



การกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบประปาจากคลองอุตะเถา
Removal of Hydrophilic and Hydrophobic Organic Fraction in Raw Water
Supply from U-Tapao Canal

กมลนาวิน อินทนูจิตร์

Kamonnawin Inthanuchit

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Environmental Engineering
Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบประปาจาก คลองอู่ตะเภา
ผู้เขียน	นาย กมลนาวิน อินทนูจิตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	พ.ศ.2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำด้วยการวิเคราะห์การลดของสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (dissolved organic matter, DOC) และ trihalomethane formation potential (THMFP) โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminum chloride, PACl) ร่วมกับ Polymer และ ถ่านกัมมันต์แบบผง (powder activated carbon, PAC) ตลอดจนการใช้กระบวนการ advanced oxidation ด้วย ozone โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค บริเวณ คลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำถูกแยกโดยใช้เรซินชนิด DAX-8 ค่า DOC ของน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 10.7 และ 6.9 mg/L ตามลำดับ ส่วน DOC ของสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 5.5 และ 4.8 mg/L ตามลำดับ ค่าดังกล่าวของน้ำในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 3.4 และ 3.1 mg/L ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า THMFP พบว่า THMFP ของน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 749.7 และ 556.9 µg/L ตามลำดับ THMFP ของสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 432 และ 316.6 µg/L ตามลำดับ ส่วนค่าดังกล่าวของน้ำในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 318.9 และ 237.1 µg/L ตามลำดับ ผลการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl 40 mg/L และ ควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ลดค่า DOC ในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 54 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสภาวะที่ดีที่สุดในการลดสารอินทรีย์ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งคือ กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl 40 mg/L ร่วมกับ Polymer 1 mg/L และ PAC 80 mg/L โดยลดค่า DOC ในฤดูฝนและฤดูแล้งได้เท่ากับ 87 และ 73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และลดค่า DOC ของสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 79 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตลอดจนลดค่า DOC ของสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 93 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการลด THMFP นั้น ที่สภาวะที่ดีที่สุดลดค่า THMFP ในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 49 และ 57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และลดค่า THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 77 และ 81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตลอดจนลด THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 94 และ 96

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองของทุกระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า สารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำถูกกำจัดได้มากกว่าสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ เช่นเดียวกับค่า THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำถูกกำจัดได้มากกว่าชนิดชอบน้ำ เมื่อพิจารณาสารประกอบไตรฮาโลมีเทน (THMs) พบว่าคลอโรฟอร์มเป็นสารประกอบหลักของ THMs รองลงมาคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ตามลำดับ จากผลการประยุกต์ใช้ fluorescent excitation-emission matrix พบว่าในน้ำดิบประปามีความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์มีค่าสูงชัดเจนที่ตำแหน่ง $240\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$, $260\text{nm}_{\text{Ex}}/360\text{nm}_{\text{Em}}$ และ $280\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$ ซึ่งเป็นตัวแทนกลุ่มเทปโตฟาน และ $280\text{nm}_{\text{Ex}}/410\text{nm}_{\text{Em}}$ ซึ่งเป็นตัวแทนกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิด

Thesis Title	Removal of Hydrophilic and Hydrophobic Organic Fraction in Raw Water Supply from U-Tapao Canal
Author	Mr. Kamonnawin Inthanuchit
Major Program	Master of Engineering Program in Environment Engineering
Academic Year	2009

ABSTRACT

The aim of this research was to remove hydrophobic organic (HPO) and hydrophilic organic (HPI) fractions in term of dissolved organic carbon (DOC) and trihalomethane formation potential (THMFP) by polyaluminum chloride (PACl) coagulation with polymer and powder activated carbon (PAC), as well as advance oxidation process by ozone. Raw water supply was collected from pumping station of Hat Yai Water Treatment Plant, U-Tapao canal, Songkhla Province, Thailand in rainy and dry seasons. HPO and HPI were fractionated by using DAX-8 resin. DOC of raw water in rainy and dry seasons were 10.7 and 6.9 mg/L, respectively, whereas DOC_{HPI} and DOC_{HPO} in rainy and dry seasons were 5.5 and 4.8 mg/L and 3.4 and 3.1 mg/L, respectively. From the PACl coagulation experiments, the optimal coagulation for DOC removal was observed at PACl dosage of 40 mg/L and controlled pH at 7 for both rainy and dry seasons. At this condition, it could remove DOC by 54 and 57 percent, respectively. The best condition for DOC removal was obtained by using PACl dosage of 40 mg/L together with polymer 1 mg/L and PAC 80 mg/L; it could remove DOC in rainy and dry seasons by 87 and 73 percent, respectively. Considering the HPO and HPI reductions at the best condition, it could remove DOC_{HPI} in rainy and dry seasons by 79 and 65 percent, respectively, and could remove DOC_{HPO} in rainy and dry seasons by 93 and 80 percent, respectively. For THMFP reduction at the best condition, it could reduce THMFP in rainy and dry seasons by 49 and 57 percent, respectively. In addition, it could reduce $THMFP_{HPI}$ in rainy and dry seasons by 77 and 81 percent, respectively, and could reduce $THMFP_{HPO}$ in rainy and dry seasons by 94 and 96 percent, respectively. The percentage removal of DOC_{HPO} was considerably higher than that of DOC_{HPI} . In addition, the percentage reduction of $THMFP_{HPO}$ was considerably higher than that of $THMFP_{HPI}$ in both in rainy and dry seasons. Chloroform was found as the major THM specie

followed by dichlorobromoform, dibromochloroform, bromoform, respectively. Concerning the application of fluorescent excitation-emission matrix, fluorescent peaks A, B, C, and D at $240\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$, $260\text{nm}_{\text{Ex}}/360\text{nm}_{\text{Em}}$, $280\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$, and $280\text{nm}_{\text{Ex}}/410\text{nm}_{\text{Em}}$ were detected in the raw water, respectively. The putative origins of A, B and C were typtophan-like substances, whereas that of peak D was humic and fulvic acid-like substances.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ในการให้คำปรึกษา แนะนำแนวคิด ตลอดจนช่วยในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงเป็นที่ปรึกษาในทุกๆ ด้านทั้งการดำเนินชีวิตและการเรียน ทำให้ผู้เขียนมีการพัฒนาการดำเนินชีวิตและการเรียนรู้เป็นอย่างดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พยอม รัตนมณี ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พิชน์ไพบูลย์ ประธานกรรมการบริหารหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้โอกาสในการศึกษาในสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและมอบความรู้ รวมถึงข้อแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ นักศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโทและนักวิจัยภายใต้ทีมวิจัยเทคโนโลยีและการจัดการทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่เป็นแรงผลักดันในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ สิ่งสำคัญที่สุด ผู้เขียนขอกราบแทบเท้าและน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและสมาชิกในครอบครัว รวมถึงบุคคลที่ผู้เขียนนับถือ ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้มีความกล้าและฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ ที่ผ่านเข้ามาในชีวิต และสามารถผ่านพ้นไปได้จนสำเร็จการศึกษา

กมลนาวิน อินทนูจิตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(15)
รายการภาพประกอบ	(22)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(29)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน	4
2.1.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ	4
2.1.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ	4
2.1.3 ฮิวมิก	5
2.1.4 คัดนี้ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ	6
Total Organic Carbon (TOC)	7
Dissolved Organic Carbon (DOC)	8
UV Absorbance at Wavelength 254-nm (UV-254)	8
Specific Ultraviolet Absorption (SUVA)	9
Three-dimensional fluorescence spectroscopy (fluorescent excitation-emission matrix, FEEM)	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.5 กระบวนการแยก (Fractionation) ชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำโดย เรซิน	10
2.2 คลอรีน	13
2.2.1 ประวัติความเป็นมา	13
2.2.2 การทำคลอรีนชั้น	14
2.2.3 สารตกค้างในน้ำประปาเนื่องจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	23
2.3 ไตรฮาโลมีเทน	23
2.3.1 ลักษณะทางเคมีของสารไตรฮาโลมีเทน	23
2.3.2 ความเป็นพิษของไตรฮาโลมีเทน	25
2.3.3 กลไกการเกิดพิษของไตรฮาโลมีเทน	25
2.3.4 ความเป็นพิษของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนแต่ละชนิด	26
Chloroform	26
Bromodichloromethane	27
Dibromochloromethane	28
Bromoform	29
2.3.5 ปฏิกิริยาฮาโลฟอร์ม	29
2.3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทน	31
เวลา	31
อุณหภูมิ	32
ปริมาณความเข้มข้นของ Bromide และ Iodide	33
สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ	33
คุณลักษณะเฉพาะและความเข้มข้นของสารเริ่มต้น	35
ปริมาณสารคลอรีน	37
ความขุ่น	39
2.3.7 Trihalomethane formation potential (THMFP)	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ	41
2.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา	41
2.4.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา	41
2.4.3 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ	42
กระบวนการ โคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน	42
กลไกโคแอกกูเลชันด้วยพอลิอลูมินัมคลอไรด์	47
การใช้สารช่วยสร้างตะกอน	49
ปริมาณที่เหมาะสมของสารโคแอกกูแลนต์	51
กระบวนการคอลลิดพิว	52
กลไกการคอลลิดพิว	53
อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล	53
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคอลลิดพิว	55
สมดุลของการคอลลิดพิว	56
กระบวนการ Advance oxidation process	56
2.4.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยการเพิ่มประสิทธิภาพ	
กระบวนการ โคแอกกูเลชัน	57
การลดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้สารส้มและพอลิเมอร์ใน	
กระบวนการ โคแอกกูเลชัน	58
การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการคอลลิดพิวด้วยถ่านกัมมันต์	59
การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการเติมโอโซน	59
ข้อดีและข้อเสียกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยวิธีต่างๆ	60
2.4.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	62
3 วิธีการดำเนินวิจัย	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง	66
3.1.1 จุดสูบน้ำดิบประปา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	66
3.1.2 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา	66
3.1.3 สภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ	68
3.2 กระบวนการ โคแอกกูเลชัน	69
3.2.1 สาร โคแอกกูแลนต์และสารเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โค แอกกูเลชัน	69
Polyaluminum chloride (PACl)	69
Polymer	71
Powder activated carbon (PAC)	72
Ozone	73
3.2.2 กระบวนการทดลองจาร์เทสต์	74
3.2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน	75
3.3 กระบวนการ Resin Fractionation	76
3.4 กระบวนการทดลอง	79
3.4.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำ	80
3.4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และแจกแจงลักษณะ สารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ	80
3.4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ	81
กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACl	82
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACl ร่วมกับ Polymer	83
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACl ร่วมกับ PAC	84
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACl ร่วมกับ Polymer และ PAC	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI และ Polymer ร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone	87
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ กระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone	87
3.5 วิธีวิเคราะห์และเครื่องมือ	88
3.5.1 พีเอช	88
3.5.2 อุณหภูมิ	88
3.5.3 ความเป็นต่าง	88
3.5.4 ความขุ่น	89
3.5.5 UV-254	89
3.5.6 TOC และ DOC	89
3.5.7 FEEM	89
ขั้นตอนการวัดน้ำตัวอย่าง โดย Spectrofluorometer	89
การประมวลผลข้อมูลของ FEEM ที่ได้จากการทดลอง	91
3.5.8 Trihalomethane Formation Potential (THMFP)	95
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	98
4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา	98
4.1.1 การกระจายมวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในตัวอย่างน้ำดิบของ ถูฝุ่นและถูแฉ่งจากคลองอุ้มเตา	100
4.1.2 THMFP และสารประกอบ THMs ในตัวอย่างน้ำดิบประปาของ ถูฝุ่นและถูแฉ่ง	103
4.1.3 FEEM ในตัวอย่างน้ำดิบประปาของถูฝุ่นและถูแฉ่ง	112
4.2 การลด DOC และ UV-254	118
4.2.1 การลด DOC และ UV-254 ของน้ำตัวอย่างในถูฝุ่น	118

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
กระบวนการ โคลแอกกูเลชัน โดย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	118
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำ ตัวอย่างในฤดูฝน	120
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำ ตัวอย่างในฤดูฝน	121
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	123
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	124
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	126
4.2.2 การลด DOC และ UV-254 ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	127
กระบวนการ โคลแอกกูเลชัน โดย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดู แล้ง	127
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำ ตัวอย่างในฤดูแล้ง	129
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำ ตัวอย่างในฤดูแล้ง	130
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	132
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	133
กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	135
4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้ง	136

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ประสิทธิภาพของกระบวนการแฟรกชันในการแยกสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง	142
4.4 การกระจายมวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในรูปของ DOC	146
4.5 การลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน	151
4.6 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน	157
4.7 การลดลงของ THMFP ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน	161
4.8 การลดลงของสารประกอบ THMs	167
4.9 Specific THMFP	174
4.10 การลดลงของ FEEM	178
5 สรุปผลการทดลอง	188
5.1 สรุปผลการทดลอง	188
5.2 ข้อเสนอแนะ	189
เอกสารอ้างอิง	191
ภาคผนวก	197
ภาคผนวก ก Calibration data และ curve	198
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการทดลอง	205
ภาคผนวก ค ภาพ Microscopic โครงสร้าง floc ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง	241
ภาคผนวก ง ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP	244
ภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP	249
ภาคผนวก ฉ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	252
ภาคผนวก ช การประเมินศักยภาพการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งาน	256
ประวัติผู้เขียน	259

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	8
2.2 ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ผ่านการ fraction และกลุ่มทางเคมี	11
2.3 ข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน	24
2.4 maximum contaminant level (MCL) ของแต่ละประเทศ	26
2.5 การทำปฏิกิริยากับสารชีวโมลโดยคลอรีน	31
2.6 ปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากสารอินทรีย์ตัวเดียวกัน ที่ระดับพีเอชต่างกัน	35
2.7 ประสิทธิภาพการกำจัด NOM จากงานวิจัย 3 กระบวนการ	60
2.8 ข้อดีและข้อเสียของการกำจัด NOM โดยกระบวนการต่าง ๆ	61
2.9 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	62
3.1 คุณลักษณะทางเคมีของ Polyaluminum chloride (PACl)	70
3.2 คุณลักษณะทั่วไปของ Polymer	71
3.3 คุณลักษณะทั่วไปของ Powder activated carbon (PAC)	72
3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	82
3.5 HP 6890 GC method สำหรับวิเคราะห์ THMs	96
3.6 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์	97
4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากคลองอยู่ตะเภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	99
4.2 การกระจายมวลของ DOM ในตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งจากคลองอยู่ตะเภา	101
4.3 การกระจายมวลของสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบจากการศึกษา เปรียบเทียบกับแหล่งน้ำดิบประปาในประเทศไทย	103
4.4 เปรียบเทียบค่า THMFp และสารประกอบ THMs ในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดู แล้ง	108
4.5 THMFp และ สารประกอบ THMs ในการศึกษานี้เปรียบเทียบกับค่าจากแหล่งน้ำดิบ ประปาในประเทศไทย	109
4.6 ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ตรวจพบในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง	117

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.7 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดลองในถุคูฝน	137
4.8 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดลองในถุคูแ่ล้ง	138
4.9 เปอร์เซนต์ความต่างของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูฝน	144
4.10 เปอร์เซนต์ความต่างของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูแ่ล้ง	145
4.11 เปอร์เซนต์การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูฝน	149
4.12 เปอร์เซนต์การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูแ่ล้ง	149
4.13 ประสิทธิภาพการลด DOC และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปของตัวอย่างน้ำในถุคูฝน	152
4.14 ประสิทธิภาพการลดของ DOC และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปของตัวอย่างน้ำในถุคูแ่ล้ง	156
4.15 เปอร์เซนต์การกระจาย THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูฝน	160
4.16 เปอร์เซนต์การกระจาย THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูแ่ล้ง	160
4.17 ประสิทธิภาพการลดของ THMFP และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปของตัวอย่างน้ำในถุคูฝน	162
4.18 ประสิทธิภาพการลดของ THMFP และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปของตัวอย่างน้ำในถุคูแ่ล้ง	166
4.19 Specific THMFP และค่า Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูฝน	177
4.20 Specific THMFP และค่า Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถุคูแ่ล้ง	177
4.21 ค่า Fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptphan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชันในถุคูฝน	180

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.22 ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	182
4.23 ค่า Fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptphan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูแล้ง	185
4.24 ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	187
ก.1 HP6890 GC method และ Calibration data ของ TTHM	199
ข.1 ข้อมูลน้ำดิบจากคลองอุตะเกาทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง	206
ข.2 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	206
ข.3 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	207
ข.4 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	207
ข.5 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	208
ข.6 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	208
ข.7 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	209
ข.8 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	209
ข.9 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	210

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.10 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	210
ข.11 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	211
ข.12 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	211
ข.13 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	212
ข.14 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	212
ข.15 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	213
ข.16 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	213
ข.17 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	214
ข.18 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	214
ข.19 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	215
ข.20 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	215
ข.21 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	216
ข.22 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	216

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.23 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	217
ข.24 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	217
ข.25 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลง UV-254 กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ร่วมกับ กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	218
ข.26 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	218
ข.27 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	219
ข.28 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	219
ข.29 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	220
ข.30 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	220
ข.31 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	221
ข.32 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	221
ข.33 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	222
ข.34 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	222

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.35 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลง DOC กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ร่วมกับ กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	222
ข.36 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นของการทดลองในฤดูฝน	223
ข.37 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นของการทดลองในฤดูแล้ง	224
ข.38 การกระจายมวล DOC ของน้ำดิบประปาทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง	225
ข.39 การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝน	225
ข.40 การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูแล้ง	226
ข.41 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารอินทรีย์ Hydrophilic และ hydrophobic ของน้ำตัวอย่างจากฤดูฝนที่ผ่านกระบวนการทดลอง	227
ข.42 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารอินทรีย์ Hydrophilic และ hydrophobic ของน้ำตัวอย่างจากฤดูแล้งที่ผ่านกระบวนการทดลอง	228
ข.43 THMFP ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนและฤดูแล้งจากคลองอู่ตะเภา	229
ข.44 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนจากคลองอู่ตะเภา	230
ข.45 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้งจากคลองอู่ตะเภา	232
ข.47 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน ของน้ำตัวอย่างจากฤดูฝน	235

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.48 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ที่เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูแล้ง	235
ข.49 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูฝน	236
ข.50 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูแล้ง	238
ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง	248
ฉ.1 ความสัมพันธ์ Humic and fulvic acid-like substance, Tryptophan-like substance และ Total fluorescence intensities กับค่าดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง	254
ฉ.2 อัตราการลดลงของ UV-254 ต่อผลรวม FEEM และ DOC ต่อผลรวม FEEM และ THMFP ต่อผลรวม FEEM ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้ง	255
ช.1 รายการประเมินค่าสารเคมี	257
ช.2 รายการประเมินค่าสารเคมีเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของ DOC และ THMFP	258

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 โครงสร้างของสารประกอบฮิวมิก	6
2.2 ช่วงค่าต่าง ๆ ของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ	7
2.3 Fluorescent Excitation-Emission Matrix (a) และภาพชันความสูง (b) ของการใช้ Spectrofluorometry วิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ของ HPO และ DOC ของ HPI ในน้ำจากแม่น้ำ	12
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ของ HPO และ DOC ของ HPI ในน้ำจากอ่างเก็บน้ำ	12
2.6 การกระจาย HOCl และ OCl ⁻ ในน้ำที่พีเอชต่างๆ	19
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และ สารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ	20
2.8 การเปรียบเทียบอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคระหว่างคลอรีนรวมและคลอรีนอิสระ	20
2.9 ความสำคัญของพีเอชและเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่างๆ	21
2.10 กราฟของการเกิด Breakpoint chlorination	21
2.11 เส้นทางการปฏิกิริยาฮาโลฟอร์ม	30
2.12 อัตราการเกิด THMs ในปริมาณที่แตกต่างกันของการประปา Concord และ การประปา Kennewick ในสหรัฐอเมริกา	32
2.13 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดคลอโรฟอร์ม	33
2.14 ผลของพีเอชของน้ำต่อการเกิดคลอโรฟอร์มในน้ำภายหลังการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 250 °C (770°F) และใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L	34
2.15 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทนเมื่อใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L ที่พีเอชของน้ำเท่ากับ 6.7 ที่อุณหภูมิ 25°C (77°F)	36
2.16 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L กับกรดฮิวมิกในน้ำดิบซึ่งวัดในรูปของ NPOC	36
2.17 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่เป็นแบบอย่างของสารเริ่มต้นของไตรฮาโลมีเทนกับคลอรีนในน้ำ	37
2.18 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอรีนตกค้างไม่มีผลต่ออัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่พีเอชเท่ากับ 7 และอุณหภูมิ 25 °C (77°F)	38

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.19 เปรียบเทียบอัตราการเกิดคลอโรฟอร์มกับปริมาณคลอรีนตกค้างที่ใช้ซึ่งไม่สัมพันธ์กัน	39
2.20 อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างไม่มี free chlorine	40
2.21 อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างไม่มี free chlorine	40
2.22 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ	43
2.23 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออนแล้ว	44
2.24 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ	45
2.25 เภทท์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผักระหว่างอนุภาคต่างๆทั้ง 5 ประเภท	46
2.26 โครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PAC1 และ Alum	48
2.27 แสดงรูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักรวมโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย	50
2.28 Definition sketch for adsorption of an organic constituent with activated carbon	54
2.29 ปฏิกริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์	57
3.1 ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา	67
3.2 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำดวน จังหวัดสงขลา	68
3.3 PAC1 ที่ใช้ในการทดลอง	70
3.4 Polymer ที่ใช้ในการทดลอง	71
3.5 PAC ที่ใช้ในการทดลอง	73
3.6 เครื่องกำเนิดโอโซน	74
3.7 เครื่อง Jar-test	75
3.8 แผนผังกระบวนการ Fractionation	77
3.9 เครื่องมือล้างเรซิน Soxhelt extraction	78
3.10 เครื่องมือ Resin fractionations	78

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.11 กระบวนการทดลอง	79
3.12 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการแจกแจงลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ	81
3.13 แผนผังการทดลองกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI	83
3.14 แผนผังการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI ร่วมกับ Polymer	84
3.15 แผนผังการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI ร่วมกับ PAC	85
3.16 แผนผังการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI ร่วมกับ Polymer และ PAC	86
3.17 แผนผังการทดลองกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ กระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ ozone	87
3.18 แผนผังการทดลองกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ PAC ร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ ozone	88
3.19 ผลของ Fluorescent Excitation-Emission Matrix (FEEM) ในรูปแบบสามมิติ	90
3.20 ผล Fluorescent Excitation-Emission Matrix (FEEM) ในรูปแบบ Contour	90
3.21 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลของ FEEM ที่ได้จากการทดลอง	92
3.22 ผลของ FEEM ในรูปแบบฐานข้อมูล ASCII	92
3.23 ผลของ FEEM ในรูปแบบฐานข้อมูล Excel	93
3.24 การประมวลผลในโปรแกรม Model	93
3.25 การประมวลผลในโปรแกรม SigmaPlot	94
3.26 ผลของ FEEM ของน้ำตัวอย่างในรูปแบบสามมิติ (a) และ contour (b) ที่ได้จากโปรแกรม Sigma plot	94
4.1 มวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำในตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งจากคลอง อุ้ตะเภา	102

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.2 THMFP และสารประกอบ THMs ของตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้ง	105
4.3 เปรอร์เซ็นต์สัดส่วนสารประกอบ THMs ในตัวอย่างน้ำดิบของฤดูฝนและฤดูแล้ง	106
4.4 ค่าของสารประกอบ THMs /Guideline value ในน้ำดิบประปาและน้ำประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง	111
4.5 FEEM ในรูปแบบ contour ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง (4 QSU)	113
4.6 FEEM ในรูปแบบสามมิติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง (4 QSU)	114
4.7 ตำแหน่งของ FEEM ที่มีค่าสูงและขอบเขตของความยาวคลื่น Excitation และ Emission สำหรับ FEEM ทั้ง 5 ส่วน (region)	115
4.8 กลุ่มสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา	115
4.9 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	119
4.10 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	119
4.11 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	120
4.12 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	121
4.13 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	122
4.14 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	122
4.15 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	123
4.16 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน	124

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.17 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในถาดผืน	125
4.18 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในถาดผืน	125
4.19 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างใน ถาดผืน	126
4.20 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างใน ถาดผืน	127
4.21 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	128
4.22 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	128
4.23 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	129
4.24 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	130
4.25 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	131
4.26 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	131
4.27 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	132
4.28 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในถาดแห้ง	133

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.29 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	134
4.30 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	134
4.31 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	135
4.32 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง	136
4.33 การกระจายมวลของ DOC ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูฝน	147
4.34 การกระจายมวลของ DOC ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูแล้ง	148
4.35 ความเข้มข้นของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันและประสิทธิภาพการลด DOC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	153
4.36 ความเข้มข้นของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันและประสิทธิภาพการลด DOC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	155
4.37 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน	158
4.38 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง	159
4.39 ค่า THMFP ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันและประสิทธิภาพการลดของค่า THMFP ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน	163
4.40 ค่า THMFP ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันและประสิทธิภาพการลดของค่า THMFP ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง	165
4.41 ค่าของ THMFP, CHCl_3 -FP, CHCl_2Br -FP, CHClBr_2 -FP และ CHBr_3 -FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน	168
4.42 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ CHCl_3 -FP, CHCl_2Br -FP, CHClBr_2 -FP และ CHBr_3 -FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน	169

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.43 ค่าของ THMFP, CHCl_3 -FP, CHCl_2Br -FP, CHClBr_2 -FP และ CHBr_3 -FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง	170
4.44 เปอร์เซนต์สัดส่วนของ CHCl_3 -FP, CHCl_2Br -FP, CHClBr_2 -FP และ CHBr_3 -FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง	171
4.45 ค่าของสารประกอบ THMs /Guideline value ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนและฤดูแล้ง	173
4.46 Specific THM ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน	175
4.47 Specific THM ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง	176
4.48 Fluorescent intensities และการลดลงของ fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptphan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูฝน	181
4.49 Fluorescent intensities และการลดลงของ fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptphan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูแล้ง	186
ก.1 Calibration curve ของ free chlorine residual	199
ก.2 Calibration curve ของ TOC, DOC	200
ค.1 ภาพ Microscopic โครงสร้าง flocc ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง	243
ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองก่อนผ่านกระบวนการแฟรกชันและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน กับ THMFP	246
ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองก่อนผ่านกระบวนการแฟรกชันและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน กับ THMFP	247
จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซนต์การลดลงของ THMFP ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้ง	251

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

abs.	Absorbance
Al	Aluminium
Al(OH) ₃	Aluminium hydroxide
Al ₂ O ₃	Aluminium Oxide
Al ₂ SO ₄	Aluminium Sulfate
AlCl ₃	Aluminium Chloride
Amu	apparent molecular unit
AMW	Apparent Moleccular Weight
AWWA	American Water Work Association
°C	Degree Celsius
CaCO ₃	Calcium Carbonate
CH ₄	Methane
CHBr ₃	Bromoform
CHCl ₂ Br	Bromodichloromethane
CHCl ₃	Chloroform
CHClBr ₂	Dibromochloromethane
Cl	Chlorine
Cm	Centimeter
D/DBPs	Disinfection / Disinfection by-Products
DBPFP	Disinfection by Product Formation Potential
DBPS	Disinfection by-Product
DOC	Dissolved Organic Carbon
DOM	Dissolved Organic Matter
DPD	<i>N, N-diethyl-p</i> -phenylenediamine
ECD	Electron Capture Detector
EDTA	disodiummethylenediamune tetraacetate dehydrate
FAS	Ferrous Ammonium Sulfate
Fe ₂ (SO ₄) ₃	Ferrous Sulfate

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

FeCl ₃	Ferric Chloride
g/cm ³	Gram/Cubic/ Centimeter
g/L	Gram/Liter
g/mol	Gram/Molar
GC	Gas Chromatograph
h	Hour
HAAs	Haloacetic acid
HANs	Haloacetonitrile
I	Iodine
KHP	Potassium Hydrogen Phthalate
KI	Potassium Iodine
L/mg-m	Liter/milligram-meter
m	Meter
M	Molar
MCL	Maximum Contaminant Level
MCLG	Maximum Contaminant Level Goal
μg/L	Microgram/liter
μm	Micrometer
mg/L	Milligram/Liter
MW	Molecular Weight
nm	Nanometer
NOM	Natural Organic Meter
NTU	Nepheo Turbidity Unit
POC	Particle Organic Carbon
ppm.	Part per Million
SS	Suspended Solid
SUVA	Specific Ultraviolet Absorption
THMFP	Trihalomethane Formation Potential

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

THMs	Trihalomethanes
TOC	Total Organic Carbon
TTHM	Total Trihalomethanes
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolet
UV254	Ultraviolet absorption at wave length 254 nanometer
UVA	Ultraviolet Absorption

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินโดยทั่วไปประกอบด้วย การดักเศษสกปรกขนาดใหญ่ด้วยตะแกรง การสร้างตะกอน (coagulation) การรวมตะกอน (flocculation) การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) เพื่อผลิตน้ำที่ใสปราศจากความขุ่น นอกจากนี้ก่อนที่จะจ่ายน้ำประปาไปสู่ผู้บริโภคต้องนั้นต้องมีการฆ่าเชื้อโรคด้วยสารคลอรีน (disinfection) เพื่อให้ น้ำประปามีความสะอาดเพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภคตลอดจนป้องกันการเติบโตของจุลชีพ ซึ่งมีพิษต่อร่างกายมนุษย์ตลอดระบบการจ่ายน้ำสู่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้คลอรีนนั้น สารคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลือในน้ำหลังการสร้างตะกอน (coagulation) การรวมตะกอน (flocculation) การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาเช่น สารไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes) และสารฮาโลอะซิติกแอซิด (haloacetic acids) (Rook, 1977)

สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM) สามารถแบ่งตามลักษณะของการละลายน้ำออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM) สารอินทรีย์คอลลอยด์ (Colloidal organic matter, COM) และสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (Particulate Organic Matter, POM) NOM เมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคของระบบการผลิตน้ำประปาก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) เช่น ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ฮาโลอะซิติกแอซิด (Haloacetic acids) และสารอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ ในรูปแบบของสารก่อมะเร็ง (Singer, 1993)

นอกจากปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติจะมีผลต่อการก่อตัวของสารก่อมะเร็งในน้ำประปาแล้วนั้น ลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติก็มีผลต่อการก่อตัวของสารก่อมะเร็งเช่นกัน ปัจจุบันได้มีการแบ่งสารอินทรีย์ธรรมชาติออกเป็นสองกลุ่มได้แก่สารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำ (Hydrophilic Organic fraction, HPI) และ สารอินทรีย์กลุ่มไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Organic fraction, HPO) โดยใช้กระบวนการ resin fractionation ด้วย DAX-8 resin สารอินทรีย์ทั้งสองกลุ่มมีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาตลอดจนการเลือกกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในระบบประปา HPO นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา (AWWA, 1993) และกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ส่วน HPI นั้นกำจัดได้ยากโดยกระบวนการ

โคแอกกูเลชัน (Kim และ Yu, 2005) นอกจากนี้แหล่งน้ำแต่ละชนิดมีส่วนประกอบหลักของสารอินทรีย์ต่างกันมีผลทำให้ต้องใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติดังกล่าว

ดังนั้นการลดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาต้องทำการลดปริมาณสารอินทรีย์ทั้งสองกลุ่มก่อนกระบวนการฆ่าเชื้อโรคโดยคลอรีน กระบวนการที่สามารถใช้ในการลดสารอินทรีย์ก่อนการเติมสารคลอรีนได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) ที่ใช้สารโคแอกกูเลนต์ที่ความเข้มข้นสูงที่สภาวะควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง กระบวนการสร้างตะกอน (coagulation) ที่ใช้สารโพลิเมอร์ที่สภาวะควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง กระบวนการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์ (carbon adsorption) และกระบวนการ advances oxidation process

สำหรับระบบประปาขนาดใหญ่ซึ่งใช้น้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาเป็นระบบประปาหลักในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาโดยผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคและแจกจ่ายให้กับประชากรในอำเภอหาดใหญ่และอำเภออื่นๆ ตลอดจนนิสิต นักศึกษา และบุคคลกรของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ตามลำดับ จากการสำรวจข้อมูลพบว่าระบบประปาได้ใช้สารคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะเกิดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาจากระบบประปาซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากรที่อุปโภคบริโภคน้ำประปาโดยตรง

ดังนั้นการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาเพื่อวิเคราะห์โอกาสการก่อตัวของสารก่อมะเร็งที่จะเกิดขึ้นจากสารอินทรีย์ธรรมชาติแต่ละกลุ่ม ตลอดจนการศึกษาการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาโดยวิธีต่างหลายวิธีซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างทันสมัยเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมจะนำไปสู่การจัดทำแนวทางการป้องกัน แก้ไขควบคุม และการลดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- แจกแจงลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตลอดจนประเมินโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทั้งสองกลุ่ม

- ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของน้ำดิบประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับ Polymer และ การดูดติดโดยใช้ถ่านกัมมันต์หรือกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้โอโซน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- การศึกษาทดลองใช้แหล่งน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอกุดใหญ่ จังหวัดสงขลา (UTM 661975 772906) โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

- การศึกษาแจกแจงลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตลอดจนประเมินโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทั้งสองกลุ่ม

- การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของน้ำดิบประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับ Polymer และการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์หรือกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้โอโซน

- การศึกษาหาปริมาณสารประกอบ THMs ทั้ง 4 ชนิด คือ Chloroform (CHCl_3), Bromodichloromethane (CHBrCl_2), Dibromochloromethane (CHBr_2Cl) และ Bromoform (CHBr_3) ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นการประเมินคุณภาพน้ำซึ่งเกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชากร ได้มาซึ่งข้อมูลของลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติอันจะก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาและวิธีการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติดังกล่าว ก่อให้เกิดการพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่จะก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งลดลง ส่งผลให้สุขภาพของประชากรในพื้นที่ที่ทำการศึกษาดีขึ้นและเกิดการกระตุ้นจิตสำนึกอย่างแท้จริงในการช่วยอนุรักษ์แหล่งน้ำให้มีความสะอาดอย่างยั่งยืน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน

2.1.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ

NOM เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการโคแอกกูแลชัน (Coagulation) กระบวนการดูดซับ (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) ตัวอย่างเช่น Trihalomethanes (THMs) โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งประเภทของ NOM ตามสถานการณ์ละลายออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{POM}$$

เมื่อ Dissolved Organic Matter (DOM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและ Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ และเมื่อทำการแบ่งประเภทของ NOM โดยใช้กระดาศกรองที่มีขนาดความพรุนแตกต่างกัน (เช่น $<0.1 \mu\text{m}$, $<0.45 \mu\text{m}$, $<1.0 \mu\text{m}$) สามารถแยกประเภทของ NOM ได้เพิ่มขึ้นโดยเป็นส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์ประเภทคอลลอยด์ (Colloidal organic matter, COM) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง DOM และ POM

$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{COM} + \text{POM}$$

2.1.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ

Dissolved Organic Matter (DOM) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 50-65% ซึ่งมีลักษณะเป็น สารที่มีขี้ว สีฟางข้าว และเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของดินและพืช น้ำ Humic substance เป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ประกอบด้วย humic และ fulvic acid ในส่วนของ non-humic substance ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic)

ประกอบด้วย hydrophilic acid , proteins , amino acid , carbohydrate และ carboxylic acid (Thurman, 1985; Amy, 1993) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางเคมีของ humic substance และ non-humic substance ที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำพบว่าในส่วนของ humic substance มีความสำคัญมากกว่าส่วนของ non-humic substance

2.1.3 ฮิวมิก

Humic substances มีส่วนประกอบที่ซับซ้อนมาก มีรูปร่างไม่แน่นอน โดยมีต้นกำเนิดจากการสลายตัวของซากพืช และมีลักษณะสมบัติ (Vik *et al.*, 1985) ดังนี้

- 1.) ฮิวมัสที่ละลายน้ำ มักจะปรากฏในรูปของ Total organic carbon (TOC) ที่มีความเข้มข้นมากกว่า $1 \frac{\text{mg Carbon (C)}}{\text{L}}$ ในขณะที่สารประกอบตัวอื่นมีความเข้มข้นต่ำกว่ามาก
- 2.) ฮิวมัสแสดงถึงการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และลักษณะสมบัติที่ซับซ้อน ซึ่งสัมพันธ์กับองค์ประกอบของน้ำ รวมทั้ง สารพิษ (Toxic elements) และ Organic micropollutants
- 3.) ฮิวมัสเป็นพาหะในการเคลื่อนย้ายสารพิษ สารที่ไม่ละลายน้ำ และ Organic micropollutants
- 4.) คลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับกรดฮิวมิกก่อให้เกิด Chlorinated organic compounds เช่น Chloroform ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้

รูปแบบโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฮิวมิก ประกอบด้วยกลุ่มของ Polyhetero condensate ของโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน โดยมีกลุ่มฟังก์ชันต่าง ๆ ยื่นออกมาตามผิว ได้แก่ Carboxyl, Phenolic, Alcoholic, Ketonic, Quinonoid และ Methoxyl ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กลุ่มฟังก์ชันต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบฮิวมิก และเป็นส่วนที่คลอรีนอิสระจะทำ ปฏิกิริยาจนเกิด THMs ขึ้นมา (Trussell and Umphres, 1978)

ลักษณะของสารฮิวมิกเป็นสารประกอบสีน้ำตาล หรือดำ มีสภาพเป็นกรด มวลโมเลกุลอยู่ในช่วงร้อยไปจนถึงหลายล้าน พบในธรรมชาติทั้งในดิน และในน้ำ (Schnitzer and Khan, 1972) และเมื่อทำการวัดค่า specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) ที่ความยาวคลื่น 254 nm จะได้ค่าอยู่ในช่วง 4.8 -7.4 L/mg-m ในขณะที่ส่วน fulvic acid ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 500-2000 a.m.u. วัดค่า SUVA ได้อยู่ในช่วง 2.9-4.3 L/mg-m เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง humic และ fulvic acid พบว่า fulvic acid มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนี้ fulvic acid ยังมีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid

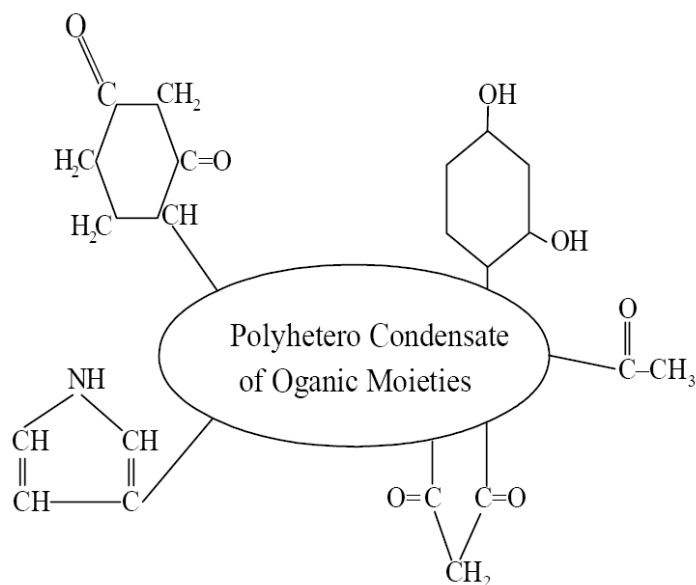
สารฮิวมิกเป็นสารประกอบประเภท Polyaromatic และมีกลุ่มฟังก์ชันคือ Phenolic และ Carboxylic โดยส่วนใหญ่สารฮิวมิกในน้ำจะอยู่ในรูป Anionnic และอาจเป็น Polyanions (Rebhun and Lurie, 1993)

สารฮิวมิกสามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ (Trussell and Umphres, 1978 ; Berger, 1987)

1.) กรดฮิวมิก (Humic acid) เป็นส่วนที่พบมากของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งมีสมบัติละลายได้ในด่าง (Alkaline solution) แต่ไม่ละลายในสารละลายกรดที่ $\text{pH} < 2$ หรือ Ethyl alcohol

2.) กรดฟุลวิก (Fulvic acid) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Soil organic material) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง

3.) ฮิวมิน (Humic acid) มีคุณสมบัติไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสารประกอบฮิวมิก (Trussell and Umphres, 1978)

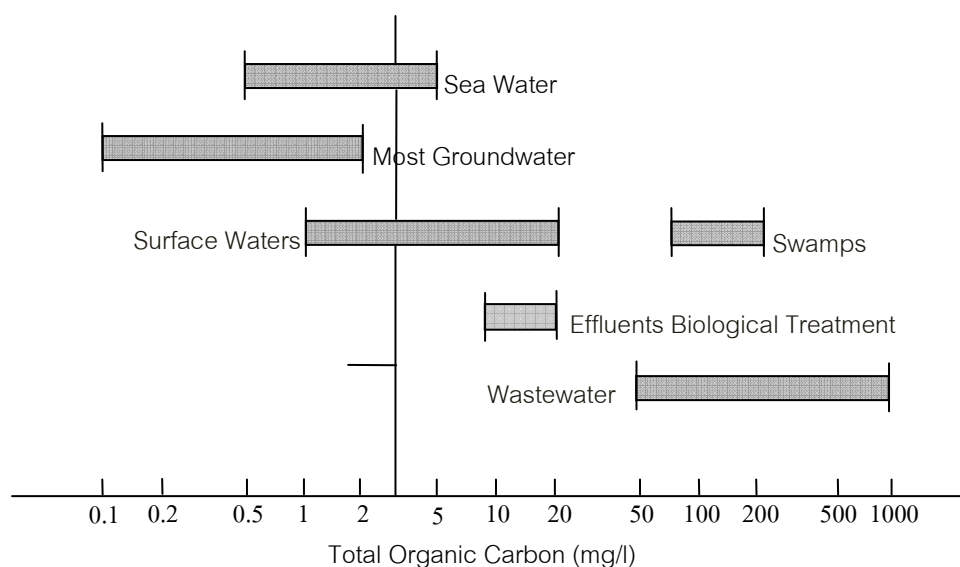
2.1.4 ดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การใช้ดัชนีตัวแทนในการอธิบายคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถใช้ดัชนีที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์เพียงชนิดเดียวเป็นตัวแทนเพื่ออธิบายคุณลักษณะโดยรวมที่หลากหลายได้ ซึ่งดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่นำมาใช้แทนการพิจารณาประกอบด้วย Total Organic Carbon (TOC), Dissolved Organic Carbon (DOC),

Ultraviolet absorbance ที่ความยาวคลื่น 254 nm (UV-254), Specific Ultraviolet Absorption (SUVA) และ Excitation-Emission fluorescence (EEM)

Total Organic Carbon (TOC)

TOC โดยทั่วไปใช้เป็นดัชนีตัวแทนเพื่อใช้วัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ปริมาณความเข้มข้นของ TOC ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีช่วงที่กว้างซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ช่วงค่าต่าง ๆ ของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Kavanaugh, 1978)

United State Environmental Protection Agency (USEPA) ได้เสนอถึงเปอร์เซ็นต์ TOC ที่ถูกกำจัดออกสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของ TOC และค่าความเป็นด่างในน้ำดิบ โดยแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรูเซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน (USEPA, 1999)

ค่า TOC ในแหล่งน้ำ (mg/L)	ค่าความเป็นด่างในแหล่งน้ำ (mg/L as CaCO ₃)		
	0-60	>60 – 120	>120
2.0-4.0	35.0%	25.0%	15.0%
4.0-8.0	45.0%	35.0%	25.0%
>8.0	50.0%	35.0%	30.0%

Dissolved Organic Carbon (DOC)

Dissolved Organic Carbon (DOC) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ TOC สามารถแยกได้โดยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.7 μm แบบ GF/F (Julie, Minhan and Robert, 2004)

UV Absorbance at Wavelength 254-nm (UV-254)

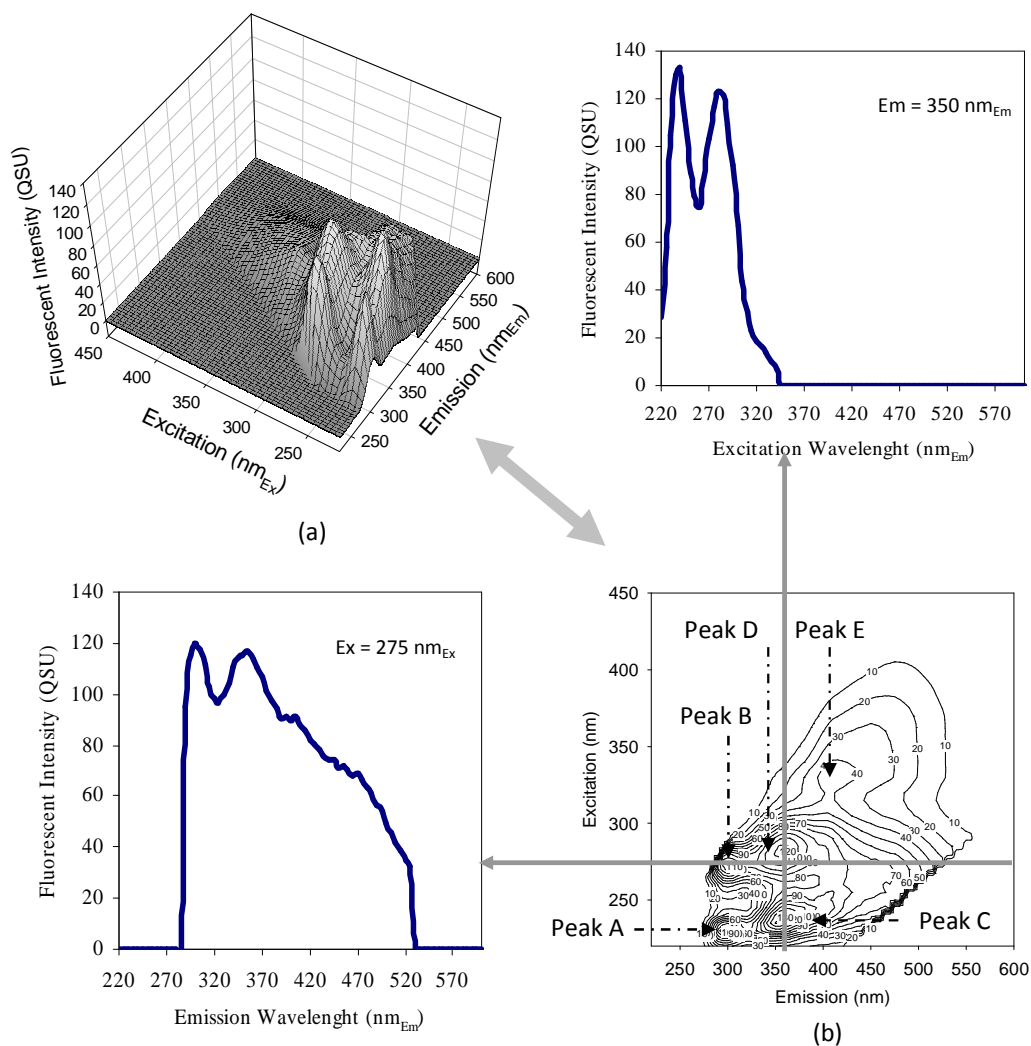
การดูดกลืนแสง ultraviolet (UV) มีประโยชน์โดยใช้เป็นดัชนีตัวแทนในการวัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ สารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจะดูดกลืนแสง UV เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณการดูดกลืนแสง UV ที่วัดได้สูงขึ้นตามไปด้วยโดยน้ำตัวอย่างจะถูกนำมากรองผ่านกระดาษกรองเพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำก่อนการวัด UV สารอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของ aromatic compound และโมเลกุลที่เป็นพันธะคู่จะดูดกลืนแสง UV ได้ดี ในขณะที่สารอินทรีย์ในกลุ่มของ simple aliphatic acids แอลกอฮอล์ และน้ำตาลจะไม่ดูดกลืนแสง UV หรือดูดกลืนได้น้อย (Edzwald *et al.*, 1985) โดยในการวัดค่า UV นั้นจะทำการวัดที่ความยาวคลื่น 253.7 nm (โดยประมาณ 254 nm) เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ต้องการศึกษาจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้ได้ดีที่สุดและมีการรบกวนจากสารประกอบอื่น ๆ น้อยที่สุด (Andrew Eaton, 1995) นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการนำค่า UV-254 มาใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำรวมถึงใช้ในการประเมินการลดปริมาณสารอินทรีย์จากกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

Specific Ultraviolet Absorption (SUVA)

SUVA เป็นดัชนีชี้วัดของสารอินทรีย์กลุ่ม humic ที่อยู่ในน้ำ สามารถคำนวณจากค่าของ UV-254 (ในหน่วย cm^{-1})หารด้วยค่า DOC (ในหน่วย mg/L) ค่า SUVA มีหน่วยเป็น $\text{L}/\text{mg}\cdot\text{m}$ น้ำตัวอย่างที่มีค่า SUVA ต่ำโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic และไม่เหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าว ในอีกกรณีหนึ่ง ถ้าน้ำตัวอย่างมีค่า SUVA สูงโดยทั่วไปเหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน (USEPA, 1999)

Three-dimensional fluorescence spectroscopy (fluorescent excitation-emission matrix, FEEM)

FEEM เป็นการวิเคราะห์ลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เครื่อง spectrofluorometer ผลการวิเคราะห์ FEEM ที่ได้จะแสดงลักษณะเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างและ functional groups ของโมเลกุล ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วโดยใช้ปริมาณของตัวอย่างน้อยและมีความเข้มข้นต่ำ ผลที่ได้จากการวัด FEEM คือผลรวมของ emission spectra ของน้ำตัวอย่างที่ excitation wavelength ต่างๆ ซึ่งบันทึกเป็น matrix ของ fluorescent intensity (Swietlik *et al.*, 2004) รูปที่ 2.3 แสดง FEEM (a) และภาพชันความสูง (b) ของการใช้ spectrofluorometry วิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยตำแหน่ง A และ B เป็นการตรวจพบสารกลุ่ม tyrosine-like substances ที่ตำแหน่ง C และ D เป็นการตรวจพบสารกลุ่ม tryptophan-like substances ส่วนที่ตำแหน่ง E เป็นการตรวจพบสารกลุ่ม humic and fulvic acid-like substances ซึ่งสารกลุ่มที่กล่าวมามีผลต่อการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน



รูปที่ 2.3 Fluorescent Excitation-Emission Matrix (a) และภาพชันความสูง (b) ของการใช้ Spectrofluorometry วิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Musikavong, 2007)

2.1.5 กระบวนการแยก (Fractionation) ชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำโดยเรซิน

กระบวนการแยกชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากสามารถกำหนดการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่าง DOM กับสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคซึ่งก่อให้เกิด disinfection by-product (DBP) และทำให้เข้าใจลักษณะทางเคมีของ DOM เพื่อใช้ออกแบบระบบบำบัดที่เหมาะสมในการกำจัด DOM กระบวนการแยก DOM ในน้ำโดยเรซิน เป็นเทคนิคที่

ใช้เพื่อแยกชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำ DOM ในน้ำธรรมชาติสามารถจำแนกออกได้เป็นแบบ Hydrophobics ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือ fulvic และ humic acid จัดเป็นส่วนของ humic fraction อีกส่วนหนึ่งเป็นแบบ Hydrophilics หรือ non humic fraction ซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำและกรดอะมิโน โดย Hydrophobics มีโครงสร้างเป็นแบบ aromatic มากกว่า Hydrophilics

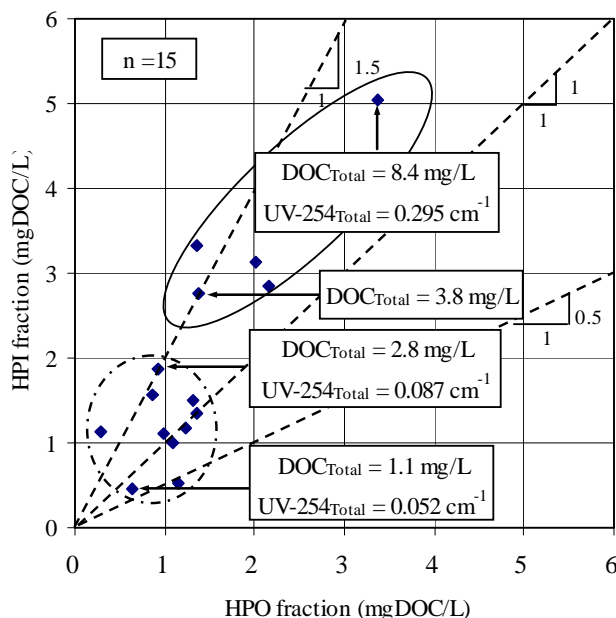
Thurman และ Malcolm (1981) ได้ทำการทดลองโดยใช้เรซินชนิด XAD-8 ในการดูดซับ humic substance ภายใต้สภาวะความเป็นกรด (pH=2) ซึ่งส่วนที่ค้างอยู่ในเรซินจะถูก elute โดยใช้ NaOH

Leenheer *et al.*, (1982), Leenheer and Noyes, (1984) และ Reckhow *et al.*, (1992) ได้เสนอลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ผ่านการ fraction และกลุ่มทางเคมี ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ผ่านการ fractionation และกลุ่มทางเคมี

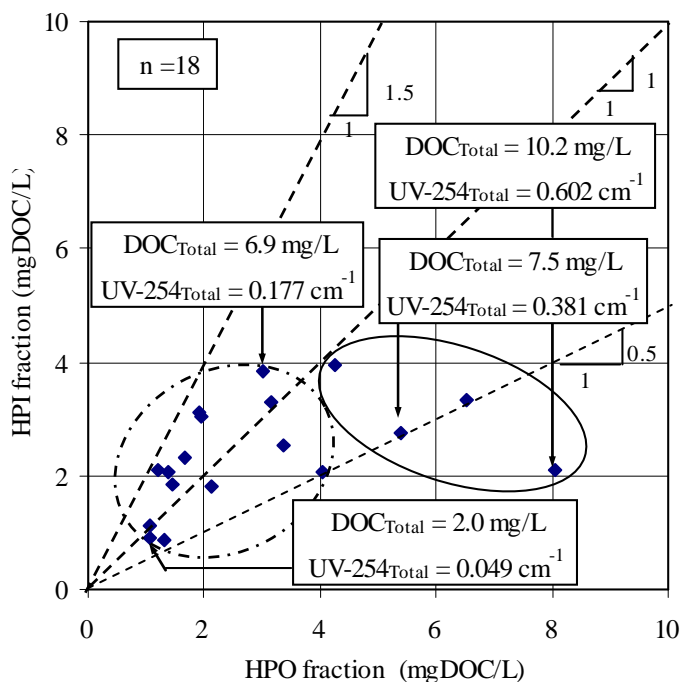
Fractionation	กลุ่มทางเคมี
<u>Hydrophobics</u>	
<u>Acid</u>	
Strong	Humic and fulvic acid, high MW alkyl monocarboxylic and dicarboxylic acids, aromatic acids
Weak	Phenols, Tannins, intermediate MW alkyl monocarboxylic and dicarboxylic acids, aromatic acids
<u>Bass</u>	Proteins, aromatic amines, high MW alkyl Amines
<u>Neutrals</u>	Hydrocarbon, aldehydes, high MW methyl ketones and alkyl alcohols, ethers, furan, pyrrole
<u>Hydrophilic</u>	
<u>Acids</u>	Hydroxy acids, sugars, sulfonics, low MW alkyl monocarboxylic and dicarboxylic acids
<u>Bass</u>	Amino acids, purines, pyrimidines, low MW alkyl amine
<u>Neutrals</u>	Polysaccharides; low MW alkyl alcohols, aldehydes and ketones

Musikavong (2007) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC ของ HPO และ DOC ของ HPI ในน้ำแม่น้ำ และ น้ำในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ จากรูปที่ 2.4 พบว่าเมื่อค่า DOC ในน้ำแม่น้ำก่อนกระบวนการแยกสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เรซิน มีค่าระหว่าง 1.1 ถึง 2.8 mg/L DOC ของ HPO และ HPI มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อ DOC ในน้ำแม่น้ำก่อนกระบวนการแยกสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เรซินเพิ่มขึ้นจาก 3.8 mg/L เป็น 8.4 mg/L DOC ของ HPI มีค่ามากกว่า DOC ของ HPO จึงอาจกล่าวได้ว่าน้ำในแม่น้ำที่มีค่า DOC สูงมีอัตราส่วนของ HPI (non-humic) มากกว่า HPO (humic) เมื่อพิจารณารูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อค่า DOC ในน้ำจากอ่างเก็บน้ำก่อนกระบวนการแยกสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เรซิน มีค่าระหว่าง 2.0 ถึง 6.9 mg/L DOC ของ HPO และ HPI มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อ DOC ในน้ำจากอ่างเก็บน้ำก่อนกระบวนการแยกสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เรซินเพิ่มขึ้นจาก 7.5 mg/L เป็น 10.2 mg/L DOC ของ HPO มีค่ามากกว่า DOC ของ HPI แสดงให้เห็นว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มีค่า DOC สูงมีอัตราส่วนของ HPO (humic) มากกว่า HPO (non-humic) จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าแหล่งน้ำแต่ละชนิดมีส่วนประกอบหลักของสารอินทรีย์ต่างกันมีผลทำให้ต้องใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการลดสารอินทรีย์ดังกล่าว



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ของ HPO และ DOC ของ HPI ในน้ำจากแม่น้ำ

(Musikavong, 2007)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ของ HPO และ DOC ของ HPI ในน้ำจากอ่างเก็บน้ำ
(Musikavong, 2007)

2.2 คลอรีน

2.2.1 ประวัติความเป็นมา

สารประกอบคลอรีน มีการกล่าวถึงมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 77 หรือประมาณเกือบ 2000 ปีมาแล้ว โดยชาวโรมันชื่อ Pliny ได้ทำการทดลองทางเคมีเพื่อแยกทองคำให้บริสุทธิ์พบว่าเกิดสารไฮโดรเจน คลอไรด์จากปฏิกิริยาดังกล่าว และต่อมาอีก 800 ปี ก่อนมีการบันทึกข้อมูลเป็นลายลักษณ์อักษร ชาวอาหรับได้ทำการศึกษาพบว่า มีแก๊สชนิดหนึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วให้กรดเกลือ (HCl) ในราว ค.ศ. 1200 นักเล่นแร่แปรธาตุได้พบว่า ขณะที่นำกรดเกลือมาผสมกับดินประสิว (HNO₃) เพื่อทำการกัดทอง ได้แก๊สชนิดหนึ่ง มีสีทองอ่อนและหนักกว่าอากาศแต่ไม่ได้มีการบันทึกรายละเอียดไว้ จน มาถึง ค.ศ.1630 ได้มีนักเคมีชาวเบลเยียมชื่อ Jean Baptist Van Helmont เรียกแก๊สนี้ว่า แก๊สเกลือ (Salt gas) ซึ่งในปัจจุบันรู้จักกันในชื่อ “คลอรีน” โดยแผลงมาจากภาษากรีก

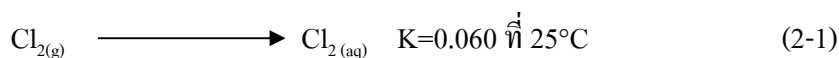
“Chloros” ที่แปลว่าสีเขียวอ่อนตามลักษณะสีของตัวเอง ในปี ค.ศ. 1774 เกอส์ทราฟสกีเคนชื่อ Carl Wilhelm Scheele ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของคลอรีนได้พบโดยบังเอิญว่า เมื่อนำดอกไม้และใบไม้ไปใส่ไว้ในขวดที่บรรจุแก๊สคลอรีนภายในช่วงครูดอกไม้และใบไม้จะเปลี่ยนเป็นสีขาวซึ่งเป็นครั้งแรกที่มนุษย์ได้บันทึกคุณสมบัติฟอกสีของคลอรีนไว้ ปี ค.ศ. 1789 บริษัทผู้ผลิตสิ่งทอของฝรั่งเศสที่เมืองจาเวลล์ (Javelle) ได้ผลิตน้ำยาคลอรีนฟอกสีออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรกโดยใช้ชื่อ โอ เดอ จาเวลล์ หรือ จาเวลล์ วอเตอร์ จากนั้นไม่นานคลอรีนถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็วแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ และใน ค.ศ. 1913 ได้มีการตั้งโรงงานแยกความเข้มข้นออกจากคลอรีนเหลวซึ่งมลรัฐเพนซิลวาเนียได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นมลรัฐแรก ค.ศ.1930 อุตสาหกรรมเคมีได้เจริญก้าวหน้าอย่างมาก คลอรีนถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญต่อโพลีเมอร์ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ คุณสมบัติการฟอกสีของคลอรีนและการฆ่าเชื้อโรคกลายเป็นเพียงคุณสมบัติประโยชน์ส่วนหนึ่งเท่านั้นปัจจุบันคลอรีนเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสาร PVC (Polyvinylchloride) เพื่อใช้ทำเป็นวัสดุปูพื้น ท่อ กระดาษปิดผนัง เสื้อผ้า เครื่องเรือนและวัสดุในครัวเรือนหลายชนิด น้ำยาทำความสะอาดเสื้อผ้า คราบน้ำมัน จารบี ฉาบผิวโลหะ สกัดคาเฟอีนจากกาแฟ สกัดกลีโคล ใช้ในขบวนการผลิตน้ำยารักษาโรค เป็นส่วนประกอบพื้นฐานสารเคมีฆ่าแมลง สารเคมีกำจัดวัชพืชอีกหลายชนิด และยังใช้เป็นส่วนประกอบของวัตถุสำหรับทำความเย็น (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2536)

2.2.2 การทำคลอรีนเข้มข้น

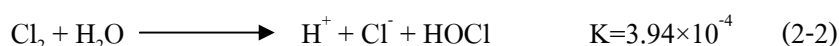
การทำคลอรีนเข้มข้น (Chlorination) คือ การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (Disinfection) โดยใช้คลอรีนในการเติมในระบบประปา ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นวิธีที่ใช้กันมานาน และยังเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน เนื่องจากราคาถูก มี Oxidizing power สูง ทำให้หยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ และคงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคในเส้นท่อได้นาน รวมทั้งง่ายในการจัดหา การวัดและควบคุมปริมาณในการใช้ สารที่ใช้ ได้แก่ แก๊สคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และ คลอรีนไดออกไซด์ (ClO₂) ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการทำคลอรีนเข้มข้น มีดังนี้

1) ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ (สุพร สาครอรุณ, 2530)

สมการสมดุลคลอรีนแก๊ส (Cl_{2(g)}) และรูปแบบของเหลว (Cl_{2(aq)}) (Cotton and Wilkinson, 1972)



เมื่อมีการเติมแก๊สคลอรีนลงไปในน้ำบริสุทธิ์จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วดังนี้ (Rosenblast, 1975)



กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์กลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อนแตกตัวได้เป็นบางส่วน



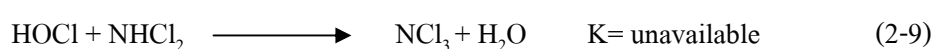
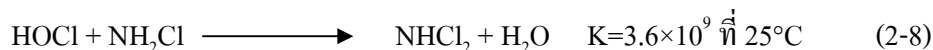
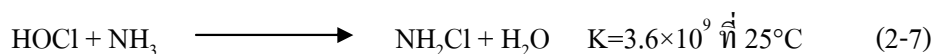
ด้วยเหตุนี้ในน้ำจึงมีคลอรีนที่อยู่ในรูปกรดเกลือที่แตกตัว HOCl, OCl^- และมีแก๊สคลอรีนเหลืออยู่ในรูปอิสระบ้างเล็กน้อย กรดที่เกิดขึ้น ทำให้ pH ของน้ำมีค่าลดลง แต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง HOCl และ OCl^- รวมเรียกว่า คลอรีนอิสระ (Free available chlorine) ซึ่ง ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ระดับการแตกตัวเป็นไอออนของกรดไฮโปคลอรัสขึ้นอยู่กับ pH ดังแสดง ในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าถ้า pH ต่ำ น้ำจะมี HOCl มาก ถ้าน้ำมี pH สูง จะมี OCl^- มาก แต่เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- หลายเท่า การทำคลอรีนขึ้น ที่ pH ต่ำได้ผลมากกว่าที่ pH สูง เหตุผลเพราะว่า HOCl มี Oxidizing power สูงกว่า OCl^- และเนื่องจาก OCl^- มีประจุลบทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของ Cell ซึ่งมีประจุลบเหมือนกัน HOCl ไม่มีประจุจึงสามารถสัมผัสกับ Cell ได้ง่ายกว่าเพราะไม่ถูกผลักการเติมสารประกอบคลอรีน เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$ ให้กับน้ำบริสุทธิ์ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังนี้



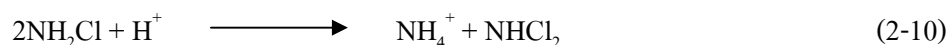


จะเห็นว่า มีคลอรีนอิสระ HOCl, OCl⁻ เกิดขึ้นทั้งสองตัว เช่นเดียวกับกรณีการเติมแก๊สคลอรีนให้กับน้ำ แตกต่างกันว่า Ca(OCl)₂ ทำให้น้ำมี pH สูงขึ้น แต่ Cl_{2(g)} ทำให้ pH ของน้ำลดลง

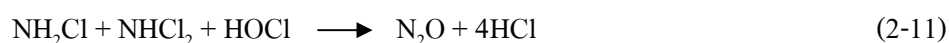
ในกรณีที่มีสารละลายหรือตะกอนแขวนลอย ปฏิกริยาของคลอรีนจะมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้แทบทุกชนิด สารประกอบที่ควรพิจารณา คือ แอมโมเนีย (NH₃) เมื่อเติม คลอรีน หรือสารประกอบของคลอรีน ให้กับน้ำที่มี NH₃ (มีอยู่เองหรือเติมลงไป) กรดไฮโปคลอรัสจะทำปฏิกิริยากับ NH₃ ทำให้เกิดสารประกอบโมโนคลอรามิน (NH₂Cl), ไดคลอรามิน (NHCl₂), และ ไตรคลอรามิน (NCl₃) ดังนี้



อัตราส่วนระหว่างสารคลอรามินทั้งสามชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวทำปฏิกิริยา ทั้งคู่และ pH เมื่ออัตราส่วนของจำนวนโมลระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไม่เกิน 1:1 NHCl₂ จะเกิดขึ้นได้ ทั้งคู่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณของสารทั้งสองขึ้นอยู่กับ pH ดังนี้



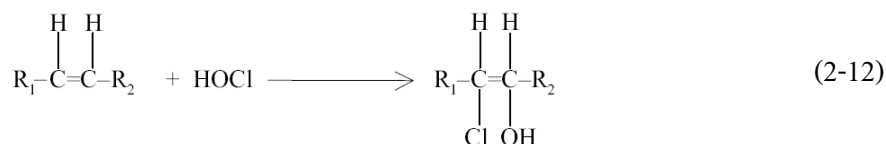
เมื่อ pH ต่ำ จะมีสาร NHCl₂ มาก แต่ถ้า pH สูงจะมีสาร NH₂Cl มากกว่า ดังรูปที่ 2.7 เมื่ออัตราส่วนระหว่างคลอรีนและ NH₃ สูงกว่า 1:1 จะมี NCl₃ เกิดขึ้น สำหรับในน้ำที่มีอยู่เล็กน้อย เมื่ออัตราส่วนระหว่างคลอรีนและ NH₃ = 2 : 1 จะได้ N₂O เกิดขึ้น



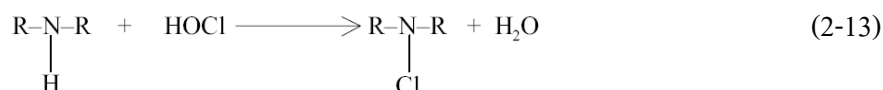
สารประกอบคลอรามินทั้งสามชนิด รวมเรียกว่า คลอรีนรวม (Combined available chlorine) ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อต่ำกว่าคลอรีนอิสระมาก ดังรูปที่ 2.8 แต่มีข้อดีคือ สามารถคงตัว

อยู่ในน้ำได้นานกว่าคลอรีนอิสระทำให้มีอำนาจการฆ่าเชื้ออยู่ได้นาน ๆ จึงเหมาะสมสำหรับใช้ใน ระบบท่อส่งน้ำเพื่อให้มีคลอรีนตกค้างจนถึงมือผู้ใช้น้ำ อีกประการหนึ่งคือ มีอำนาจในการฆ่าเชื้อ โรคที่ pH > 10 ได้ดีกว่าคลอรีนอิสระ นอกจาก NH₃ แล้ว คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซิงเอ เจนต์อื่น ๆ เช่น H₂S, Fe⁺⁺, NO₂ เป็นต้น บางครั้งคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (ที่มีความ เข้มข้นต่ำ) ในน้ำ เช่น phenol, Chloroform เป็นต้น ทำให้เกิดกลิ่นและรสที่น่ารังเกียจ ดังสมการ ข้างล่างนี้ (สุพร สาครอรุณ, 2530 ; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526)

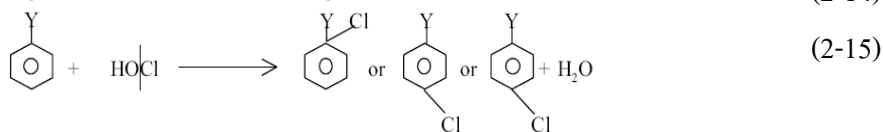
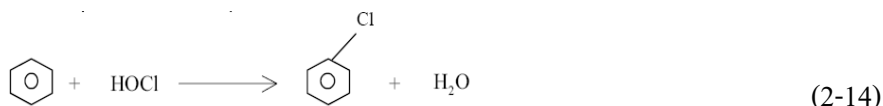
ก) HOCl ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ไม่อิ่มตัวเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์คลอรีน ดังนี้



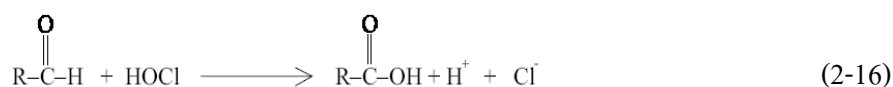
ข) แทนที่ ไฮโดรเจนอะตอมเกิดสารประกอบคลอรามิน ดังนี้



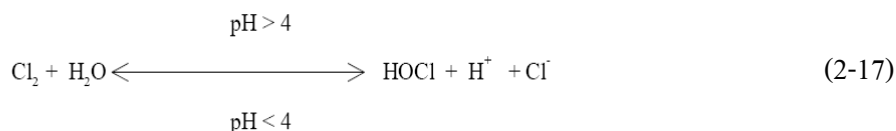
ค) เกิดปฏิกิริยาแทนที่กับกลุ่มโรเมติกคาร์บอน ดังนี้



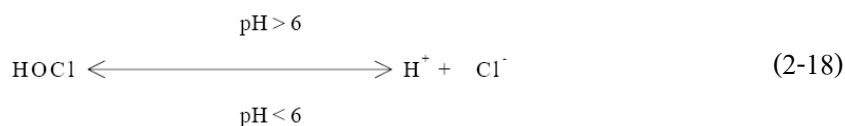
ง) เกิดปฏิกิริยา Oxidation กับสารประกอบอินทรีย์ ดังนี้



รูปที่ว่องไวของคลอรีนที่อยู่ในน้ำที่ได้รับการฆ่าเชื้อ มีได้อยู่ในรูปของ Aqueous chlorine molecule แต่จะเป็นการแตกตัวดังสมการข้างล่าง



กรดไฮโปคลอรัส เป็นกรดอ่อน สามารถแตกตัวได้อีก ดังสมการ



การแตกตัวนี้ขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ ความเข้มข้นของ HOCl และ OCl⁻ จะมีค่าเท่ากันเมื่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำมี pH = 7.5 และอุณหภูมิ 25 °C รูปแบบอื่นเช่น H₂OCl⁺ พบว่ามีอยู่บ้างในช่วง pH ระหว่าง 5 – 9 แต่มีปริมาณน้อยมาก Chlorinium ion (Cl⁺) ถือว่าเป็นส่วนสำคัญ ในการทำปฏิกิริยาในสารละลายอินทรีย์ ปฏิกิริยาของ HOCl กับ Organic carbon และ Aminonitrogen จะเป็นลักษณะของสารชอบประจุด้วยกันกล่าวคือคลอรีนอะตอมจะเข้าไปมีส่วนร่วมกับอิเล็กตรอนคู่ในสารนั้นสำหรับ Chlorine residual (Cl*) จะทำปฏิกิริยาในที่ที่มีแสงสว่างทำให้เกิดเป็น Chlorine-substituted organic compounds ในกลุ่มคลอรีนอิสระ ซึ่งได้แก่ HOCl, OCl⁻, Cl₂, H₂OCl⁺, Cl⁻ จะทำปฏิกิริยา Oxidation กับ Br⁻ และ I⁻ จนได้สาร Hypobromous acid กับ Hypoiodous acid (HOBr และ HOI) อันเป็นสารสำคัญในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์จนเกิด Mixed-halide haloforms ต่อไป (Rosenblast, 1975)

2) ความเข้มข้นของคลอรีน

การทำคลอรีนขึ้นขึ้นกับปริมาณของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารในน้ำ เรียกว่าความต้องการคลอรีน (Chlorine demand) ในน้ำ โดยรวมปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้างเพื่อ สำรองไว้ฆ่าเชื้อโรคด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำ เช่น น้ำที่มีความขุ่น หรือสารละลาย มักต้องการคลอรีนสูง เป็นต้น ส่วนระดับคลอรีนตกค้างนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานน้ำประปาที่กำหนดขึ้น

3) pH

pH ต่ำเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำคลอรีนชัน เนื่องจากคลอรีนจะอยู่ในรูปของ HOCl ที่ pH ต่ำ ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อได้ดีมาก และทำให้สิ้นเปลืองคลอรีนน้อยด้วยความสำคัญของ pH อาจดูได้จากรูปที่ 2.9

4) เวลาสัมผัส

ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของคลอรีนที่ใช้เป็นสำคัญ เช่น ถ้าใช้คลอรีนมาก เวลาสัมผัสอาจต่ำได้ แต่ถ้าใช้คลอรีนน้อยจำเป็นต้องมีเวลาสัมผัสนาน และถ้าใช้คลอรีนอิสระ เวลาสัมผัสก็ไม่จำเป็นต้องมาก เนื่องจากคลอรีนอิสระมีอำนาจสูงฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็ว แต่ถ้าใช้คลอรีนรวมต้องให้มีเวลาสัมผัสนานกว่า ทั้งนี้เพื่อให้มีการฆ่าเชื้อโรคเกิดขึ้นอย่างแน่นอน

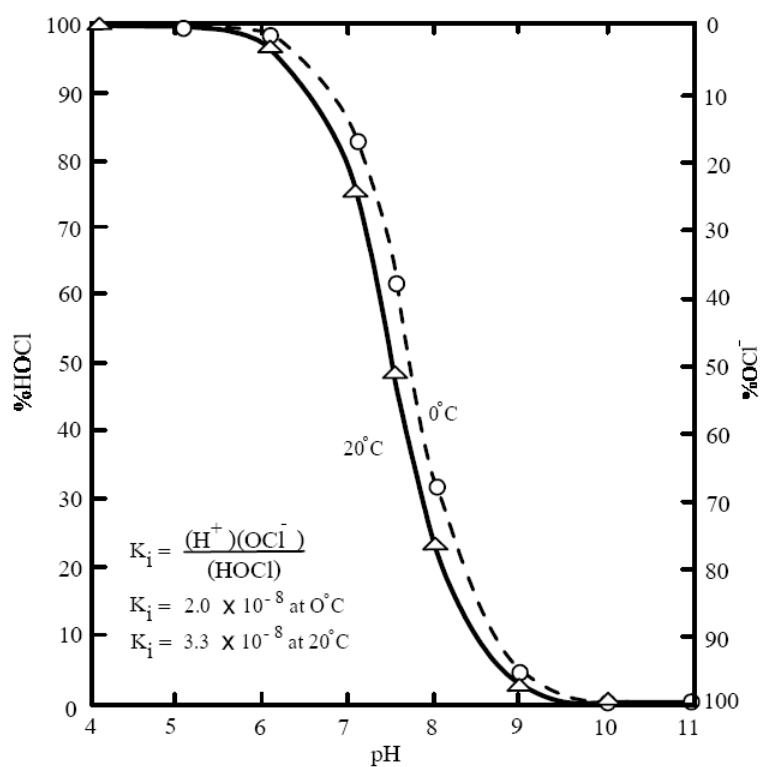
5) ความขุ่นของน้ำ

อนุภาคความขุ่น เป็นเกราะกำบังให้กับเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสได้ ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคจะให้ผลดีก็ต่อเมื่อน้ำมีความใสสูง เช่น น้ำที่ผ่านเครื่องกรองแล้ว เป็นต้น

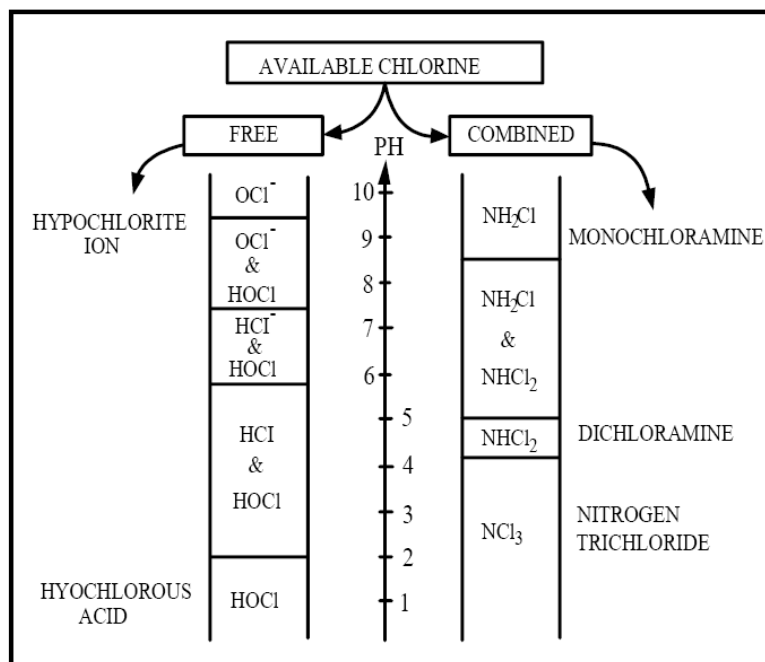
6) Breakpoint chlorination

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน จะได้ผลอย่างแน่นอนก็ต่อเมื่อการเติมคลอรีนจนกระทั่งมีคลอรีนอิสระตกค้าง (Free chlorine residual) ปรากฏอยู่ในน้ำ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า Breakpoint chlorination แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนที่เติมและปริมาณคลอรีนตกค้างถ้าทดลองเติมคลอรีนในปริมาณต่าง ๆ ให้กับน้ำ และวัดปริมาณคลอรีนตกค้างหลังจากเวลาสัมผัส 30 นาทีตามทฤษฎีแล้วเมื่อเติมคลอรีนให้กับน้ำบริสุทธิ์จะได้คลอรีนตกค้างเท่ากับคลอรีนที่เติมเนื่องจากไม่มีการสูญเสียคลอรีนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมคลอรีนให้กับน้ำประปาที่สะอาดย่อมมีการสูญเสียคลอรีนเกิดขึ้นเสมอเนื่องจากในน้ำประปามีสารละลายที่เป็น Reducing agent เช่น Fe^{++} เป็นต้นทำให้มีคลอรีนตกค้างน้อยกว่าคลอรีนที่เติมลงไป แต่หลังจากที่เกิดปฏิกิริยากับ Reducing agent แล้ว คลอรีนที่เติมลงไปจะเท่ากับคลอรีนตกค้าง ในกรณีที่น้ำประปามีแอมโมเนียหรือสารอื่น ๆ กราฟที่ได้ จะเป็น (ดังรูปที่ 2.10) ช่วงแรกของกราฟ (ระยะ กข) มีคลอรีนตกค้างต่ำมาก เนื่องจากคลอรีนถูกสารประกอบอินทรีย์จับไว้เกือบหมด นอกจากนี้คลอรีนยังมีปฏิกิริยากับ Reducing agent²³ ที่อยู่ในน้ำ ระยะ ขค มีปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับแอมโมเนียเกิดขึ้น ทำให้ได้สารคลอรามินต่าง ๆ ซึ่งเป็นคลอรีนรวม (Combined chlorine) ด้วยเหตุนี้ แม้ว่าคลอรีนอิสระจะ

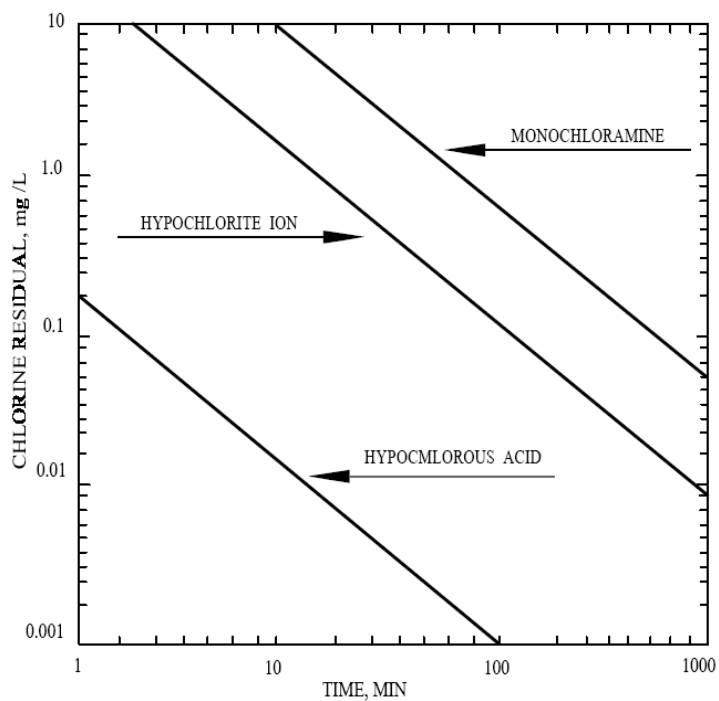
ลดลงแต่คลอรีนรวมมีเพิ่มมากขึ้น กราฟ ขค จึงยังปรากฏให้เห็นการเพิ่มของคลอรีนตกค้าง เมื่อเติมคลอรีนเพิ่มขึ้นอีกจนเลขจุด ค ปฏิกริยา Oxidation ยังเกิดต่อไปแต่เป็นการทำลายสารประกอบคลอรามินให้กลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ ปริมาณคลอรีนตกค้างจึงลดลง แอมโมเนียและสารประกอบคลอรามินจะลดลงจนเหลือน้อยที่สุดที่จุด ง จุดนี้เรียกว่า Breakpoint แสดงถึงปฏิกริยาระหว่างคลอรีนกับสารในน้ำถึงที่สุดแล้ว จากนั้นไปคลอรีนตกค้างจะอยู่ในรูปคลอรีนอิสระซึ่งใช้ฆ่าเชื้อโรค คลอรีนตกค้างจะเท่ากับคลอรีนที่เติมเมื่อถึงและเลขจุด ง ไปแล้ว (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2526 ; ไพศาล วีรกิจ, 2539)



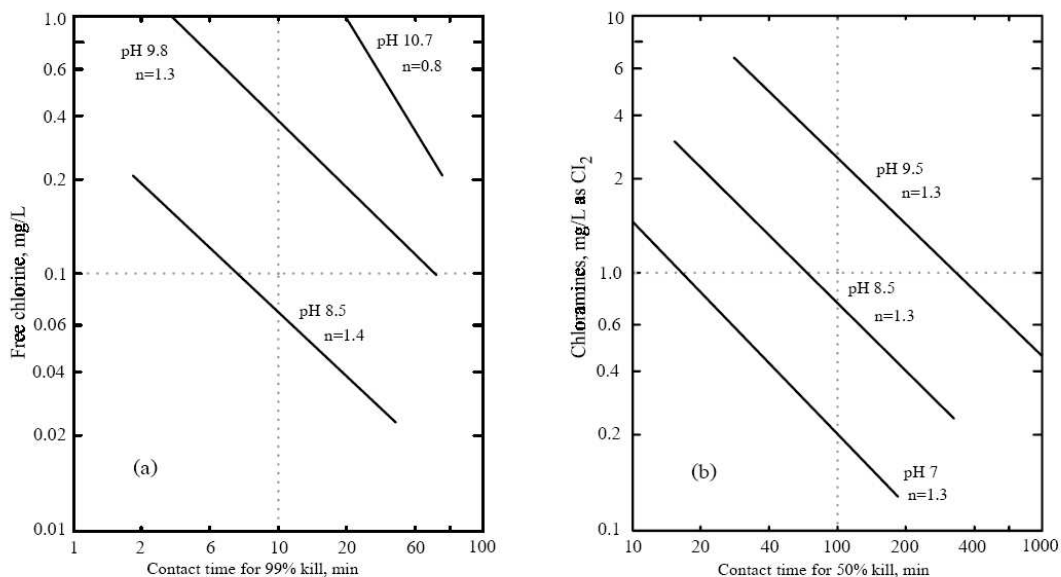
รูปที่ 2.6 การกระจาย HOCl และ OCl- ในน้ำที่พีเอชต่างๆ (มันสิน, 2526)



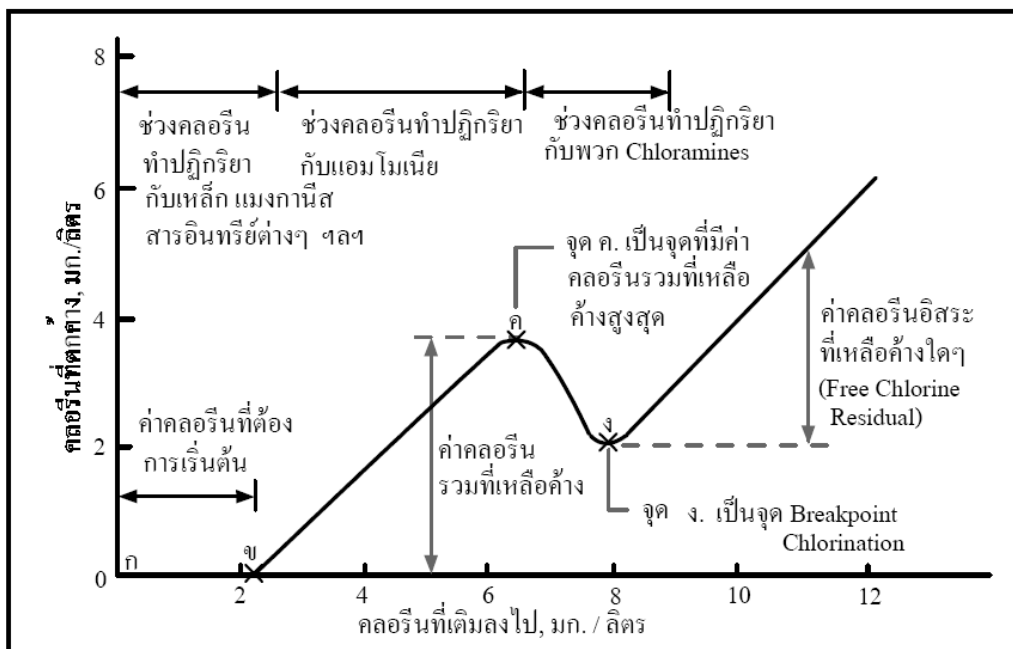
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และ สารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ (มันสิน, 2526)



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคระหว่างคลอรีนรวมและคลอรีนอิสระ (มันสิน, 2526)



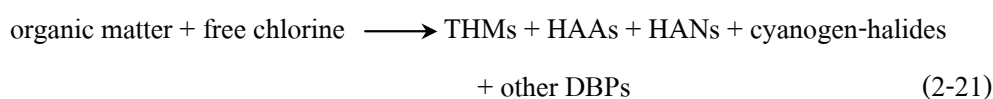
รูปที่ 2.9 ความสำคัญของพีเอชและเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่างๆ (มันสิน, 2526)



รูปที่ 2.10 กราฟของการเกิด Breakpoint chlorination (เกรียงศักดิ์, 2536)

2.2.3 สารตกค้างในน้ำประปาเนื่องจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

Marhaba และ Washington (1998) แสดงสมการ การทำปฏิกิริยาระหว่าง สารอินทรีย์กับคลอรีนอิสระ (สมการที่ 2-21) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดสารตกค้างจาก DBPs ได้แก่ เช่น THMs, HAAs, haloacetonitriles (HANs) และอื่นๆ แต่กลุ่มที่พบมากที่สุดคือสารในกลุ่ม ไตรฮาโลมีเทน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคได้มุ่งศึกษาการเกิด ความเป็นพิษ การลดการเกิด และการกำจัดสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน



จากการศึกษาของ Rook, (1977) พบว่า การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนสามารถ ก่อให้เกิดสารตกค้างจาก DBPs อันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์กับคลอรีนอิสระ เช่น THMs ซึ่งประกอบด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloroethane) โบรโมได-คลอโรมีเทน (Bromodichloromethane) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform)

2.3 ไตรฮาโลมีเทน

2.3.1 ลักษณะทางเคมีของสารไตรฮาโลมีเทน

THMs เป็นสารประกอบออร์แกโนฮาโลเจน (Organohalogen) ซึ่งมีชื่อเรียกเป็น ส่วนหนึ่งของมีเทน โดยสูตรโครงสร้างทั่วไปของ THMs คือ CHX_3 เมื่อ X คือ อะตอมของฮาโล เจน จากสูตรโครงสร้างจะมีไฮโดรเจนอยู่ 1 อะตอม และที่เหลืออีก 3 อะตอมจะเป็นอะตอมของ ฮาโลเจนเช่น ฟลูออรีน, คลอรีน, โบรไมด์, ไอโอดีน หรืออาจจะผสมกัน THMs จะเกิดขึ้นระหว่าง กระบวนการเติมคลอรีนลงในน้ำที่มีสารอินทรีย์ สารประกอบ THMs ประกอบไปด้วย Chloroform (CHCl_3), Bromodichloromethane (CHBrCl_2), Dibromochloromethane (CHBr_2Cl), Bromoform (CHBr_3) สำหรับข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนแสดงใน ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน

	Chloroform	Bromodichloromethane	DiBromochloromethane	Bromoform
ชื่อทางเคมี	Trichloromethane	Diclorobromomethane	Chlorodibromomethane	Tribromomethane
มวลโมเลกุล	119.36	163.83	208.28	252.73
สี	ไม่มีสี	ไม่มีสี	ไม่มีสี	เหลืองอ่อนจนถึงไม่มีสี
สถานะ	ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว
จุดหลอมเหลว	-63 °C	-51.7 °C	-20 °C	8 °C
จุดเดือด	61.3 °C	90 °C	120 °C	149.1 °C
ความหนาแน่นที่ 20 °C	1.485 g/cm ³	1.980 g/cm ³	2.451 g/cm ³	2.899 g/cm ³
กลิ่น	Pleasant, ethereal, nonirritating	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	Sweet, คล้ายกับ chloroform
ความสามารถละลายน้ำที่ 25 °C	7.22×10 ³ mg/L	4.5×10 ³ mg/L	2.7×10 ³ mg/L	3.10 ×10 ³ mg/L
ตัวทำละลายสารอินทรีย์	ผสมได้ใน alcohol, benzene, ether, petroleum ether, carbon Trtrachloride, carbon disulfide, oils	ละลายได้	สามารถละลายได้ใน ethanol, ether และ acetone	Benzene, petroleum ether, acetone
ความดันไอที่ 20 °C	160 mm Hg	50 mm Hg	76 mm Hg	5 mm Hg

ที่มา : Toxicological Profile Information, 2004, <http://atsdr.cdc.gov/toxprofiles/>

2.3.2 ความเป็นพิษของไตรฮาโลมีเทน

เมื่อพิจารณาความเป็นพิษของสารประกอบแต่ละชนิดพบว่า ปริมาณ Chloroform ที่ได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 36 ถึง 1,366 mg/kg ของน้ำหนักตัว International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัด Chloroform ให้อยู่ในกลุ่ม 2B ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองแต่ไม่มีหลักฐานแน่ชัดในการทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ในกรณีของ Bromodichloromethane ปริมาณ Bromodichloromethane ที่ได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 450 ถึง 900 mg/kg ของน้ำหนักตัว IARC ได้จัด Bromodichloromethane ให้อยู่ในกลุ่ม 2B ปริมาณ Dibromochloromethane ที่ได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 800 ถึง 1,200 mg/kg ของน้ำหนักตัว IARC ได้จัด Chloroform ให้อยู่ในกลุ่ม 3 ซึ่งเป็นกลุ่มซึ่งมีหลักฐานไม่แน่ชัดว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองแต่ไม่มีหลักฐานแน่ชัดในการทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (IPCS, 1994) ในกรณีของ Bromoform ปริมาณ Bromoform ที่ได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 1,400 ถึง 1,550 mg/kg ของน้ำหนักตัว IARC ได้จัด Bromoform ให้อยู่ในกลุ่ม 3 (IARC, 1991)

สารไตรฮาโลมีเทน มีพิษต่อเซลล์ในตับและไตของหนูทดลอง เมื่อได้รับในปริมาณเท่ากับ 0.5 mmol/kg ของน้ำหนักตัว จากนั้นยังมีผลเล็กน้อยต่อระบบสืบพันธุ์ และระบบพัฒนาการ แต่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสเปิร์มเมื่อได้รับน้ำที่มีสาร Bromodichloromethane เป็นปริมาณ 39 mg/kg ของน้ำหนักตัวต่อวัน Bromodichloromethane ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในตับและไต เมื่อได้รับในปริมาณที่สูงตลอดช่วงชีวิต เช่นเดียวกับกับ chloroform เมื่อถูกเติมลงไปในน้ำมันข้าวโพด Bromodichloromethane และ Bromoform สามารถก่อให้เกิดเนื้องอกในส่วนลำไส้ใหญ่ของหนูทดลอง (International Program on chemical safety , IPCS, 2000)

จากความเป็นพิษของสารไตรฮาโลมีเทน จึงได้มีการกำหนดค่า maximum contaminant level (MCL) ของ THMs ขึ้นที่ระดับแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ดังตารางที่ 2.4

2.3.3 กลไกการเกิดพิษของไตรฮาโลมีเทน

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม THMs จะถูกดูดซึม สันดาป และถูกกำจัดออกอย่างรวดเร็วภายหลังจากได้รับเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารและระบบทางเดินหายใจ เมื่อร่างกายดูดซึมจะสะสม THMs ในไขมัน ตับและไต โดยครึ่งชีวิต (half-life) ของ THMs มีค่าเท่ากับ 0.5 ถึง 3 ชั่วโมง และจะถูกกำจัดออกผ่านการสันดาปกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบ THMs ที่มีส่วนประกอบของ bromine จะถูกสันดาปได้เร็วกว่า Chloroform สารประกอบ THMs จะเป็นหลักผ่าน cytochrome P450 ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดเป็น Dihalocarbonyls เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสันดาป

จะเกิดเป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์และสารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ (genes) (IPCS, 2000)

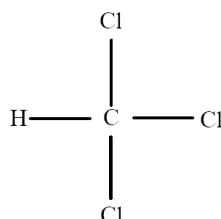
ตารางที่ 2.4 maximum contaminant level (MCL) ของแต่ละประเทศ

countries	MCL ($\mu\text{g/L}$)	อ้างอิง
US	40	USEPA, 2007
Austria	250	Iriarte-Velasco <i>et al.</i> , 2007
Canada	100	Canadian Drinking Water, 1999
Germany	50	Iriarte-Velasco <i>et al.</i> , 2007
EU countries	100	EU, 1998
Spain	150	REAL DECRETO, 2003
Italy	30	Italy, 2001
Turkish	100	TWCR, 2005

2.3.4 ความเป็นพิษของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิด

Chloroform

Chloroform or Trichloromethane (CHCl_3) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 119.378 และมีสูตรโครงสร้าง

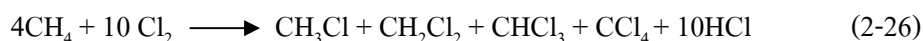


คุณสมบัติ คือ ไม่มีสี หักเหแสงได้สูง ปกติเป็นของเหลวหนัก ระเหยเป็นไอได้ง่าย มีกลิ่นเฉพาะตัวสามารถผสมเข้ากับสารต่าง ๆ เหล่านี้ได้ ได้แก่ Alcohol, Ether, Benzene, Carbon

disulfide, Carbon tetrachloride แต่ละลายได้น้อยกว่าน้ำ, ความถ่วงจำเพาะ 1.485 (20 °C), จุดเดือด 61-62 °C, จุดเยือกแข็ง - 63.5 °C, wt/gal 12.96 lb (25 °C), refractive index 1.442 มีเกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้



และเป็นผลจากการทำ Chlorination ในน้ำที่มีสาร Methane หรือ Hydrocarbon อยู่ด้วยดังสมการ

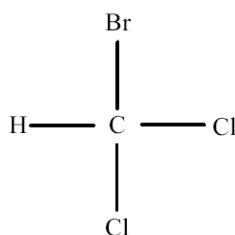


Chloroform ถูกดูดซึมได้ดีผ่านระบบทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจและทางผิวหนัง เมื่อได้รับสารทางระบบทางเดินหายใจ จะดูดซึมสารได้ในปริมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ในขณะอาบน้ำ Chloroform จะถูกกระจายไปทั่วร่างกายและถูกกำจัดออกในรูปแบบคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่หายใจออก Chloroform ส่วนที่เหลือจะสะสมในไขมันได้นานกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่น ๆ อวัยวะส่วนที่สะสม Chloroform ได้มากที่สุดคือตับและไต

ปริมาณ Chloroform ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 36 ถึง 13 mg/kg ของน้ำหนักตัว อาการที่เกิดจากการได้รับ Chloroform ในมนุษย์คือหมดสติ อาจถึงแก่ชีวิตจากอาการล้มเหลวของระบบทางเดินหายใจและหัวใจเต้นผิดจังหวะ อาจมีอาการเนื้อเยื่อท่อไตตายตลอดจนไตไม่สามารถทำงานได้ International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัด Chloroform ให้อยู่ในกลุ่ม 2B ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองแต่ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัดถึงการทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (IPCS, 1994)

Bromodichloromethane

Bromodichloromethane หรือ Dichlorobromomethane (CHCl_2Br) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 163.83, จุดเดือด 90.1 °C และมีสูตรโครงสร้าง

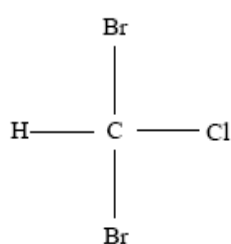


Bromodichloromethane มีพิษต่อตับและไตของหนูทดลองหลังจากได้รับภายใน 24 ชั่วโมง และพิษนั้นจะมีผลในการทำลายตับได้นานกว่า Chloroform

ปริมาณ Bromodichloromethane ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 450 ถึง 900 mg/kg ของน้ำหนักตัว อาการที่เกิดขึ้นในหนูทดลองหลังจากการได้รับ Bromodichloromethane คือไม่สามารถควบคุมการทรงตัวได้ ง่วงซึม หายใจช้าลง หมดสติ ตับและไตถูกทำลาย IARC ได้จัด Bromodichloromethane ให้อยู่ในกลุ่มที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ยังไม่มียหลักฐานแน่ชัดถึงการทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (IARC, 1991)

Dibromochloromethane

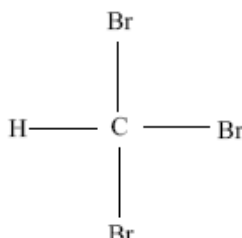
Dibromochloromethane หรือ Dibromochloromethane (CHClBr₂) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 208.28 และมีสูตรโครงสร้าง คุณสมบัติ คือ เป็นของเหลวหนัก ไม่มีสีใส ความถ่วงจำเพาะ 2.38 จุดเดือด 116 - 120 °C



Dibromochloromethane มีพิษต่อตับและไตของหนูทดลอง ปริมาณ Dibromochloromethane ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 800 ถึง 1200 mg/kg ของน้ำหนักตัว เมื่อได้รับ Dibromochloromethane ในปริมาณ 500 mg/kg ของน้ำหนักตัว จะทำให้ไม่สามารถควบคุมการทรงตัว ง่วงซึมและหมดสติ IARC ได้จัด Dibromochloromethane ให้อยู่ในกลุ่ม 3 ซึ่งมีหลักฐานไม่แน่ชัดว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองและไม่มีหลักฐานที่แสดงถึงการเกิดมะเร็งในมนุษย์ (IARC, 1991)

Bromoform

Bromoform หรือ Tribromomethane หรือ Methyl tribromide (CHBr_3) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 237.9, จุดเดือด $149 - 150\text{ }^\circ\text{C}$ และมีสูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติ คือ เป็นของเหลวหนัก ไม่มีสี กลิ่นและรส คล้าย Chloroform ละลายได้ใน Alcohol, Ether, Chloroform, Benzene, Naptha และละลายน้ำได้เล็กน้อย ในน้ำธรรมชาติมักจะมีธาตุ Br, I อยู่ด้วย ดังนั้นเวลาที่ Cl_2 เข้าทำปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาเป็น CHCl_2 , CHClBr , CHBr_3 , และ CHI_3

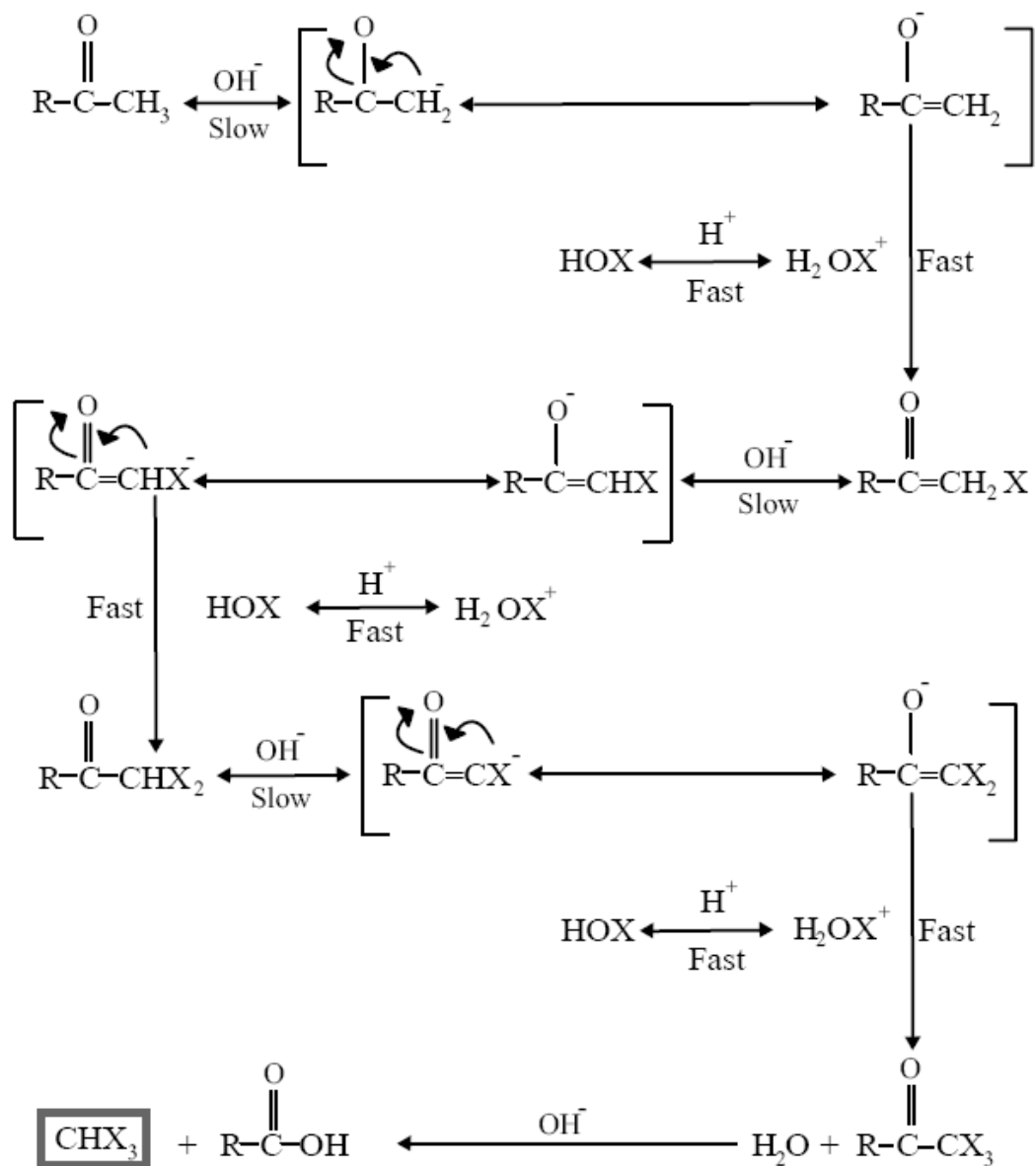
Bromoform มีพิษต่อตับน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบ THMs ที่มี bromine เป็นส่วนประกอบ ปริมาณ Bromoform ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD_{50}) มีค่าอยู่ในช่วง 1400 ถึง 1550 mg/kg ของน้ำหนักตัว

Bromoform ทำให้เกิดเนื้อเยื่อในลำไส้ใหญ่ IARC ได้จัด Bromoform ให้อยู่ในกลุ่ม 3 ซึ่งมีหลักฐานไม่แน่ชัดว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองและไม่มีหลักฐานที่แสดงถึงการเกิดมะเร็งในมนุษย์ (IARC, 1991)

2.3.5 ปฏิกิริยาฮาโลฟอร์ม

Haloform reaction หมายถึง ปฏิกิริยาใด ๆ ในน้ำที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ทำปฏิกิริยากับ Hypochlorous acid จนเกิดสาร THMs หรือ การทำปฏิกิริยาระหว่าง Hypochlorous acid กับสารประกอบที่มีส่วนประกอบของ Acetyl groups หรืออนุพันธ์ ปฏิกิริยานี้เริ่มต้นจากสารประกอบหรือกลุ่มของสารประกอบที่มีสูตรทั่วไปคือ $\text{CH}_3\text{CHOH-R}$ หรือ CH_3COR ซึ่งรวมถึง Ethanol, Acetaldehyde, Methyl ketone และ Secondary alcohols ซึ่งสาร Olefin ที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CR}_1-\text{R}_2$ จะถูกออกซิไดซ์โดย Hypochlorous acid (HOCl) ไปเป็น First หรือ Secondary alcohols และไปเป็น Methyl ketones ก็รวมอยู่ในปฏิกิริยานี้ด้วย ส่วนที่ถูกทำปฏิกิริยาโดยคลอรีน คือ Methyl group ที่อยู่ติดกับอะตอมของคาร์บอนที่มีพันธะของ Oxygen ติดอยู่ด้วย Hydrogen อะตอม 1 ตัว ของ Methyl group และถูกแทนที่ด้วยคลอรีน 1 อะตอม จาก

Hypochlorous acid (HOCl) แต่ละตัวจนกระทั่งถูกแทนที่หมดในขั้นตอนสุดท้าย Trihalogenated carbon ใน Methyl group จะถูก Hydrolysis จนได้สารประกอบ THMs เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เส้นทางของปฏิกิริยาฮาโลฟอรั่ม (Trussell และ Umphres, 1978)

Humic acid และ Fulvic acid เป็นสารตั้งต้นของคลอโรฟอร์มในการทำคลอรีเนชัน ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม THMs โดย Humic acid จะทำให้เกิดคลอโรฟอร์มในปริมาณที่สูงกว่า Fulvic acid เมื่อความเข้มข้นของทั้งสองเท่ากัน (Babcock and Singer, 1979) ดังตารางที่ 2.5 กลุ่มบนสุดของรูปที่ 2.1 หรือ Methylhydroxy aromatic ring หรือ (m-dihydroxy) แสดงโมเดลของสารประกอบ Humic คือ กลุ่มที่มักจะทำปฏิกิริยากับคลอรีน และได้ THMs เกิดขึ้น (Rook, 1977)

ตารางที่ 2.5 การทำปฏิกิริยากับสารชีวโมลโดยคลอรีน

Humic compound	M. Cl ₂ Consumed M TOC Present	mM CHCl ₃ M TOC	mM CHCl ₃ M. Cl ₂ Consumed
Humic acid	1.4	13.0	9.2
Fulvic acid	0.8	6.0	7.5

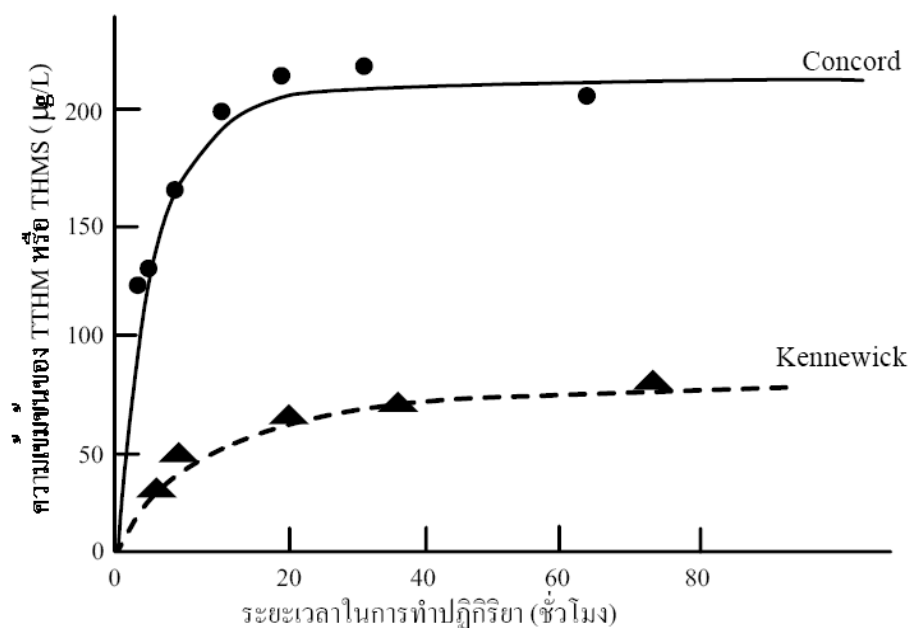
ที่มา : (Babcock and Singer, 1979)

2.3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทน

เวลา

เวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพของคลอรีน โดยเมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น ประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้น (Department of Environment and labor, 2000) อัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตัวอย่างกับคลอรีน เมื่อมีการเติมคลอรีน 7 mg/L และ 10 mg/L สำหรับการเกิด THM ทั้งหมดที่ 100 µg/L จะใช้เวลา 11 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ (Samorn Muttamara, 1995)

ปฏิกิริยาของการเกิด THMs ซ้ำมาก ส่วนใหญ่จะใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมง ปฏิกิริยาจึงจะสมบูรณ์ อัตราในการเกิดไม่แน่นอนขึ้นกับ ความแตกต่างของส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำดิบที่ใช้ เช่น ถ้ามีปริมาณ Bromide ในน้ำสูง ปฏิกิริยาจะเร็วและเกิด THMs ในปริมาณมาก เป็นต้น ดังรูปที่ 2.12

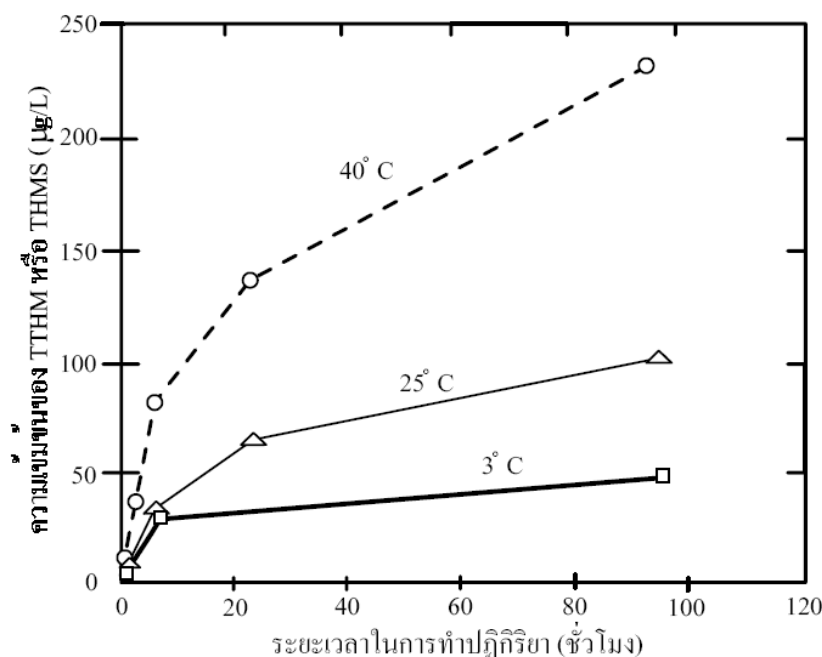


รูปที่ 2.12 อัตราการเกิด THMs ในปริมาณที่แตกต่างกันของการประปา Concord และ การประปา Kennewick ในสหรัฐอเมริกา (Trusell and Umphres, 1978)

อุณหภูมิ

ประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น (Department of Environment and labor, 2000) A.A Stevens *et al.*, (1976) อธิบายการเกิด chloroform ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 3, 25 และ 40 องศาเซลเซียส ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเช่น 40 องศาเซลเซียส และระยะเวลาสัมผัสนาน ความเข้มข้นของ chloroform จะเกิดขึ้นประมาณ 150 µg/L ถึง 225 µg/L

ได้มีการทดลองที่ระบบการประปา Cincinnati เกี่ยวกับการเกิดคลอโรฟอร์มในห้องทดลอง โดยการเอาน้ำจากแม่น้ำ Ohio มาเติมคลอรีนและมีการเพิ่มอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์กับการเกิด Chloroform และสัมพันธ์กับฤดูกาล ดังนั้นในการควบคุมจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษในฤดูร้อน ซึ่งอุณหภูมิจะสูงขึ้นในระหว่างการผลิต และในระบบแจกจ่ายน้ำประปาดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดคลอโรฟอร์ม

(Trusell and Umphres, 1978)

ปริมาณความเข้มข้นของ Bromide และ Iodide

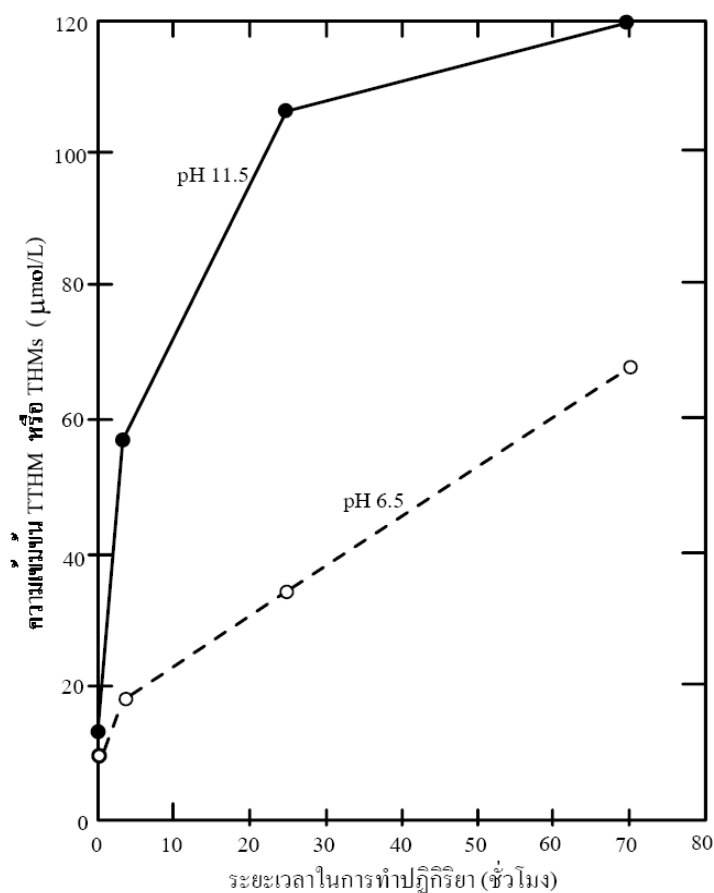
ไอออนของ Bromide และ Iodide จะถูกออกซิไดซ์โดยคลอรีนในน้ำในลักษณะแทนที่ในสารอินทรีย์ จนเป็นผลให้เกิด THMs ทั้งในรูปของ Halogen ทั่ว ๆ และ mixed halogen แต่สำหรับสารฟลูออไรด์ ไม่ปรากฏการทำ ปฏิกิริยา Oxidation กับคลอรีนในน้ำเพื่อให้เกิดสารฟลูออไรด์ในรูปที่ว่องไว แต่ประการใด (Bunn *et al.*, 1975)

สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่าถ้าเพิ่มค่า pH ของน้ำให้สูงขึ้น จะทำให้อัตราการเกิด THMs ในระบบการผลิตน้ำประปาสูงขึ้นด้วยดังตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากสารอินทรีย์ตัวเดียวกันที่ระดับ pH ต่างกัน และ รูปที่ 2.14 เป็นตัวอย่างของการทดลองให้เกิด THMs โดยปล่อยให้ปฏิกิริยาเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปนาน ๆ การเกิด THMs เป็นไปในลักษณะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิด THMs โดยการเพิ่ม pH ของน้ำเป็นสิ่งที่คาดการณ์ได้เพราะปฏิกิริยา Halogen เป็นปฏิกิริยาประเภท Base catalyzed อย่างไรก็ตามถ้า นำเอาโครงสร้างของ Humic acid ที่ซับซ้อนมา

เกี่ยวข้องกับได้ยาก เพราะ Simple methyl ketones ซึ่งเป็นรูปแบบของการอธิบาย Haloform reaction นั้น ได้ทำ ปฏิกิริยาจนเกิดเป็น THMs ได้ช้ามาก

Natural Environmental Board, (1984) ได้เสนอถึงผลของ pH ต่อการเกิด chloroform ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ TOC และ ปริมาณคลอรีนคงที่ ความเข้มข้นของ chloroform จะลดลงเมื่อค่า pH ลดลง Stevens *et al.*, (1976) อธิบายถึงผลของ pH ต่อการเกิด THMs เมื่อมี Humic acid 1 mg/L และปริมาณคลอรีน 10 mg/L ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยวัดความเข้มข้นของ THMs ที่สภาพ pH ต่าง ๆ กันคือ 3.4, 5.2, 6.2 และ 9.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 ผลของพีเอชของน้ำต่อการเกิดคลอโรฟอร์มในน้ำภายหลังการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 25⁰ C (77⁰F) และใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L (Natural Environmental Board, 1984)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากสารอินทรีย์ตัวเดียวกัน ที่ระดับพีเอชต่างกัน

(Oliver, B.G. And Lawrence, J., 1979)

Organic	Chloroform Concentration ($\mu\text{g/L}$)	
	pH 7	pH 11
Fulvic acid	28	39
Humic acid	29	42
Tannic acid	11	61
Lignosulphonic acid	3	9
Aspartic acid	2	85
Phenol	24	31

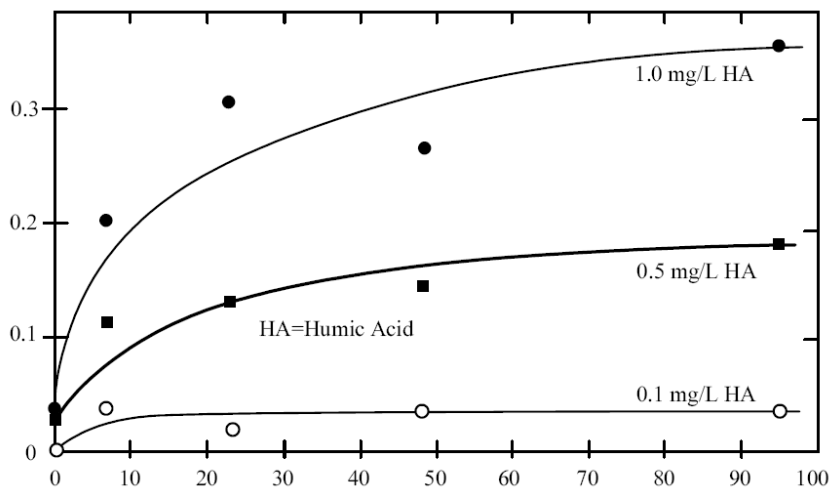
*Reaction condition ; organic 2 mg/L ; chlorine 10 mg/L ; time 24 hr.; temp. 20 °C

คุณลักษณะเฉพาะและความเข้มข้นของสารเริ่มต้น

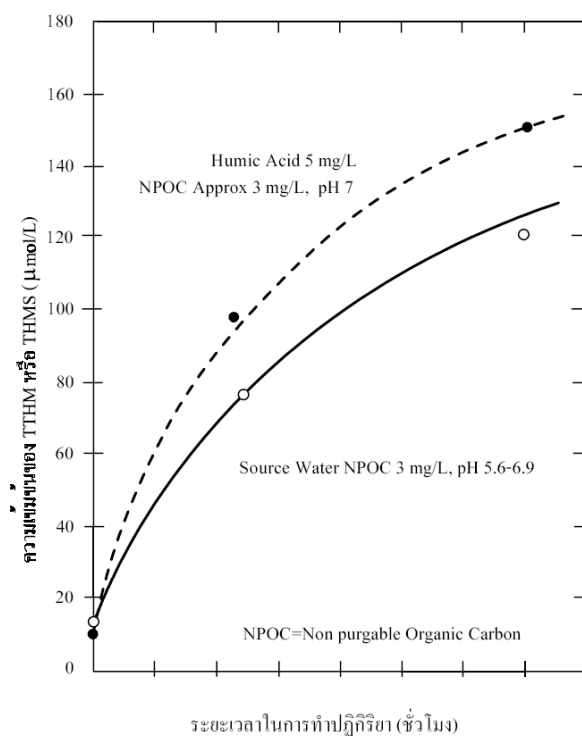
การเพิ่มความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (Precursor) ในสภาวะปกติโดยมีปริมาณคลอรีนมากเกินไปแล้ว พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ THMs เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของ Humic acid ดังรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 ซึ่งในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ Humic acid ที่มีความเข้มข้นของ NPOC (Non-purgable organic carbon) เท่า ๆ กัน จะให้ผลของ THMs เหมือน ๆ กัน อย่างไรก็ตาม เมื่อแหล่งน้ำดิบที่ใช้ต่างกัน มักจะพบว่าความเข้มข้นของ Organic carbon และ THMs ที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กันเพียงหยาบ ๆ เท่านั้น

อัตราการเกิดของ THMs จะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ขึ้นอยู่กับสารเริ่มต้นจากการศึกษาของ (Rook, 1977) แสดงให้เห็นถึงสารเริ่มต้นที่เป็น Fulvic acid จะให้รูปแบบการเกิด THMs ที่คล้าย ๆ กับ m-dihydroxyphenyl moieties เช่น Resorcinol เป็นต้น ผลของปฏิกิริยาจะสมบูรณ์ที่สุด เมื่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็นกลางอย่างน้อย 2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวมักเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ใช้เวลา 3-4 วันขึ้นไป ดังรูปที่ 2.17

Natural Environmental Board, (1984) อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC ในน้ำดิบกับความเข้มข้นของ THM ทั้งหมด (TTHM) ภายหลังจากการเติมคลอรีน ภายใต้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ THM ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อ TOC เพิ่มขึ้น โดยค่าความเข้มข้นของ THM ทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 1-250 $\mu\text{g/L}$ เมื่อค่า TOC อยู่ในช่วงระหว่าง 1-11 mg/L

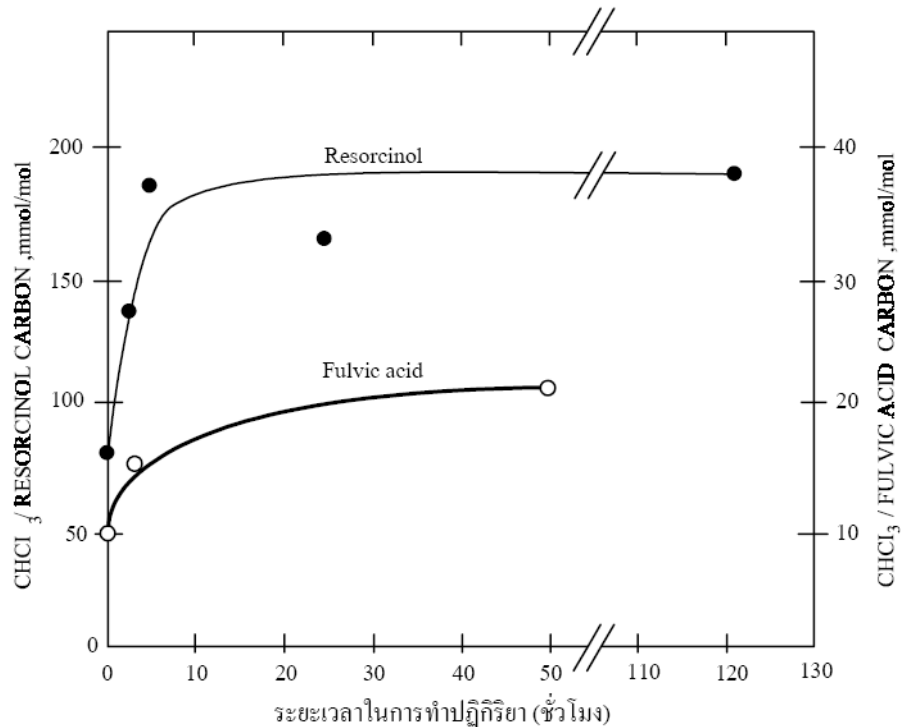


รูปที่ 2.15 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทนเมื่อใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L ที่พีเอชของน้ำเท่ากับ 6.7 ที่อุณหภูมิ 25°C (77°F)
(Natural Environmental Board, 1984)



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L กับกรดฮิวมิกในน้ำดิบซึ่งวัดในรูปของ NPOC

(Natural Environmental Board, 1984)

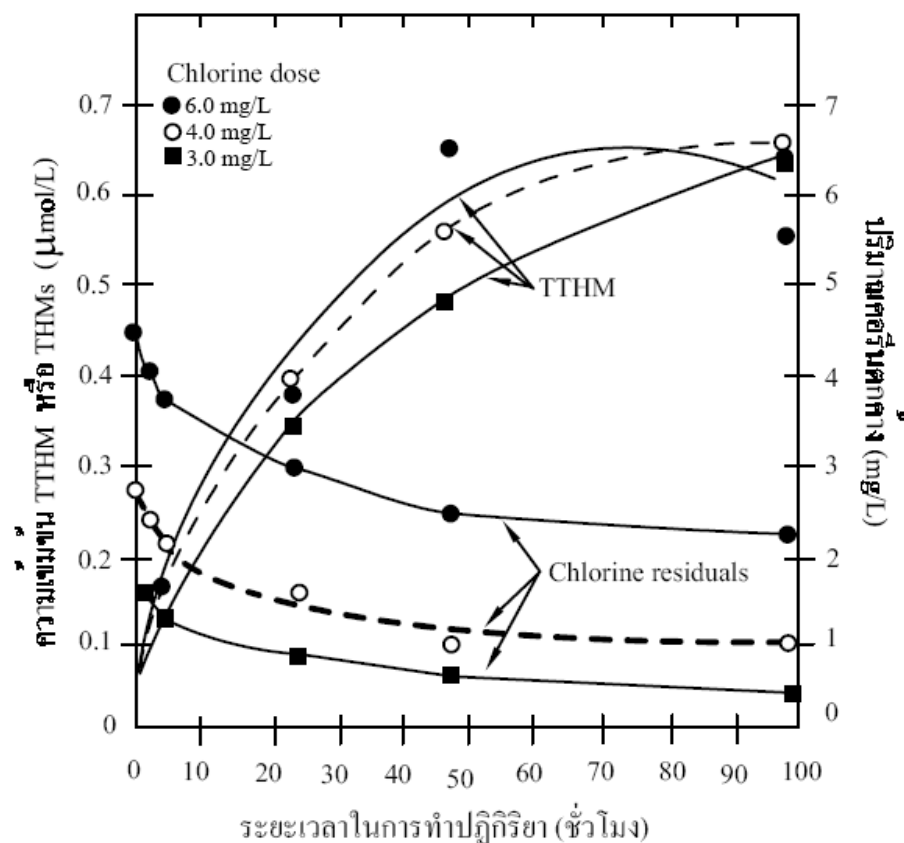


รูปที่ 2.17 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่เป็นแบบอย่างของสารเริ่มต้นของไตรฮาโลมีเทน กับคลอรีนในน้ำ (Rook, 1977)

ปริมาณสารคลอรีน

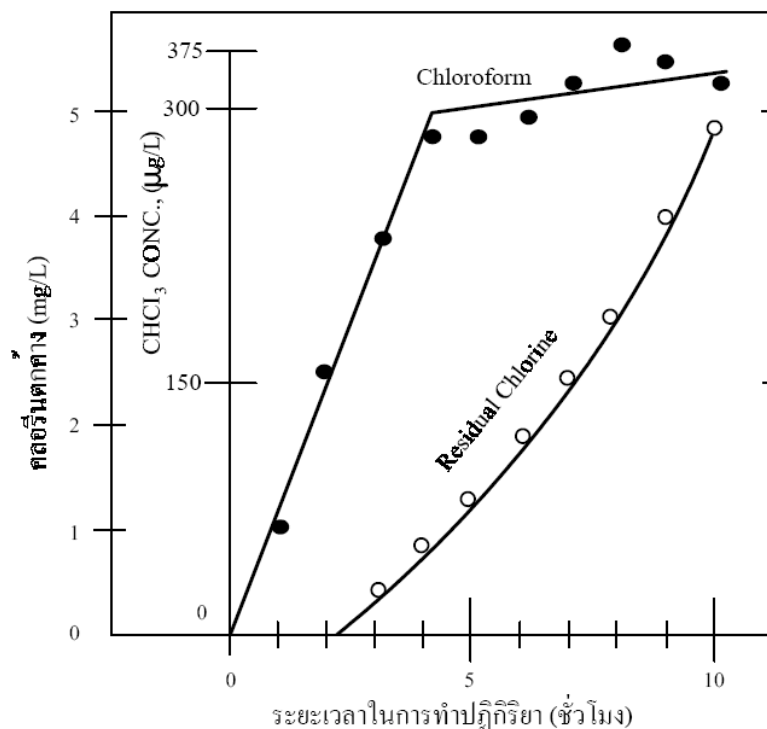
ประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณคลอรีนเพิ่มขึ้น (Department of Environment and labor, 2000) ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิด Chloroform ในระบบแจกจ่ายน้ำกับอัตราการเติมคลอรีน โดยระดับของ Chloroform จะเพิ่มขึ้นจาก 20 $\mu\text{g/L}$ เป็น 220 $\mu\text{g/L}$ ภายหลังจากการเติมคลอรีนเพิ่มขึ้นจาก 4 mg/L เป็น 30 mg/L และที่ปริมาณคลอรีน 22 mg/L จะเกิด Chloroform ในระดับสูงที่สุด จากการศึกษาของ Natural Environment board., (1984) และ R. Rhodes Trussell., (1978) รายงานถึงผลของปริมาณคลอรีนที่ทำให้เกิด THMs ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคลอรีนที่แตกต่างกันเมื่อปริมาณคลอรีน 1 mg/L และ 80 mg/L ถูกเติมลงในน้ำสังเคราะห์ซึ่งมีค่า TOC ประมาณ 0.2 mg/L พบว่าคลอรีนที่ความเข้มข้นต่ำจะเกิด THMs ได้น้อย แต่เมื่อความเข้มข้นของคลอรีนเพิ่มขึ้นเป็น 20 mg/L พบว่า THMs จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมี chlorine residual เกิดขึ้น

เมื่อสารตั้งต้นอยู่ในสภาวะคงที่ อัตราการเกิด THMs มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับ การเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำนั้น รูปที่ 2.18 และ รูปที่ 2.19 (Kajino and Yagi, 1980) ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมคลอรีนจนเพียงพอกับความต้องการคลอรีนของน้ำแล้ว ถ้าเพิ่ม ปริมาณ Chlorine residual ลงไปอีก ก็จะมีผลต่อการเกิด THMs เพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่วนในการ ทดลองกับสารเริ่มต้นที่ได้จากน้ำดิบหลายแหล่งก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่จะไม่พบการเกิดTHMs จาก การใช้ Combined chlorine (Chloramine) เลย และอาจสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารเริ่มต้นจะมี ความสำคัญต่อการเกิด THMs มากกว่าปริมาณและชนิดของคลอรีนที่ใช้และเมื่อทำการเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้ Free chlorine residual กับ Combined chlorine residual พบว่า อัตราการเกิด THMs มีผลมาจาก free chlorine residual เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอรีนตกค้าง ไม่มีผลต่ออัตราการเกิด ไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่พีเอชเท่ากับ 7 และอุณหภูมิ 25 °C (77°F)

(Kajino and Yagi, 1980)



รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบอัตราการเกิดคลอโรฟอร์มกับปริมาณคลอรีนตกค้างที่ใช้ซึ่งไม่สัมพันธ์กัน (Kajino and Yagi, 1980)

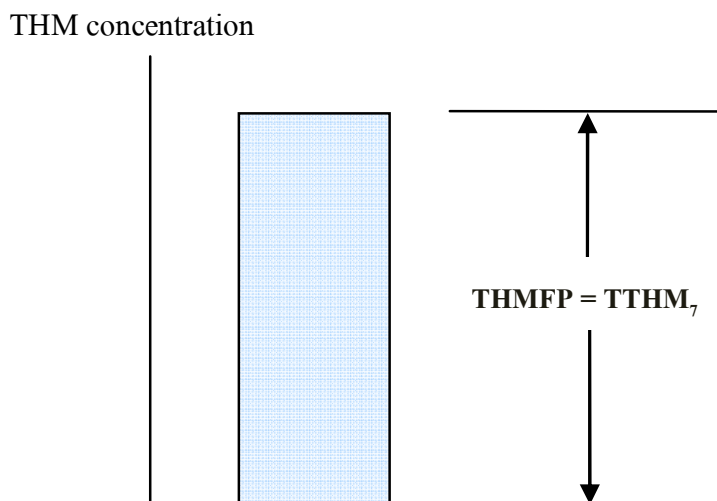
ความขุ่น

ความขุ่นจะขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมีความขุ่นลดลง (Department of Environment and labor, 2000)

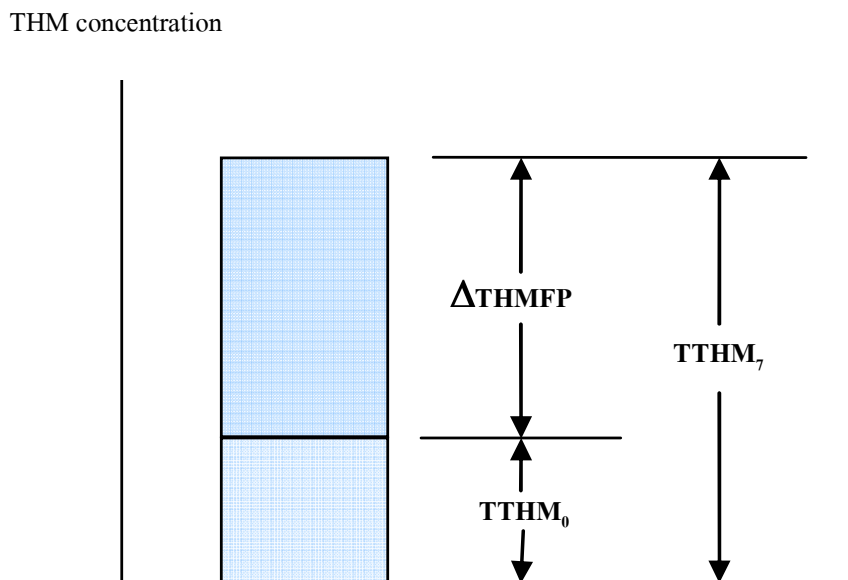
2.3.7 Trihalomethane formation potential (THMFP)

THMFP เป็นผลต่างระหว่างความเข้มข้นของค่า total trihalomethanes ณ เวลาใดๆ (TTHM_T) กับค่า TTHM₀ ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง (รูปที่ 2.20 และ 2.21) เมื่อค่า TTHM_T เป็นความเข้มข้นของสารประกอบทั้ง 4 ชนิดของสารไตรฮาโลมีเทน โดยปกติจะรายงานในรูปของ TTHM₇ ซึ่งเป็นค่า TTHM หลังจากเก็บน้ำตัวอย่างไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน และค่า TTHM₀ เป็นเป็นความเข้มข้นของ THM ณ เวลาเก็บตัวอย่างน้ำ ถ้าน้ำตัวอย่างไม่มีการเติมคลอรีนในขณะที่เก็บ TTHM₀ จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่า THMFP จะเป็นค่า TTHM₇ และถ้าน้ำตัวอย่างมีการเติมคลอรีนใน

ขณะที่ทำการเก็บจะทำให้เกิด THMs ส่วนหนึ่ง และ ΔTHMF_P จะเป็นค่าที่แตกต่างกันระหว่างความเข้มข้นของ TTHM



รูปที่ 2.20 อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างไม่มี free chlorine (Musikavong, 2007)



รูปที่ 2.21 อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างมี free chlorine (Musikavong, 2007)

2.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

2.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

สารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบการผลิตน้ำประปามาจากน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยส่วนใหญ่แล้วคือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) NOM ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโต หรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลินทรีย์ต่างๆ โดยแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำมีผลต่อส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบ

NOM ในน้ำพบอยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์หรือในรูปสารละลายโดยทั่วไป อนุภาคสารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน เหมือนกับอนุภาคทั่วไปที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ NOM ละลายน้ำคือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สามารถผ่านเมมเบรนที่ขนาด 0.45 ไมโครเมตรซึ่งไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการเดียวกันกับสารอินทรีย์โดยกระบวนการผลิตน้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วน NOM ที่เป็นคอลลอยด์จะแตกต่างจากโมเลกุลของ NOM ละลายน้ำตรงที่สามารถกำจัดออกโดยใช้กระบวนการ โคแอกกูเลชันแบบทำให้ประจุเป็นกลาง (Charge Neutralization) (Crozes *et al.*, 1995)

NOM สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นฮิวมิกและส่วนที่ไม่ใช่ฮิวมิก NOM ที่เป็นฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร hydrophobic โดยประกอบด้วย กรดฮิวมิก กรดฟัลลิก และฮิวมิน ส่วน NOM ที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร Hydrophilic Acids โปรตีน กรดอะมิโน และคาร์โบไฮเดรต (Owen *et al.*, 1995) และส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีประมาณร้อยละ 35-55

2.4.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ปัญหาของการมี NOM อยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นที่ทราบกันตั้งแต่มานาน ค.ศ. 1970 โดยงานวิจัยจะเน้นในเรื่องลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำดื่ม และวิธีการกำจัด NOM ออกจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา สาเหตุที่ NOM เป็นปัญหาและมีความต้องการกำจัดออก ทั้งนี้เนื่องจาก NOM อยู่ในแหล่งน้ำ เช่นการทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปาความสามารถในการจับ โลหะและสารอินทรีย์ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic organic Chemicals) ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในน้ำที่ผลิตได้ การก่อให้เกิดการกัดกร่อนและการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้สารออกซิแดนท์ เช่นคลอรีนหรือโอโซน ในกระบวนการบำบัดการก่อให้เกิดกลิ่นและ

รสในน้ำแวนโน้มในการเป็นตัวขัดขวางการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆในน้ำ และการเป็นสารที่ก่อให้เกิดสาร Disinfection By-products (DBPs) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากในปัจจุบัน

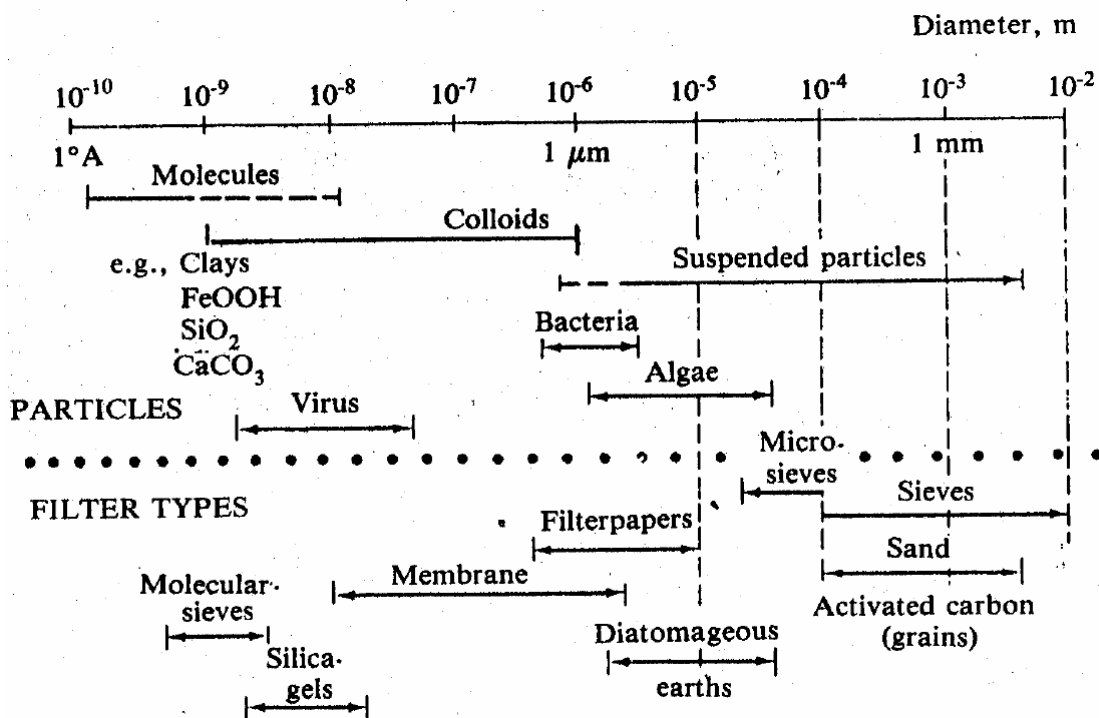
กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาทั่วไปในปัจจุบันหรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกกูเลชัน การตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั่น ไม่สามารถกำจัด NOM ได้เพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้เกิดปัญหา ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในทางกลับกันอาจยังเพิ่มปัญหาให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำทำให้มีปริมาณ NOM อยู่มาก หากการฆ่าเชื้อโรคคำนึงถึงเพียงแต่ ปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา (Free Residual Chlorine) อาจก่อให้เกิดสาร DBPs เช่น สาร ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane, THMs) ในปริมาณสูงซึ่งเป็นสารเป็นสารก่อมะเร็งที่มีอันตราย มาก โดยปริมาณของ NOM ในแหล่งน้ำมีแวนโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เป็นเพราะว่าการเติบโตของเมือง และการใช้น้ำในภาคการเกษตรมีแวนโน้มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการ กำจัด NOM ออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

2.4.3 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน

อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มม.(รูปที่ 2.22) เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนัก ของตัวเองในเวลาจำกัด นอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ(Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์,สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาค ดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักรันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาค เหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและจับกันเป็นก้อนจะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ (มันลิน, 2537)

1. ทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ โดยกลไกวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้



รูปที่ 2.22 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ (มันสิน, 2537)

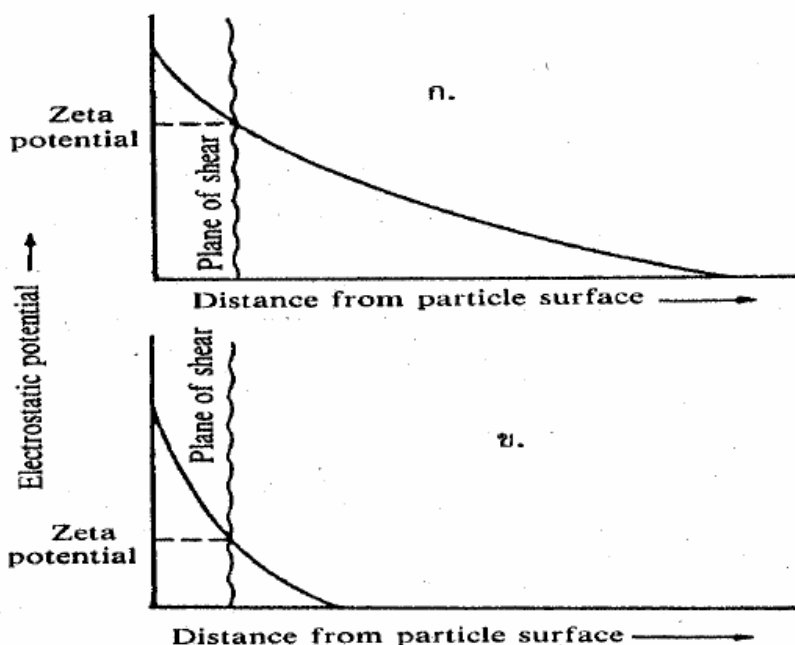
1.1 กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับ คอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย (รูปที่ 2.23) การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่างๆมีข้อที่น่าสนใจดังนี้

- ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพ ของคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจาย ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์
- ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้คอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก (Charge Reversal) (รูปที่ 2.24)

1.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

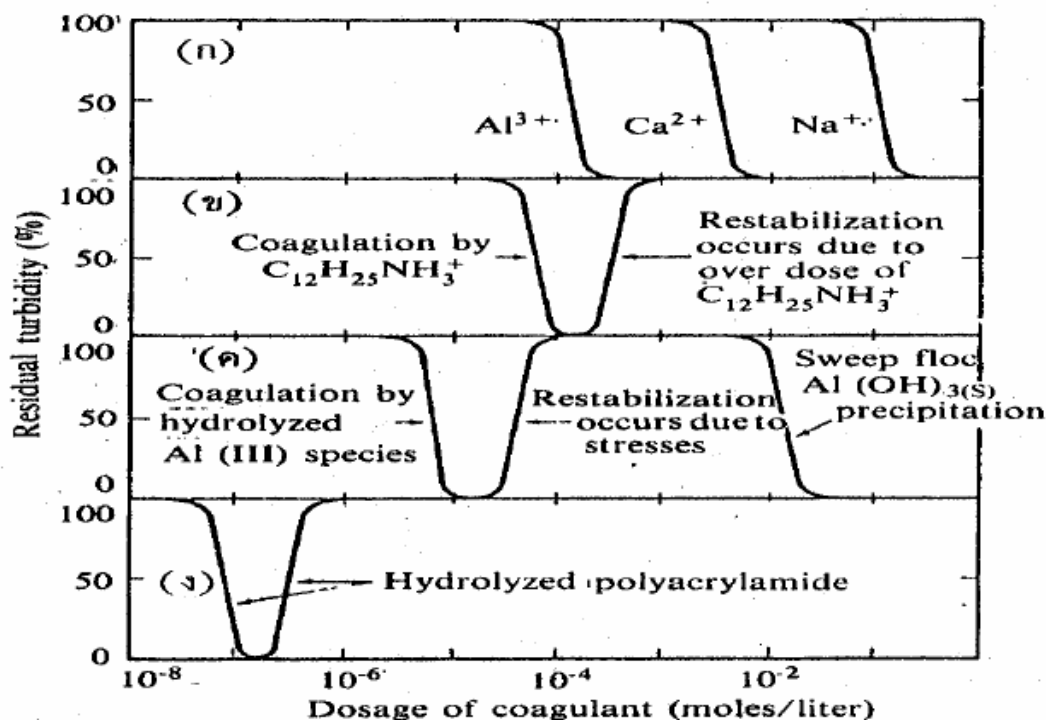
1.3 กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เช่น การใส่สารส้มให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ เหมือนวุ้นสีขาว เพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อกได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรกคือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูแลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่า เหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูแลชันอาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆสำหรับเป็นสารเป่าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป่าสัมผัสจากภายนอกเท่ากับกรณีแรก

1.4 กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นๆเพื่อทำให้เกิดฟล็อก



รูปที่ 2.23 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข)

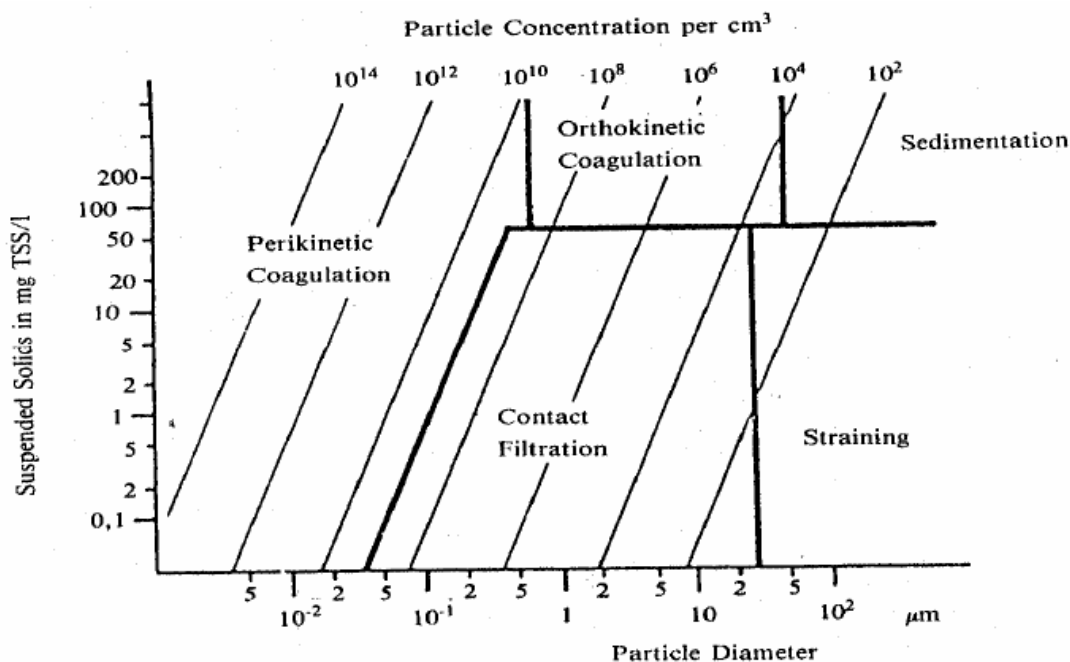
หลังจากการเติมไอออนแล้ว (มันสิน, 2537)



รูปที่ 2.24 การเปรียบเทียบปริมาณ โคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกแบบต่างๆ แสดงว่า ก) ซึ่งเป็นการลดความหนาของชั้นกระจายด้วย Al^{3+} , Ca^{2+} และ Na^{+} ต้องการสารเคมีมากที่สุด ส่วนแบบ (ง) ซึ่งเป็นการใช้โพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อมโยง (สะพาน) ให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมตัวกัน มีความต้องการสาร โคแอกกูแลนต์น้อยที่สุด (มันสิน, 2537)

2. ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพ แล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธี (รูปที่ 2.25) ดังนี้

2.1 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกคูเลชันเรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกคูเลชันแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.



รูปที่ 2.25 เณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคต่างๆทั้ง 5 ประเภท
(มันสิน, 2537)

2.2 การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเรียกว่า Perikinetic Flocculation

2.3 การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล. ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟล็อกคูเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อกคูเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน

2.4 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1–1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟล็อกคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมพันธ์แบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจกระทำดังนี้

2.4.1 ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสให้และยังบังคับให้อนุภาคต่างๆเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้าง

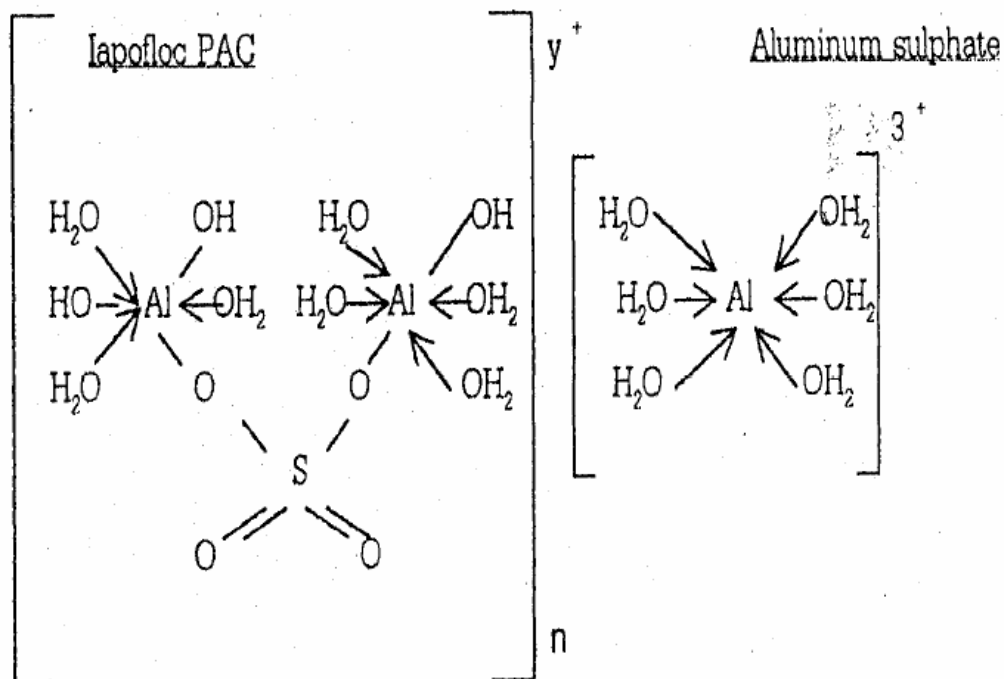
ฟล็อกคูเลชันเช่นนี้เรียกว่ากรองสัมผัส (Contact Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัดวิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล. การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟล็อกคูเลชันไม่ดีเท่าชั้นทราย

2.4.2 ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งคือนำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคคอลลอยด์จากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ การใช้ถึงตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier ก็ใช้หลักนี้

2.5 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

กลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride, PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป PACl ถูกเตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 นี้จะทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$ หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลีเมอร์ ซึ่งเมื่อเติมสารส้มลงไปในสารละลายนี้ สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ Al_2O_3 ให้เหลือ 10–11 % และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อไปทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอลูมิเนียม 2 อะตอม สูตรทั่วไปของ PACl คือ $Al_n(OH)_mCl_{3-n-m}$ ดังรูปที่ 2.26 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PACl และ alum (Hundt and O'Melia, 1988; Viraraghavan and Wimmer, 1988) เมื่อ PACl ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ซึ่งตัวที่ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{+7}$ หรือ Al^{+13} ซึ่งการรวมตัวเป็นอลูมิเนียมตัวนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของค่าต่างกับกับสารละลายอลูมิเนียม ชนิดและความเข้มข้นของค่า ความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์, อุณหภูมิซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือปริมาณของค่าที่เติมลงไปและระดับของความเป็นกลาง



รูปที่ 2.26 โครงสร้างทางเคมีของ Lapofloc PACI และ Alum (Viraraghavan และ Wimmer, 1988)

Kawamura (1976) รายงานว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ โดยในปัจจุบันเกลืออลูมินัม (Aluminum salt) ยังคงใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกระบวนการโคแอกกูเลชันของเกลืออลูมินัมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือในน้ำดิบ พีเอช อุณหภูมิ ชนิดและขนาดของอนุภาค การกวนผสม และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ นอกจากนี้การใช้โพลีเมอร์เป็นสารโคแอกกูแลนต์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมีอื่น เนื่องจากสามารถใช้ในปริมาณที่น้อยลง เกิดสลัดจ์ (Sludge) น้อยและยังลดปัญหาเรื่องการปรับพีเอชและความเป็นด่าง (Alkalinity) ในน้ำอีกด้วย (Kawamura, 1976) สอดคล้องกับ Shea และคณะ (1971) โดยรายงานว่าการใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์ในระบบกรองส้มฝัสดจะทำให้ได้สลัดจ์ (Sludge) เพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากการตกตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ซึ่งพบว่าจะใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ในปริมาณที่น้อยกว่า และสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจะมาจากของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่อยู่ในน้ำดิบเดิมนั่นเอง นอกจากนี้การใช้สารโคแอกกูแลนต์ต่างชนิดกันมีผลต่ออัตราการกรองของระบบกรอง Adin และ Rebhun (1974) ศึกษาพบว่าการใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์เพียงสารเดียวในระบบกรองส้มฝัสดให้ประสิทธิภาพควรมีอัตราการกรองอยู่ในช่วง

5-10 ลบ.ม./ต.ร.ม.-ชม. แต่การใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกเป็นสารโคแอกกูแลนต์นั้นสามารถกรองในอัตราการกรองที่สูงได้ถึง 20 ลบ.ม./ต.ร.ม.-ชม. นอกจากนี้ พรชัย, (2515) ทำการศึกษาการนำเครื่องกรองแบบหลายชั้นมาใช้กำจัดความขุ่นของน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 5 NTU โดยไม่เตรียมน้ำก่อนกรองพบว่าประสิทธิภาพการกรองมีเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ สารส้มเตรียมน้ำก่อนกรองพบว่าสามารถกำจัดความขุ่นได้มากขึ้น

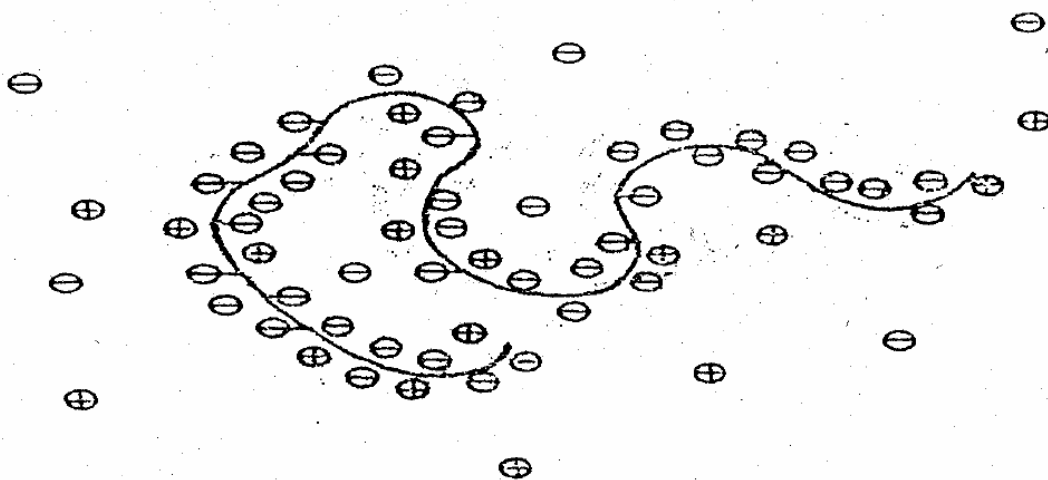
ความเป็นกรดหรือด่างของน้ำมีผลต่อกระบวนการโคแอกกูแลชั่น โดย Dempsey *et al.*, (1985) พบว่า Polyaluminium Chloride (PACl) ใช้ได้ดีกว่าสารส้มเมื่อ pH สูงกว่าหรือต่ำกว่า pH ที่เหมาะสมของสารส้ม และ PACl ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าสารส้มเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำ ที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำถึงปานกลางพบว่า PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่ดีกว่าสารส้ม โดยเฉพาะที่ pH ที่น้อยกว่า 5 และมากกว่า 7 จากการศึกษาของ Kawamura and Trussell., (1991) กล่าวว่าประสิทธิภาพของ PACl ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบและค่อนข้างได้ผลในน้ำที่มีความเป็นด่าง (Alkalinity) ต่ำ ความขุ่นสูง (> 30 NTU) โดยเฉพาะในสภาพอากาศหนาว แต่มีข้อเสียตรงที่ PACl มีราคาแพงมากกว่าสารส้มถึงแม้ว่าจะใช้ในปริมาณที่ต่ำกว่า

การใช้สารช่วยสร้างตะกอน

โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

1. โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose), เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)
2. โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ในปี ค.ศ.1979 ได้มีการสังเคราะห์โพลีเมอร์ขึ้นอย่างสมบูรณ์

และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง Polyacrylamide ที่สร้างขึ้นจาก monomer ที่รวมกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้ว้น้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วยแสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงรูปร่างโพลิเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักรวมโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย
(USEPA, 1979)

องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของโพลิเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว (long chain) เป็นสารเคมีชนิดพิเศษ สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จาก monomers หลายๆ อันรวมกันหรือสามารถทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มน้ำหนักของ monomers ซึ่งเป็นตัวแบ่งประเภทของโพลิเมอร์ ที่เกิดขึ้น ดังนั้น monomer จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของ โพลิเมอร์ แขนของ monomer ค่อนข้างกว้างจึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โพลิเมอร์ เช่น acrylamide สารอินทรีย์สังเคราะห์โพลิเมอร์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆคือ

- Cationic Polymer มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนโพลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนอ็อกซิเจนของ nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่าง Cationic Polymer เช่น polydiallyldimethyl ammonium (PDADMA, cat-floc) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท cationic เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด non-ionic-polyacrylamide หรือเป็นการรวม cationic monomer ด้วย acrylamide polymer ชนิด cationic polymer จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนสดนั้นมีประจุลบ

- Anionic Polymer มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ acrylamide ที่ละลายอยู่ใน acrylic acid ชนิดของ anionic polymer เช่น polyacrylamide acid (PAA), hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) และ polystyrene sulfate (PSS) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท anionic มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิด

กลุ่ม amide group (NH₂) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anionic monomer จนเป็น acrylamide polymer

- Nonionic polymer ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติ nonionic polymer อาจเกิดจากการรวมกันของสารอนินทรีย์โพลีเมอร์ inorganic polymer และสารอินทรีย์โพลีเมอร์ (organic polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของ floc

โครงสร้างในรูปสารละลายของ สารอินทรีย์โพลีเมอร์เมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นสารละลาย ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืด ค่าความหนืด(Viscosity) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับของประจุไฟฟ้าที่การเจือจางมากๆ โมเลกุลจะยืดแขนออก เพราะว่าผลของการผลัดจึงทำให้เกิดการประชิดตามความยาวของสายโพลีเมอร์ ที่ความเข้มข้นปกติ สายโซ่ที่ยาวของโพลีเมอร์จะถูกลบ สันนิษฐานว่ามีรูปร่างคล้ายไส้ไก่ (ม้วนเป็นวง) อย่างไรก็ตามเนื่องจากความยาวของสายโมเลกุลของโพลีเมอร์ค่อนข้างยาวดังนั้นจึงไม่สามารถบอกตัวเลขของสายโพลีเมอร์ได้ทั้งหมดเมื่อโพลีเมอร์ละลายน้ำซึ่งประมาณโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/ลิตรจะมีสายโพลีเมอร์ประมาณ 120 ล้านสายต่อน้ำ 1 ลิตร จากการศึกษาของ Kawamura (1976) รายงานว่าการที่นำ โพลีเมอร์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนหรือสารช่วยเร่งให้ตกตะกอนกันอย่างมากเนื่องจาก การใช้โพลีเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำได้ ทำให้ได้กลุ่มตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น(dense floc) ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือเฟอริกคลอไรด์ ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนที่รวดเร็วมากกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน สะดวกในการใช้งาน ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้ สามารถทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กในการสร้างตะกอน ทำให้สารเคมีบางชนิด เช่น ซัลเฟต ตกค้างในน้ำในปริมาณที่น้อย

ปริมาณที่เหมาะสมของสารโคแอกกูแลนต์

ความล้มเหลวของกระบวนการ โคแอกกูแลชัน ในกระบวนการปรับคุณภาพน้ำพบว่าส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการเติมสาร โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม การเติมสารโคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่น้อยเกินไปอาจทำให้ไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ในขณะที่ปริมาณที่มากเกินไปจะนำไปสู่การกลับคืนสู่การมีเสถียรภาพอีกครั้งของประจุบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ โดยปริมาณที่เหมาะสมเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณของอนุภาคคอลลอยด์ ในปัจจุบันกระบวนการ โคแอกกูแลชันและฟล็อกกูแลชันยังพัฒนาไม่เพียงพอที่จะบอกได้

ถึงการเลือกปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมของสาร โคแอกกูแลนต์โดยปราศจากการทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีจาร์เทสต์ในการหาปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม

จาร์เทสต์เป็นวิธีการทดสอบอย่างง่าย ๆ โดยทำการทดลองในบีกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ชุด ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์และกำหนดสภาวะต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลากวนน้ำ และระยะเวลาในการตกตะกอนแล้วจึงทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ ส่วนระดับ pH อาจแปรเปลี่ยนหรือคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง จากการทดลองจะได้ปริมาณของสาร โคแอกกูแลนต์ และระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการ โคแอกกูเลชันและและฟล็อกคูเลชัน แม้ว่าการทดลองจาร์เทสต์จะเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันก็จริงแต่วิธีนี้ยังมีข้อบกพร่องคือ บีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงถึงแม้ว่าจะพยายามกำหนดตัวแปรต่างๆ ในการทดลองให้ใกล้เคียงความเป็นจริง แต่อิทธิพลดังกล่าวทำให้ตัวแปรที่มีค่าแตกต่างไปจากความเป็นจริง

โดยทั่วไปจาร์เทสต์สามารถบอกได้เพียงสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม แต่ความเข้มข้นและความแข็งแรงของกลุ่มตะกอนสามารถหาได้ดีที่สุดจากการศึกษาใน Pilot Plant เท่านั้น นอกจากนี้นักวิจัยบางท่านระบุว่าข้อมูลการกำจัดสารแขวนลอยที่ได้จากจาร์เทสต์ และถึงปฏิบัติการแบบไหลต่อเนื่องมีความแตกต่างกัน ในการทดลองส่วนใหญ่พบว่าจาร์เทสต์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยที่ดีกว่าในถึงปฏิบัติการแบบไหลต่อเนื่อง

กระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิวโดยทั่วไปเป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็ง-ของแข็ง ก๊าซ-ของเหลว ของเหลว-ของเหลว หรือ ของเหลว-ของแข็ง ในการใช้ถ่านเป็นตัวดูดติดผิวสารอินทรีย์ในน้ำเป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็งและของเหลวการดูดติดผิวแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือการดูดติดผิวทางฟิสิกส์(Physisorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978) กล่าวคือเมื่อโมเลกุลของสารใดๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของของแข็งซึ่งเป็นผลมาจากแรงดูดติดผิว (Adsorbate) ที่มีต่อโมเลกุลนั้นมากกว่าพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของโมเลกุล(Adsorbate) โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดติดผิวทางฟิสิกส์ การเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นชั้นๆ ตามความเข้มข้นของสารละลายจากนั้นจะเกิดการดูดติดผิวทางเคมีขึ้นโดยมีพลังงานหนึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดติดผิว และตัวถูกดูดติดผิวกลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งไม่สามารถเปิดกลับไปได้ (Irreversible) ตรงข้ามกับการ

ดูดซับทางฟิสิกส์สามารถแปรสภาพกลับได้(Reversible)ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

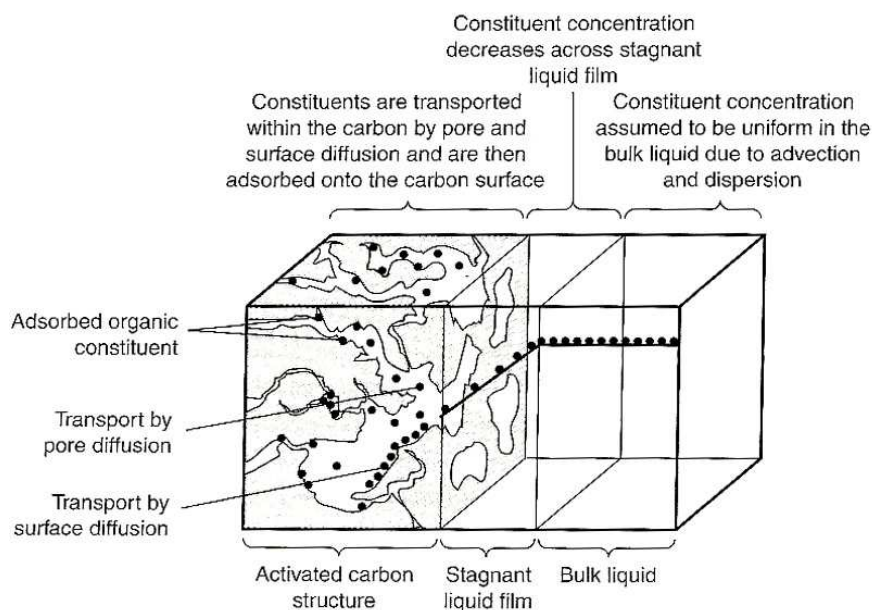
ในกระบวนการดูดซับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเข้ามาอยู่ในชั้นแรกจะสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับผิวของตัวดูดซับได้จึงเกิดการดูดซับทั้งทางฟิสิกส์ และเคมี ส่วนการดูดซับในชั้นต่อไป จะเกิดการดูดซับทางด้านฟิสิกส์เท่านั้น ซึ่งรูปแบบของจำนวนชั้นของโมเลกุลที่ดูดซับทางฟิสิกส์จะมีความสำคัญต่อการเลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความสามารถในการดูดซับ หรือการคำนวณไอโซเทอมการดูดซับ

กลไกการดูดซับ

การดูดซับสิ่งสกปรกที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ ในระยะแรก โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่บนอกของเม็ดถ่าน ในระยะที่สอง โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (Diffusion) เข้าไปในรูของเม็ดถ่าน ดังนั้นอัตราการดูดซับนี้จึงถูกควบคุมด้วยอัตราการฟุ้งกระจายเข้าไปตามรูพรุนของเม็ดถ่าน อัตราการดูดซับนี้จะแปรผกผันกับกำลังสองของเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุล แล้วจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำและจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ยังแปรผกผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับถ่าน และจะเพิ่มขึ้นถ้าค่าพีเอชของน้ำลดลง (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2525) ความสามารถในการดูดซับของถ่านจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของถ่าน และชนิดของสารที่ถูกดูดซับ ดังนั้นการใช้ถ่านดูดซับ จึงจำเป็นต้องศึกษาทดลองเพื่อหาถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งาน

อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

กระบวนการเคลื่อนย้ายโมเลกุล โดยถ่านกัมมันต์ ดังรูปที่ 2.28 แบ่งพื้นที่เป็นสี่ส่วนคือ (1) Bulk solution transport (2) film diffusion transport (3) pore transport และ (4) adsorption (หรือ sorption)



รูปที่ 2.28 Definition sketch for adsorption of an organic constituent with activated carbon
(Metcalf และ Eddy, 2004)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากอัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ขั้นตอนในการดูดซับของสารละลาย โดยตัวดูดซับที่มีรูพรุนได้แก่

ก. การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของสารละลายในของเหลว จะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

ข. การขนส่งชั้นผิวหน้าของตัวดูดซับ (Surface transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ตัวดูดซับ การขนส่งในขั้นนี้เป็นกระบวนการที่เกิดการแพร่ผ่านฟิล์มของเหลว (Surface diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้

ค. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลสารที่ละลายในของเหลวเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของตัวดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว

ก. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับการแพร่ภายนอกหรือการแพร่ภายใน ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนาแน่นมากเนื่องจากไม่ถูกรบกวน ซึ่งจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดติดผิว ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสารเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาสารดูดติดผิวได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ภายในจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของตัวดูดติดผิว ด้วยเหตุนี้ในกรณีความปั่นป่วนสูงอัตราเร็วในการดูดติดผิวจะขึ้นอยู่กับการแพร่ภายใน และในกรณีความปั่นป่วนต่ำอัตราเร็วในการดูดติดผิวจะขึ้นอยู่กับการแพร่ภายนอก

ข. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว อัตราการดูดติดผิวเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดติดผิว ส่วนพื้นที่ผิวนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorptive Capacity)

ค. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดติดผิว เมื่อมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดูดออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้น้อยมากสามารถเกาะติดบนผิวของสารดูดติดผิวได้ดี อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างต้นนี้ไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะสารที่ละลายในน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวได้ยากเช่นกัน แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดติดผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายในน้ำได้ดีด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถกล่าวได้อย่างเต็มที่มีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดติดผิว และความสามารถในการละลายน้ำ

ง. ขนาดของสารที่ดูดติดผิว ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดติดผิว ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในโพรงของสารดูดติดผิว จากการวิจัยพบว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารและสารดูดติดผิวจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้น โมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง

จ. พีเอช การแตกตัวเป็นไอออนและความสามารถในการละลายน้ำของสารละลายต่างๆจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ดังนั้นพีเอชจึงมีผลต่อการดูดติดผิวด้วย

ฉ. อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคืออัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ในทางกลับกันขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

ช. ระยะเวลาในการดูดติด ระยะเวลาในการดูดติด หมายถึงเวลาสัมผัส ต้องมีมากพอที่ทำให้เกิดการดูดติดเพื่อจะเข้าสู่ภาวะสมดุล

สมดุลของการดูดซับ

Adsorption Isotherm คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับและความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ในน้ำแล้วนำไปพลอตกราฟลอการิทึม โดยให้ความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ในน้ำเป็นแกนนอน และปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปต่อน้ำหนักตัวดูดซับเป็นแกนตั้ง เส้นโค้งที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมด เรียกว่า Adsorption Isotherm ซึ่งมีประโยชน์มากในการหาความสามารถในการดูดซับของสิ่งสกปรกในน้ำ และเพื่อเปรียบเทียบชนิดตัวดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้งานมากที่สุดคือ Langmuir theory และ Freundlich theory

สมการ Adsorption isotherm ที่โดยปกติใช้ในการอธิบายข้อมูลการดูดติดของถ่านกัมมันต์ถูกพัฒนาโดย Freundlich, Langmuir, and Brunauer, Emmet, and Teller ซึ่ง Freundlich isotherm ถูกใช้มากที่สุดในการอธิบายลักษณะของการ adsorption ของถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้ในงานบำบัดน้ำ โดยสมการของ Freundlich isotherm เป็นดังนี้

$$x/m = K_f C_e^{1/n} \quad (2-27)$$

เมื่อ x/m = mass of adsorbate adsorbed per unit mass of adsorbent, mg adsorbate/g activated carbon

K_f = Freundlich capacity factor, (mg adsorbate/g activated carbon)(L water/mg adsorbate)^{1/n}

C_e = equilibrium concentration of adsorbate in solution after adsorption, mg/L

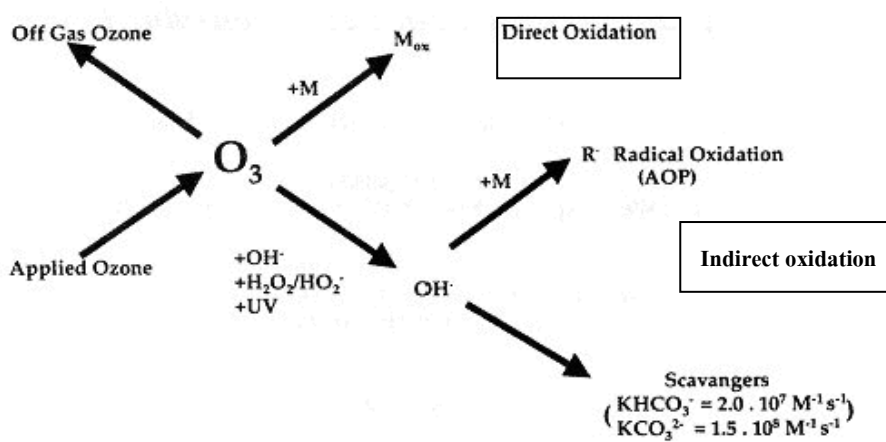
$1/n$ = Freundlich intensity parameter

กระบวนการ Advance oxidation process

น้ำในแหล่งน้ำผิวดินและน้ำเสียทั่วไปประกอบด้วยของค์ประกอบอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารเหล่านี้โดยเฉพาะสารอินทรีย์ สามารถที่จะใช้เทคนิคในการบำบัดด้วยสารออกซิไดซ์ ซึ่งจะย่อยสลายหรือเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปโมเลกุลขนาดเล็กลงหรือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Mineralization) ถ้าต้องการให้ออกซิเจนเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ สารที่จะ

นำมาใช้เพื่อเป็นตัวออกซิไดซ์อาจเป็นพวกคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีน (Chlorine gas, hypochlorite, etc..) แต่พบว่าสารดังกล่าวอาจก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง หรือสารที่เป็นพิษต่อร่างกาย

โอโซน (O_3) เองก็เป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีศักย์ออกซิเดชันที่สูงและน่าสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะทำงานได้ดีโดยตัวของโอโซนเอง (Direct oxidation) และอีกส่วนหนึ่งมาจากการผลิต OH^\bullet (Indirect oxidation) โดยอาศัยตัวเร่งและปฏิกิริยาร่วมกับสารอื่นในน้ำเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ในน้ำโดยมีประสิทธิภาพสูงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ (Chaisri, 2008)

จากปฏิกิริยาในรูปที่ 2.29 ดังกล่าวทำให้สารอินทรีย์ในน้ำมีปริมาณลดลงหรืออาจใช้โอโซนร่วมกับวิธีอื่น ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งการผลิตน้ำประปาในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) ยังจำเป็นต้องใช้คลอรีน เพื่อให้มีปริมาณคลอรีนอิสระเหลืออยู่ในน้ำส่งไปตามเส้นท่อเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อโรคในระหว่างการส่งน้ำ ก็จะทำให้เกิดปริมาณสารก่อมะเร็งลดลง

2.4.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน

มีการศึกษาถึงการกำจัด NOM โดยใช้การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน จากการสำรวจโดยหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา ภายใต้ชื่อ The Nation Organic Reconnaissance Survey (NORS) ระบุว่ากำจัดสาร NPTOC โดยใช้กระบวนการ Conventional Process มีเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้สารส้มตามด้วยการกรองด้วยทราย สามารถกำจัดสาร

THMP ได้ประมาณ 2 ใน 3 (Symons *et al.*, 1975; Oliver and Lawrence, 1979) และ Kavanaugh, (1978) ได้ศึกษาการใช้การเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด สาร THMP มีดังนี้คือ

ก. ปัจจัยด้านกายภาพ ประกอบด้วย การผสมชั้นแรกของสาร โคแอกกูแลนต์ ที่สภาวะการกวนในถังกวนช้าและกระบวนการแยกระหว่างของแข็งกับของเหลว

ข. ผลของปัจจัยทางเคมีพบว่า ค่าพีเอช ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-6 สำหรับกระบวนการโคแอกกูแลชัน โดยการใช้สารส้ม ในขณะที่สาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูแลชัน โดย Fe^{+3} มีค่าในช่วง 3-5 และพบว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของกรดฮิวมิกไม่ถูกกำจัดโดยการใช้สารส้ม

ค. ผลของประเภทของสารฮิวมิก พบว่ากรดฟัลวิกต้องการปริมาณสารส้มสูงกว่ากรดฮิวมิกเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์การกำจัด 80 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน

ง. ความต้องการ โพลิเมอร์พบว่า การเกิดขึ้นของฟล็อก ในสภาวะที่ไม่มีความขุ่น ทำให้คุณสมบัติในการตกตะกอนไม่ดี

Crozes *et al.*, (1995) สรุปผลการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูแลชัน ในการกำจัด NOM ว่าสาร โคแอกกูแลนต์ที่เป็นธาตุเหล็ก เช่น $FeCl_3$ มีประสิทธิภาพดีกว่าสารส้ม โดยค่าพีเอช ในกระบวนการโคแอกกูแลชันเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัด NOM เมื่อใช้ $FeCl_3$ เป็นสารโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น โดยการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.8-6.2 จะสามารถกำจัด NOM ได้ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ และลดปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ลงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูแลชันอาจจะไม่เพียงพอในการกำจัด NOM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูแลชันอาจจะไม่เพียงพอในการกำจัด NOM เพื่อควบคุมปริมาณสาร DBPs (Jacangelo *et al.*, 1995)

การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้สารส้มและโพลิเมอร์ในกระบวนการโคแอกกูแลชัน

การใช้สารโพลิเมอร์ในกระบวนการโคแอกกูแลชันนั้นช่วยทำให้เกิดการรวมตะกอนเกิดที่ดีขึ้น อันที่จริงแล้วสารโพลิเมอร์สามารถใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบราคาระหว่างสารโพลิเมอร์กับสารส้มแล้วสารโพลิเมอร์มีราคาค่อนข้างสูงจึงนิยมใช้เป็นสารช่วยในการสร้างตะกอน สำหรับระบบประปาที่ต้องการกำจัดเพียงความขุ่นและสารแขวนลอยการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวก็สามารถกำจัดมลพิษดังกล่าวให้ลดลงได้เป็นอย่างดี แต่ในกรณีที่ต้องการลดสารอินทรีย์การสารส้มเพียงอย่างเดียวก็สามารถลด

สารอินทรีย์ได้ในระดับหนึ่งแต่สารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสารคลอรีน ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการลดสารอินทรีย์ที่เหลือในปริมาณน้อยที่สุด การใช้สารโพลิเมอร์เป็นตัวช่วยในกระบวนการโคแอกกูเลชันนั้นคือทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ เป็นอย่างดี

การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์

Mc Creary and Snoeyink (1979) ได้ศึกษาผลของเกลืออนินทรีย์ และ พีเอชต่อการดูดติดผิวของ NOM พบว่า การเพิ่มเพิ่มการดูดติดผิวของกรดฟัลวิกที่พีเอชต่ำ เป็นผลมาจากคุณสมบัติที่ NOM มีความเป็นกรดอ่อนๆ โดยการลดลงของพีเอชทำให้ความสามารถในการละลายได้ลดลงและถูกดูดติดผิวคาร์บอนแบบเกร็ดได้ดีขึ้น แหล่งที่มาของ NOM ก็เป็นปัจจัยสำคัญ ดังจะเห็นได้ว่ากรดฟัลวิก ที่เกิดจากการสลายตัวของพืช ดูดติดผิวคาร์บอนแบบเกร็ดได้ดีกว่ากรดฮิวมิก ที่มีขายในท้องตลาด และกรดฮิวมิกที่มาจากดิน การใช้กระบวนการดูดติดผิวคาร์บอนแบบเกร็ดในการกำจัด NOM อย่างมีประสิทธิภาพต้องมีการศึกษา ในสภาวะเฉพาะของ NOM และคาร์บอนแบบเกร็ดในแต่ละแห่ง โดยการบำบัดเบื้องต้น หรือการปรับปรุงคุณสมบัติของ NOM จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้กระบวนการดูดติดผิวคาร์บอนแบบเกร็ด ในการกำจัด NOM ได้ (Jacangelo *et al.*, 1995)

การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการเติมโอโซน

ได้มีการทดลองใช้กระบวนการเติมโอโซนเพื่อลดสารอินทรีย์ตั้งต้นสำหรับโรงงานผลิตน้ำประปาระดับ Pilot-scale ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาถึงการลดไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดเมื่อใช้เวลาสัมผัสของคลอรีนประมาณ 24 ชั่วโมง Trussell และ Umphres (1978) สรุปว่ามีปัจจัย 5 ประการที่อาจมีผลต่อความไม่แน่นอนในการกำจัดสารที่ทำให้เกิด สำหรับการทดลองที่แตกต่างกัน คือ

- ก. ความเข้มข้นและคุณสมบัติเฉพาะของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
- ข. คุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำ
- ค. ประสิทธิภาพในการถ่ายโอโซน
- ง. ความแตกต่างของเวลาสัมผัสหลังจากการเติมคลอรีน
- จ. ความล่าช้าระหว่างเวลาในการเติมโอโซนกับเวลาในการเติมคลอรีน

อย่างไรก็ตามการเติมโอโซนก็สามารถเกิด DBPs ได้เช่นกัน Najim และ Krasner (1995) ทำการศึกษาผลของ Br⁻ และสารอินทรีย์หลงเหลือ ต่อการเกิด Ozonation By-products พบว่าในแหล่งน้ำที่มี Br⁻ ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดโบรมเมท (Bromate) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในปริมาณสูงด้วยภายหลังการเติมโอโซน และถ้ามีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำสูงก็จะเพิ่มปริมาณความต้องการโอโซน ซึ่งทำให้เพิ่มปริมาณการผลิตโบรมเมทด้วยเช่นกัน

ข้อดีและข้อเสียกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยวิธีต่างๆ

Jacangelo (1995) ได้สรุปผลจากการทดลองโดยใช้กระบวนการในการกำจัด NOM ออกจากน้ำ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการโคแอกกูเลชัน การดูดซับคาร์บอนแบบเกร็ด และกระบวนการ Nanofiltration Membrane (NF) ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ของแต่ละกระบวนการ โดยพบว่า กระบวนการ NF มีประสิทธิภาพการกำจัด NOM ดีที่สุด แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการยังค่อนข้างสูงกว่ากระบวนการอื่น ส่วนกระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพการกำจัด NOM ปานกลางแต่ค่าใช้จ่ายการดำเนินระบบค่อนข้างต่ำ

ในการกำจัด NOM โดยวิธีต่างๆย่อมมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป โดย Marsono (1996) ได้สรุปข้อดีและข้อเสียของการกำจัด NOM โดยกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพการกำจัด NOM จากงานวิจัย 3 กระบวนการ

กระบวนการ	ประสิทธิภาพการกำจัด NOM	ความซับซ้อนของกระบวนการ	ค่าใช้จ่ายของกระบวนการ
โคแอกกูเลชัน	พอใช้-ดี	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง
การดูดซับคาร์บอนแบบเกร็ด	ดีมาก	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง
NF	ยอดเยี่ยม	ปานกลาง	ปานกลาง-สูง

ที่มา : Jacangelo (1995)

ตารางที่ 2.8 ข้อดีและข้อเสียของการกำจัด NOM โดยกระบวนการต่าง ๆ

กระบวนการที่ใช้	ข้อดี	ข้อเสีย
โคแอกกูเลชัน	<ul style="list-style-type: none"> -เป็นทางเลือกที่ประหยัดที่สุด -สามารถทำได้โดยการปรับปรุงกระบวนการโคแอกกูเลชันที่มีอยู่แล้ว -มีข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการนี้มาก -หลังจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน อนุภาคจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการใช้ GAC ในขั้นตอนต่อมา 	<ul style="list-style-type: none"> -ใช้สารส้มในปริมาณที่สูง ถ้า น้ำมีความขุ่นต่ำและมีค่าของสีสูง -ประสิทธิภาพในการกำจัดพอใช้ได้-ดี โดยกำจัด THMP ได้ <60% และ DOC<50%
การดูดซับด้วยคาร์บอน	<ul style="list-style-type: none"> -สามารถกำจัดสี กลิ่นและรสออกจากน้ำ -ต้องการเวลาสัมผัสน้อย(10-15นาที) -สามารถกำจัดสารปนเปื้อนอื่นด้วย (เช่นยาฆ่าแมลง) 	<ul style="list-style-type: none"> -ประสิทธิภาพในการลด DOC<50% ,THMP29-56% -ข้อมูลในการใช้ต้องศึกษาเฉพาะแต่ละแห่ง -กำจัด Br⁻ ได้น้อย
โอโซน	<ul style="list-style-type: none"> -สามารถกำจัดสี กลิ่นและรสออกจากน้ำ -สามารถใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคได้ด้วย -สามารถทำลายสารประกอบอินทรีย์ เช่นฟีนอลได้ -ไม่ทำให้เกิดของแข็งละลายและฟิเอชของน้ำไม่มีผลต่อระบบ 	<ul style="list-style-type: none"> -สามารถทำปฏิกิริยากับ NOM เกิดเป็นสารOzonation Byproducts -สามารถทำปฏิกิริยากับ NOM และ Br⁻ เกิดเป็นสาร Brominated By-products

ที่มา : Marsono (1996)

2.4.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.9 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	แหล่งน้ำ	ข้อกำหนด	เปอร์เซ็นต์การกำจัด
Amy and Chadik, 1983	Biscayne Aquifer, Edisto River, Mississippi, Jame River, Ilwaco Reservoir, Daytona Beach Aquifer, and Scioto River (USA)	Four cationic polymer 4 ชนิด ความเข้มข้น 15-20 mg/L	THMFP ลดลง 27-65 %
Hubel and Edzwald, 1987	Grasse River	Alum และ cationic copolymer และ nonionic PAM	TOC ลดลง 32-66 % และ THMFP ลดลง 26-70 %
Crozes <i>et al</i> , 1987	Missouri river และ Sacramento river	Alum, Ferric chloride 0-120 mg/L และ medium MW synthetic cationic polymer 0.1-0.3 mg/L	TOC ลดลงประมาณ 50 %
Lee <i>et al</i> , 1998	Synthetic water	Polyaluminium chloride 60 mg/L กับ copolymer acrylamide/trimethylaminoethyl acrylate และ nonionicpolyacrylamide 0.5 – 1 mg/L	Lindane ลดลง 20 %, <i>p,p</i> -DDT ลดลง 65% และ aldrin ลดลงมากกว่า 70 %
Bolto <i>et al</i> , 1999	Moorabool river, Hope Valley (อ่างเก็บน้ำ/แม่น้ำ) และ Wananeroo (น้ำใต้ดิน)	DADMAC 5-8 mg/L, CatPAM 7-8 mg/L, CPMA (cationic polymethacrylate) 7-8 mg/L และ alum 30-60 mg/L	UV ลดลง 37-70% 31-69% 50-75% และ 69-88 % ตามลำดับ

ผู้วิจัย	แหล่งน้ำ	ข้อกำหนด	เปอร์เซ็นต์การกำจัด
Homklin, 2004	อ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว เขื่อนแม่กวง และ แม่น้ำแม่สา	Alum pH 5.5 ความเข้มข้น 60 mg/L และ alum pH 6 ความเข้มข้น 40 mg/L และ alum pH 6 ความเข้มข้น 40 mg/L สำหรับอ่างเก็บน้ำอ่าง แก้ว เขื่อนแม่กวง และแม่น้ำ แม่สา ตามลำดับ	กำจัด HPI และ HPO ใน น้ำดิบได้เท่ากับ 33.0 และ 79.6 % 27.6 และ 50.2 % และ 50.9 และ 79.9 % ตามลำดับ
Panyapinyopol, 2004	ระบบประปา กรุงเทพมหานคร	โพลีเมอร์ DADMAC, EpiDMA, CatPAM และ AnPAM	DADMAC มี ประสิทธิภาพสูงสุดใน การลด THMFP รองลงมาคือ EpiDMA CatPAM และ AnPAM ตามลำดับ
Phumpaisanchai, 2005	อ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ และเขื่อนภูมิพล	อ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ ที่ pH เท่ากับ 6 ปริมาณสารส้ม 40 mg/L ในน้ำดิบจากเขื่อนภูมิ พล ที่ pH เท่ากับ 5.5 ปริมาณ สารส้ม 60 mg/L	สามารถกำจัด HPO ของ อ่างเก็บน้ำแม่เหิยะและ เขื่อนภูมิพลได้ 60 และ 51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
B. Xu <i>et al.</i> (2007)	แม่น้ำ Hunagpu	preozonation, coagulation, filtration, post-ozonation และ biologically activated carbon (BAC) process	The pre- and post- ozonation BAC กำจัด DOM และ DBPFP ดีกว่ากระบวนการอื่น
Unai Iriarte- Velasco <i>et al.</i> (2007)	อ่างเก็บน้ำใน Bakio, northern Spai	alum และ polyaluminium chloride (PACl) ที่ pH 6	ลด DOC ได้ 35 เปอร์เซ็นต์

ผู้วิจัย	แหล่งน้ำ	ข้อกำหนด	เปอร์เซ็นต์การกำจัด
Chang <i>et al</i> , 1999	Pan-Hsing water treatment plant (Taiwan) และ humic acid	ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ 2 mg/L และ 10 mg/L DADMAC ตามลำดับ	Chloroform ลดลง 69 % และ 82 % ตามลำดับ
Marhaba and Pipada, 2000	Raritan/Millstone และ Canal Road water treatment plants, Central Jersey	TOC ถูกกำจัดมากที่สุดสำหรับ HPIA, HPIB, HPIN และ HPON ที่ pH 6 และความ เข้มข้น alum 60 mg/L สำหรับ HPOA และ HPOB fraction ที่ pH 6 และความ เข้มข้น alum 40 mg/L	TOC ลดลงสำหรับ HPIA, HPIB, HPIN, HPON, HPOA และ HPOB มีค่าเท่ากับ 51 46 44 68 71 และ 52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
Walker and Kim, 2001	Alum Creek (Delaware, OH) และ Walborn Reservoir (Alliance, OH)	Ferric chloride 0.5 mg/L ร่วมกับ <2.5 mg/L nonionic PAM, 10-20 และ 30 mg/L สำหรับ high และ medium cationic charge density cationic diallyl dimethyl ตามลำดับ	< 50% ถูกกำจัด UV สำหรับ cationic charge density cationic diallyl dimethyl และส่วน อื่นมีประสิทธิภาพต่ำ
Bolto <i>et al</i> , 2002	Bell Bay: Tasmania, Hope Valley: South Australia และ Wanneroo : Western Australia	DADMAC 5-8 mg/L, Cationic polymethacrylate 7-8 mg/L และ alum 30-60 mg/L	UV ถูกกำจัด >40%, >50% และ >60% ตามลำดับ
C. Suksaroj <i>et al</i> , 2008	น้ำดิบประปาจากคลอง อู่ตะเภา สงขลา	alum 80 mg/L ที่ pH 5	ลด UV-254 ได้ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ลดค่า DOC และ FEEM ได้ เพียง 50 เปอร์เซ็นต์

ผู้วิจัย	แหล่งน้ำ	ข้อกำหนด	เปอร์เซ็นต์การกำจัด
Peter Jarvis <i>et al</i> , 2008	Moorland source water, UK	Zirconium coagulation / MIEX + coagulation / TiO ₂ adsorption + Coagulation / UV/H ₂ O ₂ / Fecton's reagent	ลด DOC ได้ 93%, 88%, 86%, 76% และ 88% ตามลำดับ
Unai Iriarte- Velasco <i>et al</i> , (2008)	Drinking water, Spain	Coagulation by PACl 20 mg/L + PAC F 100 mg/L เวลาสัมผัส 5 นาที	ลด DOC ได้ 92% และ THMFP ได้ 80%
C.S. Uyguner and M.Bekbolet (2008)	Elmali, Omerli และ Buyakcekmece, Turkey	Pre-ozonation /photocatalytic oxidation/ enhanced alum + FeCl ₃	Pre-ozonation เพิ่มการลด UV-254 จาก 49 เป็น 54 % และ DOC 16 เป็น 29% ในน้ำจาก Elmali photocatalytic oxidation ลด UV-254 ได้ Elmali (52%), Omerli (57%) และ Buyakcekmece (60%) ลด DOC ได้ Elmali (21%) < Omerli (25%) < Buyakcekmece (38%)
H. Selcuk <i>et al</i> , (2007)	Omerli (OM), Istanbul, Turkey	ozone และ alum/PACl coagulation 40 และ 80 mg/L	ลด TOC 22 % และ TTHMFP 40 %
Chang <i>et al</i> , 2005	Synthetic source water (Humic acid)	- Alum 60 mg/L ร่วมกับ 10 mg/L DADMAC - Alum 20-60 mg/L กับ CatPAM และ NonionicPAM 2-10 mg/L	- TOC ลดลง 90 % สำหรับ Humic acid - Humic acid ลดลง 10 %

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง

การดำเนินการวิจัยทำภายในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาการวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1.1 จุดสูบน้ำดิบประปา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

คลองอุตะเถาดังรูปที่ 3.1 เป็นลำน้ำสายหลักของกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาซึ่งยาวคดเคี้ยวกว่า 90 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,160 ตารางกิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขา สันกาลาคีรี และเทือกเขาบรรทัด ไหลจากทางทิศใต้ ผ่านชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่รับน้ำ คลองอุตะเถา เป็นแหล่งน้ำที่มีประโยชน์ต่อชุมชนที่อาศัยในพื้นที่รับน้ำ โดยเฉพาะในอำเภอหาดใหญ่และอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา การใช้ประโยชน์ที่สำคัญคือ

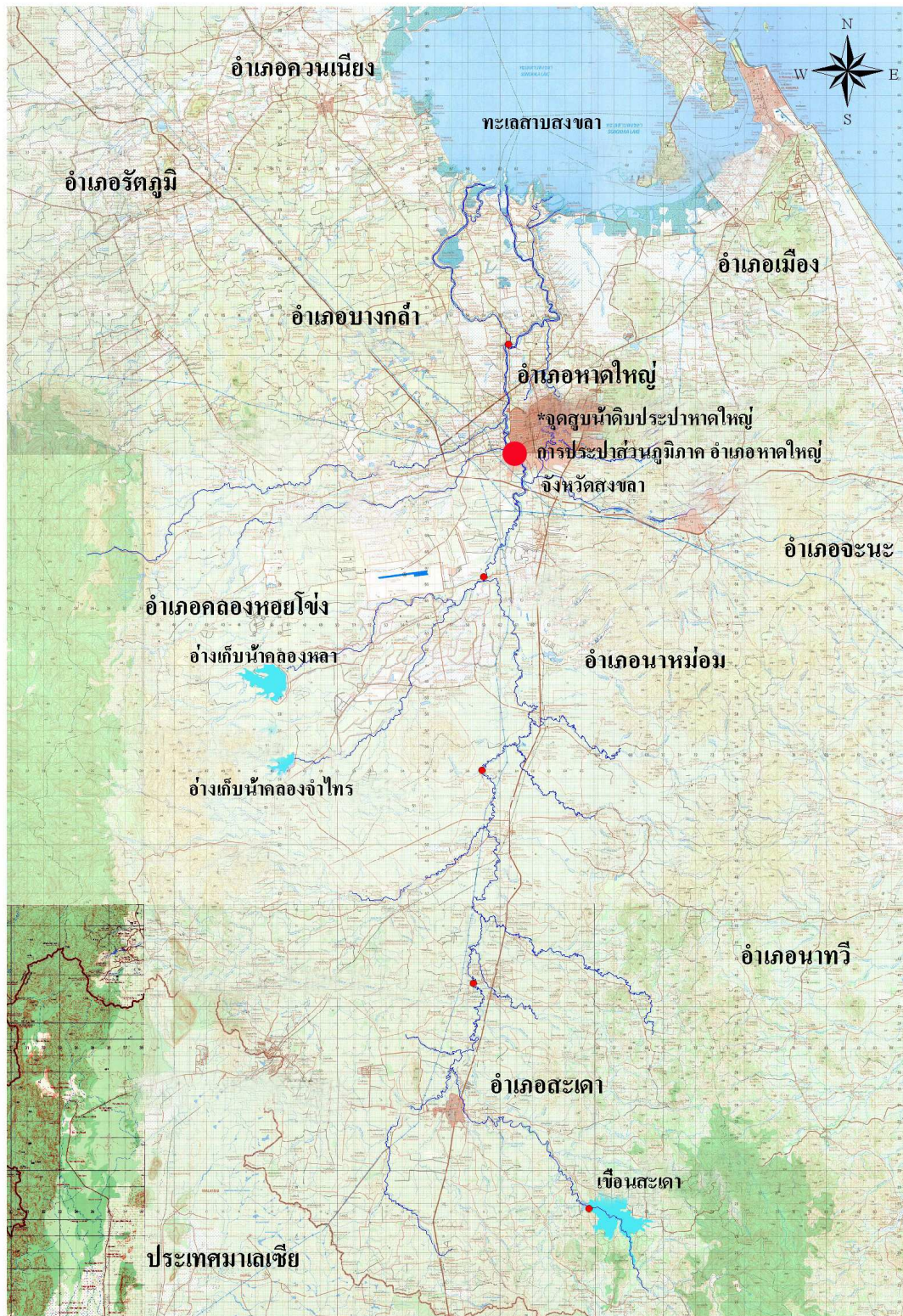
(1) การผลิตน้ำประปา คลองอุตะเถาเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับเทศบาลนครหาดใหญ่ และสงขลา น้ำดิบจะถูกสูบน้ำขึ้นที่โรงกรองน้ำ ณ ประปาส่วนภูมิภาค สงขลา ซึ่งตั้งอยู่ริมคลองอุตะเถาประมาณ 2 กิโลเมตรก่อนที่จะไหลเข้าสู่ตัวเมืองหาดใหญ่

(2) เป็นแหล่งรองรับน้ำเสีย คลองอุตะเถาเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณตั้งในพื้นที่รับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทั้งสองฟากของทางหลวงหาดใหญ่-สะเดาไหลผ่านสู่จุดสูบน้ำดิบของระบบประปาหาดใหญ่ (จรัศยา และ คณะ, 2544)

ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ (UTM 661975 772906) เพื่อทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยเป็นบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาสำหรับระบบประปาของการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.2 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาเป็นลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญลุ่มน้ำหนึ่งทะเลสาบสงขลาด้วยครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอ คือ อำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ และ อำเภอบางกล่ำ



รูปที่ 3.1 กลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา



รูปที่ 3.2 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำลูกกา จังหวัดสงขลา

3.1.3 สภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นลุ่มน้ำที่ได้รับอิทธิพลทั้งจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมกราคม นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุหมุนเขตร้อนที่ก่อตัวในเขตทะเลจีนใต้ตอนล่างหรืออ่าวไทยในช่วงเดียวกับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีฝนตกชุกและเกิดน้ำท่วมอยู่เสมอ (จิรัชยา และ คณะ, 2544) จากข้อมูลของสำนักงานอุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก (2552) รายงานว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ.2551 มีค่าประมาณ 1702.1 มิลลิเมตร มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามฤดูกาล ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนมกราคม เป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกหนาแน่นที่สุด โดยมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 1155.29 และ 546.8 ตามลำดับ

บริเวณต้นน้ำของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเกิดจากภูเขาที่กั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย นับเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของจังหวัดสงขลา ภูมิประเทศเป็นที่ราบบริเวณต้นน้ำทั้งลำน้ำสายหลักและลำน้ำสาขา บริเวณต้นน้ำคลองอู่ตะเภามีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 40 เมตร ส่วนบริเวณที่ราบลุ่มปลายน้ำลาดลงสู่ทะเลสาบสงขลา ทางด้าน

ตะวันออกและตะวันตกของลำน้ำเป็นเนินเขาที่ความสูงบริเวณตอนกลาง พื้นที่ค่อยๆลาดลงจากด้านตะวันออกและตะวันตกสู่ลำคลองอยู่ตะเภา

3.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

3.2.1 สารโคแอกกูแลนท์และสารเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน

Polyaluminum chloride (PACl)

PACl ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็น PACl ชนิดเดียวกันกับที่ใช้งานจริงในระบบการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำลูกเกด จังหวัดสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำลูกเกด จังหวัดสงขลา เพื่อนำมาใช้เป็นสารโคแอกกูแลนท์หลักในกระบวนการโคแอกกูเลชันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

คุณลักษณะทั่วไป

- ลักษณะเป็นผงหรือเป็นเกล็ด สีขาวหรือสีเหลือง
- เป็นสารสร้างตะกอนชนิดอินทรีย์สาร
- เป็นสารสร้างตะกอน ที่ไม่มีพิษภัยต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปใช้เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำบริโภค
- เป็นสารสร้างตะกอน ที่สามารถนำไปละลายน้ำเพื่อเตรียมเป็นสารละลาย สำหรับ นำไปใช้ในระดั้บความเข้มข้นต่างๆ ตามที่ต้องการได้ง่ายไม่ยุ่งยาก
- เมื่อ การประปาส่วนภูมิภาค ตรวจรับมอบสาร PACl แล้วจะต้องมีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปีขึ้นไป

สำหรับคุณลักษณะทางเคมีของ PACl แสดงดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะทางเคมีของ Polyaluminum chloride (PACl)

สารประกอบ	หน่วย	ค่า	
		ไม่น้อยกว่า	
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า	29
เบสิกซิตี (Basicity)	ร้อยละ	โดยน้ำหนักตั้งแต่	65 ถึง 85
ความเป็นกรด-ด่าง	กรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร	ระหว่าง	3.5 ถึง 5.0
ซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่เกิน	10.5
เหล็ก (Fe)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่เกิน	1.0
เกลือแอมโมเนียม	(คำนวณเป็น N)	ไม่เกิน	300
สารหนู (As)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่เกิน	3.0
แคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่เกิน	3.0
ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่เกิน	15
โครเมียม (Cr)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่เกิน	15



รูปที่ 3.3 PACl ที่ใช้ในการทดลอง

Polymer

MR FLOC[®] 5000 flocculent ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็น Polymer ที่มีมวลเมโมกุลปานกลาง (medium cationic charge polymer flocculent) จำหน่ายในรูปของผงแป้ง ใช้ในงานด้านบำบัดน้ำทิ้งและอุตสาหกรรมน้ำดื่มโดยประยุกต์ใช้ในส่วนการทำน้ำใสหรือการตกตะกอน โดยคุณลักษณะทั่วไปของ polymer แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะทั่วไปของ Polymer

Chemical Composition	Polyacrylamide
Appearance	White Granular Pamer
Bulk Density	0.85
Viscosity in cps	(L VI .30 RPM 25 °C)
5 G/L	800
2.5 G/L	355
1 G/L	100
Stability of the Deionised Water Solution	24 hours



รูปที่ 3.4 Polymer ที่ใช้ในการทดลอง

Powder activated carbon (PAC)

- ชื่อผลิตภัณฑ์: Powdered Activated Coconut Shell Based Carbon
- เกรด: HRO M325-60
- วิธีวิเคราะห์: ASTM, unless otherwise stated

PAC ที่ใช้ในการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท CARBPKARN กำจัด คุณลักษณะทั่วไปของ PAC แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณลักษณะทั่วไปของ Powder activated carbon (PAC)

Physical properties	specification
Particle Size Distribution: under 325 mesh (.045 mm) (ASTM MESHIMM.)	MIN. 60 %
Apparent Density (g/cc)	MIN. 0.50
Moisture (% w/w) (As Packed)	MAX. 10
Ash (% w/w) (As Packed)	MAX. 8
pH	9 -11
Surface Area (m ² /g) (Calculated)	MIN. 1000
Iodine Number (mg / g) (AWWA B 604)	MIN. 950
Carbon Tetrachloride Adsorption (% w/w)	MIN. 40



รูปที่ 3.5 PAC ที่ใช้ในการทดลอง

Ozone

เครื่องกำเนิดโอโซนที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.6 ออกแบบและจัดทำเพื่อการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปา โดยดำเนินการสร้างคอลัมน์เพื่อนำมาต่อกับเครื่องกำเนิดโอโซน จากนั้นนำน้ำตัวอย่าง 5 ลิตร ใส่งในคอลัมน์ และดำเนินการทดลองตามสถานะที่ใช้ในการทดลอง โดยเครื่องโอโซนสามารถกำหนดปริมาณละลายน้ำตั้งแต่ 72 ถึง 132 mg/hr และเวลาสัมผัสได้ 0 ถึง 60 นาที

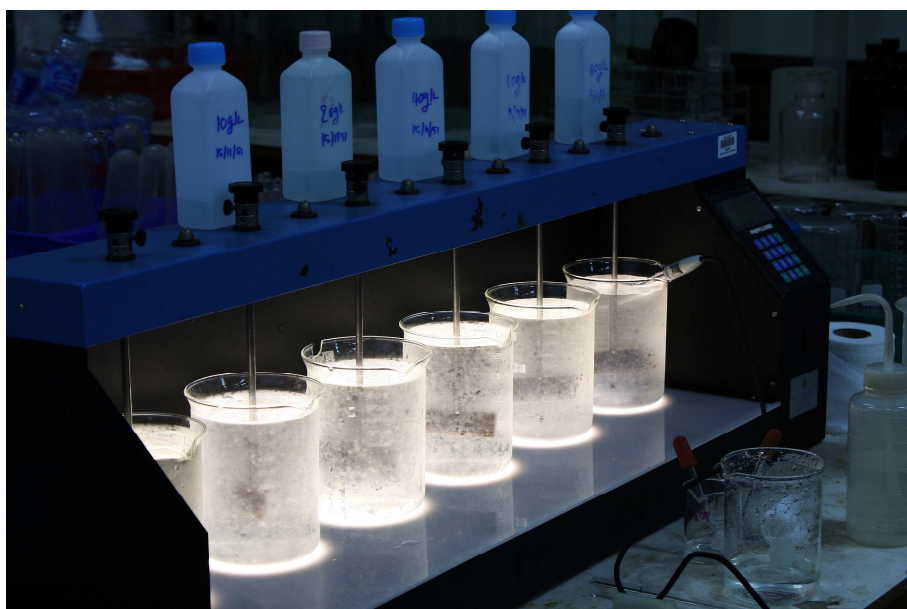


รูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดโอโซน

3.2.2 กระบวนการทดลองจาร์เจสท์

เครื่องจาร์เจสท์ในการทดลองนี้ เป็นแบบเครื่องจาร์เจสท์แบบ 2 ไบพัต (Phipps and Bird, Richmond, Va.) และบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยเติมสารเคมีให้น้อยที่สุดในกระบวนการเพื่อลดการเจือจางตัวอย่างน้ำ (ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรตัวอย่างน้ำทั้งหมด) (AWWA, 1999) สารเคมีที่เติมระหว่างการกวนเร็วใช้ digital micropipetters และ disposable polypropylene tips (Weaton Calibra.) เมื่อเติมสาร โคแอกกูแลนท์ กวนเร็วด้วยความเร็ว

รอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที และ กวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยควบคุมค่า pH ด้วย 0.2 หรือ 1 N H_2SO_4 หรือ NaOH ตามสภาวะที่กำหนดไว้ทั้งก่อนและหลังการเติมสารโคแอกกูแลนต์ เนื่องจาก ถ้าค่า pH ไม่เสถียรระหว่างกระบวนการทดลองจะส่งผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี (เช่น precipitation, hydrolysis) และ gas transfer (loss of CO_2) หลังจากกระบวนการกวนช้าและปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง น้ำตัวอย่างส่วนที่ใส (supernatant) ถูกเก็บเพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ ความเป็นด่าง, UV-254, DOC, THMP และ FEEM จากนั้นทำการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูแลชันในขั้นต่อไป



รูปที่ 3.7 เครื่อง Jar-test

3.2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูแลชัน

จากหัวข้อที่ 3.2.2 อธิบายถึงกระบวนการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อเสร็จสิ้นแต่ละการทดลอง ผลการทดลองถูกวิเคราะห์และเลือกปริมาณความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์และค่า pH ที่เหมาะสม โดยอาศัยปัจจัยในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม คือ ให้ความสามารถในการลดของค่า DOC หรือ UV-254 ได้สูงที่สุด

โดยกระบวนการทดลองนี้ กำหนดสภาวะสำหรับการทดลองในหัวข้อที่ 3.4 โดยกำหนดสภาวะการใช้สาร PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์เป็นสภาวะทั่วไปและการศึกษาการเพิ่ม

ประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น polymer และการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์ โดยเติมลงไปพร้อมกับสารโคแอกกูแลนต์ก่อนการกวนเร็ว และนำน้ำส่วนใส่ภายหลังการกระบวนการโคแอกกูเลชันไปดำเนินการทดลองกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone เพื่อศึกษาการลดลงของ DOC, UV-254, THMFP และ FEEM

3.3 กระบวนการ Resin Fractionation

กระบวนการ Resin Fractionation เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกสารอินทรีย์ละลายน้ำออกเป็น 2 ชนิดคือสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic Organic Fraction, HPI) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Organic Fraction, HPO) โดยแผนผังกระบวนการทดลองแสดงในรูปที่ 3.8 เรซินที่ใช้เป็นชนิด DAX-8 ซึ่งมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.6 ในขั้นตอนการเตรียมเรซินนั้นทำโดยนำเรซินมาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 นอร์มัล เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะนำเรซินไปทำความสะอาด โดยใช้เครื่องมือ Soxhlet Extraction (รูปที่ 3.9) ซึ่งจะทำความสะอาดด้วย acetone และ hexane อย่างละ 24 ชั่วโมง เรซินที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะถูกแช่ใน methanol จากนั้นนำเรซินไปใส่ในคอลัมน์และล้างเรซินด้วย NaOH 0.1 นอร์มัลและ HCl 0.1 นอร์มัล เป็นปริมาณเท่ากับ 2.5 เท่า bed volume ตามลำดับ ในกระบวนการสุดท้ายจะล้างเรซินด้วยน้ำ Milli-Q จนกระทั่งค่าการนำไฟฟ้าและค่า DOC มีค่าต่ำกว่า 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 0.2 มก./ล. ตามลำดับ (Leenheer, 1981; Marhaba and Bengraïne, 2003) ซึ่งคุณลักษณะของเรซิน DAX-8 แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

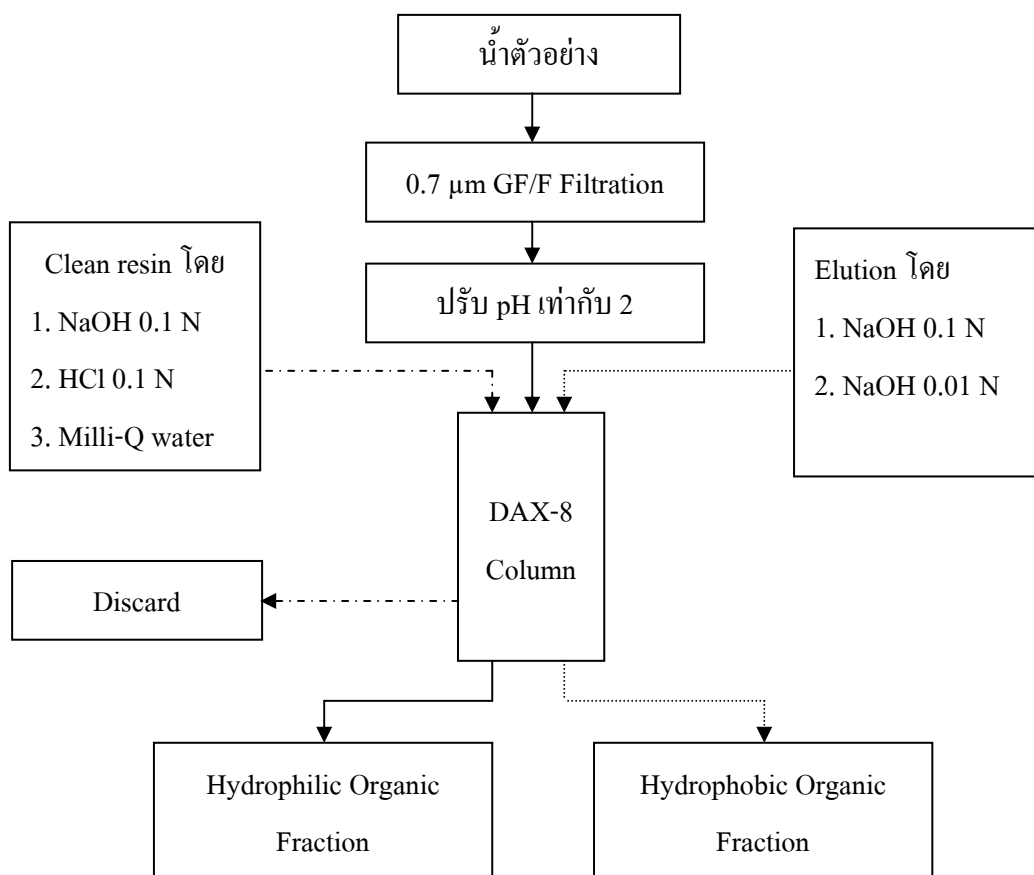
DAX-8

- Nonionic resin (SUPELCO)
- 60% Porosity
- 40-60 mesh
- 160 square meters per dry gram

ในส่วนของการเตรียมน้ำตัวอย่างก่อนที่จะนำมาผ่านเรซินนั้น น้ำตัวอย่างจะถูกกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.7 μm จากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองมาปรับค่าพีเอช ให้เป็น 2 แล้วนำมาผ่านเรซินที่บรรจุในคอลัมน์โดยให้มีอัตราเร็วในการไหลผ่านเรซินต่ำกว่า 12 bed volumes/hr น้ำส่วนที่ไหลผ่านเรซินจะเป็นส่วนของสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ

หลังจากนั้นจะล้างเรซินด้วยน้ำ Milli-Q เป็นปริมาณ 1 bed volumes และปล่อยให้แห้งในส่วนกระบวนการ Elution เพื่อให้ได้สารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ จะใช้สารละลาย NaOH 0.1 นอร์มัล ปริมาณเท่ากับ 0.25 bed volumes และ NaOH 0.01 ปริมาณเท่ากับ 1.25 bed volumes ปล่อยให้ไหลผ่านเรซินด้วยความเร็วไม่เกิน 2 bed volumes/hr (Supelco, 1998)

ซึ่งลักษณะของเครื่องมือ Resin fractionation แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 แผนผังกระบวนการ Resin Fractionation



รูปที่ 3.9 เครื่องมือล้างเรซิน Soxhelt extraction

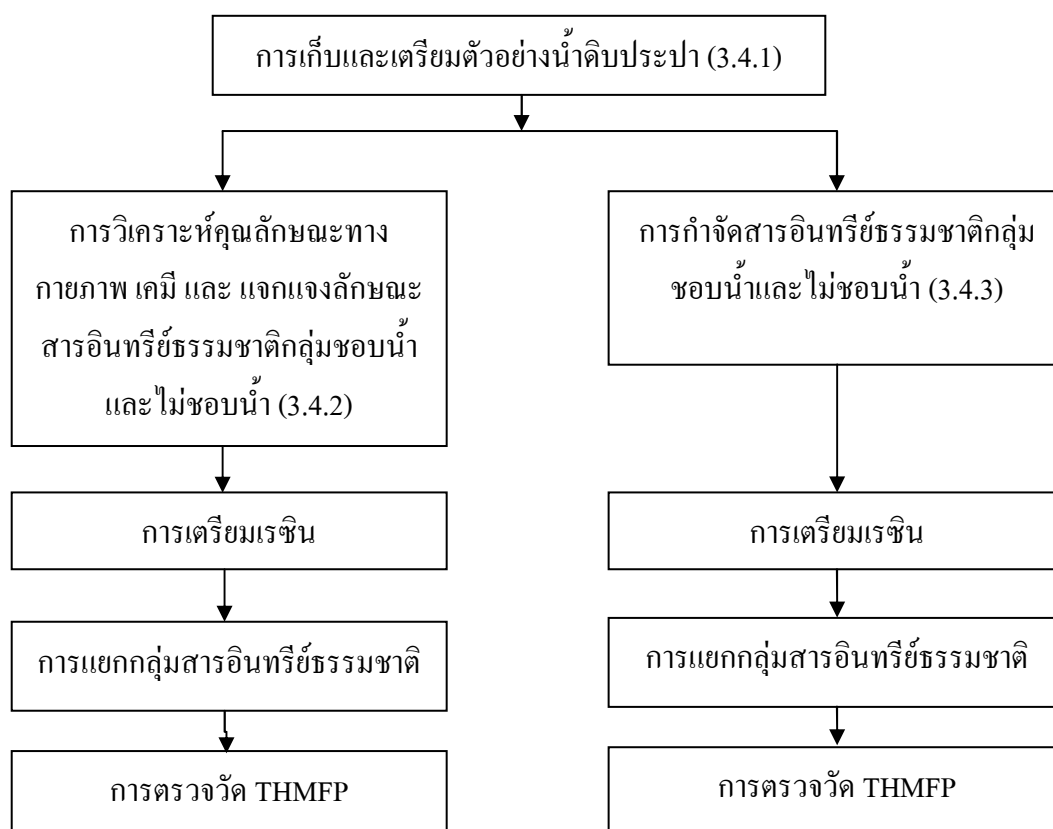


รูปที่ 3.10 เครื่องมือ Resin fractionations

3.4 กระบวนการทดลอง

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำลูกเหล็ก จังหวัดสงขลา โดยเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนฤดูฝนในวันที่ 17 กันยายน พ.ศ.2551 และ ตัวแทนฤดูแล้งในวันที่ 3 เมษายน พ.ศ.2552

กระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กระบวนการทดลอง

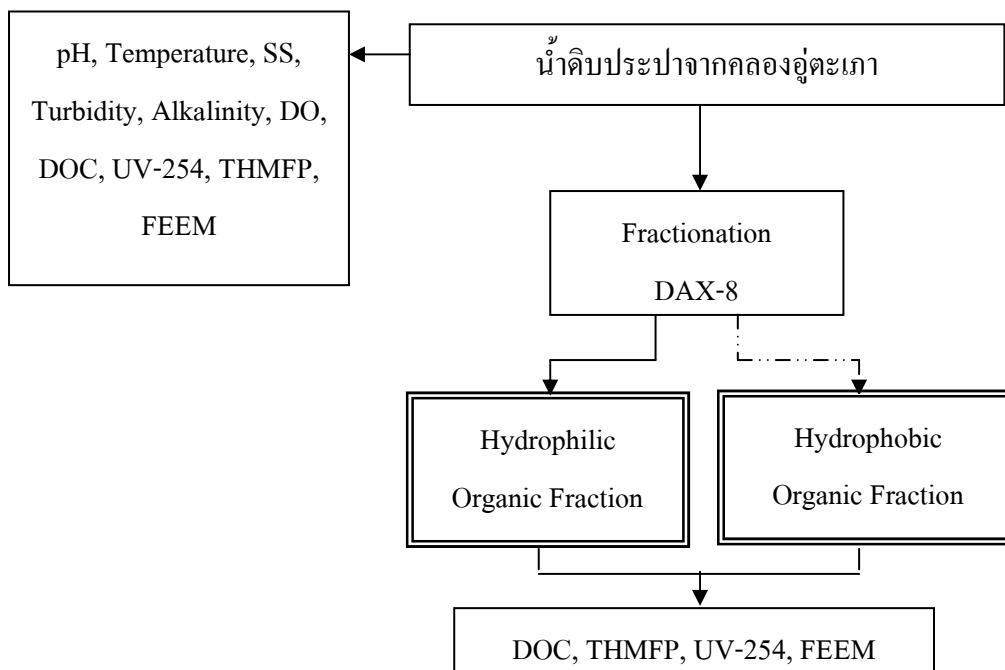
ขั้นตอนแรกของกระบวนการทดลองคือ การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำดิบประปา ซึ่งอธิบายในหัวข้อที่ 3.4.1 รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และ แจกแจงลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4.2 ในส่วนของการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4.3

3.4.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำ

- ก. เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำปาง จังหวัดสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2
- ข. กรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรอง GF/F ขนาด 0.7 μm ภายใน 24 ชั่วโมง
- ค. เก็บตัวอย่างน้ำในตู้เก็บอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทั้งก่อนและหลังกระบวนการแยกสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

3.4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และแจกแจงลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

- ก. วิเคราะห์หาค่าความขุ่น (turbidity) ของแข็งแขวนลอย (suspended solids) อุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเป็นด่าง (alkalinity), dissolve oxygen (DO), DOC, THMFP, UV-254 และ FEEM ของน้ำดิบประปา
- ข. กรองน้ำดิบประปาจากคลองอุต๊ะเขาผ่านกระดาษกรอง 0.7 μm
- ค. แยกสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ HPO และ HPI
- ง. วิเคราะห์หาค่า DOC, THMFP, UV-254 และ FEEM ของสารอินทรีย์ธรรมชาติทั้งสองกลุ่มของน้ำดิบประปา (ดังรูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการแจกแจงลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติ กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

3.4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

สถานะที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.4 ซึ่งหาสภาวะที่เหมาะสมของ กระบวนการโคแอกกูเลชัน ทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงช่วงของพีเอชที่ถูกควบคุมโดยมีค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ 5.5, 7 และ 8.5 และปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ polyaluminum chloride (PACl) เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 40 mg/L และทำการวัดค่า DOC, UV-254 และ FEEM จากนั้นเมื่อได้ปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์และพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการใช้ PACl เพียงอย่างเดียวเพื่อเป็นค่าพื้นฐาน ซึ่ง ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยเติมโพลิเมอร์และ/หรือถ่าน กัมมันต์พร้อมกันก่อนกระบวนการกวนเร็ว สำหรับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone นำตัวอย่างน้ำส่วนใสที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันไปบำบัดต่อด้วย Ozone

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	สภาวะที่ทำการทดลอง
1) PACl ¹	ความเข้มข้น PACl ระหว่าง 0 ถึง 40 mg/L ค่า pH ระหว่าง 5.5 ถึง 8.5
2) PACl + Polymer	ความเข้มข้น PACl 40 mg/L และ pH 7 สภาวะเหมาะสมจาก (1) ความเข้มข้น Polymer 1 mg/L สภาวะเหมาะสมจาก (2)
3) PACl + PAC	ความเข้มข้น PACl 40 mg/L และ pH 7 สภาวะเหมาะสมจาก (1) PAC ระหว่าง 0 ถึง 80 mg/L
4) PACl + Polymer + PAC	ความเข้มข้น PACl 40 mg/L และ pH 7 สภาวะเหมาะสมจาก (1) ความเข้มข้น Polymer 1 mg/L สภาวะเหมาะสมจาก (2) PAC ระหว่าง 0 ถึง 80 mg/L
5) PACl + Polymer + Ozone	สภาวะที่เหมาะสมจาก (3) ปริมาณ ozone ความเข้มข้น 72, 96 และ 132 mg/hr ระยะเวลาการสัมผัส 30 นาที
6) PACl + Polymer + PAC + Ozone ²	สภาวะที่เหมาะสมจาก (4) ปริมาณ ozone 1 ความเข้มข้น 72, 96 และ 132 mg/hr ระยะเวลาการสัมผัส 30 นาที

หมายเหตุ ()¹ เป็นสภาวะทั่วไป

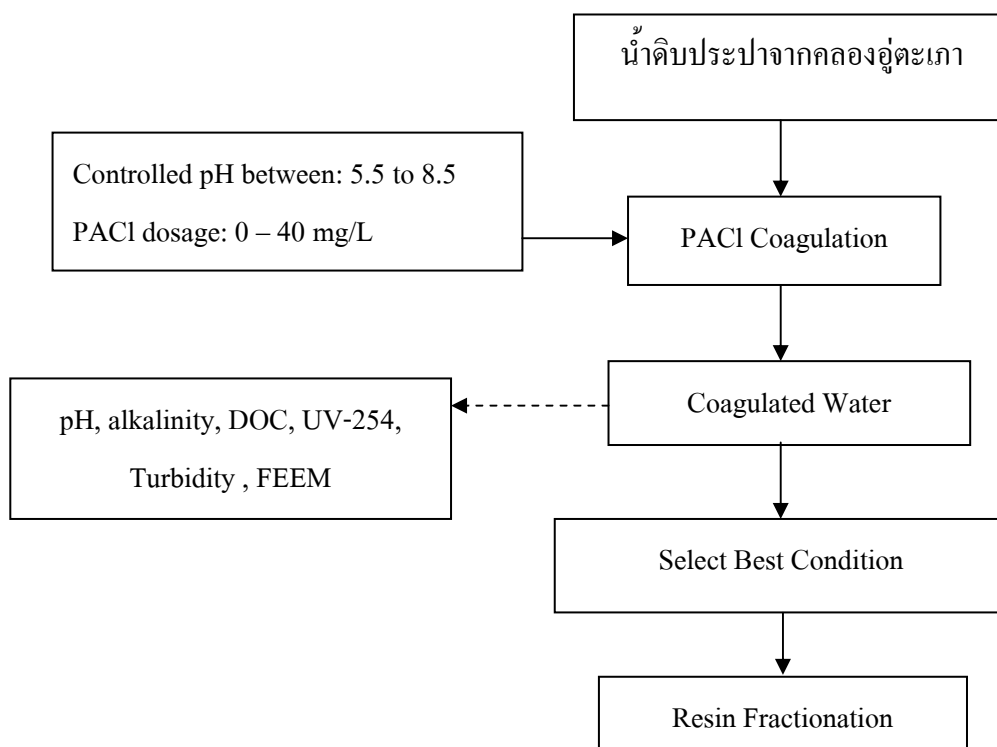
()² ทำการศึกษาเฉพาะการกำจัดสารอินทรีย์เท่านั้น

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl

ก. ทำการทดลองโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACl ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0 ถึง 40 mg/L และควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 5.5 ถึง 8.5 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดสารอินทรีย์ (ดังรูปที่ 3.13)

ข. นำน้ำตัวอย่างหลังจากกระบวนการทดลอง ทำการวิเคราะห์ pH, alkalinity, DOC, UV-254, Turbidity และ FEEM

ค. เลือกความเข้มข้นและค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมมาทำการโคแอกกูเลชันเพื่อนำตัวอย่างไปแยกสารอินทรีย์ออกเป็นสองกลุ่ม



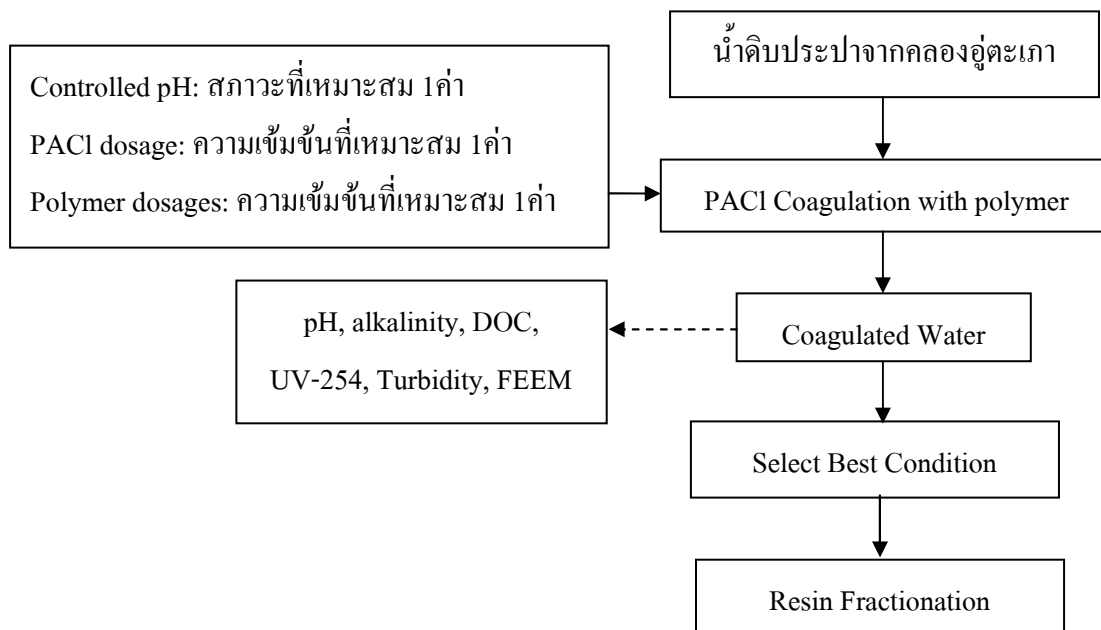
รูปที่ 3.13 แผนผังการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ Polymer

ก. ทำการทดลองโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI ความเข้มข้น 1 ค่า จากสถานะที่เหมาะสม และสารโพลีเมอร์ 1 ค่า จากสถานะที่เหมาะสม และควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 1 ค่า จากสถานะที่เหมาะสม เพื่อหาสถานะที่ดีที่สุดในการลดสารอินทรีย์สำหรับ PACI ร่วมกับ Polymer (ดังรูปที่ 3.14)

ข. นำน้ำตัวอย่างหลังจากกระบวนการทดลอง ทำการวิเคราะห์ pH, alkalinity, DOC, UV-254, Turbidity และ FEEM

ค. เลือกความเข้มข้นและค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมมาทำการโคแอกกูเลชันเพื่อนำน้ำตัวอย่างไปแยกสารอินทรีย์ออกเป็นสองกลุ่ม



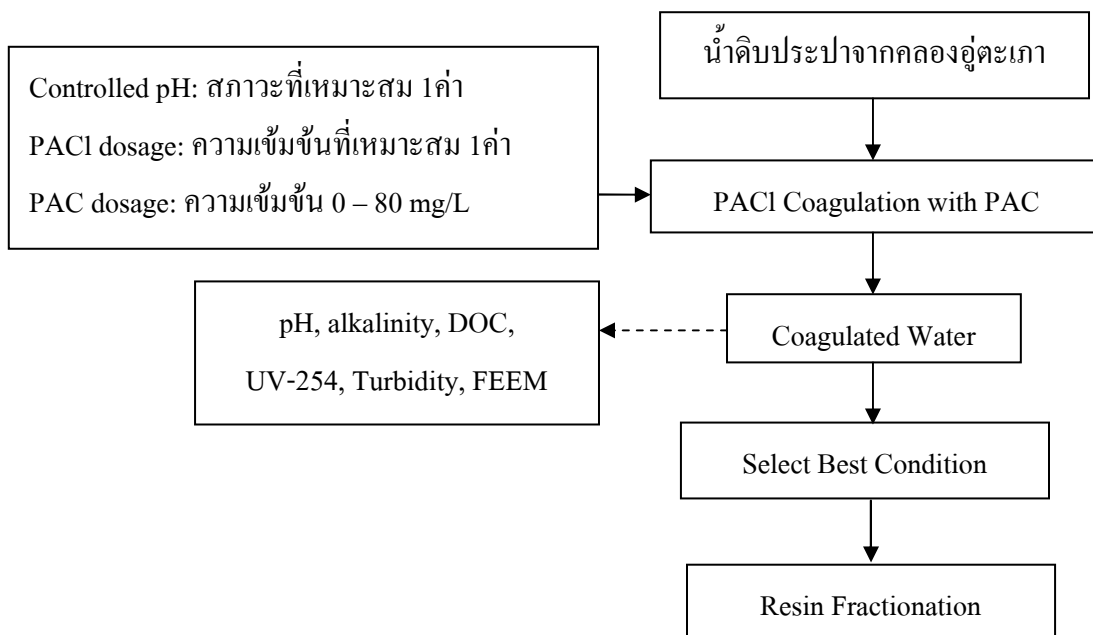
รูปที่ 3.14 แผนผังการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคลแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI ร่วมกับ Polymer

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคลแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ PAC

ก. ทำการทดลองโดยกระบวนการโคลแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI 1 ค่า จากสภาวะที่เหมาะสม และ PAC ค่าระหว่าง 0 ถึง 80 mg/L และควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างจากข้อจากสภาวะที่เหมาะสม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดสารอินทรีย์ สำหรับ PACI ร่วมกับ PAC (ดังรูปที่ 3.15)

ข. นำน้ำตัวอย่างหลังจากกระบวนการทดลอง ทำการวิเคราะห์ pH, alkalinity, DOC, UV-254, Turbidity และ FEEM

ค. เลือกความเข้มข้นและค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมมาทำการโคลแอกกูเลชันเพื่อนำน้ำตัวอย่างไปแยกสารอินทรีย์ออกเป็นสองกลุ่ม (เฉพาะตัวอย่างน้ำในฤดูแล้งเท่านั้น)



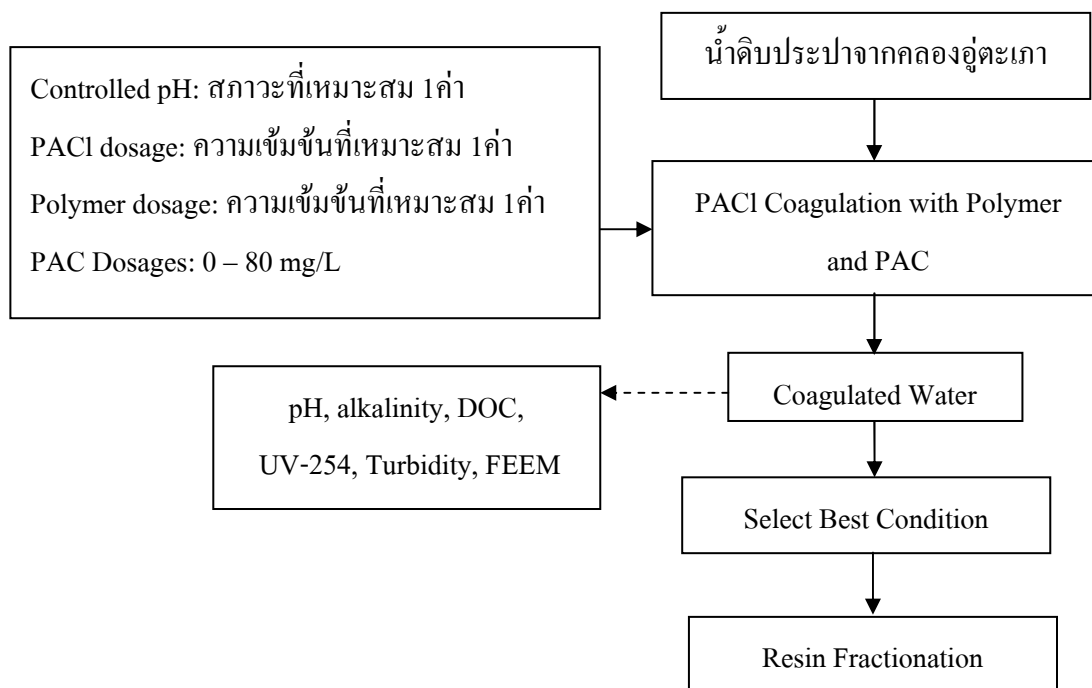
รูปที่ 3.15 แผนผังการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI ร่วมกับ PAC

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ Polymer และ PAC

ก. ทำการทดลองโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ Polymer ที่ความเข้มข้นในสภาวะที่เหมาะสมร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์ชนิด PAC ในปริมาณระหว่าง 0 ถึง 80 mg/L (ดังรูปที่ 3.16)

ข. นำน้ำตัวอย่างหลังจากกระบวนการทดลอง ทำการวิเคราะห์ pH, alkalinity, DOC, UV-254, Turbidity และ FEEM

ค. เลือกความเข้มข้นและค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมมาทำการโคแอกกูเลชันเพื่อนำน้ำตัวอย่างไปแยกสารอินทรีย์ออกเป็นสองกลุ่ม



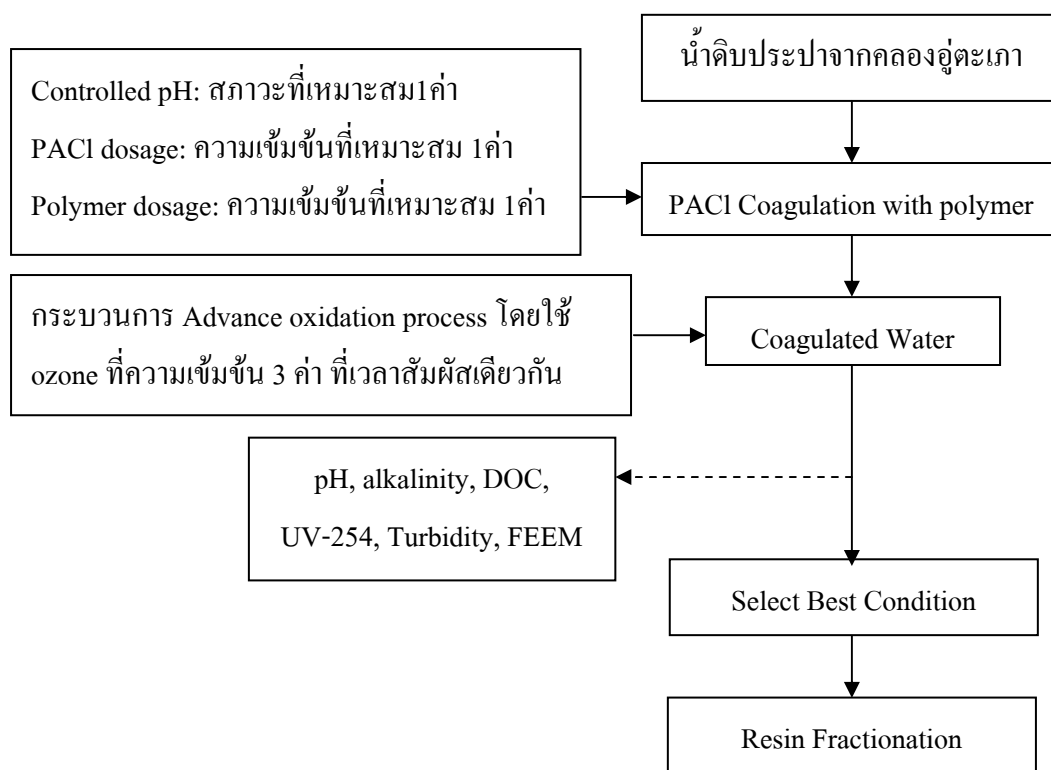
รูปที่ 3.16 แผนผังการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl ร่วมกับ Polymer และ PAC

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl และ Polymer ร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone

ก. ทำการทดลองโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl และ Polymer ที่ความเข้มข้นในสภาวะที่เหมาะสม แล้วนำน้ำใสที่ได้ไปบำบัดด้วยกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ ozone ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ค่า และเวลาสัมผัส 1 ค่า (ดังรูปที่ 3.17)

ข. นำน้ำตัวอย่างหลังจากกระบวนการทดลอง ทำการวิเคราะห์ pH, alkalinity, DOC, UV-254, Turbidity และ FEEM

ค. เลือกความเข้มข้นและค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมมาทำการโคแอกกูเลชันเพื่อนำน้ำตัวอย่างไปแยกสารอินทรีย์ออกเป็นสองกลุ่ม

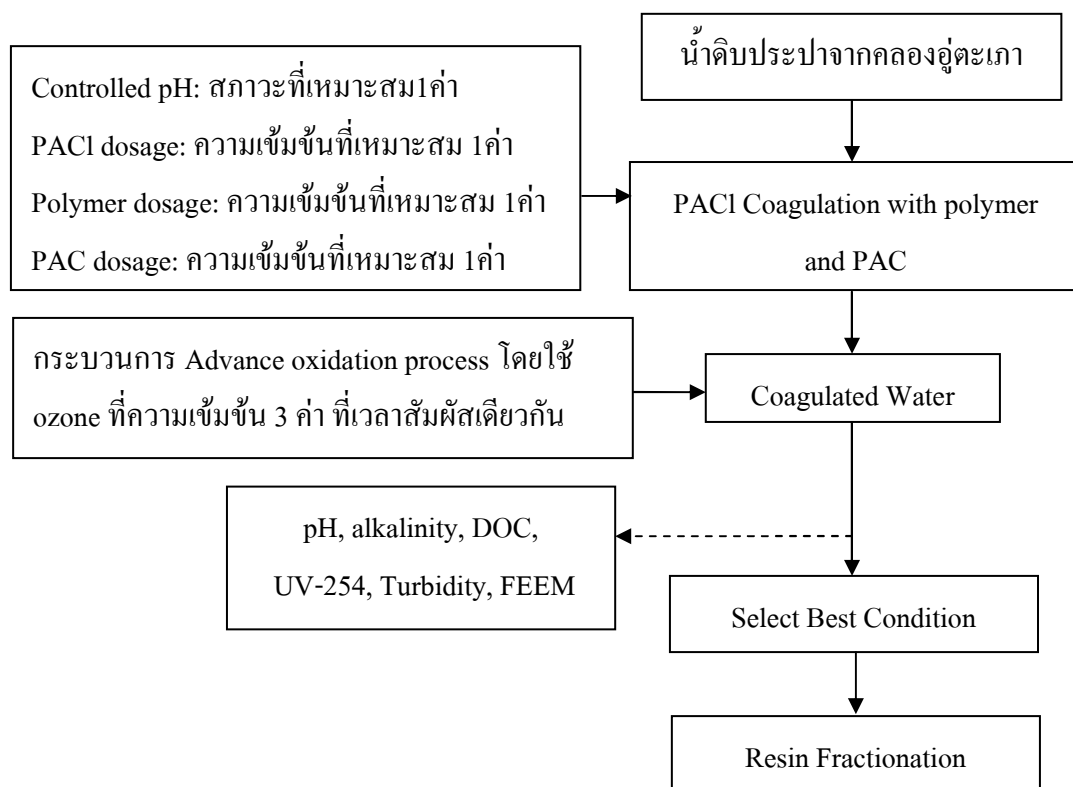


รูปที่ 3.17 แผนผังการทดลองกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ ozone

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ กระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone

ก. ทำการทดลองโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ Polymer ที่ความเข้มข้นในสภาวะที่เหมาะสมร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์ชนิด PAC ตามปริมาณที่เหมาะสม แล้วนำน้ำใสที่ได้ไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ ozone ที่ความเข้มข้น 3 ค่า และเวลาสัมผัสเดียวกัน (ดังรูปที่ 3.18)

ข. นำน้ำตัวอย่างหลังจากกระบวนการทดลอง ทำการวิเคราะห์ pH, alkalinity, DOC, UV-254, Turbidity และ FEEM เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์



รูปที่ 3.18 แผนผังการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ Polymer และ PAC ร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ ozone

3.5 วิธีวิเคราะห์และเครื่องมือ

3.5.1 พีเอช

การวัดค่าพีเอชใช้วิธีวัดตั้งระบุใน Standard method 4500-H⁺ B ด้วย pH meter HACH รุ่น Sessions 1

3.5.2 อุณหภูมิ

วัดโดยตรงจากเครื่อง โดยใช้ pH meter HACH รุ่น Sessions 1

3.5.3 ความเป็นด่าง

ความเป็นด่างวิเคราะห์โดยใช้วิธีตั้งระบุใน Standard method 2320B

3.5.4 ความขุ่น

ความขุ่นใช้วิธีวัดคั่งระบุใน Standard method 2130 B ด้วย Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N

3.5.5 UV-254

UV-254 ใช้วิธีวิเคราะห์คั่งระบุใน Standard method 5910B ด้วย Spectrophotometer Spectronic Unicam รุ่น Genesys 10 UV

3.5.6 TOC และ DOC

ใช้วิธีคั่งระบุใน Standard method 5310C โดยใช้วิธี Wet-Oxidation โดยนำตัวอย่างจะถูกกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 1.2 μm ก่อนที่จะทำการวัดค่า TOC และนำตัวอย่างจะถูกกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.7 μm ก่อนที่จะทำการวัดค่า DOC โดยใช้เครื่อง O.I.analytical 1010 TOC Analyze

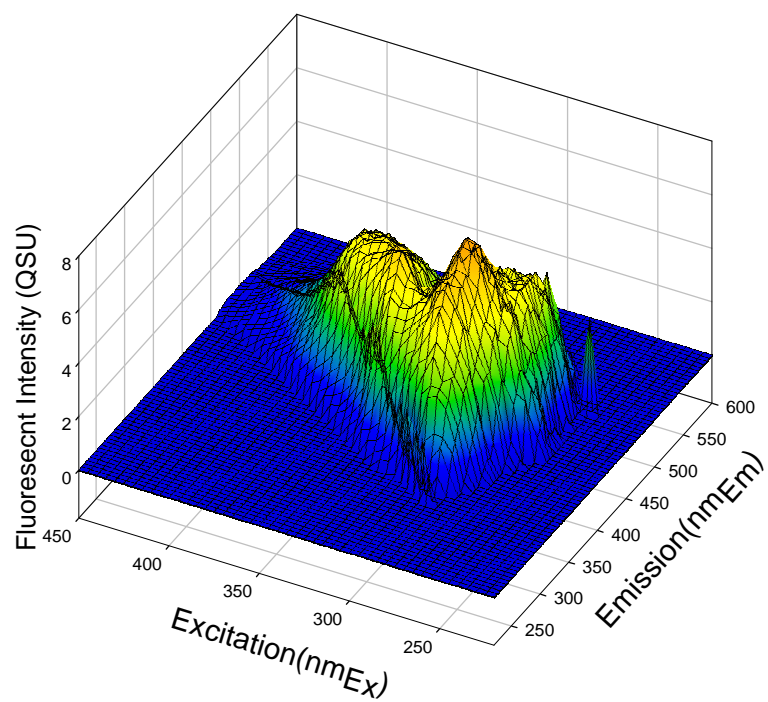
3.5.7 FEEM

วัดโดยตรงจากเครื่องโดยใช้เครื่อง Spectrofluorometer ของ JASCO รุ่น FP-750

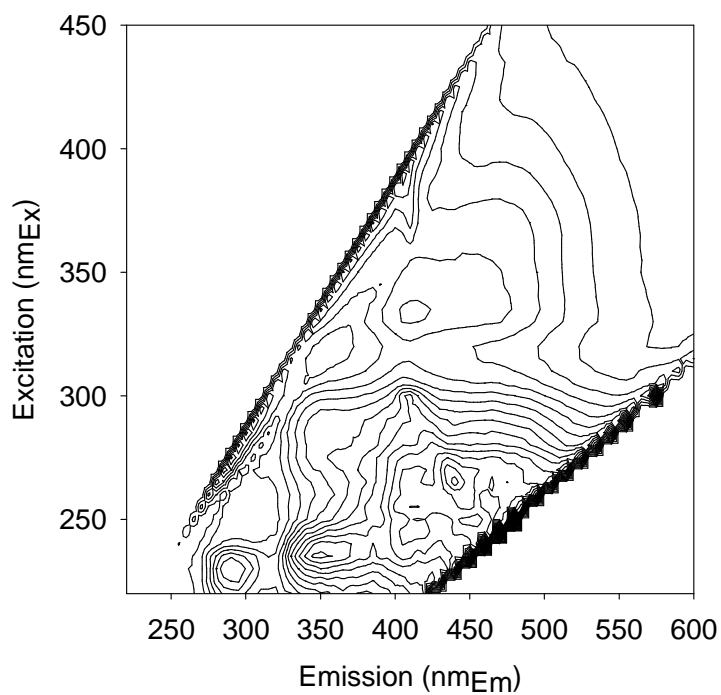
ขั้นตอนการวัดน้ำตัวอย่างโดย Spectrofluorometer

ในการวัด FEEM ของน้ำตัวอย่างโดยใช้ Spectrofluorometer นั้น น้ำตัวอย่างจะต้องผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/F ขนาด 0.7 μm เพื่อกำจัดสารอินทรีย์แขวนลอยและสารอินทรีย์คอลลอยด์ จากนั้นนำน้ำตัวอย่างใส่ในคิวเว็ตโปร่งแสงทั้งสี่ด้านเพื่อทำการวัดค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ ตามความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้นระบบคอมพิวเตอร์จะควบคุมการส่องแสง Fluorescence ที่ความยาวคลื่น (excitation wavelength: Ex) ตั้งแต่ 220 nm ถึง 600 nm โดยวัดตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 nm

การวัด FEEM เป็นการวัดแบบต่อเนื่อง เมื่อการวัดเสร็จสิ้นระบบคอมพิวเตอร์จะแสดงผลในรูปแบบของ Fluorescence Excitation- Emission Matrix (FEEM) โดยจะแสดงผลได้ทั้งแบบสามมิติซึ่งแกน X แสดงค่า “FEEM” มีหน่วยเป็น nm มีแกน Y แสดงค่า “Ex” มีหน่วยเป็น nm ส่วนแกน Z แสดงค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 หรือแสดงผลในรูปแบบ Contour ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 ผลของ Fluorescent Excitation-Emission Matrix (FEEM) ในรูปแบบสามมิติ



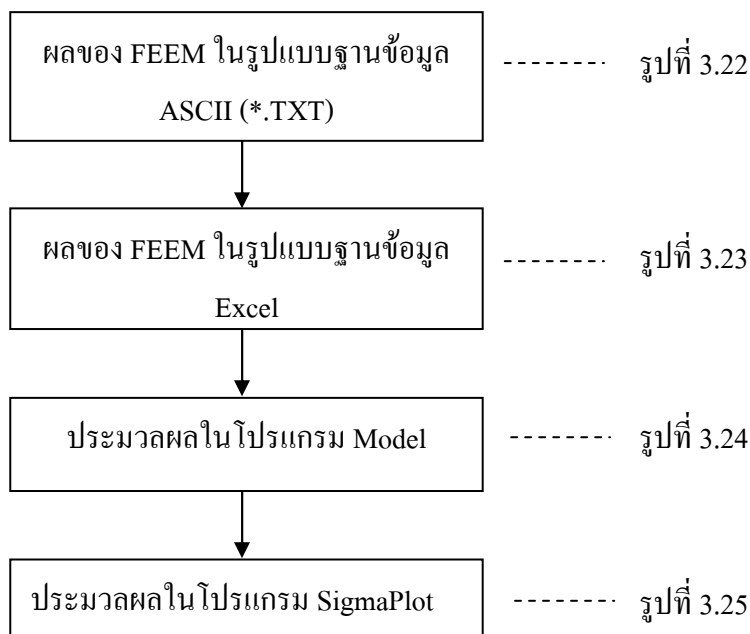
รูปที่ 3.20 ผล Fluorescent Excitation-Emission Matrix (FEEM) ในรูปแบบ Contour

ในการเปิดใช้งานเครื่อง Spectrofluorometer แต่ละครั้ง หลอด Xenon จะให้พลังงานแสงไม่คงที่และไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการให้พลังงานแสงไม่คงที่ของหลอด Xenon ก่อนทำการวัดและหลังการวัดน้ำตัวอย่างต้องมีการทำ Photometric Stability ของเครื่องนั้นจะมีความแตกต่างกันตามรุ่นและชนิดของเครื่อง Spectrofluorometer ที่ใช้ นอกจากนี้เพื่อเป็นการแก้ปัญหาหลอด Xenon ให้พลังงานแสงไม่เท่ากัน ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ทุกครั้งต้องมีการทำ Calibration Standard โดยใช้สาร Quinine Sulfate ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 15 และ 20 $\mu\text{m/L}$ ตามลำดับแล้วนำไปวัด Fluorescent Intensity ที่ “Em” เท่า 450 nm และใช้พลังงานกระตุ้นที่ “Ex” เท่ากับ 345 nm โดย 1 Quinine Sulfate Unit (1 QSU) เท่ากับ ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ ของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1 $\mu\text{g/L}$ (Coble 1996; Nakajima *et al.*, 2002; Chem *et al.*, 2003; and Sierra *et al.* 2005)

โดยก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ต้องมีการปรับค่าพีเอช ในน้ำให้มีค่าเป็นกลาง (pH 7) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Spectrofluorometer

การประมวลผลข้อมูลของ FEEM ที่ได้จากการทดลอง

ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลของ FEEM ที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปที่ 3.21 เมื่อได้ผล EEM ของน้ำตัวอย่างและน้ำ Milli-Q ในรูปแบบ ASCII (*.TXT) (รูปที่ 3.22) หลังจากนั้นจะนำไปปรับให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูล Excel (รูปที่ 3.23) ซึ่งเป็นข้อมูลของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ Excitation และ Emission ต่าง ๆ และจะนำข้อมูล Excel มาคำนวณในโปรแกรม Model (รูปที่ 3.24) ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณโดยนำค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำตัวอย่างมาลบค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำ Milli-Q ออกและนำมาการด้วย 3.33 ซึ่งเป็นค่าเท่ากับ 1 QSU ในขั้นตอนต่อไปจะนำผล FEEM ที่ได้จากโปรแกรม Model ไปประมวลผลต่อโดยใช้โปรแกรม Sigmaplot (รูปที่ 3.25) ซึ่งสามารถแสดงผลของข้อมูลในรูปแบบสามมิติและแบบ contour โดยผล FEEM ของน้ำตัวอย่างเมื่อผ่านการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Sigmaplot ในรูปแบบ contour และเมื่อพิจารณา FEEM ในช่วงของความยาวคลื่น excitation (Ex) \geq ความยาวคลื่น emission (Em) หรือที่ $\text{Ex} \times 2 \leq \text{Em}$ (Komatsu *et al.*, 2005) ทำการลบ Rayleigh และ Raman scattering พิกที่ $\text{Em} \pm 10$ ถึง 15 nm ในแต่ละ Ex (Zepp *et al.*, 2004) จะได้ผล FEEM ของน้ำตัวอย่างในรูปแบบสามมิติ และ contour แสดงในรูปที่ 3.26

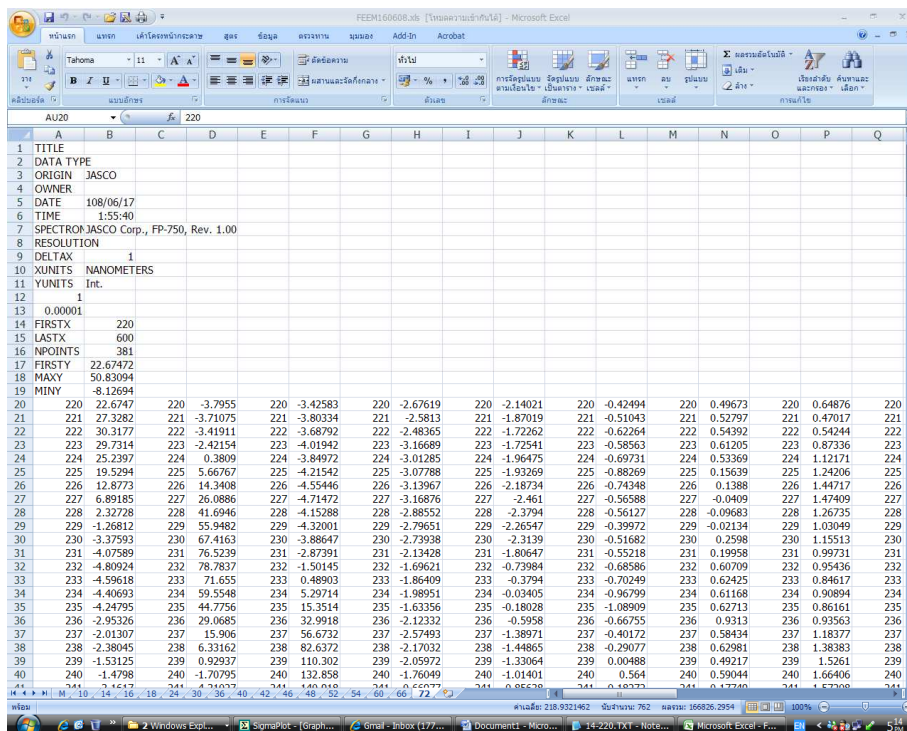


รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลของ FEEM ที่ได้จากการทดลอง

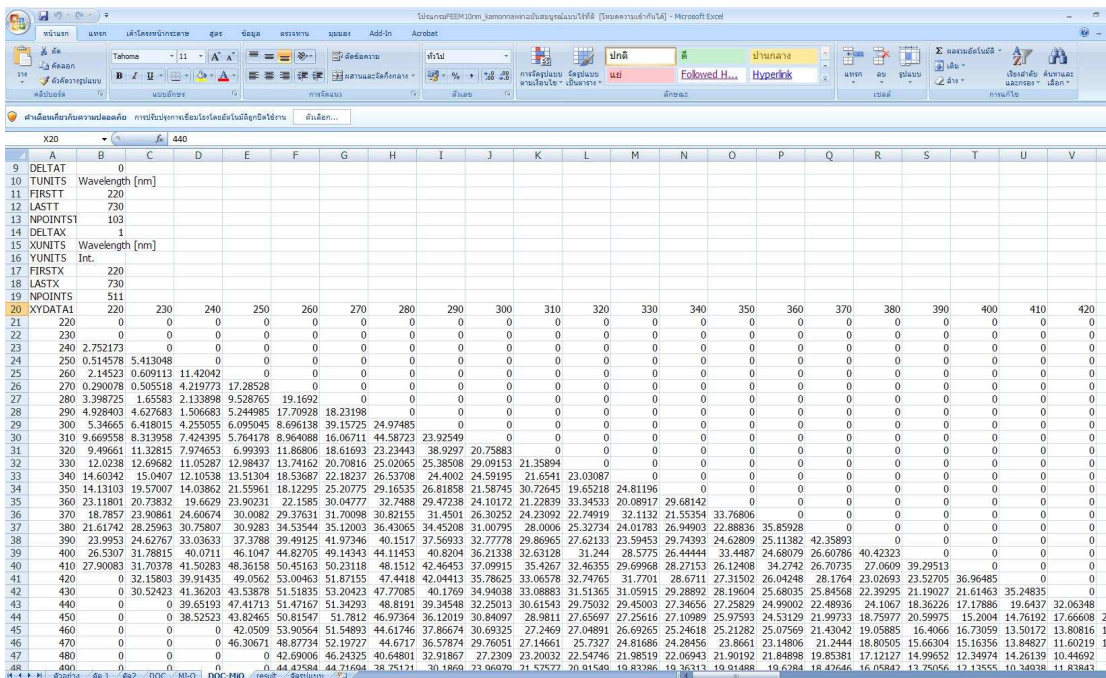
```

14-220.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
TITLE
DATA TYPE
ORIGIN JASCO
OWNER
DATE 108/06/16
TIME 12:48:41
SPECTROMETER/DATA SYSTEM JASCO CoI
RESOLUTION
DELTA X 1
XUNITS NANOMETERS
YUNITS Int.
1.00000
0.00001
FIRSTX 220.0000
LASTX 600.0000
NPOINTS 381
FIRSTY 93.93601
MAXY 189.04565
MINY -1.15696
220.0000 93.936
221.0000 109.932
222.0000 111.727
  
```

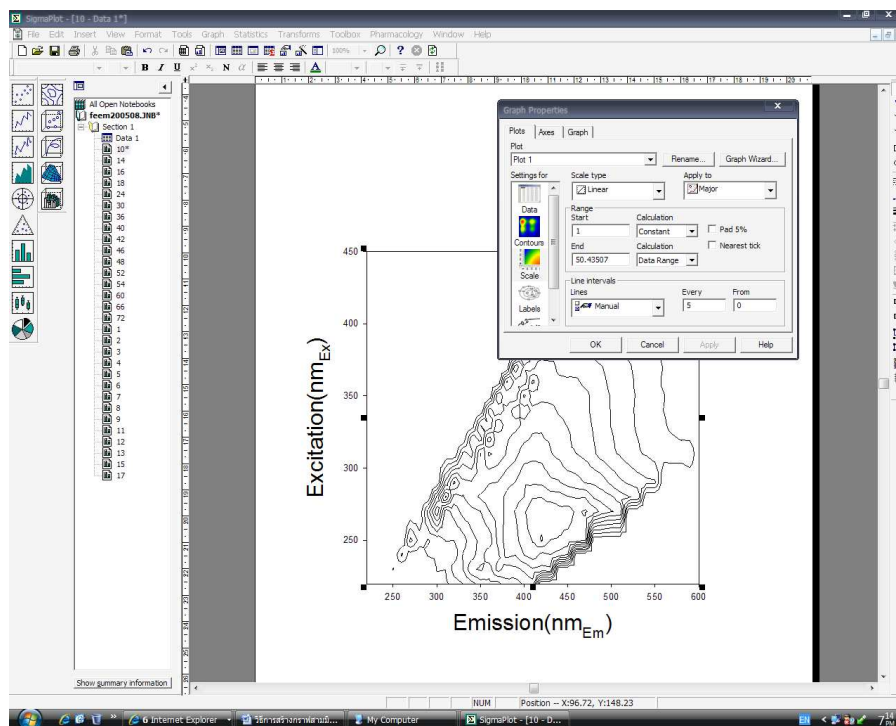
รูปที่ 3.22 ผลของ FEEM ในรูปแบบฐานข้อมูล ASCII



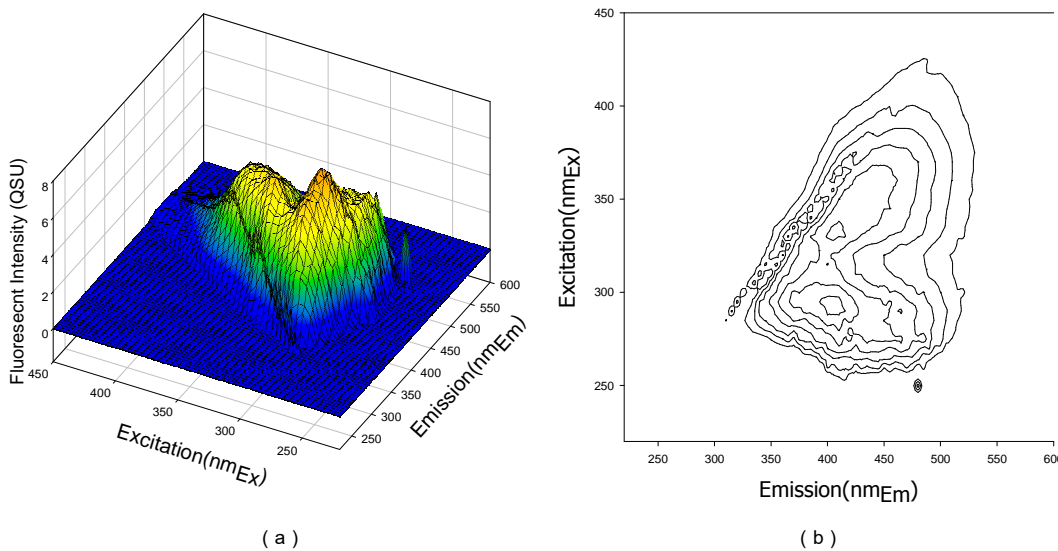
รูปที่ 3.23 ผลของ FEEM ในรูปแบบฐานข้อมูล Excel



รูปที่ 3.24 การประมาณผลในโปรแกรม Model



รูปที่ 3.25 การประมวลผลในโปรแกรม SigmaPlot



รูปที่ 3.26 ผลของ FEEM ของน้ำตัวอย่างในรูปแบบสามมิติ (a) และ contour (b) ที่ได้จากโปรแกรม Sigma plot

3.5.8 Trihalomethane Formation Potential (THMFP)

การวิเคราะห์ THMFP สำหรับทุกตัวอย่างน้ำ ใช้วิธีดังระบุใน Standard method 5710B การทดสอบคลอรีนที่ 7 วันด้วยสารละลาย sodium hypochlorite มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ปรับ pH ของตัวอย่างน้ำให้อยู่ในช่วง 7 ± 0.2 โดยใช้ H_2SO_4 และ NaOH
- เติม 1 ml phosphate buffer solution สำหรับตัวอย่างน้ำ 50 ml
- นำตัวอย่างน้ำเข้าสู่เก็บอุณหภูมิที่ 25 ± 2 °C ในขวดสีชาปิดด้วยฝา PTFE เป็นเวลา 7 วัน
- ทดสอบคลอรีนตกค้างที่เวลา 7 วัน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Spectronic Unicam รุ่น Genesys 10 UV โดยตัวอย่างต้องมีค่าคลอรีนเหลืออยู่ในค่าระหว่าง 3-5 mg/L
- Extract THM ด้วย pentane ตามวิธีที่ระบุใน Standard method 6232B
- วิเคราะห์ THMs ด้วยเครื่อง GC ECD detector (HP 6890 series)

GC Condition เพื่อวิเคราะห์ THMs มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 HP 6890 GC method สำหรับวิเคราะห์ THMs

Manufacture name/model	HP 6890 GC
Inlet conditions	<p>Mode: Split</p> <p>Initial temp: 225 °C</p> <p>Pressure: 31.14 psi</p> <p>Split ration: 10:1</p> <p>Split flow: 96.4 mL/min</p> <p>Total flow: 108.7 mL/min</p> <p>Gas type: Helium</p>
Column	<p>HP-5 5% phenyl Methyl Siloxane</p> <p>Length: 30 m</p> <p>Diameter: 320 um</p> <p>Film thickness: 0.25 um</p> <p>Mode: constant flow</p> <p>Initial flow: 9.6 mL/min</p> <p>Init pressure: 31.15 psi</p>
Detector	<p>ECD</p> <p>Temperature: 300 °C</p> <p>Mode: Constant make up flow</p> <p>Make up flow: 60.0 mL/min</p> <p>Make up Gas type: Nitrogen</p>
Injection temperature	225 °C
Initial temperature	60 °C initial time 1.00 min
Temperature program	<p>10 °C/minute to 100 °C 1 minute</p> <p>10 °C/minute to 130 °C 1 minute</p> <p>10 °C/minute to 180 °C 1 minute</p>
Final time duration	16 minute

เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการทดลองนี้สรุปดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/อุปกรณ์	วิธีอ้างอิง*
พีเอช	pH meter HACH Sessions 1	Standard method 4500-H ⁺ B
ความขุ่น	Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N	Standard method 2130 B
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity Meter YSI 3200	Standard method 2510 B
ความเป็นด่าง	Titration method	Standard method 2320 B
UV-254	Spectrophotometer spectronic unicam รุ่น Genesys 10 UV	Standard method 5910 B
DOC	O.I. analytical 1010	Standard method 5310
FEEM	Spectrofluorometer JASCO FP-6200	วัดโดยตรง
Free chlorine residual	Spectrophotometer spectronic unicam รุ่น Genesys 10 UV	Standard method 4500-Cl G
TTHM ₀ , TTHM ₇ (THMFP)	HP 6890 GC	Standard method 5710 และ 6232B

