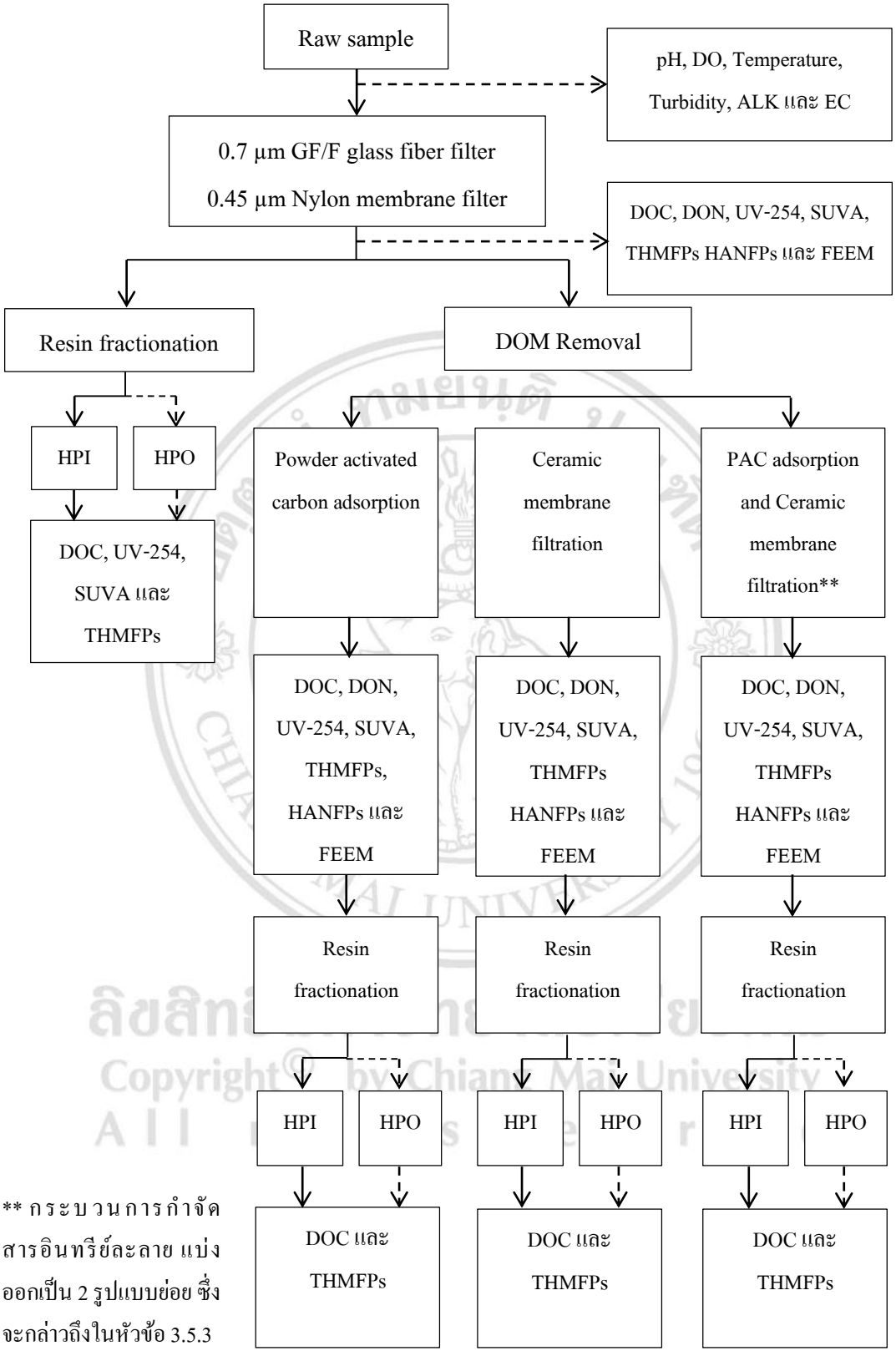
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยจะทำการศึกษาแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค หลังจากทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบจะทำการวัดคุณลักษณะของน้ำดิบซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ พีเอช (pH), ออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen, DO), อุณหภูมิ (Temperature), ความขุ่น (Turbidity), ความเป็นด่าง (Alkalinity, ALK) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) จากนั้นจะนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วย 0.45 μm Nylon Membrane filter เนื่องจากงานวิจัยจะทำการศึกษาเฉพาะสารอินทรีย์ละลายที่มีอยู่ในน้ำ (ในทางปฏิบัติจะนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วย 0.7 μm GF/F glass fiber filter ก่อนนำมากรองด้วย 0.45 μm Nylon Membrane filter เพื่อลดการอุดตันและเพิ่มความสะดวกในการกรอง) หลังผ่านกระบวนการกรองจะนำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ละลายโดยพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ คาร์บอนอินทรีย์ละลาย (Dissolved organic carbon, DOC), ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (Dissolved organic nitrogen, DON), ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 nm (Ultraviolet absorbance at wavelength 254 nm, UV-254) ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตจำเพาะ (Specific ultraviolet absorbance, SUVA) การก่อตัวของไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes formation potential, THMFPs) การก่อตัวของฮาโลอะซิโตไนไตรล์ (Haloacetonitriles formation potential, HANFPs) และฟลูออเรสเซนซ์สเปคโตรสโคปี (FEEM) จากนั้นน้ำตัวอย่างจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะถูกนำไปแยกแฟรกชั่นด้วยเรซิน (Resin fractionation) เพื่อศึกษาสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic organic matter, HPI) และสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic organic matter, HPO) ส่วนที่สองจะถูกนำไปศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย (DOM Removal) โดยกระบวนการต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน หลังจากนั้น น้ำตัวอย่างจะถูกนำไปแยกแฟรกชันด้วยเรซิน และศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย รวมถึง THMFPs และ HANFPs ภายหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ภาพรวมการศึกษาดังกล่าวแสดงในภาพที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



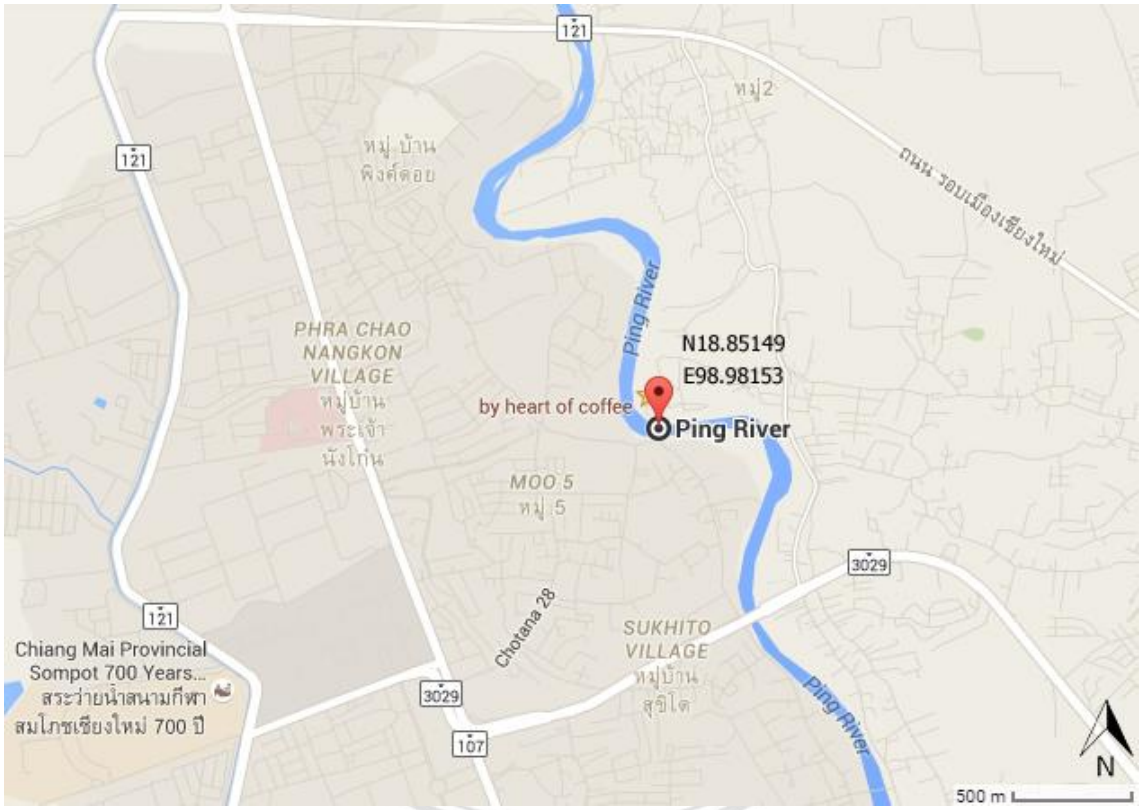
** กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบย่อย ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.5.3

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนในการวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1 แหล่งน้ำที่ใช้ในการศึกษา

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาจะใช้น้ำจากแม่น้ำปิง โดยทำการเก็บตัวอย่างบริเวณหน้าศูนย์ปฏิบัติงานวิจัยเซรามิกเมมเบรน เพื่อน้ำสะอาดที่ดื่มได้ ตำบลสันผีเสื้อ อำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่ ซึ่งบริเวณดังกล่าวแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 บริเวณที่ทำการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อใช้ในงานวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.3 แม่น้ำปิง

การเก็บน้ำตัวอย่างแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง ได้แก่ วันที่ 22 กรกฎาคม 2557 16 ตุลาคม 2557 และ 3 กุมภาพันธ์ 2558 โดยน้ำตัวอย่างที่เก็บทั้ง 3 ครั้งจะถูกนำไปศึกษาคุณลักษณะและปริมาณสารอินทรีย์ละลาย ในขณะที่การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย THMFPs และHANFPs จะใช้น้ำตัวอย่างที่เก็บในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2558

การศึกษาจะทำการเก็บน้ำตัวอย่างครั้งละประมาณ 100 L หลังจากนั้นจะทำการกรองน้ำตัวอย่างด้วย 0.45 μm Nylon Membrane filters เพื่อการศึกษาสารอินทรีย์ละลายน้ำ (ในทางปฏิบัติจะนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วย 0.7 μm GF/F glass fiber filter ก่อนนำมากรองด้วย 0.45 μm Nylon Membrane filter เพื่อลดการอุดตันและเพิ่มความสะดวกในการกรอง) จากนั้นน้ำตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาไว้ ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 4 °C เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์และศึกษาในกระบวนการต่างๆ ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 กระบวนการวิจัย

3.2.1 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

เนื่องจากงานวิจัยถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทำให้ในการวิเคราะห์จะมีน้ำตัวอย่าง 2 ชนิด ได้แก่ น้ำดิบ และน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ จะทำการวิเคราะห์เป็นจำนวน 3 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย การวิเคราะห์น้ำตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์น้ำดิบ

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวัดหลังจากเก็บตัวอย่าง ได้แก่ pH, DO, Temperature, Turbidity, ALK และ EC หลังจากนั้นจะทำการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง 0.45 μm Nylon Membrane Filters และน้ำตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ละลาย โดยพารามิเตอร์ที่เป็นพารามิเตอร์ตัวแทนของสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติ ได้แก่ DOC, DON, UV-254, SUVA, THMFPs และ HANFPs แล้วน้ำตัวอย่างจะถูกนำไปแยกแฟรกชั่นด้วยเรซินเพื่อให้ได้สารอินทรีย์ชนิด HPI และสารอินทรีย์ชนิด HPO หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ละลายในสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดอีกครั้ง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ DOC, UV-254, SUVA, THMFPs

2) การวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย น้ำตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ DOC, DON, UV-254, SUVA, THMFPs และ HANFPs แล้วน้ำตัวอย่างจะถูกนำไปแยกแฟรกชั่นด้วยเรซินเพื่อให้ได้สารอินทรีย์ชนิด HPI และสารอินทรีย์ชนิด HPO หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ DOC และ THMFPs ในสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดอีกครั้ง พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในน้ำตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ได้ทำการสรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด

พารามิเตอร์	น้ำดิบ		น้ำตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	
	ก่อนแยกแฟรกชั่นด้วยเรซิน	หลังแยกแฟรกชั่นด้วยเรซิน	ก่อนแยกแฟรกชั่นด้วยเรซิน	หลังแยกแฟรกชั่นด้วยเรซิน
pH	√	-	-	-
DO	√	-	-	-
Temperature	√	-	-	-
Turbidity	√	-	-	-
ALK	√	-	-	-
EC	√	-	-	-
UV-254	√	-	√	-
DOC	√	√	√	√
DON	√	-	√	-
SUVA	√	-	√	-
THMFPs	√	√	√	√
HANFPs	√	-	√	-

3.2.2 การแยกแฟรกชันด้วยเรซิน (Resin fractionation)

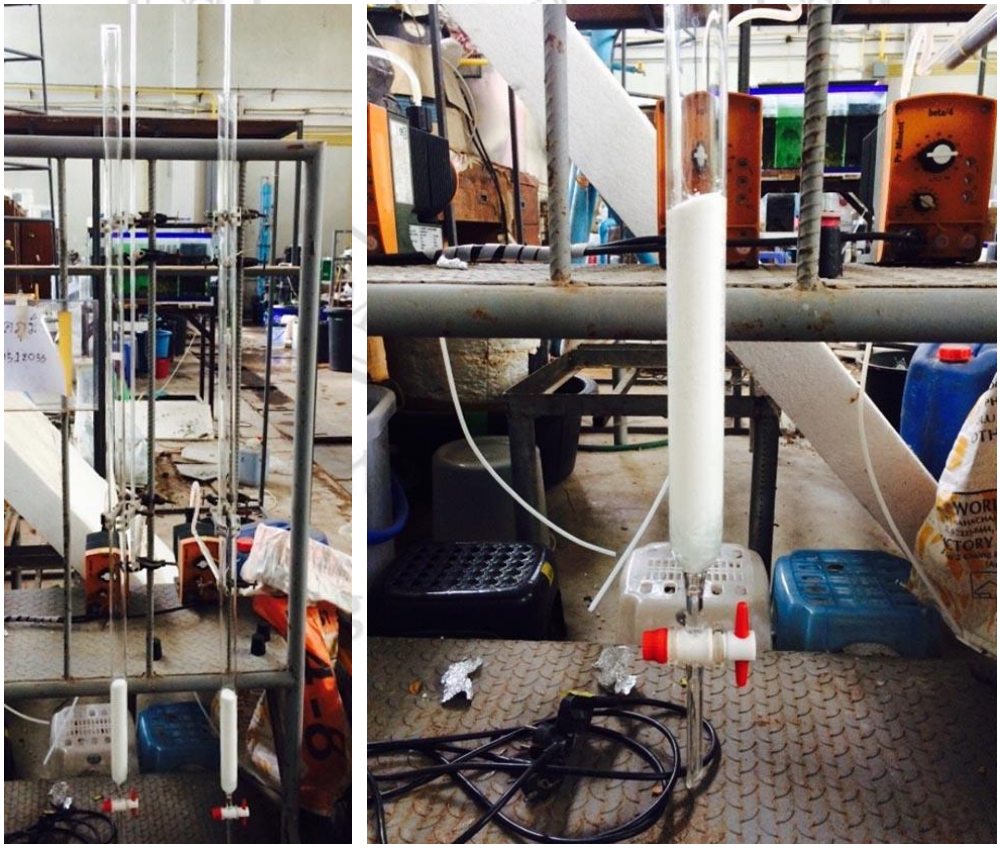
การแยกแฟรกชันด้วยเรซินเป็นการแยกสารอินทรีย์ออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic organic matter, HPI) และสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic organic matter, HPO) โดยใช้เรซินชนิด DAX-8 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเรซินประเภทนอนไอออนิค (Nonionic resin) มีพื้นที่ผิวประมาณ 160 m^2 dry g^{-1} มีความพรุนเท่ากับ 60% และ mesh number ประมาณ 40-60

น้ำตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ถูกนำมาแยกแฟรกชัน ได้แก่ น้ำดิบและน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย โดยขั้นตอนในการแยกแฟรกชันแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมเรซินและการแยกแฟรกชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) การเตรียมเรซิน

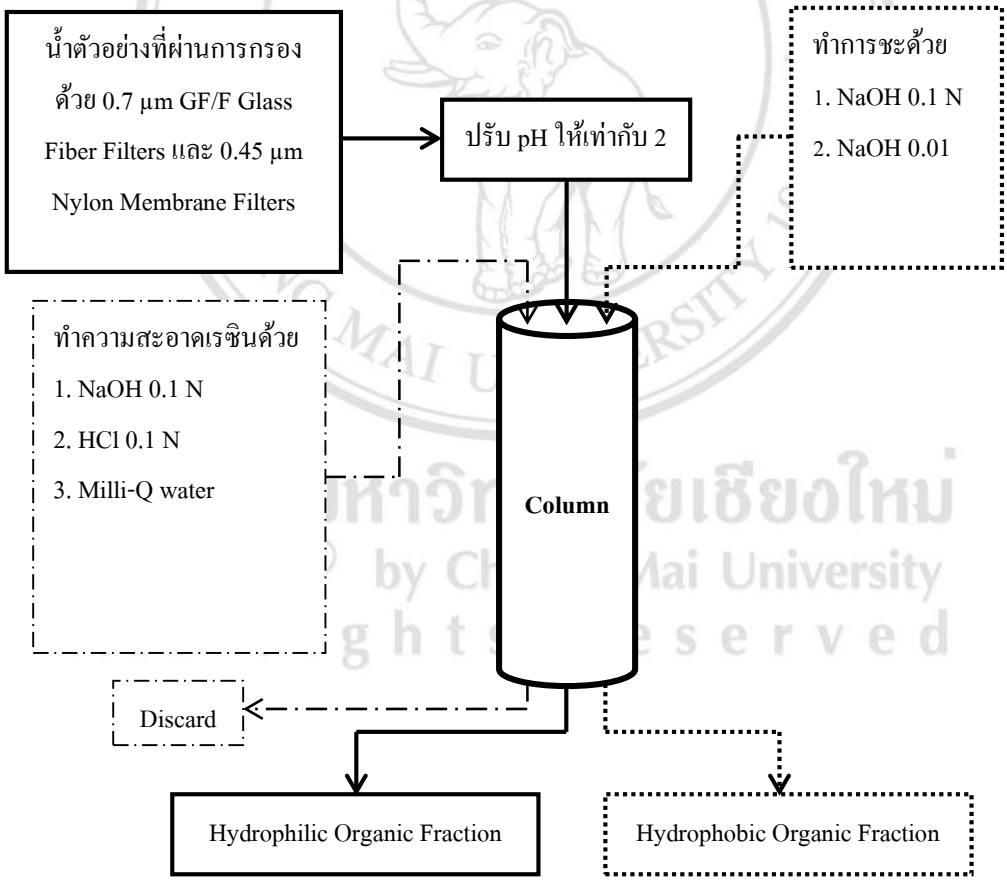
ขั้นตอนการเตรียมเรซินทำโดยนำเรซินมาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 นอร์มัล เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำความสะอาดเรซินโดยใช้เครื่องมือ Soxhlet Extraction ซึ่งเป็นการทำความสะอาดด้วยอะซิโตน (Acetone) และเฮคเซน (Hexane) อย่างละ 24 ชั่วโมง หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการทำความสะอาดจะนำเรซินไปแช่ใน methanol จากนั้นนำเรซินไปใส่ในคอลัมน์ (ขนาดประมาณ 2.5 ×120 เซนติเมตร) ที่บรรจุใยแก้ว (glass wool) อยู่ที่ด้านล่างของคอลัมน์เป็นปริมาณเท่ากับ 1 bed volume (คิดเป็นปริมาตรประมาณ 100 ml) โดยใยแก้วผ่านการทำความสะอาดด้วยเครื่องมือ ซอกห์เลต (Soxhlet extraction) 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับเรซิน จากนั้นทำการล้างเรซินด้วย NaOH 0.1 นอร์มัล และ HCl 0.1 นอร์มัล เป็นปริมาณเท่ากับ 2.5 เท่าของ bed volume ตามลำดับ ในกระบวนการสุดท้ายจะล้างเรซินด้วยน้ำ Milli-Q จนกระทั่งค่าการนำไฟฟ้าหรือค่า DOC มีค่าต่ำกว่า 10 µS/cm และ 0.2 mg/L ลักษณะคอลัมน์ที่ใช้ในการแยกแฟรกชัน ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกแฟรกชัน

2) การแยกแฟรกชัน

น้ำตัวอย่างที่นำมาแยกแฟรกชันจะมีการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 ด้วยกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) หลังจากนั้นจะถูกนำไปผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเรซินและใยแก้วอยู่ภายใน โดยกำหนดให้มีอัตราเร็วในการไหลผ่านเรซินต่ำกว่า 12 bed volumes/hr น้ำส่วนที่ไหลผ่านเรซินจะเป็นส่วนของสารอินทรีย์ชนิด HPI ในขณะที่สารอินทรีย์ชนิด HPO จะต้องใช้สารละลาย NaOH 0.1 นอร์มัล ในปริมาณ 0.25 bed volume และ NaOH 0.01 นอร์มัลชะออกมาจากเรซินในปริมาณ 1.25 bed volume และปล่อยให้ไหลผ่านเรซินด้วยความเร็วไม่เกิน 2 bed volume/hr หลังเสร็จสิ้นกระบวนการแฟรกชัน น้ำตัวอย่างจะถูกปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 ก่อนที่จะนำไปวัดพารามิเตอร์ต่างๆ กระบวนการแยกแฟรกชันด้วยเรซิน ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 กระบวนการแยกแฟรกชันด้วยเรซิน (Resin fractionation)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3 ฟลูออเรสเซนซ์สเปคโตรสโคปี (Fluorescence Spectroscopy)

การวิเคราะห์ฟลูออเรสเซนซ์สเปคโตรสโคปีด้วยเทคนิค Excitation-Emission (EEM) มีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การทำ Calibration standard

ในการวิเคราะห์จะใช้เครื่อง Spectrofluorometer โดยจะทำการเปิดเครื่องปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อให้พลังงานแสงคงที่และเนื่องจากในการเปิดใช้งานเครื่อง Spectrofluorometer แต่ละครั้ง หลอด Xenon จะให้ พลังงานแสงไม่คงที่และไม่เท่ากัน ดังนั้นก่อนทำการวัดและหลังการวัดน้ำตัวอย่างต้องมีการทำ Photometric Stability ของเครื่องทุกครั้งซึ่งจะมีวิธีแตกต่างกันตามรุ่นและชนิดของเครื่อง Spectrofluorometer ที่ใช้

2) การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างใส่ในคิวเว็ตโปร่งแสงทั้งสี่ด้านเพื่อทำการวัดค่า จากนั้นทำการวัดค่า FEEM ของน้ำตัวอย่าง โดยใช้ Excitation wavelength ตั้งแต่ 220 ถึง 600 nm โดยให้ความถี่เพิ่มขึ้นทีละ 5 nm และที่ Excitation wavelength หนึ่งๆจะทำการวัด Emission wavelength ตั้งแต่ 220 ถึง 600 nm ซึ่งมีการกำหนด conditions ต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

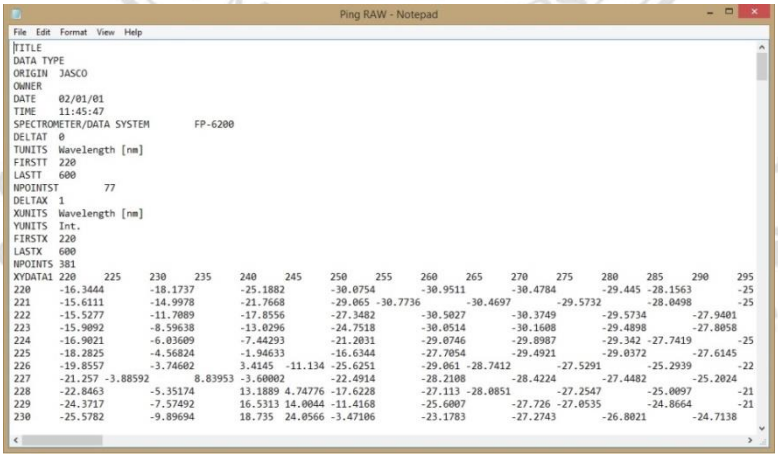
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.2 conditions ของ Spectrofluorometer

Measurement Mode	Emission
Band with excitation	5 nm
Band with emission	5 nm
Response	Fast
Sensitivity	High
Scanning speed	2000 nm/min
Excitation wavelength	Start at 220 nm, end at 600 nm
Emission wavelength	Start at 220 nm, end at 600 nm
Excitation wavelength interval	5 nm
Emission wavelength interval	1 nm

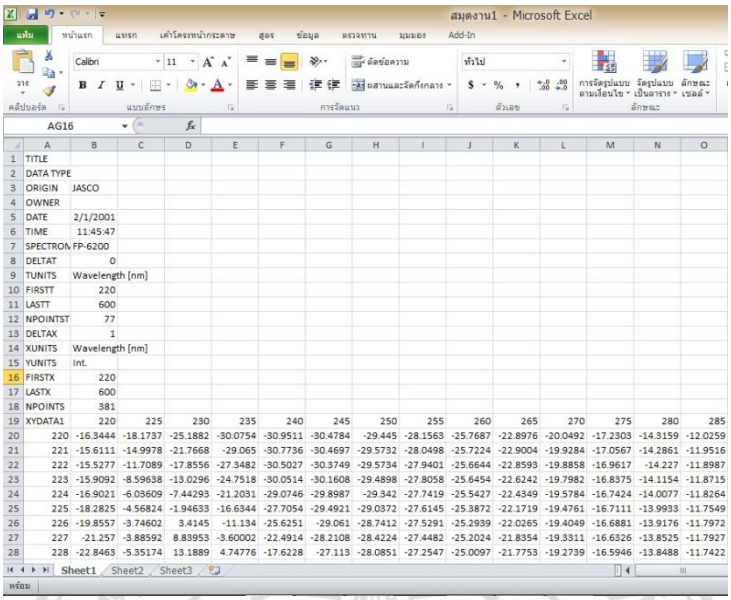
3) การประมวลผลและแสดงผลข้อมูล

ข้อมูลของ EEM ที่ได้จากการทดลองจะอยู่ในรูปแบบฐานข้อมูล Interval Data (*.JWB) และข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปแปลงเป็นฐานข้อมูลในรูปแบบ ASCII (*.TXT) ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ข้อมูลในรูปแบบ ASCII (*.TXT)

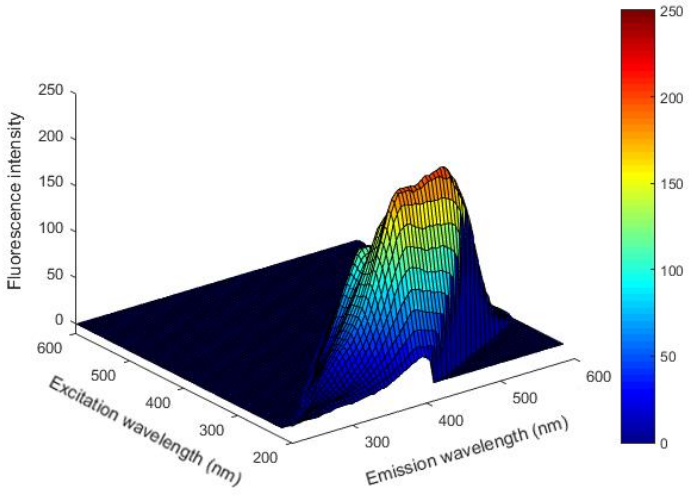
หลังจากนั้นจะนำข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลของความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ Excitation และ Emission ต่างๆเข้าสู่โปรแกรม Excel ดังแสดงในภาพที่ 3.7



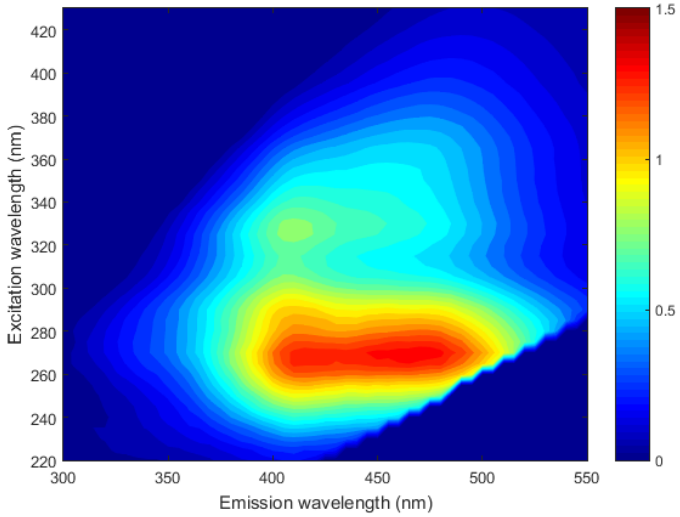
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	TITLE														
2	DATA TYPE														
3	ORIGIN	JASCO													
4	OWNER														
5	DATE	2/1/2001													
6	TIME	11:45:47													
7	SPECTRON	FP-6200													
8	DELTAT	0													
9	TUNITS	Wavelength [nm]													
10	FIRSTT	220													
11	LASTT	600													
12	NPOINTST	77													
13	DELTAX	1													
14	XUNITS	Wavelength [nm]													
15	YUNITS	Int.													
16	FIRSTX	220													
17	LASTX	600													
18	NPOINTS	381													
19	XYDATA1	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285
20	220	-16.3444	-18.1737	-25.1882	-30.0754	-30.9511	-30.4784	-29.445	-28.1563	-25.7687	-22.8976	-20.0492	-17.2303	-14.3159	-12.0259
21	221	-15.6111	-14.9978	-21.7668	-29.065	-30.7736	-30.4697	-29.5732	-28.0498	-25.7224	-22.9004	-19.9284	-17.0567	-14.2861	-11.9516
22	222	-15.5277	-11.7089	-17.8556	-27.3482	-30.5027	-30.3749	-29.5734	-27.9401	-25.6644	-22.8593	-19.8858	-16.9617	-14.227	-11.8987
23	223	-15.9092	-8.59638	-13.0296	-24.7518	-30.0514	-30.1608	-29.4898	-27.8058	-25.6454	-22.6242	-19.7982	-16.8375	-14.1154	-11.8715
24	224	-16.9021	-6.03609	-7.44293	-21.2031	-29.0746	-29.8987	-29.342	-27.7419	-25.5427	-22.4349	-19.5784	-16.7424	-14.0077	-11.8264
25	225	-18.2825	-4.56824	-1.94633	-16.6344	-27.7054	-29.4921	-29.0372	-27.6145	-25.3872	-22.1719	-19.4761	-16.7111	-13.9933	-11.7549
26	226	-19.8557	-3.74602	3.4145	-11.134	-25.6251	-29.061	-28.7412	-27.5291	-25.2939	-22.0265	-19.4049	-16.6881	-13.9176	-11.7972
27	227	-21.257	-3.88592	8.83953	-3.60002	-22.4914	-28.2108	-28.4224	-27.4482	-25.2024	-21.8354	-19.3311	-16.6326	-13.8525	-11.7927
28	228	-22.8463	-5.35174	13.1889	4.74776	-17.6228	-27.113	-28.0851	-27.2547	-25.0097	-21.7753	-19.2739	-16.5946	-13.8488	-11.7422

ภาพที่ 3.7 ข้อมูลของความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ Excitation และ Emission ต่างๆเมื่อนำเข้าสู่โปรแกรม Excel

หลังจากนั้นจะนำข้อมูล Excel มาคำนวณในโปรแกรม Model โดยจะนำค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นของน้ำตัวอย่างมาลบค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นของน้ำ Milli-Q ออก แล้วจึงนำผลที่ได้ไปแสดงในรูปแบบข้อมูลสามมิติหรือแบบ Contour ตัวอย่างข้อมูลในรูปสามมิติและรูปแบบคอนทัวร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.8 และภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ



ภาพที่ 3.9 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบคอนทัวร์

3.2.4 การศึกษาความสามารถในการก่อตัวของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes formation potential, THMFPs) และสารกลุ่มฮาโลอะซิโตไนไตรล์ (Haloacetronitriles formation potential, HANFPs)

การศึกษา THMFPs มีสารประกอบที่ทำการศึกษาทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$), โบรโมไดคลอโรมีเทน ($CHBrCl_2$), ไดโบรโมคลอโรมีเทน ($CHBr_2Cl$) และโบรโมฟอร์ม ($CHBr_3$) ในส่วนของ HANFPs มีสารประกอบที่ทำการศึกษาทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ โมโนคลอโรอะซิไนไตรล์ ($ClCH_2CN$) ไดคลอโรอะซิโตไนไตรล์ (Cl_2CHCN) และไตรคลอโรอะซิโตไนไตรล์ (CCl_3CN)

การศึกษาความสามารถในการก่อตัวของ THMs และ HANs ทำโดยการเติมสารฆ่าเชื้อได้แก่ คลอรีน ลงไปในน้ำตัวอย่าง ในปริมาณที่เหมาะสมและเติมสารละลายฟอสเฟต (phosphate solution) เพื่อรักษาสภาพน้ำให้เป็นกลาง นำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณคลอรีนคงเหลือด้วยวิธีตาม standard method 4500-Cl G. ให้คลอรีนคงเหลืออยู่ในช่วง 3-5 mg/L ตาม standard method 5710 B. (Standard Method, 1995)

หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นระยะเวลา 7 วัน จะนำตัวอย่างมาสกัดโดยใช้ bromofluorobenzene ซึ่งเป็น Internal standard ที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย pentane ลงไปและเขย่าเป็นเวลา 2 นาที ทิ้งไว้ให้เกิดแยกชั้นอย่างน้อย 2 นาทีแล้วดูดเอาเฉพาะสารละลายในชั้นของตัวทำละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สกัด ซึ่งอยู่บริเวณชั้นบนลงในขวดเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ตามวิธี standard method 6232 B. (Standard Method, 1995) และวิเคราะห์ปริมาณ THMs และ HANs ด้วยวิธี Gas Chromatographic method โดยข้อมูลของเครื่องเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี (Gas chromatography, GC) และกำหนด conditions ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 conditions ต่างๆ ของเครื่อง Gas chromatography

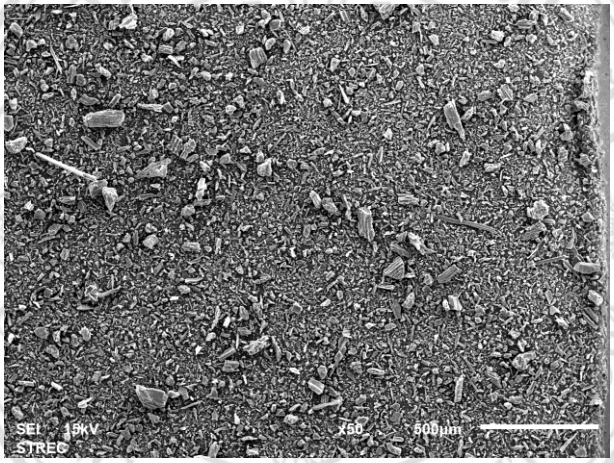
Model	HP 6890 GC
Column	HP-5 5% phenyl Methyl Siloxane Length: 30 m and Diameter: 320 μm Film thickness: 0.25 μm Mode: constant flow Initial flow: 9.6 ml/min Initial pressure: 31.15 psi
Inlet condition	Mode : Split Initial temp: 200 ˚C Pressure: 23.93 psi Split ratio: 50:1 Split flow 99.8 mL/min Gas Type: Helium Total flow: 105 mL/min
Detector Condition	Temperature: 250 ˚C Mode: Constant make up flow Makeup flow: 45.0 mL/min Makeup Gas Type: Nitrogen
Oven Final time duration	Initial : 75 ˚C initial time 0.00 min Ramp 1 : 15 ˚C/min to 130 ˚C for 2 minute Post Run 180 ˚C for 1 minute 6.67 minutes

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

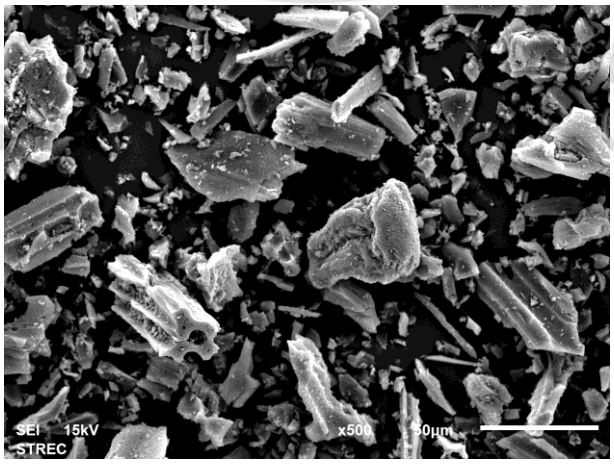
3.3 การศึกษากระบวนการดูดซับ

3.3.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดผงด้วยวิธี BET (Brauner Emmet Teller : BET) พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุด เท่ากับ 647.48 m^2/g ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด เท่ากับ 0.4627 cm^3/g ขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.85 nm การศึกษาลักษณะของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scaning Eletron Microscopy, SEM) ทำให้ทราบลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 3.10

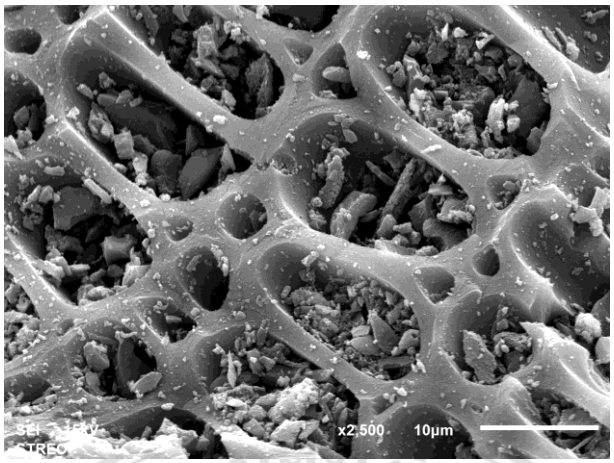


ภาพขยายถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่กำลังขยาย 50 เท่า



ภาพขยายถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่กำลังขยาย 500 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพขยายถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่กำลังขยาย 2500 เท่า

ภาพที่ 3.10 ภาพขยายถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่กำลังขยายต่างๆ

3.3.2 การศึกษาสมดุลการดูดซับ

ทำการชั่งถ่านกัมมันต์ปริมาณ 175 mg, 350 mg และ 700 mg (Juntatipatai, 2013) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 500 ml ที่แต่ละขวดบรรจุน้ำตัวอย่างปริมาตร 350 ml จากนั้นนำขวดบรรจุตัวอย่างไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 200 rpm ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เก็บตัวอย่างครั้งละ 10 mL ที่เวลา 10นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมากรองด้วย 0.45 μm syringe filter และนำไปวิเคราะห์ DOC ในการศึกษาสมดุลการดูดซับจะพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการลดลงของ DOC เพื่อหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับ

3.3.3 การหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

การหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายทำโดยการชั่งถ่านกัมมันต์ 35 mg, 175 mg, 350 mg และ 700 mg ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 500 ml ที่แต่ละขวดบรรจุน้ำตัวอย่างปริมาตร 350 ml จากนั้นนำขวดบรรจุตัวอย่างไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 200 rpm ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาจนเข้าสู่สมดุล แล้วเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ DOC และนำไปพล็อตกราฟระหว่างปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเปอร์เซ็นการกำจัด DOC เพื่อหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับ

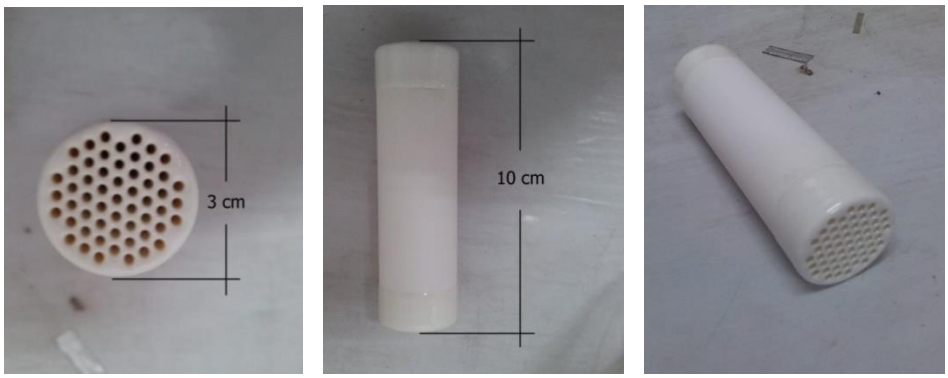
การศึกษาจะปฏิบัติวิธีเดียวกันกับการหาสมดุลการดูดซับ คือ การชั่งถ่านกัมมันต์ปริมาณ 175 mg, 350 mg และ 700 mg ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 500 ml ที่แต่ละขวดบรรจุน้ำตัวอย่างปริมาตร 350 ml จากนั้นนำขวดบรรจุตัวอย่างไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 200 rpm ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เก็บตัวอย่างครั้งละ 10 mL ที่เวลา 10นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมากรองด้วย 0.45 μm syringe filter และนำไปวิเคราะห์ DOC หลังจากนั้นจะทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ในน้ำตัวอย่างและ DOC ที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์และพิจารณาสมการไอโซเทอมที่สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยสังเกตุจากค่า R^2 ของแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์หรือแบบจำลองการดูดซับของฟรุนดลิช ในการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับก็จะปฏิบัติวิธีเดียวกันโดยพิจารณาจลนศาสตร์การดูดซับจาก สมการปฏิกิริยาอันดับ 1 (First order reaction) ปฏิกิริยาอันดับ 2 (Second order reaction) ปฏิกิริยาอันดับ 3 (Third order reaction) ปฏิกิริยา Pseudo first order และ ปฏิกิริยา Pseudo second order

3.4 การศึกษากระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน

3.4.1 ลักษณะของเซรามิกเมมเบรน

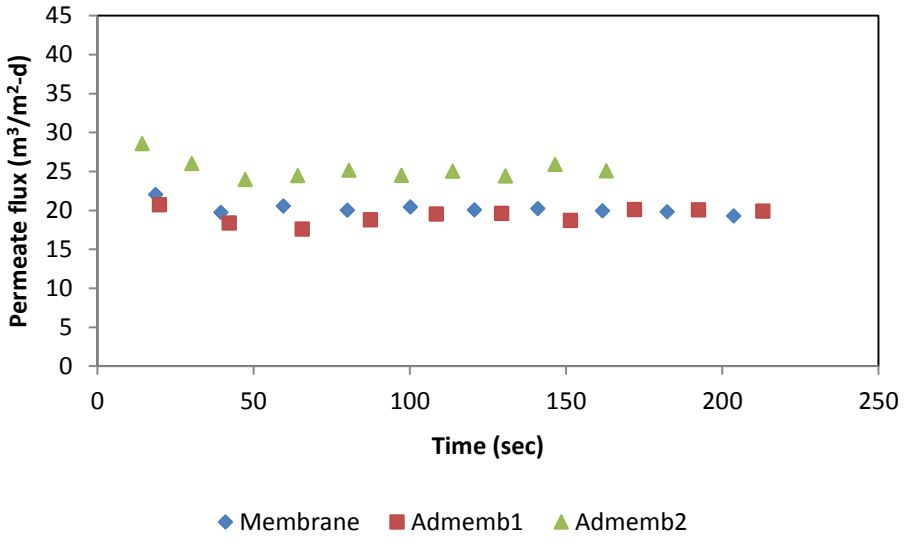
การศึกษาจะใช้เซรามิกเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนเท่ากับ 0.1 ไมครอน มีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 0.0042 ตารางเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร ลักษณะของเซรามิกเมมเบรนดังแสดงในภาพที่ 3.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.11 ลักษณะเซรามิกเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษาจะใช้เซรามิกเมมเบรนจำนวน 3 แท่งตามกระบวนการบำบัด ได้แก่ กระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน(Membrane) กระบวนการดูดซับและเซรามิกเมมเบรนแบบปล่อยให้ PAC ตกตะกอน (AdMemb1) และกระบวนการดูดซับและเซรามิกเมมเบรนแบบไม่ปล่อยให้ PAC ตกตะกอน (AdMemb2) โดยการหาฟลักซ์ของน้ำสะอาดจะทำการบันทึกระยะเวลาที่ใช้ ทุกๆ 200 mL ของเพอมิเอต จนปริมาตรครบทั้งหมด 2 L แล้วจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณฟลักซ์โดยใช้ปริมาตรน้ำหารด้วยผลคูณระหว่าง พื้นที่ผิวของเมมเบรนและระยะเวลาที่ใช้ เพอมิเอตฟลักซ์ของน้ำสะอาดดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 เพอมิเอตฟลักซ์ของเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

เมื่อพิจารณาเพอมิเอตฟลักซ์ของน้ำสะอาดของเมมเบรนที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยกระบวนการ Membrane และ AdMemb1 พบว่ามีฟลักซ์ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 18

m^3/m^2-d ถึง 20 m^3/m^2-d ในขณะที่เพอมิเอตฟลักซ์ของน้ำสะอาดของเมมเบรนที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยกระบวนการ AdMemb2 จะมีค่าสูงกว่าอยู่ในช่วงประมาณ 22 m^3/m^2-d ถึง 25 m^3/m^2-d

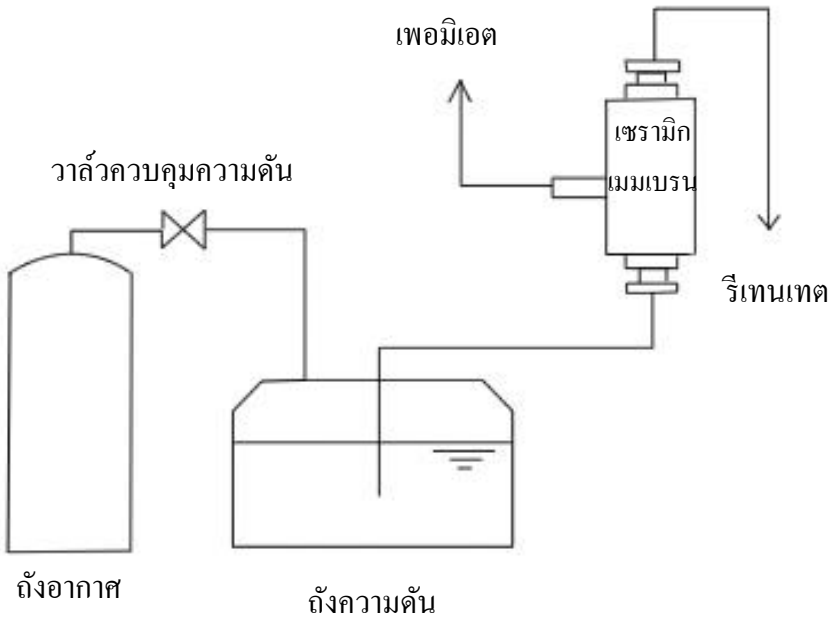
3.5 การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย

3.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยการดูดซับ (PAC adsorption)

หลังจากได้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม ปริมาณดังกล่าวจะถูกใช้ในการดำเนินกระบวนการดูดซับ และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ได้จากการศึกษาสมดุลการดูดซับ กระบวนการดังกล่าวจะทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 200 rpm และควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C

3.5.2 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยเซรามิกเมมเบรน (Ceramic membrane)

การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยเซรามิกเมมเบรน น้ำตัวอย่างจะถูกใส่ไว้ในถังความดัน และใช้แรงดันอากาศเป็นตัวผลักดัน โดยดำเนินระบบที่ความดันเท่ากับ 0.1 MPa ให้น้ำเข้าสู่เส้นท่อและเกิดการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนกระบวนการดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 3.11



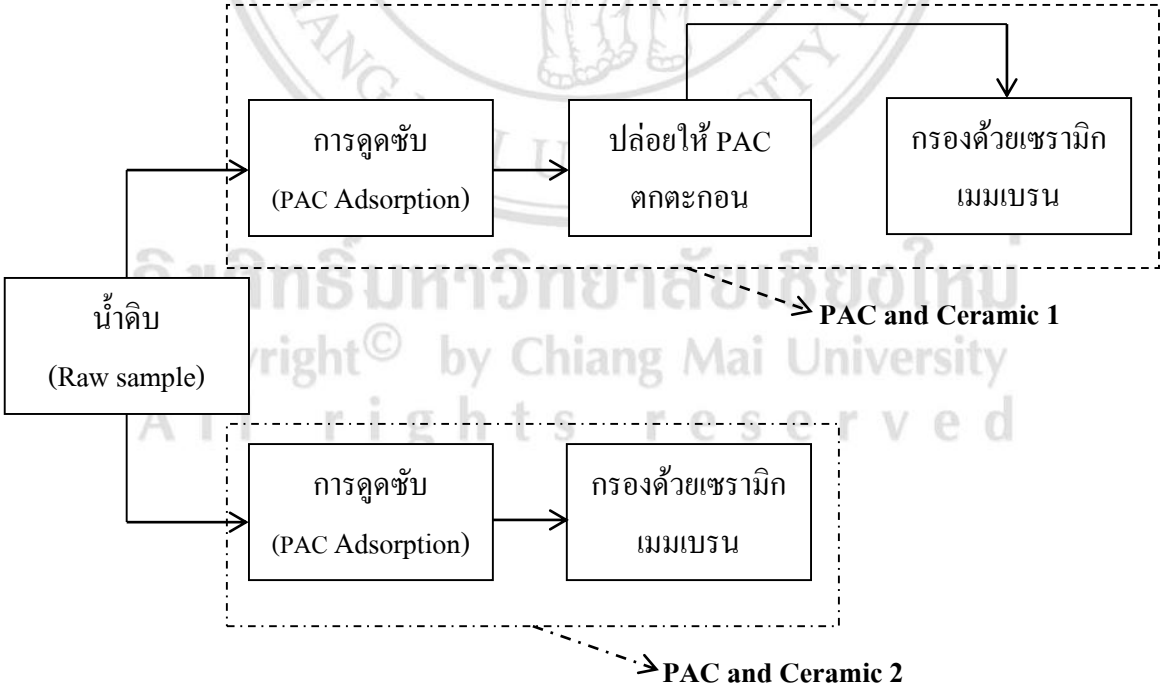
ภาพที่ 3.13 การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน

3.5.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยการดูดซับและเซรามิกเมมเบรน (PAC and Ceramic)

การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยการดูดซับและเซรามิกเมมเบรน (PAC and Ceramic) เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำตัวอย่างโดยเริ่มจากการใช้กระบวนการดูดซับจนเสร็จสิ้นกระบวนการ แล้วน้ำตัวอย่างจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยกระบวนการดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ

1) รูปแบบที่ 1 (PAC and Ceramic 1) หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดูดซับจะทำการปล่อยให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอนประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนนำส่วนน้ำใสไปเข้าสู่การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน

2) รูปแบบที่ 2 (PAC and Ceramic 2) หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดูดซับจะนำน้ำตัวอย่างเข้าสู่การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรนโดยไม่ปล่อยให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอน การกำจัดสารอินทรีย์ละลายทั้ง 2 รูปแบบแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.14 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยการดูดซับและเซรามิกเมมเบรน รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาได้รวบรวมและสรุปไว้ในตารางที่ 3.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
pH และ อุณหภูมิ	วัดโดยตรง	pH meter (HORIBA pH METER F-21)
ออกซิเจนละลาย	วัดโดยตรง	Dissolved oxygen meter (Oxi 3205)
ความขุ่น	วัดโดยตรง	Turbidimeter (TURB 430T)
ความเป็นด่าง	Titration method (Standard method 2320 B.)	-
ค่าการนำไฟฟ้า	วัดโดยตรง	Conductometer (handy lab LF1SCHOTT)
NH_3-N และ TKN	Phenate method (Standard method 4500 NH_3 F.)	-
NO_2-N และ NO_3-N	Cadmium reduction method และ Diazotization method	Portable spectrophotometer (HACH DR/890 colorimeter)
DIN, TDN และ DON	การคำนวณ*	-
UV-254	วัดโดยตรง	UV/VIS spectrophotometer (Perkin-Elmer Model Lambda 25)
DOC	Wet oxidation method (Standard method 5310 D.)	O.I. analytical 1010 TOC analyze
SUVA	การคำนวณ*	-
FEEM	-	Spectrofluorometer (JASCO รุ่น FP – 6200)
THMFPs และ HANFPs	Standard method 5710 B., Standard method 4500-Cl B., Standard method 6232 B.	HP 6890 GC

* วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved