สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน	3
2.1.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ	3
2.1.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ	3
2.1.3 ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	4
2.2 กระบวนการแยกชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เรซิน	7
2.3 ลักษณะทางเคมีของสารไตรฮาโลมีเทน	8
2.3.1 ความเป็นพิษของไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs)	9
2.3.2 กลไกการเกิดพิษของ THMs	9
2.3.3 ความเป็นพิษของสารประกอบ THMs แต่ละชนิด	10
2.3.4 เส้นทางปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ในกระบวนการบำบัดน้ำ	14
2.4 Trihalomethane formation potential	16
2.5 Uniform formation Condition	17
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด THMs	17
2.6.1 เวลาสัมผัส	17
2.6.2 ปริมาณสารคลอรีน	17
2.6.3 ความขุ่น	18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

2.6.4 อุณหภูมิของน้ำ 18
2.6.5 พีเอช 18
2.6.6 ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 18
2.7 การลดสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน 19
2.7.1 Coagulation, Flocculation, Sedimentation and Filtration 19
2.7.2 Coagulants 19
2.7.3 การลดสารอินทรีย์ละลายน้ำโดยใช้สารส้มในกระบวนการ โคแอกกูเลชัน 20
2.8 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง 20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 25
3.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง 25
3.1.1 อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 25
3.1.2 เขื่อนภูมิพล 26
3.2 กระบวนการทดลอง 27
3.2.1 หาค่าพีเอชและปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมสำหรับ กระบวนการ โคแอกกูเลชัน 27
3.2.2 การแยกชนิดสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำชนิดชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ 27
3.3 กระบวนการ โคแอกกูเลชัน 30
3.3.1 กระบวนการทดลองจาร์เทสต์ 30
3.3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองจาร์เทสต์ 30
3.3.3 สารส้ม 30
3.4 กระบวนการ Resin Fractionation 31
3.5 วิธีวิเคราะห์และเครื่องมือ 32
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการทดลอง 41
4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะและเขื่อนภูมิพล 41
4.2 การกำจัด DOC และ SUVA โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ปริมาณสารส้มและควบคุมค่าพีเอชที่แตกต่างกัน 42

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

4.3 ค่าพีเอชและปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสารอินทรีย์ 46

4.4 การกระจายมวลของสารอินทรีย์ในรูปของ DOC ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน 48

4.5 การลด Trihalomethane formation potential โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม 52

4.6 การทดสอบหาปริมาณ THMs โดยใช้วิธี Uniform formation condition 55

4.7 สารประกอบ THMs 60

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ กับ THMFP 64

4.9 Three-dimensional fluorescent spectroscopy (excitation-emission matrix, EEM) ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน รวมถึงน้ำที่ผ่านกระบวนการ fraction 67

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง EEM กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 78

4.10.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้น กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 78

4.10.2 ความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ fluorescent excitation กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 82

4.11 การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ EEM เพื่อหาค่า DOC และ THMFP และการลดลงของ DOCและ THMFP โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 89

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 90

เอกสารอ้างอิง 93

ภาคผนวก 98

ภาคผนวก ก Calibration data และcurve 99

ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการทดลอง 106

ภาคผนวก ค การประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ EEM กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 135

ประวัติผู้เขียน 139

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน	5
2.2	ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ผ่านการ fraction และกลุ่มทางเคมี	8
2.3	ข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน	13
3.1	สภาวะที่ใช้ในการทดลอง jar-test	30
4.1	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะและเขื่อนภูมิพล	42
4.2	การกระจายมวลของ DOM ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน	49
4.3	THMFP ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation	54
4.4	UFC-TTHM ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation	57
4.5	สารประกอบ THMs ที่ได้จากการทดลอง UFC-TTHM ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะและเขื่อนภูมิพล และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา	59
4.6	สารประกอบ THMs ที่ได้จากการทดลอง THMFP และเปอร์เซ็นต์การกำจัดของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะและเขื่อนภูมิพล	61
4.7	สารประกอบ THMs ที่ได้จากการทดลอง UFC-TTHM และเปอร์เซ็นต์การกำจัดของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะและเขื่อนภูมิพล	62
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP	66
4.9	ความเข้มแสงของฟลูออเรสเซ้นที่มีค่าสูง ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะและเขื่อนภูมิพล	77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างของสารประกอบ humic	4
2.2	ช่วงค่าต่างๆของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ	5
2.3	เส้นทางปฏิกิริยา Haloform	14
2.4	ปฏิกิริยาขั้นพื้นฐานของ chloroform ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการบำบัดน้ำ	15
2.5	อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างไม่มี free chlorine	16
2.6	อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างมี free chlorine	16
3.1	บริเวณอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ ภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	25
3.2	แผนที่แสดงที่ตั้งของเขื่อนภูมิพลและบริเวณเขื่อนภูมิพล	26
3.3	แผนผังการดำเนินการทดลอง	29
3.4	แผนผังกระบวนการ Fractionation	32
3.5	แสดงผลของ Excitation-Emission Matrix (EEM) ในรูปแบบสามมิติ	34
3.6	แสดงผล Excitation-Emission Matrix (EEM) ของน้ำตัวอย่างในรูปแบบ Contour	34
3.7	ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลของ EEM ที่ได้จากการทดลอง	36
3.8	แสดงผล EEM ของน้ำ Milli-Q ในรูปแบบ contour ที่วัดได้จากเครื่อง Spectrofluorometer	37
3.9	แสดงผลของ EEM ในรูปแบบฐานข้อมูล ASCII (*.TXT)	37
3.10	แสดงผลของ EEM ในรูปแบบฐานข้อมูล Excel	38
3.11	แสดงการประมวลผลในโปรแกรม Model	38
3.12	แสดงการประมวลผลในโปรแกรม SigmaPlot	39
3.13	แสดงผล EEM ของน้ำตัวอย่างในรูปแบบ contour ที่ได้จากโปรแกรม sigma plot	39
4.1	ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัด DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ปริมาณสารส้มและควบคุมค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ	43

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป หน้า

4.2 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัด DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ปริมาณสารส้มและควบคุมค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำตัวอย่างจากเขื่อนภูมิพล 44

4.3 ค่า SUVA คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัด SUVA ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ปริมาณสารส้มและควบคุมค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 45

4.4 ค่า SUVA คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัด SUVA ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ปริมาณสารส้มและควบคุมค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำตัวอย่างจากเขื่อนภูมิพล 46

4.5 DOC Distribution ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน รวมถึงสารอินทรีย์ Hydrophilic และ Hydrophobic และการลดลงของสารดังกล่าวโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 50

4.6 DOC Distribution ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน รวมถึงสารอินทรีย์ Hydrophilic และ Hydrophobic และการลดลงของสารดังกล่าวโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 51

4.7 THMFP ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 52

4.8 THMFP ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 53

4.9 UFC-TTHM ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 55

4.10 UFC-TTHM ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 56

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนผ่านกระบวนการแฟรกชันและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชันกับ THMFP 65

4.12 EEM ในรูปแบบสามมิติ ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ, 2 QSU 68

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป หน้า

4.13 EEM ในรูปแบบ contour ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ,2 QSU 69

4.14 ตำแหน่งของ EEM ที่มีค่าสูงและขอบเขตของความยาวคลื่น Excitation และ Emission สำหรับ EEM ทั้ง 5 ส่วน (region) 70

4.15 EEM ในรูปแบบสามมิติ ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำจากเขื่อนภูมิพล,2 QSU 72

4.16 EEM ในรูปแบบ contour ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำจากเขื่อนภูมิพล,2 QSU 73

4.17 ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้น ที่ 260/420 nm (excitation / emission) ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 74

4.18 ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้น ที่ 330/400 nm (excitation / emission) ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 75

4.19 ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้น ที่ 260/420 nm (excitation / emission) ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 76

4.20 ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้น ที่ 330/410 nm (excitation / emission) ของน้ำดิบ น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและน้ำที่ผ่านกระบวนการ Resin fractionation ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 76

4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 330 nm/400 nm กับ DOC ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 79

4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 260 nm/420 nm กับ UV-254 ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 79

4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 330 nm/400 nm กับ THMFP ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 79

4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 330 nm/400 nm กับ UFC-TTHM ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 79

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป หน้า

4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 260 nm/420 nm กับ DOC ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 81

4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 260 nm/420 nm กับ UV-254 ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 81

4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 260 nm/420 nm กับ THMFP ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 81

4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ 330 nm/410 nm กับ UFC-TTHM ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 81

4.29 ความเข้มแสง fluorescent ในหน่วย QSU ของน้ำดิบ น้ำ Milli-Q และน้ำดิบหลังลบน้ำ Milli-Q ออก ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะที่ความยาวคลื่น excitation 260 nm (ก .ส่วน A-A) และที่ 330 nm (ข. ส่วนB-B) กับความยาวคลื่น emission ในช่วงระหว่าง 220 nm และ 600 nm 83

4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ DOC ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 85

4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ UV-254 ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 85

4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ THMFP ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 85

4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ UFC-TTHM ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 85

4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ DOC ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 88

4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ UV-254 ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 88

4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ THMFP ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 88

4.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใต้กราฟที่ excitation 330 nm กับ UFC-TTHM ของน้ำจากเขื่อนภูมิพล 88

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved