

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบ

4.1.1 คุณลักษณะของน้ำดิบ

การศึกษาคูณลักษณะน้ำดิบของแม่น้ำปิงโดยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช (pH), อุณหภูมิ (Temperature), ความเป็นด่าง (Alkalinity), ค่าการนำไฟฟ้า (EC), ออกซิเจนละลาย (DO) ความขุ่น (Turbidity) คาร์บอนอินทรีย์ละลาย (DOC) ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (DON) ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 nm (UV-254) และการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (SUVA) ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากแม่น้ำปิง

พารามิเตอร์	น้ำดิบจากแม่น้ำปิง			ค่าเฉลี่ย หรือ ช่วงค่า
	กรกฎาคม	ตุลาคม	กุมภาพันธ์	
pH	6.9	7.6	7.1	7.2 ± 0.3
Temperature, °C	28.2	27.0	26.4	27.2 ± 0.7
Alkalinity, mg/l CaCO ₃	108	113	83	102 ± 13
EC, us/cm	246	241	241	243 ± 2
DO, mg/l	4.5	5.2	5.8	5.2 ± 0.4
Turbidity, NTU	82.4	23.5	50.1	52.0 ± 20.3
DOC, mg/L	3.73	1.93	5.31	3.66 ± 1.15
DON, mg/L	0.31	0.19	0.31	0.27 ± 0.05
DOC/DON, mg-C/mg-N	11.9	10.0	17.1	13.0
UV-254, cm ⁻¹	0.1170	0.0900	0.0610	0.0893 - 0.0200
SUVA, L/mg-m	2.42	3.18	1.16	2.25 - 0.73

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า pH, Temperature, Alkalinity, EC และ DO ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิงที่ตรวจวัดในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าอยู่ในช่วง 6.9-7.6, 26.4-28.2 °C, 83-113 mg/l CaCO₃, 241-246 us/cm และ 4.5-5.8 mg/L ตามลำดับ เมื่อพิจารณาช่วงค่าดังกล่าวจะพบว่าค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า pH, Temperature, Alkalinity, EC และ DO ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิงมีค่าค่อนข้างคงที่

ค่าความขุ่น (Turbidity) ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิงที่ตรวจวัดในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 82.4 NTU, 23.5 NTU และ 50.1 NTU ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 52.0 NTU เมื่อพิจารณาทั้งสามเดือนจะพบว่า ค่าความขุ่นจะมีความแตกต่างกันไป โดยจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 82.40 NTU ในเดือนกรกฎาคม สาเหตุดังกล่าวเนื่องจากผลของฤดูกลาง โดยเฉพาะฝนมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการชะสารต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำ

คาร์บอนอินทรีย์ละลาย (DOC) ที่ตรวจวัดในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 3.7 mg/L, 1.9 mg/L และ 5.3 mg/L ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 3.66 mg/L เมื่อพิจารณาทั้งสามเดือนพบว่า DOC จะมีความแตกต่างกันไป โดยจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.31 mg/L ในเดือนกุมภาพันธ์ สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากผลของฤดูกลาง เนื่องจากฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการชะสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ DOC (Delpla et al., 2005) การเปลี่ยนแปลงปริมาณ DOC ในแหล่งน้ำถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการผลิตน้ำสะอาดเพื่ออุปโภคบริโภค เนื่องจากปริมาณ DOC ส่งผลต่อปริมาณการก่อตัวของ C-DBPs (Bond et al., 2009; Hua & Reckhow, 2007)

ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (DON) ในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.31 mg/L, 0.19 mg/L และ 0.31 mg/L เฉลี่ยเท่ากับ 0.27 mg/L ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย DON ของน้ำผิวดิน ในสหรัฐอเมริกาที่ทำการศึกษาโดย USGS National Water Quality Assessment (NAWQA) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 mg/L (Westerhoff and Mash, 2002) ถึงแม้ว่าปริมาณ DON ที่ตรวจพบจะมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม DON ถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ต้องทำการศึกษาเนื่องจากสามารถก่อให้เกิด N-DBPs ที่มักตรวจพบว่ามีค่าเป็นพิษสูง (Muellner et al., 2007)

การศึกษาอัตราส่วนระหว่าง DOC ต่อ DON (DOC/DON) ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิงในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 11.9 mg-C/mg-N, 10.0 mg-C/mg-N และ 17.1 mg-C/mg-N ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 13.0 mg-C/mg-N จากการศึกษา DOC/DON ของแหล่งน้ำดิบที่ถูก

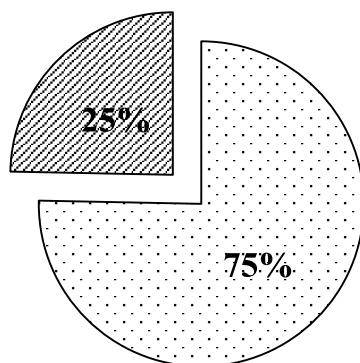
นำไปบำบัดเพื่อผลิตน้ำสะอาดในโรงบำบัดน้ำ 28 แห่งในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 18 mg-C/mg-N (Lee et al., 2007) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาในเดือนกุมภาพันธ์ ในขณะที่การศึกษาแหล่งน้ำที่มีผลกระทบของน้ำเสียหรือสาหร่ายจะพบ DOC/DON เฉลี่ยประมาณ 12.6 mg-C/mg-N (Mitch et al., 2008) ดังนั้น DOC/DON ที่มีค่าต่ำในเดือน กรกฎาคม และตุลาคม อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังกล่าว นอกจากนี้ DOC/DON เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกศึกษาพบว่ามีแนวโน้มส่งผลถึงการก่อตัวของ N-DBPs โดยแหล่งน้ำที่ตรวจพบว่ามีค่า DOC/DON ต่ำมักพบแนวโน้มการก่อตัวของ N-DBPs สูงกว่าแหล่งน้ำที่มีค่า DOC/DON สูง (Reckhow et al., 1990; Lee et al., 2007)

ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 nm (UV-254) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงปริมาณสารอินทรีย์ในกลุ่ม อะโรมาติก (Aromatic) (APHA, 1993) เนื่องจากสารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวมีความสามารถในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี (Edzwald et al., 1985) ค่า UV-254 ที่ตรวจวัดได้ในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.1170 cm^{-1} , 0.0900 cm^{-1} , 0.0610 cm^{-1} ตามลำดับ เมื่อนำค่า UV-254 ในหน่วย cm^{-1} หารด้วยปริมาณ DOC ในหน่วย mg/L และคูณด้วย 100 จะได้ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (SUVA) ในหน่วย L/mg-m ผลการศึกษาที่พบว่าค่า SUVA ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิงในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม และกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 2.42 L/mg-m , 3.18 L/mg-m , 1.16 L/mg-m ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า SUVA ทั้ง 3 เดือนจะพบว่ามีค่าประมาณ 3 L/mg-m หรือต่ำกว่า บ่งชี้ว่าสารอินทรีย์ละลายของน้ำดิบจากแม่น้ำปิงอาจมีสารกลุ่มอะโรมาติกในปริมาณต่ำ (Leenheer & Croué, 2003) สารอินทรีย์ละลายน้ำของแม่น้ำปิงส่วนใหญ่อาจเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic organic matter, HPI) และการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสารอินทรีย์อาจไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร (Edzwald & Tobiasson, 1999)

4.1.2 การแยกแฟรกชันด้วยเรซิน

การศึกษากการแยกแฟรกชันด้วยเรซินเพื่อแยกชนิดของสารอินทรีย์ออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ สารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (HPI) และสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (HPO) โดยศึกษาจากน้ำดิบของแม่น้ำปิงที่เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ ศึกษาโดยการตรวจวัดปริมาณ DOC เพื่อคำนวณหาสัดส่วนของสารอินทรีย์ทั้งสองชนิด ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.1

□ HPI ▨ HPO



ภาพที่ 4.1 สัดส่วนสารอินทรีย์ละลายชนิด HPI และ HPO เมื่อพิจารณา DOC

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นชนิด HPI มากกว่า HPO คิดเป็นสัดส่วน 75% และ 25% แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ละลายในน้ำดิบของแม่น้ำปิงส่วนใหญ่จะเป็นชนิด HPI ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับค่า SUVA ที่พบว่ามีค่าต่ำกว่า 3 L/mg-m

ในการแยกแพรกชั้นด้วยเรซินจะต้องมีการศึกษาสมมูลมวลเพื่อแสดงประสิทธิภาพของกระบวนการแยกแพรกชั้น จากการศึกษาพบมวลของ DOC ก่อนแยกแพรกชั้นเท่ากับ 26.55 mg และมวลรวมของ DOC หลังแยกแพรกชั้นเท่ากับ 23.7 mg ในขณะที่มวลของ DON ก่อนแยกแพรกชั้นเท่ากับ 1.55 mg และมวลรวมของ DON หลังแยกแพรกชั้นเท่ากับ 0.0783 mg ข้อมูลดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมมูลมวลของ DOC

พารามิเตอร์	Unfractionated DOC mass	HPI	HPO	HPI + HPO	% Diff
DOC (mg)	26.55	17.85	5.85	23.7	-12.03

Unfractionated DOC mass = มวลของ DOC ก่อนแยกแพรกชั้น

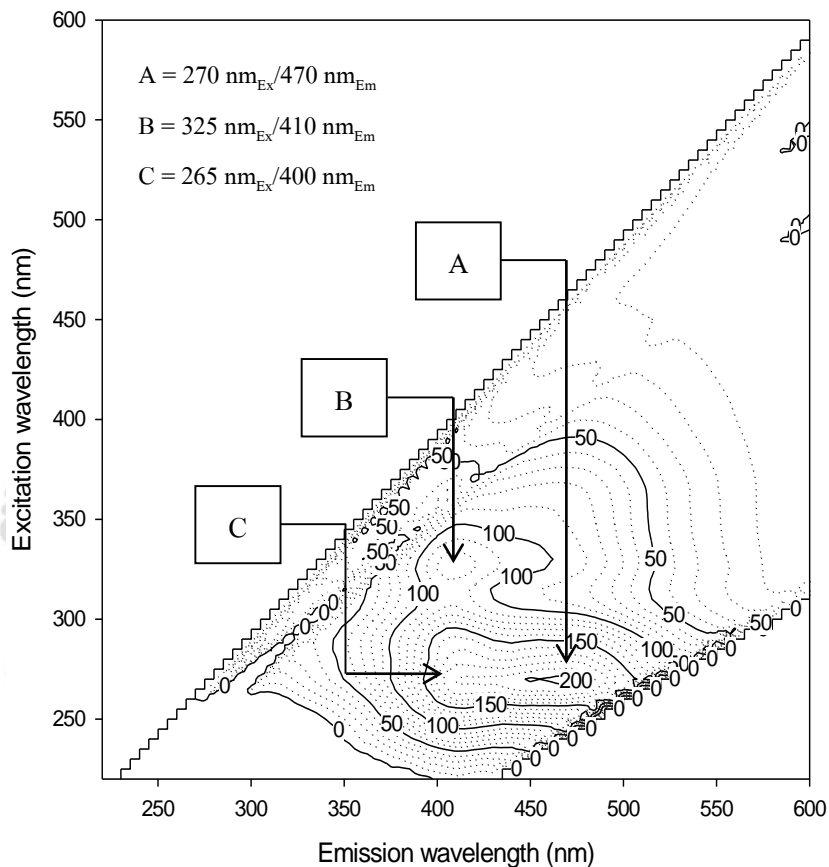
HPI+HPO = มวลรวม DOC ของทั้งสองแพรกชั้น

% Diff = (Unfraction-(HPI+HPO))*100/Unfraction

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาความแตกต่างของมวล DOC (% Diff) จะพบว่าค่าดังกล่าวมีค่าเท่ากับ -12.03 % ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการติดค้างของสารอินทรีย์ละลายในเรซินเนื่องจากกระบวนการชะเรซินไม่สามารถชะสารอินทรีย์ละลายออกมาได้หมด อย่างไรก็ตามค่าผลต่างระหว่างมวล DOC ก่อนผ่านกระบวนการแยกแฟรกชัน และ ผลรวมของมวล DOC หลังการแยกแฟรกชันที่ยอมรับได้มีค่าอยู่ระหว่าง 10-15% (Marhaba & Van, 2000)

4.1.3 ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโคปี

การศึกษาฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโคปีโดยใช้เทคนิค Fluorescence Excitation-Emission matrix (FEEM) โดยศึกษาจากน้ำดิบของแม่น้ำปิงที่เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 FEEM ของน้ำดิบ

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่มีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนสูงสุด (Peak) ของสารอินทรีย์ละลายที่จุด A = 270 nm_{Ex}/470 nm_{Em}, B = 325 nm_{Ex}/410 nm_{Em} และ C = 265 nm_{Ex}/400 nm_{Em} เมื่อนำไปจำแนกลักษณะของสารอินทรีย์โดยจำแนกตามช่วงของ Excitation (nm_{Ex})/ Emission (nm_{Em}) พบว่า Peak ที่จุด A และ B เป็นลักษณะของ Humic acids และ Humic-like substances (Coble, 1996 ; Leenheer et al., 2003; Chen et al., 2003) และ Peak ที่จุด C เป็นลักษณะของ Fulvic acids และ Fulvic-like substances (Chen et al., 2003) ซึ่งลักษณะของสารอินทรีย์ที่วิเคราะห์พบจัดอยู่ในกลุ่ม Humic substances ที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ชนิด HPO (Leenheer and Croué 2003) เมื่อพิจารณาความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence intensity, FI) พบว่าที่จุด A, B และ C มี FI ประมาณ 200, 100 และ 150

4.1.4 การก่อดัวของ THMs และ HANs ในน้ำดิบ

การก่อดัวของสารไตรฮาโลมีเทน (THMFPS) โดยทำการศึกษาจากน้ำดิบของแม่น้ำปิงที่เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ ประกอบด้วยการศึกษาการก่อดัวของคลอโรฟอร์ม (CHCl₃) การก่อดัวของโบรโมไดคลอโรมีเทน (CHBrCl₂) การก่อดัวของไดโบรโมคลอโรมีเทน (CHBr₂Cl) การก่อดัวของโบรโมฟอร์ม (CHBr₃) และการก่อดัวของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (TTHMFPS) ซึ่งเป็นผลรวมของ CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.3

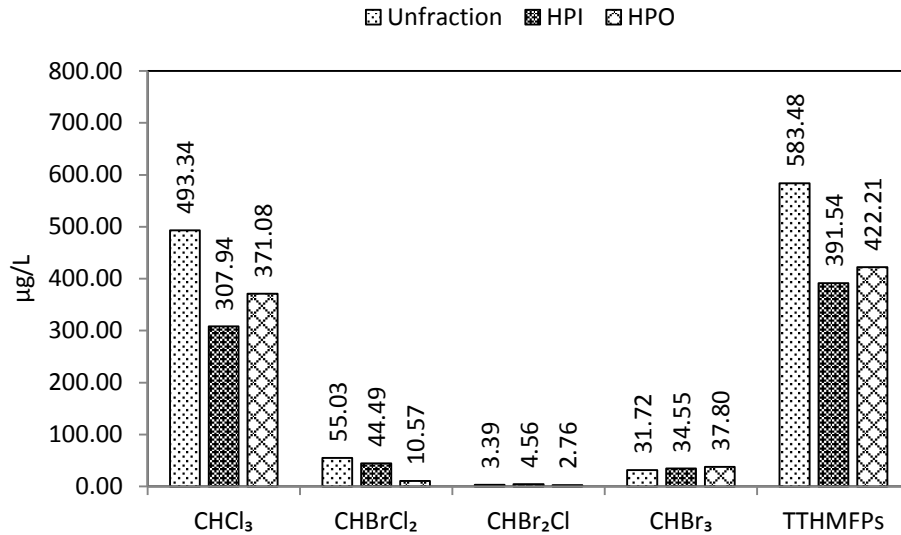
ตารางที่ 4.3 การก่อดัวของ THMs ในน้ำดิบ

THMFPS	(µg/L)		
	Unfraction	HPI	HPO
CHCl ₃	493.34	307.94	371.08
CHBrCl ₂	55.03	44.49	10.57
CHBr ₂ Cl	3.39	4.56	2.76
CHBr ₃	31.72	34.55	37.80
TTHMFPS	583.48	391.54	422.21

Unfraction = น้ำตัวอย่างก่อนทำการแยกแฟรกชัน

HPI = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ

HPO = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.3 การก่อดัวของ THMs ในน้ำดิบ

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแยกแพรกชั้นด้วยเรซิน (Unfraction) พบการก่อดัวของ CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ เท่ากับ 493.34 µg/L, 55.03 µg/L, 3.39 µg/L และ 31.72 µg/L ตามลำดับ คิดเป็น TTHMFPs เท่ากับ 583.48 µg/L

หลังผ่านการแยกแพรกชั้นด้วยเรซินและพิจารณาสารอินทรีย์ชนิด HPI พบการก่อดัวของ CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ เท่ากับ 307.94 µg/L, 44.49 µg/L, 4.56 µg/L และ 34.55 µg/L ตามลำดับ คิดเป็น TTHMFPs เท่ากับ 391.54 µg/L และเมื่อพิจารณาสารอินทรีย์ชนิด HPO พบการก่อดัวของ CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ เท่ากับ 371.08 µg/L, 10.57 µg/L, 2.76 µg/L และ 37.80 µg/L คิดเป็น TTHMFPs เท่ากับ 422.21 µg/L

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3 เมื่อนำค่าการก่อดัวของ CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ มาคิดเป็นสัดส่วนของ TTHMFPs จะข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4

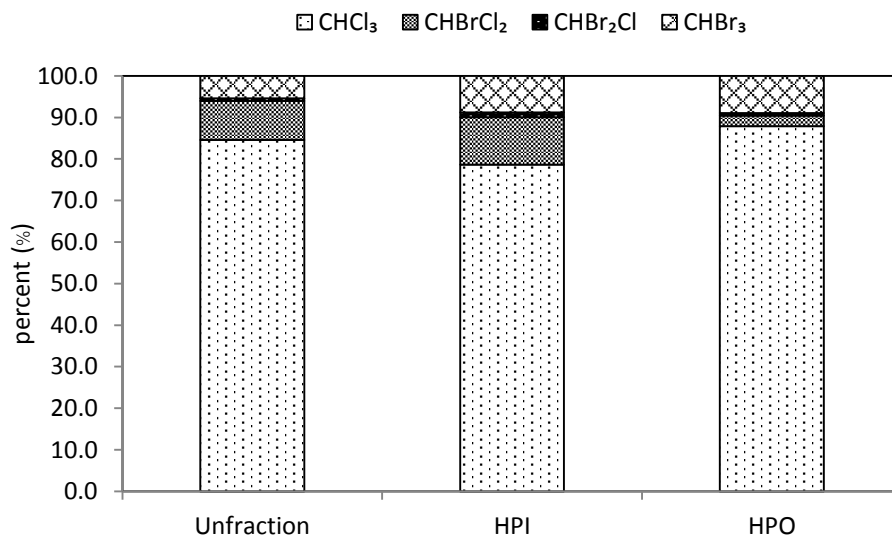
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนของสารประกอบ THMs ที่ตรวจพบ

THMFPs	(%)		
	Unfraction	HPI	HPO
CHCl ₃	84.55	78.65	87.89
CHBrCl ₂	9.43	11.36	2.5
CHBr ₂ Cl	0.58	1.16	0.65
CHBr ₃	5.44	8.82	8.95

Unfraction = น้ำตัวอย่างก่อนทำการแยกเฟรกชัน

HPI = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกเฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ

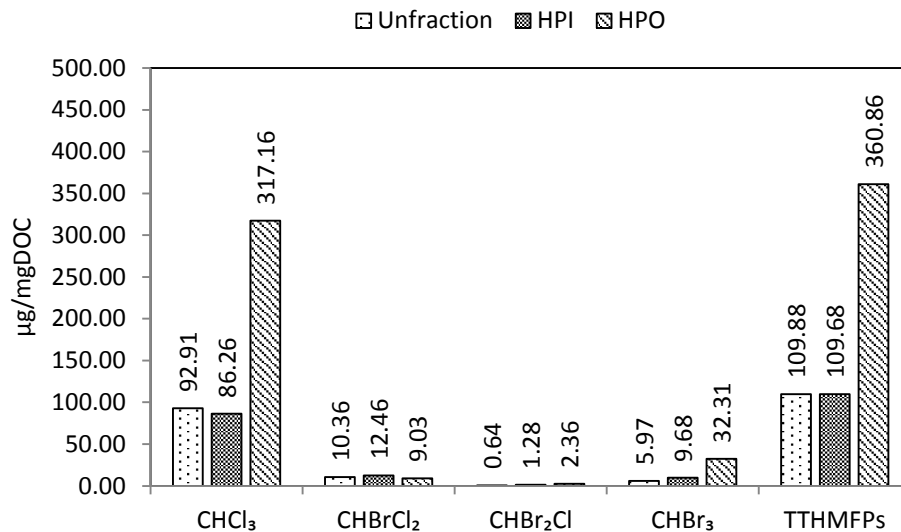
HPO = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกเฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.4 สัดส่วนของสารประกอบ THMs ที่ตรวจพบ

จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 ทำให้ทราบว่า CHCl₃ เป็นสารประกอบหลักของ THMs เนื่องจากตรวจพบในสัดส่วนที่มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez และคณะ (2004) และ Krutkloem (2013) สารประกอบที่ตรวจพบรองลงมา ได้แก่ CHBrCl₂ หรือ CHBr₃ และสารประกอบที่ตรวจพบน้อยที่สุด ได้แก่ CHBr₂Cl โดยผลการศึกษาน้ำตัวอย่าง Unfraction, HPI และ HPO ล้วนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษามาหาค่าการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะ (Specific trihalomethanes formation potential, STHMFPs)(วิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก ก) เพื่อศึกษาความสามารถในการก่อตัวเป็น THMs เมื่อเทียบกับปริมาณ DOC (Imai et al., 2003) ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 การก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะ (STHMFPs)

จากภาพที่ 4.5 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (Unfraction) จะพบว่า 1 mg DOC สามารถก่อให้เกิด CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ เท่ากับ 92.91 µg, 10.36 µg, 0.64 µg และ 5.97 µg ตามลำดับ คิดเป็น TTHMFPs เท่ากับ 109.88 µg เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็น HPI จะพบว่า 1 mg DOC สามารถก่อให้เกิด CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ เท่ากับ 86.26 µg, 12.46 µg, 1.28 µg และ 9.68 µg ตามลำดับ คิดเป็น TTHMFPs เท่ากับ 109.68 µg และเมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็น HPO จะพบว่า 1 mg DOC สามารถก่อให้เกิด CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl และ CHBr₃ เท่ากับ 317.16 µg, 9.03 µg, 2.36 µg และ 32.31 µg ตามลำดับ คิดเป็น TTHMFPs เท่ากับ 360.86 µg

ในกรณีที่พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสารอินทรีย์ชนิด HPI กับ HPO จะพบว่า การก่อตัวของ TTHMFPs ในสารอินทรีย์ชนิด HPO มีค่าสูงกว่า ดังนั้นสามารถบอกได้ว่า สารอินทรีย์ละลายชนิด HPO มีความสามารถในการก่อตัวเป็น TTHMFPs สูงกว่าสารอินทรีย์ละลายชนิด HPI ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Hua และ Reckhow (2007) ที่พบว่าสารอินทรีย์ชนิด

HPO มีบทบาทสำคัญกับการก่อตัวของ THMs เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pharkphum (2014) ที่ศึกษาการก่อตัวของ THMs ของน้ำจากแม่น้ำปิงและพบว่าสารอินทรีย์ชนิด HPO มีความสามารถในการก่อตัวเป็น THMs สูงกว่า เหตุผลที่สารอินทรีย์ชนิด HPO มีความสามารถในการก่อตัวเป็น THMs สูง ได้อธิบายโดยการศึกษาของ Zhang, Qu และคณะ (2009) ที่พบว่า สารอินทรีย์ชนิด HPO เมื่อได้รับคลอรีนจะสามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ และเข้าทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้ดีกว่าสารอินทรีย์ชนิด HPI

การศึกษาก่อตัวของฮาโลอะซิโตไนไตรล์ (HANFPs) ได้ทำการศึกษาก่อตัวของโมโนคลอโรอะซิโตไนไตรล์ (ClCH_2CN) ไดคลอโรอะซิโตไนไตรล์ (Cl_2CHCN) ไตรคลอโรอะซิโตไนไตรล์ (CCl_3CN) การก่อตัวของสารฮาโลอะซิโตไนไตรล์ทั้งหมด (THANFPs) ซึ่งเป็นผลรวมของ ClCH_2CN , Cl_2CHCN และ CCl_3CN ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

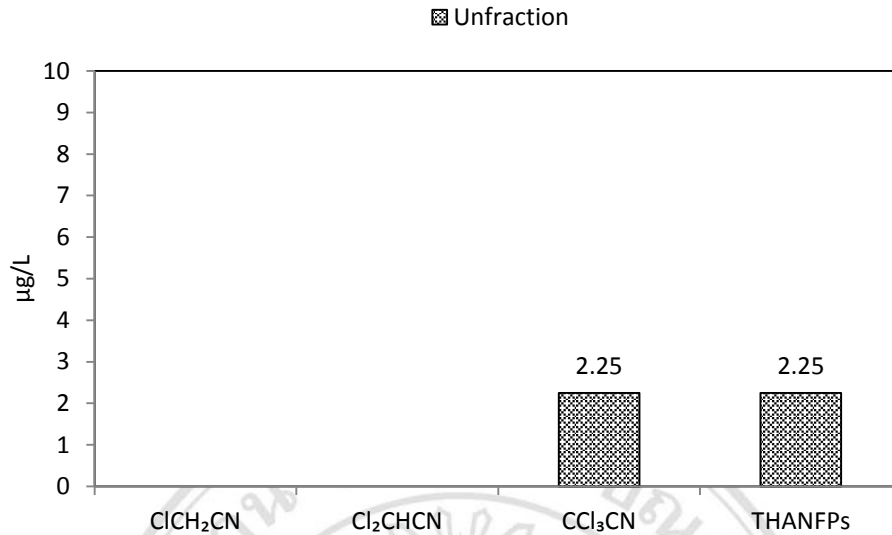
ตารางที่ 4.5 การก่อตัวของ THANFPs ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิง

HANFPs ($\mu\text{g/L}$)	Unfraction
ClCH_2CN	ND
Cl_2CHCN	2.5
CCl_3CN	ND
THANFPs	2.25

Unfraction = น้ำตัวอย่างก่อนทำการแยกแฟรกชัน

ND = ตรวจไม่พบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 การก่อดัวของ HANs ในน้ำดิบ

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแยกแพรกชั้นด้วยเรซิน (Unfraction) พบการก่อดัวของ Cl₂CHCN เท่ากับ 2.25 µg/L โดยตรวจไม่พบการก่อดัวของ ClCH₂CN และ CCl₃CN ซึ่งตามปกติแล้วการศึกษาการก่อดัวของ N-DBPs มักตรวจพบการก่อดัวในปริมาณต่ำ (Chu et al., 20011)

ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ DBPs ได้ถูกกำหนดไว้โดยหน่วยงานต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ เมื่อนำข้อมูลของน้ำดิบที่ได้รับจากการศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ DBPs

DBPs (µg/L)	หน่วยงาน/ประเทศ				ข้อมูลที่ได้รับ จากการศึกษารั้งนี้
	WHO	Thailand	Japan	USEPA	
TTHMs	100	-	-	80	583.48
CHCl ₃	-	200	60	-	493.34
CHBrCl ₂	-	60	30	-	55.03
CHBr ₂ Cl	-	100	10	-	3.39
CHBr ₃	-	100	90	-	31.72
THANs	-	-	-	-	2.25

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ DBPs

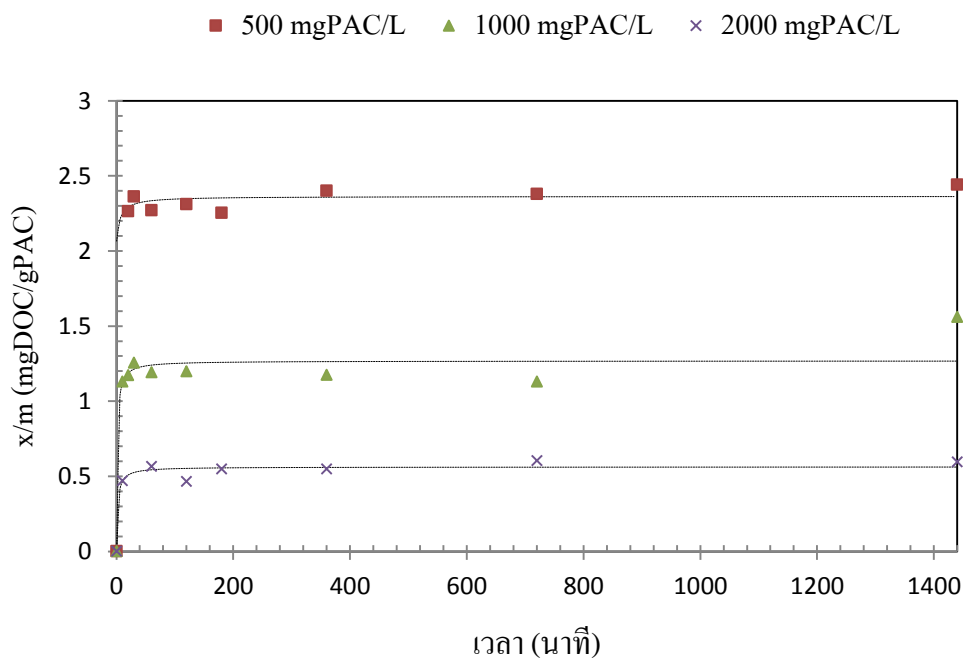
CCl ₃ CN	1	-	-	-	ND
Cl ₂ CHCN	90	-	-	-	2.25
ClCH ₂ CN	-	-	-	-	ND

ND = ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 4.6 หากมีการนำน้ำดิบไปผลิตน้ำสะอาดที่มีการเติมสารคลอรีนในกระบวนการผลิต กรณีที่มีปริมาณสารคลอรีนคงเหลือเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา อาจตรวจพบ TTHMs และ CF ในความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุด

4.2 การศึกษาสมมูลการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ไอโซเทอมและจลนศาสตร์การดูดซับ

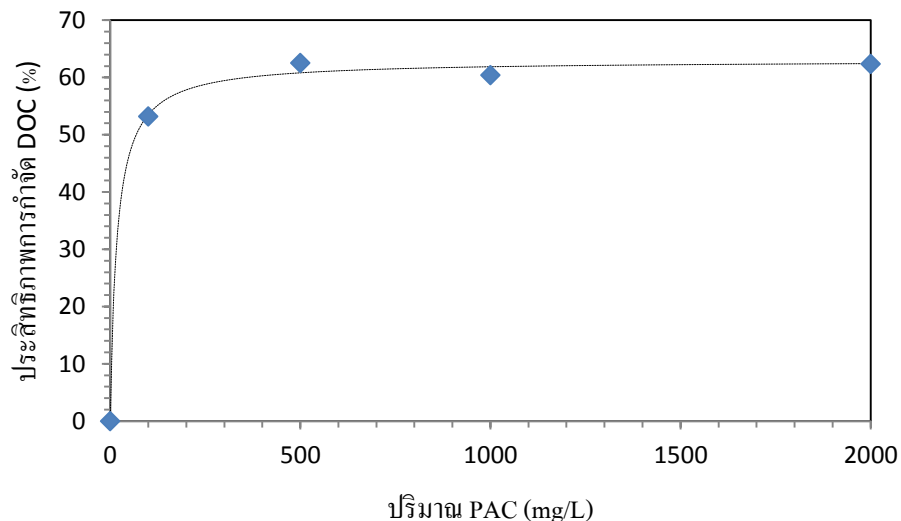
การศึกษาสมมูลการดูดซับ โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon, PAC) ในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ 500 mgPAC/L, 1000 mgPAC/L และ 2000 mgPAC/L ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 สมมูลการดูดซับ

จากภาพที่ 4.7 เมื่อระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นปริมาณ DOC ที่ถูกดูดซับ โดย PAC จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเวลาประมาณ 360 นาที ปริมาณ DOC ที่ถูกดูดซับจะเริ่มคงที่จนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการดูดซับ DOC เพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่า การดูดซับจะเข้าสู่สมดุลเมื่อระยะเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 360 นาที ผลการศึกษาล้วนเป็นไปในแนวทางเดียวกันแม้ว่าจะมีความแตกต่างของปริมาณถ่านกัมมันต์

การศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลกับประสิทธิภาพการดูดซับเพื่อใช้ในการเลือกปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ทำโดยการตรวจวัดปริมาณ DOC คงเหลือหลังปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาดูดซับจนเข้าสู่สมดุล (ระยะเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 360 นาที) ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างๆ ได้แก่ 100 mgPAC/L, 500 mgPAC/L, 1000 mgPAC/L และ 2000 mgPAC/L ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การกำจัด DOC ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างๆ

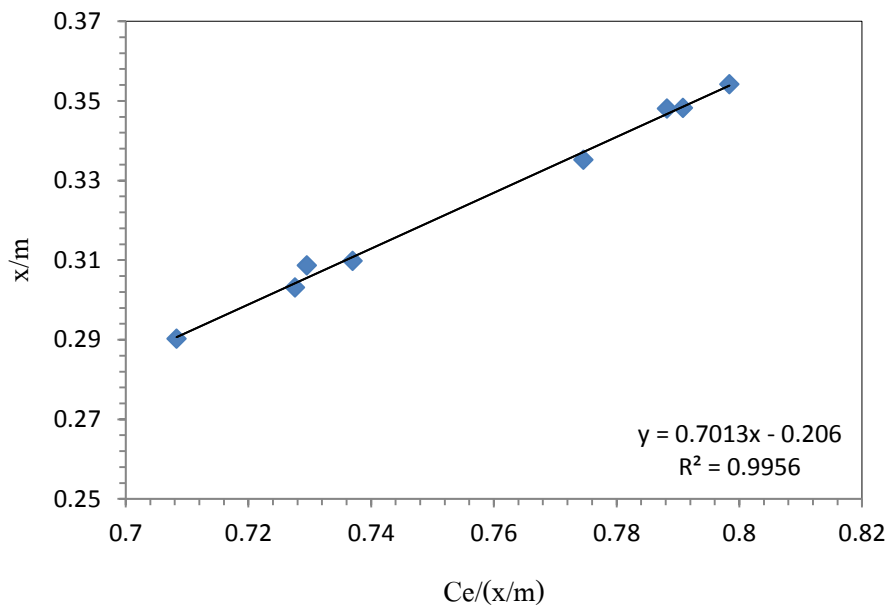
จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์จาก 100 mgPAC/L จนถึง 500 mgPAC/L ประสิทธิภาพการกำจัด DOC จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ประมาณ 50-60 % หลังจากเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์เป็น 1000 mgPAC/L และ 2000 mgPAC/L พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด DOC จะมีประสิทธิภาพประมาณ 60 % จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพการกำจัด DOC จะเริ่มคงที่เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากับ 500 mgPAC/L ดังนั้นปริมาณดังกล่าวจึงเป็นปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากับ 500 mgPAC/L จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) สมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm) ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 Linear equation และ R² ของไอโซเทอมการดูดซับ

Adsorption Isotherm	linear equation	R ²
Langmuir Isotherm	$y = 0.7013x - 0.206$	0.9956
Freundlich Isotherm	$y = -1.0673 + 0.9535$	0.9865

จากตารางที่ 4.7 เนื่องจาก R² ของ liner equation ที่พล็อตตามสมการของแลงเมียร์มีค่าสูงที่สุด จึงกล่าวได้ว่า ไอโซเทอมของการดูดซับมีความสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากที่สุดซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับได้ว่า การดูดซับนั้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ในการดูดซับนั้น สารอินทรีย์จะถูกดูดซับไว้บริเวณพื้นผิวหรือภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ เมื่อมีการดูดซับจนเต็มพื้นผิวก็จะไม่สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้อีก การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตามสมการแลงเมียร์ดังแสดงในภาพที่ 4.9



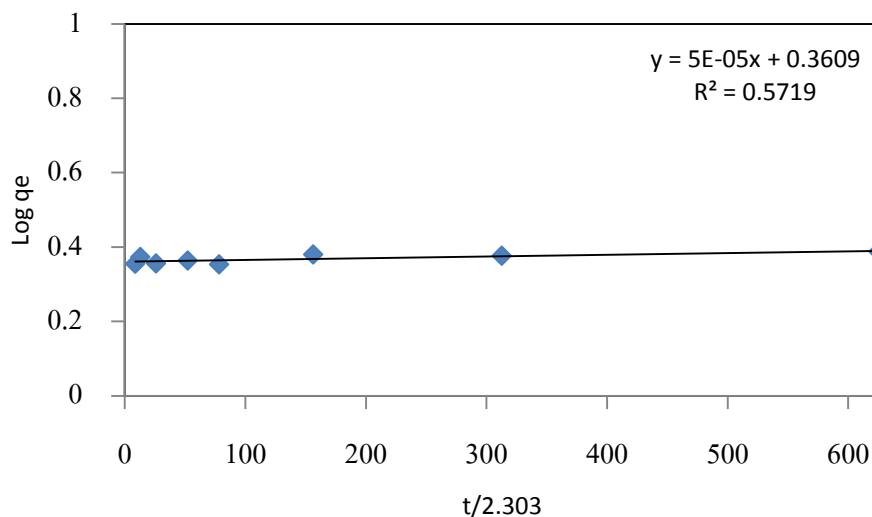
ภาพที่ 4.9 ไอโซเทอมการดูดซับตามสมการแลงเมียร์

การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Adsorption kinetics) โดยใช้แบบจำลอง Zero-order, First-order, Second-order, Pseudo-first-order และ Pseudo-second-order ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 Linear equation และ R^2 ของจลนศาสตร์การดูดซับ

Adsorption Kinetic	linear equation	R^2
Zero-order	$y = 0.00009x + 1.2918$	0.4941
First-order	$y = -0.00005x + 0.7747$	0.4765
Second-order	$y = -0.00007x - 0.2557$	0.4852
Pseudo-first-order	$y = 0.00005x + 0.3609$	0.5719
Pseudo-second-order	$y = -13702x + 2670.9$	0.5530

จากตารางที่ 4.8 เนื่องจาก R^2 ของ linear equation ที่พล็อตตามแบบจำลอง Pseudo-first-order มีค่ามากที่สุด จึงกล่าวได้ว่า จลนศาสตร์การดูดซับของถ่านกัมมันต์มีความสอดคล้องกับสมการ Pseudo-first-order มากที่สุด ซึ่งทำให้ทราบว่ากลไกการดูดซับส่วนใหญ่อาศัยกลไกทางกายภาพ (Lagergren, 1898 and Ho, 2004) เมื่อพิจารณาอัตราเร็วของปฏิกิริยาจาก linear equation พบว่า มีค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_1) เท่ากับ 0.00005 min^{-1} การศึกษาแบบจำลอง Pseudo-first-order ของการดูดซับดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 Pseudo-first order ของการดูดซับ

4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำปิงที่เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ จะทำการศึกษากระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC adsorption) การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนจะถูกแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดูดซับจะทำการปล่อยให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอนประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนนำส่วนน้ำใสไปเข้าสู่การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (PAC and Ceramic 1) และรูปแบบที่ 2 หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดูดซับจะนำน้ำตัวอย่างเข้าสู่การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนโดยไม่ปล่อยให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอน (PAC and Ceramic 2) ในการศึกษาจะทำการพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ละลายหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ฟลูออเรสเซนซ์สเปคโตรสโคปีหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย และการก่อตัวของ THMs และ HANs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

4.3.1 ปริมาณสารอินทรีย์ละลายหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

เมื่อนำน้ำตัวอย่างผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC adsorption) การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 1 (PAC and Ceramic 1) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 2 (PAC and Ceramic 2) ปริมาณ DOC และ DON เปรียบเทียบก่อนและหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ภาพที่ 4.11 ภาพที่ 4.12 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ปริมาณ DOC และ DON ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

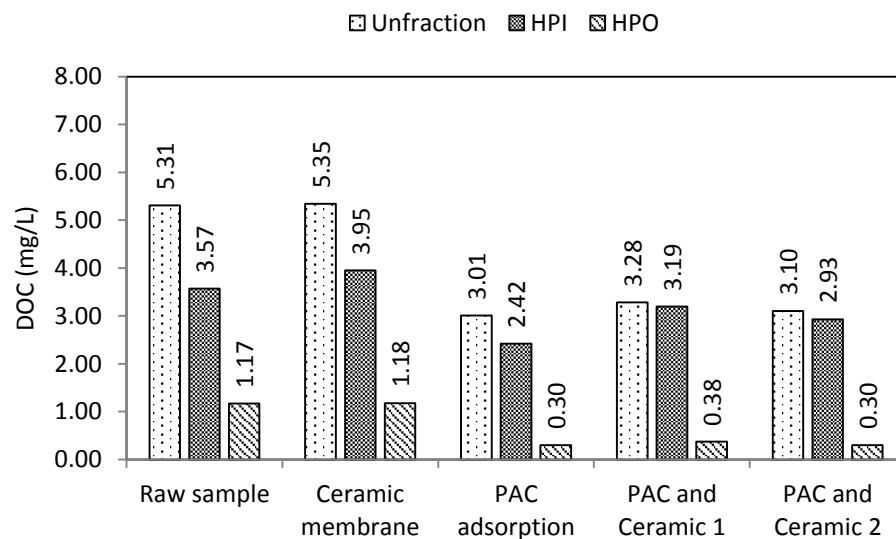
กระบวนการกำจัด สารอินทรีย์ละลาย	DOC (mg/L)			DON (mg/L)
	Unfraction	HPI	HPO	Unfraction
Raw sample	5.31	3.57	1.17	0.31
Ceramic membrane	5.35	3.95	1.18	0.31
PAC adsorption	3.01	2.42	0.30	0.13
PAC and Ceramic 1	3.28	3.19	0.38	0.13
PAC and Ceramic 2	3.10	2.93	0.30	0.14

Raw sample = น้ำดิบ

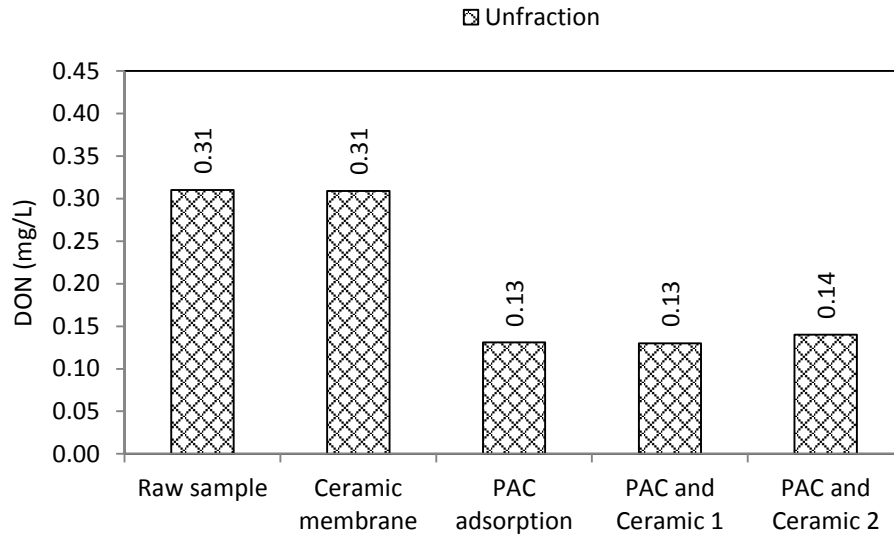
Unfraction = น้ำตัวอย่างก่อนทำการแยกเฟรคชัน

HPI = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกเฟรคชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ

HPO = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกเฟรคชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.11 ปริมาณ DOC ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย



ภาพที่ 4.12 ปริมาณ DON ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการลดลงของ DOC และ DON หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

Parameter	Fraction	% การลดลงหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย			
		Ceramic membrane	PAC adsorption	PAC and Ceramic 1	PAC and Ceramic 2
DOC	Unfraction	0.00	43.3	38.2	41.5
	HPI	0.00	32.2	10.6	17.9
	HPO	0.00	74.4	67.8	74.4
DON	Unfraction	0.00	57.7	58.1	54.8

จากตารางที่ 4.9 ภาพที่ 4.11 ภาพที่ 4.12 และภาพที่ 4.10 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (Unfraction) หลังการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane พบว่า DOC และ DON ไม่มีการลดลง ในขณะที่การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 มีการลดลงของ DOC และ DON อย่างเห็นได้ชัด โดยการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 ส่งผลให้มีการลดลงของ DOC เท่ากับ 43.3%, 38.2% และ 41.5% ตามลำดับ และส่งผลให้มีการลดลงของ DON เท่ากับ 57.7%, 58.1% และ 54.8% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI พบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane ไม่ทำให้ DOC ลดลง ในขณะที่การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 ส่งผลให้มีการลดลงของ DOC เท่ากับ 32.2%, 10.6% และ 17.9% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPO พบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane ไม่ทำให้ DOC ลดลง ในขณะที่การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 ส่งผลให้มีการลดลงของ DOC เท่ากับ 74.4%, 67.8% และ 74.4% ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำตัวอย่างผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC adsorption) การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 1 (PAC and Ceramic 1) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 2 (PAC and Ceramic 2) UV-254 และ SUVA หลังผ่านกระบวนการดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 4.11 ภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.11 UV-254 และ SUVA หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

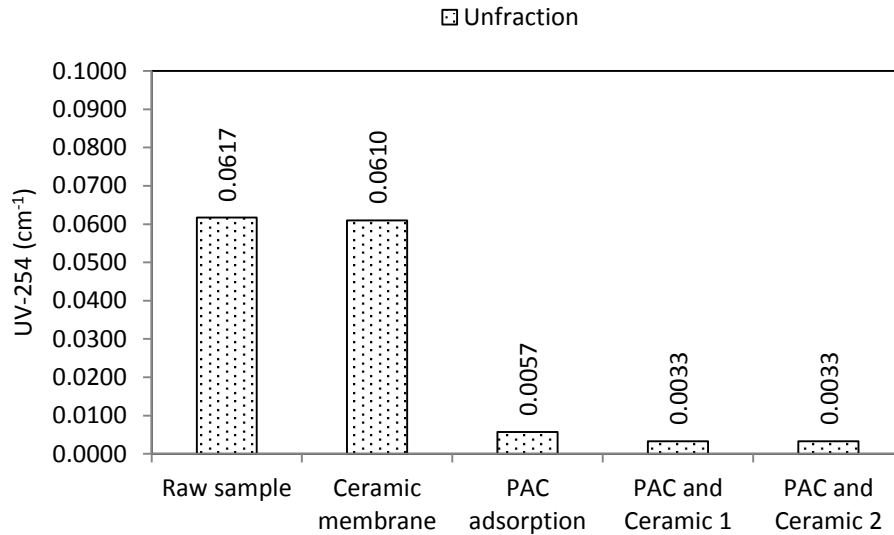
กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	UV-254 (cm^{-1})	SUVA (L/mg-m)
	Unfraction	Unfraction
Raw sample	0.0617	1.16
Ceramic membrane	0.0610	1.14
PAC adsorption	0.0057	0.19
PAC and Membrane 1	0.0033	0.10
PAC and Membrane 2	0.0033	0.11

Raw sample = น้ำดิบ

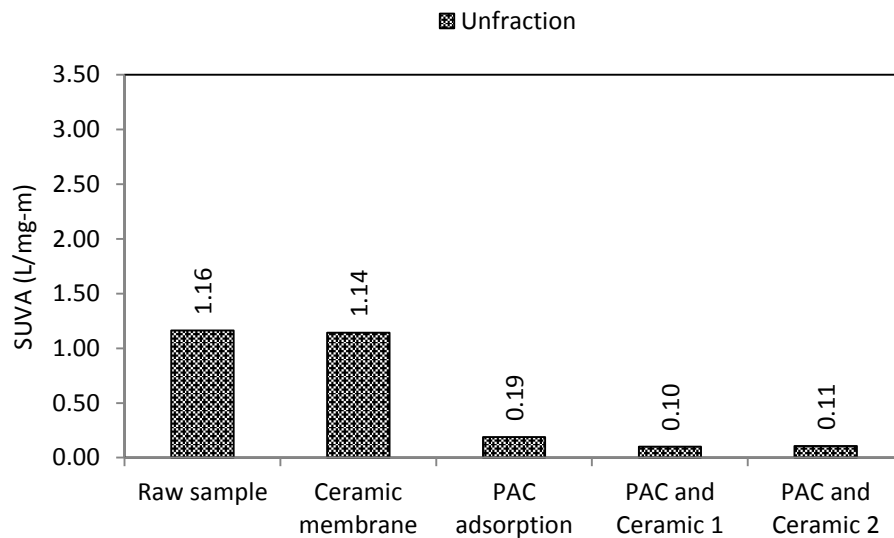
Unfraction = น้ำตัวอย่างก่อนทำการแยกแฟรกชัน

HPI = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ

HPO = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.13 UV-254 หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย



ภาพที่ 4.14 SUVA หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

จากตารางที่ 4.11 ภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (Unfraction) หลังการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane พบว่าค่า UV-254 และ SUVA มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนเรียกได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 ส่งผลให้ค่า UV-254 และ SUVA เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด โดยการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 ส่งผลให้ UV-254 มีค่าเท่ากับ 0.0057 cm⁻¹, 0.0033 cm⁻¹ และ

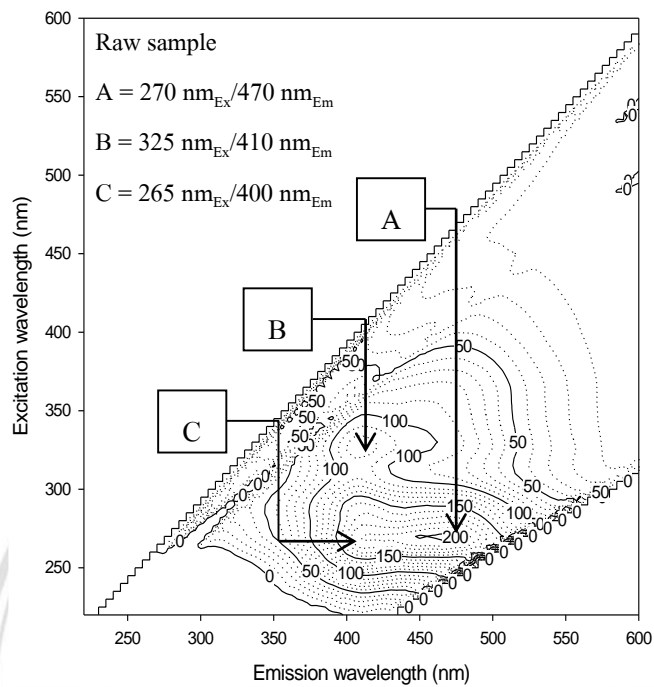
0.0033 cm⁻¹ ตามลำดับ และ SUVA มีค่าเท่ากับ 0.19 L/mg-m, 0.19 L/mg-m และ 0.11 L/mg-m ตามลำดับ

DOC, DON, UV-254 และ SUVA ถือเป็นพารามิเตอร์ตัวแทนของสารอินทรีย์ละลาย (USEPA, 1999) ดังนั้นผลการศึกษาทำให้ทราบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำดิบของแม่น้ำปิง สาเหตุอาจเนื่องจากสารอินทรีย์ละลายอาจมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเซรามิกเมมเบรนที่มีรูพรุน 0.1 μm จึงไม่สามารถกักกันสารอินทรีย์ดังกล่าวไว้ได้ ในขณะที่การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำดิบของแม่น้ำปิง

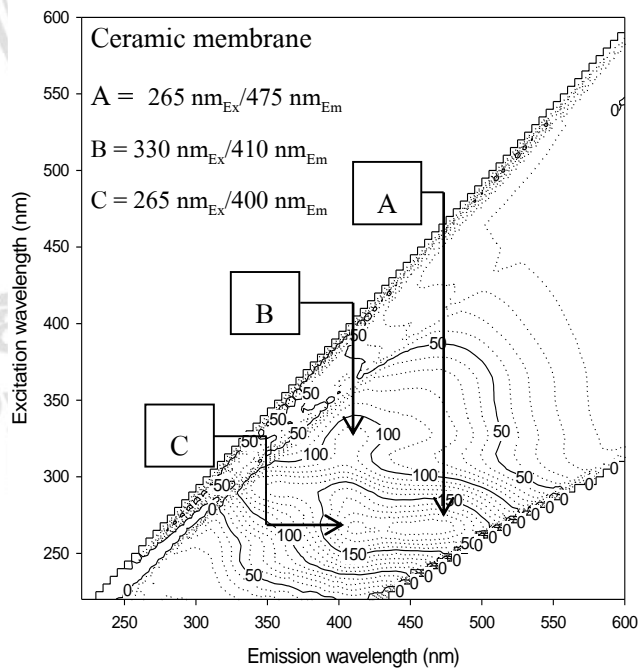
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไม่มีความแตกต่างกันมากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่า การกำจัดสารอินทรีย์ละลายของน้ำจากแม่น้ำปิงด้วยการดูดซับและเซรามิกเมมเบรนจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างในการนำผงถ่านกัมมันต์เข้าไปกรองร่วมกับกระบวนการเซรามิกเมมเบรนและไม่นำผงถ่านเข้าไปกรองร่วมกับเซรามิกเมมเบรน

4.3.2 ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโกปีหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

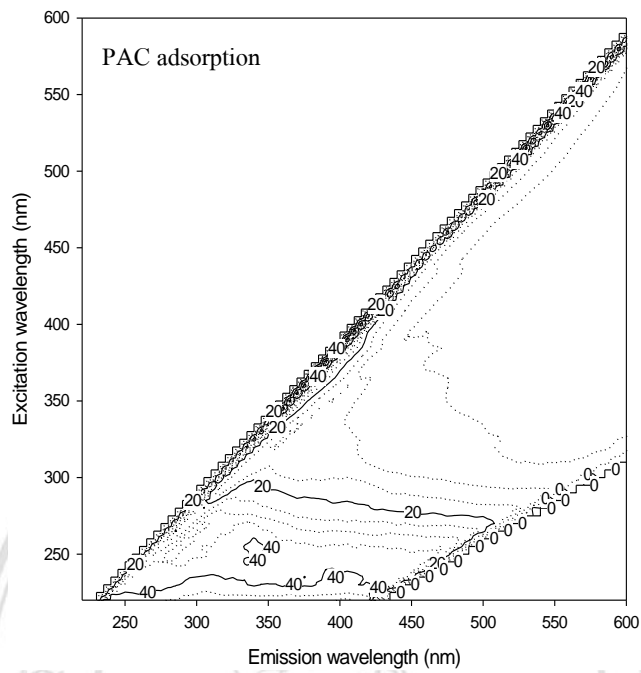
เมื่อนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC adsorption) การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 1 (PAC and Ceramic 1) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 2 (PAC and Ceramic 2) มาวิเคราะห์ FEEM ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 4.15 ภาพที่ 4.16 ภาพที่ 4.17 ภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19



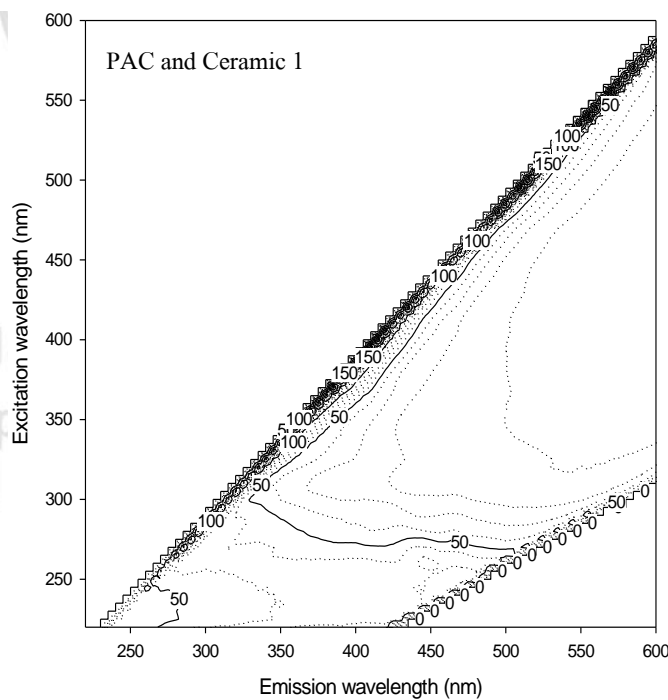
ภาพที่ 4.15 FEEM ของน้ำดิบ



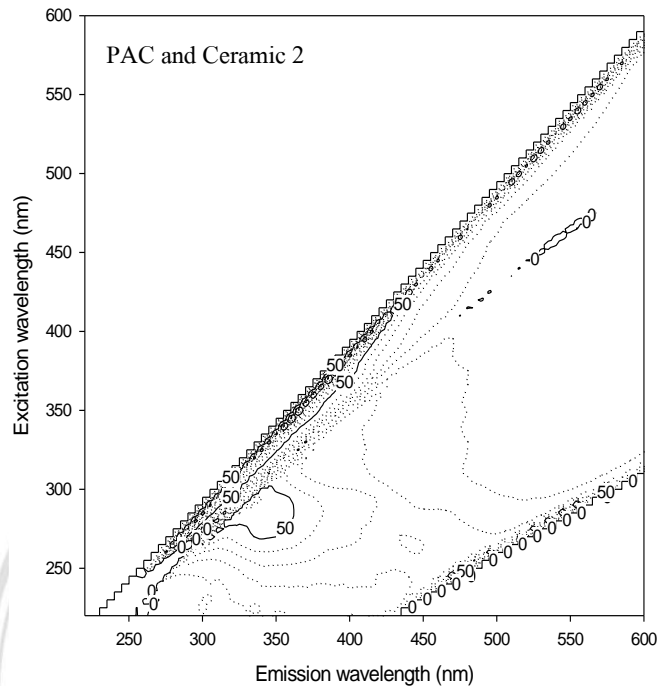
ภาพที่ 4.16 FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย
ด้วย Ceramic membrane



ภาพที่ 4.17 FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย
ด้วย PAC adsorption



ภาพที่ 4.18 FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย
ด้วย PAC and Ceramic 1



ภาพที่ 4.19 FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย
ด้วย PAC and Ceramic 2

จากภาพที่ 4.16 เมื่อวิเคราะห์ FEEM ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย
ด้วย Ceramic membrane จะพบ Peak ที่จุด A = 265 nm_{Ex}/475 nm_{Em}, B = 330 nm_{Ex}/410 nm_{Em} และ C = 265
nm_{Ex}/400 nm_{Em} เมื่อนำไปจำแนกลักษณะของสารอินทรีย์โดยจำแนกตามช่วงของ Excitation (nm_{Ex})/
Emission (nm_{Em}) พบว่า Peak ที่จุด A และ B เป็นลักษณะของ Humic acids และ Humic-like
substances (Coble, 1996 ; Leenheer et al., 2003; Chen et al., 2003) และ Peak ที่จุด C เป็นลักษณะ
ของ Fulvic acids และ Fulvic-like substances (Chen et al., 2003) ซึ่ง Peak ที่จุด A, B และ C เป็นจุด
เดียวกันกับที่วิเคราะห์พบในน้ำดิบ เมื่อพิจารณาความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence
intensity, FI) พบว่าที่จุด A, B และ C มี FI เท่ากับ 150-200, 100 และ 150 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า
น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane ยังคงพบสารอินทรีย์ในลักษณะ
เดียวกันกับน้ำดิบและมีค่า FI ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า Ceramic membrane สามารถกำจัด
สารอินทรีย์ในลักษณะดังกล่าวได้น้อยจนอาจเรียกได้ว่าไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในลักษณะ
ดังกล่าวได้ ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ที่พบว่า Ceramic
membrane ไม่สามารถลดปริมาณ DOC และ DON รวมถึงไม่ทำให้ค่า UV-254 และ SUVA มีการ
เปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ 4.17 ภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19 เมื่อวิเคราะห์ FEEM ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 จะพบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นจุด Peak ได้อย่างชัดเจน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ลักษณะ Humic acids และ Humic-like substances และ Fulvic acids และ Fulvic-like substances ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ที่พบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 สามารถลดปริมาณ DOC และ DON รวมถึงทำให้ UV-254 และ SUVA มีค่าลดลง

4.3.3 การก่อดัวของ THMs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

การก่อดัวของ THMs ในน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC adsorption) การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 1 (PAC and Ceramic 1) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 2 (PAC and Ceramic 2) ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.12 ภาพที่ 4.20 ภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22

ตารางที่ 4.12 การก่อดั้วของ THMs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

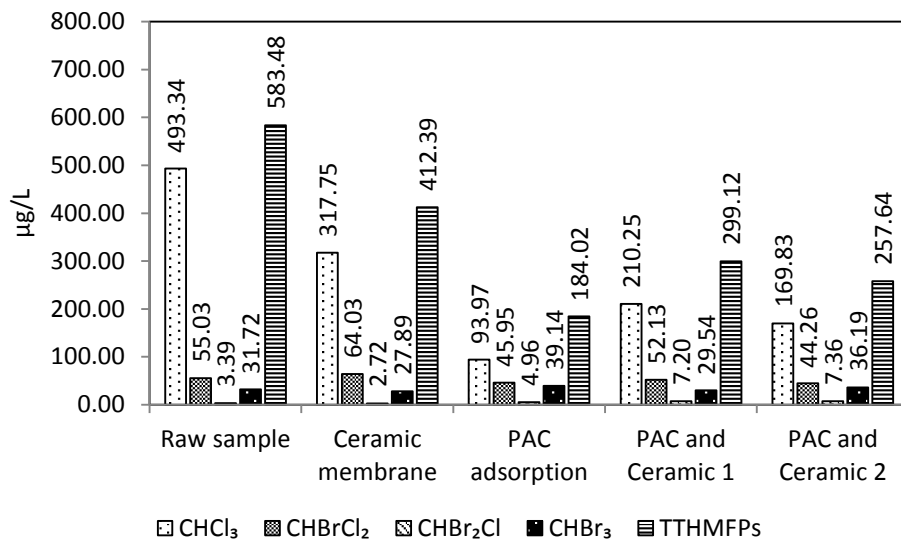
THMFPS ($\mu\text{g/L}$)	Raw sample			Ceramic membrane			PAC adsorption			PAC and Ceramic 1			PAC and Ceramic 2		
	UNF	HPI	HPO	UNF	HPI	HPO	UNF	HPI	HPO	UNF	HPI	HPO	UNF	HPI	HPO
CHCl_3	493.34	307.94	371.08	317.75	318.83	354.61	93.97	197.52	81.5	210.25	211.6	153.42	169.83	170.34	153.47
CHBrCl_2	55.03	44.49	10.57	64.03	61.44	13.36	45.95	45.64	5.35	52.13	54.39	8.71	44.26	39.38	9.02
CHBr_2Cl	3.39	4.56	2.76	2.72	6.01	1.09	4.96	2.89	2.29	7.2	5.85	4.13	7.36	9.26	4.1
CHBr_3	31.72	34.55	37.8	27.89	32.3	31.4	39.14	30.9	36.01	29.54	26.2	33.37	36.19	29	30.53
TTHMFPS	583.48	391.54	422.21	412.39	418.58	400.46	184.02	276.95	125.15	299.12	298.04	199.63	257.64	247.98	197.12

Raw sample = น้ำดิบ

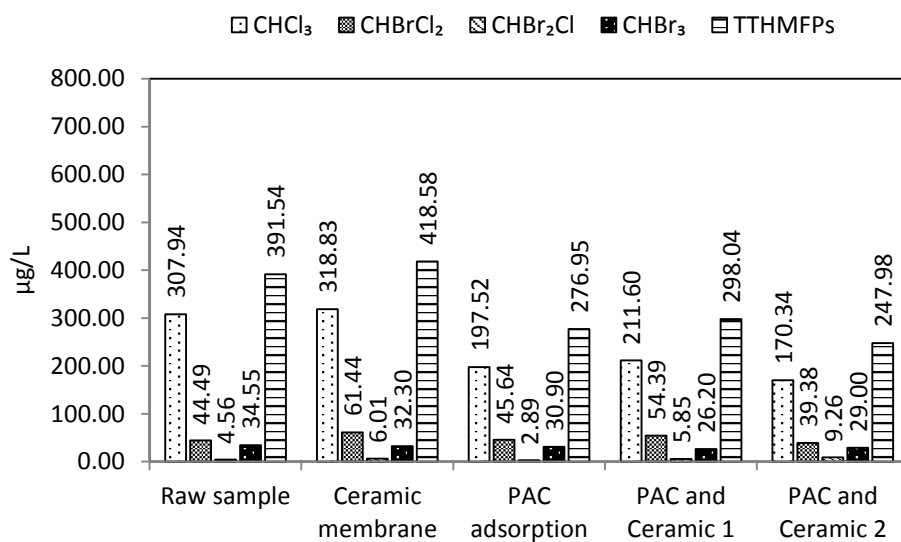
UNF = น้ำตัวอย่างก่อนการแยกแฟรกชัน

HPI = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ

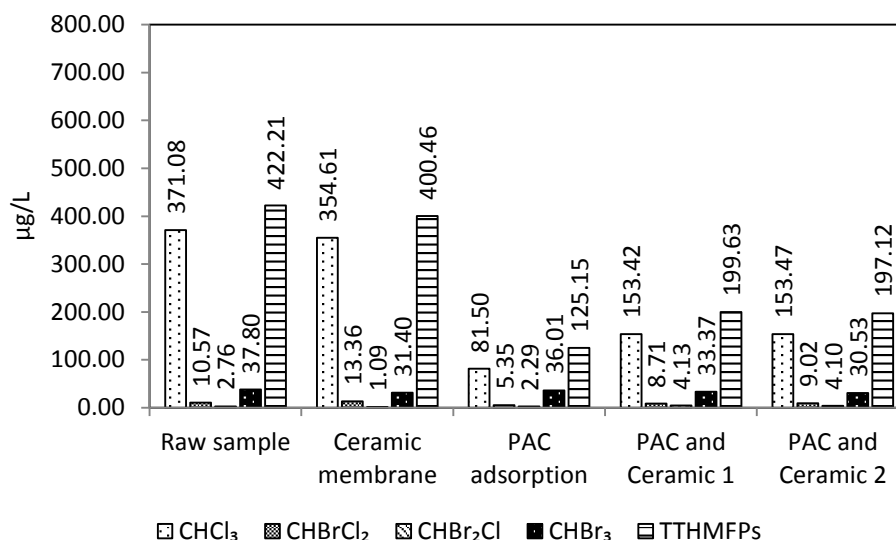
HPO = น้ำตัวอย่างหลังทำการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.20 THMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำตัวอย่างก่อนแยกแพรกชั้น (UNF)



ภาพที่ 4.21 THMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำตัวอย่างหลักแยกแพรกชั้นเป็น HPI



ภาพที่ 4.22 THMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็น HPO

จากตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.20 เมื่อพิจารณาเมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (Unfraction) หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane พบว่า TTHMFPs มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่หากพิจารณาร่วมกับการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ซึ่งได้แก่ DOC, UV-254 และ SUVA จะพบว่ากระบวนการดังกล่าวไม่สามารถทำให้ DOC, UV-254 และ SUVA มีค่าลดลง ดังนั้นการลดลงของ TTHMFPs อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากกระบวนการทดลอง เช่น อาจเกิดจากกระบวนการสกัด เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวไม่สามารถสกัด THMs ได้ทั้งหมด และยังพบว่า ผลการศึกษาเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI และ HPO

จากตารางที่ 4.12 ภาพที่ 4.20 ภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22 เมื่อพิจารณาเมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (Unfraction) หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 พบว่า TTHMFPs มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องการลดลงของสารตั้งต้นซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึง THMFPs (Hua and Reckhow 2007; Bond, Goslan et al. 2009) ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ที่พบว่ากระบวนการดังกล่าวสามารถกำจัด DOC, UV-254 และ SUVA ให้มีค่าลดลงได้ และยังพบว่า ผลการศึกษาเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI และ HPO

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.12 มาศึกษาการลดลงของ TTHMFPs โดยพิจารณาจากน้ำตัวอย่างหลังการแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI และ HPO เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลายทั้ง 4 แบบ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.13

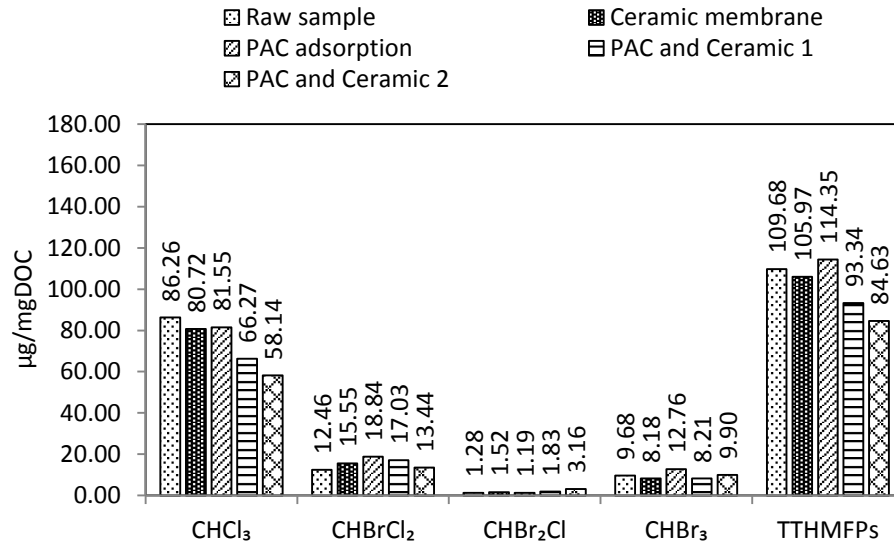
ตารางที่ 4.13 การลดลงของ TTHMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

กระบวนการกำจัด สารอินทรีย์ละลาย	การลดลงของ THMFPs ($\mu\text{g/L}$)*	
	HPI	HPO
Ceramic membrane (Memb)	0	21.75
Adsorption (Ad)	114.59	297.06
Adsorption and Membrane 1 (AdMemb1)	93.50	222.58
Adsorption and Membrane 2 (AdMemb2)	143.56	225.09

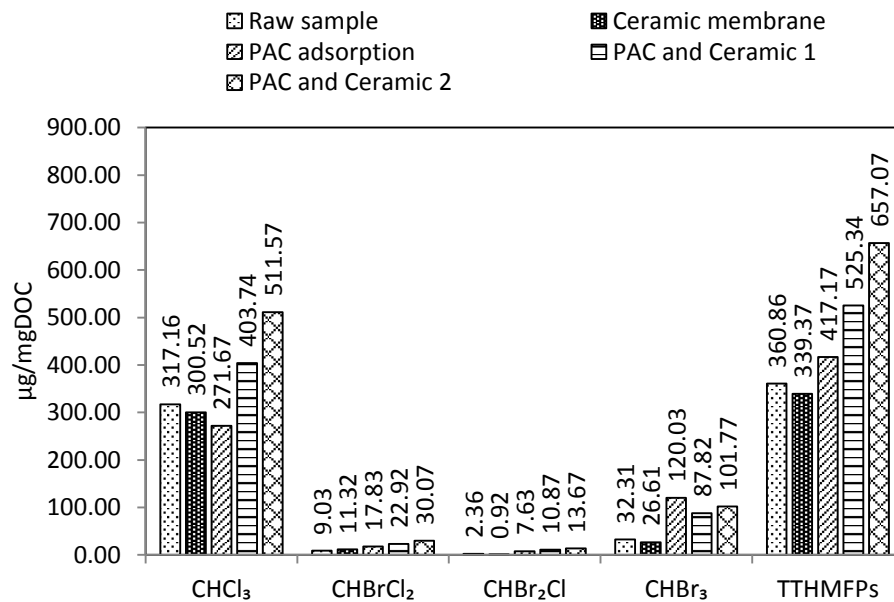
* วิธีการคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ค

จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังการแยกแฟรกชัน เปรียบเทียบระหว่างสารอินทรีย์ชนิด HPI และ HPO พบว่า การลดลงของ THMFPs ในสารอินทรีย์ละลายชนิด HPO มีแนวโน้มลดลงสูงกว่าสารอินทรีย์ละลายชนิด HPI สาเหตุดังกล่าวอาจอธิบายได้ด้วยการศึกษาของ Costa และคณะ (1998) Youssef และคณะ (1996) ที่ศึกษาพบว่า การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการกำจัดสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon) รวมถึงกรดฮิวมิก (Humic acid) ได้ดี ซึ่งสารดังกล่าวมักพบในสารอินทรีย์ชนิด HPO (Leenheer & Croué, 2003; Swietlik et al., 2004)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษามาหาค่าการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะ (Specific trihalomethanes formation potential, STHMFPs) (วิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) เพื่อศึกษาความสามารถในการก่อตัวเป็น THMs เทียบกับปริมาณ DOC (Imai et al., 2003) ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.25 และภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.23 การก่อดังของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย (STHMFPs) ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI



ภาพที่ 4.24 การก่อดังของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย (STHMFPs) ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPO

จากภาพที่ 4.25 และภาพที่ 4.26 เมื่อพิจารณา THMFPs ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 พบว่าส่วนใหญ่แล้ว DOC 1 mg มีความสามารถในการก่อดังเป็น

THMs ใกล้เคียงกันกับน้ำดิบ และเมื่อพิจารณา TTHMFPS ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็น สารอินทรีย์ชนิด HPO หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 พบว่าส่วนใหญ่แล้ว DOC 1 mg มีความสามารถในการก่อดัวเป็น THMs เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำดิบ

ผลการศึกษาทำให้ทราบว่ากำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 ส่งผลให้การก่อดัวเป็น THMs ของสารอินทรีย์ชนิด HPO มีมากขึ้น อาจเพราะกระบวนการดังกล่าวมีความสามารถกำจัดสารอินทรีย์ชนิด HPO ในส่วนที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคลอรีนต่ำได้ดี ทำให้สารอินทรีย์ชนิด HPO ในส่วนที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคลอรีนสูงหลงเหลืออยู่และเข้าทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้มากขึ้น ทำให้ STHMFPS ของสารอินทรีย์ละลายชนิด HPO มีค่าเพิ่มขึ้น

4.3.4 การก่อดัวของ HANs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

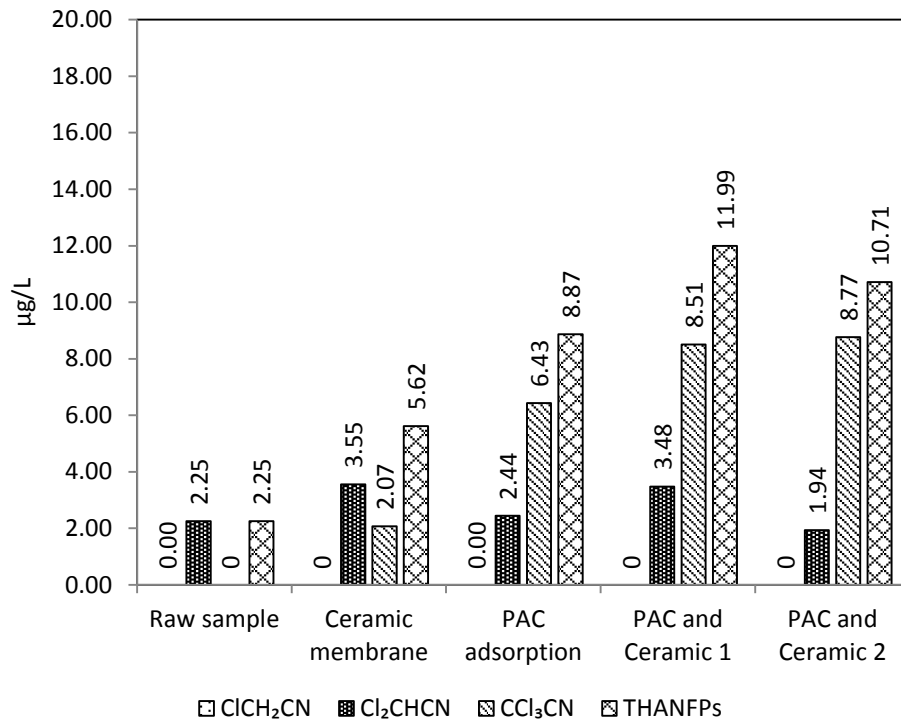
การก่อดัวของ HANs ในน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยการดูดซับ ด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC adsorption) การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 1 (PAC and Ceramic 1) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนรูปแบบที่ 2 (PAC and Ceramic 2) ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ ภาพที่ 4.27

ตารางที่ 4.14 การก่อดัวของ HANs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

HANFPs ($\mu\text{g/L}$)	Raw sample	Ceramic membrane	PAC adsorption	PAC and Ceramic 1	PAC and Ceramic 2
	Unfraction				
ClCH_2CN	ND	ND	ND	ND	ND
Cl_2CHCN	2.25	3.55	2.44	3.48	1.94
CCl_3CN	ND	2.07	6.43	8.51	8.77
THANFPs	2.25	5.62	8.87	11.99	10.71

Raw sample = น้ำดิบ

Unfraction = น้ำตัวอย่างก่อนการแยกแฟรกชัน



ภาพที่ 4.25 HANFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (UNF)

จากตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.27 เมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยกระบวนการต่างๆ พบว่า THANFPs มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะเมื่อผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 การศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ พบว่า สาเหตุที่มีการเพิ่มขึ้นของ N-DBPs หลังผ่านกระบวนการกำจัด DOM นั้นมีความเกี่ยวข้องกับ อัตราส่วนระหว่าง DOC ต่อ DON (Lee et al. 2007) และปริมาณแอมโมเนีย (NH₃-N) (Trehy et al., 1986; Siddiqui & Amy, 1993) ที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่าง

อัตราส่วนระหว่าง DOC ต่อ DON (DOC/DON) ถูกศึกษาพบว่า มีแนวโน้มส่งผลต่อการก่อตัวของ N-DBPs โดย Lee และคณะ (2007) ศึกษาพบว่า หาก DOC/DON มีค่าลดลงจะทำให้ตรวจพบการก่อตัวของ N-DBPs เพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาตามหลักการของ Lee และคณะ (2007) เปรียบเทียบกับผลการศึกษาจะพบว่า หากปริมาณ DOC ที่ตรวจวัดได้ในน้ำดิบมีปริมาณสูงกว่า DON มาก ในกรณีที่มีการนำน้ำดิบเข้าสู่กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แล้ว DOC จะมีโอกาสในการถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์มากกว่า เมื่อสารตั้งต้นของ THMs ในน้ำซึ่งได้แก่ DOC ถูกดูดซับและมีปริมาณลดลง ทำให้ DON มีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยากับสารฆ่าเชื้อโรคมากขึ้น ดังนั้นจึงอาจส่งผลให้มีการก่อตัวของ HANs เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณา

DOC/DON หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane, PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 พบว่า มีค่าเท่ากับ 17.3 mg-C/mg-N, 23.0 mg-C/mg-N, 25.2 mg-C/mg-N และ 22.2 mg-C/mg-N ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นหลังกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ทำให้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Lee และคณะ (2007) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของ HANs อาจอธิบายได้โดยการศึกษาของ Siddiqui และ Amy (1993) ที่ศึกษาพบว่า การก่อตัวของ HANs มีความเกี่ยวข้องกับ $\text{NH}_3\text{-N}$ โดย $\text{NH}_3\text{-N}$ จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนและก่อให้เกิดสารประกอบคลอรามิน 3 ชนิด ได้แก่ โมโนคลอรามิน (NH_2Cl), ไดคลอรามิน (NHCl_2) และ ไตรคลอรามิน (NCl_3) (White, 1992) การก่อตัวของคลอรามินนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอรีนต่อปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวส่งผลต่อชนิดของคลอรามินเช่นเดียวกัน (USEPA, 1999) และคลอรามินจะทำปฏิกิริยากับกรดฮิวมิกหรือสสารฮิวมิกอื่นๆ เกิดเป็น HANs (Trehy et al., 1986) ซึ่งการตรวจวัด $\text{NH}_3\text{-N}$ ภายหลังการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane, PAC adsorption, PAC and Ceramic 1 และ PAC and Ceramic 2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.033 mg/L, 0.043 mg/L, 0.123 mg/L และ 0.110 mg/L ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้เกิดการก่อตัวของคลอรามินมากขึ้น ทำให้การก่อตัวของ HANs เพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย

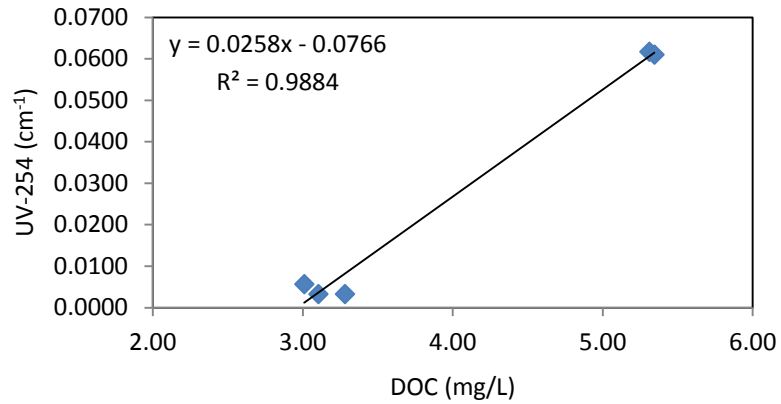
แม้ว่าผลการศึกษาจะพบว่า หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แล้วจะทำให้การก่อตัวของ HANs เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของ N-DBPs พบว่า N-DBPs มีความเป็นพิษสูงกว่า C-DBPs (Muellner et al., 2007) แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณการก่อตัวแล้วจะพบว่า C-DBPs ก่อตัวในปริมาณที่สูงกว่า N-DBPs มาก ดังนั้นการก่อตัวของ HANs ที่เพิ่มขึ้นอาจไม่ส่งผลต่อความเป็นพิษโดยรวมเนื่องจาก THMs ส่วนหนึ่งก็ได้ถูกกำจัดไปเช่นเดียวกัน

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์

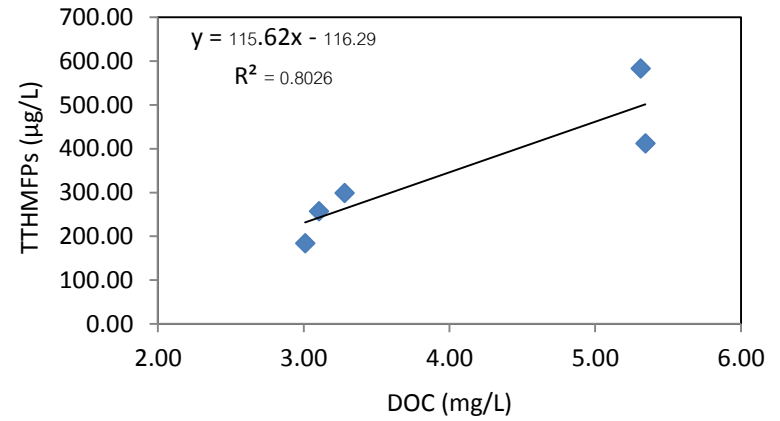
การศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ จะทำการจำแนกระดับความสัมพันธ์ออกเป็น 4 ประเภท (AWWA, 1993) ได้แก่ เมื่อค่าของความสัมพันธ์ R^2 มากกว่า 0.9 จะเป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อค่าความสัมพันธ์ R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 จะเป็นระดับความสัมพันธ์ปานกลาง เมื่อค่าระดับความสัมพันธ์ R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.7 จะเป็นระดับความสัมพันธ์พอใช้ และเมื่อค่าของความสัมพันธ์ R^2 มีค่าน้อยกว่า 0.5 จะเป็นระดับความสัมพันธ์ที่ไม่ดีและไม่นำมาแสดงในส่วนของผลการศึกษา ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.28 ถึงภาพที่ 4.35

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFPS

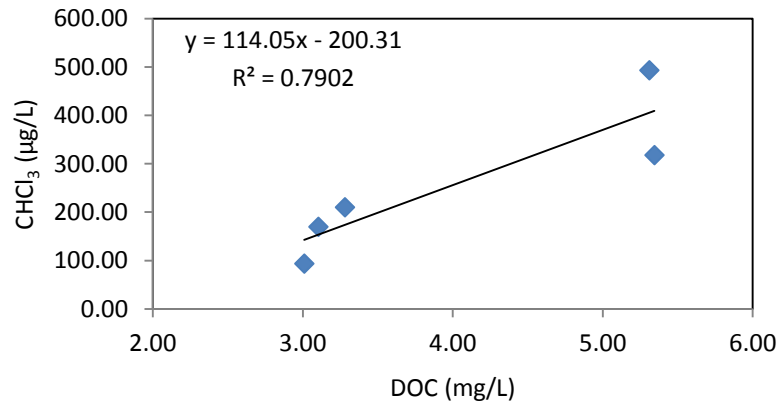
ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ	N	R ²	สมการความสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
UV-254	DOC	5	0.9884	$(UV-254) = 0.0258(DOC) - 0.0766$	ดี
TTHMFPS	DOC	5	0.8026	$(TTHMFPS) = 115.62(DOC) - 116.29$	ปานกลาง
CHCl ₃	DOC	5	0.7902	$(CHCl_3) = 114.05(DOC) - 200.31$	ปานกลาง
TTHMFPS	UV-254	5	0.7701	$(TTHMFPS) = 4356.7(UV-254) + 229.7$	ปานกลาง
CHCl ₃	UV-254	5	0.7575	$(CHCl_3) = 4295.7(UV-254) + 141.24$	ปานกลาง
TTHMFPS	DOC/DON	5	0.6344	$(TTHMFPS) = -34.453(DOC/DON) + 1069.5$	ปานกลาง
CHCl ₃	DOC/DON	5	0.6241	$(CHCl_3) = -33.973(DOC/DON) + 969.15$	ปานกลาง
THANFPs	DOC/DON	5	0.8583	$(THANFPs) = 1.0185(DOC/DON) - 13.461$	ปานกลาง



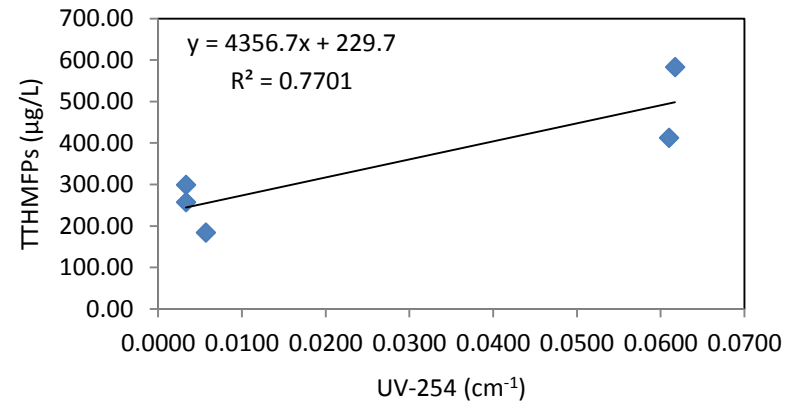
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ UV-254



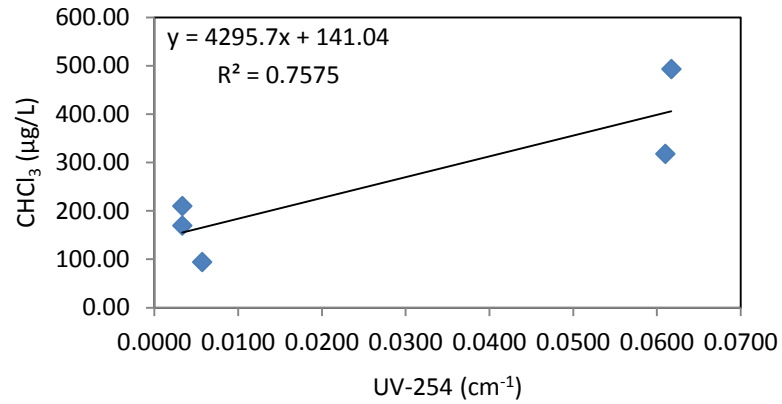
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ TTHMFPS



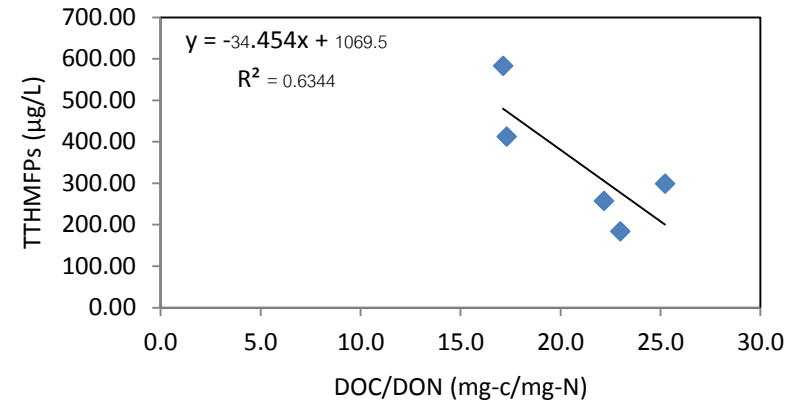
ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ CHCl₃



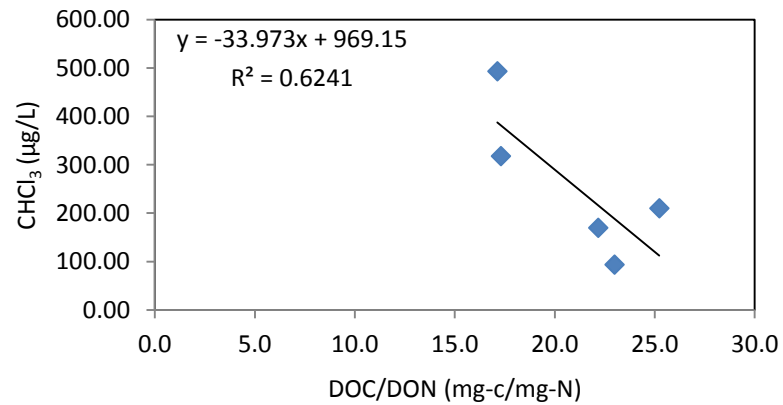
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 และ TTHMFPS



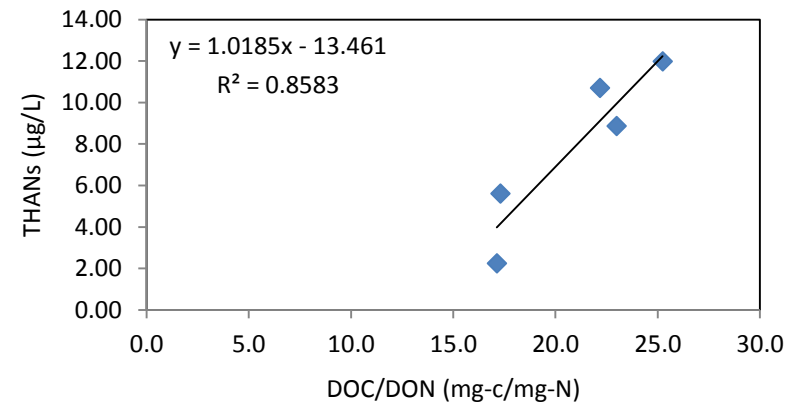
ภาพที่ 4. 31 ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 และ CHCl₃



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC/DON และ TTHMFps



ภาพที่ 4. 33 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC/DON และ CHCl₃



ภาพที่ 4. 32 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC/DON และ THANs