สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย จ

ABSTRACT ช

สารบัญตาราง ฎ

สารบัญภาพ ฑ

อักษรย่อและสัญลักษณ์ ด

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 5

2.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ 5

2.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ 5

2.3 พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ 6

2.4 ฟลูออเรสเซนต์สเปคโตรสโคปี 7

2.5 ผลิตผลพลอยได้จากการทำปฏิกิริยาของสารฆ่าเชื้อกับสารอินทรีย์ในน้ำ 13

2.6 ไตรฮาโลมีเทน 15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.7	ฮาโลอะซิโตไนไตรล์	17
2.8	ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	19
2.9	การแยกแฟรกชันด้วยเรซิน	20
2.10	การดูดซับ	20
2.11	ถ่านกัมมันต์	27
2.12	กระบวนการเมมเบรน	29
2.13	เซรามิกเมมเบรน	33
2.14	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย	42
3.1	แหล่งน้ำที่ใช้ในการวิจัย	44
3.2	กระบวนการวิจัย	46
3.3	การศึกษากระบวนการดูดซับ	55
3.4	การศึกษากระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน	57
3.5	การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	59
3.6	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์	61
บทที่ 4	ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	63
4.1	คุณลักษณะน้ำดิบ	63
4.2	การศึกษาสมดุลการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ไอโซเทอมและจลนศาสตร์การดูดซับ	74
4.3	การกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	78
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์	95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 99

5.1 สรุปผลการวิจัย 99

5.2 ข้อเสนอแนะ 100

เอกสารอ้างอิง 101

ภาคผนวก 114

ภาคผนวก ก ข้อมูลจากการการวิจัย 114

ภาคผนวก ข Calibration curve 129

ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณ 134

ประวัติผู้เขียน 136

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ช่วง Excitation (nmEx)/Emission (nmEx) กับลักษณะของสารอินทรีย์ 12
ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อตัวของ THMs 16
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่าง ชื่อและโครงสร้างของสารประกอบ THMs 17
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่าง ชื่อและโครงสร้างของสารประกอบ HANs 18
ตารางที่ 2.5 มาตรฐานค่าความเข้มข้นสูงสุด ของ DBPs ในน้ำประปา 19
ตารางที่ 2.6 การแบ่งลักษณะกลุ่มทางเคมีของสารอินทรีย์หลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน 20
ตารางที่ 2.7 การใช้งาน ข้อดี ข้อเสีย ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ด 27
ตารางที่ 2.8 ข้อดีและข้อจำกัดของเซรามิกเมมเบรน 34

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด 47
ตารางที่ 3.2 conditions ต่างๆ ของ Spectrofluorometer 51
ตารางที่ 3.3 conditions ต่างๆ ของเครื่อง Gas chromatography 54
ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 62

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากแม่น้ำปิง 63
ตารางที่ 4.2 สมดุลมวลของ DOC และ DON 66
ตารางที่ 4.3 การก่อตัวของ THMs ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิง 68
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนของสารประกอบ THMs ที่ตรวจพบ 70
ตารางที่ 4.5 การก่อตัวของ THANFPs ของน้ำดิบจากแม่น้ำปิง 72
ตารางที่ 4.6 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ DBPs 73
ตารางที่ 4.7 Linear equation และ R2 ของไอโซเทอมการดูดซับ 76
ตารางที่ 4.8 Linear equation และ R2 ของจลนศาสตร์การดูดซับ 77
ตารางที่ 4.9 ปริมาณ DOC และ DON ที่เหลือหลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 79
ตารางที่ 4.10 เปอเซ็นต์การลดลงของ DOC และ DON เมื่อผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 80
ตารางที่ 4.11 UV-254 และ SUVA หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.12 การก่อตัวของ THMs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 88
ตารางที่ 4.13 การลดลงของ TTHMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 91
ตารางที่ 4.14 การก่อตัวของ HANs หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 93
ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFPs 97

ตารางที่ ก-1 ลักษณะน้ำดิบของแม่น้ำปิง 114
ตารางที่ ก-2 ปริมาณสารอินทรีย์ละลายในน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย 115
ตารางที่ ก-3 การก่อตัวของ THMs และ HANs 116
ตารางที่ ก-4 การศึกษาการดูดซับ 117
ตารางที่ ก-5 Adsorption / desorption isotherm 118
ตารางที่ ก-6 การศึกษา BET 121
ตารางที่ ก-7 เพอมิเอตฟลักซ์ของ miliQ
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane 123
ตารางที่ ก-8 เพอมิเอตฟลักซ์ของน้ำตัวอย่าง
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย Ceramic membrane 123
ตารางที่ ก-9 เพอมิเอตฟลักซ์ของ miliQ
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC and Ceramic 1 124
ตารางที่ ก-10 เพอมิเอตฟลักซ์ของน้ำตัวอย่าง
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC and Ceramic 1 125
ตารางที่ ก-11 เพอมิเอตฟลักซ์ของ miliQ
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC and Ceramic 2 127
ตารางที่ ก-12 เพอมิเอตฟลักซ์ของน้ำตัวอย่าง
ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วย PAC and Ceramic 2 128

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ฟลูออเรสเซนซ์สเปคโตรสโคปี	8
ภาพที่ 2.2	Jablonski energy diagram	8
ภาพที่ 2.3	Excitation – emission matrix	11
ภาพที่ 2.4	ปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์และสารฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิด DBPs	14
ภาพที่ 2.5	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าสู่ตัวดูดซับ	22
ภาพที่ 2.6	หลักการของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน	28
ภาพที่ 2.7	ประสิทธิภาพของกระบวนการเมมเบรน	29
ภาพที่ 2.8	การกรองแบบปิดตาย	30
ภาพที่ 2.9	กระบวนการกรองแบบไหลขวาง	31
ภาพที่ 2.10	ลักษณะโครงสร้างของเซรามิกเมมเบรน	34
ภาพที่ 3.1	ขั้นตอนในการวิจัย	43
ภาพที่ 3.2	บริเวณที่ทำการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อใช้ในงานวิจัย	44
ภาพที่ 3.3	แม่น้ำปิง	45
ภาพที่ 3.4	คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกแฟรกชัน	48
ภาพที่ 3.5	กระบวนการแยกแฟรกชันด้วยเรซิน	49
ภาพที่ 3.6	ข้อมูลในรูปแบบ ASCII (*.TXT)	51
ภาพที่ 3.7	ข้อมูลของความเข้มแสงฟลูออเรสเซ้นที่ Excitation และ Emission ต่างๆ เมื่อนำเข้าสู่โปรแกรม Excel	52
ภาพที่ 3.8	การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ	52
ภาพที่ 3.9	การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบคอนทัวร์	53
ภาพที่ 3.10	ภาพขยายถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่กำลังขยายต่างๆ	56
ภาพที่ 3.11	ลักษณะเซรามิกเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัย	58
ภาพที่ 3.12	เพอมิเอตฟลักซ์ของเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	58
ภาพที่ 3.13	การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน	59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.14	การกำจัดสารอินทรีย์ละลายด้วยการดูดซับและเซรามิกเมมเบรน รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2	60
ภาพที่ 4.1	สัดส่วนสารอินทรีย์ละลายชนิด HPI และHPO เมื่อพิจารณา DOC	66
ภาพที่ 4.2	ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโคปีของน้ำดิบจากแม่น้ำปิง	67
ภาพที่ 4.3	การก่อตัวของ THMs ในน้ำดิบ	69
ภาพที่ 4.4	สัดส่วนของสารประกอบ THMs ที่ตรวจพบ	70
ภาพที่ 4.5	การก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะ	71
ภาพที่ 4.6	การก่อตัวของ HANsในน้ำดิบ	73
ภาพที่ 4.7	สมดุลการดูดซับ	74
ภาพที่ 4.8	การกำจัด DOC ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างๆ	75
ภาพที่ 4.19	ไอโซเทอมการดูดซับตามสมการแลงเมียร์	76
ภาพที่ 4.10	Pseudo-first order ของการดูดซับ	77
ภาพที่ 4.11	ปริมาณ DOC ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	79
ภาพที่ 4.12	ปริมาณ DON ก่อนและหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	80
ภาพที่ 4.13	UV-254 หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	82
ภาพที่ 4.14	SUVA หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย	82
ภาพที่ 4.15	FEEM ของน้ำดิบ	84
ภาพที่ 4.16	FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ด้วย Ceramic membrane	84
ภาพที่ 4.17	FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ด้วย PAC adsorption	85
ภาพที่ 4.18	FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ด้วย PAC and Ceramic 1	85

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.19 FEEM ของน้ำตัวอย่างหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ด้วย PAC and Ceramic 2 86

ภาพที่ 4.20 THMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (UNF) 89

ภาพที่ 4.21 THMFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในน้ำตัวอย่างหลักแยกแฟรกชันเป็น HPI 89

ภาพที่ 4.22 THMFPsหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชันเป็น HPO 90

ภาพที่ 4.23 การก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชั่นเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPI 92

ภาพที่ 4.24 การก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจำเพาะหลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในน้ำตัวอย่างหลังแยกแฟรกชั่นเป็นสารอินทรีย์ชนิด HPO 92

ภาพที่ 4.25 HANFPs หลังผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในน้ำตัวอย่างก่อนแยกแฟรกชัน (UNF) 94

ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ UV-254 99

ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ TTHMFPs 99

ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ $CHCl_3$ 99

ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 และ TTHMFPs 99

ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 และ $CHCl_3$ 100

ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC/DON และ TTHMFPs 100

ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC/DON และ $CHCl_3$ 100

ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC/DON และ THANs 100

ภาพที่ ก-1 Adsorption / desorption isotherm 120

ภาพที่ ก-2 การศึกษา BET 122

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

NOM	Natural organic matter
DOM	Dissolve organic matter
DBPs	Disinfection by-products
DOC	Dissolve organic carbon
POM	Particulate organic matter
DON	Dissolve organic nitrogen
UV-254	Ultraviolet absorbance at 254 nm
SUVA	Specific ultraviolet absorbance
C-DBPs	Carbon-containing disinfection by-products
N-DBPs	Nitrogen-containing disinfection by-products
THMs	Trihalomethanes
$CHCl_3$	Chloroform
$CHBrCl_2$	Bromodichloromethane
$CHBr_2Cl$	Dibromochloromethane
$CHBr_3$	Bromoform

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

HANs	Haloacetonitriles
$ClCH_2CN$	Monochloroacetonitrile
Cl_2CHCN	Dichloroacetonitrile
CCl_3CN	Trichloroacetonitrile
HPI	Hydrophilic
HPO	Hydrophobic
PAC	Powder activated carbon
UF	Ultrafiltration
L/mg-m	Liter per milligram-meter
µg/L	Microgram per liter
µm	Micrometer
mg/L	Milligram per liter
nm	Nanometer
NTU	Nepheo turbidity unit

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved