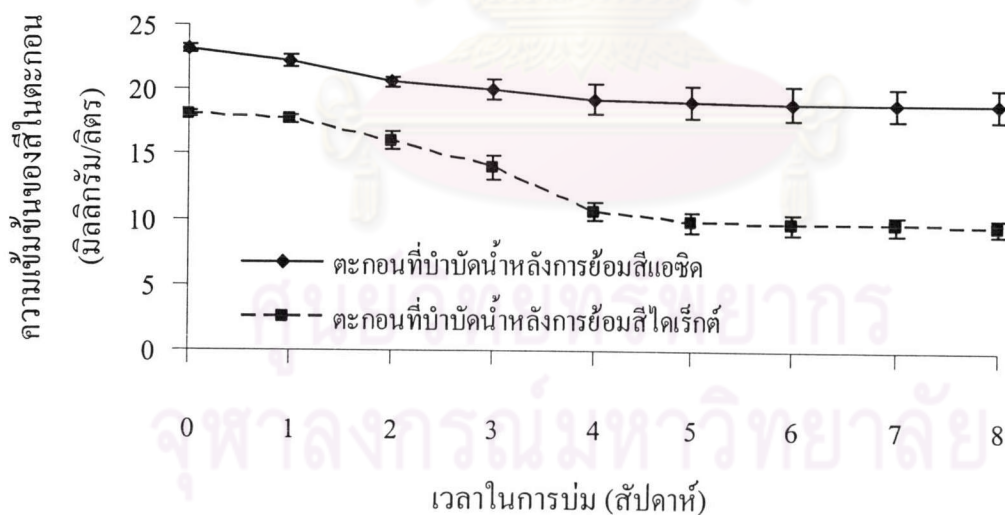
4.9 ผลการศึกษาการลดลงของปริมาณสีย้อม การคัดเลือก และพิสูจน์เอกลักษณ์แบบที่เรียกในตะกอนไคโตซาน

4.9.1 ผลการศึกษาการลดลงของปริมาณสีย้อมในตะกอนไคโตซาน

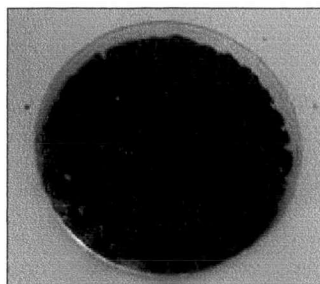
การลดลงของปริมาณสีย้อมในตะกอนไคโตซานที่ผ่านการบำบัดน้ำหลังการย้อม ณ เวลาในการบ่มต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.30 พบว่า ณ อุณหภูมิการบ่ม 37 องศาเซลเซียส ปริมาณสีแเอซิดในตะกอนเริ่มต้นมี 23.11 ± 0.31 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 19.31 ± 1.11 มิลลิกรัม/ลิตร ในสัปดาห์ที่ 4 หลังจากนั้น ปริมาณสีในตะกอนค่อนข้างคงที่ จนถึงสัปดาห์ที่ 8 และปริมาณสีไดเรกต์ใน

ตะกอนเริ่มต้นมี 18.08 ± 0.24 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 9.83 ± 0.81 มิลลิกรัม/ลิตร ในสัปดาห์ที่ 5 หลังจากนั้น ปริมาณสีไดเร็กต์ในตะกอนมีค่าค่อนข้างคงที่ จนถึงสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งลักษณะของตะกอน ไคโตซานแสดงดังรูปที่ 4.31 และ 4.32

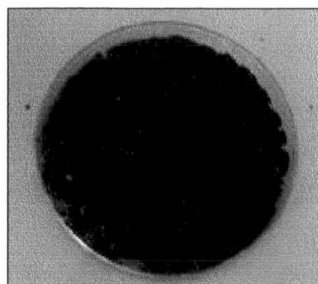
กลไกในการลดปริมาณสีของแบคทีเรียเกิดขึ้นจากการย่อยพันธะที่ทำให้เกิดสี (Chromophoric bonds) ใน โมเลกุลของสีย้อม (Nigam et al, 1995) สำหรับปริมาณสีย้อมในตะกอน ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียรวมจากบริษัทเอเชียไฟเบอร์จำกัด บริษัทศิลปเสนิพาณิชย์ จำกัด และหสน. ธรนไพศาล มีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียไม่สามารถลดปริมาณสีในตะกอนไคโตซาน ได้ ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียรวมโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษามีสีย้อมหลายชนิด โทนสีต่างๆ ปะปนกัน จากรูปที่ 4.30 ความสามารถที่แบคทีเรียลดสีได้คือ ปริมาณของสีแอซิดและสีไดเร็กต์ต้องมากกว่า 19.31 และ 9.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นค่าน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อมกรณีศึกษา มีปริมาณสีต่ำกว่าที่แบคทีเรียสามารถลดสีได้ สำหรับอุณหภูมิการบ่ม 55 องศาเซลเซียส ปริมาณสีย้อมในตะกอนไคโตซานที่ผ่านการบำบัดน้ำหลังการย้อมและน้ำเสียรวมของโรงงาน ฟอกย้อมกรณีศึกษามีค่าคงที่ กอปรกับแบคทีเรียที่แยกได้ เมื่อทำการพิสูจน์เอกลักษณ์แล้วเป็น แบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียประเภทไม่ทนร้อน ดังนั้นเป็นไปได้ที่ไม่สามารถตรวจพบ การลดลงของสีย้อมในสภาวะการบ่มตะกอนที่ 55 องศาเซลเซียส



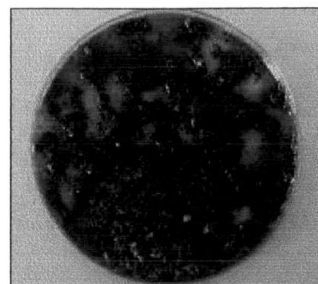
รูปที่ 4.30 ปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่ในตะกอนไคโตซาน ณ เวลาการบ่มต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส



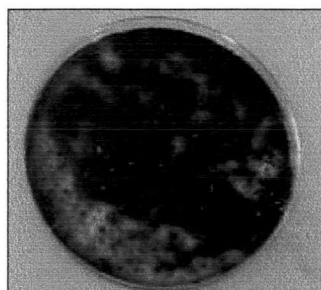
สัปดาห์ที่ 0



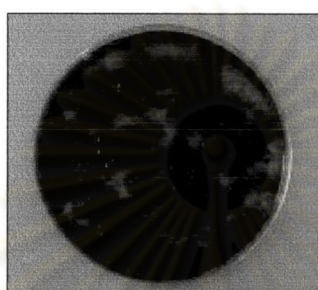
สัปดาห์ที่ 2



สัปดาห์ที่ 4

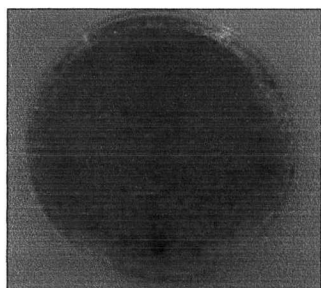


สัปดาห์ที่ 6

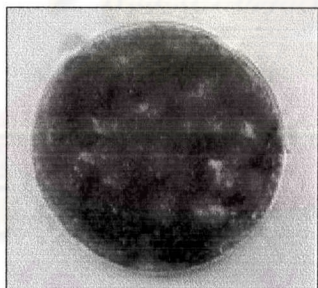


สัปดาห์ที่ 8

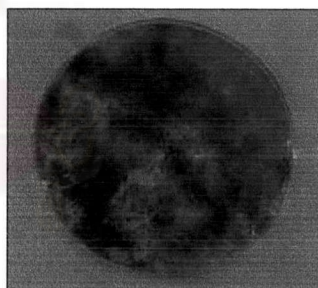
รูปที่ 4.31 ตะกอนโคโคซานหลังบำบัดน้ำหลังการย้อมสีแอสซิด ณ เวลาการบ่มต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส



สัปดาห์ที่ 0



สัปดาห์ที่ 2



สัปดาห์ที่ 4



สัปดาห์ที่ 6



สัปดาห์ที่ 8

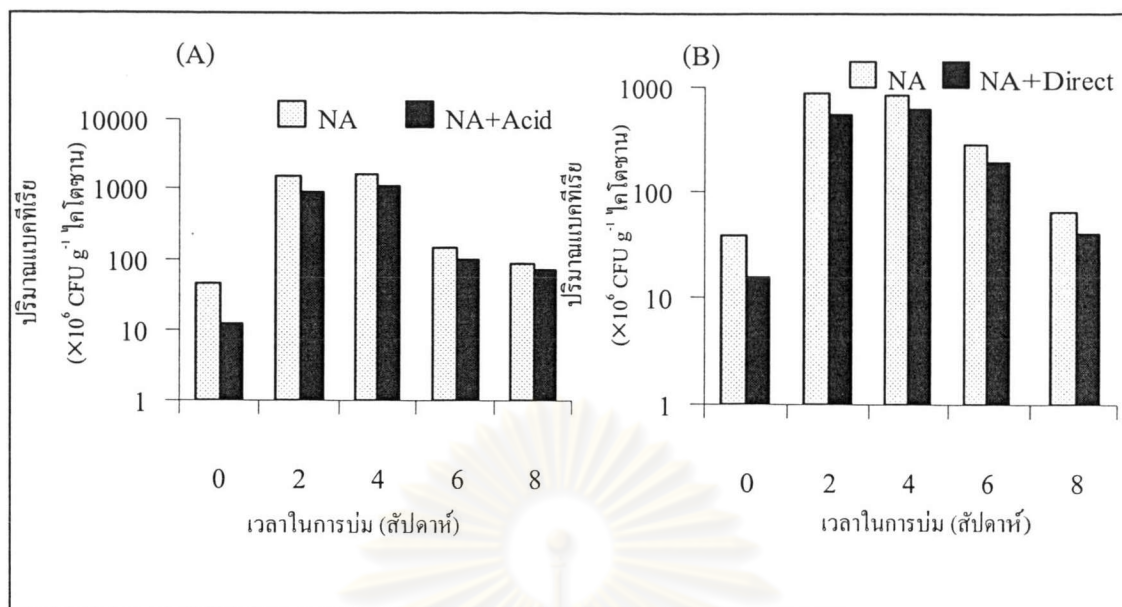
รูปที่ 4.32 ตะกอนโคโคซานหลังบำบัดน้ำหลังการย้อมสีไดเร็กต์ ณ เวลาการบ่มต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

4.9.2 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์แบคทีเรียที่มีอยู่ในตะกอนโคลโตซาน

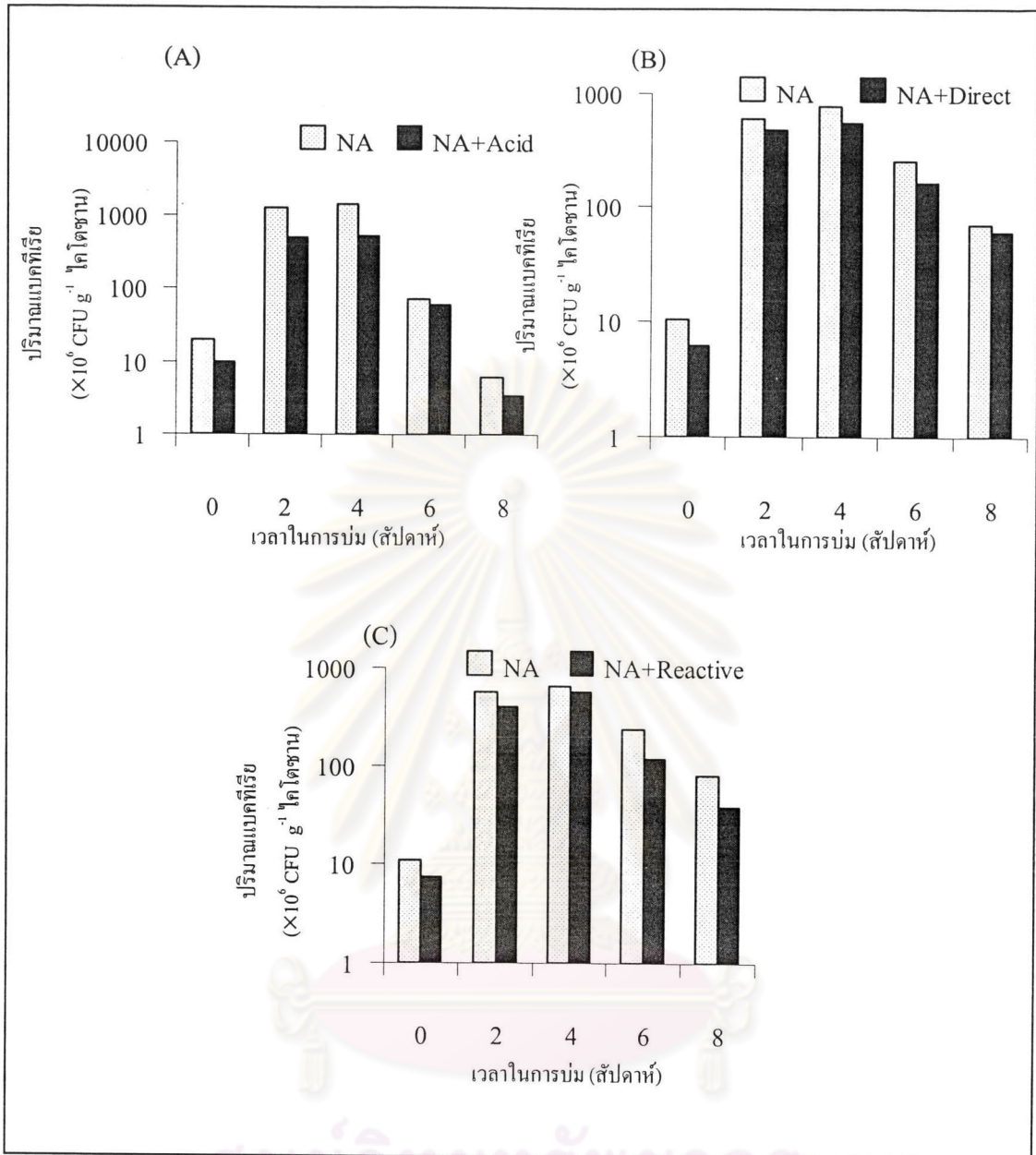
จากการทดลองยืนยันสมมติฐานของการเกิดแบคทีเรียบนตะกอนโคลโตซานด้วยการนับจำนวนโคโลนีแบคทีเรียที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 4.33 และ 4.34 พบว่า ณ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แบคทีเรียเจริญได้ดีในอาหารที่มีสีย้อมประเภทสีแอสซิด สีโคเร็กซ์ และสีรีแอกทีฟ โดยมีปริมาณแบคทีเรีย ณ เวลาเริ่มต้น ประมาณ $6.19 \times 10^6 - 1.57 \times 10^7$ CFU g^{-1} โคลโตซาน เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2 - 4 โดยสามารถตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียได้ประมาณ $5.20 \times 10^8 - 1.12 \times 10^9$ CFU g^{-1} โคลโตซาน หลังจากนั้นปริมาณลดลง ซึ่งช่วงเวลาที่มีการลดลงของปริมาณที่สูงที่สุดมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่แบคทีเรียมีการเจริญสูงสุด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียที่เจริญในอาหารวุ้นธรรมชาติกับอาหารที่มีสีย้อม พบว่า ปริมาณแบคทีเรียในอาหารวุ้นธรรมชาติมากกว่าปริมาณแบคทีเรียในอาหารที่มีสีย้อม แสดงให้เห็นว่า สีย้อมเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญของแบคทีเรีย และแบคทีเรียที่ตรวจพบในตะกอนโคลโตซานเป็นแบคทีเรียแกรมลบ มีลักษณะโคโลนี สีขาวขุ่น ขนาดเล็ก ผิวมันวาว เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ เซลล์คิเคตสีแดง รูปร่างเป็นแท่งสั้นๆ 3 ชนิด จากการระบุสายพันธุ์โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) แสดงดังรูปที่ 4.35 พบว่า แบคทีเรียดังกล่าว ได้แก่ *Klebsiella oxytoca* *Alcaligenes faecalis* และ *Comamonas acidovorans*

จากผลการทดลองข้อ 4.9.1 เป็นที่น่าสังเกตว่า แบคทีเรียใช้เวลาหลายสัปดาห์ในการลดปริมาณสีในตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Nigam et al. (1995) ซึ่งทำการเลี้ยงแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์คือ *Alcaligenes faecalis* และ *Comamonas acidovorans* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี Yeast extract ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไร้อากาศพบว่า สามารถลดสี Remazol Golden - Yellow - RNL ได้ร้อยละ 100 ภายในเวลา 54 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระบบที่ทดลองไม่มีสารอาหารพอเพียงต่อการเจริญของแบคทีเรีย ทำให้กิจกรรมภายในเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และเป็นระบบเปิด ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในตะกอนซึ่งจัดเป็น Facultative bacteria มีประสิทธิภาพในการลดสีไม่สูงมาก



รูปที่ 4.33 ปริมาณแบคทีเรียที่เจริญในตะกอนโคโดซาน หลังการต้ม ณ เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (A) ตะกอนโคโดซานที่บำบัดน้ำหลังการย้อมสีแอสิด (B) ตะกอนโคโดซานที่บำบัดน้ำหลังการย้อมสีไดเรกต์



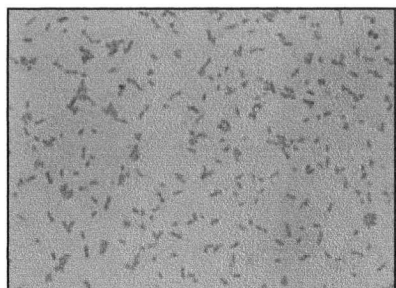
รูปที่ 4.34 ปริมาณแบคทีเรียที่เจริญในตะกอนไคโตซาน หลังการบ่ม ณ เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (A) ตะกอนไคโตซานที่บำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด (B) ตะกอนไคโตซานที่บำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทสลิปเสนีพาณิชย์ จำกัด (C) ตะกอนไคโตซานที่บำบัดน้ำเสียรวมของ หสน.ธนไพศาล

หมายเหตุ : NA: อาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็ง

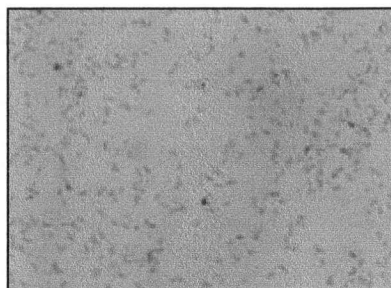
NA+Acid: อาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งผสมสีแอซิด ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลิตร

NA+Direct: อาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งผสมสีโคเร็กต์ ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร

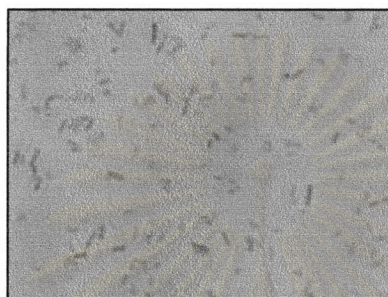
NA+Reactive: อาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งผสมสีรีแอกทีฟ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลิตร



(A)



(B)



(C)

รูปที่ 4.35 แบคทีเรียที่ตรวจพบในตะกอนโคลโดซาน (A) *Klebsiella oxytoca*, (B) *Alcaligenes faecalis* และ (C) *Comamonas acidovorans*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย