

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิจารณ์

การทดลองวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียสีย้อมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ทดลองบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ่านกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันเพียงอย่างเดียว และทดลองบำบัดน้ำเสียสีย้อมร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ โดยแต่ละชุดการทดลอง จะใช้เวลาชุดการทดลองละ 8 ชั่วโมง และในการทดสอบ Isotherm Test เพื่อคัดเลือกผงถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด มีการทดลองทั้งสิ้น 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองใช้เวลา ชุดการทดลองละ 10 ชั่วโมง ผลการทดลองและการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

#### 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียสีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

การทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 4.1 เป็นการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของน้ำเสียสีย้อมก่อนทำการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน โดยนำผล ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ยูเนี่ยนอุตสาหกรรมสิ่งทอ จำกัด มาละลายน้ำให้ได้ความเข้มข้นตามสูตรการย้อมผ้าดังแสดงในหัวข้อที่ 3.3 แล้ววิเคราะห์ค่า ซีไอดี ทีไอซี ความเข้มข้น และพีเอชของน้ำเสีย ตามวิธีวิเคราะห์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในตารางที่ 3.3

สำหรับพีเอชที่แสดงในตารางที่ 4.1 เป็นพีเอชของน้ำเสียสีย้อมหลังจากละลายน้ำแล้ว ซึ่งจะสังเกตได้ว่าน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด มีพีเอชประมาณ 7 ในการทดลองจะเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียทั้งหมด 3 ค่า คือ ค่าความเป็นกรด (พีเอชประมาณ 3-4) ค่าความเป็นด่าง (พีเอชประมาณ 9-10) และค่าความเป็นกลาง (น้ำเสียสีย้อมหลังจากละลายน้ำแล้ว)

จากตารางที่ 4.1 เมื่อนำผลมาละลายน้ำตามสูตรการย้อมผ้า แล้ววัดค่า ซีไอดี ทีไอซี ความเข้มข้น และพีเอชของน้ำเสีย จะพบว่า ค่าซีไอดีและทีไอซีของน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณไม่เกิน 100 มก./ล. ส่วนความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมแวนเดอและสีย้อมคิสเพอร์ส มีค่าไม่เกิน 80 Su. ยกเว้นความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมโคเร็กซ์ที่มีค่าค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 100-400 Su.

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสี้ยวเชื่อมสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิดของสี	โทนสี	ความเข้มข้นสี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีโอซี (มก./ล.)	ความขุ่นสี (Su.)	พีเอช
สีแวกต์	เหลือง	46.0	60-70	25-30	60-70	7
	แดง	46.0	70-80	25-30	80-90	7
	น้ำเงิน	46.0	70-80	30-35	60-80	7
สีคิสเพอร์ส	เหลือง	65.0	70-85	80-90	50-60	7
	แดง	65.0	80-85	80-90	70-80	7
	น้ำเงิน	65.0	80-90	80-85	60-70	7
สีไดเร็กซ์	เหลือง	88.2	100-110	20-30	140-150	7
	แดง	88.2	40-45	20-25	190-200	7
	น้ำเงิน	88.2	60-70	30-40	300-400	7

#### 4.2 คุณสมบัติของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการวิจัย

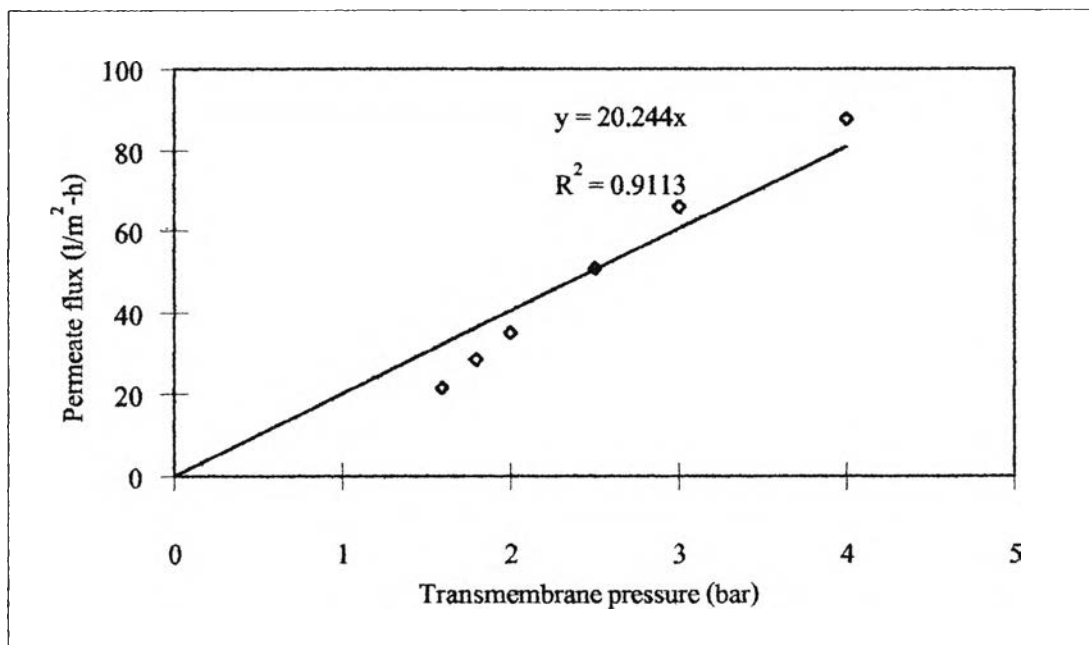
ก่อนทำการทดลองบำบัดน้ำเสี้ยวเชื่อมผ่านกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน จะทดลองน้ำบริสุทธิ์ผ่านกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันก่อน เพื่อหาคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันในแง่ของฟลักซ์และความต้านทาน เพราะในขณะที่ใช้งานกับน้ำเสี้ยวจริง สารอินทรีย์และสารเคมีอื่นๆ ในน้ำเสี้ยวจะเป็นเหตุทำให้ฟลักซ์ลดลง

การทดลองหาความสัมพันธ์ของอัตราการกรองน้ำ (Permeate flux) กับความดันในการกรองน้ำ (Transmembrane pressure) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น อัตราการกรองน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ด้วย ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.2

$$J = \Delta P / \mu R \quad (2.2)$$

โดยที่  $J$  คือ อัตราการกรองน้ำต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง,  $\Delta P$  คือ ความดันในการกรองน้ำ มีหน่วยเป็น กิโลนิวตันต่อตารางเมตร,  $\mu$  คือ ความหนืดของน้ำ  $\eta$  อุณหภูมิหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น กิโลนิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร,  $R$  คือ ความต้านทานเมมเบรนที่เกิดขึ้นของการกรอง มีหน่วยเป็น ต่อเมตร

กราฟรูปที่ 4.1 แสดงอัตราการกรองน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง พบว่า ได้กราฟเส้นตรง นำมาคำนวณหาความต้านทานของเมมเบรนเริ่มต้นได้เท่ากับ  $1.998 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$  ได้ อัตราการกรองน้ำในช่วง 20-100 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่ความดันในการดำเนินระบบในช่วง 1.5-4.0 บาร์ หรือได้อัตราการกรองน้ำในช่วง 40-70 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่ความดันในการดำเนินระบบ 2.0-3.5 บาร์ ณ อุณหภูมิห้อง ความต้านทานเริ่มต้นนี้จะใช้บอกคุณลักษณะของแผ่นเมมเบรนในแง่ของการอุดตันของอนุภาคสารอินทรีย์ต่างๆ และการ fouling ของเมมเบรน กล่าวคือ หลังจากเมมเบรนถูกใช้งานกับน้ำเสียจริง ถ้าความต้านทานของเมมเบรนเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีการอุดตันเกิดขึ้น การอุดตันนี้อาจอุดตันที่ผิวหน้าเมมเบรนหรืออุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน ดังนั้น ก่อนทำการทดลองครั้งต่อไปควรจะทำ flushing เมมเบรนด้วยน้ำสะอาด แล้วล้างแบบไหลเวียนด้วยสารเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ก่อน จึงจะทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.1 อัตราการกรองน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง

#### 4.3 การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

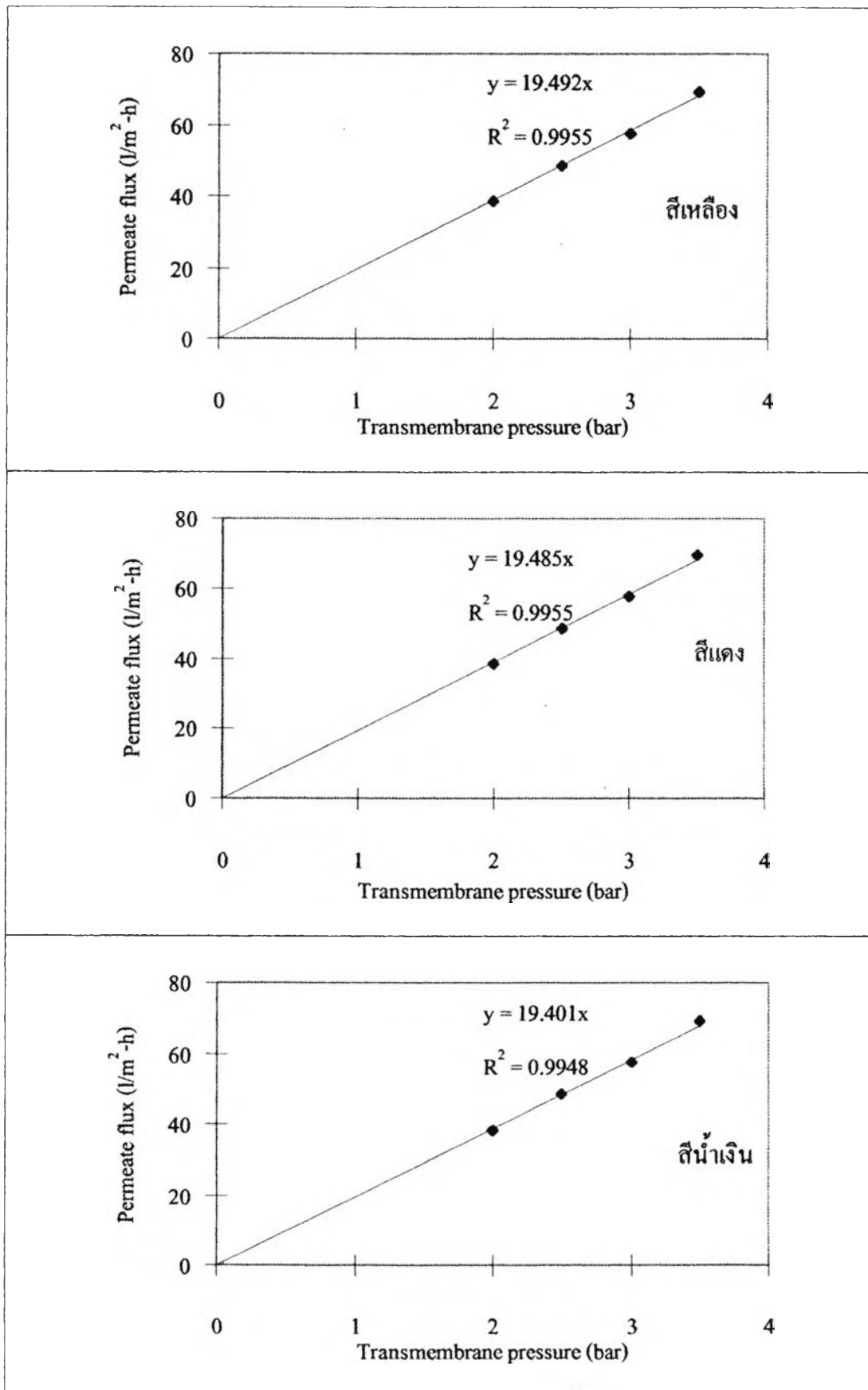
##### 4.3.1 ผลของความดันที่มีต่ออัตราการกรองน้ำของน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิด

ผลการทดลองหาอัตราการกรองน้ำที่ความดันต่างกัน สำหรับน้ำเสียที่ย้อมแวต, น้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส และ น้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์ แสดงในรูปที่ 4.2-4.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรองน้ำกับความดันในการกรองน้ำของน้ำเสียที่ย้อมแวต, น้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส และน้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์ ตามลำดับ ที่พีเอชของน้ำเสียประมาณ 7

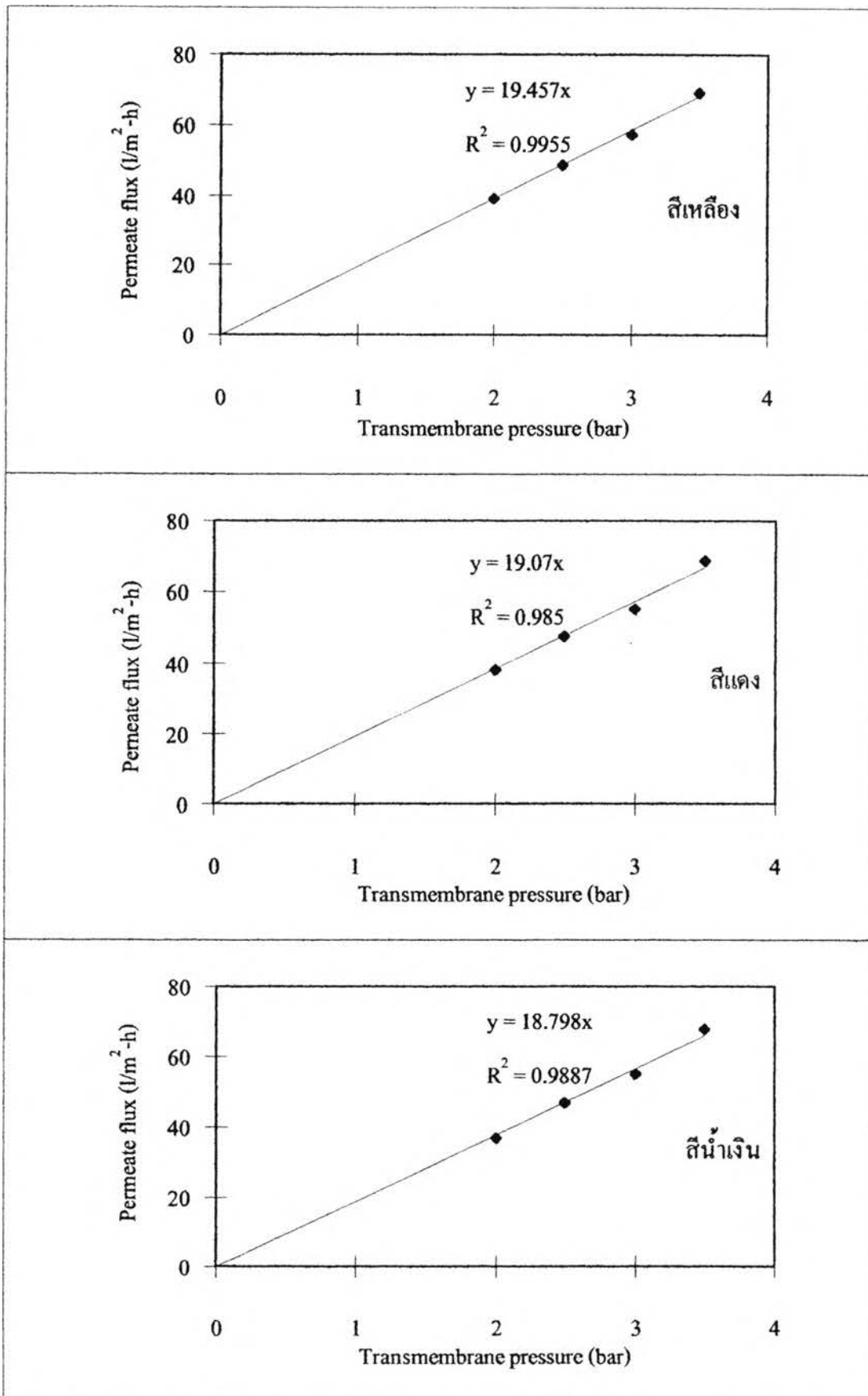
จากกราฟรูปที่ 4.2-4.4 พบว่า ความดันของการกรองน้ำแปรผันตรงกับอัตราการกรองน้ำ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.2 ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น นำสมการที่แสดงไว้ในกราฟมาคำนวณหาค่าความต้านทานของเมมเบรน แสดงค่าดังตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการคำนวณค่าความต้านทานของเมมเบรนสำหรับน้ำเสียที่ย้อมแวต พบว่า ความต้านทานการกรองน้ำของน้ำเสียที่ย้อมแวตทั้ง โทนสีเหลือง, โทนสีแดงและ โทนสีน้ำเงินมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ ค่าความต้านทานการกรองน้ำสำหรับน้ำเสียที่ย้อมแวตที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลรวมของความต้านทานของเมมเบรนเริ่มต้นกับความต้านทานที่เกิดจากการสะสมตัวของสารอินทรีย์ละลายที่ผิวหน้าเมมเบรนหรือภายในรูพรุนของเมมเบรนรวมกับความต้านทานที่เกิดจาก Concentration Polarization (CP) เช่นเดียวกับความต้านทานที่เพิ่มขึ้นสำหรับน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สและน้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์

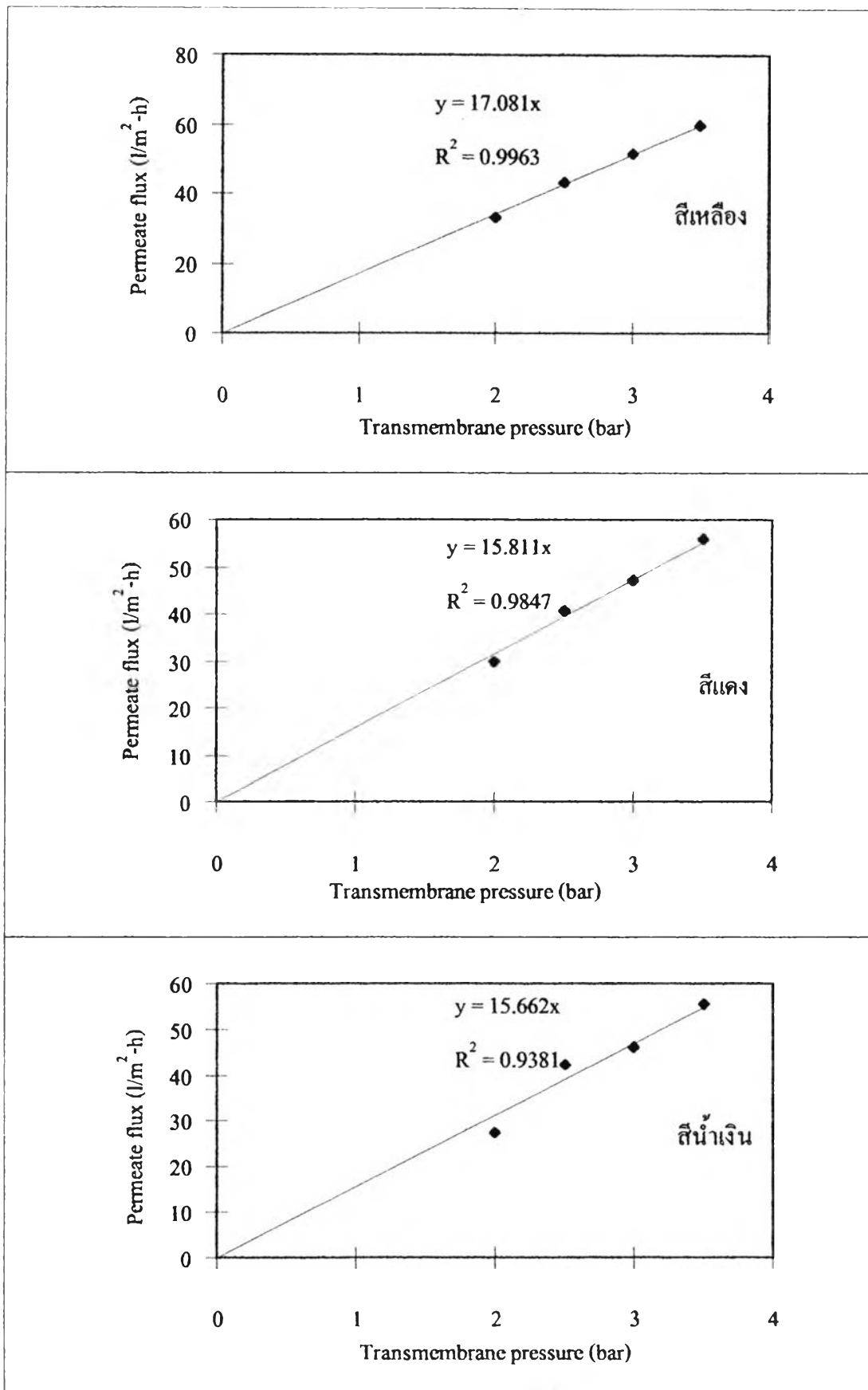
จากการวิเคราะห์เพิ่มเติมสำหรับผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำ รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 สังเกตพบว่า สมการเส้นตรงของสีย้อมแวตแต่ละ โทนสี มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน หรืออาจกล่าวได้ว่า โทนสีแต่ละ โทนสีให้ค่าความต้านทานรวมไม่แตกต่างกันมากโดยมีนัยสำคัญ จากผลนี้ น่าจะสรุปได้ว่า โทนสีแต่ละ โทนสีของสีแวตและสีคิสเพอร์สน่าจะมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน เมื่อกรองผ่านเมมเบรนจึงมีค่าความต้านทานการกรองน้ำใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.2 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับสีแสด



รูปที่ 4.3 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับสี่คิสเพอร์ต



รูปที่ 4.4 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับสีไคเร็กซ์

ตารางที่ 4.2 การคำนวณหาความต้านทานการกรองน้ำจากผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำ

ชนิดสี	โทนสี	ความต้านทาน ( $m^{-1}$ )	Permeate flux ( $l/m^2-h$ )
สีแสด	สีเหลือง	$2.075 \cdot 10^{13}$	40-70
	สีแดง	$2.076 \cdot 10^{13}$	
	สีน้ำเงิน	$2.085 \cdot 10^{13}$	
สีดิสเพอร์ส	สีเหลือง	$2.079 \cdot 10^{13}$	40-70
	สีแดง	$2.121 \cdot 10^{13}$	
	สีน้ำเงิน	$2.152 \cdot 10^{13}$	
สีไคเร็กซ์	สีเหลือง	$2.368 \cdot 10^{13}$	30-60
	สีแดง	$2.559 \cdot 10^{13}$	
	สีน้ำเงิน	$2.583 \cdot 10^{13}$	
Blank		$1.998 \cdot 10^{13}$	40-80

สำหรับรูปที่ 4.4 เป็นผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำของน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โทนสีเหลือง, โทนสีแดง และ โทนสีน้ำเงิน ตามลำดับ จะพบว่า ความต้านทานการกรองน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์, น้ำเสียสีข้อมแสดและน้ำเสียสีข้อมดิสเพอร์ส ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์สามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้น น้ำจะมีขนาดอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายเล็กกว่าน้ำเสียสีข้อมแสดและน้ำเสียสีข้อมดิสเพอร์ส อนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์จึงมีโอกาสดูดซับผิวหน้าเมมเบรนหรือภายในรูพรุนของเมมเบรนมากกว่า เป็นผลให้ความต้านทานการกรองน้ำมีค่ามากกว่า แต่ทั้งนี้ ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการล้างเมมเบรนด้วยสารเคมี ซึ่งทำให้สารอินทรีย์ละลายที่ดูดซับผิวหน้าเมมเบรนหรือภายในรูพรุนของเมมเบรนถูกกำจัดออกไปได้

สำหรับผลของอัตราการกรองน้ำ (Permeate flux) ของน้ำเสียสีข้อมแสด, น้ำเสียสีข้อมดิสเพอร์สและน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ ที่แสดงค่าดังตารางที่ 4.2 เป็นอัตราการกรองน้ำที่ความดันในการดำเนินการระบบ 2.0-3.5 บาร์ จะสังเกตพบว่า น้ำเสียสีข้อมแสดและสีข้อมดิสเพอร์สให้ค่าอัตราการกรองน้ำในช่วง 40-70 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง เท่ากัน ซึ่งต่างจากน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ให้ค่าอัตราการกรองน้ำในช่วง 30-60 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ณ ความดันในการดำเนินระบบเดียวกัน จะเห็นว่า น้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ ได้อัตราการกรองน้ำน้อยกว่าเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายข้างต้นว่า ถ้าความต้านทานการกรองน้ำมากขึ้น อัตราการกรองน้ำจะลดลง และเป็นไปตามสมการที่ 2.2 เช่นกัน



### 4.3.2 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด

การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ทีไอซี และความเข้มสีสำหรับการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแควด, น้ำเสียสีย้อมคิสเพอร์สและน้ำเสียสีย้อมโคเร็กท์โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดันในการดำเนินระบบตั้งแต่ 2.0-3.5 บาร์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

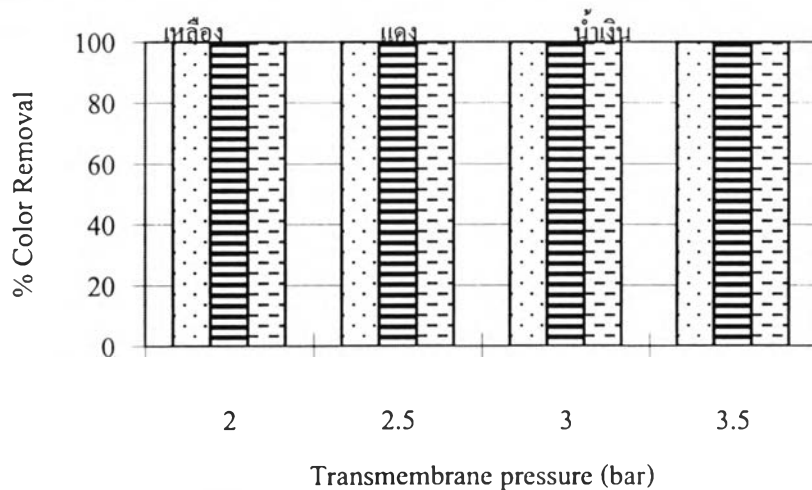
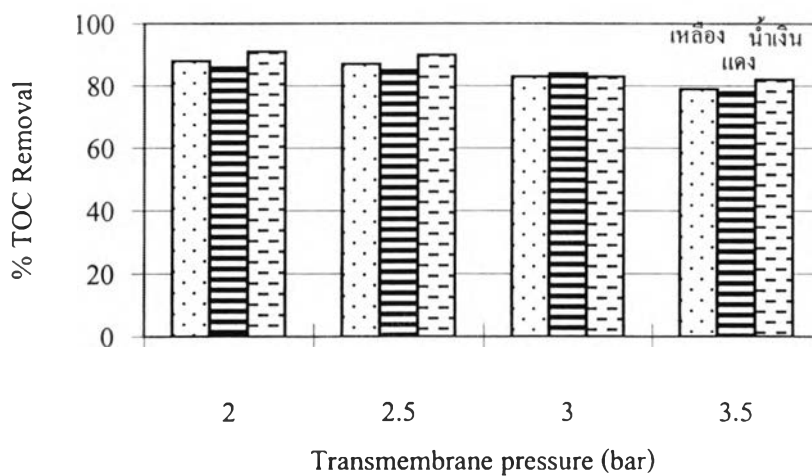
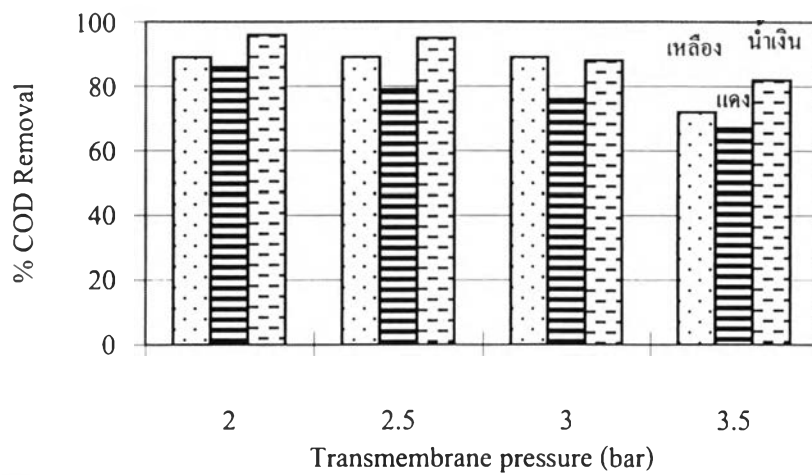
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม 3 ชนิด ที่ความดันการกรองน้ำต่างๆ

ชนิดสี	พารามิเตอร์	% Removal											
		สีเหลือง				สีแดง				สีน้ำเงิน			
		3.5	3.0	2.5	2.0	3.5	3.0	2.5	2.0	3.5	3.0	2.5	2.0
สีแควด	COD	72	89	89	89	67	76	79	86	82	88	95	96
	TOC	79	83	87	88	78	84	85	86	82	83	90	91
	Color	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
สีคิสเพอร์ส	COD	72	78	83	87	68	76	92	96	77	82	86	89
	TOC	91	94	95	95	93	93	94	95	94	93	94	96
	Color	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
สีโคเร็กท์	COD	81	85	85	88	57	74	77	89	83	83	89	89
	TOC	59	84	86	87	61	71	72	80	77	78	83	83
	Color	93	94	95	96	99	99	100	100	99	99	100	100

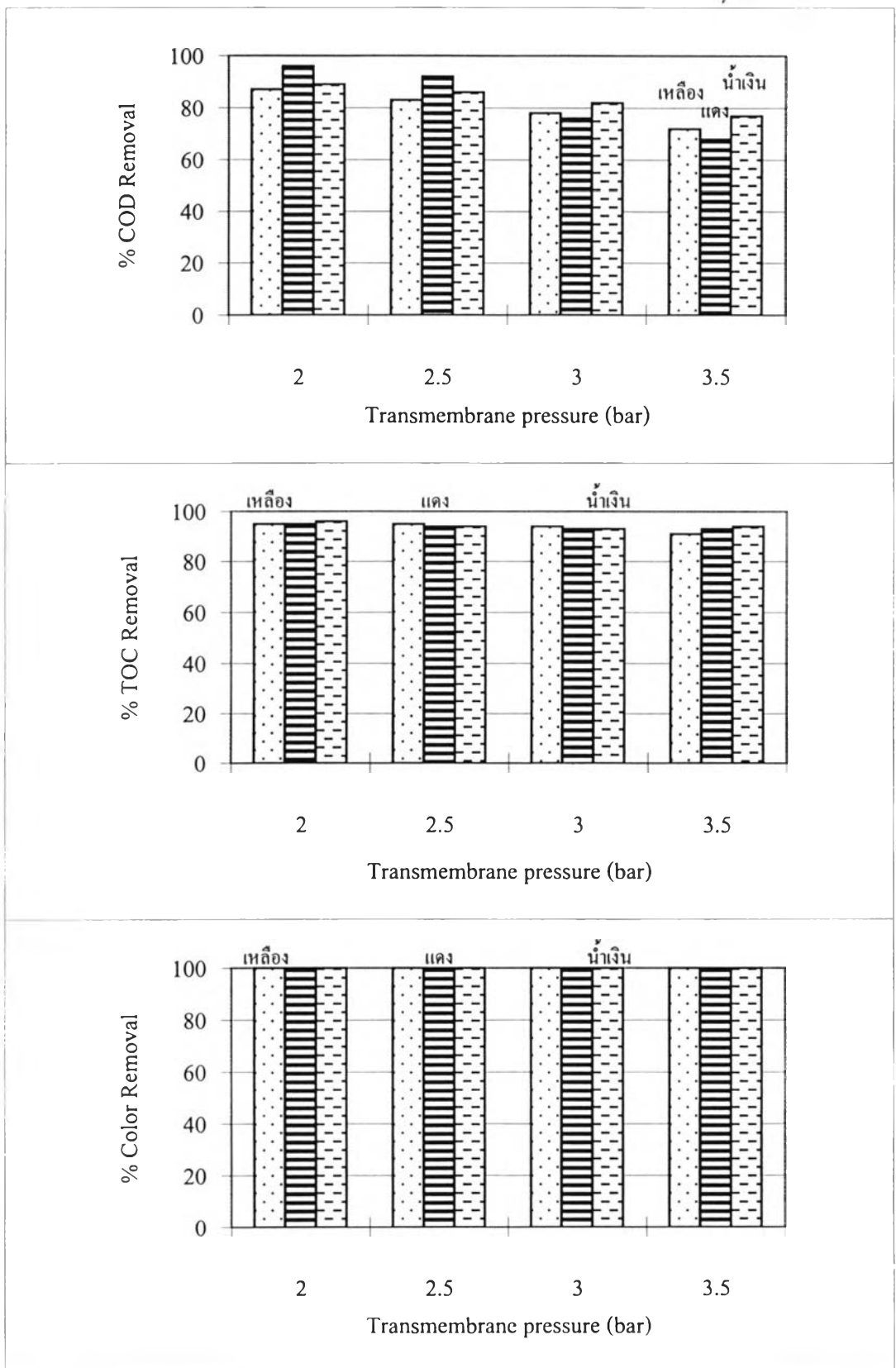
จากตารางข้างต้น นำข้อมูลมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.5-4.7 จะพบว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและทีไอซีจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด และพบว่าที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและทีไอซีสำหรับน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ดีที่สุด สามารถอธิบายได้จาก ทฤษฎี Concentration Polarization ที่กล่าวว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้น สารอินทรีย์ละลายจะเกิดการสะสมตัวที่ผิวหน้าเมมเบรนมากขึ้น โอกาสที่สารอินทรีย์ละลายส่วนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนจะหลุดรอดออกมาจึงมีมากขึ้น

และจากการสังเกต รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ยังพบอีกว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นสำหรับน้ำเสียสีข้อมแวมและน้ำเสียสีข้อมคิสเพอร์ส ส่วนน้ำเสียสีข้อมไคเร็กท์ (รูปที่ 4.7) ยังเห็นความเข้มข้นอยู่บ้างแต่น้อยมากโดยเฉพาะ โทนสีเหลือง อาจเนื่องมาจากเมื่อความดันเพิ่มขึ้น อาจทำให้โครงสร้างสีส่วนโครโมฟอร์(Chromophores) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดสีและละลายน้ำได้ดีมาก ออกมากับน้ำเพอมีเอทมากขึ้น จึงปรากฏสีให้เห็นเล็กน้อย

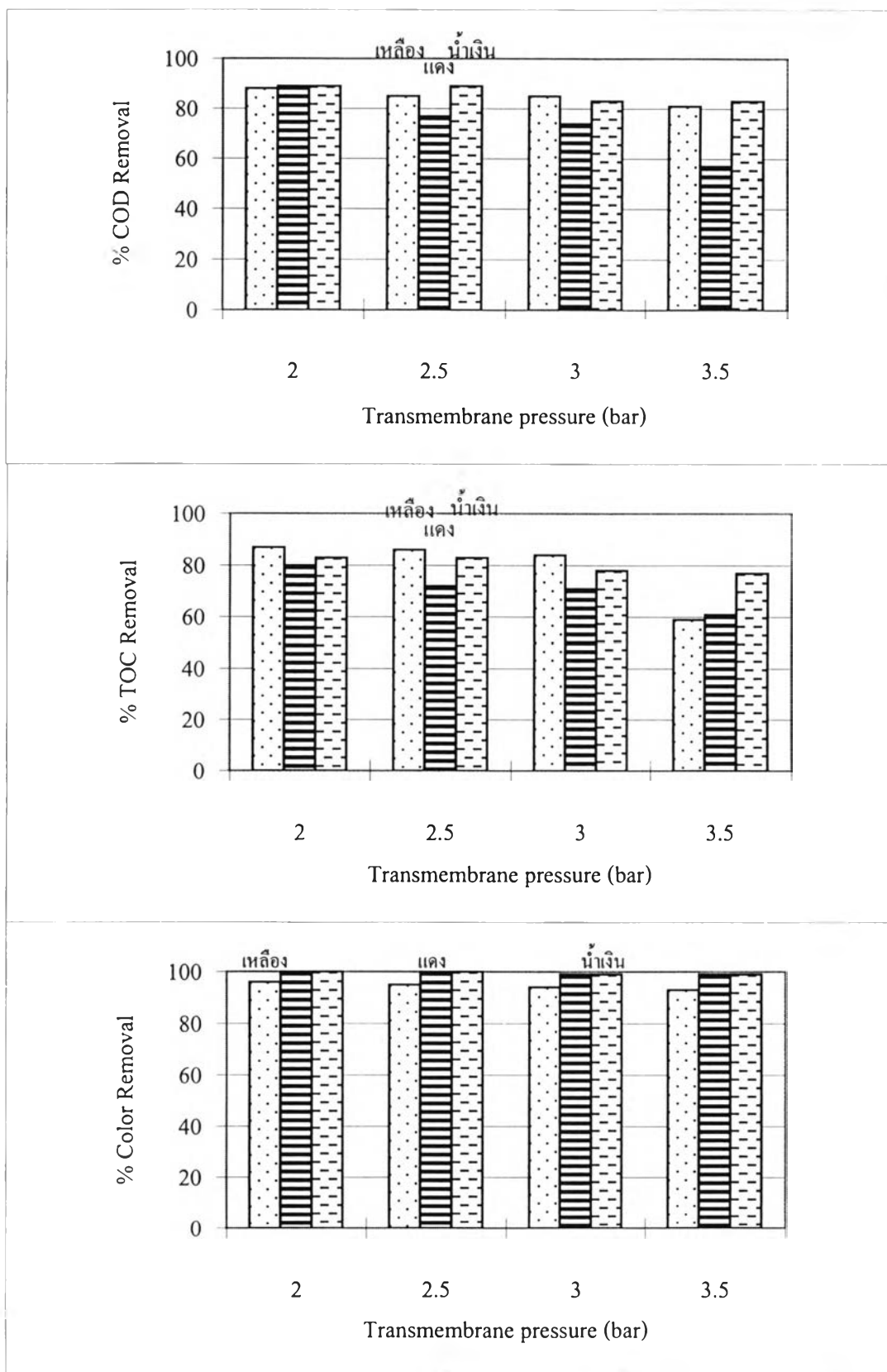
ดังนั้น ผลการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมที่ความดันต่างๆ กัน โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน สามารถสรุปผลได้คือ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอคิของน้ำเสียสีข้อมแวม, น้ำเสียสีข้อมคิสเพอร์ส และน้ำเสียสีข้อมไคเร็กท์ มีค่ามากกว่า 80% ที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอคิของน้ำเสียสีข้อมแวม, น้ำเสียสีข้อมคิสเพอร์ส และน้ำเสียสีข้อมไคเร็กท์ มากกว่า 80% ที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์เช่นกัน ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นสำหรับน้ำเสียสีข้อมแวมและน้ำเสียสีข้อมคิสเพอร์ส 100% ที่ทุกๆ ค่าของความดันในการดำเนินระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของน้ำเสียสีข้อมไคเร็กท์โทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน 100% เช่นกัน ส่วนโทนสีเหลือง เห็นสีเล็กน้อย แต่ไม่ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจ จากผลการทดลองทั้งหมดนี้ กล่าวได้ว่า ที่พีเอชของน้ำเสียสีข้อมประมาณ 7 กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันสามารถบำบัดน้ำเสียสีข้อมทั้ง 3 ชนิด (ทุกโทนสี) ได้ผลดีมากกว่าที่ตั้งสมมติฐานไว้ คือ มากกว่า 60% และน้ำเสียสีข้อมที่ผ่านกระบวนการแล้ว มีความใสมากเมื่อมองด้วยตาเปล่า



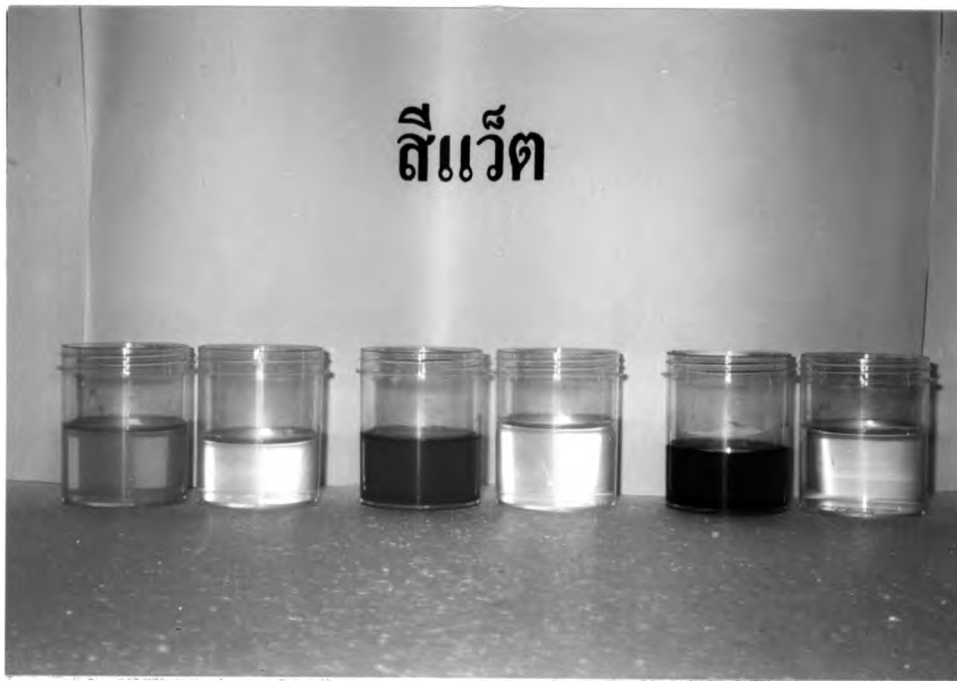
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมเวดที่ความดันต่างๆ



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมดิสเพอร์สที่ความดันต่างๆ



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมได้เรีกที่ที่ความดันต่างๆ



รูปที่ 4.8 น้ำเสี้ยวสีข้อมแวกิตก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 2 บาร์ และพีเอชของน้ำเสี้ยวประมาณ 7



รูปที่ 4.9 น้ำเสี้ยวสีข้อมดิสเพอร์สก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 2 บาร์ และพีเอชของน้ำเสี้ยวประมาณ 7



รูปที่ 4.10 น้ำเสียสีข้อมโคเร็กซ์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรน  
อัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 2 บาร์ และพีเอชของน้ำเสียประมาณ 7

รูปที่ 4.8-4.10 เป็นภาพแสดงการบำบัดน้ำเสียสีข้อม 3 ชนิดโดยกระบวนการเมมเบรน  
อัลตราฟิลเตรชัน เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียสีข้อมก่อนการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตรา  
ฟิลเตรชันกับน้ำเสียสีข้อมที่ผ่านการบำบัดแล้ว ที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์ และพีเอชของ  
น้ำเสียประมาณ 7 เมื่อบ่งด้วยตาเปล่าจะพบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีความใสมาก

### 4.3.3 ผลของพีเอชของน้ำเสี้ยวที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยว

การทดลองบำบัดน้ำเสี้ยวด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสี้ยว 3 ค่า คือ ค่าความเป็นกรด (พีเอชประมาณ 3-4) ค่าความเป็นด่าง (พีเอชประมาณ 9-10) และน้ำเสี้ยวที่พีเอชเป็นกลาง (พีเอชประมาณ 7) เพื่อศึกษาว่าเยื่อแผ่นเมมเบรนที่ใช้นี้สามารถนำไปใช้กับน้ำเสี้ยวจริงได้หรือไม่ และมีประสิทธิภาพการบำบัดอย่างไร เนื่องจาก ในสภาวะความเป็นจริงของการย้อมผ้า ขั้นตอนการย้อมผ้ามีการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อช่วยให้สีย้อมติดเนื้อผ้าได้แน่นขึ้น ดังนั้นน้ำเสี้ยวที่ปล่อยออกมาอาจมีความไม่แน่นอนของความเป็นกรดค่าได้ จึงต้องทำการทดลองเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดค่าของน้ำเสี้ยว

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสี้ยวที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยว โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์ แสดงในตารางที่ 4.4 และจากตารางนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13

ตารางที่ 4.4 ผลของพีเอชของน้ำเสี้ยวที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยว

ชนิดสี	พีเอช พารามิเตอร์	%Removal								
		เหลือง			แดง			น้ำเงิน		
		4	7	9	4	7	9	4	7	9
สีแสด	COD	100	89	79	96	86	96	95	96	79
	TOC	85	88	78	82	86	78	84	91	82
	Color	100	100	100	100	100	100	100	100	100
สีคัสเพอร์ส	COD	89	87	87	87	96	87	88	89	85
	TOC	90	95	88	89	95	87	93	96	86
	Color	100	100	100	100	100	100	100	100	100
สีไคเร็กซ์	COD	87	88	86	86	89	83	88	89	74
	TOC	83	87	77	88	80	71	88	83	79
	Color	97	96	96	99	100	100	100	100	100



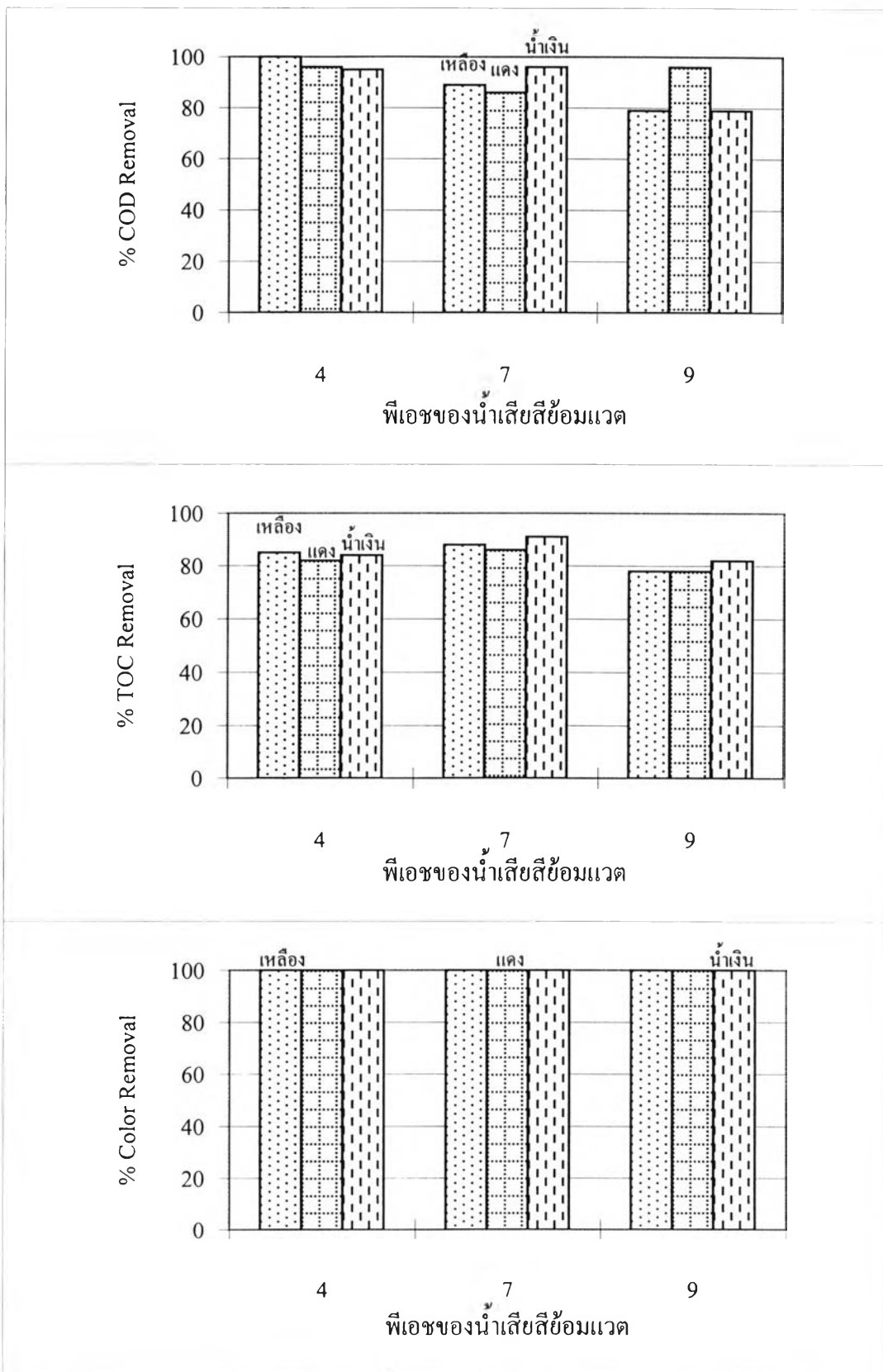
จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมแวต เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย พบว่า เมื่อน้ำเสียที่ย้อมแวตอยู่ในสภาพความเป็นกรด (pH~4) มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์และทีโอซี ดีกว่าเมื่อน้ำเสียที่ย้อมแวตอยู่ในสภาพความเป็นด่าง (pH~9)

และผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ให้ผลสอดคล้องกับน้ำเสียที่ย้อมแวต กล่าวคือ ที่สภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสภาพความเป็นกรด กับ สภาพความเป็นกลางของน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส

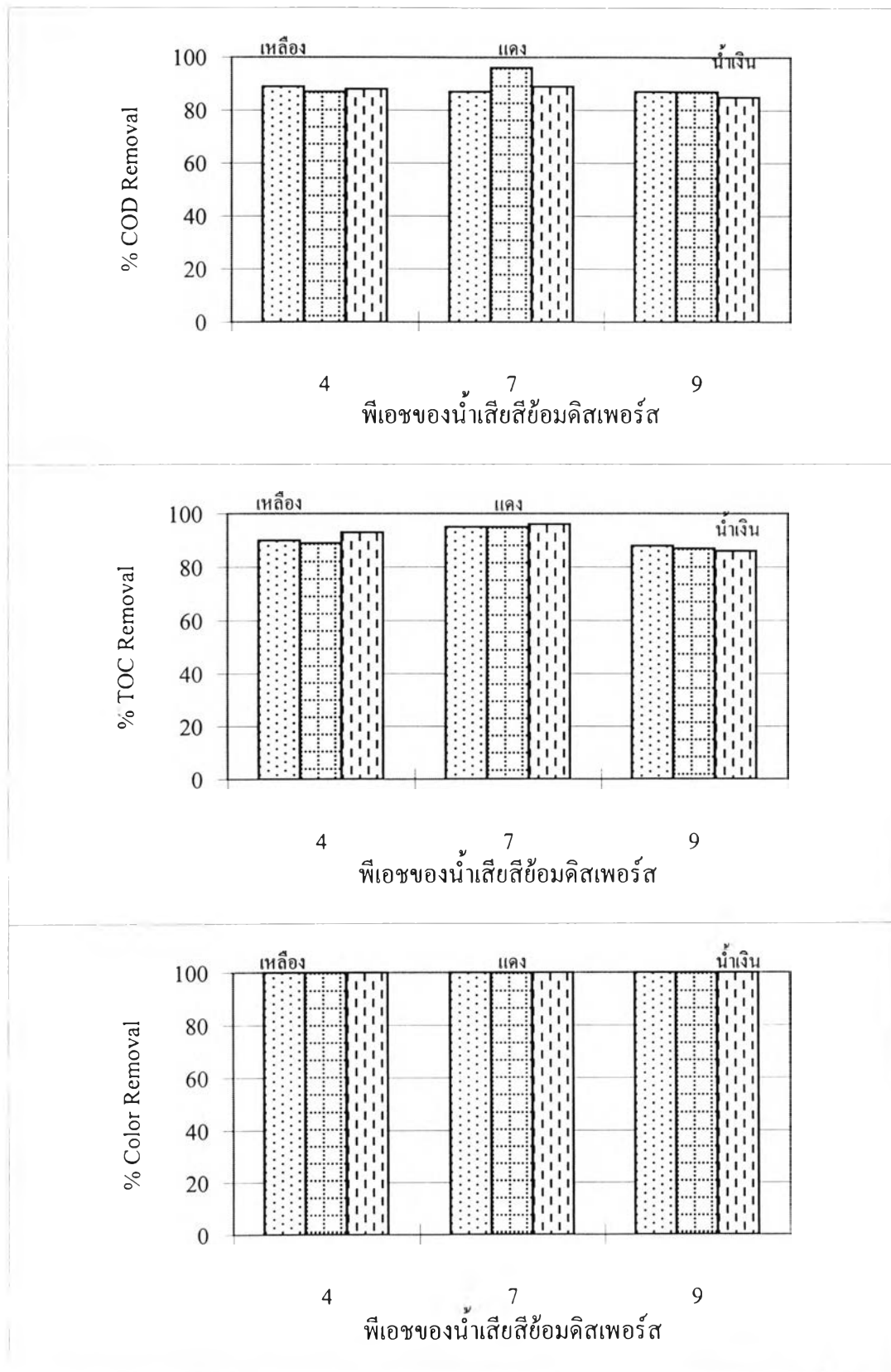
จากผลดังกล่าวข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่า อาจเนื่องมาจาก สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ย้อมแวตนั้น น่าจะทำให้การละลายของสารอินทรีย์ละลายที่อยู่ในน้ำเสียที่ย้อมแวต มีความสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น เป็นผลให้ขนาดอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายมีขนาดเล็กลง จึงสามารถรอดผ่านการกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันได้ ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์และทีโอซีจึงลดลง

แต่หากดูจากประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของน้ำเสียที่ย้อมแวต (รูปที่ 4.11) และ ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส (รูปที่ 4.12) จะพบว่า ไม่ว่าจะที่พีเอชของน้ำเสียที่ย้อมแวตและน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันก็สามารถกรองความเข้มข้นได้หมด และน้ำที่ผ่านกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีความใสมาก เมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ สามารถอธิบายได้ว่า โครงสร้างสีส่วนที่ทำให้เกิดสี น่าจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันจึงสามารถกรองอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมได้ ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียโทนสีใดๆ ของน้ำเสียที่ย้อมแวต และน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส

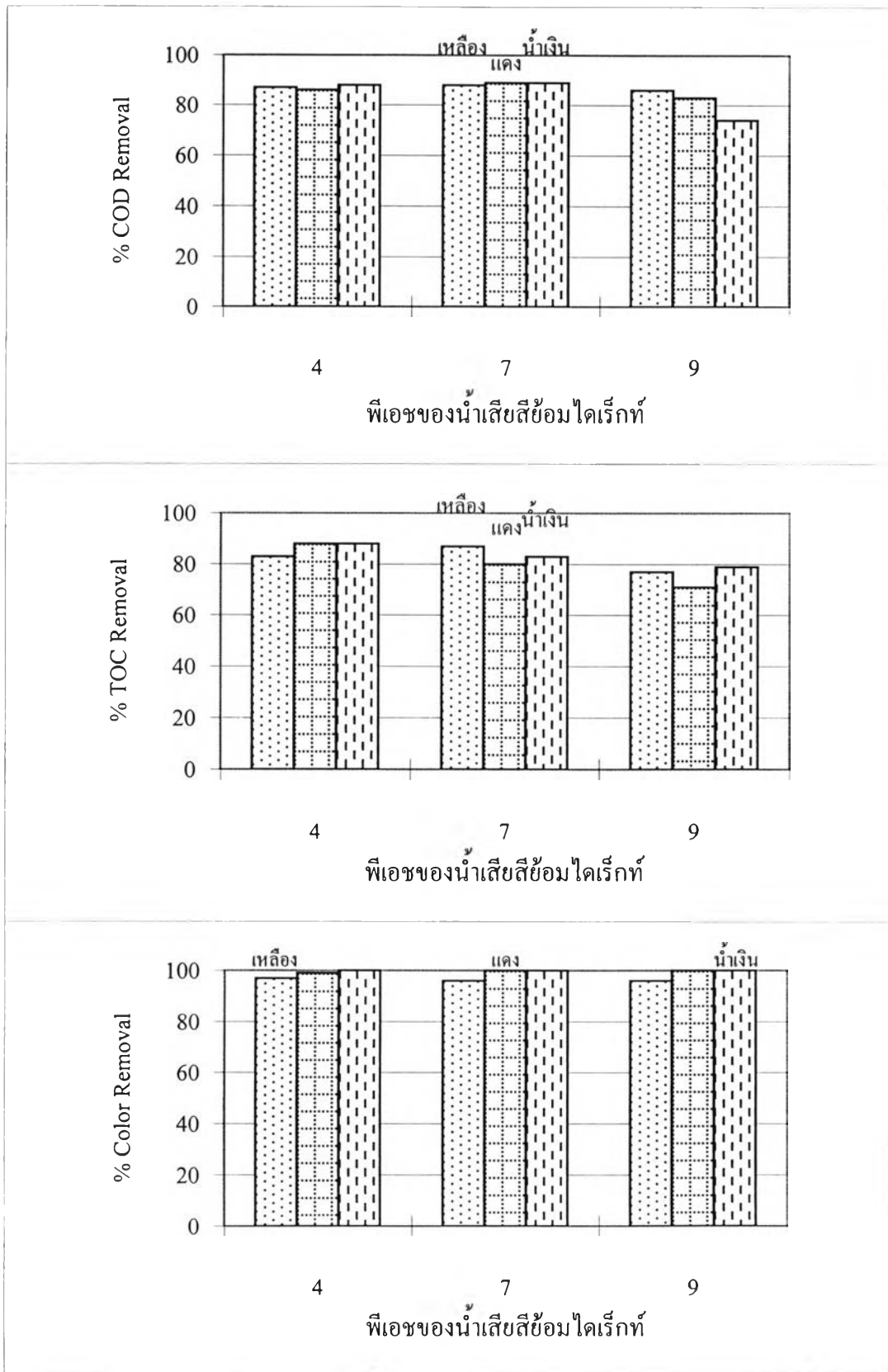
สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย (รูปที่ 4.13) ผลที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกับน้ำเสียที่ย้อมแวตและที่ย้อมคิสเพอร์ส กล่าวคือ ที่สภาพความเป็นด่าง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์และทีโอซีลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสภาพความเป็นกรดและสภาพความเป็นกลางของน้ำเสีย สามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันคือ ที่สภาพความเป็นด่าง สารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์น่าจะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น เป็นผลให้ขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมเล็กลง และสามารถหลุดรอดผ่านการกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันได้มากขึ้น



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแวต เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี่ยสีข้อมคิสเพอร์ส เมื่อเปลี่ยนแปลงพืเอชของน้ำเสี่ย



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของน้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์ (รูปที่ 4.13) พบว่า การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้น และสังเกตพบอีกว่า น้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์ โทนสีเหลือง เห็นความเข้มข้นยู่บ้าง แต่จากการมองด้วยตา พบว่าไม่ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจแต่อย่างใด จากผลนี้ อาจวิเคราะห์ได้ว่า น้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์ โทนสีเหลือง น่าจะมีขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมเล็กกว่าโทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน จึงมีสารอินทรีย์ละลายส่วนที่ทำให้เกิดสีผ่านการกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันออกมาทางน้ำเพอมีเอทได้

จากผลการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิด ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปเป็นตัวเลขได้ว่า ที่สภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ย้อมแวกให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีมากกว่า 80% ที่สภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีมากกว่า 85% ที่สภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีมากกว่า 60% ส่วนที่สภาพความเป็นกรดและสภาพความเป็นกลางของน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิดให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีดีกว่าสภาพความเป็นด่าง และสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิด พบว่า เมื่อมองด้วยตาเปล่า น้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการกรองด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีความใสมากเมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิดได้ดีมากในช่วงพีเอชของน้ำเสียที่กว้าง

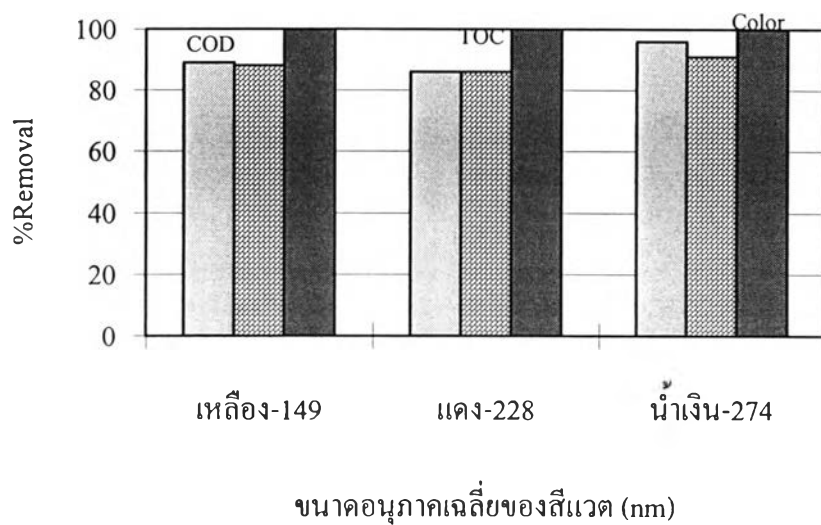
#### 4.3.4 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคที่ย้อมต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีโอซีและความเข้มข้น

จากการนำสีไปทดสอบหาขนาดของอนุภาคโดยเทคนิค Dynamic Light Scattering ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.14 และ รูปที่ 4.15 นั้นพบว่า เทคนิค Dynamic Light Scattering นี้ สามารถหาขนาดของอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมแวกและน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สได้ แต่ไม่สามารถหาขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์ เนื่องจาก เทคนิคนี้สามารถหาขนาดของอนุภาคที่มีขนาดนาโนเมตรที่เป็นคอลลอยด์เมื่อละลายน้ำได้ แต่ไม่สามารถหาขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า คอลลอยด์ได้ (เทคนิคการหาขนาดอนุภาคโดยวิธีนี้แสดงในภาคผนวก ข) ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมแวกกับน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีโอซี และความเข้มข้น

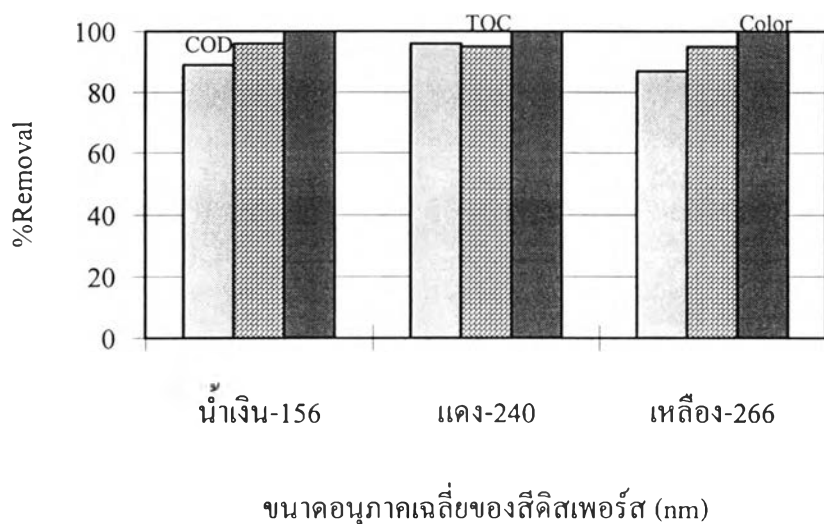
การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมแวกและน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส (แสดงในภาคผนวก-ข) พบว่า ขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมแวก โทนสีเหลือง มีขนาด 149 นาโนเมตร โทนสีแดงมีขนาด 228 นาโนเมตร และ โทนสีน้ำเงินมีขนาด 274 นาโนเมตร ส่วนขนาดอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส โทนสีน้ำเงินมีขนาด 156 นาโนเมตร โทนสีแดง 240 นาโนเมตร และ โทนสีเหลือง 266 นาโนเมตร (ขนาดของอนุภาคที่แสดงนี้เป็นขนาดอนุภาคของเฉลี่ยของสีโดยส่วนใหญ่)

จากการตั้งข้อสังเกตที่ว่า เมื่อขนาดอนุภาคของสารใหญ่ขึ้น น่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารดีขึ้น แต่จากรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสีที่ย้อมแวกเมื่อละลายน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีโอซีและความเข้มสี ที่ความดันในการดำเนินการระบบ 2 บาร์ พีเอชของน้ำเสียประมาณ 7 อุณหภูมิห้องนั้น พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีของสีแวกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ยกเว้นน้ำเสียที่ย้อมแวก โทนสีแดง ส่วนผลการวิเคราะห์รูปที่ 4.15 เป็นผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์สต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีโอซีและความเข้มสี พบว่า ให้ผลที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียที่ย้อมแวกและน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส ไม่มีผลต่อการกรองด้วยเมมเบรน

อย่างไรก็ตาม จากกราฟรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 นั้น สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียที่ย้อมแวกและน้ำเสียที่ย้อมคิสเพอร์ส มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน (~0.002 ไมครอน) ประมาณ 100 เท่า จึงสามารถถูกกรองแบบติดค้างบนรูพรุนเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันได้ โดยคาดว่ากลไกการกำจัดสีอาศัยกลไกการกรองแบบติดค้างที่ผิวหน้าเมมเบรน (Sieve) สำหรับสีใดเรื่อก็ไม่สามารถหาขนาดอนุภาคได้เนื่องจากสีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ดี แต่สามารถถูกกรองด้วยเมมเบรนได้ จึงกล่าวได้ว่าน่าจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.002 ไมครอน และกลไกการกำจัดสีคาดว่าน่าจะมาจากการกรองติดค้างที่ผิวหน้าเมมเบรนและภายในรูพรุนเมมเบรนเช่นกัน



รูปที่ 4.14 ผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำเสียสีข้อมแสด  
ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมแสด



รูปที่ 4.15 ผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำเสียสีข้อมดิสเพอร์ส  
ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมดิสเพอร์ส

#### 4.3.5 สมดุลมวลสารและกลไกการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่ไม่มีการเติมผงถ่าน

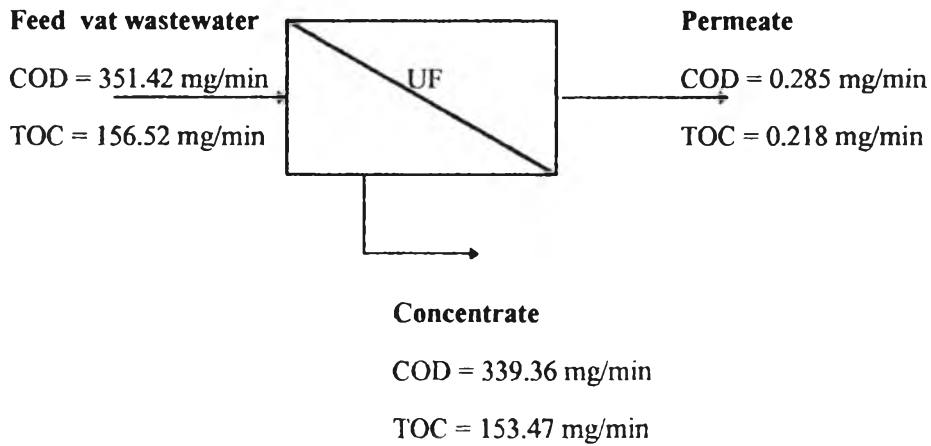
การทดลองหาสมดุลมวลสารของการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อศึกษากลไกการกำจัดอนุภาคสารอินทรีย์โดยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน นอกเหนือไปจากกลไกการกำจัดสารโดยอาศัยการกรองแบบติดค้างบนรูพรุนของเมมเบรน (Sieve) ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานของการทดลองครั้งนี้ คือ การบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันน่าจะมีกลไกการดูดติดสีย้อม โดยแผ่นเมมเบรน (Adsorption) หรือถูกดูดติดภายในรูพรุนของเมมเบรน

การทดลองครั้งนี้ ได้ทดลองกับน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด เลือกโทนสีน้ำเงินเท่านั้น แล้ววัดค่าซีไอดีและทีไอซี ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.16-4.18 โดยรูปที่ 4.16 เป็นการหาสมดุลมวลสารของการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแวก ที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์ พีเอชของน้ำเสียประมาณ 7 ณ อุณหภูมิห้อง พบว่า มวลสารในหน่วยกรัมของซีไอดีของน้ำเสียสีย้อมแวกที่เข้าระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน มีค่าใกล้เคียงกับ มวลสารในหน่วยกรัมของซีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบทั้งทางเพอมีเอทและทาง concentrate รวมกัน และ มวลสารในหน่วยกรัมของทีไอซีของน้ำเสียสีย้อมแวกที่เข้าระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน มีค่าใกล้เคียงกับ มวลสารในหน่วยกรัมของทีไอซีของน้ำที่ออกจากระบบทั้งทางเพอมีเอทและทาง concentrate รวมกันด้วย

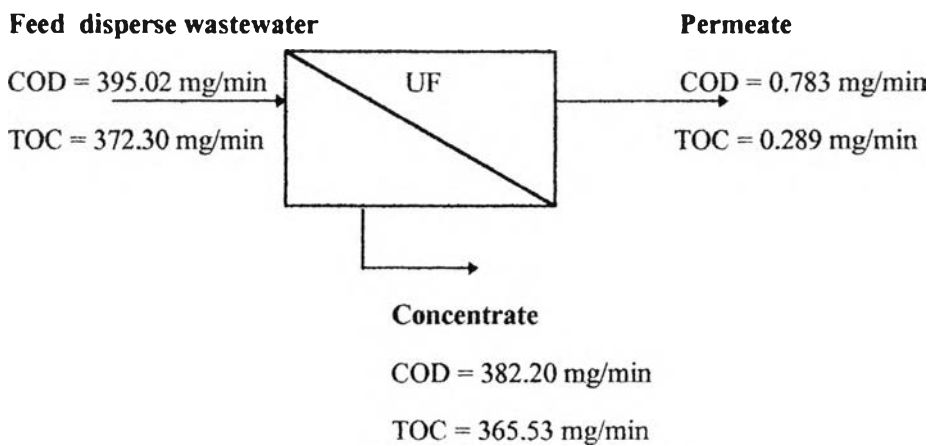
ส่วนมวลสารในหน่วยกรัมของซี ไอดีและที ไอซีของน้ำเสียสีย้อมดิสเพอร์สและน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ที่เข้าระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ก็มีค่าใกล้เคียงกับ มวลสารในหน่วยกรัมของซี ไอดีและที ไอซีของน้ำเสียสีย้อมดิสเพอร์สและน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ที่ออกจากระบบทั้งทางเพอมีเอทและทาง concentrate รวมกัน ด้วยเช่นกัน จากผลนี้ น่าจะสามารถบอกได้ว่า ไม่น่าจะมีกลไกการดูดติดสีย้อมโดยแผ่นเมมเบรน (Adsorption) หรือถูกดูดติดภายในรูพรุนของเมมเบรน ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้

ดังนั้น กลไกการกำจัดอนุภาคสารอินทรีย์ละลายของน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด โดยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน น่าจะมีเพียงกลไกการกำจัดอนุภาคของสารอินทรีย์แบบการกรองติดค้างบนรูพรุน (Sieve) ของเมมเบรน เท่านั้น

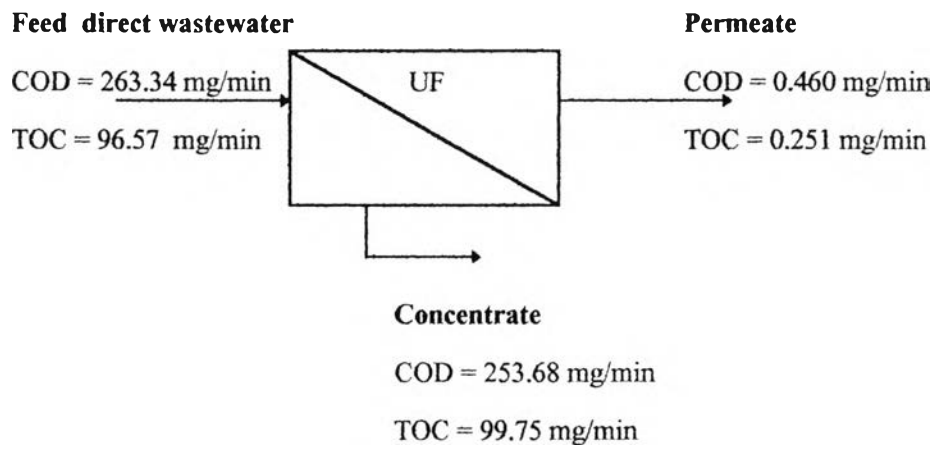




รูปที่ 4.16 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมเวด โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.17 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมคิสเพอร์ส โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.18 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมไคเร็กทีโดยกระบวนการเมมเบรน  
อัลตราฟิลเตรชัน

#### 4.4 การศึกษาการนำเบนซีนมาเสียดสีด้วยโมดูลการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับกระบวนการดูดซับ ผิวด้วยผงถ่านกัมมันต์ สำหรับน้ำเสียดสีไฮโดรคาร์บอน

##### 4.4.1 การทำ Isotherm Test เพื่อเลือกผงถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด

การทำ Isotherm Test เพื่อเลือกผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับไฮโดรคาร์บอนได้ดีที่สุดนี้ เลือกใช้ชนิดของผงถ่านกัมมันต์ 3 ชนิดที่ได้รับความนิยมจาก บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด คือ HRO CH M325-60, HRO HM325-60 และ HRO M200-60 มาทดสอบ และใช้ตัวอย่างน้ำเสียดสีไฮโดรคาร์บอน โทเนสส์ เหลือง ความเข้มข้น 88.2 มก./ล. (ความเข้มข้นตามสูตรการข้มฟ้างริง) เป็นตัวดูดซับผิวของผงถ่านกัมมันต์ แล้วนำมาคำนวณหาว่าผงถ่านกัมมันต์ชนิดใดมีประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรคาร์บอนได้ดีที่สุด

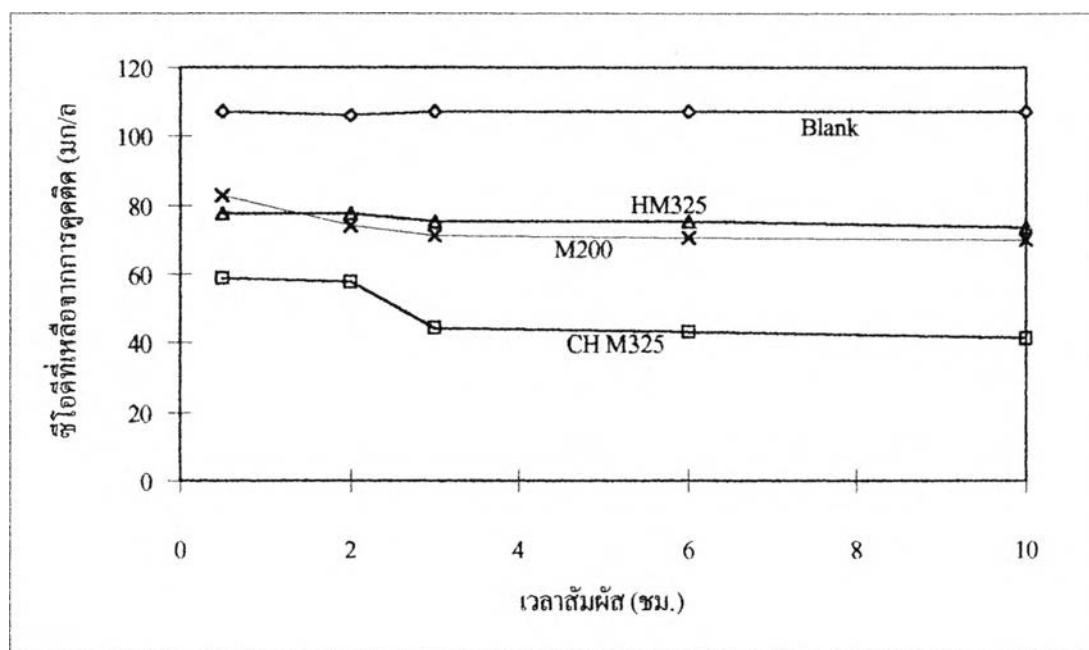
##### 4.4.1.1 เวลาสัมผัสที่เหมาะสม ในการดูดซับไฮโดรคาร์บอนของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

ก่อนทำการทดสอบ Isotherm Test โดยคำนวณจาก สมการ Freundlich Isotherm Test จะหาเวลาสัมผัสในการดูดซับไฮโดรคาร์บอน (โทเนสส์ เหลือง) โดยผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะอิ่มตัว ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5 เป็นตารางการหาค่าซีโอดีที่เหลือจากการดูดซับผิวของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ 3000 มก./ล.

จากตารางที่ 4.5 นำข้อมูลมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.19 จากรูปจะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 ชั่วโมง การดูดซับไฮโดรคาร์บอนของผงถ่านกัมมันต์ ทั้ง 3 ชนิด เริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก กล่าวได้ว่า หลังจาก 3 ชั่วโมงของการทดลอง ผงถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับไฮโดรคาร์บอนได้มากขึ้น โดยมีนัยสำคัญ หรือกล่าวว่าการดูดซับไฮโดรคาร์บอนด้วยผงถ่านกัมมันต์ เข้าสู่สภาวะอิ่มตัวแล้ว

ตารางที่ 4.5 การหาเวลาสัมพัทธ์ที่สภาวะอิ่มตัวสำหรับการดูดซับไอโซม ไคเร็กซ์ของผงถ่านกัมมันต์

เวลาสัมพัทธ์ (ชม.)	ซีไอดีที่เหลือจากการดูดซับ (มก./ล.)			
	Blank	CHM325-60	HM325-60	M200-60
0.5	107	58.6	77.5	82.7
1.0	105	51.2	75.4	74.8
2.0	106	57.5	77.5	74.2
3.0	107	44.0	75.4	70.8
6.0	107	43.0	75.4	70.2
10.0	107	41.2	73.3	70.1



รูปที่ 4.19 การหาเวลาสัมพัทธ์ที่สภาวะอิ่มตัวสำหรับการดูดซับไอโซม ไคเร็กซ์  
ของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

#### 4.4.1.2 การทดสอบ Isotherm Test ของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

การทดสอบ Isotherm Test โดยใช้ซีโอไซด์และความเข้มข้นที่เป็นสารถูกดูดซับ ผลการทดลอง แสดงดังกราฟรูปที่ 4.20-4.25 โดยรูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นกราฟที่แสดงผลของความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์กับเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีโอไซด์ที่เหลือและที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 กราฟรูปที่ 4.22 และ 4.23 เป็นกราฟที่แสดงผลของความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์กับเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีโอไซด์ที่เหลือและที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO HM325-60 และกราฟรูปที่ 4.24 และ 4.25 สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO M200-60

จากกราฟรูปที่ 4.20-4.25 จะพบว่า ที่เวลาสัมผัสประมาณ 3 ชั่วโมง การดูดซับจะเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้น ค่าซีโอไซด์ที่เหลือและความเข้มข้นที่เหลือที่จะนำมาวิเคราะห์ตามสมการ Freundlich Isotherm Test จะใช้ค่าที่การดูดซับเริ่มคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยจากการอ่านกราฟ ที่สภาวะอิ่มตัว แล้วแสดงค่าลงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทำ Isotherm Test ของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

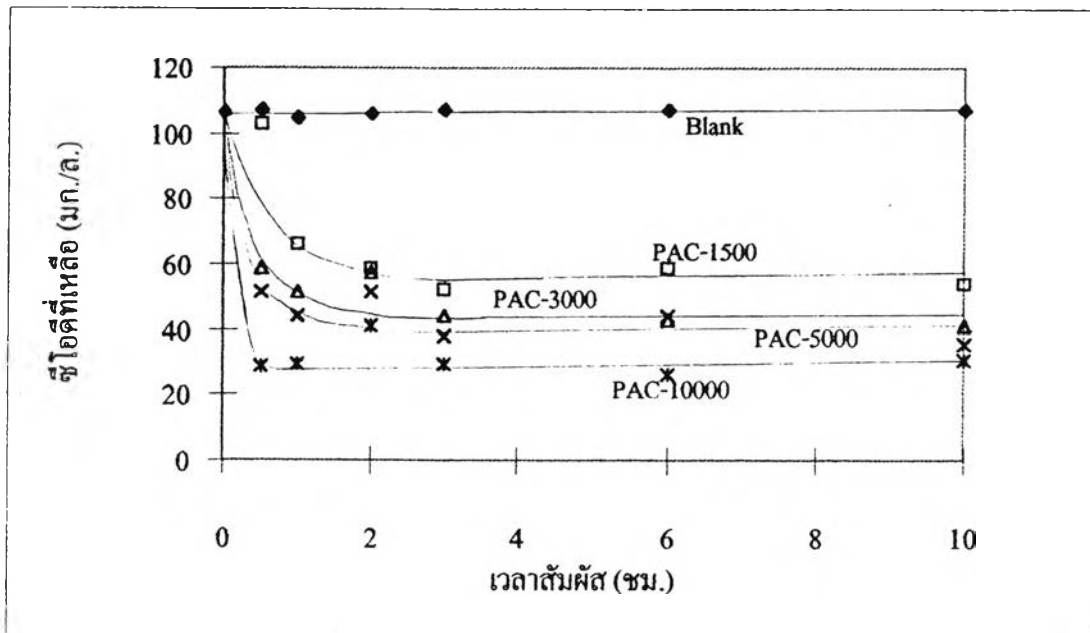
ผงถ่าน (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือ ณ สภาวะอิ่มตัว						q(ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ/ความเข้มข้นผงถ่าน)					
	ซีโอไซด์ที่เหลือ (มก./ล.)			ความเข้มข้นที่เหลือ (Su)			ซีโอไซด์เป็นสารถูกดูดซับ			ความเข้มข้นเป็นสารถูกดูดซับ		
	CH M	HM	M	CH M	HM	M	CH M	HM	M	CH M	HM	M
0	107	107	107	145	145	145						
1500	54.9	89.0	92.0	33.5	75.5	36.0	0.0347	0.0120	0.0100	0.0743	0.0463	0.0727
3000	42.7	78.0	70.7	8.90	22.4	23.5	0.0214	0.0097	0.0121	0.0454	0.0409	0.0405
5000	39.3	70.0	59.9	2.90	9.40	9.60	0.0135	0.0074	0.0094	0.0284	0.0271	0.0271
10000	28.8	62.0	55.1	1.00	8.00	1.00	0.0078	0.0045	0.0052	0.0144	0.0137	0.0144

หมายเหตุ : CH M = HRO CH M325-60

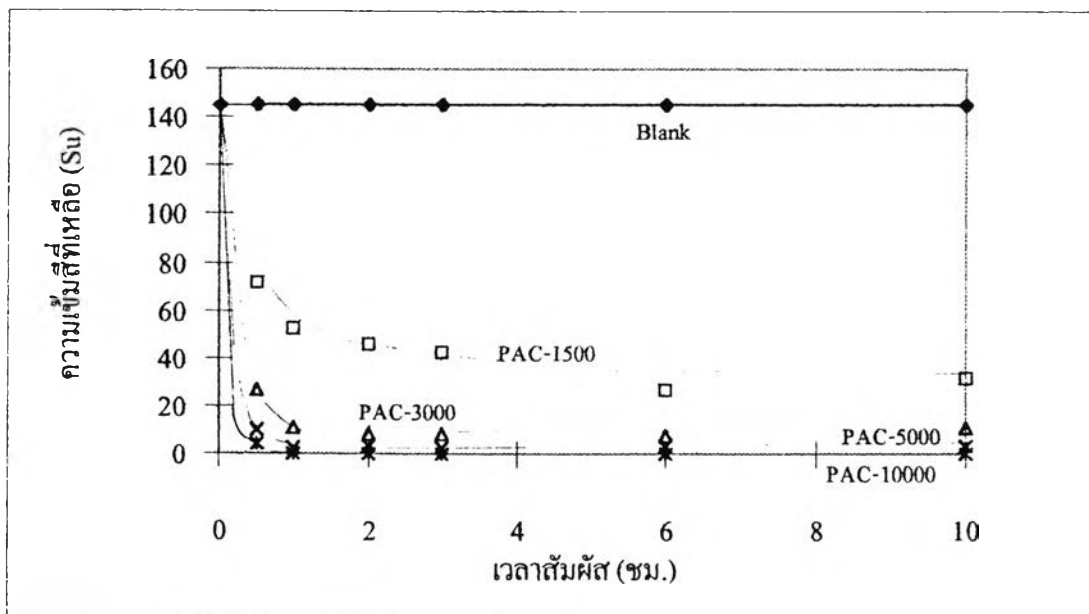
HM = HRO HM325-60

M = HRO M200-60

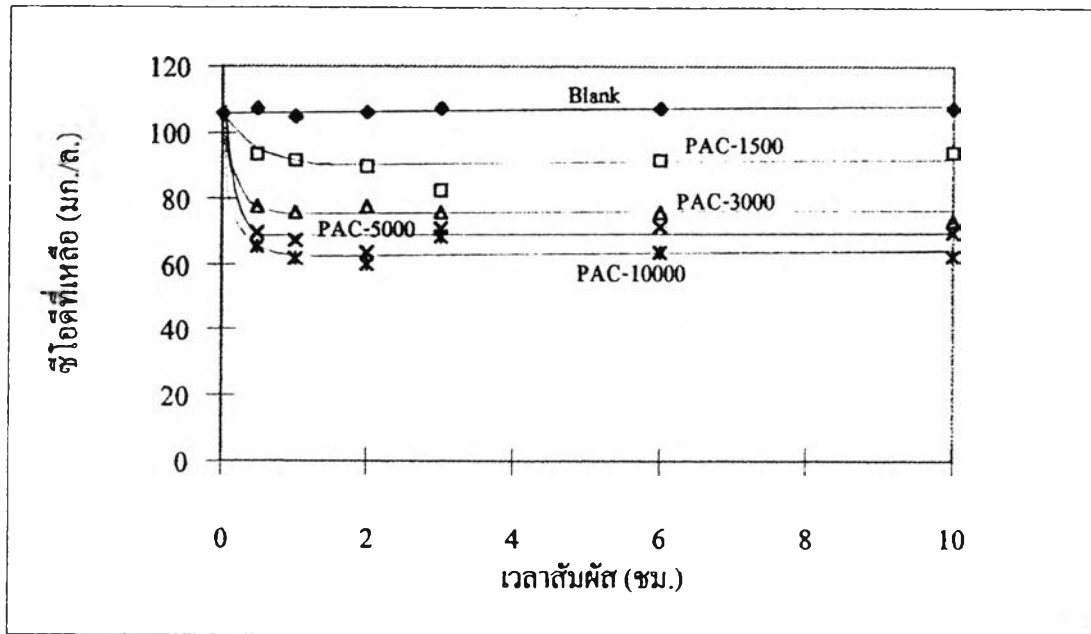
จากตารางที่ 4.6 นำค่า q และ ความเข้มข้นของซีโอไซด์ที่เหลือจากการดูดซับหลังจากเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง มาพล็อตกราฟ log-log แสดงในรูปที่ 4.26 และนำค่า q และ ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับหลังจากเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง มาพล็อตกราฟ log-log แสดงในรูปที่ 4.27 ตามลำดับ



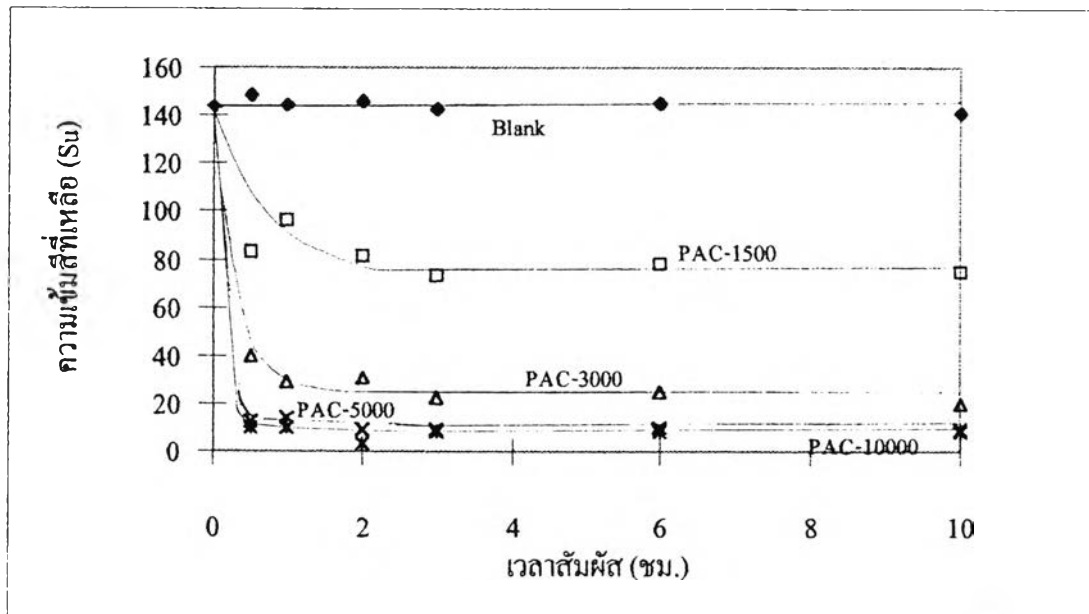
รูปที่ 4.20 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านและเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีไอต์ที่เหลือ  
สำหรับผงถ่าน HRO CH M325-60



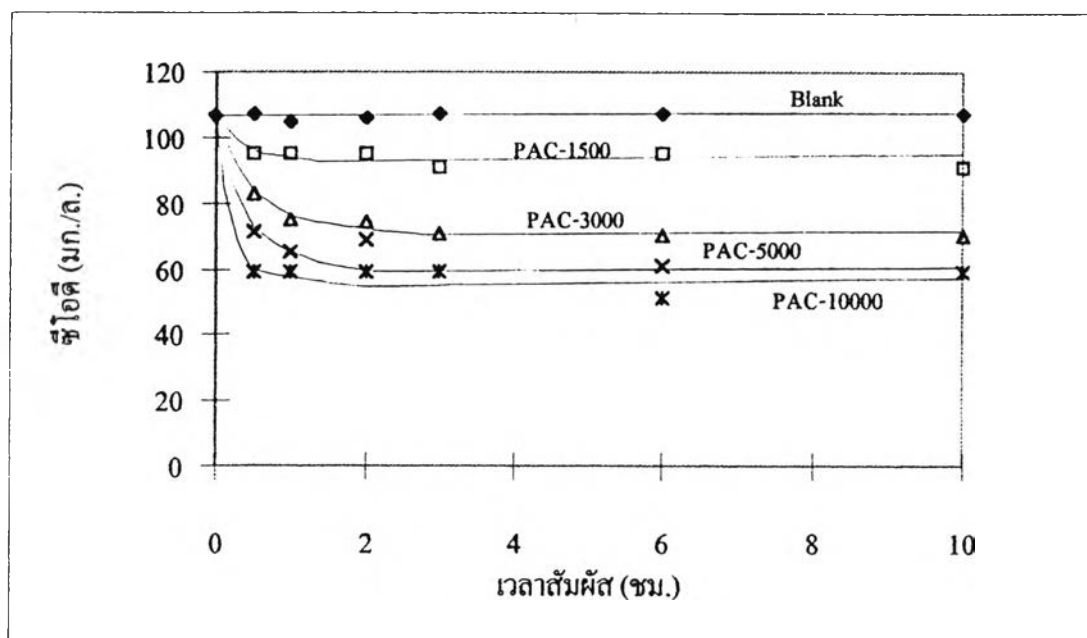
รูปที่ 4.21 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านและเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นซีไอต์ที่เหลือ  
สำหรับผงถ่าน HRO CH M325-60



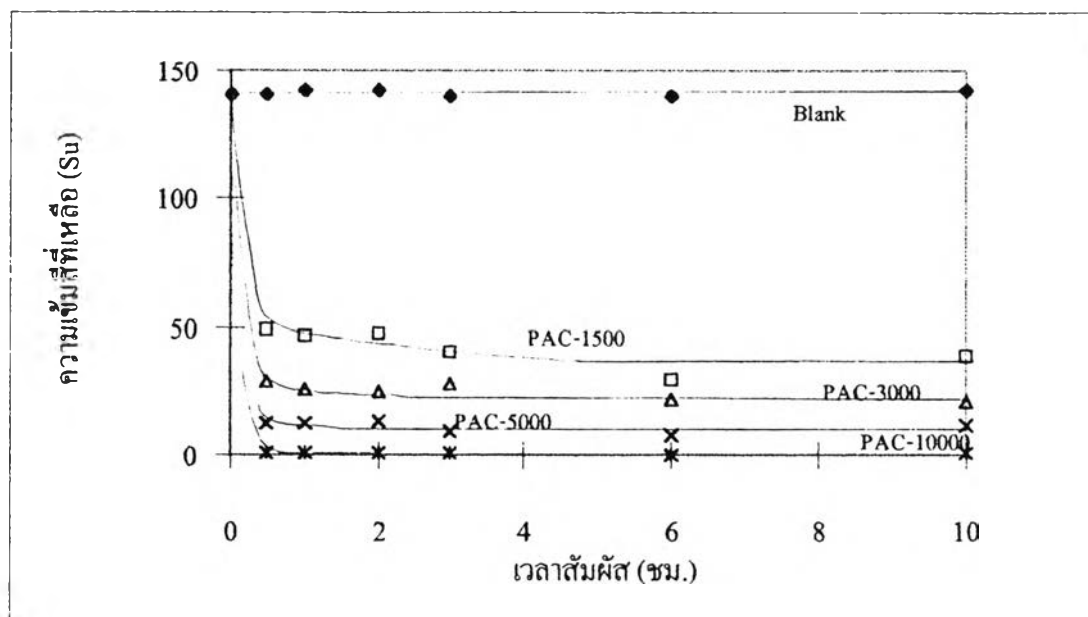
รูปที่ 4.22 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านและเวลาสัมพัทธ์ที่มีต่อความเข้มข้นของซี โอดีที่เหลือ  
สำหรับผงถ่าน HRO HM325-60



รูปที่ 4.23 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านและเวลาสัมพัทธ์ที่มีต่อความเข้มสีที่เหลือ  
สำหรับผงถ่าน HRO HM325-60

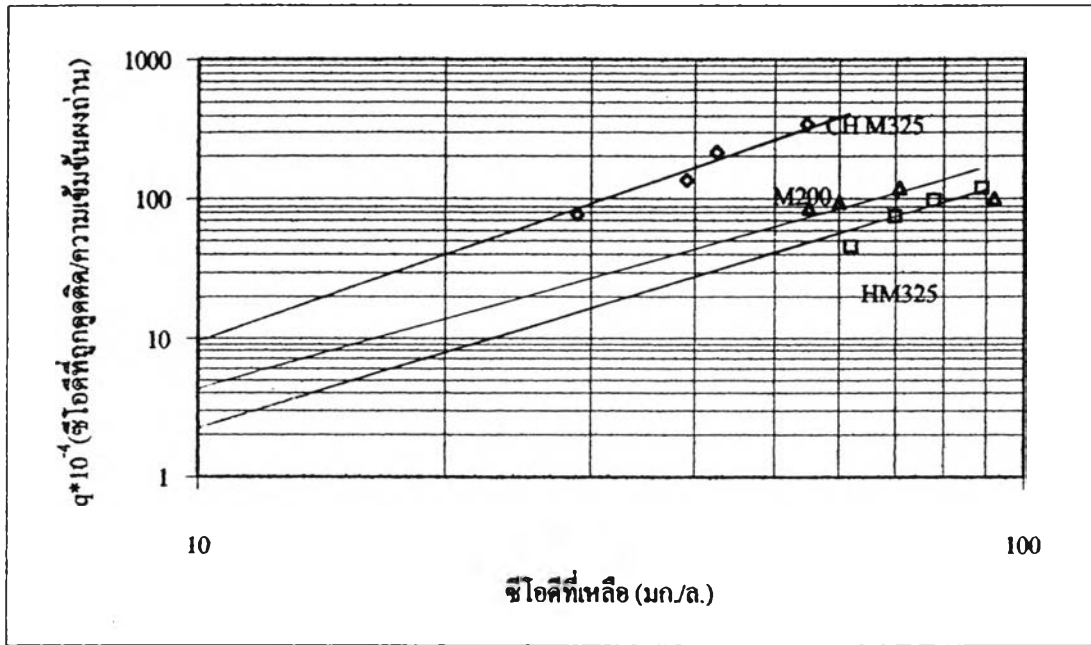


รูปที่ 4.24 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านและเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลือ  
สำหรับผงถ่าน HRO M200-60

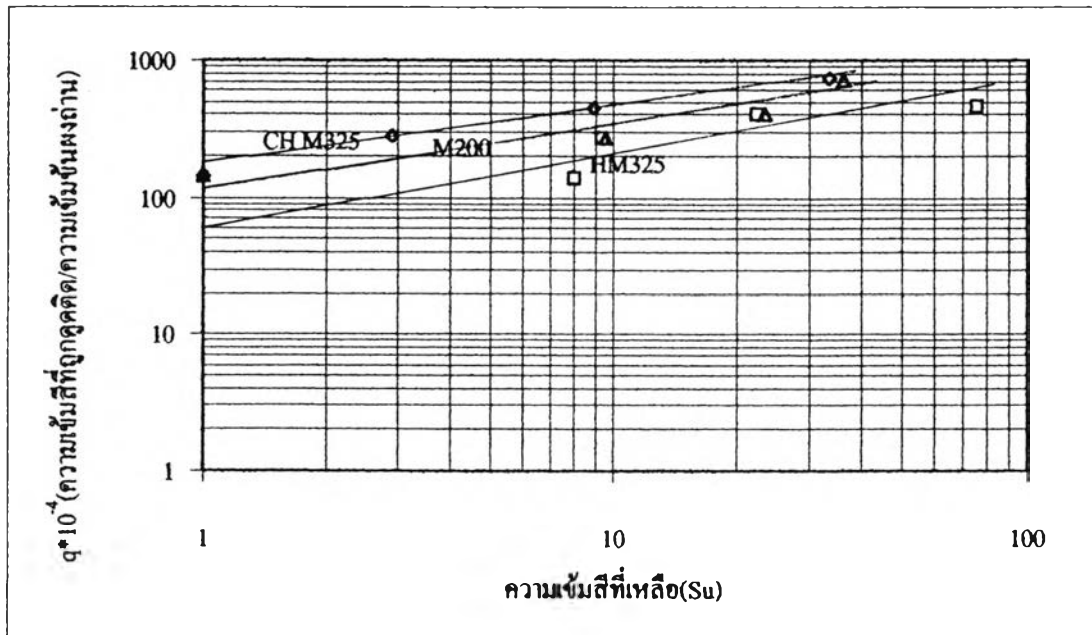


รูปที่ 4.25 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านและเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของคลอรีนที่เหลือ  
สำหรับผงถ่าน HRO M200-60





รูปที่ 4.26 Isotherm Test ซีไอดีเป็นสารถูกดูดคิด



รูปที่ 4.27 Isotherm Test ความเข้มข้นซีไอดีเป็นสารถูกดูดคิด

จากกราฟจะสังเกตได้ว่า ผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 มีความสามารถในการดูดซับ (q) มากกว่าผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO HM325-60 และ HRO M200-60 ทุกช่วงของความเข้มข้นของซีไอคี่ที่เหลือจากการเขย่าและทุกช่วงของความเข้มข้นซีไอคี่ที่เหลือจากการเขย่า โดยมีสมมติฐานที่ว่าผงถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าน่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีไอคี่และความเข้มข้นซีไอคี่ได้มากกว่า

เปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.26 กับ กราฟรูปที่ 4.27 จะพบว่า ผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 (กราฟรูปที่ 4.26) มีประสิทธิภาพการดูดซับซีไอคี่สูงกว่าผงถ่านกัมมันต์อีก 2 ชนิดที่เหลืออย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ เส้นกราฟของผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 มีค่า q สูงกว่าเส้นกราฟของผงถ่านกัมมันต์อีก 2 ชนิดที่เหลือมาก เมื่อเทียบกับซีไอคี่ที่เท่ากัน แต่กราฟรูปที่ 4.27 เส้นกราฟค่อนข้างใกล้เคียงกันสำหรับผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อใช้ความเข้มข้นซีไอคี่เป็นบรรทัดฐานในการดูดซับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ความเข้มข้นซีไอคี่ได้นั้นอาจมีค่าของผงถ่านกัมมันต์ปนลง ไปบ้างจากการกรองผงถ่านกัมมันต์ไม่หมด ทำให้ค่าความเข้มข้นซีไอคี่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากค่าจริง แต่ก็ยังสามารถสรุปได้ว่า ผงถ่านกัมมันต์ ชนิด HRO CH M325-60 มีค่า q สูงที่สุดทุกช่วงความเข้มข้นของซีไอคี่และความเข้มข้นซีไอคี่ที่เหลือจากการเขย่า ดังนั้น ผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 จึงน่าจะเหมาะสมที่สุดในการใช้ทำการทดลองร่วมกับกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับซีไอคี่ต่อไป

จากสมการของ Freundlich Isotherm Test (สมการที่ 2.7) เมื่อนำค่า q กับ ค่า C มาพล็อตลงบนกราฟ log-log จะได้สมการเส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ  $1/n$  และกราฟตัดแกน y มีค่าเท่ากับ k จากการอ่านค่า  $1/n$  กับค่า k แสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณค่าความชันและ k สำหรับผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

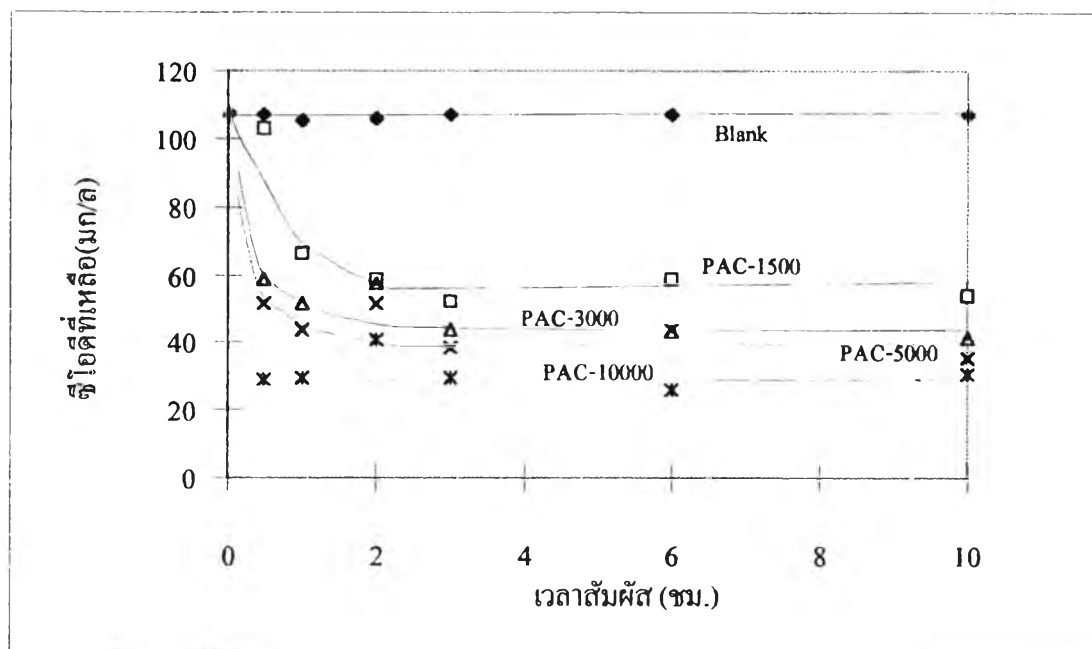
ชนิดของผงถ่านกัมมันต์	Isotherm test ซีไอคี่เป็นสารถูกดูดซับ		Isotherm test ความเข้มข้นซีไอคี่เป็นสารถูกดูดซับ	
	$1/n (10^{-4})$	$k (10^{-4})$	$1/n (10^{-4})$	$k (10^{-4})$
HRO CH M325-60	3.00	10.0	210	170
HRO HM325-60	0.57	2.30	30.0	60.0
KRO M200-60	1.06	4.40	70.0	130

#### 4.4.1.3 การหาสถานะที่เหมาะสมในการดูดติดสีของผงถ่านกัมมันต์ HRO CH M325-60 สำหรับน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โทนสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน

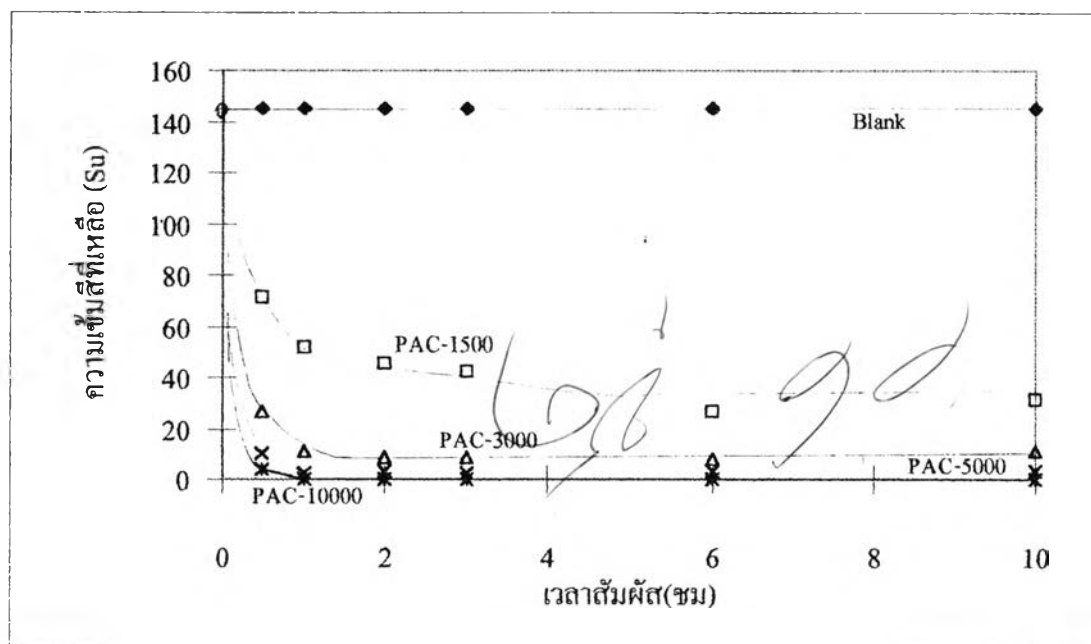
เมื่อทำการทดสอบ Isotherm Test แล้ว พบว่าผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 สามารถดูดติดสีข้อมไคเร็กซ์ได้ดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จะนำผงถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ มาทดสอบกับน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ ทุกโทนสี เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโทนสีแต่ละ โทน โดยในการทดลองจะนำสีไคเร็กซ์ โทนสีเหลือง โทนสีแดงและโทนสีน้ำเงินมาทดสอบการดูดติดสีด้วยผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 ที่ความเข้มข้น 1500, 3000, 5000 และ 10000 มก./ล. เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อหาว่าผงถ่านกัมมันต์แต่ละความเข้มข้นมีประสิทธิภาพการกำจัดสีอย่างไรและใช้เวลานานเท่าไรจึงจะถึงสภาวะอิ่มตัว ผลการทดลองแสดงดังกราฟรูปที่ 4.28-4.33

กราฟรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.33 เป็นการหาสถานะที่เหมาะสมของการดูดติดสีของผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 สำหรับสีไคเร็กซ์ โทนสีเหลือง โดยดูจากค่าซีไอดีที่เหลือจากการถูกดูดติด และความเข้มข้นที่เหลือจากการถูกดูดติด จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 ชั่วโมง การดูดติดสีของผงถ่านกัมมันต์จะเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือกล่าวได้ว่า ผงถ่านกัมมันต์ไม่สามารถทำการดูดติดสีได้มากขึ้นอีก และจากกราฟสามารถวิเคราะห์ได้อีกว่า ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดติดสีจะมากขึ้นด้วย โดยเฉพาะความเข้มข้นของผงถ่านที่ 10,000 มก./ล. สามารถกำจัดความเข้มข้นสีได้เกือบ 100% เมื่อเทียบกับ Blank และน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ที่ผ่านการดูดติดมีความใสมาก

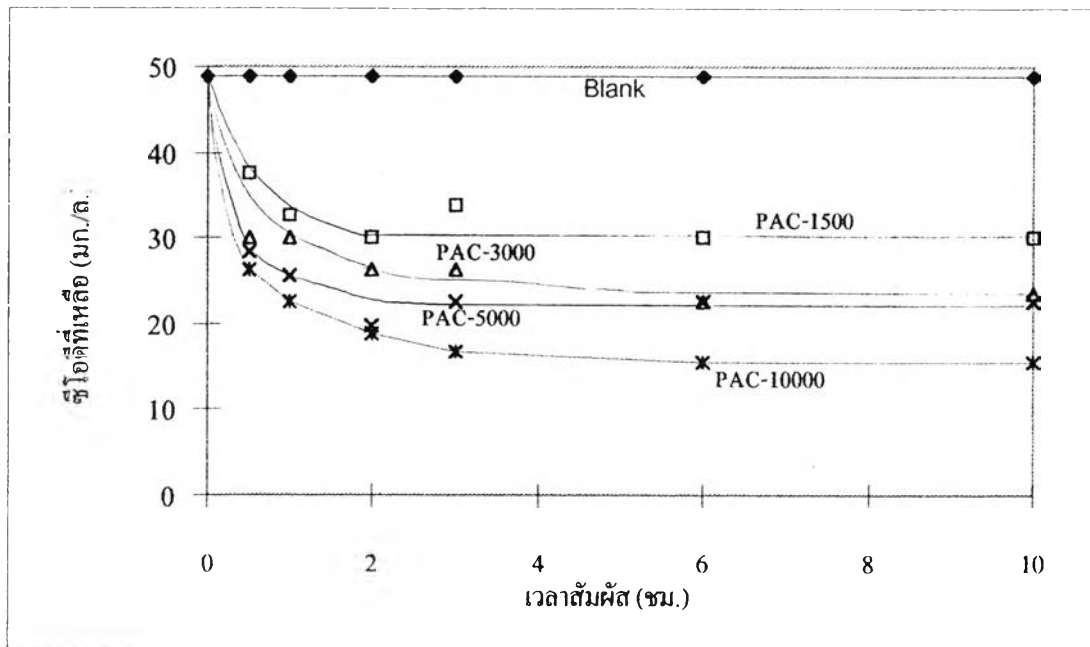
จากกราฟรูปที่ 4.28 ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. จำนวนประสิทธิภาพการดูดติดซีไอดีของผงถ่านกัมมันต์ได้ประมาณ 49% และที่ความเข้มข้นผงถ่าน 3000 มก./ล. จำนวนประสิทธิภาพการดูดติดซีไอดีของผงถ่านกัมมันต์ได้เท่ากับ 60% ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นสีได้ประมาณ 77% และ 94% ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. ตามลำดับ (กราฟรูปที่ 4.29) จากผลนี้จะพบว่า ประสิทธิภาพการดูดติดสีไคเร็กซ์ โทนสีเหลือง ของผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยประมาณ 60% ซึ่งจัดว่าให้ผลค่อนข้างดี แม้จะต้องใช้ปริมาณผงถ่านมากก็ตาม ดังนั้น การทดลองบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โทนสีเหลือง ผ่านกระบวนการ PAC-UF จะใช้ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 ที่ 1500 และ 3000 มก./ล. โดยทำการดูดติดสีด้วยผงถ่านเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ก่อนเข้าระบบการกรองด้วยเมมเบรน



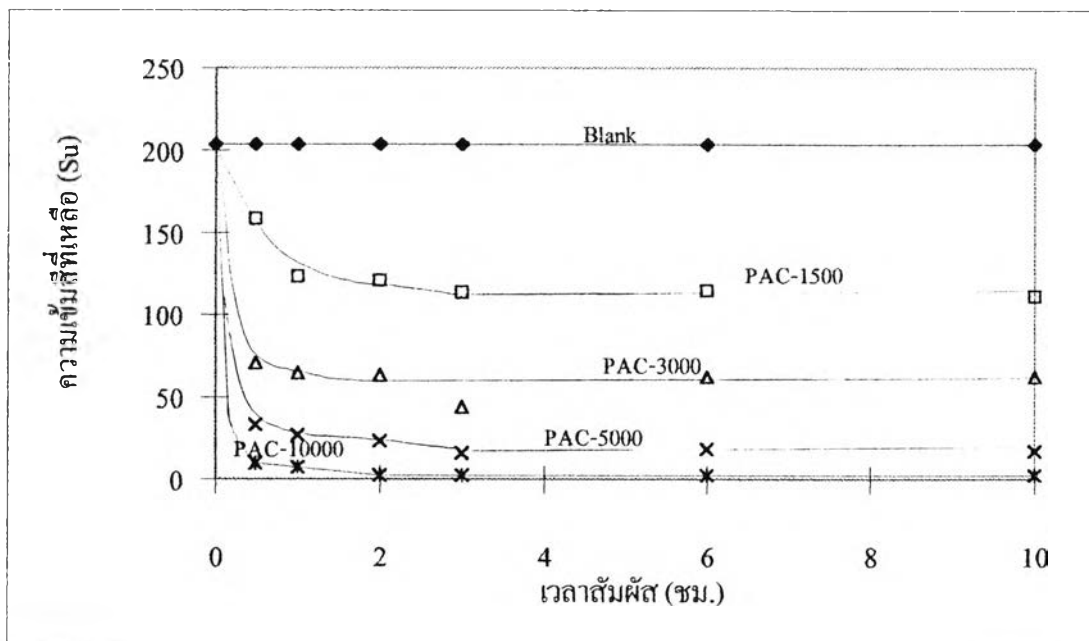
รูปที่ 4.28 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับดีไดเร็กซ์โทนสีเหลือง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกับมันต์ต่างๆ



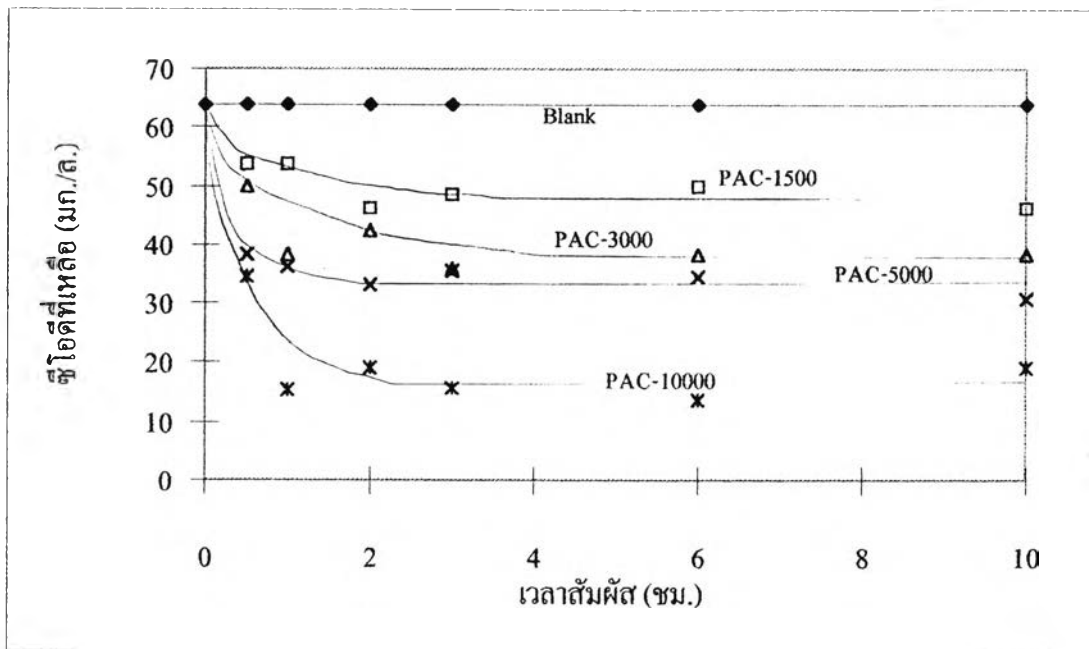
รูปที่ 4.29 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับดีไดเร็กซ์โทนสีเหลือง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกับมันต์ต่างๆ



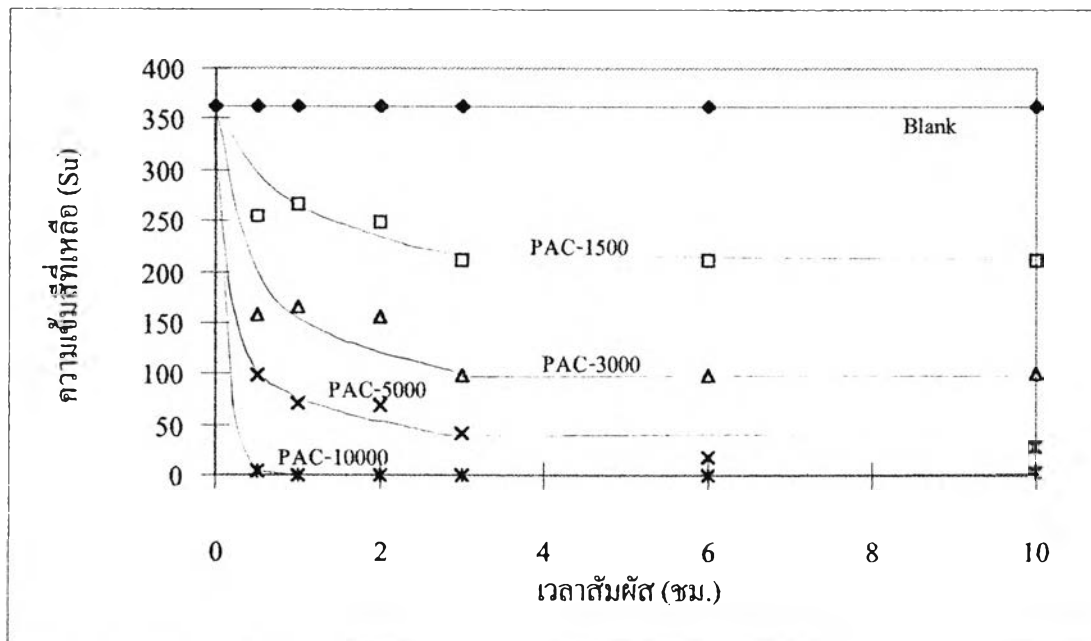
รูปที่ 4.30 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับสีไดเรกต์โทนสีแดง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกับมันต์ต่างๆ



รูปที่ 4.31 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับสีไดเรกต์โทนสีแดง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกับมันต์ต่างๆ



รูปที่ 4.32 การหาสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับสตีไคเรกท์โทนสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ



รูปที่ 4.33 การหาสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับสตีไคเรกท์โทนสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ

เช่นเดียวกับกราฟรูปที่ 4.30-4.33 เป็นการสภาวะที่เหมาะสมของการดูดติดสีของผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 สำหรับสีโคเร็กซ์ โทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน จะพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 ชั่วโมง การดูดติดสีของผงถ่านกัมมันต์จะเริ่มคงที่ หรือกล่าวได้ว่า ผงถ่านกัมมันต์ไม่สามารถทำการดูดติดสีได้มากขึ้นอีก และจากกราฟสามารถวิเคราะห์ได้อีกว่า ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดติดสีจะมากขึ้นด้วย โดยเฉพาะความเข้มข้นของผงถ่านที่ 10,000 มก./ล. สามารถกำจัดความเข้มข้นสีได้เกือบ 100% เมื่อเทียบกับ Blank และน้ำเสียที่ย้อมที่ผ่านการดูดติดมีความใสเหมือนกัน

จากกราฟรูปที่ 4.30 ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. จำนวนประสิทธิภาพการดูดติดสีโอติของผงถ่านกัมมันต์ได้ประมาณ 36% และที่ความเข้มข้นผงถ่าน 3000 มก./ล. จำนวนประสิทธิภาพการดูดติดสีโอติของผงถ่านกัมมันต์ได้เท่ากับ 51% ในขณะที่ ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นสีได้ประมาณ 45% และ 73% ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. ตามลำดับ (กราฟรูปที่ 4.31) จากผลนี้ จะพบว่า ประสิทธิภาพการดูดติดสีโคเร็กซ์ โทนสีแดง ของผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยประมาณ 50% ซึ่งจัดว่าให้ผลดีพอใช้ ดังนั้น การทดลองบำบัดน้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์ โทนสีแดง ผ่านกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดติดด้วยผงถ่านกัมมันต์ จะใช้ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 ที่ 1500 และ 3000 มก./ล. โดยทำการดูดติดสีด้วยผงถ่านเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ก่อนเข้าระบบการกรองด้วยเมมเบรน

ส่วนกราฟรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 (สำหรับสีโคเร็กซ์ โทนสีน้ำเงิน) ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. จำนวนประสิทธิภาพการดูดติดสีโอติของผงถ่านกัมมันต์ได้ประมาณ 25% และที่ความเข้มข้นผงถ่าน 3000 มก./ล. จำนวนประสิทธิภาพการดูดติดสีโอติของผงถ่านกัมมันต์ได้เท่ากับ 41% ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นสีประมาณ 35% และ 74% ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. ตามลำดับ (กราฟรูปที่ 4.33) และพบว่าเวลาสัมผัสประมาณ 3 ชั่วโมง การดูดติดสีของผงถ่านกัมมันต์ เกือบจะคงที่ ดังนั้น จะใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง และความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 และ 3000 มก./ล. สำหรับทุกโทนสีของสีโคเร็กซ์ เพื่อทำการทดลองผ่านกระบวนการ PAC-UF ต่อไป

จากกราฟรูปที่ 4.28-4.33 จะสังเกตเห็นว่า ทุกโทนสีของสีโคเร็กซ์ ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นสีของผงถ่านดีกว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีโอติ เมื่อเทียบกับ Blank ทั้งนี้จะเป็นเพราะในน้ำเสียที่ย้อมโคเร็กซ์มีสารอินทรีย์ละลายหลายชนิดผสมกันอยู่ ซึ่งสารอินทรีย์ละลายบางชนิดเป็นสารอินทรีย์ละลายที่ทำให้เกิดสี แต่ก็มีสารอินทรีย์ละลายบางชนิดที่ไม่ทำให้เกิดสีและไม่สามารถถูกดูดติดผิวด้วยผงถ่านกัมมันต์ได้ หรือกล่าวได้ว่า สารอินทรีย์ละลายที่ทำให้เกิดสี สามารถ

ถูกดูดติดด้วยผงถ่านกัมมันต์ได้ดี ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีด้วยผงถ่านกัมมันต์จึงน้อยกว่าประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นซีโอดีด้วยผงถ่านกัมมันต์

ในงานวิจัยนี้เน้นกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมาบำบัดเสียย้อมผ้าโดยมีผงถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดเสียให้มากขึ้น ดังนั้น สภาพที่เหมาะสมที่สุดของผงถ่านกัมมันต์ที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในกระบวนการ PAC-UF คือ การดูดติดเสียย้อมด้วยผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 กับน้ำเสียย้อมไคเร็กซ์ เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นผงถ่าน 2 ค่า คือ 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. (ทำการทดลอง 2 ชุด) แล้วจึงผ่านการกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันต่อไป ทั้งนี้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ว่า จะใช้ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีประมาณ 60% เท่านั้น ถ้าใช้มากกว่านั้น จะสิ้นเปลืองผงถ่านกัมมันต์มากเกินไป และถ้ามีผงถ่านกัมมันต์ในกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันในปริมาณมากเกินไปอาจเป็นผลเสียต่อเมมเบรนในแง่ของการลดอัตราการกรองน้ำ ทำให้ความต้านทานการกรองน้ำเพิ่มขึ้น และอาจเกิดการ Fouling ได้

ตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและความเข้มข้นซีโอดีโดยผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะพบว่าที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์มาก ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและความเข้มข้นจะมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าซีไอเร็กซ์โทนสีเหลืองมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าโทนสีอื่นๆ ตามด้วยโทนสีแดงและโทนสีน้ำเงินตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโทนสีเหลืองของซีไอเร็กซ์มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าโทนสีอื่นๆ จึงทำให้อนุภาคของสีสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ดี



ตารางที่ 4.8 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและความเข้มสีโดยผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

โทนสีของ สีโคเร็กซ์	ความเข้มข้นผงถ่าน กัมมันต์ (มก./ล.)	% Removal	
		ซีไอดี	ความเข้มสี
เหลือง	1500	49	77
	3000	60	94
	5000	63	98
	10000	73	99
แดง	1500	36	45
	3000	51	73
	5000	54	92
	10000	67	99
น้ำเงิน	1500	25	40
	3000	41	74
	5000	47	92
	10000	75	99

#### 4.4.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสียสีย้อม

การบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการผงถ่านกัมมันต์ นั้น ได้ทดลองกับน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์เพียงสีเดียว เนื่องจาก น้ำเสียสีย้อมสีย้อมแวตและน้ำเสียสีย้อมคิสเพอร์ส นั้นเป็นน้ำเสียสีย้อมประเภทคอลลอยด์ ซึ่งสามารถถูกกรองโดยเมมเบรนได้ดีกว่าน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ เนื่องจากขนาดอนุภาคของคอลลอยด์ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของสีย้อมไคเร็กซ์ (ละลายน้ำได้ดี) จึงถูกกรองด้วยเมมเบรนได้ดีกว่า และเหตุผลอีกประการหนึ่ง คือ สีย้อมคิสเพอร์สเป็นสารแขวนลอย ซึ่งการแขวนลอยเป็นการป้องกันการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ ตามที่ Digiano (1977) ได้เสนอไว้ ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้ผงถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

การทดลองบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์โดยกระบวนการ PAC-UF นั้นจะศึกษาผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำ ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ทีไอซีและความเข้มข้นสี รวมทั้งศึกษาว่ากระบวนการร่วมระหว่างเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันกับผงถ่านกัมมันต์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมจริงได้หรือไม่

##### 4.4.2.1 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำของกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์

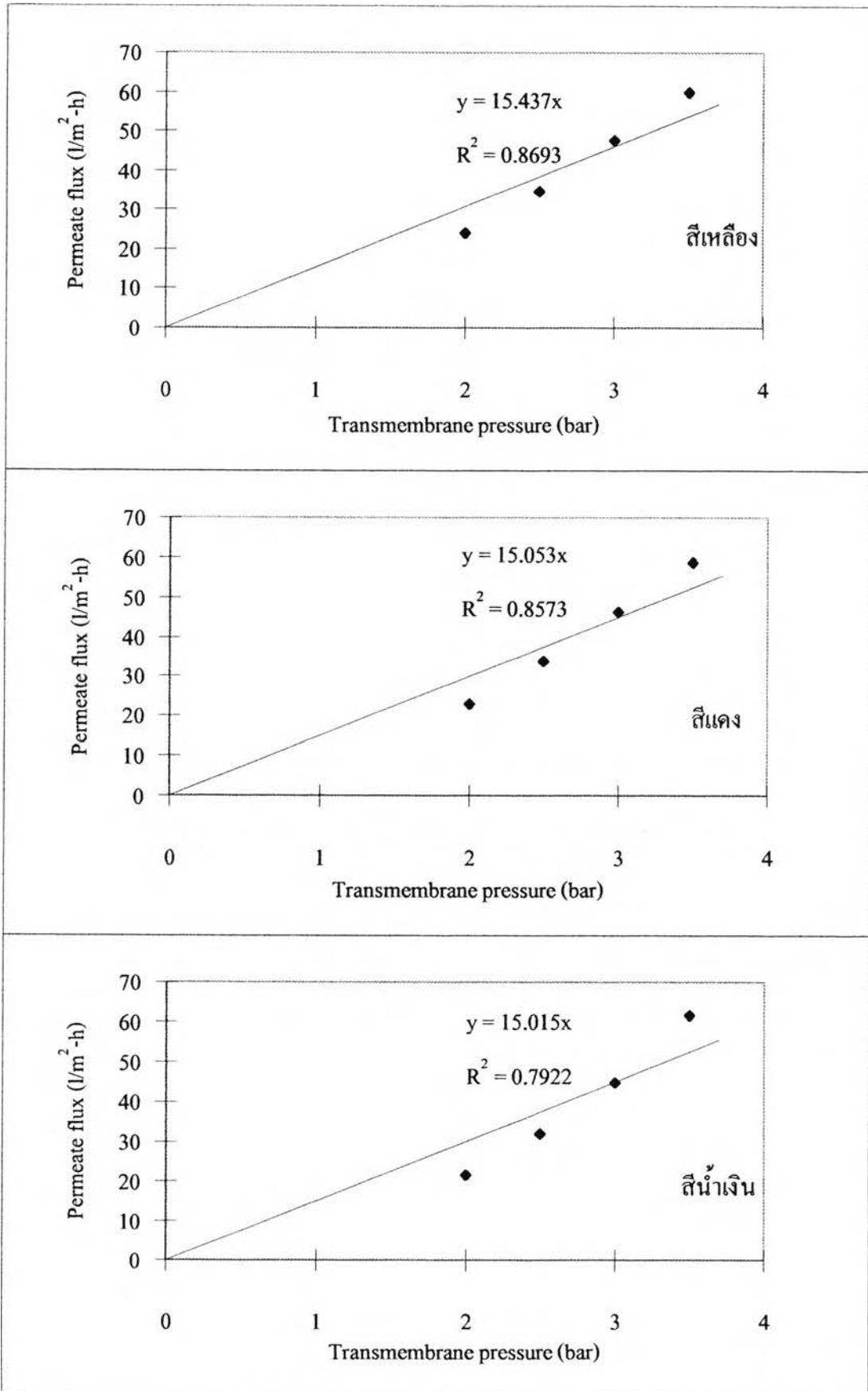
ผลการทดลองหาอัตราการกรองน้ำที่ความดันต่างๆ สำหรับการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ แสดงดังรูปที่ 4.34-4.35 ซึ่งรูปที่ 4.34 เป็นผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการ PAC-UF สำหรับน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ 3 โทนสี ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล. และรูปที่ 4.35 ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 3000 มก./ล. จากรูปจะพบว่า ความดันของการกรองน้ำแปรผันตรงกับอัตราการกรองน้ำสำหรับน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ทั้งโทนสีเหลือง โทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.2 ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากสมการที่แสดงในกราฟรูปที่ 4.34-4.35 นำมาคำนวณหาความต้านทานรวมของเมมเบรนได้ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การคำนวณหาความต้านทานการกรองน้ำสำหรับการบำบัดน้ำเสียซีไอเร็กซ์ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์

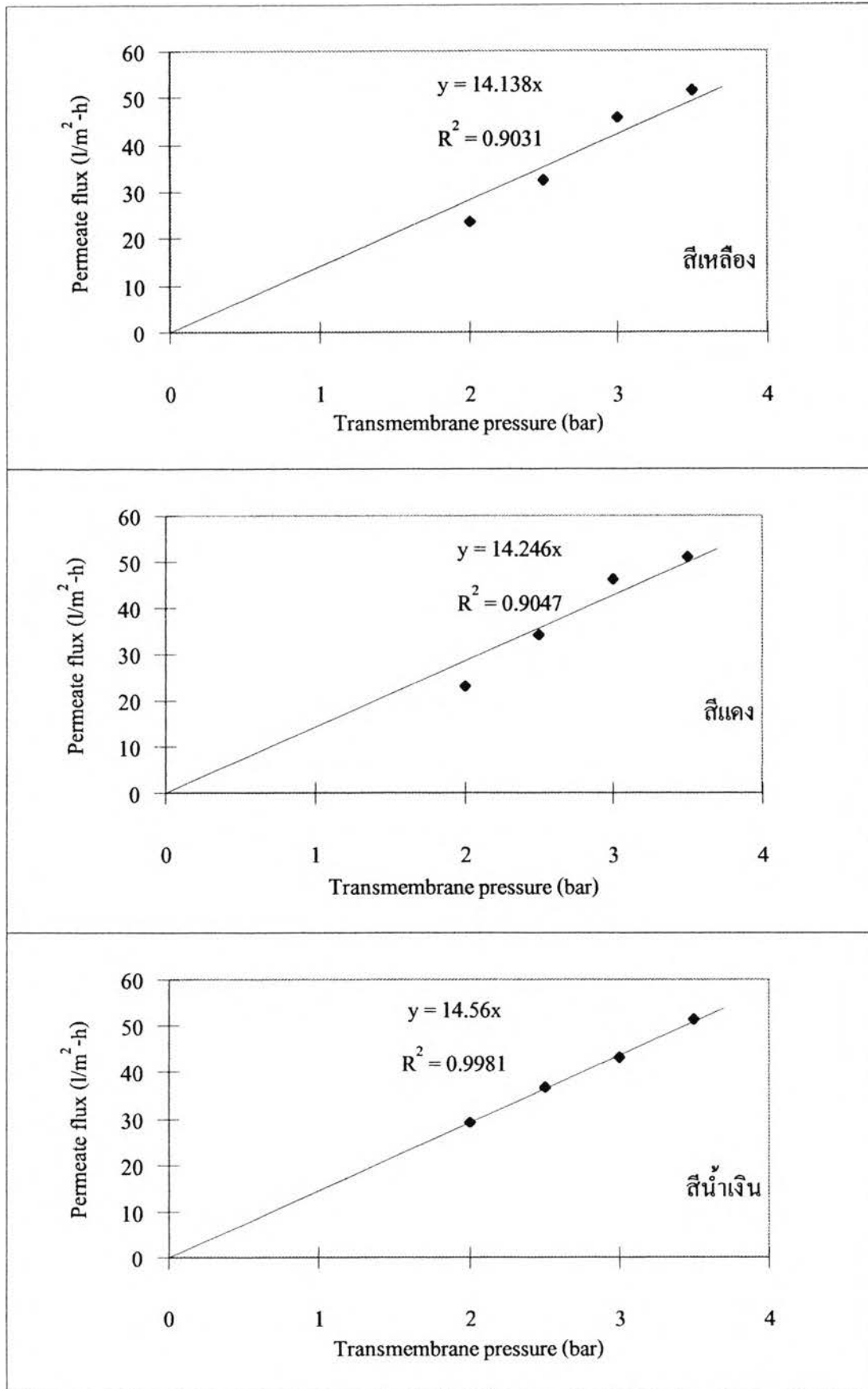
โทนสี	ความเข้มข้นผงถ่าน (มก./ล.)	ความต้านทาน ( $m^{-1}$ )	Permeate flux ( $l/m^2-h$ )
สีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน	1500	$2.620 \cdot 10^{13}$ $2.687 \cdot 10^{13}$ $2.694 \cdot 10^{13}$	20-60
สีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน	3000	$2.861 \cdot 10^{13}$ $2.839 \cdot 10^{13}$ $2.778 \cdot 10^{13}$	20-60

การคำนวณหาความต้านทานรวมของเมมเบรนดังตารางข้างต้นนั้น จะพบว่า ค่าความต้านทานรวมของเมมเบรนสำหรับการทดลองบำบัดน้ำเสียซีไอเร็กซ์ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์นั้น มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับความต้านทานของเมมเบรนเริ่มต้น ( $1.998 \cdot 10^{13} m^{-1}$ ) ค่าที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นผลมาจากการอุดตันของอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียซีไอเร็กซ์และการอุดตันเนื่องจากผงถ่านกัมมันต์ที่ผิวหน้าเมมเบรน อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วนำเมมเบรนมาล้างด้วยสารเคมี จะสังเกตเห็นว่า ความต้านทานของเมมเบรนลดลง และอัตราการกรองน้ำหลังจากการทำความสะอาดเมมเบรนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบเท่ากับค่าเริ่มต้น นั่นหมายถึงเมมเบรนยังคงมีสภาพการใช้งานที่ดี

จากการสังเกตค่าความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ร่วมกับกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียซีไอเร็กซ์ในระบบ จะพบว่า ใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ค่อนข้างมาก คือ 1500 และ 3000 มก./ล. ถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ค่อนข้างมาก แต่ก็พบว่า อัตราการกรองน้ำที่ได้ ไม่ได้ลดลงมากเท่าที่ควร ยังคงได้อัตราการกรองน้ำอยู่ในช่วง 20-60 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่ความดันในการดำเนินระบบในช่วง 2.0-3.5 บาร์ ซึ่งค่านี้ก็ใกล้เคียงกับอัตราการกรองน้ำบริสุทธิ์ (อยู่ในช่วง 40-70 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง) ที่ความดันในการดำเนินเดียวกัน แสดงว่า การมีผงถ่านกัมมันต์ในระบบไม่น่าจะมีผลทำให้การทำงานของกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันค่อยลง หรือเกิดการ fouling ได้



รูปที่ 4.34 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการ PAC-UF สำหรับสีโคเร็กซ์ ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล.



รูปที่ 4.35 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการ PAC-UF สำหรับสีใดเร็กซ์ ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 3000 มก./ล.

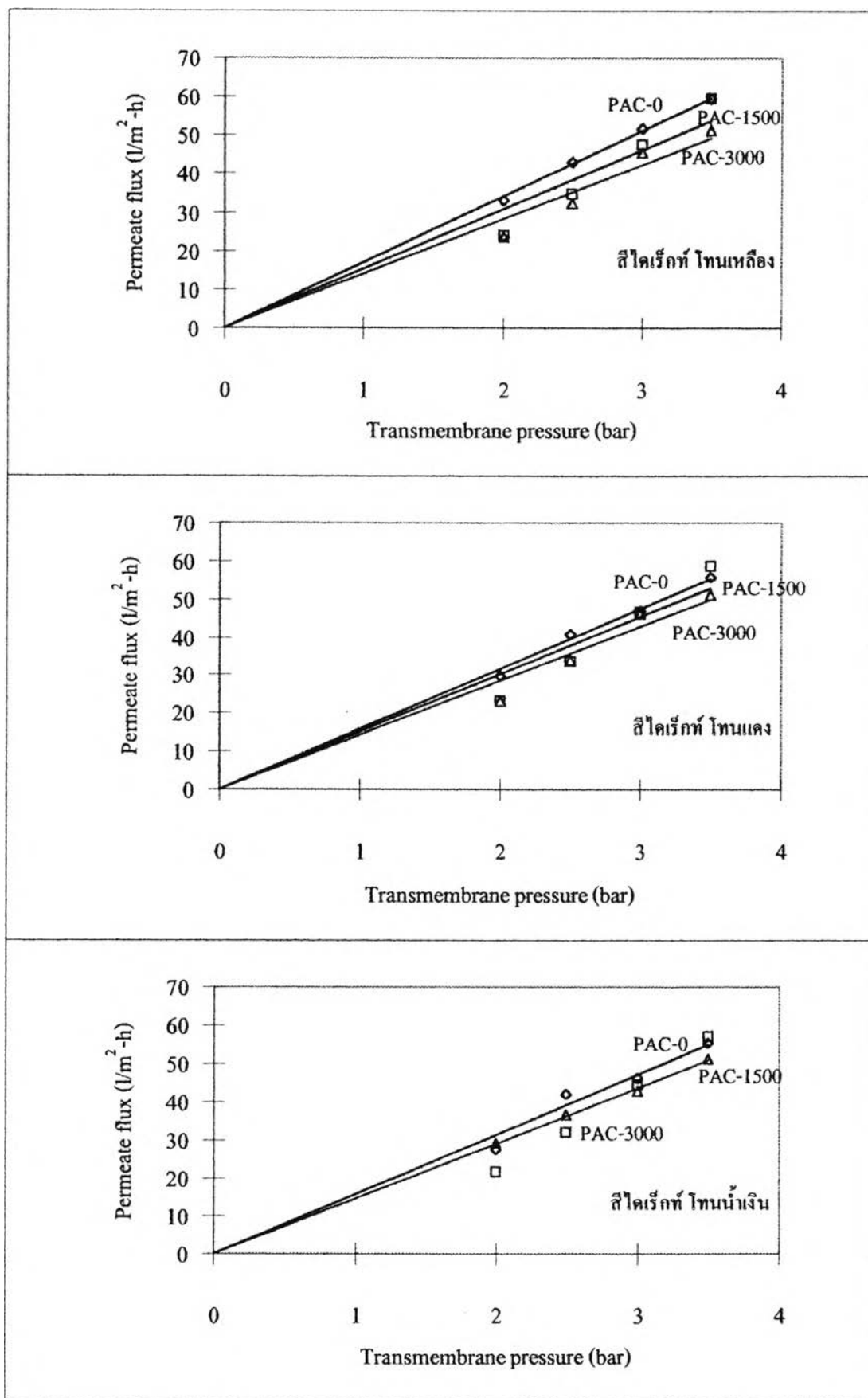
จากการเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกัน ในการบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมไคเร็กซ์โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ จะพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นผงถ่านเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (1500 มก./ล. เป็น 3000 มก./ล.) ความต้านทานรวมของเมมเบรนน่าจะเพิ่มขึ้นมาก แต่จากตารางการคำนวณค่าความต้านทานรวมของเมมเบรน (ตารางที่ 4.9) จะพบว่า ค่าความต้านทานรวมของเมมเบรนที่ความเข้มข้นผงถ่าน 3000 มก./ล. ไม่ได้เพิ่มมากนัก ยังคงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น รวมทั้ง อัตราการกรองน้ำก็ไม่ได้ลดลงมากนักด้วย จากผลนี้ ทำให้สามารถมั่นใจได้ว่า ถ้ามีผงถ่านกัมมันต์อยู่ในระบบมาก ก็ยังสามารถดำเนินระบบได้ดี

#### 4.4.2.2 เปรียบเทียบผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ และที่ไม่มีผงถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีผงถ่านกัมมันต์และที่ไม่มีผงถ่านกัมมันต์

โทนสี	ความเข้มข้นผงถ่าน (มก./ล.)	ความต้านทาน ( $m^{-1}$ )	Permeate flux ( $l/m^2-h$ )
สีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน	ไม่มีผงถ่านกัมมันต์	$2.368 \cdot 10^{13}$ $2.559 \cdot 10^{13}$ $2.583 \cdot 10^{13}$	30-60
สีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน	1500	$2.620 \cdot 10^{13}$ $2.687 \cdot 10^{13}$ $2.694 \cdot 10^{13}$	20-60
สีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน	3000	$2.861 \cdot 10^{13}$ $2.839 \cdot 10^{13}$ $2.778 \cdot 10^{13}$	20-60

จากตารางข้างต้น ความต้านทานรวมของเมมเบรนสำหรับการบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมไคเร็กซ์ด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์นั้น พบว่า มีค่ามากกว่าความต้านทานรวมของเมมเบรนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมไคเร็กซ์โดยไม่มีผงถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ความต้านทานรวมที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลรวมของความต้านทานที่เกิดจากเล็กรวมกับความต้านทานของเมมเบรน ซึ่งเล็กที่เกิดขึ้นคืออนุภาคของผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างเล็ก ( อนุภาคผนวก ค)



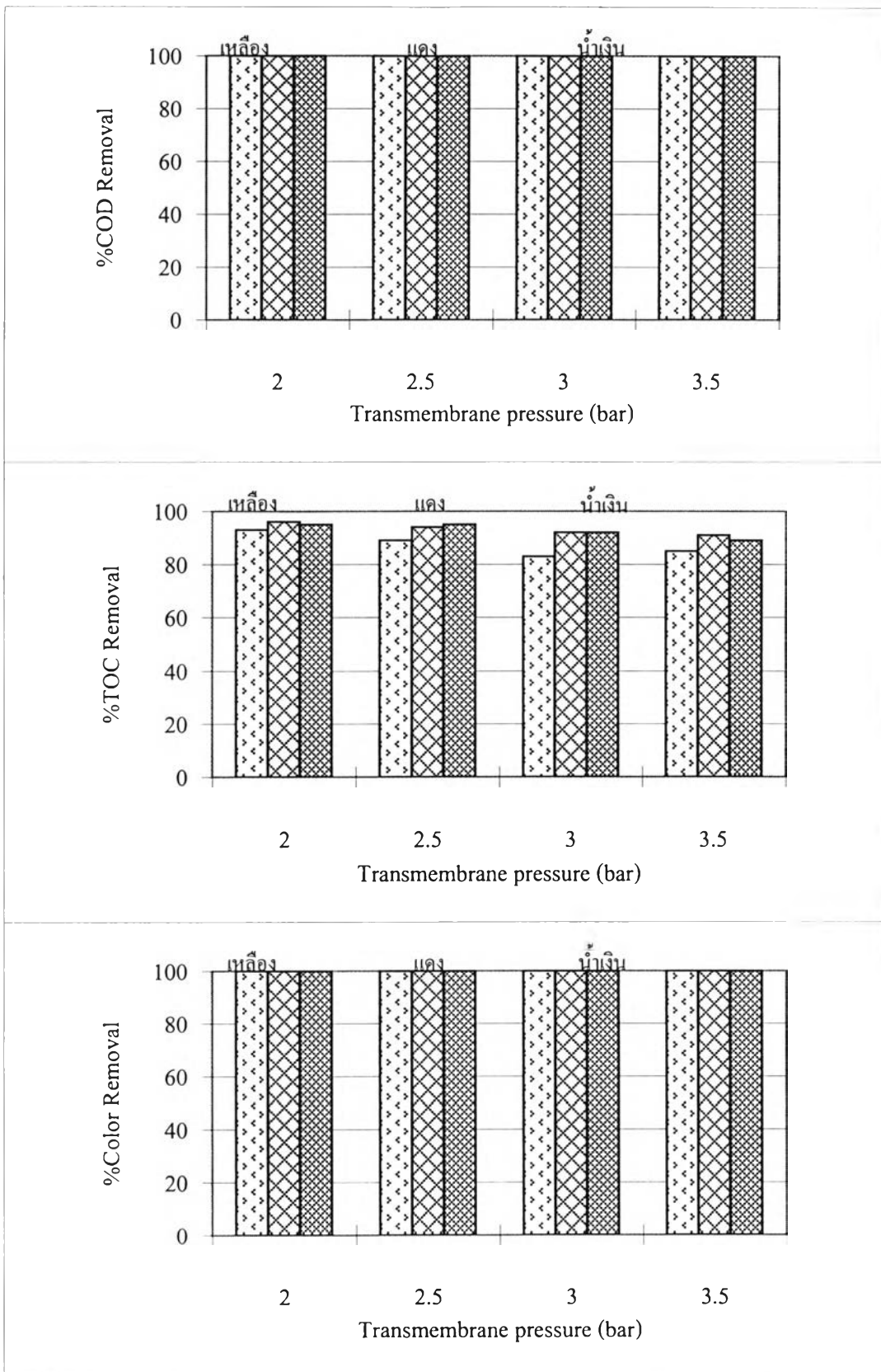
รูปที่ 4.36 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่านกับมันต์ต่างๆ

#### 4.4.2.3 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์

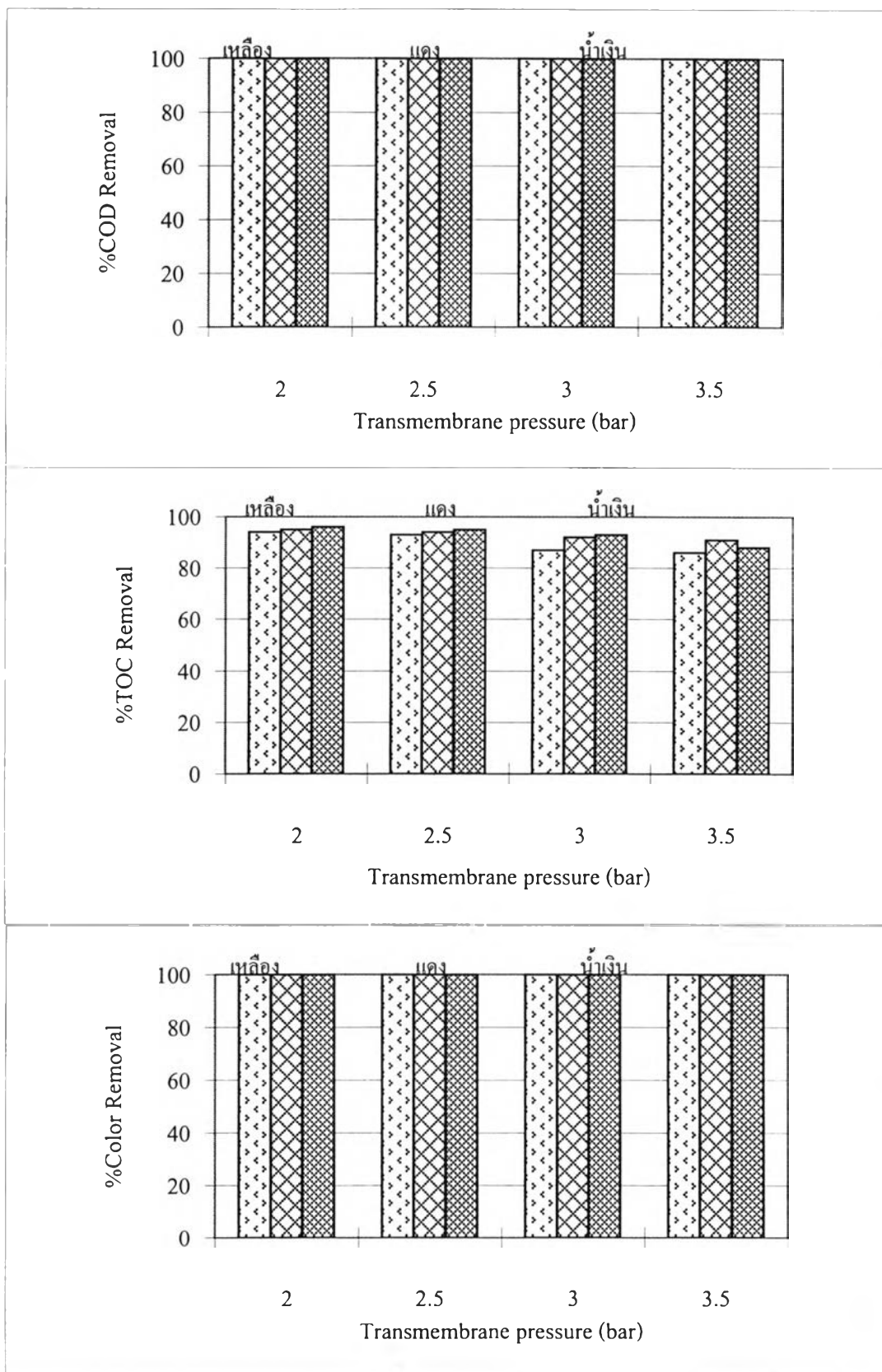
การทดลองการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์นั้น ได้ทดลองใช้ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. เพียง 2 ค่า เท่านั้น เนื่องจาก ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ดังกล่าวสามารถ ดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์ได้ประมาณ 40-60% (สำหรับค่าความเข้มข้นของซีไอดี) ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอต่อความต้องการแล้ว จากนั้นจึงนำน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์หลังจากการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ เข้าสู่ระบบการกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อลดสีต่อไป เหตุผลอีกประการที่ไม่ใช้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์สูง ก็คือ หากมีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ในระบบการกรองด้วยเมมเบรนมาก อาจทำให้ได้อัตราการกรองน้ำต่ำเกินไป ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมจริง

ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์นั้น แสดงดังรูปที่ 4.37 สำหรับที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล. และที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 3000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.38 ข้อสังเกตที่ชัดเจนจากกราฟทั้ง 2 รูป จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเกือบ 100% ทั้งความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. สำหรับทุกช่วงของความดันในการดำเนินระบบ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดทีไอซีมากกว่า 90 % และกำจัดความเข้มข้นสีได้หมดเช่นกัน





รูปที่ 4.37 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล.



รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 3000 มก./ล.

#### 4.4.2.4 เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่าน และที่ไม่มีการเติมผงถ่าน

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกับมันต์และที่ไม่มีการเติมผงถ่านกับมันต์

โทนสี	ความเข้มข้นผงถ่าน (มก./ล.)	%Removal ที่ความดัน 3.5 บาร์			%Removal ที่ความดัน 2 บาร์		
		COD	TOC	Color	COD	TOC	Color
สีเหลือง	ไม่มีการเติมผงถ่าน	81	67	91	90	77	96
สีแดง		92	63	99	92	62	100
สีน้ำเงิน		93	73	98	96	79	100
สีเหลือง	1500	100	85	100	100	93	100
สีแดง		100	91	100	100	96	100
สีน้ำเงิน		100	89	100	100	95	100
สีเหลือง	3000	100	86	100	100	94	100
สีแดง		100	91	100	100	95	100
สีน้ำเงิน		100	88	100	100	96	100

จากตารางข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อม โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกับมันต์และที่ไม่มีการเติมผงถ่านกับมันต์ จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบ 100% เมื่อมีการเติมผงถ่านกับมันต์ทั้งที่ความเข้มข้น 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล. สำหรับความดันในการดำเนินระบบ 3.5 และ 2.0 บาร์ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ผงถ่านกับมันต์มีความสามารถในการดูดซับซีโอดีดีมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าผงถ่านกับมันต์สามารถดูดซับสารอินทรีย์ละลายในรูปของซีโอดีที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนได้ดี

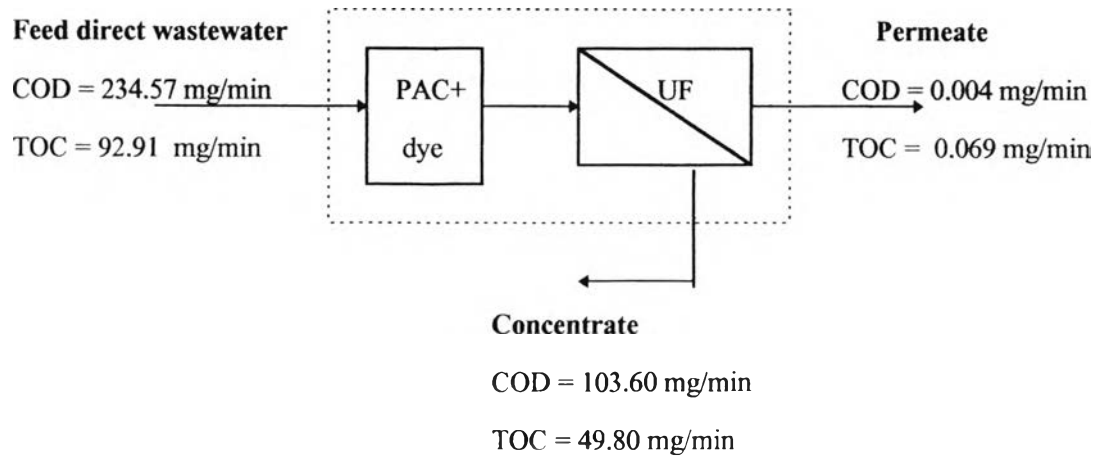
และถ้าสังเกตผลของประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซี เปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียสีย้อม โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกับมันต์และที่ไม่มีการเติมผงถ่านกับมันต์แล้ว จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าผงถ่านกับมันต์มีส่วนสำคัญอย่างมากในการกำจัดทีโอซีของน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์ โดยเฉพาะอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในรูปของทีโอซีของน้ำเสียสีย้อมที่ไม่สามารถถูกกรองด้วยเมมเบรนได้ ส่วนผล

ของประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของน้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์ โทเนสีเหลือง จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นมีค่า 100 % เมื่อระบบมีการเติมผงถ่านกัมมันต์

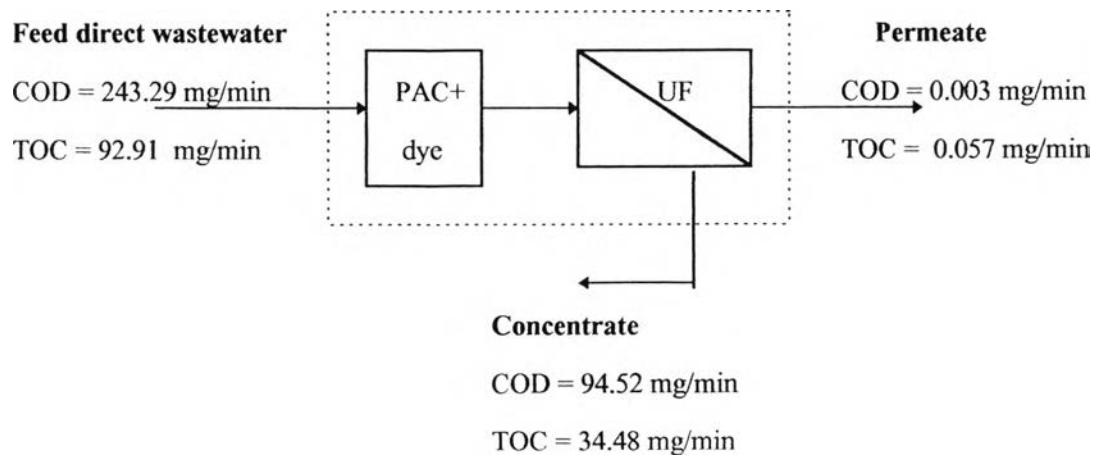
จากผลดังกล่าวข้างต้น เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์กับเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน โดยทำการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ก่อนเข้าสู่ระบบการกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ดังนั้น กลไกที่ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ย้อม จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นกลไกการดูดซับโดยผงถ่านกัมมันต์ (Adsorption) ภายในโพรงของผงถ่านกัมมันต์ และขั้นตอนที่สองเป็นกลไกการกรองแบบคัดค้ำบนรูพรุนของเมมเบรน (Sieve) โดยขึ้นกับขนาดอนุภาคสารอินทรีย์ละลายเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียที่ย้อมไคเร็กซ์ทั้ง 3 โทเนสี ได้ ประสิทธิภาพการบำบัดดีมาก อาจกล่าวได้ว่า ผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับอนุภาคของน้ำเสียที่ย้อมที่มีขนาดเล็กมากซึ่งไม่สามารถกรองโดยเมมเบรนได้ดี ในขณะที่เมมเบรนสามารถกรองอนุภาคขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนได้ ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่นั้น อาจมีความสามารถในการดูดซับผิวของผงถ่านกัมมันต์ได้ไม่มากนัก แสดงถึงการทำงานอย่างมีความสัมพันธ์ร่วมกันอย่างดียิ่งของการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์

สำหรับการประยุกต์ใช้กระบวนการร่วมระหว่างเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันกับผงถ่านกัมมันต์ ในงานน้ำเสียจริง อาจจะต้องทำการบำบัดน้ำเสียที่ย้อม โดยใช้ น้ำเสียที่ย้อมในขั้นต้น กล่าวคือ ในการย้อมผ้า นั้น โรงงานจะทำการย้อมผ้าโดยใช้สีย้อมเพียงชนิดเดียวในการย้อมผ้าแต่ละครั้ง เมื่อย้อมผ้าเสร็จ น้ำสีที่ย้อมผ้าจะถูกเทลงท่อไปรวมกันในบ่อน้ำเสีย ซึ่งจะมีน้ำเสียที่ย้อมหลายชนิด ดังนั้น น้ำเสียที่ย้อมที่เหมาะสมจะนำมาบำบัดด้วยกระบวนการร่วมระหว่างเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันกับผงถ่านกัมมันต์ ควรเป็นน้ำเสียที่ย้อมเพียงชนิดเดียวก่อนถูกเทลงไปรวมกันในบ่อ จะทำให้กระบวนการร่วมระหว่างเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันกับผงถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด

4.4.2.5 สมดุลมวลสารและกลไกการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการเมมเบรน  
อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยเติมผงถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.39 สมดุลมวลสารของการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงิน โดยกระบวนการเมมเบรน  
อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยเติมผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1500 มก./ล.



รูปที่ 4.40 สมดุลมวลสารของการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงิน โดยกระบวนการเมมเบรน  
อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 3000 มก./ล.

การทดลองหาสมมูลมวลสารของการบำบัดน้ำเสียซีโอมไคเร็กซ์ (โตนสีน้ำเงิน) โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์นั้น ได้ทดลองที่ความดันในการดำเนินระบบ 2 บาร์ ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาถึงกลไกการกำจัดอนุภาคสารอินทรีย์ละลายของกระบวนการ PAC-UF ทั้งนี้ให้เป็นไปตามสมมติฐานว่า ผงถ่านกัมมันต์ทำหน้าที่ดูดซับซีโอดีหรือทีโอดีที่เล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรนได้ ส่วนเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันทำหน้าที่กรองอนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียซีโอมที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรนได้

จากรูปที่ 4.39-4.40 แสดงผลการทำสมมูลมวลของน้ำเสียซีโอมไคเร็กซ์ โตนสีน้ำเงิน พบว่า มวลสารในหน่วยกรัมของซีโอดีของน้ำเสียซีโอมไคเร็กซ์ก่อนเข้ากระบวนการ PAC-UF นั้น มีค่ามากกว่า มวลสารในหน่วยกรัมของซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบทั้งทางเพอมีเอทและทาง concentrate รวมกัน และ มวลสารในหน่วยกรัมของทีโอดีของน้ำเสียซีโอมไคเร็กซ์ก่อนเข้ากระบวนการ PAC-UF นั้น ก็มีค่ามากกว่า มวลสารในหน่วยกรัมของทีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบทั้งทางเพอมีเอทและทาง concentrate รวมกัน สำหรับทั้งกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล. และ 3000 มก./ล.

จากผลดังกล่าวข้างต้น จะสังเกตเห็นว่า มวลสารในหน่วยกรัมของซีโอดีและทีโอดีหายไปในระบบค่อนข้างมาก ซึ่งคำนวณค่าที่หายไปได้ดังนี้คือ ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล. ค่าซีโอดีที่หายไปในระบบประมาณ 55% ส่วนค่าทีโอดีที่หายไปในระบบประมาณ 46% ส่วนที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 3000 มก./ล. ค่าซีโอดีที่หายไปในระบบประมาณ 61% ส่วนค่าทีโอดีที่หายไปในระบบประมาณ 62% ซึ่งค่าที่หายไปนี้ เป็นผลจากการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์นั่นเอง

ดังนั้น น้ำเสียซีโอมที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์นั้น จะพบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดเกือบ 100 % ในรูปของซีโอดี และประมาณ 90% ในรูปของทีโอดี ถ้าเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียซีโอมด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ไม่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าประมาณ 80% ในส่วนนี้อาจอธิบายได้ว่า อนุภาคของสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียซีโอมส่วนที่มีขนาดเล็กมากและไม่สามารถกรองด้วยเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันได้ น่าจะถูกดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ได้ดี ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และ กลไกการกำจัดอนุภาคสารอินทรีย์ละลายของน้ำเสียซีโอมโดยกระบวนการ PAC-UF คือ กลไกการกำจัดสารแบบการกรองติดค้างบนรูพรุนของเมมเบรน และ กลไกการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์