ที่มา: *Standard methods, 1995

สำหรับสารเคมีทุกชนิดในกระบวนนี้เป็น Analytical grade และดำเนินการทดลอง
วัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดสงขลา ค่าพีเอชในน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าเท่ากับ 6.9 และ 6.7 ตามลำดับ ค่าความขุ่นในน้ำดิบในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 290 NTU ซึ่งเป็นค่าที่สูงเนื่องจากช่วงเวลาก่อนวันเก็บตัวอย่างน้ำมีฝนตกหนักจึงทำให้เกิดการชะหน้าดินบริเวณรอบคลองลงสู่คลองอุตะเถา และน้ำตัวอย่างในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 21.5 NTU สอดคล้องกับการศึกษาของ กมลนาวินและคณะ (2551) ซึ่งพบว่าค่าความขุ่นในน้ำดิบจากคลองอุตะเถาในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่า 312 และ 18.7 NTU ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความขุ่นใกล้เคียงกับการศึกษานี้ สำหรับค่า Suspended Solid ในน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 272 และ 66 mg/L ตามลำดับ ซึ่งค่าความขุ่นและ Suspended Solid ที่มีค่าสูงจะทำให้ต้องใช้ปริมาณสารเคมีที่สูงในส่วนการทำน้ำใสของระบบการผลิตน้ำประปา (AWWA, 1999)

ค่าความเป็นด่างในน้ำดิบในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 24 และ 26.1 mg/L as CaCO₃ ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chaisri *et al.*, (2008) ซึ่งเก็บน้ำดิบ 4 ครั้งระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งพบว่าค่าความเป็นด่างมีค่าประมาณ 10 ถึง 24 mg/L as CaCO₃ ค่าความเป็นด่างมีผลการดำเนินการโคแอกกูเลชัน จากข้อมูลข้างต้น ค่า Alkalinity ของตัวอย่างน้ำดิบประปามีค่าค่อนข้างต่ำทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่ม Alkalinity ระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน (AWWA, 1999)

ค่า Dissolved Organic Carbon (DOC) โดยทั่วไปใช้เป็นพารามิเตอร์ตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในการหาค่าสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DOC) ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยใช้กระดาษกรอง GF/F ขนาด 0.7 µm ค่า DOC ในน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 10.7 และ 6.9 mg/L ตามลำดับ

ค่า UV-254 ซึ่งใช้ในการวัดสารประกอบอินทรีย์ประเภท aromatic hydrocarbon หรือ extended conjugation โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะดูดกลืนแสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm ได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ ค่า UV-254 ในน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.112 และ 0.228 cm⁻¹ ตามลำดับ

สำหรับค่า SUVA ในน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 1.1 และ 3.3 L/mg-m ตามลำดับ SUVA เป็นดัชนีตัวแทนของ สารอินทรีย์กลุ่ม aromatic hydrocarbon ต่อสารอินทรีย์

ละลายน้ำทั้งหมด ในกรณีที่สารอินทรีย์มีอัตราส่วนของสารกลุ่ม aromatic hydrocarbon ต่อสารอินทรีย์ทั้งหมดมีค่าสูง โอกาสที่จะลดสารอินทรีย์โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันได้ดี (USEPA., 1999; AWWA., 1999) เช่นเดียวกันกรณีน้ำตัวอย่างที่มีค่า SUVA ต่ำโดยส่วนใหญ่ ประกอบด้วยสารอินทรีย์กลุ่ม aliphatic hydrocarbon (Edzwald *et al.*, 1985) ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันเพียงอย่างเดียวในการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยโดยเติมโพลีเมอร์และ/หรือการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์หรือการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone เพื่อลดสารอินทรีย์กลุ่ม aliphatic hydrocarbon ในน้ำดิบ

จากข้อมูลของสถานีอุตุนิคมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก (2552) รายงานมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝน 24 ชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติในเขตลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ณ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนมีค่าประมาณ 85 มม. เมื่อเทียบกับหลักของฝนที่ตกในประเทศที่อยู่ในโซนร้อนเขตร้อน (กรมอุตุนิคมวิทยา, 2537) เป็นลักษณะฝนหนัก ซึ่งเป็นไปได้ว่ามีน้ำฝนไหลลงสู่คลองอู่ตะเภาในปริมาณที่สูงตลอดช่วงคลองอู่ตะเภา และช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูแล้งไม่พบฝนตก จึงไม่มีผลกระทบจากน้ำฝนที่ไหลลงสู่คลองอู่ตะเภา ดังนั้นค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์อื่นๆ ที่สูงในน้ำดิบในฤดูฝนอาจจะเป็นผลมาจากความแปรปรวนของฤดูกาลซึ่งเป็นผลให้เกิดการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดที่ไม่ทราบตำแหน่งแน่นอน

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

พารามิเตอร์	ฤดูกาล	
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
พีเอช (pH)	6.9	6.7
ความขุ่น (NTU)	290	21.5
Suspended Solid (mg/L)	272	66
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃)	24	26.1
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	5	4.6
UV-254 (cm ⁻¹)	0.112	0.228
DOC (mg/L)	10.7	6.9
SUVA (L/mg-m)	1.1	3.3

4.1.1 การกระจายมวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในน้ำดิบของฤดูฝนและฤดูแล้งจากคลอง อุตะเภา

สารอินทรีย์ละลายน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติชอบน้ำ (Hydrophilic Organic Fraction, HPI) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Organic Fraction, HPO) ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยใช้เรซิน DAX-8 ในกระบวนการแยกแพรกชั้นใช้น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันของคลองอุตะเภาที่เป็นปริมาณอย่างละ 5 ลิตร

การทำสมดุลมวล (Mass balance) ใช้ในการแสดงประสิทธิภาพของกระบวนการแพรกชั้น ค่าผลต่างระหว่างมวล DOC ก่อนผ่านกระบวนการแยกแพรกชั้น และผลรวมของมวล DOC หลังจากการแยกแพรกชั้น ที่ยอมรับได้ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ (Marhaba, 2000) โดยสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดระหว่างการผลิตเช่น ในกระบวนการล้างเรซินซึ่งใช้น้ำกลั่นที่มีปริมาณ DOC ต่ำ สารอินทรีย์ในน้ำที่นำมาล้างอาจจะถูกดูดซับในเรซินเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์นอกเหนือจากที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่าง และในส่วนของผลรวมส่วนสารอินทรีย์ที่ลดลงอาจเกิดในส่วนของกระบวนการ Elution โดยการ Elution นั้นไม่สามารถชะสารอินทรีย์ที่อยู่ในเรซินออกมาได้ทั้งหมด

จากตารางที่ 4.2 มวล DOC ในน้ำดิบในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 10.7 mg/L และค่ามวล DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} ในน้ำดิบในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 5.5 และ 4.8 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 10.3 mg/L ทำให้มวล DOC ก่อนผ่านกระบวนการแยกแพรกชั้น มีค่ามากกว่า ผลรวมของมวล DOC หลังจากการแยกแพรกชั้น (fraction) ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นผลต่อเนื่องมาจากขั้นตอนการ elution ในกระบวนการแพรกชั้น โดยการใช้ล้างไม่สามารถชะ HPO ออกมาจาก DAX-8 เรซินได้ทั้งหมด

มวล DOC ในน้ำดิบในฤดูแล้งจากคลองอุตะเภามีค่าเท่ากับ 6.9 mg/L และค่ามวล DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} ในน้ำดิบในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 3.4 และ 3.1 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 6.5 mg/L ทำให้มวล DOC ก่อนผ่านกระบวนการแยกแพรกชั้น มีค่ามากกว่า ผลรวมของมวล DOC หลังจากการแยกแพรกชั้น (fraction) ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายมวลสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบในฤดูฝน สารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO มีค่าเท่ากับ 54 และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 52 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากเปอร์เซ็นต์ข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบประปาจากทั้ง 2 ฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPI มีค่าสูงกว่าปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPO เล็กน้อย

จากการศึกษาของ AWWA (1993; 1998; 1999), Kim and Yu (2005), Marhaba and Van (2000), Phumpaisanchai (2005), Musikavong (2005) พบว่าสารอินทรีย์กลุ่ม HPO สามารถกำจัดได้ดีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ดังนั้นกรณีมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ในน้ำดิบ ปรปะปาประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็น กระบวนการหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ เช่นเดียวกันกรณีมีสารอินทรีย์กลุ่ม HPI ในน้ำดิบปรปะปา มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารอินทรีย์กลุ่ม HPI กำจัดได้ยากโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Kim and Yu, 2005) จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยโดยเติมโพลีเมอร์และ/หรือการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์หรือการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน ร่วมกับกระบวนการ advance oxidation process โดยใช้ Ozone เพื่อลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPI

ตารางที่ 4.2 การกระจายมวลของ DOM ในตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งจากคลองอู่ตะเภา

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	กลุ่มสารอินทรีย์				
		HPI ¹	HPO ²	HPI+HPO	Total ³	%Diff ⁴
น้ำดิบ ฤดูฝน	DOC (mg/L)	5.5	4.8	10.3	10.7	4
น้ำดิบ ฤดูแล้ง	DOC (mg/L)	3.4	3.1	6.5	6.9	5

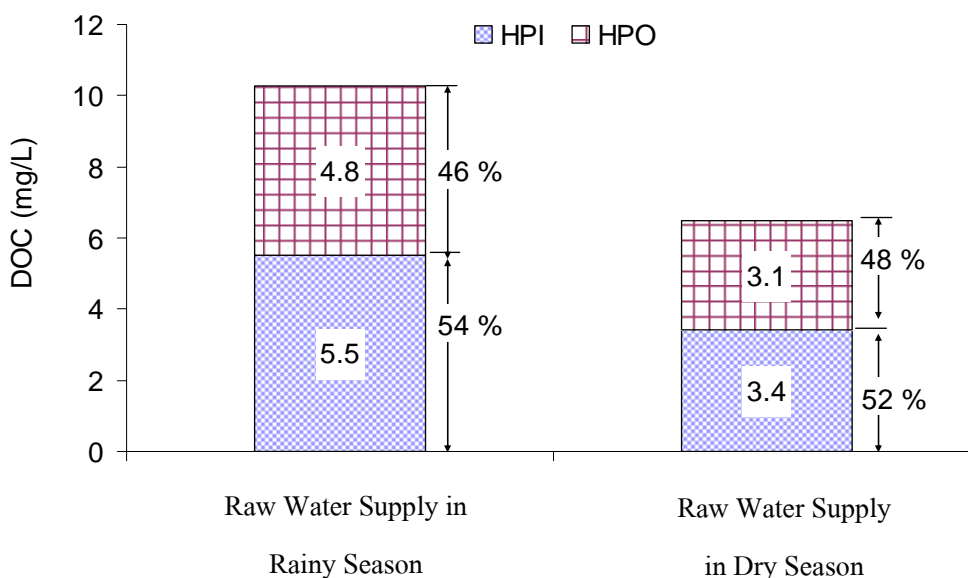
หมายเหตุ :

HPI¹ = Hydrophilic fraction

HPO² = Hydrophobic fraction

Total³ = DOC ก้อน fraction

%Diff⁴ = (Total - (HPI+HPO))*100/Total



รูปที่ 4.1 มวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำในตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งจากคลองอุตะเถา

มวล DOC จากการศึกษานี้นำมาเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำดิบประปาในประเทศไทยดัง (Panyapinyopol *et al.* (2005), Homklin (2004), Janhom *et al.* (2005), Phumpaisanchai (2005) ในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าค่า DOC ในน้ำดิบประปาจากคลองอุตะเถามีค่าสูงกว่าแหล่งน้ำดิบประปาอื่นในประเทศไทย เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร อ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว อ่างเก็บน้ำแม่กวัง แม่น้ำแม่สา อ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ จังหวัดเชียงใหม่ นั้นแสดงถึงความจำเป็นที่จะต้องมี การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบการผลิตน้ำประปา

ค่าปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบจากคลองอุตะเถาทั้งสอง ฤดูกาลมีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ HPI มากกว่า HPO สอดคล้องกับการศึกษาของ Musikavong, (2007) ซึ่งพบว่าเข้มข้นของ DOC ในรูปของ HPI มีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมวล DOC ทั้งหมดสำหรับตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำที่มีค่า DOC ระหว่าง 3.8 ถึง 8.4 mg/L ซึ่งความเข้มข้นของ DOC ที่สูงอาจเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำทิ้งชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ที่มี HPI เป็น ส่วนประกอบหลักของกลุ่มสารอินทรีย์ละลายน้ำ

ตารางที่ 4.3 การกระจายมวลของสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ในน้ำดิบจากการศึกษา
เปรียบเทียบกับแหล่งน้ำดิบประปาในประเทศไทย

แหล่งน้ำดิบ	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์สัดส่วน(%)	
		HPI	HPO
แม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร(Panyapinyopol <i>et al</i> , 2005)	4.7	60	40
อ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว เชียงใหม่ (Homklin, 2004)	2.4	47	53
อ่างเก็บน้ำแม่กวัง เชียงใหม่ (Homklin, 2004)	2.0	40	60
แม่น้ำแม่สา เชียงใหม่ (Homklin, 2004)	1.8	31	69
น้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำ เชียงใหม่ (Janhom <i>et al</i> . 2005)	5.4	43	57
อ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ เชียงใหม่ (Phumpaisanchai, 2005)	6.4	51	49
*คลองอุตะเถา สงขลา เดือนกันยายน พ.ศ.2551	10.7	54	46
*คลองอุตะเถา สงขลา เดือนเมษายน พ.ศ.2552	6.9	52	48

หมายเหตุ : * ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้

4.1.2 THMF และสารประกอบ THMs ในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง

โดยทั่วไป ค่า THMs เป็นความเข้มข้นของ THMs ณ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยค่า THMs มีผลโดยตรงต่อผู้ใช้น้ำ ซึ่งต้องมีปริมาณอยู่ในข้อกำหนดของ USEPA Disinfectant/Disinfection By-product (D/DBPs) (United states Environmental Protection Agency หรือ USEPA) (USEPA, 2007) สำหรับน้ำดื่มกำหนดผลรวมของสารประกอบ THMs 4 ชนิด ได้แก่ ด้วย Chloroform (CHCl_3), Bromodichloromethane (CHBrCl_2), Dibromochloromethane (CHBr_2Cl), Bromoform (CHBr_3) ต้องไม่เกิน 40 $\mu\text{g/L}$

องค์การอนามัยโลก (World health organization: WHO, 1997) ระบุ THMs ที่พบในน้ำสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดถึงอนุพันธ์ที่เกิดจากการใช้คลอรีน (Chlorination by-products) ได้ การควบคุมปริมาณของสารกลุ่มนี้ทำได้โดยการลดปริมาณของอนุพันธ์ที่เกิดจากการใช้คลอรีน WHO กำหนดค่า guideline values (GV) ของ CHCl_3 , CHBrCl_2 , CHBr_2Cl และ CHBr_3 ที่ 200, 60, 100 และ 100 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ในด้านความเป็นพิษ CHBrCl_2 มีอันตรายมากกว่า CHCl_3 อย่างไรก็ตาม CHCl_3 มีความเข้มข้นสูงกว่าสารประกอบ THMs อื่น

องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้เสนอแนะปริมาณรวมของ THMs ควรมีความเท่ากับ

$$\frac{C_{\text{bromoform}}}{GV_{\text{bromoform}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{GV_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{BDCM}}}{GV_{\text{BDCM}}} + \frac{C_{\text{chloroform}}}{GV_{\text{chloroform}}} \leq 1 \text{ ---- (สมการที่ 4.1)}$$

เมื่อ C = Concentration และ GV = Guideline value

ค่า THMF และสารประกอบ THMs ในน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้งแสดงในรูปที่ 4.2 และเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของสารประกอบ THMs ในน้ำดิบทั้ง 2 ฤดูแสดงในรูปที่ 4.3

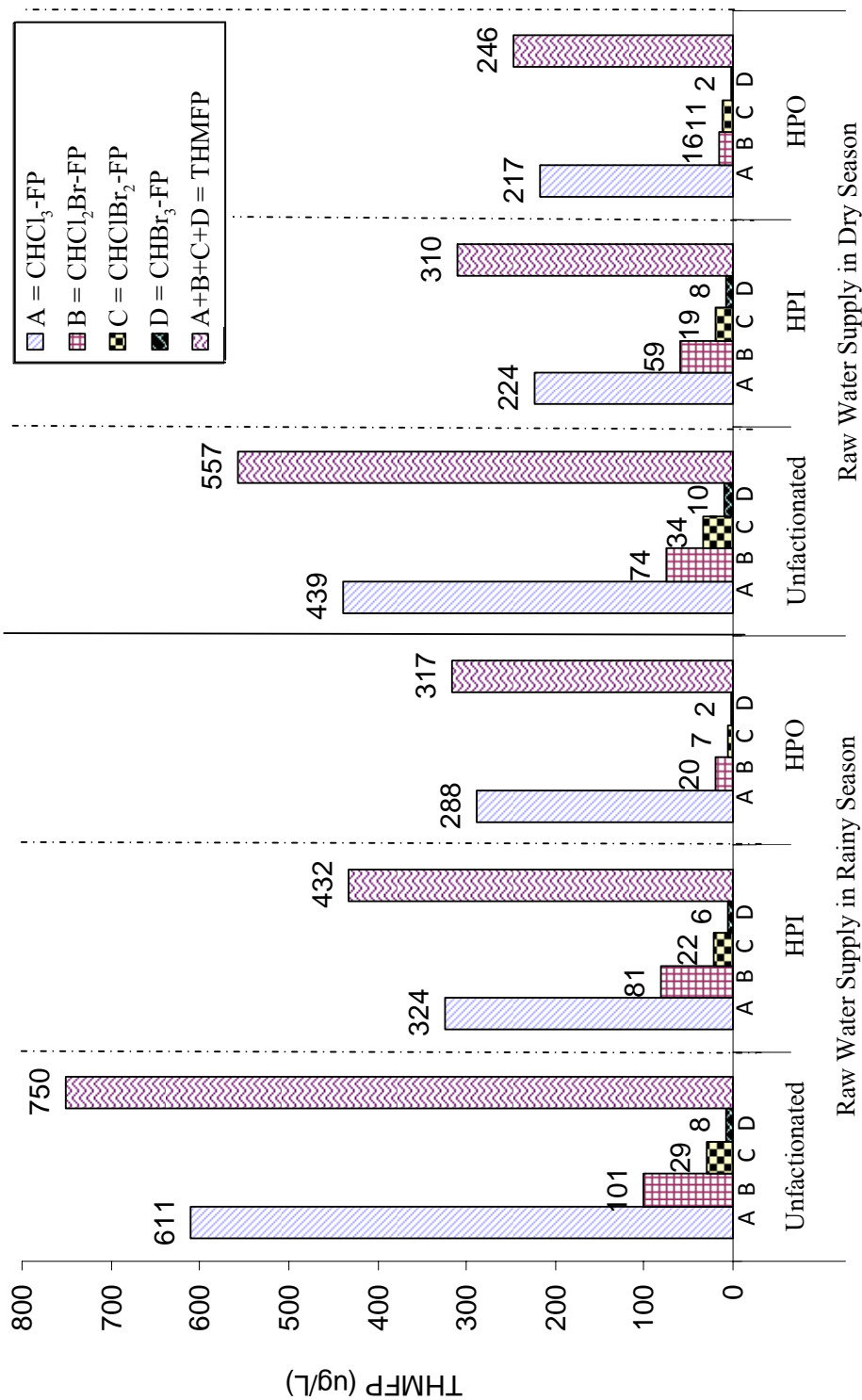
จากรูปที่ 4.2 ค่า TTHMF ในน้ำดิบในฤดูฝนมีความเท่ากับ 749.7 $\mu\text{g/L}$ และเมื่อนำมาผ่านกระบวนการแฟรกชันพบว่าค่า THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 432 และ 316.6 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ และฤดูแล้งมีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 556.9, 318.7 และ 237.1 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

สำหรับสารประกอบ THMs ในฤดูฝน CHCl_3 มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 611.2, 323.6 และ 287.6 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ CHBrCl_2 มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 101.2, 80.8 และ 20.4 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ CHBr_2Cl มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 28.9, 21.5 และ 6.9 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ และ CHBr_3 มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 8.4, 6.1 และ 1.7 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

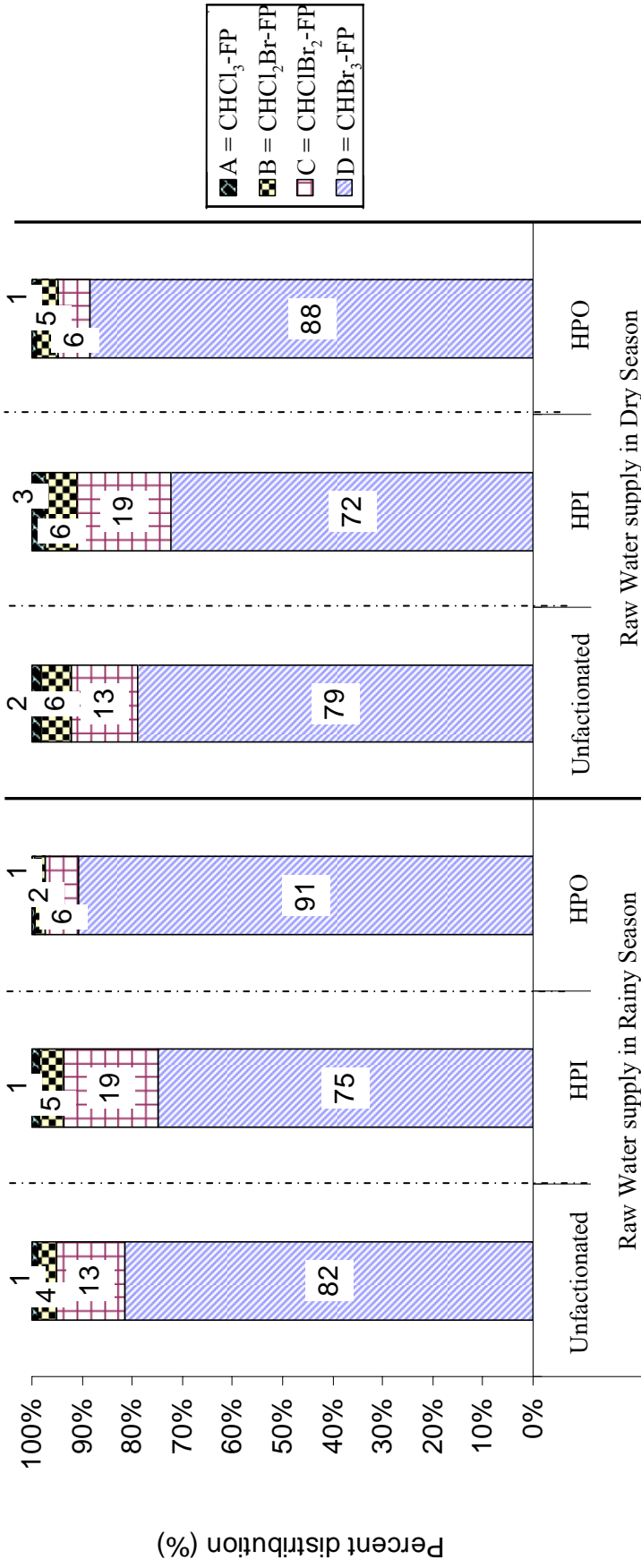
ในน้ำดิบในฤดูแล้ง CHCl_3 มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 438.9, 223.5 และ 217.3 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ CHBrCl_2 มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 74.3, 58.6 และ 15.7 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ CHBr_2Cl มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 33.6, 19.4 และ 11.2 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ และ CHBr_3 มีความ TTHMF, THMF_{HPI} และ THMF_{HPO} มีความเท่ากับ 10.1, 8.3 และ 1.9 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.3 แสดงสารประกอบ THMs ในน้ำดิบประปาและน้ำที่ผ่านกระบวนการแยกกลุ่มสารอินทรีย์ ทั้ง 2 ฤดูพบว่า สารประกอบ THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ Chloroform Bromodichloromethane มีความเข้มข้นรองลงมา ตามด้วย Dibromochloromethane และ Bromoform ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ USEPA, (2007) โดยค่า THMF ในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้งมีความเท่ากับ 750 และ 557 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดของ USEPA (40 $\mu\text{g/L}$) จึงสามารถกล่าวได้ระบบประปาต้องลดสารอินทรีย์ให้ได้มากที่สุดเพื่อลดโอกาสการก่อสารก่อมะเร็งให้ได้มากที่สุด



รูปที่ 4.2 THMFP และสารประกอบ THMs ของตัวอย่างน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้ง



รูปที่ 4.3 เปอร์เซนต์สัดส่วนสารประกอบ THMs ในตัวอย่างน้ำดิบของฤดูฝนและฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า THMFP และสารประกอบ THMs ในน้ำดิบประปา และน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของถดฝนและถดแล้ง กล่าวได้ว่า ค่า THMFP และสารประกอบ THMs ของตัวอย่างน้ำดิบประปาทั้ง 2 ถด มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ THMFP_{HPI} มากกว่า THMFP_{HPO}

สารประกอบ THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ Chloroform Bromodichloromethane มีค่าความเข้มข้นรองลงมา ตามด้วย Dibromochloromethane และ Bromoform ตามลำดับ เป็นสารประกอบหลักของสารประกอบ THMs เช่นเดียวกับการศึกษาของ Rodriguez *et al.* (2003) พบว่า ประมาณ 80 % ของ CHCl₃ เป็นสารประกอบหลักของ THM ในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากโรงงานผลิตน้ำดื่มในเมือง Quebee ในประเทศแคนาดา และระดับ CHCl₃ ประมาณ 90 % พบในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากสามโรงงานการผลิตน้ำดื่มในเมือง Quebee, Canada และ Thacker *et al.* (2002) รายงานว่า CHCl₃ เป็นสารประกอบหลักของ THMs แหล่งน้ำใน เมือง Panjrapur, Bhanup, Tulsi, Vehar ในประเทศอินเดีย

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า THMFP ในน้ำดิบในถดฝนและถดแล้งจากคลองอู่ตะเภา เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำดิบประปาแม่น้ำจากแหล่งอื่นในประเทศไทย (Panyapinyopol *et al.* (2005), Homklin (2004), Janhom *et al.* (2005), Phumpaisanchai (2005)) สังเกตได้ว่า ค่า THMFP จากการคลองอู่ตะเภาทั้งในถดฝนและถดแล้งมีค่าสูงกว่าแหล่งน้ำดิบประปาแหล่งอื่นในประเทศไทยเช่น แม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร อ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว อ่างเก็บน้ำแม่กวง แม่น้ำแม่สา อ่างเก็บน้ำแม่เหี้ยะ จังหวัดเชียงใหม่ จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในกระบวนการผลิตน้ำประปาของแหล่งน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า THMFPP และสารประกอบ THMs ในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของสารประกอบ THMs (แสดงค่าสูงไปต่ำ)	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ THMFPP ที่ผ่านกระบวนการฟรอกชัน
Raw water supply in Rainy Season	Unfacionated Water	THMFPP _{HPI} (58%) > THMFPP _{HPO} (42%)
	HPI	
	HPO	
Raw water supply in Dry Season	Unfacionated Water	THMFPP _{HPI} (56%) > THMFPP _{HPO} (44%)
	HPI	
	HPO	

ตารางที่ 4.5 THMFp และ สารประกอบ THMs ในการศึกษานี้เปรียบเทียบกับแหล่งน้ำดิบประปา
ในประเทศไทย

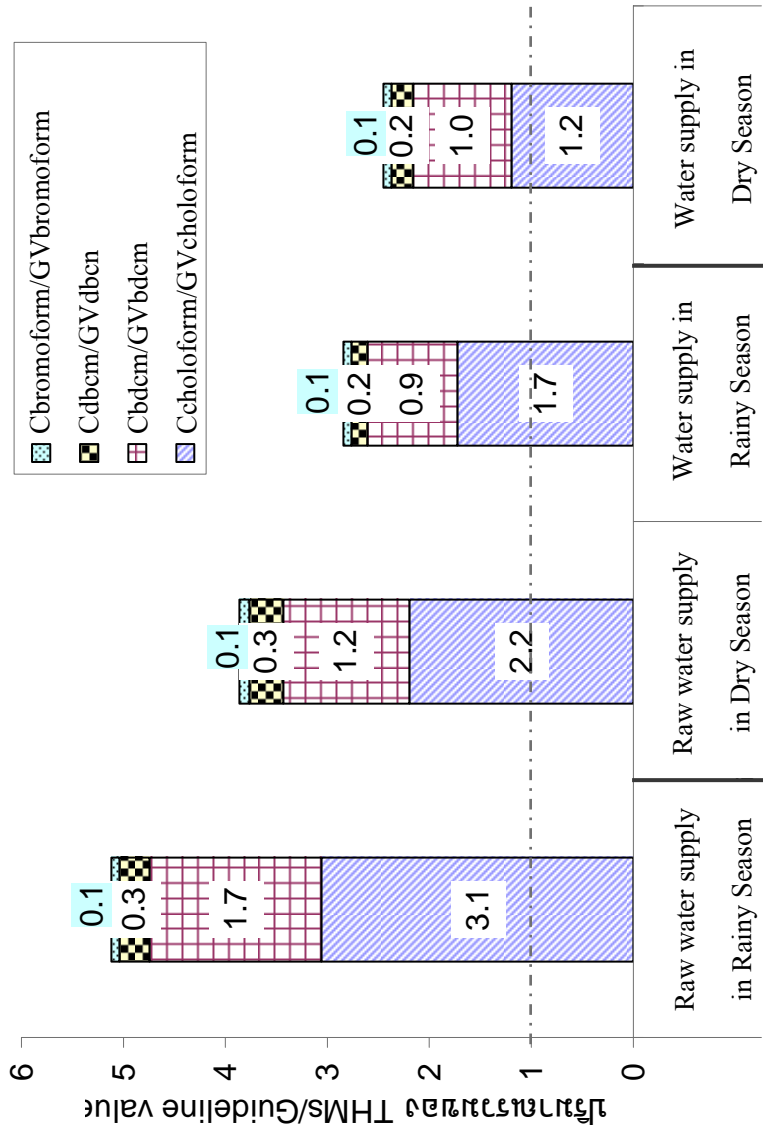
แหล่งน้ำดิบ	เวลาเก็บ ตัวอย่าง	THMFp ($\mu\text{g/L}$)	CHCl_3 - FP($\mu\text{g/L}$)	CHCl_2Br - FP($\mu\text{g/L}$)	CHClBr_2 - FP($\mu\text{g/L}$)	CHBr_3 - FP($\mu\text{g/L}$)
แม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร (Panyapinyopol <i>et al</i> , 2005)	ส.ค. 2003	313	262 (84%) ¹	43.8 (14%)	6.9 (2%)	ND ²
อ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว เชียงใหม่ (Homklin, 2004)	พ.ย. 2004	403	372 (92%)	20.3 (5%)	11.1 (3%)	ND
อ่างเก็บน้ำแม่กวง เชียงใหม่ (Homklin, 2004)	ธ.ค. 2004	236	214 (90%)	15.4 (7%)	6.9 (3%)	ND
แม่น้ำแม่สา เชียงใหม่ (Homklin, 2004)	ก.พ. 2005	113	94(83%)	11.7 (10%)	7.0 (7%)	ND
อ่างเก็บน้ำเขื่อน ภูมิพล ตาก (Panyapinyopol <i>et al</i> , 2005)	เม.ย. 2005	318	292 (92%)	25.6 (8%)	ND	ND
*คลองอุตะเถา	ก.ย. 2008	750	611.2 (82%)	101.2 (13%)	28.9 (4%)	8.4 (1%)
*คลองอุตะเถา	เม.ย. 2009	557	438.9 (79%)	74.3 (13%)	33.6 (6%)	10.1 (2%)

หมายเหตุ : * ข้อมูลจากการศึกษารั้งนี้

¹ () = เปอร์เซ็นต์สัดส่วน

² ND = Not detected

จากรูปที่ 4.4 เมื่อนำค่าของสารประกอบ THMs ทั้งสี่ชนิดจากการดำเนินการวิเคราะห์ THMFP ของน้ำดิบประปาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ WHO (สมการที่ 4.1) พบว่าน้ำดิบประปาในฤดูฝนมีค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดหารกับ Guide line ของ WHO รวมกันเท่ากับ 5.1 และ ฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 3.7 ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดของ WHO สำหรับค่า THMs และสารประกอบ THMs ในน้ำประปาในฤดูฝนที่เปิดจากก๊อกในบ้านเรือน ณ ช่วงเวลาที่ดำเนินการเก็บตัวอย่าง (17 กันยายน พ.ศ.2551) มีค่า THMs และ สารประกอบ THMs ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ CHCl_3 , CHBrCl_2 , CHBr_2Cl และ CHBr_3 มีค่าเท่ากับ 457.1, 346.8, 87.2, 16.4 และ 6.7 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ สำหรับฤดูแล้ง ค่า THMs และสารประกอบ THMs ในน้ำประปา ณ ช่วงเวลาที่ดำเนินการเก็บตัวอย่าง (3 เมษายน พ.ศ.2552) มีค่า THMs และ สารประกอบ CHCl_3 , CHBrCl_2 , CHBr_2Cl และ CHBr_3 มีค่าเท่ากับ 326.7, 239.6, 57.3, 21.7 และ 8.1 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ เมื่อนำค่าของสารประกอบ THMs ทั้งสี่ชนิดของน้ำประปาที่เปิดจากก๊อกในบ้านเรือน ณ ช่วงเวลาเดียวกับที่เก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้ง มาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ WHO (สมการที่ 4.1) พบว่าน้ำประปาในฤดูฝนมีค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดหารกับ Guide line ของ WHO รวมกันเท่ากับ 2.8 และ น้ำประปาในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 3.6 ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดของ WHO จากข้อมูลของน้ำประปาที่เปิดจากก๊อกในบ้านเรือน นั้นเด่นชัดยิ่งถึงความจำเป็นในการศึกษาการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิด THMs ในน้ำประปา



รูปที่ 4.4 ค่าของสารประกอบ THMs/Guideline value ในน้ำดิบประปาและน้ำประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง (หมายเหตุ: น้ำดิบประปาเป็นสารประกอบ THMs ซึ่งได้มาจากกริเคราะห์ THMFP)

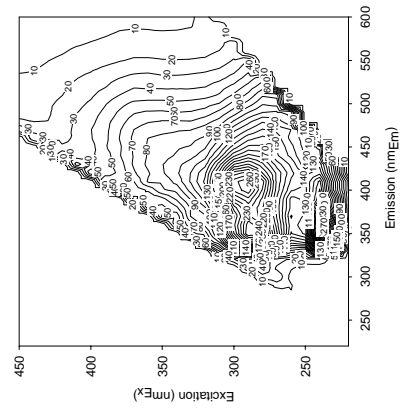
4.1.3 FEEM ในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง

Three-dimensional fluorescent spectroscopy (excitation-emission matrix, FEEM) เทคนิคเป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่ในการวัดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ อย่างไรก็ตาม FEEM เป็นวิธีการวัดที่สะดวก รวดเร็ว ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยและสามารถใช้บ่งชี้ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำได้ ตลอดจนสามารถปรับปรุงและพัฒนาเพื่อใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

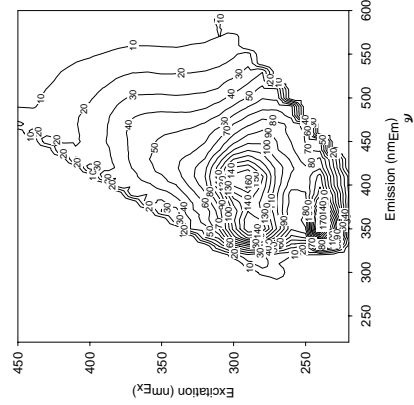
ในการวัด FEEM นั้น โมเลกุลของสารอินทรีย์ละลายน้ำถูกกระตุ้นโดยพลังงานแสง Fluorescence จากหลอด Xenon ทำให้โมเลกุลดังกล่าวเปลี่ยนจาก ground state ไปสู่ low energy state แล้ว โมเลกุลของสารอินทรีย์ดังกล่าวจะปล่อยพลังงานส่วนเกินที่รับเข้าไปออกมาเพื่อเปลี่ยนจาก low energy state ไปสู่ ground state อีกครั้งหนึ่ง โดยพลังงานที่ปล่อยออกมาจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ใช้กระตุ้นและความยาวคลื่นที่วัดได้ในขณะที่โมเลกุลปล่อยพลังงานออกมากจะสูงกว่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดง FEEM ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำดิบในฤดูฝนและฤดูแล้ง ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ FEEM ที่ตำแหน่งความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ในน้ำดิบตรวจพบความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนของ FEEM ที่ $240\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$, $260\text{nm}_{\text{Ex}}/360\text{nm}_{\text{Em}}$, $280\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$ และ $280\text{nm}_{\text{Ex}}/410\text{nm}_{\text{Em}}$ เมื่อพิจารณา FEEM_{HPI} และ FEEM_{HPO} ที่ได้จากการแยกแฟรกชันในน้ำดิบ ตรวจพบความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนของ FEEM ที่ตำแหน่งเดียวกันกับน้ำดิบ

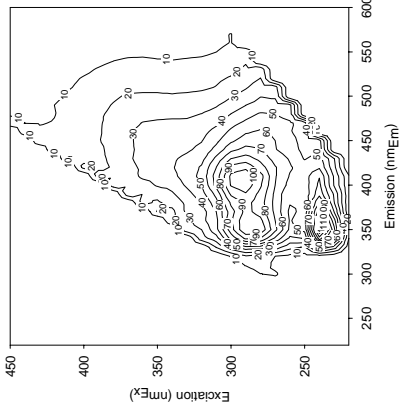
สำหรับ FEEM ในน้ำดิบที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง ตรวจพบความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ตำแหน่งเดียวกับกับน้ำตัวอย่างในฤดูฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ ตารางที่ 4.6



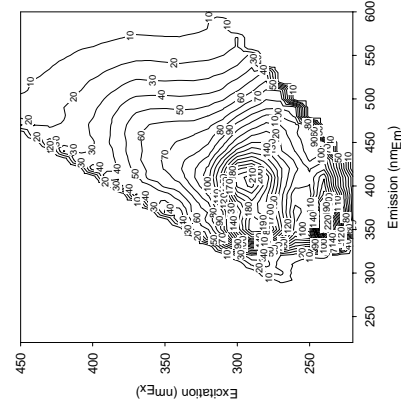
น้ำดิบฤดูฝน



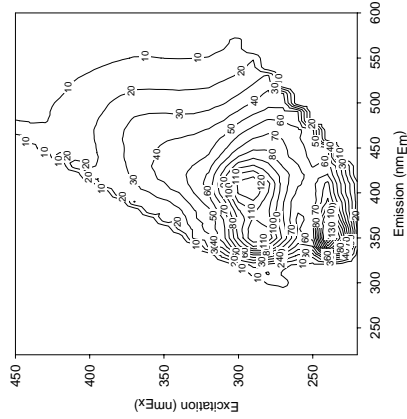
Hydrophilic น้ำดิบฤดูฝน



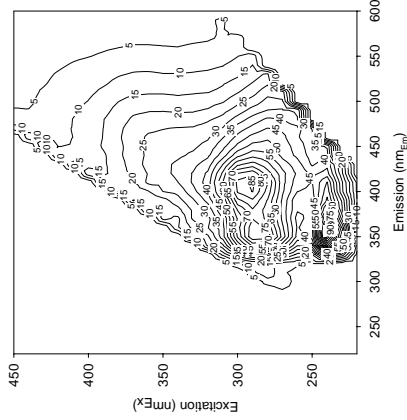
Hydrophobic น้ำดิบฤดูฝน



น้ำดิบฤดูแล้ง

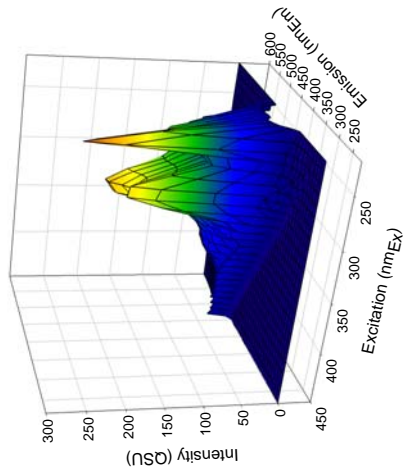


Hydrophilic น้ำดิบฤดูแล้ง

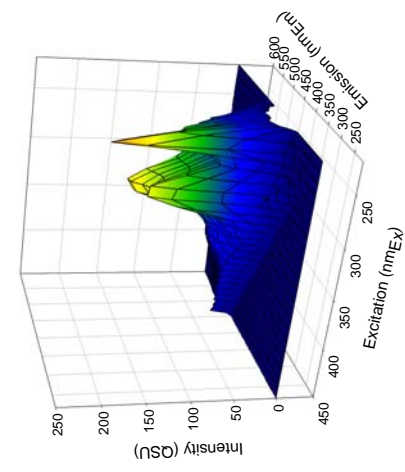


Hydrophobic น้ำดิบฤดูแล้ง

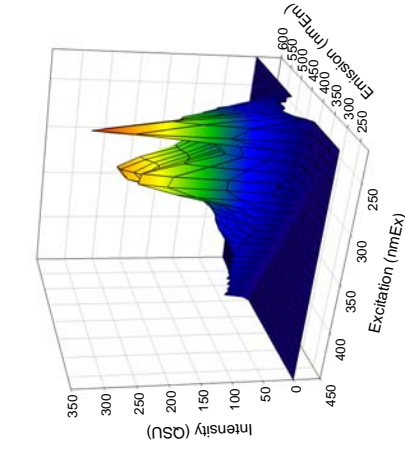
รูปที่ 4.5 FEEM ในรูปแบบ contour ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกขุ่นทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง (4 QSU)



