

บทที่ 3

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์ข้อมูลคุณภาพของแหล่งน้ำดิบในคลองอู่ตะเภา จากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (โครงการที่1)

การผลิตน้ำประปาขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งน้ำดิบ แต่ละแห่งจะแตกต่างกันไปตามสภาพการกำเนิดของแหล่งน้ำ และการเข้าไปเกี่ยวข้องกับ งานวิจัยโครงการที่ 1 นี้ ได้มีการศึกษาคุณภาพของแหล่งน้ำทั้งลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา รวมถึงบริเวณจุดสูบน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปาในคลองอู่ตะเภา ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์หลักๆ ได้แก่ ความเป็นด่าง (Alkalinity) ปริมาณสารอินทรีย์ตั้งต้น (DOC) ประสิทธิภาพการบำบัด (Coagulant) ไนเตรต (NO_3) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria) และสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ แบ่งเป็น 3 ครั้งคือ ครั้งที่ 1 ฤดูฝน ครั้งที่ 2 ฤดูฝน-แล้ง และครั้งที่ 3 ฤดูแล้ง จำนวน 13 จุด ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ พบว่าคลองอู่ตะเภา เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่ไหลมาจากทิศใต้ผ่านทางด้านทิศตะวันตกและไหลไปทางทิศเหนือของตัวเมืองหาดใหญ่ ผ่านชุมชนต่างๆ ก่อนออกสู่ทะเลสาบสงขลา มีระยะทางยาวประมาณ 90 กิโลเมตร เป็นแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาและใช้ประโยชน์ในการเกษตร อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภคทั่วไป

จากผลการศึกษาคุณภาพของแหล่งน้ำดิบในคลองอู่ตะเภา เพื่อการผลิตน้ำประปา (โครงการที่1) สามารถสรุปในภาพรวมได้ว่าคุณภาพน้ำคลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ.2552-2553 พบว่าค่า DOC ที่เป็นพารามิเตอร์ตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในน้ำคลองอู่ตะเภา มีค่า DOC สูงทั้ง 3 ช่วงฤดู โดยจะมีปริมาณที่สูงขึ้นจากช่วงต้นน้ำ กลางน้ำ และท้ายน้ำตามลำดับ ปริมาณไนเตรตบริเวณปลายน้ำมีปริมาณที่สูงกว่าบริเวณต้นน้ำของคลองอู่ตะเภา ในช่วงฤดูแล้ง และในช่วงฤดูฝน ฤดูฝน-แล้ง จะมีปริมาณไนเตรตสูงบริเวณกลางน้ำซึ่งเป็นบริเวณที่ผ่านแหล่งชุมชนของเมืองหาดใหญ่ จากคุณภาพน้ำที่กล่าวมานั้นพบว่าคุณภาพช่วงกลางและปลายน้ำมีคุณภาพต่ำกว่าช่วงตอนต้นส่วนปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และปริมาณฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย นั้น พบว่าคุณภาพน้ำของคลองอู่ตะเภา มีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานน้ำผิวดิน ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ ประเภทที่ 2 และ 3 ดังนั้น

จำเป็นต้องคำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และสัตว์น้ำส่วนใหญ่ หากมีการนำน้ำของคลองอุตตะเกามาใช้ประโยชน์ต่างๆ และปัญหาที่ตามมาในการผลิตน้ำประปาที่ต้องฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ในผ่านเกณฑ์ซึ่งอาจส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณสารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคให้มากขึ้น และยังส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องการกำจัดตะกอนจากการผลิตน้ำประปาที่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคได้

3.2 การสังเคราะห์ข้อมูลลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาจากคลองอุตตะเกา จังหวัดสงขลา (โครงการที่ 2)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำดิบประปาจากโดยการเก็บตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำสะเดา อ่างเก็บน้ำคลองทลา บ้านม่วงก้อง บ้านบางศาลา จุดสูบน้ำดิบบ้านหาดใหญ่ในในฤดูฝนและฤดูแล้ง (ดังตารางที่ 3.1) พบว่า มีค่าพีเอชของน้ำดิบค่อนข้างเป็นกลางอยู่ในช่วง 6.9-8.6 ส่วนใหญ่ไนโตรเจนจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.0-9.0 (มาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน, 2535) มีค่าอุณหภูมิของน้ำดิบทั้ง 2 ฤดู อยู่ในช่วง 27-32 °C ความเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 13-27 mg/L เมื่อพิจารณาค่าความขุ่นของน้ำทั้ง 2 ฤดู พบว่า มีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 1.9-64.1 NTU ตามลำดับ ออกซิเจนละลายมีค่าอยู่ในช่วง 4.1-8.1 mg/L ของแข็งแขวนลอย มีค่าอยู่ในช่วง 10-86.3 mg/L ไนเตรทอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 0.1-6.2 mg/L สำหรับผลการตรวจวัดปริมาณ DOM ในน้ำดิบจากคลองอุตตะเกาโดยการวิเคราะห์ดัชนีตัวแทนในรูปของ UV-254 และ DOC พบว่า น้ำตัวอย่างในฤดูฝน และ ฤดูแล้ง มีค่า UV-254 อยู่ในช่วง 0.068 – 0.328 cm⁻¹ และ 0.058 - 0.249 cm⁻¹ ตามลำดับ ส่วนค่า DOC มีค่าอยู่ในช่วง 4 -5.7 และ 2.9-6.2 ตามลำดับ สำหรับค่า SUVA ของตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ครั้ง พบว่าในฤดูฝน และ ฤดูแล้ง อยู่ในช่วง 1.45 - 6.45 และ 2 - 5.1 L/mg-m ตามลำดับ และค่า SUVA เป็นดัชนีตัวแทนของ สารอินทรีย์กลุ่ม aromatic ต่อสารอินทรีย์ละลายน้ำทั้งหมด ก็พบว่ามีส่วนที่สูงขึ้นในช่วงกลางน้ำถึงท้ายน้ำในฤดูฝน

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภา

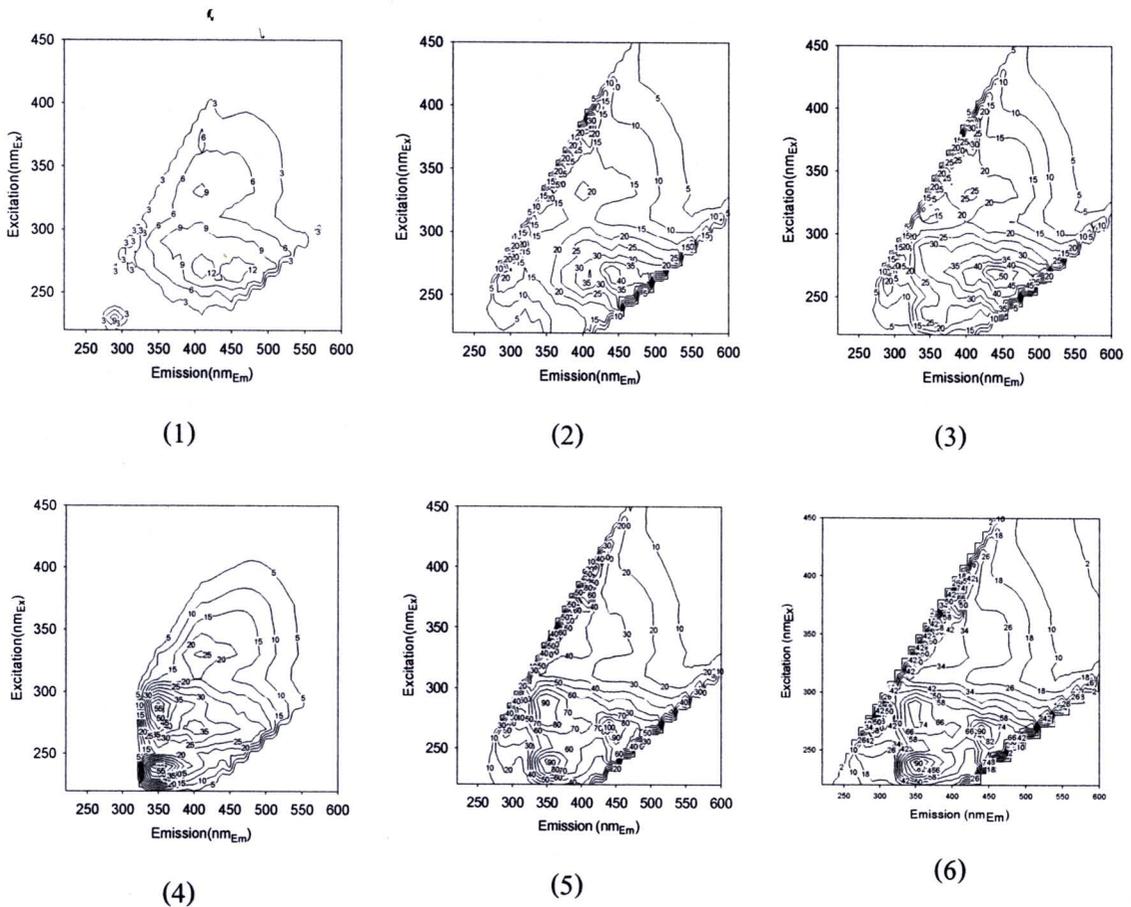
พารามิเตอร์	อ่างเก็บน้ำสะเดา		อ่างเก็บน้ำคลองทลา		บ้านม่วงก้อ		บ้านบางศาลา		จุดสูบน้ำดิบ		หาดใหญ่	
	(จุดฝน)	(จุดแดง)	(จุดฝน)	(จุดแดง)	(จุดฝน)	(จุดแดง)	(จุดฝน)	(จุดแดง)	(จุดฝน)	(จุดแดง)	(จุดฝน)	(จุด)
พีเอช	6.74	6.7	7.54	8.6	6.56	7.0	6.72	7.4	6.8	7.4	6.69	9.6
อุณหภูมิ (°C)	29	27	29.65	30	27.25	31	27.7	29	28.25	32	28.65	34
ความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	13.7	14	22.75	21	22.05	17.5	23.1	22	24	24	24.15	27
ออกซิเจนละลาย (mg/L)	7.65	7.0	7.55	7.8	5.4	4.5	5.35	6.6	6.15	6	4.45	6.2
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	6.9	3.4	13.15	3.7	57.65	53	50.5	43	48.4	13.6	46.75	45
ความขุ่น (NTU)	3.05	6.1	6.555	7.1	40.45	62.2	38.7	35.9	31.3	22.8	31	35.8
ไนเตรท (mg/L)	0.09	0.3	0.13	0.2	1.12	0.2	1.03	4.3	0.995	4.3	1.025	1.1
DOC (mg/L)	4.7	2.9	4.4	3.3	4	4.9	4.75	5.1	5.7	5.5	5.35	6.2
UV-254 (cm-1)	0.068	0.058	0.1585	0.117	0.2085	0.249	0.2415	0.208	0.3195	0.159	0.328	0.135
SUVA (L/mg-m)	1.45	2.0	3.65	3.5	5.2	5.1	5.05	4.1	5.85	2.8	6.45	2.1

หมายเหตุ จุดฝน เป็นค่าเฉลี่ยผลการทดลองจากการเก็บน้ำตัวอย่าง 2 ครั้งตัวแทนของจุดฝน 5 จุดตาม พ.ศ. 2552 และ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2553

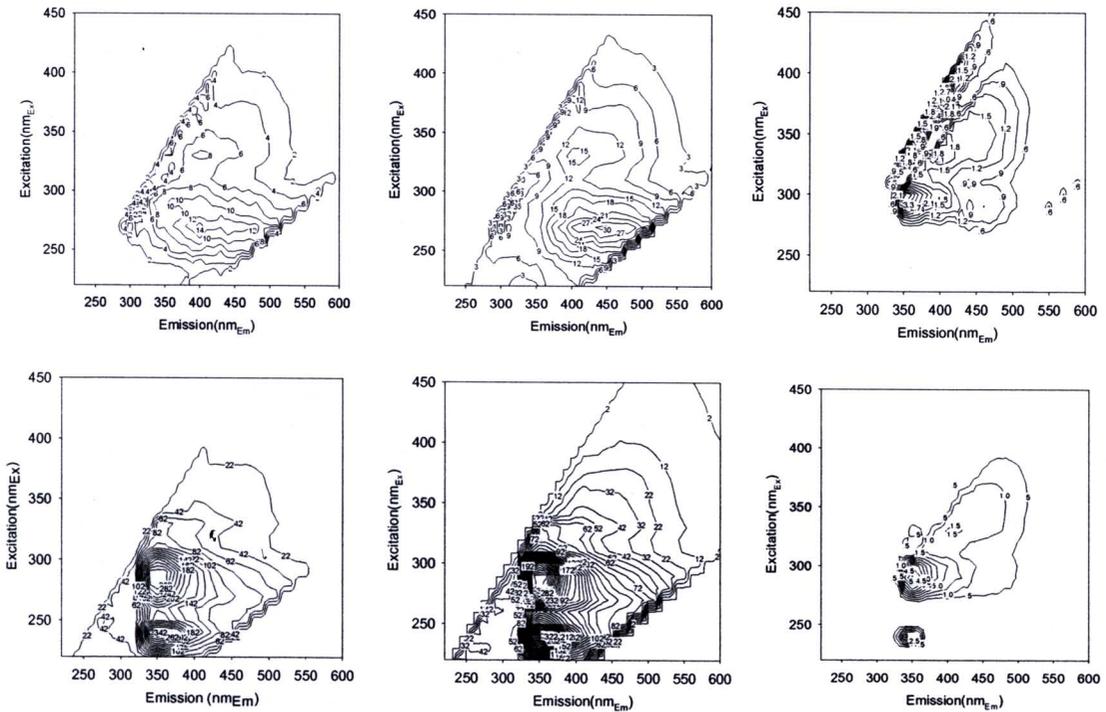
จุดแดง ในวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2553

(จากการส่งเคราะห์ข้อมูลย่อยโครงการที่ 2 การจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินเพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา)

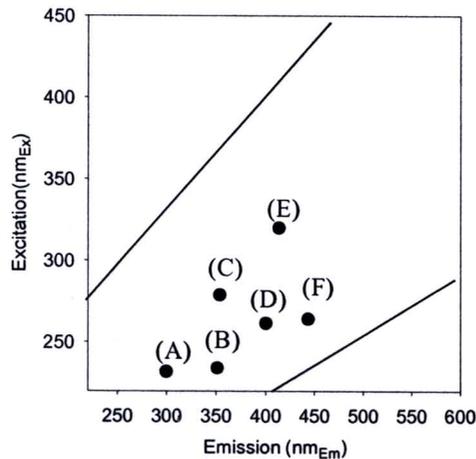
การตรวจวัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยเทคนิค FEEM (1) อ่างเก็บน้ำสะเดา (2) อ่างเก็บน้ำคลองหลา (3) บ้านม่วงก้อง (4) บ้านบางศาลา (5) จุดสูบน้ำดิบ (6) บ้านหาดใหญ่ในแสดงดังรูปที่ 3.1 -3.2 ตัวอย่างน้ำที่ทำการตรวจวัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยเทคนิค FEEM โดยการหาตำแหน่ง fluorescent peaks แสดงดังรูปที่ 3.3 พบตำแหน่งฟลูออเรสเซนซ์ peak ที่ $230\text{nm}_{\text{Ex}}/300\text{nm}_{\text{Em}}$ (peak A), $280\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$ (peak B), $280\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$ (peak C), $270\text{nm}_{\text{Ex}}/400\text{nm}_{\text{Em}}$ (peak D), $330\text{nm}_{\text{Ex}}/410\text{nm}_{\text{Em}}$ (peak E) และ $275\text{nm}_{\text{Ex}}/450\text{nm}_{\text{Em}}$ (peak F) โดย peak A เกิดจากสารอินทรีย์กลุ่ม tyrosine-like substance ส่วน peak B และ C เกิดจากสารกลุ่ม tryptophan-like substances ส่วน peak D, E, และ F เกิดสารอินทรีย์กลุ่ม humic and fulvic acids-like substances ซึ่งการตรวจพบแต่ละตัวอย่างสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 FEEM ของน้ำดิบประปาในรูปแบบเส้นชั้นความสูงแสดงจุดที่พบกลุ่มสารอินทรีย์ ในฤดูฝน (1) อ่างเก็บน้ำสะเดา (2) อ่างเก็บน้ำคลองหลา (3) บ้านม่วงก้อง (4) บ้านบางศาลา (5) จุดสูบน้ำดิบ (6) บ้านหาดใหญ่ใน



รูปที่ 3.2 FEEM ของน้ำดิบประปาในรูปแบบเส้นชั้นความสูง (QSU) แสดงจุดที่ตรวจพบกลุ่มสารอินทรีย์ ในฤดูแล้ง ได้แก่ (1) อ่างเก็บน้ำสะเดา (2) อ่างเก็บน้ำคลองหลา (3) บำรุงม่วงกึ่ง (4) บ้านบางศาลา (5) จุดสูบน้ำดิบ (6) บ้านหาดใหญ่ใน



รูปที่ 3.3 ตำแหน่ง fluorescent peaks ของน้ำตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 แสดงตำแหน่งฟลูออเรสเซนส์ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาจากคลองอุตะเถา

ฤดูกาล	แหล่งน้ำดิบประปา	ตำแหน่งฟลูออเรสเซนส์ (QSU)					
		Peak:A 230nm _{Ex} /300nm _{Em}	Peak:B 230nm _{Ex} /350nm _{Em}	Peak:C 280nm _{Ex} /350nm _{Em}	Peak:D 270nmEx/400nm _{Em}	Peak:E 330nmEx/410nm _{Em}	Peak:F 275nm _{Ex} /450nm _{Em}
(ฤดูฝน)	อ่างเก็บน้ำสะเตา	✓			✓	✓	✓
	อ่างเก็บน้ำคลองหลา				✓	✓	✓
	บ้านม่วงกิ่ง					✓	✓
	บ้านบางศาลา		✓	✓	✓	✓	
	จุดสูบน้ำดิบ		✓	✓			✓
	หาดใหญ่ใน		✓	✓			✓
(ฤดูแล้ง)	อ่างเก็บน้ำสะเตา				✓	✓	✓
	อ่างเก็บน้ำคลองหลา				✓	✓	✓
	บ้านม่วงกิ่ง			✓		✓	✓
	บ้านบางศาลา			✓	✓		
	จุดสูบน้ำดิบ		✓	✓			
	หาดใหญ่ใน		✓	✓		✓	

การกระจายมวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาในฤดูฝนและฤดูแล้ง สารอินทรีย์ละลายน้ำแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติชอบน้ำ (Hydrophilic Organic Fraction, HPI) สารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นกลาง (Transphilic Organic Fraction, TPI) และสารอินทรีย์ธรรมชาติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Organic Fraction, HPO)

เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ HPI TPI และ HPO ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา จากเปอร์เซ็นต์แสดงดังตารางที่ 3.3 สามารถกล่าวได้ว่าปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPI TPI และ HPO ในน้ำดิบประปาจากทั้ง 6 จุดมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ HPI TPI และ HPO ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

ฤดูกาล	ตัวอย่างน้ำ	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์สัดส่วน(%)		
			HPI	TPI	HPO
ฤดูฝน (ครั้งที่ 1)	อ่างเก็บน้ำสะเดา	4.9	32	21	47
	อ่างเก็บน้ำคลองหลา	4.2	30	23	48
	บ้านม่วงก้อง	3.9	33	24	43
	บ้านบางศาลา	4.9	34	23	45
	จุดสูบน้ำดิบ	5.1	31	27	42
	บ้านหาดใหญ่ใน	4.4	36	24	40
ฤดูแล้ง (ครั้งที่ 2)	อ่างเก็บน้ำสะเดา	2.9	34	22	44
	อ่างเก็บน้ำคลองหลา	3.3	35	20	45
	บ้านม่วงก้อง	5.0	34	20	47
	บ้านบางศาลา	5.1	31	21	48
	จุดสูบน้ำดิบ	5.5	33	23	44
	บ้านหาดใหญ่ใน	6.2	31	22	47
ฤดูฝน (ครั้งที่ 3)	อ่างเก็บน้ำสะเดา	4.5	30	23	47
	อ่างเก็บน้ำคลองหลา	4.6	27	23	48
	บ้านม่วงก้อง	4.1	32	24	45
	บ้านบางศาลา	4.6	31	24	44
	จุดสูบน้ำดิบ	6.3	30	25	45
	บ้านหาดใหญ่ใน	6.3	31	22	46

จากการศึกษาของ AWWA (1993,1998,1999), Kim and Yu (2005), Marhaba and Van (2000), Phumpaisanchai (2005), Musikavong (2005) พบว่าสารอินทรีย์กลุ่ม HPO สามารถกำจัดได้โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ดังนั้นกรณีมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ในน้ำดิบประปาประมาณ 50 % จึงเหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ เช่นเดียวกันกรณีมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPI กำจัดได้ยากโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการอื่นๆร่วมด้วย เพื่อช่วยในการลดสารอินทรีย์กลุ่มนี้ลง เช่นกระบวนการ advance oxidation process กระบวนการเมมเบรน ทั้งนี้ในการเลือกกระบวนการร่วมด้วย ต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดตามมา รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน จึงมีวัตถุประสงค์ของโครงการย่อยที่ 3 เพื่อการลดกลุ่มสารอินทรีย์ละลายน้ำในการผลิตน้ำประปาต่อไป

3.3 การศึกษาการลดกลุ่มสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปา (โครงการที่ 3)

ทำการศึกษาโดยการใช้กระบวนการร่วมโคแอกกูเลชันและเมมเบรน เพื่อแก้ไขปัญหาที่ว่าแหล่งน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะพานนั้น ต้องเผชิญกับปัญหาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter: DOM) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์กลุ่มไม่ชอบน้ำจำพวกฮิวมิกและฟัลวิกแอซิด รวมถึงสารกลุ่มเทปโทฟาน ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้หมดในระบบผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปที่ใช้กระบวนการ (Coagulation) ทำให้สารอินทรีย์ละลายน้ำกลุ่มที่เหลือ มีโอกาสทำปฏิกิริยากับคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ส่งผลให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาเช่น ไตรฮาโลมีเทน ฮาโลอะเซติกแอซิด และสารอื่น ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ได้

เนื่องจากในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า กระบวนการเมมเบรนสามารถกักกันสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ดี ซึ่งจะช่วยลดโอกาสการก่อตัวของสารก่อมะเร็งในน้ำประปาได้ อีกทั้งกระบวนการเมมเบรนเป็นวิธีการที่นอกจากจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นวิธีการที่สามารถนำสารที่อยู่ในน้ำเสียและน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ กระบวนการเมมเบรนถือว่าเป็นกระบวนการหนึ่งในแนวคิดดังกล่าว และยังมีข้อได้เปรียบที่สำคัญอื่นๆ อีกเช่น ใช้พลังงานต่ำ ต้องการพื้นที่น้อย สามารถใช้ได้ง่ายในการปรับปรุงให้ระบบที่มีอยู่แล้วมีประสิทธิภาพมากขึ้น การแยกเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ให้อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบที่ดีกว่า และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีต่าง ๆ จึงไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กระบวนการเมมเบรนเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

อีกทั้งยังมีการจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ละลายน้ำ โดยใช้กระบวนการจำแนกด้วยเรซิน (Resin Fractionation) เพื่อประเมินการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำกลุ่มดังกล่าว เนื่องจากสารอินทรีย์ละลายน้ำแต่ละกลุ่มนั้นมีโอกาสการก่อตัวเป็นสารก่อมะเร็งที่แตกต่างกัน

3.3.1 ลักษณะสมบัติน้ำดิบประปา อ่างเก็บน้ำสะเดาและจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา

ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างน้ำดิบจาก 2 แหล่งคือ น้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา ณ.บริเวณจุดสูบน้ำดิบประปา ของการประปาส่วนภูมิภาคภาคใหญ่ และน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งจากการศึกษาในการดำเนินการวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา ในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน (2552-2554) โดยนำตัวอย่างผ่านการวิเคราะห์ค่า pH, Alkalinity, Conductivity, Turbidity, UV-254, DOC, SUVA ซึ่งดังแสดงในตารางที่ 3.4 สำหรับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และน้ำดิบบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา

ตารางที่ 3.4 ลักษณะสมบัติน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา

พารามิเตอร์	อ่างเก็บน้ำสะเดา		จุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา	
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
pH	6.46±0.05	6.86±0.05	6.57±0.35	6.41±0.05
Alkalinity (mg CaCO ₃ /L)	14.50± 0.71	13.50±0.71	17.5±3.54	12.50±2.12
Conductivity (µs/cm)	51.15±1.34	49.35±0.64	54.15±0.21	50.20±1.84
Turbidity (NTU)	2.70± 0.28	3.84±0.08	29.0±1.84	14.30±1.48
UV-254 (cm ⁻¹)	0.06± 0.001	0.08±0.001	0.16±0.01	0.16±0.01
DOC (mg/L)	2.53± 0.09	2.30±0.09	4.24±0.28	3.64±0.04
SUVA (L/mg-m)	2.33± 0.03	3.35±0.19	3.87±0.41	4.42±0.29

จากผลการทดลองการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำสะเดาทั้งที่เป็นการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี รวมทั้งผลการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ของตัวอย่างน้ำดิบใน

โครงการที่ผ่านๆมามากกว่า 3 ปี พบว่าคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีนั้น ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภามีค่าแตกต่างกันใน 2 ฤดูกาล

จากตารางข้างต้นพบว่าคุณลักษณะน้ำตัวอย่างอ่างเก็บน้ำสะเดามีค่าความขุ่น ค่าความเป็นค่าก่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 5 NTU และ 20 mg/L as CaCO₃ ตามลำดับ) ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ซึ่งจะทำให้พีเอชของน้ำลดลง ดังนั้นน้ำดิบจึงควรมีความเป็นค่ามากพอเพื่อสะท้อนความเป็นกรดที่เกิดขึ้น และทำให้เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันดีขึ้น คุณภาพน้ำจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภาที่เช่นเดียวกันที่มีค่าความเป็นค่าต่ำจึงต้องเพิ่มความเป็นค่าให้กับน้ำตัวอย่างในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ทศกระจายมวลของ DOM ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดาและจากจุดสูบน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาในฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยกระบวนการแฟรกชัน (resin fractionation) โดยใช้เรซิน DAX-8 และ XAD-4 นั้น เพื่อทำการจำแนกคุณลักษณะ DOM แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติชอบน้ำ (HPI) สารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นกลาง (TPI) และไม่ชอบน้ำ (HPO) และทำการหาค่าสมมูล ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างมวล DOC ก่อนแฟรกชันและผลรวมของมวล DOC หลังแฟรกชัน ค่าที่ยอมรับได้อยู่ระหว่าง 8-15% เฮอร์เซ็นต์ (Day *et al.*, 1991; Marhaba *et al.*, 2000 และ Croue *et al.*, 1993) ในกรณีที่มีค่าผลรวมของมวล DOC หลังแฟรกชันมากกว่ามวล DOC ก่อนแฟรกชัน แสดงว่าสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดระหว่างการทดลอง เช่น ในกระบวนการล้าง เรซิน สารอินทรีย์ในน้ำที่นำมาล้างอาจจะถูกดูดซับในเรซิน จึงเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์นอกจากที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่าง และในกรณีที่มีค่าผลรวมของมวล DOC หลังแฟรกชันน้อยกว่ามวล DOC ก่อนแฟรกชัน แสดงว่าสารอินทรีย์ที่ลดลงอาจเกิดจากกระบวนการ elution โดยการ elution นั้นไม่สามารถชะสารอินทรีย์ที่อยู่ในเรซินออกมาได้ทั้งหมด

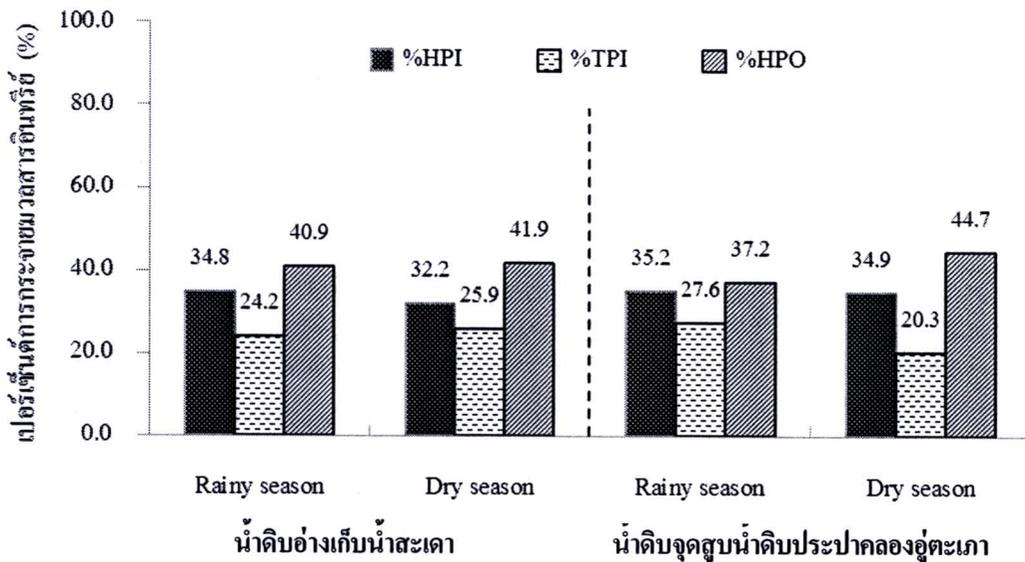
ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ HPI TPI และ HPO ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจุดสูบน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาในฤดูฝน และฤดูแล้ง แสดงดังตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.4



ตารางที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ HPI TPI และ HPO ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจุดสูบน้ำดิบประคองอุตะภา

ตัวอย่าง	ฤดูกาล	DOC ¹ (mg/L)	สัดส่วน DOC(mg/L)			HPI+TPI +HPO	%Diff
			HPI	TPI	HPO		
น้ำดิบ	ฤดูฝน	2.53	0.82	0.57	0.96	2.35	7.10
อ่างเก็บน้ำสะเดา	ฤดูแล้ง	2.30	0.71	0.57	0.92	2.20	4.28
น้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประคอง	ฤดูฝน	4.24	1.38	1.08	1.46	3.91	7.71
น้ำประปา	ฤดูแล้ง	3.64	1.22	0.71	1.56	3.49	4.14

หมายเหตุ : HPI = Hydrophilic fraction TPI = Transphilic fraction
 HPO = Hydrophobic fraction DOC¹ = DOC ก่อน fraction
 $\%Diff = (DOC^1 - (HPI+TPI+HPO))*100/ DOC^1$



รูปที่ 3.4 เปอร์เซ็นต์การจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ของ (1) น้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา (2) น้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประคองอุตะภา

จากผลการจำแนกลักษณะ DOM ของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอุตะเถา ออกเป็น 3 ส่วน สารอินทรีย์ธรรมชาติชอบน้ำ (HPI) สารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นกึ่งชอบน้ำ (TPI) และไม่ชอบน้ำ (HPO) พบว่า เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ HPI TPI และ HPO โดยที่ DOM เป็นสารฮิกมิก (humic substance) มีสมบัติเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ซึ่งประกอบด้วย humic acids fulvic acids และ humin ส่วนสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่สารฮิกมิก (non-humic substance) มีสมบัติเป็นสารกลุ่ม HPI ประกอบด้วย hydrophilic acids โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ฯลฯ (Newcombe *et al.*, 1997) ซึ่งโดยปกติส่วนใหญ่แล้วน้ำดิบประปาจากแหล่งน้ำผิวดินจากแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำ จะมีปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPO อยู่ถึง 50–65% (Martin-Mousset *et al.*, 1997 and Velasco *et al.*, 2007) แต่จากผลการศึกษา พบว่า แหล่งน้ำดิบที่ทำการศึกษาทั้ง 2 แหล่ง มีปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPI+TPI มีค่าสูงกว่าปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPO นั่นคือมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ non-humic มากกว่าสารอินทรีย์ humic ซึ่งแหล่งต้นน้ำอาจมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์จากการทำเกษตรกรรม ซึ่งส่งผลต่อปริมาณ DOM ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจากการปนเปื้อนน้ำทิ้ง น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม และชุมชนจากช่วงกลางลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ส่งผลต่อปริมาณ DOM ณ จุดสูบน้ำดิบประปาคลองอุตะเถา ซึ่งอยู่ช่วงท้ายของลำน้ำ จากข้อมูลของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ และการเกษตร (2554) พบว่า บริเวณแหล่งต้นน้ำมีปัญหาการบุกรุกพื้นที่ป่า เพื่อปลูกยางพารา อยู่อาศัย และอื่นๆ ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบนิเวศ เมื่อฝนตกหน้าดินจึงถูกชะล้างลงแหล่งน้ำ และจากการศึกษาของสุพัตรา (2551) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำของลำน้ำคลองอุตะเถา พบว่า ช่วงบริเวณต้นน้ำถึงกลางน้ำ มีคุณภาพน้ำต่ำ โดยประเมินจากดัชนีชี้วัดค่า DO DOC UV-254 ปรากฏว่าพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์กลุ่ม tryptophan-like substance ซึ่งเป็นสาร non humic ในช่วงกลางลำน้ำ ซึ่งสารกลุ่มดังกล่าวเป็นกลุ่มที่สามารถบอกได้ว่ามี การปนเปื้อนของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และการทำเกษตรกรรม

การตรวจวัด DOM ด้วยเทคนิค FEEM ของสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา (ไม่แยกฤดูกาลเนื่องจากคุณภาพน้ำเบื้องต้นไม่แตกต่างกัน) และจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอุตะเถา ในฤดูฝนและฤดูแล้ง เมื่อนำน้ำดิบทั้ง 2 แหล่งมาผ่านกระบวนการแฟรกชันตรวจพบความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนของ $FEEM_{HPI}$ และ $FEEM_{HPO}$ ดังตารางแสดงที่ 3.6 จะพบว่าตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอุตะเถา ตรวจพบมีการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซนซ์ในช่วงความยาวคลื่นของสารกลุ่ม tryptophan-like substances,

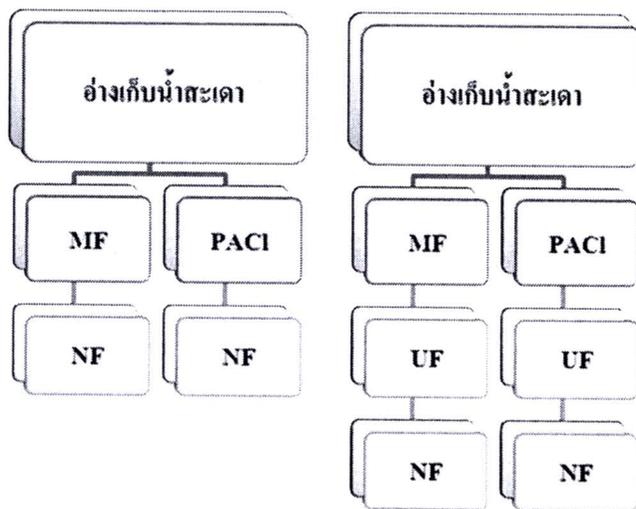
humic และ fulvic acid-like substances ซึ่งสอดคล้องกับกลุ่มสารอินทรีย์ที่จำแนกได้ว่า HPI > HPO ซึ่งแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลุ่มฮิวมิกธรรมชาติ แต่เกิดจากการปนเปื้อนน้ำทิ้ง น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม น้ำทิ้งชุมชนครัวเรือน ต่างๆ

ตารางที่ 3.6 ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ตรวจพบก่อนและหลังผ่านกระบวนการฟรอกชันในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจุดสูบน้ำดิบประปาคลองคูตะภา

น้ำตัวอย่าง	ประเภท	ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ (QSU)										Total
		Peak: A	Peak: B	Peak: C	Peak: D	Peak: E	Peak: F	Tryptophan-like substances	Humic and fulvic acid-like substances			
		220nm _{Ex} / 350nm _{Em}	280nm _{Ex} / 350nm _{Em}	230 nm _{Ex} / 400nm _{Em}	270nm _{Ex} / 400nm _{Em}	330nm _{Ex} / 410nm _{Em}	275nm _{Ex} / 450nm _{Em}	Peak A+B	Peak C+D+E+F			
อ่างเก็บน้ำสะเดา (ไม่แยกฤดูกาล)	น้ำดิบก่อนแฟรกชัน	15	24	2	2.8	-	-	39	4.8	43.8		
	HPO ¹	1.3	-	2.4	-	1.2	-	1.3	3.6	4.9		
	HPI ²	4.2	1.2	0.6	0.6	0.6	-	5.4	1.8	7.2		
จุดสูบน้ำดิบ ประปา (ฤดูฝน)	น้ำดิบก่อนแฟรกชัน	8	-	16	-	-	16	8	32	40		
	HPO ¹	12.8	4.8	8	-	4.8	-	17.6	12.8	30.4		
	HPI ²	13.2	5.4	6	-	-	-	18.6	6	24.6		
จุดสูบน้ำดิบ ประปา (ฤดูร้อน)	น้ำดิบก่อนแฟรกชัน	30	10	-	-	-	-	40	-	40		
	HPO	2.8	-	-	-	1.4	-	2.8	1.4	4.2		
	HPI	4	-	-	-	5.4	-	4	5.4	9.4		

3.3.2 ประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการเมมเบรน ของตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา

จากการศึกษาคุณลักษณะน้ำตัวอย่างอ่างเก็บน้ำสะเดา พบว่าน้ำดิบมีค่าความขุ่น และค่าความเป็นด่างต่ำอีกทั้งจากการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ยังพบว่ามีสารอินทรีย์กลุ่ม HPO อยู่ ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ดังนั้นกรณีมีสารอินทรีย์อินทรีย์กลุ่ม HPO ในน้ำดิบประมาณ 50 % จึงเหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ เช่นเดียวกับกรณีมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPI กำจัดได้ยากโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อช่วยในการลดสารอินทรีย์กลุ่มนี้ลง ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกรูปแบบกระบวนการบำบัดดังรูปที่ 3.5 เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์และทำการประเมินศักยภาพการเกิดสารก่อมะเร็ง

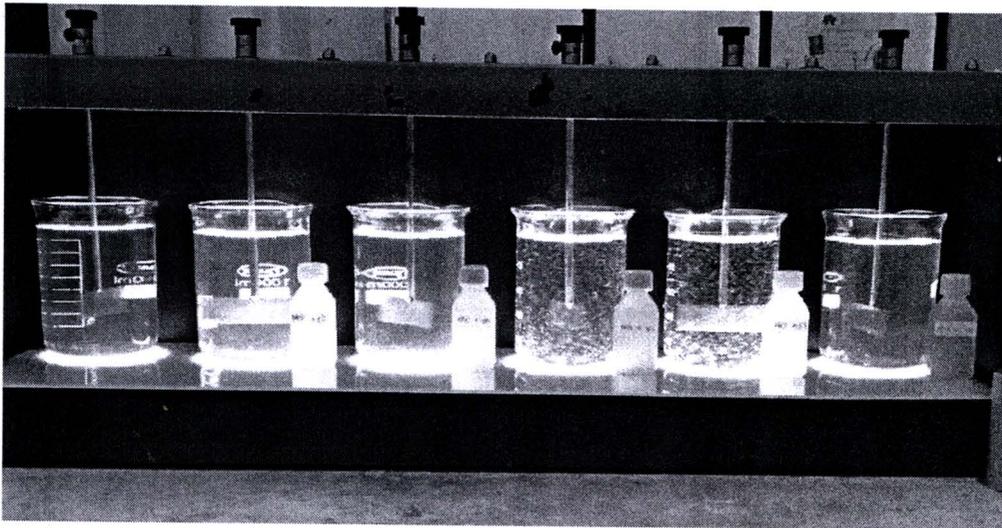


รูปที่ 3.5 แผนภาพการดำเนินการทดลอง (ตัวอย่างน้ำอ่างเก็บน้ำสะเดา)

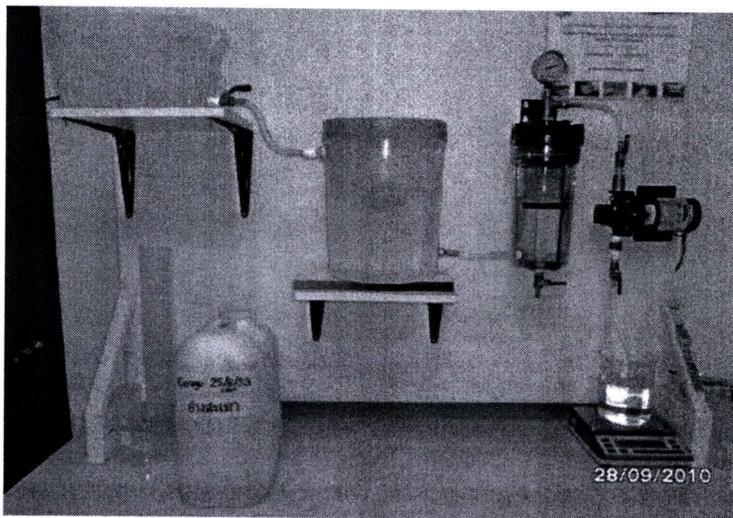
(1) การบำบัดขั้นต้นด้วยการโคแอกกูเลชัน และไมโครฟิลเตรชัน สำหรับกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ของตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา

จากการนำตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดามาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีที่แตกต่างกันประกอบด้วยวิธีโคแอกกูเลชันด้วยสารโคแอกกูแลนต์ PACI ความเข้มข้นที่ 10 mg/L (เลือกค่าที่เหมาะสมจากการหาค่าการทดลองเริ่มต้น) ควบคุม pH เท่ากับ 7 ทำการทดลอง jarrest

ความเร็วรอบในการกวนเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้า 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งตกตะกอน 1 ชั่วโมง ส่วนอีกวิธีคือกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และนำน้ำที่ผ่านการโคแอกกูเลชัน(PACI) และไมโครฟิลเตรชันไปวิเคราะห์คุณภาพก่อนจะนำมาบำบัดต่อด้วยกระบวนการอัลตราฟิเตรชันพบว่าค่าฟลักซ์น้ำกลั่นต่อเวลาของอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนคงที่ที่ประมาณ 40 L/hr-m^2 เมื่อทำการเดินระบบที่ความดันด้านดูดคงที่ 0.28 bar

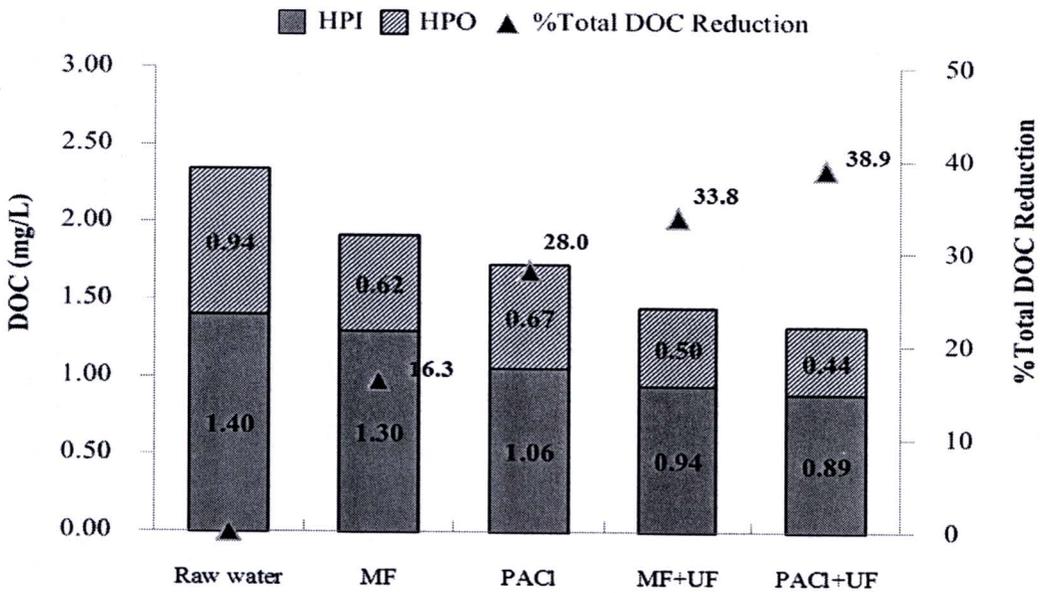


รูปที่ 3.6 การทำจาร์เทสต์ (ชุดทดลองตัวอย่างน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา)

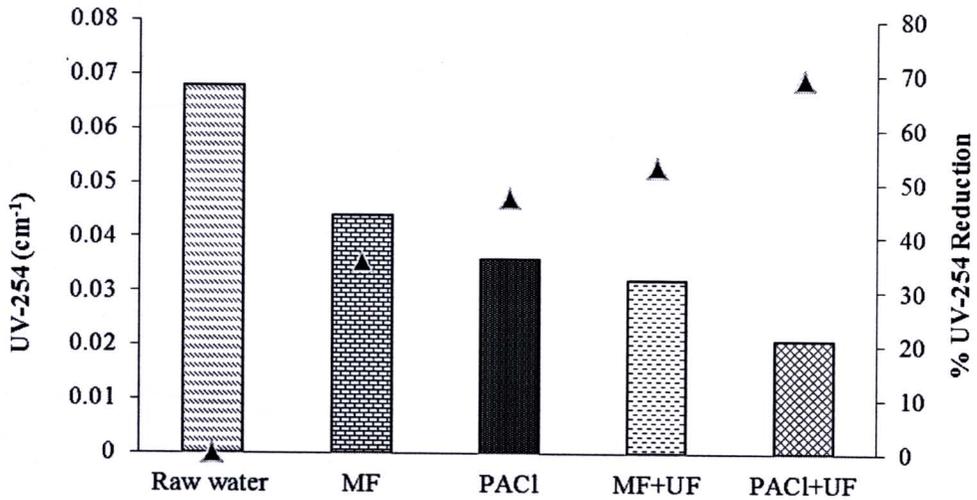


รูปที่ 3.7 กระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน

จากผลการบำบัดขั้นต้น พบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ DOC และ UV-254 ได้ดีกว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน ดังรูปที่ 3.8 และประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ในรูป UV254 ลดได้ดีกว่า DOC ทั้งนี้เนื่องมาจากค่า UV-254 เป็นดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์พันธะคู่กลุ่ม aromatic เช่น สารกลุ่มฮิวมิก ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ แต่บางส่วนมีขนาดเล็กกว่ารูกรองของเมมเบรน ทำให้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันซึ่งใช้กลไก size exclusion ไม่สามารถกักกันสารอินทรีย์ไว้ได้ทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน ที่ใช้กลไก destabilization และ charge neutralization โดยจะเกิดการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์เป็นกลุ่ม floc ซึ่งสารอินทรีย์ละลายน้ำจะถูกดูดติดไปบน floc ในขั้นตอนนี้ด้วย จึงส่งผลให้กระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดค่า UV-254 ได้ดีกว่ากระบวนการไมโครฟิลเตรชัน ในทางเดียวกันเมื่อผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันพบว่า PACI+UF สามารถลดสารอินทรีย์ทั้ง DOC และ UV254 ได้ดีกว่า MF+UF และสามารถลดสารอินทรีย์ในรูป UV-254 ได้ดีกว่าเช่นเดียวกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 การลดสารอินทรีย์ในรูป DOC (ก) และ UV-254 (ข) ของน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดาและน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีโคแอกกูเลชันและกระบวนการเมมเบรน

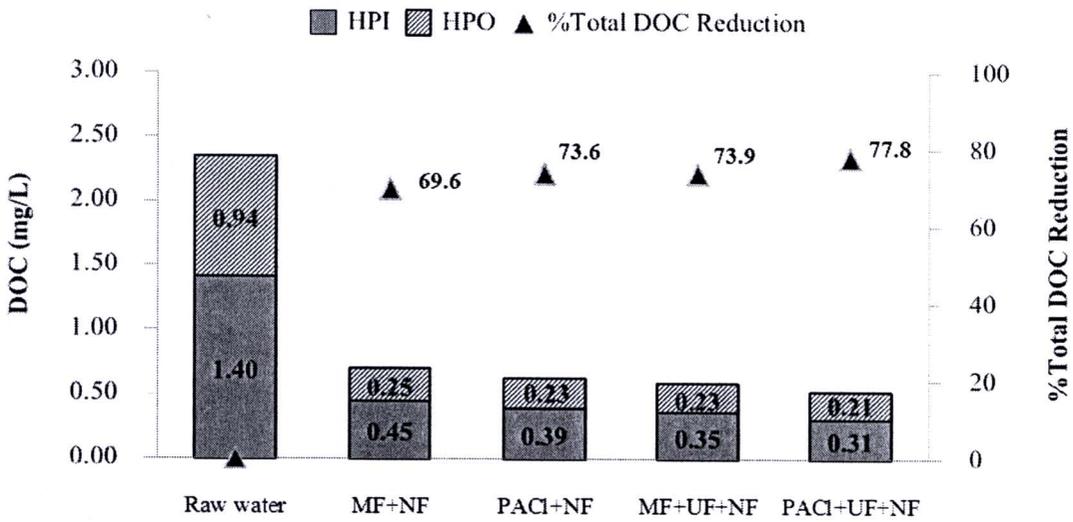
เมื่อนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชันมาทำการวิเคราะห์ค่า SDI เพื่อดูความเหมาะสมของน้ำที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวก่อนเข้ากระบวนการนาโนฟิลเตรชัน ซึ่งค่า SDI ควรมีค่าน้อยกว่า 5 และพบว่าน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นมีค่า SDI น้อยกว่า 5 ทุกกระบวนการ โดยแสดงค่าดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่า SDI (Silt Density Index) ของตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่แตกต่างกัน

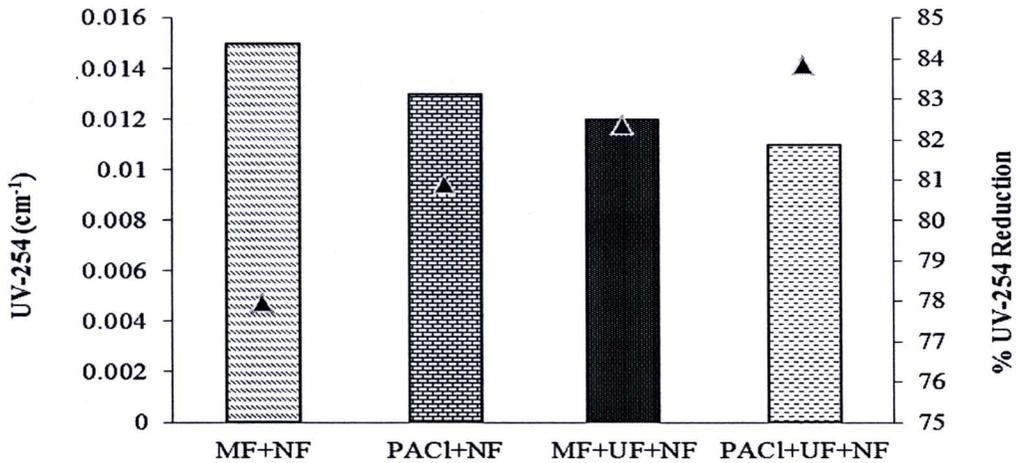
กระบวนการ	SDI
น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ + MF	3.88-4.04
น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ + PACI	4.14-4.35
น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ + MF + UF	2.98-3.12
น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ + PACI + UF	3.09-3.22

(2) การบำบัดด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน ของตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา

การบำบัดร่วมของการบำบัดขั้นต้นกับกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (NF) ดังรูปแสดง 3.9 พบว่า กระบวนการร่วมระหว่าง ไมโครฟิลเตรชันกับนาโนฟิลเตรชัน (MF+NF) สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ DOC และค่า UV-254 เหลือเพียง 0.69 mg/L และ 0.015 cm⁻¹ ลดลงถึง 71% และ 78% ตามลำดับ ส่วนกระบวนการร่วมระหว่างวิธีโคแอกกูเลชันกับนาโนฟิลเตรชัน (PACI+NF) สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ DOC และค่า UV-254 เหลือเพียง 0.598 mg/L และ 0.013 cm⁻¹ ลดลงถึง 75% และ 81% ตามลำดับ และกระบวนการร่วม MF+UF+NF ลดค่า DOC เหลือ 0.632 mg/L และ UV254 เหลือ 0.012 cm⁻¹ ลดลงถึง 74% และ 82% ตามลำดับ ส่วนกระบวนการร่วม PACI+UF+NF ลดค่า DOC เหลือ 0.506 mg/L และ UV-254 เหลือ 0.011 cm⁻¹ ลดลงถึง 79% และ 84% ตามลำดับ



(ก)



(ข)

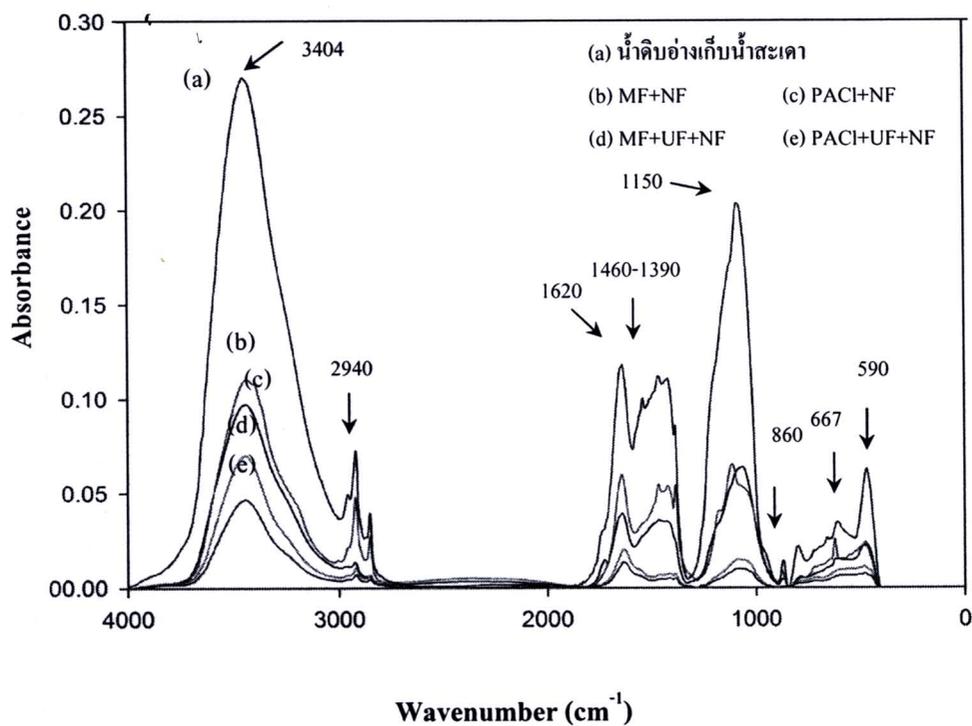
รูปที่ 3.9 การลดสารอินทรีย์ในรูป (ก) DOC (ข) UV254 ของน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดาที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย NF

จากผลการศึกษาการกระจายมวลของ DOC ในน้ำดิบทั้งที่มาจากอ่างเก็บน้ำสะเดา พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF ตัวอย่างดังกล่าวมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPI คงเหลือมากกว่า 56 % แสดงว่ามีสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic อยู่มากกว่า ซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ฯลฯ (Turman, 1985 และ Liying *et al.*, 2009) และมีสัดส่วนคงเหลือในน้ำมากกว่ากลุ่ม HPO ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MF สามารถลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI เมื่อทำการลด DOM ด้วยกระบวนการบำบัดขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF (PACI+NF และ MF+NF) พบว่าประสิทธิภาพของการลด DOM สามารถลดสาร DOM กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะกระบวนการ NF จะเห็นได้ว่าน้ำตัวอย่างอ่างเก็บน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นมีแนวโน้มในการลด DOM กลุ่ม HPI (มากกว่า 60%) ได้ดีกว่า HPO ในกระบวนการ NF

ผลการศึกษาที่กล่าวมา อาจเป็นผลเนื่องจากกลไกในการลด DOM ของกระบวนการ NF ที่เป็นกลไกทางกายภาพ โดยสารอินทรีย์จะถูกกำจัดโดยวิธีการกรองติดค้าง (Sieving) และกลไกเนื่องจากแรงปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งโดยทั่วไปเมมเบรน NF มักจะมีประจุไฟฟ้าที่ผิวหน้า กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีประจุชนิดเดียวกันจึงเกิดขึ้น โดยแรงผลักรังไฟฟ้าของประจุที่ผิวหน้าของเมมเบรน (ปรมาภรณ์, 2546)

(3) กระบวนการ FTIR เพื่อศึกษาโครงสร้างของสารอินทรีย์ ก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้น
ด้วยโคแอกกูเลชันและกระบวนการเมมเบรน ของตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา

ตามการวิเคราะห์ Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR) น้ำดิบอ่างเก็บน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะ FT-IR ของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ UF จะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ลดลงเล็กน้อยเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดร่วม UF โดยกระบวนการ PACl +UF ลดค่าการดูดกลืนแสงได้ดีกว่า MF+UF และจากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.8 (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำสะเดา ที่ผ่านกระบวนการ
ปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ร่วมกับกระบวนการ NF

ตารางที่ 3.8 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำสะเดา ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ น้ำขึ้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF

Wavenumber (cm ⁻¹)		Assignment
*อ่างเก็บน้ำสะเดา		
λ_1	3404	O-H groups or H-bonded N-H groups
λ_2	2940-2900	Aliphatic C-H stretching
λ_3	1620-1600	C=O stretching of amide groups (amide-1)
λ_4	1460-1430	Aliphatic C-H
λ_5	1400-1390	O-H bending vibration of carboxylic groups, C-O stretching of alcohol
λ_6	1150-1120	C-O stretching of ester, ethers, phenol and alcohol
λ_7	860	C-H bending vibration of aromatic rings
λ_8	590-667	Hydrogen-bonded OH stretching vibration carboxylic groups

หมายเหตุ : * วิเคราะห์จากการผสมตัวอย่างน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำในฤดูฝนและแล้ง สัดส่วนละ 1:1

การศึกษาลักษณะสารอินทรีย์ ในตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำขึ้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF ด้วยเทคนิค FTIR สอดคล้องกับการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการแฟรกชัน และเทคนิค FEEM ของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา โดยที่ตำแหน่ง λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 และ λ_5 ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ O-H groups, Aliphatic C-H, amide groups, Aliphatic C-H และ carboxylic เป็นสารอินทรีย์กลุ่ม humic substance ส่วนที่ตำแหน่ง λ_6 มีหมู่ฟังก์ชัน alcoholic C-O bonds มาจากสารกลุ่ม polysaccharide-like substance เป็นสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic substance λ_7 มีหมู่ฟังก์ชัน C-H bending ของสารพวก aromatic ring ซึ่งเป็นกลุ่ม humic substance และ λ_8 เป็น Hydrogen-bonded OH stretching vibration carboxylic groups ของ amino group ซึ่งเป็นพวก Non-humic substance

(4) การศึกษาการลด THMFP ด้วยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับ NF ของ ตัวอย่างน้ำดิบอ่างเก็บน้ำสะเดา

จากการศึกษาค่า THMFP ของตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับ NF (หลังกระบวนการแฟรกชัน) พบว่า THMFP ของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา (ตารางที่ 3.9) จากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO เท่ากับ 130 µg/L (63%) และ 77.6 µg/L (37%) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI คงเหลือในน้ำมากกว่ากลุ่ม HPO (จากหัวข้อ 3.3.2(2)) อาจส่งผลทำให้มีค่าสัดส่วนของค่า THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI มากกว่าสารอินทรีย์กลุ่ม HPO จากผลการศึกษาค่า THMFP โดยใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF พบว่า สามารถลด THMFP ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดาได้มากกว่า 80%

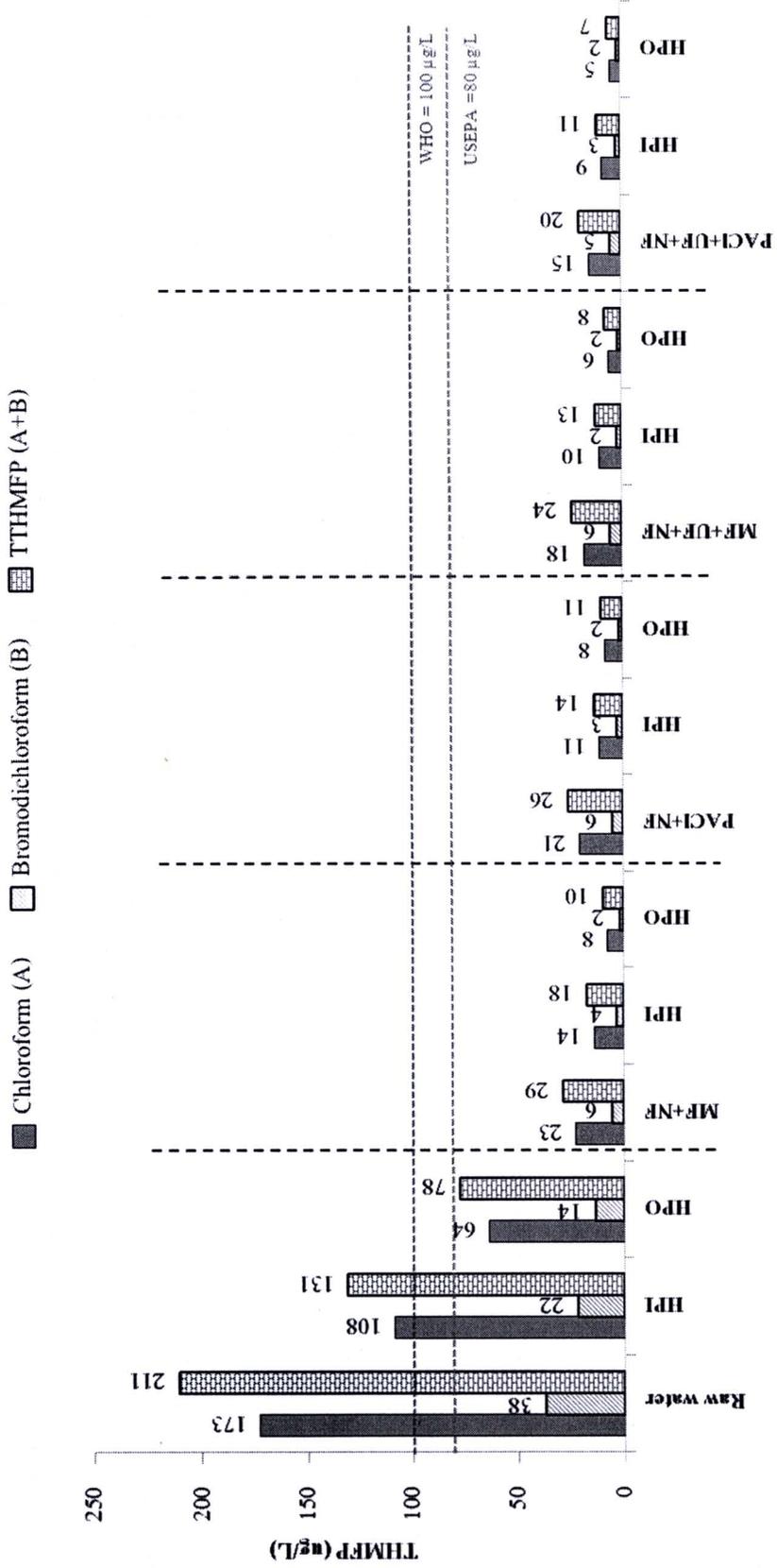
เมื่อพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานของ USEPA (2009) พบว่า ค่าผลรวมความเข้มข้นของสารประกอบ THMs (TCM+ BDCM) ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในตัวอย่างน้ำทั้ง 2 แหล่ง เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการ NF (ดังรูปที่ 3.11) มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าระดับที่มาตรฐานกำหนด คือ 80 µg/L และยังพบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน PACI+NF สามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ดี เป็นผลให้เกิด THMFP ที่น้อยกว่ากระบวนการ MF+NF

ตารางที่ 3.9 เปรอ์เซ็นต์สัดส่วนและการลด THMFP ของสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับ NF

น้ำตัวอย่าง	% เปรอ์เซ็นต์สัดส่วนของ THMFP กลุ่ม HPI และ HPO	THMFP (µg/L)			% THMFP Reduction		
		HPI	HPO	Total ¹	HPI	HPO	Total ²
อ่างเก็บน้ำสะเดา							
1) Raw water	HPI (63%) >HPO (37%)	130.85	77.60	210.78	-	-	-
2) MF+NF	HPI (64%) >HPO (36%)	17.57	9.82	29.02	86.6	87.3	86.2
3) PACI+NF	HPI (57%) >HPO (43%)	13.90	10.63	26.33	89.4	86.3	87.5
4) MF+UF+NF	HPI (61%) >HPO (39%)	12.90	8.08	23.90	90.1	89.6	88.7
5) PACI+UF+NF	HPI (63%) >HPO (37%)	11.47	6.70	20.05	91.2	91.4	90.5

หมายเหตุ : ¹ Total = THMFP ของตัวอย่างก่อนการแฟรกชัน

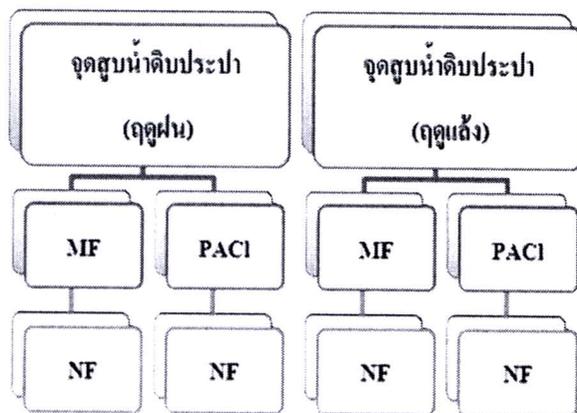
²Total = %การลดของ THMFP ในตัวอย่างก่อนการแฟรกชัน



รูปที่ 3.11 THMFP ของสารประกอบ THMs ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำสะเตา ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF

3.3.3 ประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการเมมเบรน ของตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปา

จากการศึกษาคุณลักษณะน้ำตัวอย่างจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา มีคุณภาพน้ำแตกต่างกันใน 2 ฤดูกาล และจากการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ยังพบว่ามีสารอินทรีย์กลุ่ม HPO อยู่ ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ดังนั้นกรณีมีสารอินทรีย์อินทรีย์กลุ่ม HPO ในน้ำดิบประปาประมาณ 50 % จึงเหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ เช่นเดียวกับกรณีมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPI กำจัดได้ยากโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อช่วยในการลดสารอินทรีย์กลุ่มนี้ลง ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกรูปแบบกระบวนการบำบัดดังรูปที่ 3.12 โดยตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปา ทำการศึกษาการลดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนร่วมกระบวนการนาโนฟิลเตรชันเมมเบรน เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์และทำการประเมินศักยภาพการเกิดสารก่อมะเร็ง



รูปที่ 3.12 แผนภาพการดำเนินการทดลอง (ตัวอย่างน้ำจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา)

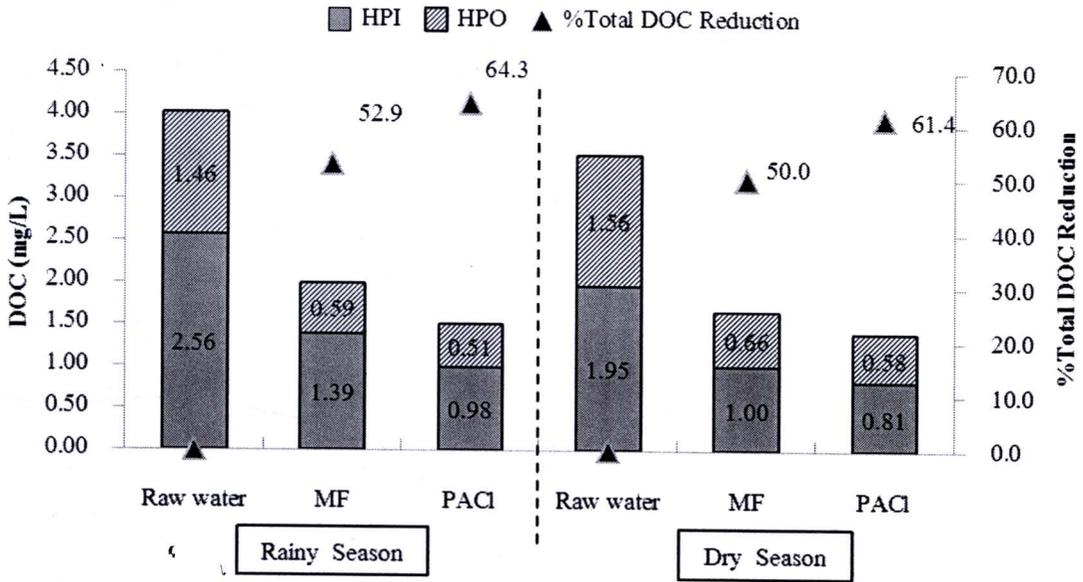
(1) การบำบัดขั้นต้นด้วยการโคแอกกูเลชัน และไมโครฟิลเตรชัน ของตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภา

จากผลการศึกษาการลด DOM ในตัวอย่างน้ำดิบด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI พบว่า การทำโคแอกกูเลชันของน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาลองอยู่ตะเภาใช้ PACI ที่ความเข้มข้น 40 mg/L (เลือกค่าที่เหมาะสมจากการชุดการทดลองเริ่มต้น) โดยควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ความเร็วรอบในการกวนเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้า 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที และ

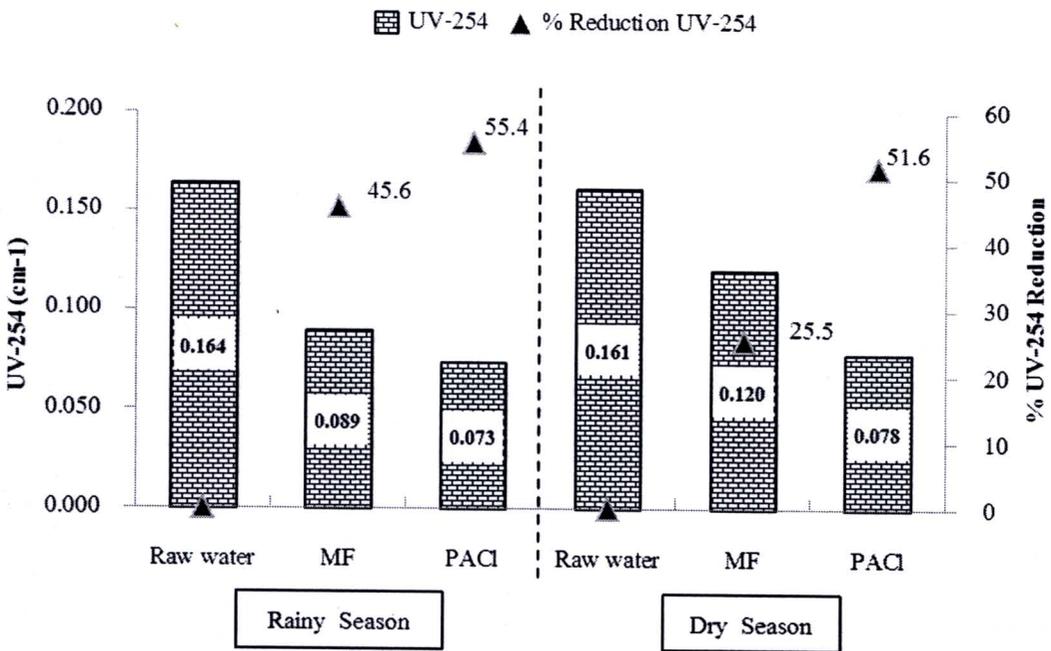
ตั้งทิ้งตกตะกอน 1 ชั่วโมง และการลด DOM ด้วยกระบวนการ MF ชนิด Hollow fiber โดยควบคุมแรงดันที่ -0.2 bar (แรงดันด้านดูด)

จากผลการศึกษา (รูปที่ 3.13) พบว่า การลด DOM ด้วยวิธีโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ DOC และ UV-254 ในน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา ได้ 64.3% และ 55.4% ในฤดูฝน ลดได้ 61.4% และ 51.6% ในฤดูแล้งตามลำดับ และเมื่อทำลด DOM ด้วยกระบวนการ MF พบว่า สามารถลดสารอินทรีย์รูปของ DOC และ UV-254 ในน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา ได้ 52.9% และ 45.6% ในฤดูฝน ลดได้ 50.0% และ 25.5% ในฤดูแล้งตามลำดับ จากผลข้างต้น พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถลด DOM ได้มากกว่ากระบวนการ MF และพบว่ากระบวนการทั้ง 2 สามารถลด DOC ในน้ำตัวอย่างจากจุดสูบน้ำดิบประปาดีกว่าการลด UV-254 (ประสิทธิภาพแตกต่างกันเล็กน้อย)

จากผลของกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถลด DOM ในน้ำได้ดีกว่ากระบวนการ MF ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีโคแอกกูเลชัน ที่ใช้กลไก destabilization และ charge neutralization โดยจะเกิดการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์เป็นกลุ่มฟล็อก ซึ่งสารอินทรีย์ละลายน้ำจะถูกดูดติดไปบนฟล็อก แตกต่างจากกระบวนการ MF ซึ่งใช้กลไก size exclusion ซึ่งไม่สามารถกักกันสารอินทรีย์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูกรองของเมมเบรนไว้ได้ทั้งหมด และค่า UV-254 เป็นดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์พันธะคู่กลุ่ม aromatic เช่น สารกลุ่มฮิวมิก ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Janhom et al., 2004 และ Yan et al., 2009) โดยจะถูกดูดติดไปบนฟล็อก และถูกกำจัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Kim et al., 2006, Marhaba และ Van, 2000) จึงส่งผลให้กระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดค่า UV-254 ได้ดีกว่ากระบวนการ MF ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ก็จะถูกกำจัดในขั้นตอนนี้ด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 ประสิทธิภาพการลด DOM ในรูปของ ก) DOC ข) UV-254 ของน้ำจากจุดสูบน้ำดิบ
 ประกาศทองอยู่ตะเภา เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและ
 กระบวนการ MF

จากการศึกษาความเหมาะสมก่อนนำน้ำตัวอย่างจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอยู่
ตะเภา เข้าสู่ระบบนาโนฟิลเตรชัน พบว่าน้ำตัวอย่างจากการการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโค
แอกกูเลชันด้วย PACI และกระบวนการ MF มีค่า SDI อยู่ในเกณฑ์ซึ่งต้องมีค่าน้อยกว่า 5 (ตารางที่
3.10) สามารถดำเนินการลดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการ NF ต่อไปได้

ตารางที่ 3.10 ค่า SDI (Silt Density Index) ของตัวอย่างน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา ที่ผ่านกระบวนการ
ปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่แตกต่างกัน

กระบวนการ	SDI
น้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ + MF (ฤดูฝน)	3.85-4.12
น้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ + PACI (ฤดูฝน)	4.13-4.25
น้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ + MF (ฤดูแล้ง)	3.34-4.02
น้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ + PACI (ฤดูแล้ง)	4.21-4.38

(2) การบำบัดด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน ของตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาคลอง
อยู่ตะเภา

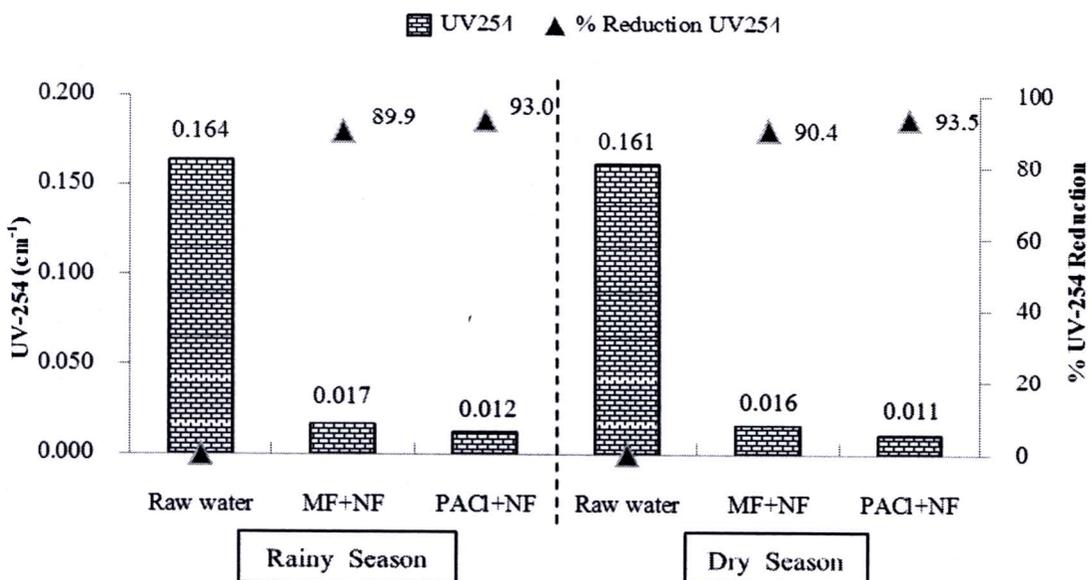
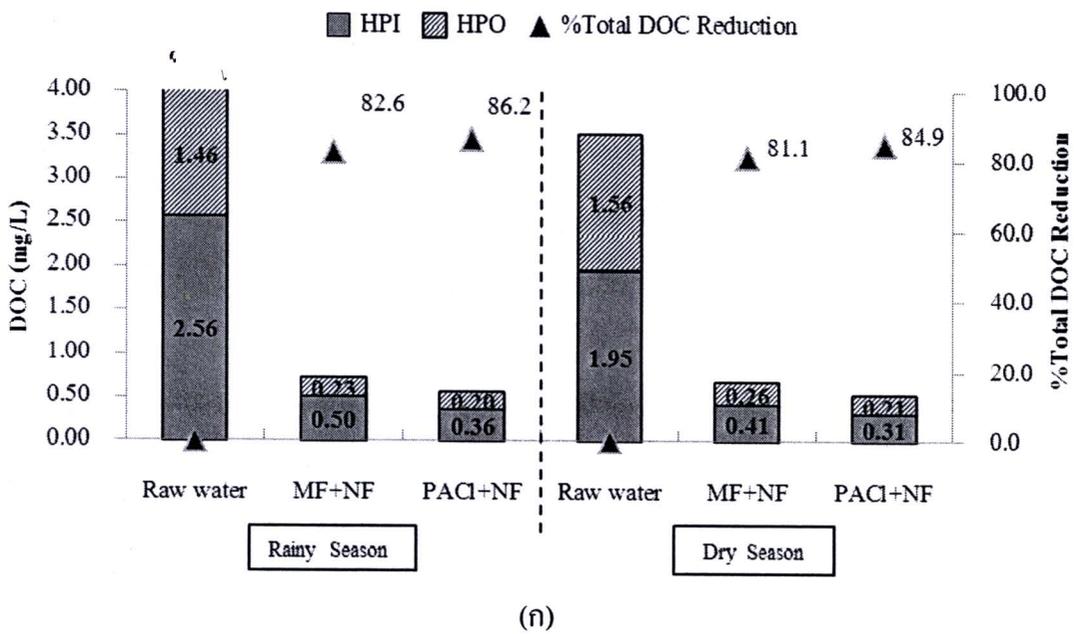
จากการศึกษาการลดลงของสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูป DOC และ UV-254 ด้วย
กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำร่วมนาโนฟิลเตรชันเมมเบรน ดังรูปแสดง 3.14 พบว่าการลด DOM
ของน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองจากอยู่ตะเภาทั้ง 2 ฤดูกาล ซึ่งผ่านกระบวนการลด DOM คือ
กระบวนการ PACI+NF และกระบวนการ MF+NF พบว่ามีผลสอดคล้องกันทั้ง 2 ฤดูกาล และ
สอดคล้องกับการลดสารอินทรีย์ของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา โดยกระบวนการ PACI+NF มี
ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ดีกว่ากระบวนการ MF+NF ซึ่งกระบวนการ
PACI+NF ลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูป DOC และ UV-254 ในฤดูฝนได้ 86.2% และ 93.5% และใน
ฤดูแล้งลดได้ 84.9% และ 93.0% ตามลำดับ ส่วนกระบวนการ MF+NF ลดสารอินทรีย์ละลายน้ำใน
รูป DOC และ UV-254 ในฤดูฝนได้ 82.6% และ 90.4% และในฤดูแล้งลดได้ 81.1% และ 90.4%
ตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพการลดลงของสารอินทรีย์ในรูป DOC และ UV-254 ดังกล่าว
ข้างต้น พบว่ากระบวนการ PACI+NF และ MF+NF สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ UV-254 (ลด
ได้มากกว่า 90%) ได้ดีกว่า DOC (ลดได้มากกว่า 80%)

จากผลการศึกษา พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถลด DOM ในน้ำตัวอย่างได้ดีกว่ากระบวนการ MF ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้กลไก destabilization และ charge neutralization เกิดการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์เป็นกลุ่มฟล็อก ส่งผลให้สารอินทรีย์ละลายน้ำถูกดูดติดไปบนฟล็อกและตกตะกอนลง และสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ก็ถูกกำจัดในขั้นตอนนี้ด้วย ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการ MF ที่ใช้กลไก size exclusion จึงไม่สามารถกักกันสารอินทรีย์ไว้ได้ทั้งหมด และพบว่ากระบวนการ PACI+NF สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ UV-254 ได้ดีกว่า DOC เนื่องจาก UV-254 เป็นดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์พันธะกลุ่ม aromatic เช่น สารกลุ่มฮิวมิก ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Janhom *et al.*, 2004 และ Yan *et al.*, 2009) ซึ่งจะถูกลดติดไปบนฟล็อก และถูกกำจัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Kim *et al.*, 2006 และ Marhaba และ Van, 2000) ในขณะที่ค่า DOC บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดรวมถึงโมเลกุลขนาดเล็ก (non-humic) และยังมีโมเลกุลน้ำห่อหุ้ม จึงเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางไม่ให้อนุภาครวมตัวกัน (AWWA, 1993, มั่นสิน, 2542) สารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวจึงกำจัดได้ยากด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกรณีของกระบวนการ MF+NF ที่พบว่าสามารถลด UV-254 ได้ดีกว่า DOC สอดคล้องกับดังกล่าวข้างต้น คือ สารกลุ่ม aromatic เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่สามารถกำจัดได้ดีด้วยกระบวนการเมมเบรน และสาร non-humic ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า และบางโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่ารูกรองของเมมเบรน เป็นผลให้สามารถลดค่า UV-254 จึงได้ดีด้วยกระบวนการ MF เช่นกัน

จากผลการศึกษาการกระจายมวลของ DOC ในน้ำดิบที่มาจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา ทั้ง 2 ฤดูกาล พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF ตัวอย่างดังกล่าวมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPI คงเหลือมากกว่า 56 % แสดงว่ามีสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic อยู่มากกว่า ซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ฯลฯ (Liyang *et al.*, 2009) และมีสัดส่วนคงเหลือในน้ำมากกว่ากลุ่ม HPO ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MF สามารถลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI เมื่อทำการลด DOM ด้วยการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF (PACI+NF และ MF+NF) พบว่าประสิทธิภาพของการลด DOM สามารถลดสาร DOM กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะกระบวนการ NF (แสดงรายละเอียดประสิทธิภาพแต่ละกระบวนการในภาคผนวก) จะเห็นได้ว่าน้ำตัวอย่างอ่างเก็บน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพขั้นต้นทั้ง 2 ฤดูกาล มีแนวโน้มในการลด DOM กลุ่ม HPI (มากกว่า 60%) ได้ดีกว่า HPO ในกระบวนการ NF และสำหรับตัวอย่างจุดสูบน้ำดิบประปาพบว่าในฤดูฝน กระบวนการ NF สามารถลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPI ได้ดีกว่ากลุ่ม HPO ในทางตรงกันข้ามพบว่าในฤดูแล้ง กระบวนการ NF สามารถลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ วรินทร์ (2553) และ ทศนา (2552) ซึ่งได้ทำการลดสารอินทรีย์ละลายจากน้ำอ่างเก็บน้ำ และน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา พบว่า

กระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถกำจัดสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI และเมื่อผ่านกระบวนการ NF พบว่า เหลือสารอินทรีย์กลุ่ม HPI มากกว่า HPO ทั้งนี้เนื่องจาก HPO ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า ต่างจากกลุ่ม HPI ซึ่งเป็นสารกลุ่มที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็กกว่า (Colin *et al.*,1986, Singer *et al.*,2003 และ Bose และ Reckhow,2007) เมื่อผ่านกระบวนการเมมเบรน ซึ่งมีกลไกเป็นการคัดขนาด สารกลุ่ม HPO จะถูกกักกันได้มากกว่า ส่วนสารกลุ่ม HPI สามารถผ่านเมมเบรนออกมาได้มากกว่าเป็นเหตุให้มีสารกลุ่ม HPI หลงเหลือในน้ำได้มากกว่า และอาจเนื่องมาจากการปลั๊กตันระหว่างประจุของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง โดยทั้งเมมเบรนที่ใช้ในการศึกษามีประจุลบที่ผิวหน้าของเมมเบรน



(ข)

รูปที่ 3.14 ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูปของ ก) DOC ข) UV-254 ของน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF

(3) การตรวจวัด DOM ด้วยเทคนิค FEEM ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ร่วมกับกระบวนการ NF (น้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอุตะเถา)

น้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอุตะเถา ช่วงฤดูฝน พบความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์อยู่ในตำแหน่ง peak A และ C ซึ่ง peak A และ C เป็นสารอินทรีย์กลุ่ม tryptophan-like substances และ fulvic acid-like substances และช่วงฤดูแล้ง พบตำแหน่ง peak A และ B ซึ่งเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม tryptophan-like substances

เมื่อนำน้ำตัวอย่าง ทั้งฤดูฝน และฤดูแล้ง มาปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการ PACI+NF สามารถลดสารกลุ่ม tryptophan-like substances humic และ fulvic acid-like substances ได้มากกว่า 90 % ซึ่งมากกว่ากระบวนการ MF+NF โดยประสิทธิภาพการลดลงของสารอินทรีย์กลุ่ม humic และ fulvic acid-like substances สูงกว่าของกลุ่ม tryptophan-like substances ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ในรูปของ DOC และ UV-254 ซึ่งลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ได้ดีกว่า HPI สรุปได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ประสิทธิภาพการลดลงของ FEEM Peaks ในตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองคู่ตะเภา ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ร่วมกับ กระบวนการ NF

น้ำตัวอย่าง	กระบวนการ	ความเข้มข้นฟลูออโรเซนส์ (QSU)				Removal Efficiency			
		Tryptophan-like substances	Humic acid- like substances	Fulvic acid- like substances	Total	Tryptophan-like substances	Humic acid- like substances	Fulvic acid- like substances	Total Removal Efficiency (%)
		Peak A+B	Peak C	Peak D		Peak A+B	Peak C	Peak D	
จุดสูบน้ำดิบประปาจุดฝน	Raw water	16	8	N.A.	24	-	-	-	
	MF+NF	0.6	N.A.	N.A.	0.6	96.3	100	-	97.5
	PACI+NF	0.6	N.A.	N.A.	0.6	96.3	100	-	97.5
จุดสูบน้ำดิบประปาจุดแม่เลี้ยง	Raw water	40	N.A.	N.A.	40	-	-	-	
	MF+NF	4	N.A.	N.A.	4	90.0	-	-	90.0
	PACI+NF	3.4	N.A.	N.A.	3.4	91.5	-	-	91.5

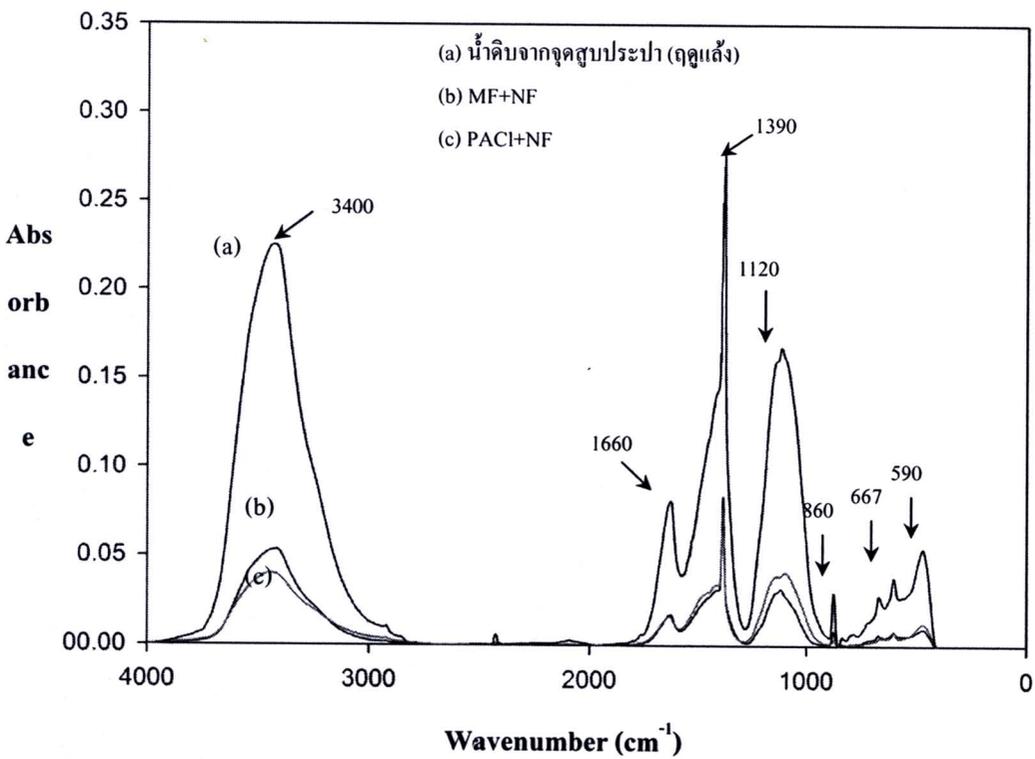
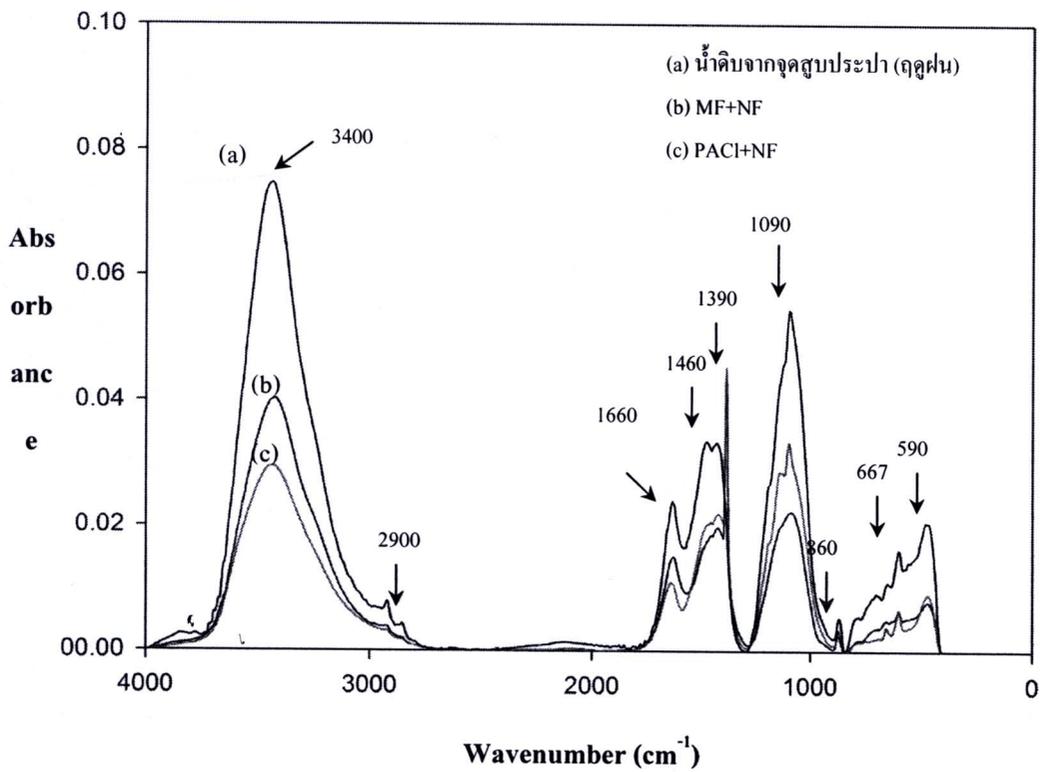
หมายเหตุ : N.A. = Not available

- = ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัด

(4) กระบวนการ FTIR เพื่อศึกษาโครงสร้างของสารอินทรีย์ ก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้น
ด้วยโคแอกกูเลชันและกระบวนการเมมเบรน ของตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปา
คลองอู่ตะเภา

การศึกษาลักษณะสารอินทรีย์ ในตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น
ร่วมกับกระบวนการ NF ด้วยเทคนิค FTIR สอดคล้องกับการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ด้วย
กระบวนการแฟรกชัน และเทคนิค FEEM ของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และจุดสูบน้ำดิบประปา
คลองอู่ตะเภา โดยที่ตำแหน่ง $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ และ λ_5 ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ O-H groups, Aliphatic
C-H, amide groups, Aliphatic C-H และ carboxylic เป็นสารอินทรีย์กลุ่ม humic substance ส่วนที่
ตำแหน่ง λ_6 มีหมู่ฟังก์ชัน alcoholic C-O bonds มาจากสารกลุ่ม polysaccharide-like substance เป็น
สารอินทรีย์กลุ่ม non-humic substance λ_7 มีหมู่ฟังก์ชัน C-H bending ของสารพวก aromatic ring ซึ่ง
เป็นกลุ่ม humic substance และ λ_8 เป็น Hydrogen-bonded OH stretching vibration carboxylic
groups ของ amino group ซึ่งเป็นพวก non-humic substance

เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการ PACI+NF และ MF+NF
พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นต่างๆ มีค่าลดลง โดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันที่มีผลให้เกิดเป็น
สารก่อมะเร็งได้ เช่น หมู่ฟังก์ชันของ C-O stretching of alcohol ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่คงเหลือหลังผ่าน
กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย NF ยังคงส่งผลให้เกิดการทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้ แต่อยู่ใน
ระดับค่อนข้างต่ำ แสดงรายละเอียดในการศึกษาในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.15 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำดิบจากจุดสูบน้ำประปาคลองอู่ตะเภา ก) ช่วงฤดูฝน ข) ช่วงฤดูแล้ง ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF

ตารางที่ 3.12 FTIR spectra ของตัวอย่างตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำประปาคลองอู่ตะเภา ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ร่วมกับกระบวนการ NF

	Wavenumber (cm ⁻¹)		Assignment
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	
จุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา			
λ_1	3400	3400	O-H groups or H-bonded N-H groups
λ_2	2940-2900	-	Aliphatic C-H stretching
λ_3	1620-1600	1660	C=O stretching of amide groups (amide-1)
λ_4	1460-1430	-	Aliphatic C-H
λ_5	1400-1390	1390	O-H bending vibration of carboxylic groups, C-O stretching of alcohol
λ_6	1150	1150-1120	C-O stretching of ester, ethers, phenol and alcohol
λ_7	860	860	C-H bending vibration of aromatic rings
λ_8	590-667	590-667	Hydrogen-bonded OH stretching vibration carboxylic groups

(5) การศึกษาการลด THMFP ด้วยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับ NF ของตัวอย่างน้ำดิบจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา

จากการศึกษาค่า THMFP ของตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับ NF (หลังกระบวนการแฟรกชัน) พบว่า THMFP ของ น้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภาทั้งช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง (ตารางที่ 3.13) จากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO มีค่า 308.1 µg/L (67%) และ 151.6 µg/L (33%) ตามลำดับ สำหรับฤดูฝนและ มีค่า 222 µg/L (58%) และ 167 µg/L (42%) ตามลำดับ สำหรับฤดูแล้ง เมื่อนำน้ำตัวอย่างหลังกระบวนการลดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการ NF มาทำการศึกษาค่า THMFP พบว่า THMFP_{HPI} มากกว่า 55% ของ THMFP ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI คงเหลือในน้ำมากกว่ากลุ่ม HPO อาจส่งผลทำให้มีค่าสัดส่วนของค่า THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์กลุ่ม HPI มากกว่าสารอินทรีย์กลุ่ม HPO จากผลการศึกษาค่า

THMFP โดยใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF พบว่า สามารถลด THMFP ได้มากกว่า 90% สำหรับน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

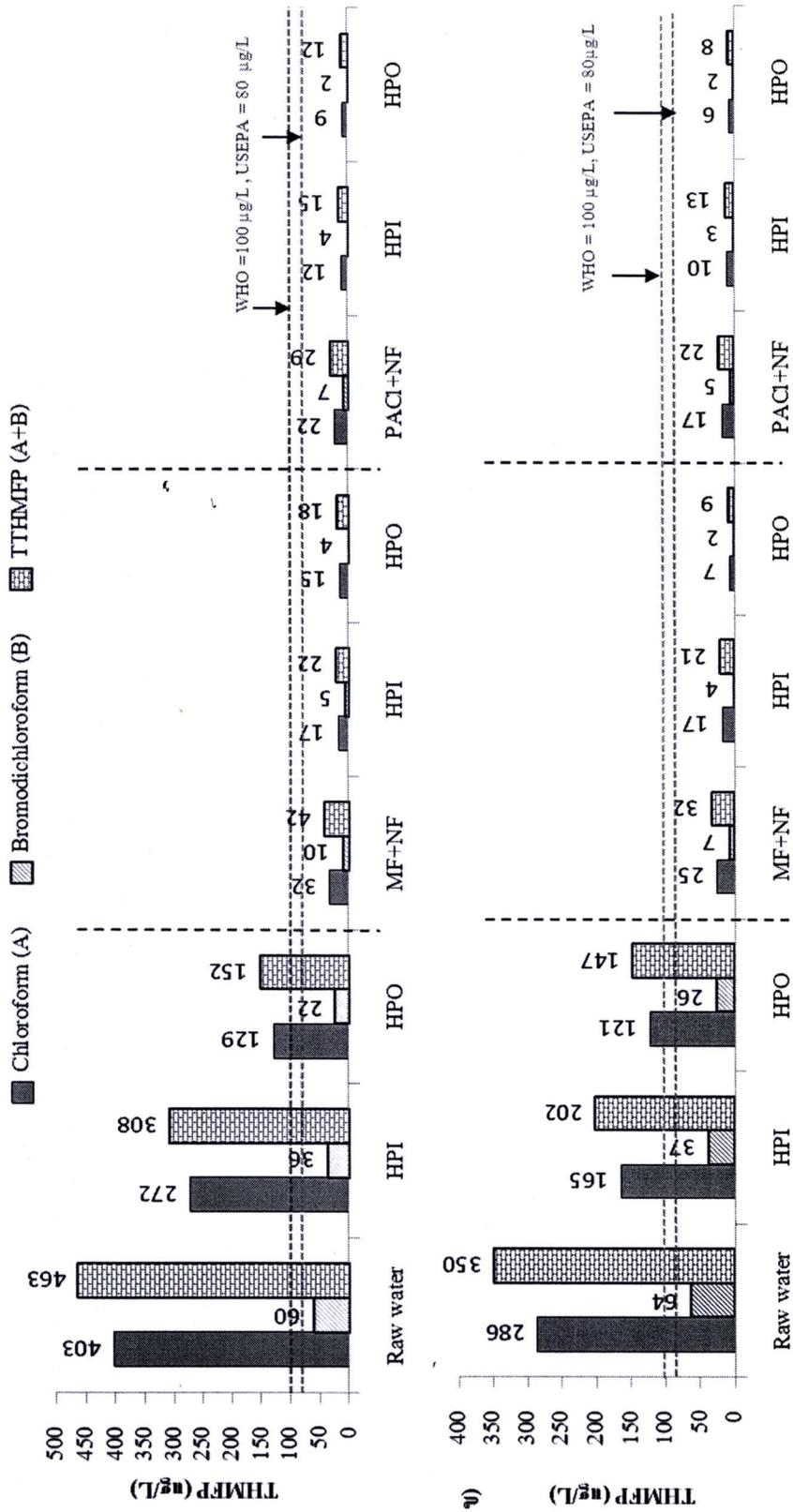
ตารางที่ 3.13 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนและการลด THMFP ของสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบ จากจุดสูบน้ำดิบประปาลงอุตะเขา ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ร่วมกับ NF

น้ำตัวอย่าง	% เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ THMFP กลุ่ม HPI และ HPO	THMFP (µg/L)			% THMFP Reduction		
		HPI	HPO	Total ¹	HPI	HPO	Total ²
จุดสูบน้ำดิบประปาลงอุตะเขา (ฤดูฝน)							
1) Raw water	HPI (67%) > HPO (33%)	308.09	151.57	462.66	-	-	-
2) MF+UF	HPI (55%) > HPO (45%)	42	33	41.90	86.4	78.2	90.9
3) PACI+UF	HPI (57%) > HPO (43%)	37	30	29.07	88.0	80.2	93.7
จุดสูบน้ำดิบประปาลงอุตะเขา (ฤดูแล้ง)							
1) Raw water	HPI (58%) > HPO (42%)	222	167	350.03	-	-	-
2) MF+UF	HPI (71%) > HPO (29%)	39	31	31.92	82.4	81.4	90.9
3) PACI+UF	HPI (50%) > HPO (50%)	28	22	22.17	87.4	86.8	93.7

หมายเหตุ : ¹ Total = THMFP ของตัวอย่างก่อนการแฟรกชัน

²Total = %การลดของ THMFP ในตัวอย่างก่อนการแฟรกชัน

จากข้อมูลการศึกษาข้างต้น พบว่า แต่ละการทดลองสามารถทำให้เกิดการลดลงของ THMFP แตกต่างกันไป จึงต้องมีการเปรียบเทียบการลดลงของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน แต่ละกลุ่ม กับค่ามาตรฐานที่กำหนด เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการลดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนให้ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด อันจะลดโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสารตกค้างเหล่านี้จากการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ



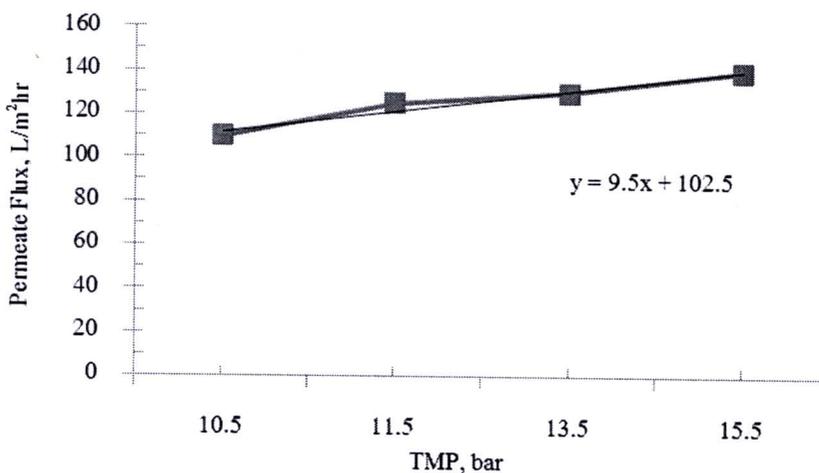
รูปที่ 3.16 THMFP ของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนของน้ำจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอยู่ตะเภา

ก) ช่วงฤดูฝน ข) ช่วงฤดูแล้ง ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขึ้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF

3.3.4 ผลของการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ต่อการลดลงของค่าฟลักซ์ในกระบวนการ NF

(1) ผลของการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยวิธีโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MF ต่อการลดลงของค่าฟลักซ์ในกระบวนการ NF

จากความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของน้ำกลั่นกับแรงดันขับ (Transmembrane Pressure) ซึ่งในกระบวนการแยกด้วยเมมเบรนภายใต้แรงดันขับ ฟลักซ์จะเป็นตัวบ่งบอกถึงสมรรถนะของระบบ โดยที่ค่าฟลักซ์แสดงถึงปริมาณของเพอมีเอทที่ผ่านรูพรุนของเมมเบรนต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรนต่อเวลา โดยจากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มแรงดันขับให้ระบบ ค่าฟลักซ์ของน้ำกลั่นจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากกราฟความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายถึงค่าความสามารถการซึมผ่านได้ของเมมเบรน (Permeability) ได้จากค่าความชันของกราฟ (Slope) โดยมีค่า permeability เท่ากับ $9.5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{bar}$



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของน้ำกลั่นกับ แรงดันขับ (Transmembrane Pressure)

จากการดำเนินการลดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการ NF ชนิด thin-film polyamine รุ่น NE2540-90 เตินระบบแบบ crossflow filtration mode ควบคุมแรงดันขับที่ 15 bar และควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C พบว่า ค่าฟลักซ์น้ำกลั่นของเมมเบรน NF มีค่าคงที่ $145 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{bar}$ สำหรับชุดการทดลองน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และ $150 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{bar}$ สำหรับชุดการทดลองน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา จากรูปที่ 3.17 พบว่า การปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

(PACI) มีค่าฟลักซ์ของ NF ต่ำกว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยกระบวนการ MF ของตัวอย่างน้ำทั้ง 2 แหล่ง แสดงให้เห็นว่าการเลือกกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นมีผลต่อการเดินระบบของกระบวนการ NF จากผลดังกล่าวข้างต้น แสดงว่ากระบวนการ MF เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นให้กระบวนการ NF ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ปรภาภรณ์ (2546) พบว่า ระบบไมโครฟิลเตรชันเป็น กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น ที่สามารถลดปัญหาการเกิด fouling ได้ดีพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ NF ที่มาจากกระบวนการกรองทราย

จากการศึกษาผลของการลดลงของค่าฟลักซ์ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาลักษณะการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรน จึงได้มีการนำผ่านเมมเบรนที่ใช้ในการทดสอบค่าฟลักซ์มาทำการศึกษาค้นเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ แสดงลักษณะการอุดตันของกระบวนการต่างๆ ดังตารางที่ 3.14 สำหรับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสะเดา และรูปที่ 3.15 สำหรับน้ำดิบจากจุดสูบน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

จากลักษณะการอุดตันจะเห็นได้ว่าผิวหน้าเมมเบรนนาโนฟิลเตรชันที่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยกระบวนการ โคเอกกูเลชันด้วย PACI และ MF จะมีลักษณะการอุดตันแบบการอุดตันบนผิวด้านนอก (External Surface Fouling) ซึ่งจะเกิดจากการก่อตัวของชั้น cake หรือ gel บนผิวหน้าของเมมเบรน ซึ่งการอุดตันในลักษณะนี้ คือ การเกิด Concentration Polarization (CP) เมื่อตัวถูกตัวทำละลายไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ จะเกิดการสะสมอยู่ที่ผิวด้านหน้าของเมมเบรน ทำให้ค่าความเข้มข้นบริเวณนั้นสูงกว่าน้ำที่เข้าระบบ ดังนั้นการเกิด CP ทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงได้ เมื่อทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ปรภาภรณ์ (2546) รายงานผลที่ค่าฟลักซ์ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเกิดสะสมตัวของสารต่างๆ ในน้ำที่พื้นที่ผิวหน้าของเมมเบรน ซึ่ง CP เป็นผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง อย่างไรก็ตามกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการ NF ที่ใช้เป็น การเดินระบบแบบไหลตามขวาง Crossflow ซึ่งช่วยลดการเกิด CP ได้



(2) ผลของการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MF ร่วมกับกระบวนการ UF ต่อการลดลงของค่าฟลักซ์ในกระบวนการ NF

จากการศึกษา พบว่า สำหรับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ ค่าฟลักซ์ของการปรับปรุงคุณภาพน้ำของกระบวนการ NF ร่วมกับกระบวนการ UF (0.008 ไมครอน) จะมีค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ไม่มีกระบวนการ UF ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายว่า สาร DOM ซึ่งยังคงอยู่ในน้ำหลังจากที่ผ่านกระบวนการ UF (ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.008 ไมครอน) อาจก่อให้เกิด irreversible fouling ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เสียสภาพการกรองได้ ในระหว่างการกรองผ่านกระบวนการ NF คอลลอยด์ขนาดเล็กจะเข้าอุดตันรูพรุนของเมมเบรนเป็นผลให้เกิดการลดลงของฟลักซ์เมมเบรน นอกจากนี้ยังพบว่า ดัชนี silt density index (SDI) อยู่ในระดับสูง (> 4) เมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วยวิธีโคแอกกูเลชันด้วย PACI ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการลดลงของฟลักซ์ NF

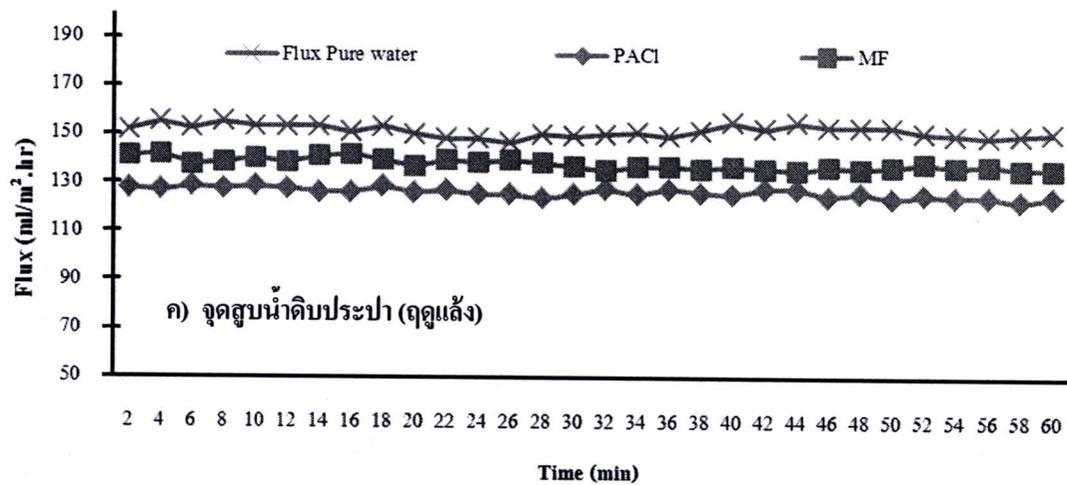
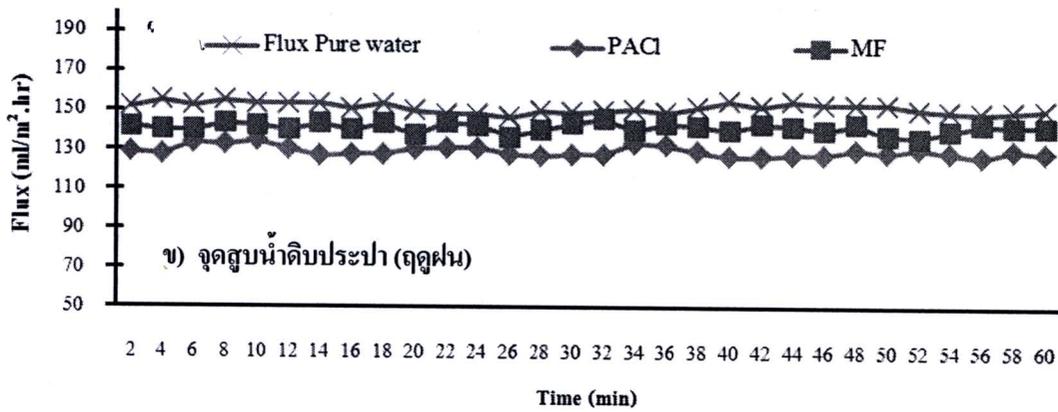
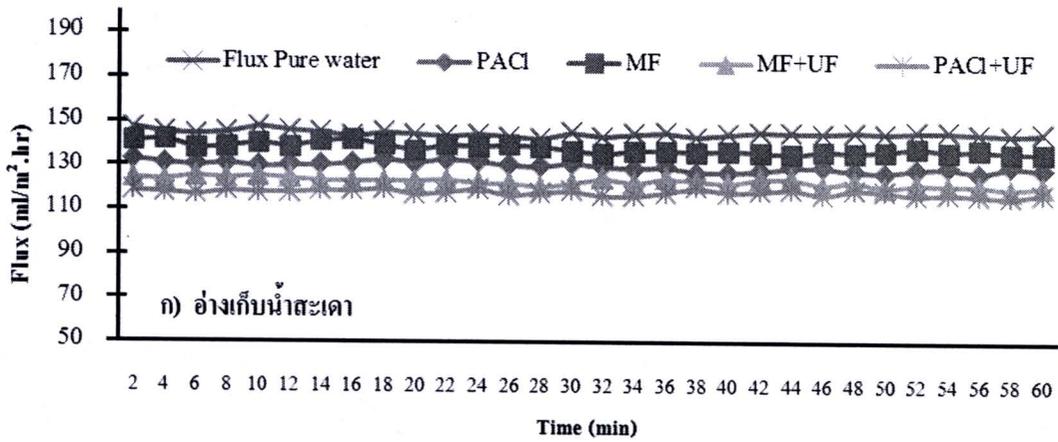
จากการศึกษาผลของการลดลงของค่าฟลักซ์ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรน จึงได้ทำการนำเมมเบรนที่ใช้ในการทดสอบหาค่าฟลักซ์มาทำการศึกษาลักษณะการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรนด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ เพื่อแสดงลักษณะการอุดตันของกระบวนการต่างๆ จากลักษณะของการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรน สังเกตได้ว่าลักษณะของเมมเบรน NF ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน จะมีลักษณะที่เห็นขอดูนและร่องลึก ของผิวเมมเบรนได้ชัดเจน ซึ่งมีความแตกต่างกับลักษณะของเมมเบรนที่ใช้บำบัดสารอินทรีย์ โดยลักษณะของเมมเบรน NF ที่มีบำบัดน้ำตัวอย่างอ่างเก็บน้ำสะเดา (ตารางที่ 3.14) ที่ผ่านกระบวนการ MF และ PACI จะเห็นได้ชัดเจน ในลักษณะที่มีชั้นเคลือบอุดตันเต็มผิวหน้าของเมมเบรน โดยไม่เห็นส่วนนูน-ลึก ของผิวเมมเบรนเดิม เมื่อสังเกตลักษณะของเมมเบรน NF ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำตัวอย่างจากจุดสูบน้ำดิบประปา (ตารางที่ 3.15) พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวอย่างอ่างเก็บน้ำสะเดา และสังเกตได้ว่าความหลวมของชั้นเคลือบผิวของเมมเบรน NF ที่ปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ก่อน จะมีชั้นเคลือบที่แน่นหนากว่า เมมเบรน NF ที่ผ่านปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นด้วย MF และเมื่อทำการสังเกตผิวเมมเบรน NF ที่ผ่านกระบวนการ MF+UF และ PACI+UF เป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้น พบว่าที่ผิวเมมเบรน NF ไม่เห็นเป็นลักษณะของชั้นเคลือบ แต่พบว่ายังคงเห็นเป็นส่วนนูน-ร่องลึก ซึ่งในส่วนที่เป็นร่องลึกพบว่า มีการอุดตันในรูพรุนไม่เต็มพื้นที่ จากผลดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่า สำหรับตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำสะเดา ที่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำข้างต้นร่วมกับกระบวนการ UF ทำให้ขนาดอนุภาคที่ผ่าน NF มีขนาดเล็ก อาจทำให้เกิดการอุดตันแบบการอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน (Pore Blocking Fouling) เป็นการอุดตันที่เกิดจากอนุภาคเข้าไปอุดอยู่ในรูพรุนของตัวเมมเบรน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียสภาพการกรองแบบ Irreversible ได้

และเมื่อพิจารณาค่าฟลักซ์ของกระบวนการ NF (รูปที่ 3.18) พบว่าเมมเบรนที่มีลักษณะการอุดตันแบบชั้นเล็ก ให้ค่าฟลักซ์ของกระบวนการ NF สูงกว่า ลักษณะการอุดตันภายในรูพรุน และเมื่อพิจารณาเป็นลำดับ พบว่าค่าฟลักซ์ของกระบวนการ NF ที่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่แตกต่างกันมีค่าฟลักซ์เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้

อ่างเก็บน้ำสะเดา : Flux MF+NF > PACI+NF > MF+UF+NF > PACI+UF+NF ตามลำดับ

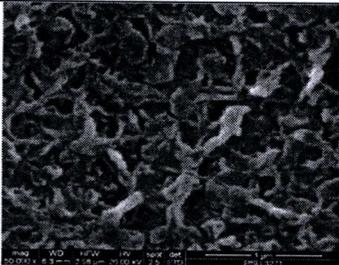
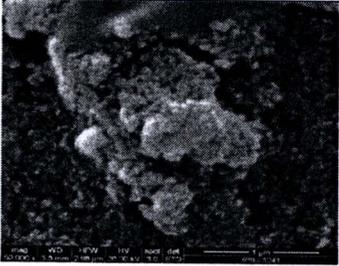
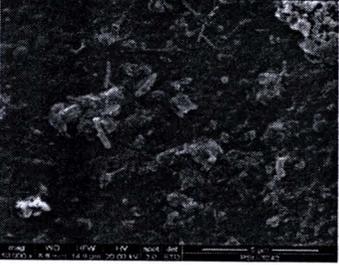
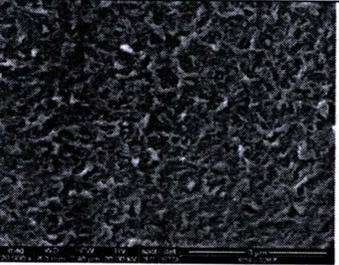
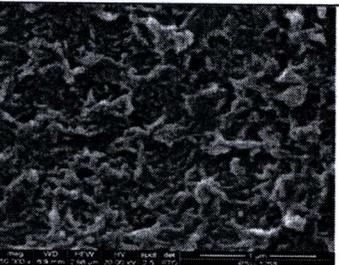
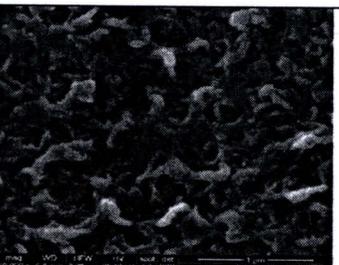
จุดสูบน้ำดิบประปา : Flux MF+NF > PACI+NF (ทั้ง 2 จุด)

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของคอลลอยด์ ด้วยค่า SDI ก่อนเข้ากระบวนการ NF พบว่าค่า SDI ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (PACI) มีค่า SDI ที่สูงกว่ากระบวนการ MF และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (แสดงผลในภาคผนวก ข) พบว่าค่า TDS ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (PACI) มีค่า TDS ที่สูงกว่ากระบวนการ MF เช่นกัน ซึ่งค่า TDS ของตัวอย่างก่อนเข้ากระบวนการ NF สามารถบอกแนวโน้มการลดลงของค่าฟลักซ์ได้ ซึ่งสอดคล้องผลการศึกษาข้างต้น โดยกระบวนการ MF+NF ให้ค่าฟลักซ์ที่สูงกว่า PACI+NF ทั้งนี้เนื่องจากความปริมาณ TDS ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน (PACI) ที่สูงกว่า ทำให้ความดันออสโมติกเพิ่มขึ้น และเมื่อควบคุมแรงดันที่ป้อนเข้าคงที่ ทำให้แรงขับเคลื่อนสุทธิลดลง ($\Delta P - \Delta \pi$) ลดลง ฟลักซ์จึงลดลง และเมื่อปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงโอกาสที่จะละลายแพร่ในเมมเบรนสูงขึ้น ทำให้ค่ากักกันลดลงเช่นกัน

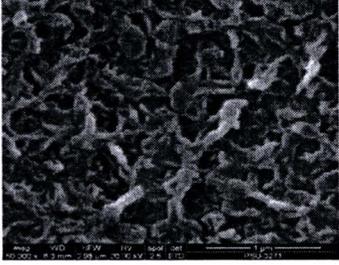
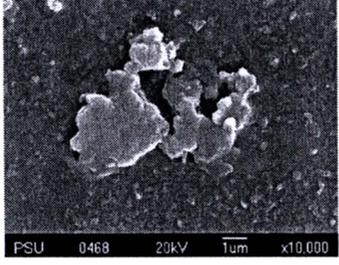
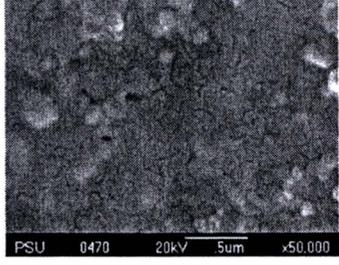
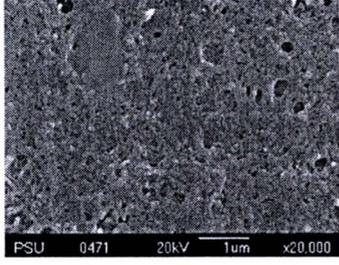
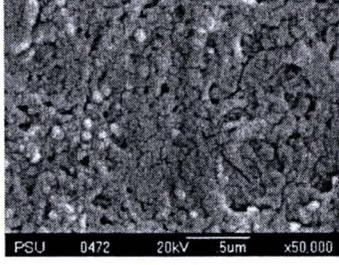
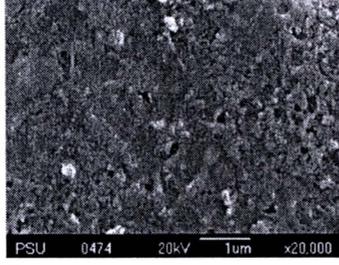
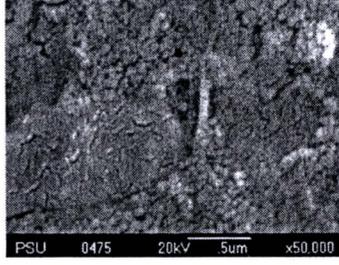
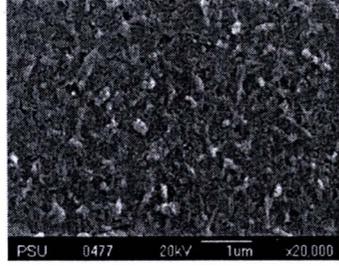
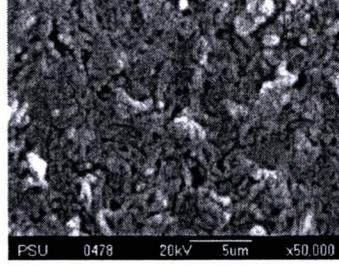


รูปที่ 3.18 ค่า NF Permeate flux ที่ค่าความดัน 15 bar และการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่แตกต่างกันของตัวอย่างน้ำ ก) อ่างเก็บน้ำสะอาด ข) จุดสูบน้ำดิบประปา ฤดูฝน ค) จุดสูบน้ำดิบประปา ฤดูแล้ง

ตารางที่ 3.14 ลักษณะการอุดตันของฟาวลิงที่ผิวหน้านาโนฟิลเตรชันเมมเบรน (ตัวอย่างน้ำอ่างเก็บน้ำ สะเดา)

กระบวนการ	Fouling on surface nanofiltration	
เมมเบรนก่อนการใช้งาน	 <p data-bbox="587 642 650 664">20,000x</p>	 <p data-bbox="994 642 1057 664">50,000x</p>
PAC+NF	 <p data-bbox="587 950 650 972">10,000x</p>	 <p data-bbox="994 950 1057 972">50,000x</p>
MF+NF	 <p data-bbox="587 1252 650 1274">10,000x</p>	 <p data-bbox="994 1252 1057 1274">50,000x</p>
PAC+UF+NF	 <p data-bbox="587 1554 650 1576">20,000x</p>	 <p data-bbox="994 1554 1057 1576">50,000x</p>
MF+UF+NF	 <p data-bbox="587 1856 650 1877">20,000x</p>	 <p data-bbox="994 1856 1057 1877">50,000x</p>

ตารางที่ 3.15 ลักษณะการอุดตันของฟาวลิงที่ผิวหน้านาโนฟิลเตรชันเมมเบรน (ตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำดิบประปาคลองจู่ตะเภา)

กระบวนการ	Fouling on surface nanofiltration	
เมมเบรนก่อนการใช้งาน	 <p style="text-align: center;">20,000x</p>	 <p style="text-align: center;">50,000x</p>
จุดสูบน้ำดิบประปา ฤดูฝน PAC+NF	 <p style="text-align: center;">20,000x</p>	 <p style="text-align: center;">50,000x</p>
จุดสูบน้ำดิบประปา ฤดูฝน MF+NF	 <p style="text-align: center;">20,000x</p>	 <p style="text-align: center;">50,000x</p>
จุดสูบน้ำดิบประปา ฤดูแล้ง PAC+NF	 <p style="text-align: center;">20,000x</p>	 <p style="text-align: center;">50,000x</p>
จุดสูบน้ำดิบประปา ฤดูแล้ง MF+NF	 <p style="text-align: center;">20,000x</p>	 <p style="text-align: center;">50,000x</p>

3.4 แนวทางการประยุกต์ใช้ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำประปา

จากการศึกษาการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ขึ้นต้นร่วมกับกระบวนการ NF พบว่า การลดสารอินทรีย์ด้วยวิธีโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ NF (PACI+NF) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ดี และเมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำขึ้นต้นด้วยกระบวนการ UF พบว่า สามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น (สำหรับตัวอย่างน้ำอ่างเก็บน้ำสะเดา) แต่น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวอาจส่งผลต่อค่าฟลักซ์ของ NF เนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็กเข้าอุดตันรูพรุน ที่เป็นชั้น Support Layer ซึ่งวางตัวอยู่บน Active Membrane Layer และพบว่า มีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์สูง เป็นผลให้ลดการเกิด THMFP ได้ดี แต่ในทางปฏิบัติแล้วกระบวนการ NF ไม่ได้ถูกใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากการเดินระบบ และการบำรุงรักษามีราคาค่อนข้างสูง แต่กระบวนการเมมเบรนได้รับความนิยมในการใช้ผลิตน้ำอ่อน ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความบริสุทธิ์ของน้ำมากขึ้น เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตยา เป็นต้น (ไพศาล, 2549) ในทำนองเดียวกันมักนิยมใช้กระบวนการเมมเบรน NF หรือ RO ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้สูงถึง 80-90% ซึ่งสารอินทรีย์ละลายน้ำนี้จะเข้าทำปฏิกิริยาในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคเกิดเป็นสารก่อมะเร็งได้ ตามที่ได้กล่าวไว้ดังผลข้างต้น

หากในอนาคตมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับกระบวนการเมมเบรนมากขึ้น การใช้เมมเบรนจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในกระบวนการผลิตน้ำประปาของประเทศไทยในอนาคต ส่วนกระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการที่ถูกใช้ในระบบผลิตน้ำประปาทั่วไป ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการเมมเบรน ในการกำจัด DOM และพยายามหาวิธีการหรือแนวทางในการปรับปรุงระบบการผลิตน้ำประปาให้ดีขึ้น

การใช้เทคนิค FEEM สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะกลุ่มของสารอินทรีย์ ส่วน UV-254 และ SUVA เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม humic และ DOC บ่งบอกถึงปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ (humic ; HPO และ non-humic; HPI) ดัชนีตัวแทนในการตรวจวัด DOM นี้ เป็นวิธีที่สามารถใช้ในการตรวจติดตามสารอินทรีย์ที่มีความสะดวก และรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการศึกษากระบวนการแฟรกชันเพื่อแยก DOM ออกเป็น 2 กลุ่มนั้น พบว่า วิธีนี้ยังเป็นวิธีที่เสียเวลา และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในงานปฏิบัติจริง ซึ่งดัชนีตัวแทน DOM ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาเพื่อให้ทราบว่าน้ำดิบมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์แต่ละกลุ่มมากน้อยเพียงใด ช่วงเวลาใดที่น้ำดิบมีสารอินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดสาร THMs มาก และเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับลักษณะ ความแตกต่างในการใช้พื้นที่ของแหล่งน้ำ และฤดูกาล ทำให้มีเวลาในการ

เตรียมการป้องกัน และแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ได้ เช่น การเพิ่มปริมาณของสาร
สร้างตะกอนให้มากกว่าปกติหรือการเพิ่มหรือลดพีเอชในขั้นตอนการกวนเร็ว ซึ่งสามารถช่วยลด
ปริมาณสารอินทรีย์ได้