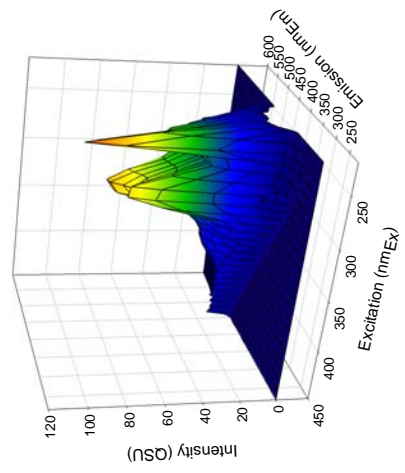
Hydrophobic น้ำดิบฤดูฝน



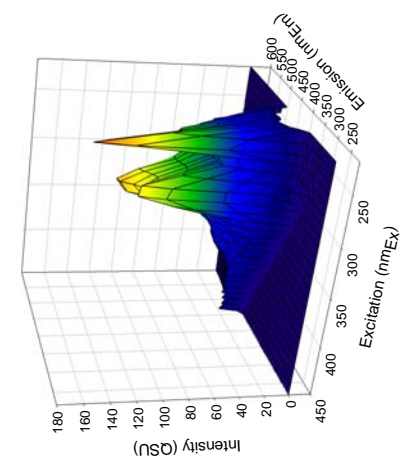
Hydrophilic น้ำดิบฤดูฝน



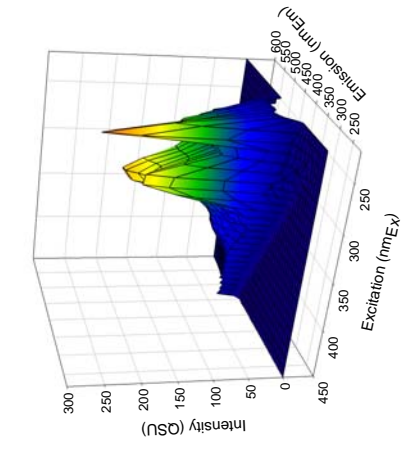
น้ำดิบฤดูแล้ง



Hydrophobic น้ำดิบฤดูแล้ง

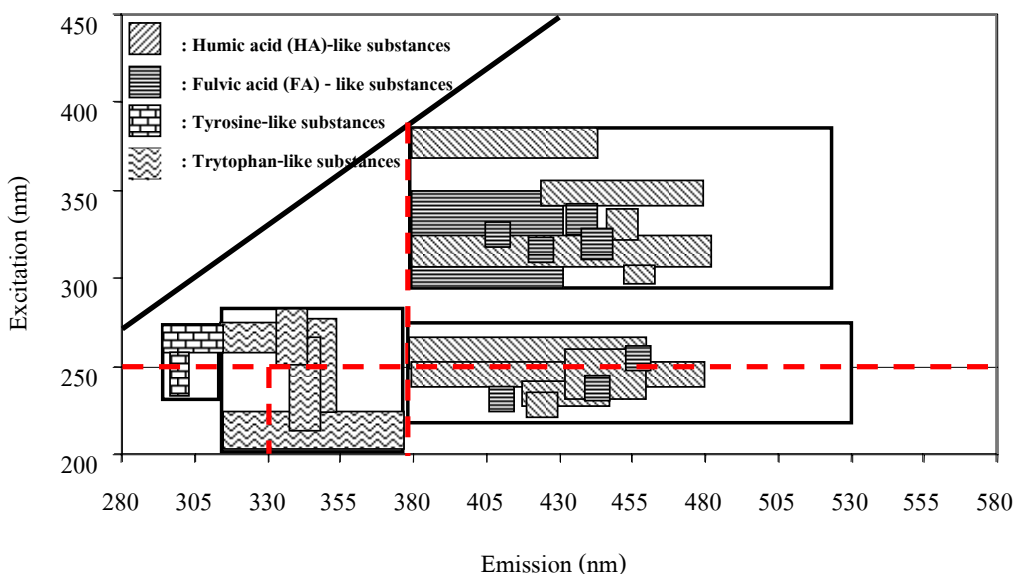


Hydrophilic น้ำดิบฤดูแล้ง

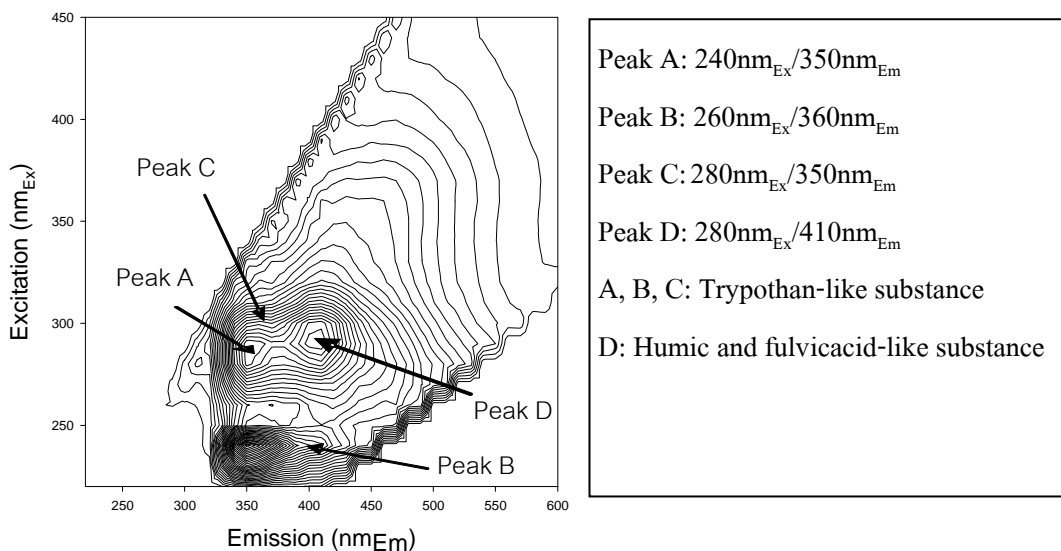


น้ำดิบฤดูแล้ง

รูปที่ 4.6 FEEM ในรูปแบบสามมิติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการแปรกษณ์ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง (4 QSU)



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งของ FEEM ที่มีค่าสูงและขอบเขตของความยาวคลื่น Excitation และ Emission สำหรับ FEEM ทั้ง 5 ส่วน (region) (Musikavong *et al.*, 2006)



รูปที่ 4.8 กลุ่มสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

เมื่อพิจารณา FEEM โดยใช้หลักการของ Chen *et al.*, (2003) ซึ่งได้อธิบายขอบเขตของความยาวคลื่น Excitation (Ex) และ Emission (Em) โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน (region) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.7 และสามารถแบ่งได้ดังนี้

Region ที่ 1, Ex/Em มีค่าอยู่ในช่วง 220-250 nm/280-330 nm จะเป็นค่า FEEM ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์กลุ่ม Tyrosine หรือ aromatic protein

Region ที่ 2, Ex/Em มีค่าอยู่ในช่วง 220-250 nm/330-380 nm จะเป็นค่า FEEM ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์กลุ่ม BOD₅ หรือ aromatic protein

Region ที่ 3, Ex/Em มีค่าอยู่ในช่วง 220-250 nm/ > 380 nm จะเป็นค่า FEEM ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์กลุ่ม Hydrophobic acid หรือ fulvic acid-like

Region ที่ 4, Ex/Em มีค่าอยู่ในช่วง >250 nm/280-330 nm จะเป็นค่า FEEM ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์กลุ่ม soluble microbial by – product-like

Region ที่ 5, Ex/Em มีค่าอยู่ในช่วง > 250 nm/ >380 nm จะเป็นค่า FEEM ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์กลุ่ม humic acid-like

ดังที่กล่าวมาในข้างต้น FEEM, FEEM_{HPI} และ FEEM_{HPO} ในน้ำดิบประปาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ตรวจพบความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนที่ตำแหน่ง Peak A: 240nm_{Ex}/350nm_{Em} Peak B: 260nm_{Ex}/360nm_{Em} Peak C: 280nm_{Ex}/350nm_{Em} Peak D: 280nm_{Ex}/410nm_{Em} ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับขอบเขตความยาวคลื่นของ Chen *et al.* (2003) พบว่าที่ peak D เป็นตัวแทนของ Humic and fulvic acid-like substance และ peak A, B และ C เป็นตัวแทนของกลุ่ม Trypohan-like substance ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suksaroj *et al.*, (2008) และ Musikavong *et al.*, (2008) ซึ่งตรวจพบกลุ่มสารอินทรีย์ที่ความเข้มแสงบริเวณเดียวกันในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา ซึ่งโดยทั่วไป fluorescent peak จากกลุ่ม Trypohan-like substance ไม่มีการตรวจพบในแหล่งน้ำธรรมชาติแต่พบในน้ำเสีย เป็นไปได้ว่าการปนเปื้อนดังกล่าวเกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชนหรือแหล่งอื่นๆ (Musikavong, 2006) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการลดกลุ่มสารอินทรีย์ทั้งกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance และกลุ่ม Trypohan-like substance ในน้ำดิบประปาทั้ง 2 ฤดูกาล ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.10

ตารางที่ 4.6 ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ตรวจพบในน้ำดิบประปาในฤดูฝนและฤดูแล้ง

แหล่งน้ำ	ประเภท	Excitation: nm/ Emission :nm, (4 QSU)						total
		Peak A 240nm _{Ex} /350nm _{Em}	Peak B 260nm _{Ex} /360nm _{Em}	Peak C 280nm _{Ex} /350nm _{Em}	Peak D 280nm _{Ex} /410nm _{Em}	Tryptophan-like substance (A+B+C)	Humic and fulvicacid-like substance (D)	
Raw water supply in Rainy Season	Unfacionated	327	123	246	235	696	235	932
	HPI	174	69	136	99	477	99	477
	HPO	153	48	114	135	449	135	449
Raw water supply in Dry Season	Unfacionated	267	112	216	280	596	280	876
	HPI	144	61	118	124	447	124	447
	HPO	124	49	88	164	425	164	425

4.2 การลด DOC และ UV-254

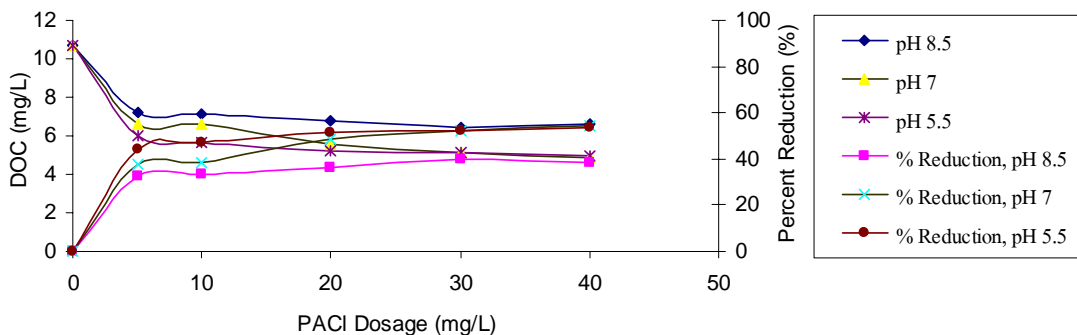
4.2.1 การลด DOC และ UV-254 ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

กระบวนการโคแอกกูเลชันโดย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

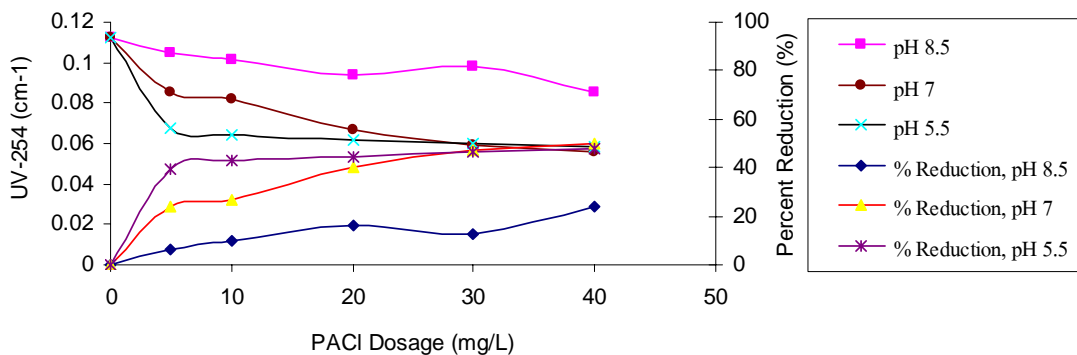
ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI เพียงอย่างเดียว และควบคุมค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน จากคลองอู่ตะเภา แสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PACI ในกระบวนการโคแอกกูเลชันทำให้ค่า DOC ในน้ำมีค่าลดลงโดยปริมาณ PACI 40 mg/L และควบคุมค่าพีเอชระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ 5.5 7 และ 8.5 สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10.7 mg/L ให้ลดลงเหลือ 5, 4.9 และ 6.6 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ที่ลดลงได้เท่ากับ 53, 54 และ 38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 พบว่าสามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.112 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.058, 0.056 และ 0.085 cm^{-1} ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 48, 50 และ 24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าความเข้มข้น PACI เท่ากับ 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่า 7 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดค่า UV-254 และ DOC การเพิ่มหรือลดค่า pH ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน มีผลต่อการลดสารอินทรีย์น้อยมาก ค่า pH เป็นกลางจึงเหมาะสมที่สุด เพราะมีความใกล้เคียงกับน้ำดิบประปาซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.9 จึงไม่จำเป็นต้องปรับค่า pH มากนัก ระหว่างการโคแอกกูเลชัน ทำให้การสิ้นเปลืองสารเคมีในการดำเนินงานลดลง



รูปที่ 4.9 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

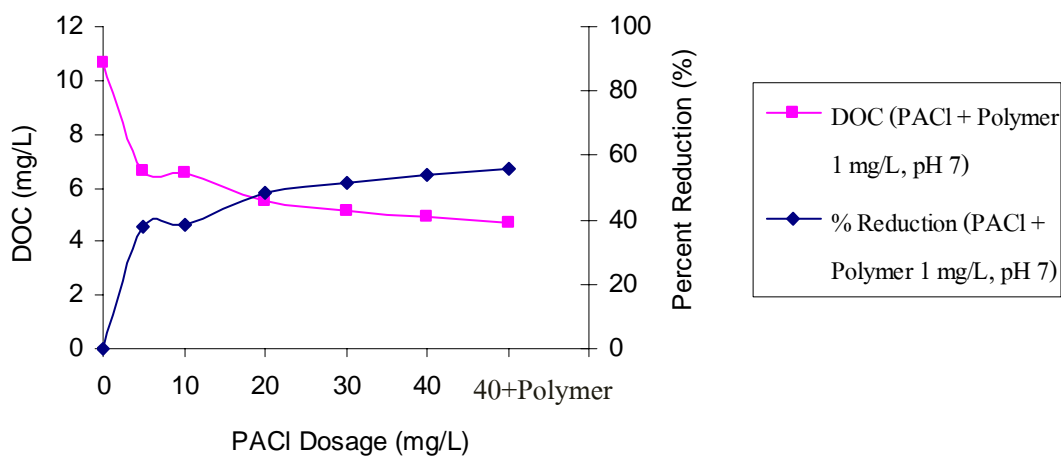


รูปที่ 4.10 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

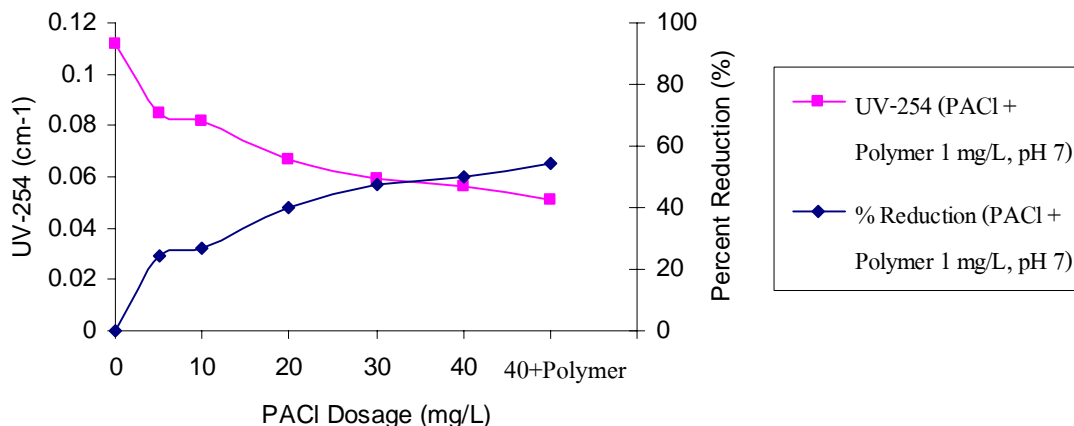
กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl ร่วมกับ Polymer และควบคุมค่าพีเอชที่ 7 ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน แสดงดังรูปที่ 4.11 เมื่อเพิ่มปริมาณสาร PACl ที่ค่าความเข้มข้น PACl 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10.7 mg/L ให้ลดลงเหลือ 4.7 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ที่ลดลงเท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ปริมาณสาร PACl ที่ค่าความเข้มข้น PACl 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.112 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.051 cm^{-1} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.11 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

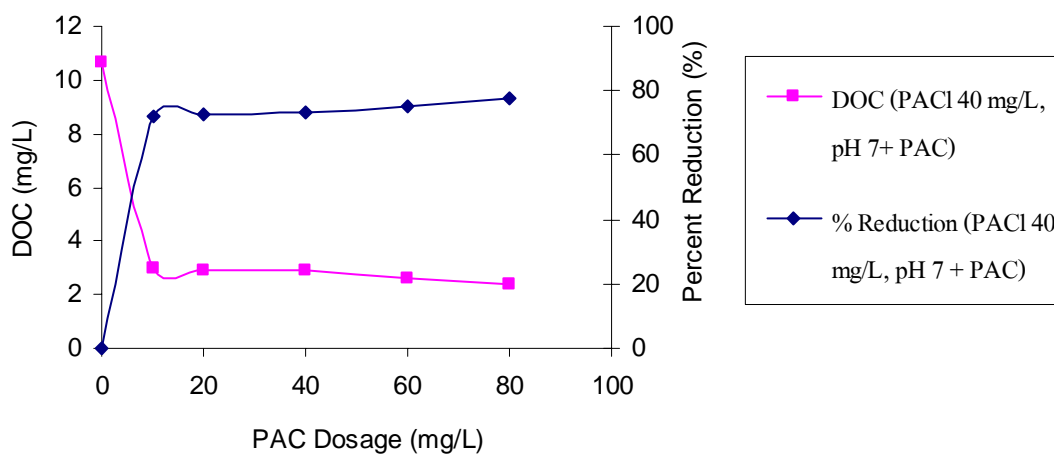


รูปที่ 4.12 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

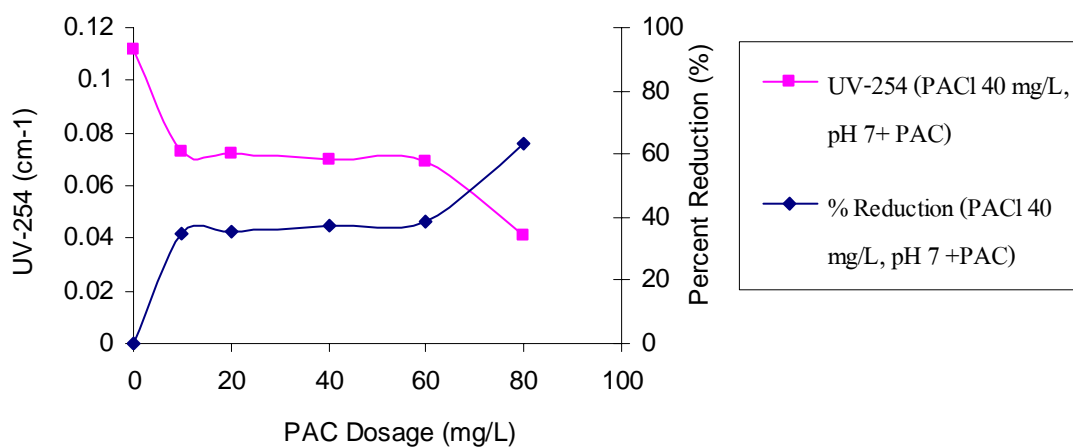
กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

รูปที่ 4.13 แสดงค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ PAC และควบคุมค่าพีเอชที่ 7 ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน พบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ PAC ที่ปริมาณ 80 mg/L สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10.7 mg/L ให้ลดลงเหลือ 2.4 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ที่ลดลงเท่ากับ 77 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 ในรูปที่ 4.14 พบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ PAC ที่ปริมาณ 80 mg/L สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.112 cm⁻¹ ให้ลดลงเหลือ 0.041 cm⁻¹ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 63 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.13 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



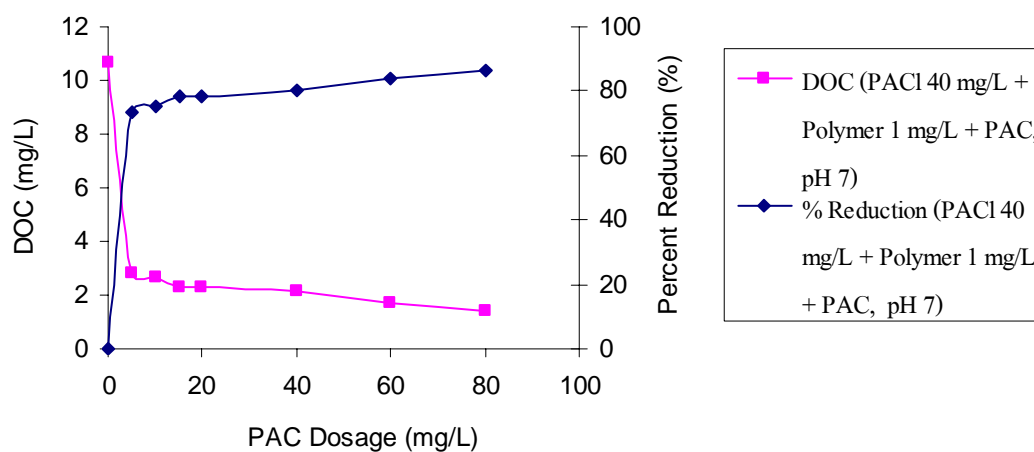
รูปที่ 4.14 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

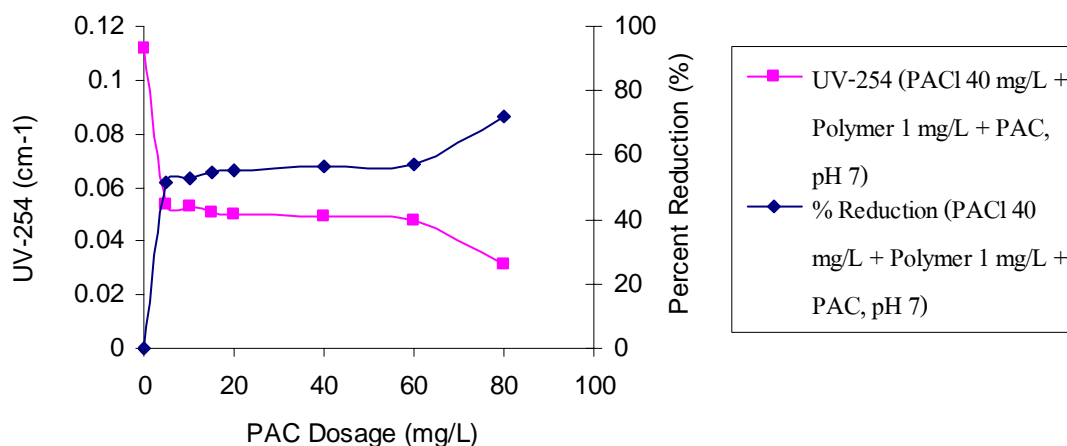
รูปที่ 4.15 พบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ร่วมกับ PAC 80 mg/L ควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10.7 mg/L ให้ลดลงเหลือ 1.4 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ที่ลดลงเท่ากับ 87 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.16 แสดงค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยที่สถานะเดียวกันกับการลดค่า DOC สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.112 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.031 cm^{-1} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 72 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ รูปที่ 4.15 และ 4.16 กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC สามารถลด DOC และ UV-254 ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.15 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



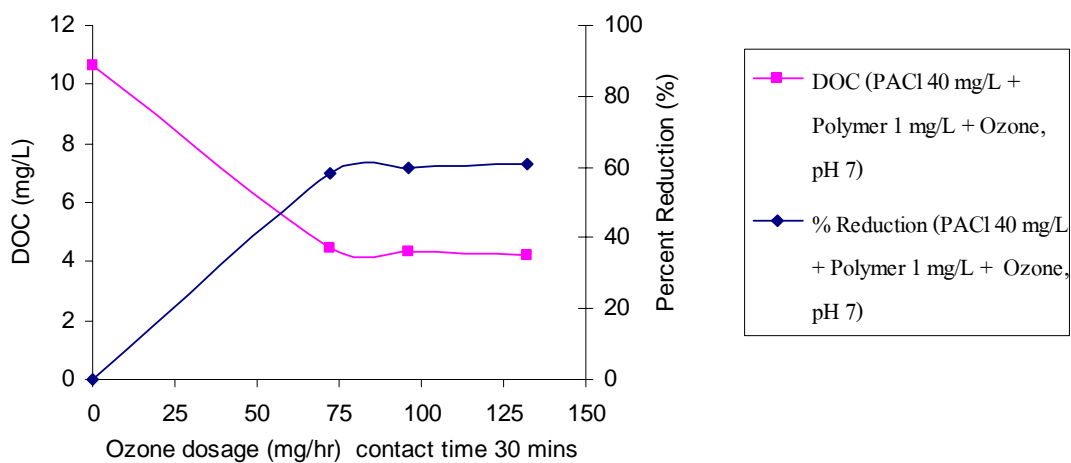
รูปที่ 4.16 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

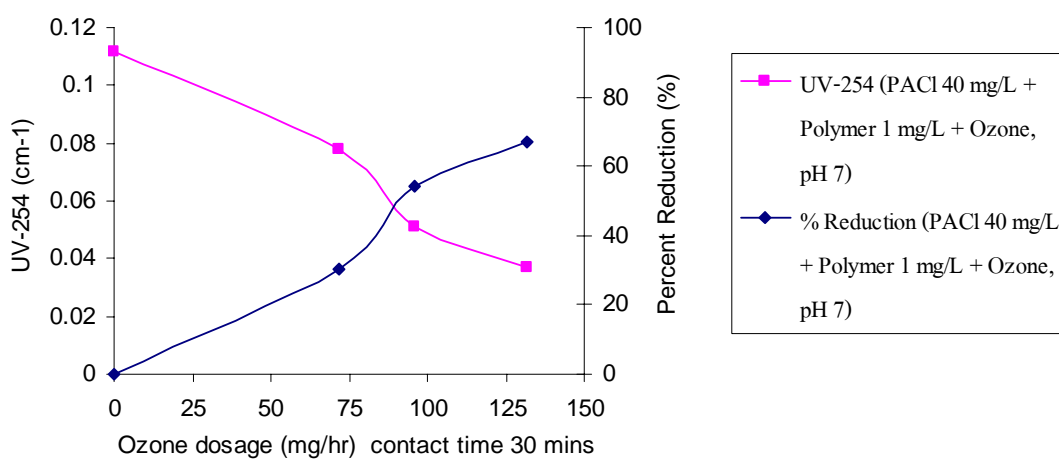
รูปที่ 4.17 พบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 และ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ร่วมกับ Ozone ความเข้มข้น 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10.7 mg/L ให้ลดลงเหลือ 4.2 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ที่ลดลงเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของค่า UV-254 และเปอร์เซ็นต์การกำจัด UV-254 พบว่าที่สภาวะเดียวกันสามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.112 cm⁻¹ ให้ลดลงเหลือ 0.037 cm⁻¹ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 67 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดลงของ UV-254 ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.17 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



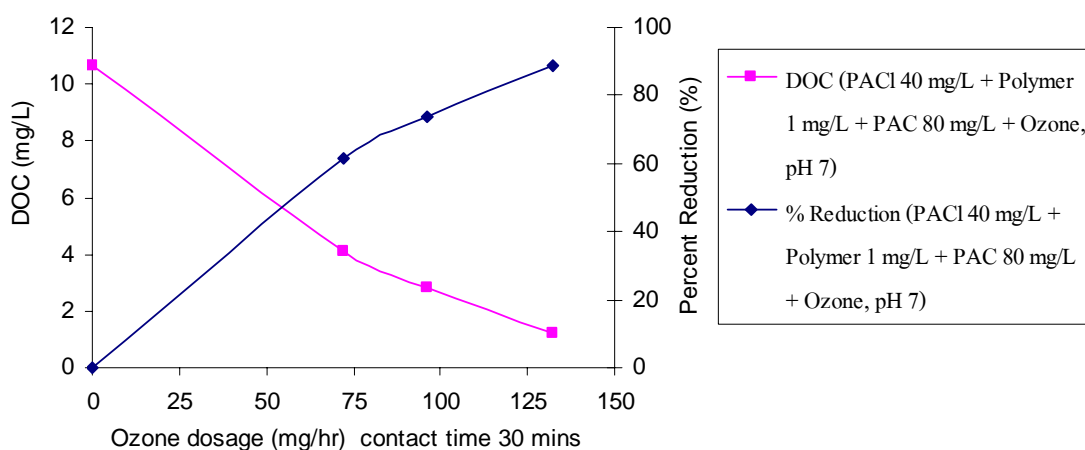
รูปที่ 4.18 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

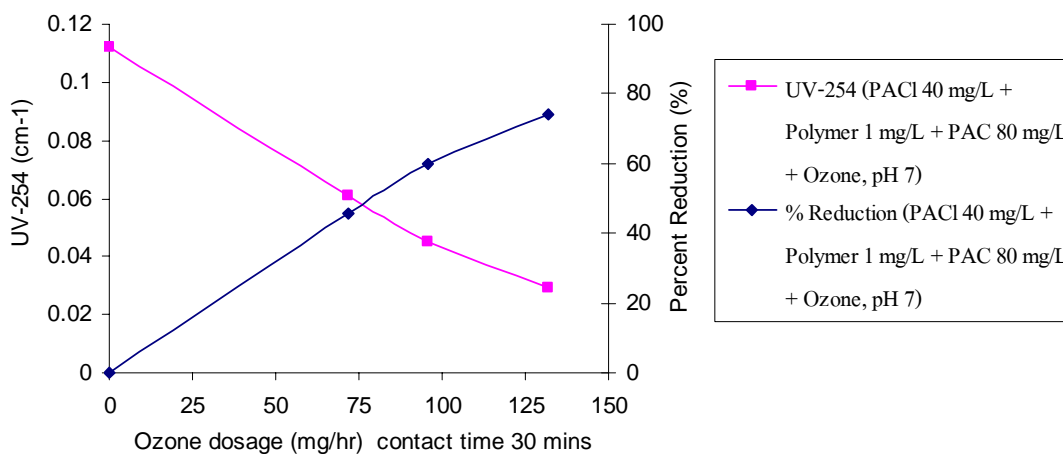
ปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 และ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ร่วมกับ PAC 80 mg/L และ Ozone ความเข้มข้น 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 10.67 mg/L ให้ลดลงเหลือ 1.21 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ที่ถูกลดลงเท่ากับ 89 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.19)

ที่สภาวะเดียวกัน สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.112 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.029 cm^{-1} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 74 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.20

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า DOC และ UV-254 ได้สูงที่สุดในการศึกษาตัวอย่างน้ำในฤดูฝน



รูปที่ 4.19 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



รูปที่ 4.20 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

4.2.2 การลด DOC และ UV-254 ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

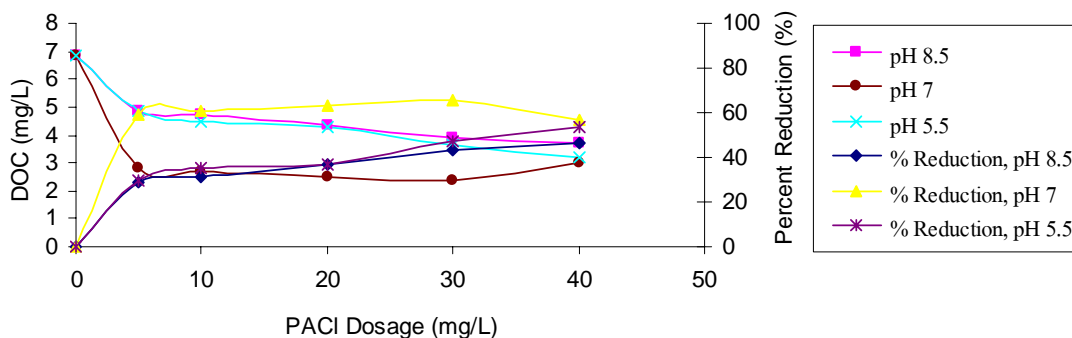
กระบวนการโคแอกกูเลชันโดย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

เมื่อเพิ่มปริมาณ PACI ในกระบวนการโคแอกกูเลชันทำให้ค่า DOC ในน้ำมีค่าลดลงโดยปริมาณ PACI 40 mg/L และควบคุมค่าพีเอชระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ 5.5, 7 และ 8.5 สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.9 mg/L ให้ลดลงเหลือ 3.2, 3.0 และ 3.7 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ลดลงเท่ากับ 54, 57 และ 46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.21

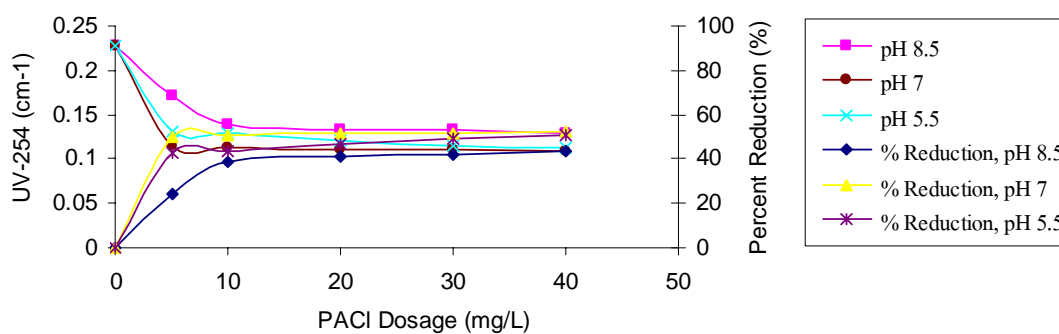
สำหรับค่า UV-254 ในน้ำมีค่าลดลงโดยปริมาณ PACI 40 mg/L และควบคุมค่าพีเอชระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ 5.5, 7 และ 8.5 สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.228 cm⁻¹ ให้ลดลงเหลือ 0.112, 0.108 และ 0.129 cm⁻¹ ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ลดลงเท่ากับ 51, 53 และ 43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.22)

กระบวนการโคแอกกูเลชันโดย PACI เพียงอย่างเดียวในการกำจัด DOC และ UV-254 ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้งมีผลสอดคล้องกับฤดูฝน โดยมีสภาวะที่เหมาะสมเดียวกันซึ่งไม่

จำเป็นต้องปรับค่า pH มากนักในกระบวนการทดลอง เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับน้ำดิบประปา (pH = 6.7) จึงลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการดำเนินการได้



รูปที่ 4.21 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

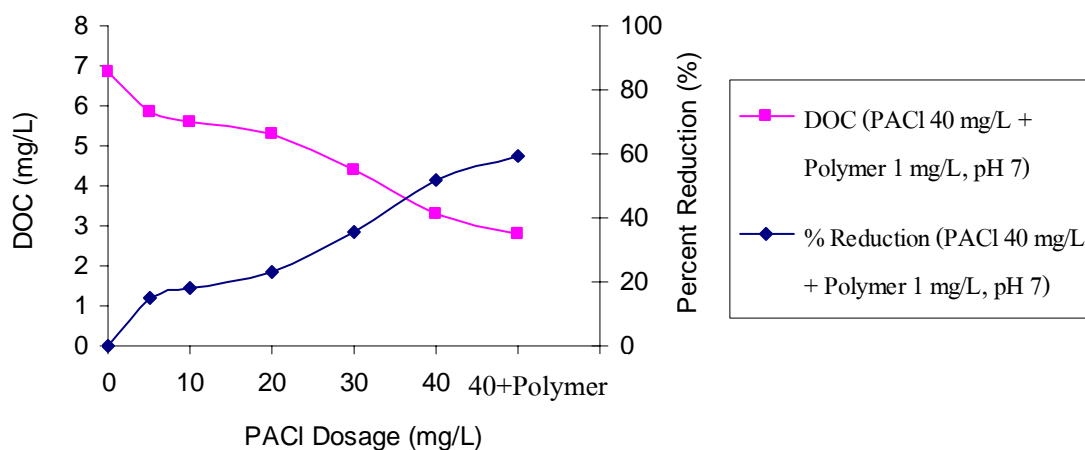


รูปที่ 4.22 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

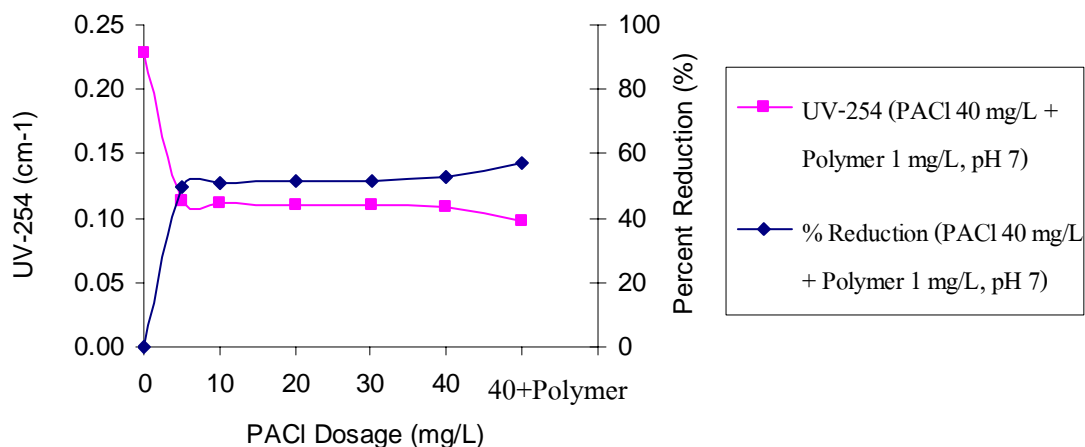
กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง เมื่อพิจารณาค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ Polymer และควบคุมค่าพีเอชที่ 7 ของน้ำตัวอย่างพบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.87 mg/L ให้ลดลงเหลือ 2.81 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ลดลงเท่ากับ 59 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.23)

ที่สภาวะเดียวกันกับการลด DOC พบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.228 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.098 cm^{-1} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ลดลงเท่ากับ 57 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.24)

กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้งมีประสิทธิภาพการในการลดค่า UV-254 และ DOC ใกล้เคียงกับฤดูฝนซึ่งสามารถลดค่า UV-254 และ DOC ได้เท่ากับ 54 และ 56 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.23 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง



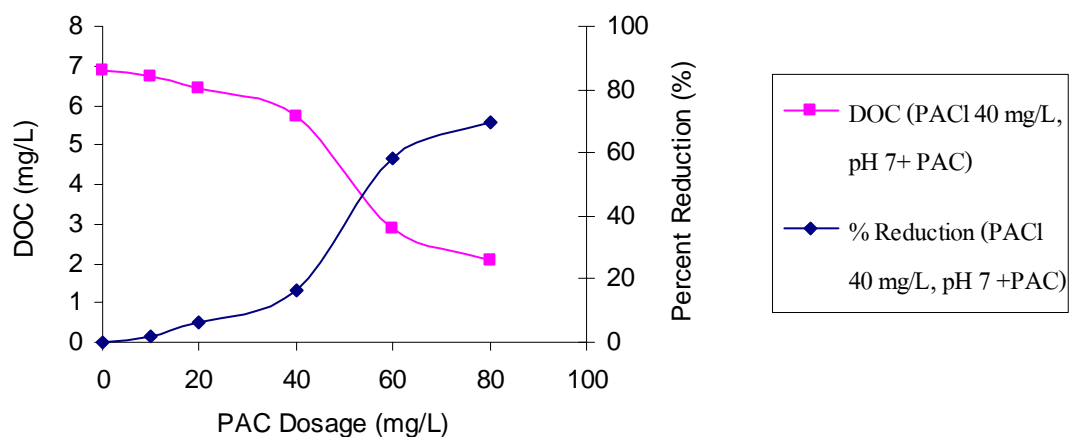
รูปที่ 4.24 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน ด้วย PACI ร่วมกับ Polymer ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

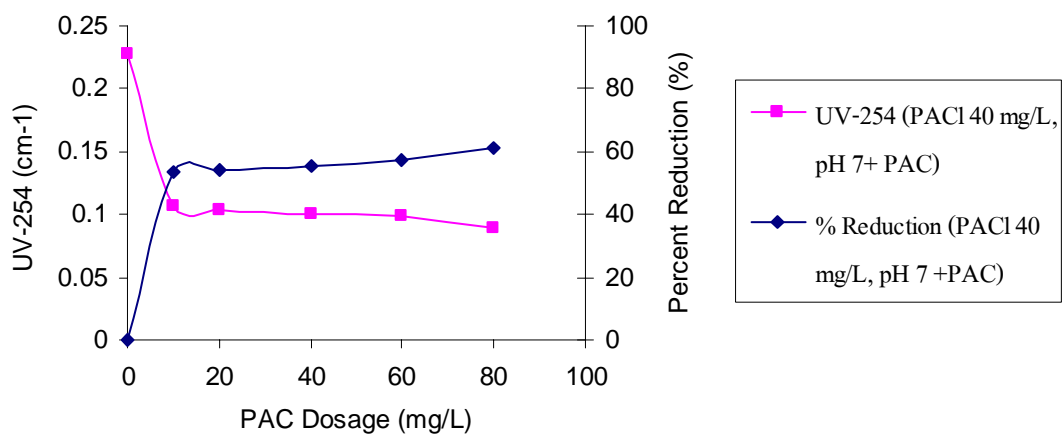
จากรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่อปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 ร่วมกับ PAC ที่ปริมาณ 80 mg/L สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.9 mg/L ให้ลดลงเหลือ 2.1 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ลดลงเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.26 พบว่าที่สภาวะเดียวกัน สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.228 cm⁻¹ ให้ลดลงเหลือ 0.089 cm⁻¹ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ลดลงเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์

เช่นเดียวกับสภาวะเดียวกันของฤดูฝน กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PACของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง มีประสิทธิภาพในการลด DOC มากกว่า UV-254



รูปที่ 4.25 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง



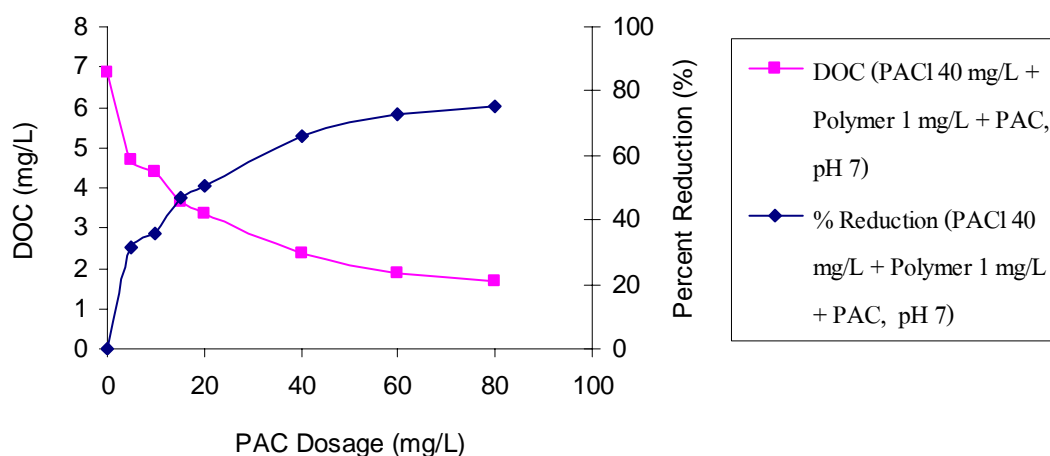
รูปที่ 4.26 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

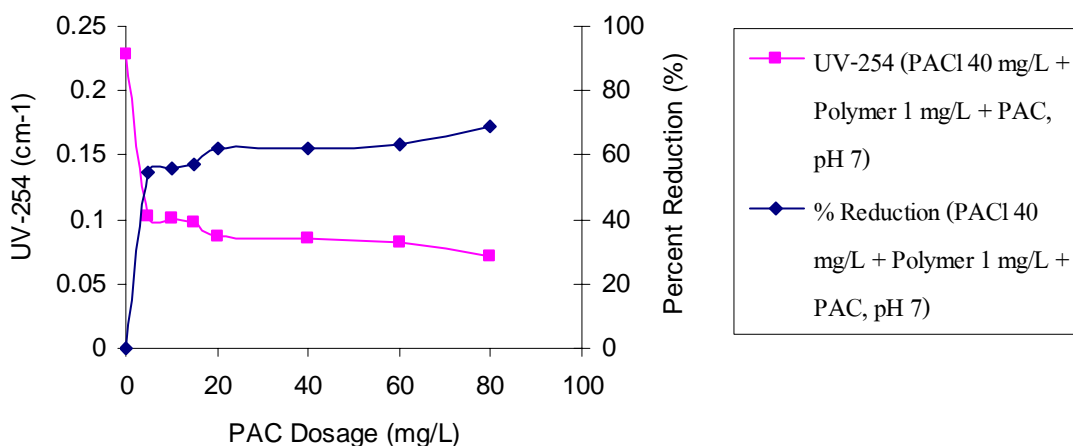
จากรูปที่ 4.27 พบว่าปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ร่วมกับ PAC 80 mg/L ควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.9 mg/L ให้ลดลงเหลือ 1.7 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ลดลงเท่ากับ 76 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.28 พบว่าที่สภาวะเดียวกันสามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.228 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.071 cm^{-1} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ลดลงเท่ากับ 69 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้งให้ประสิทธิภาพในการลด UV-254 และ DOC ได้ดี เช่นเดียวกับน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



รูปที่ 4.27 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง



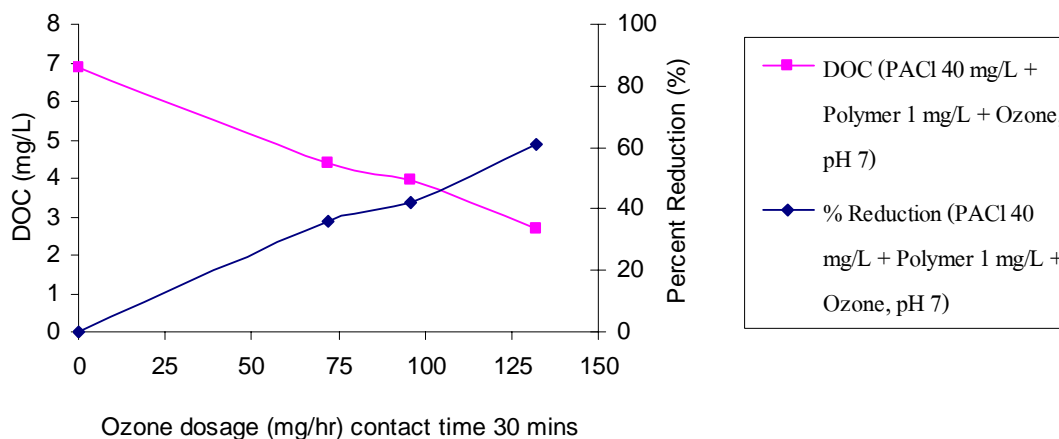
รูปที่ 4.28 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

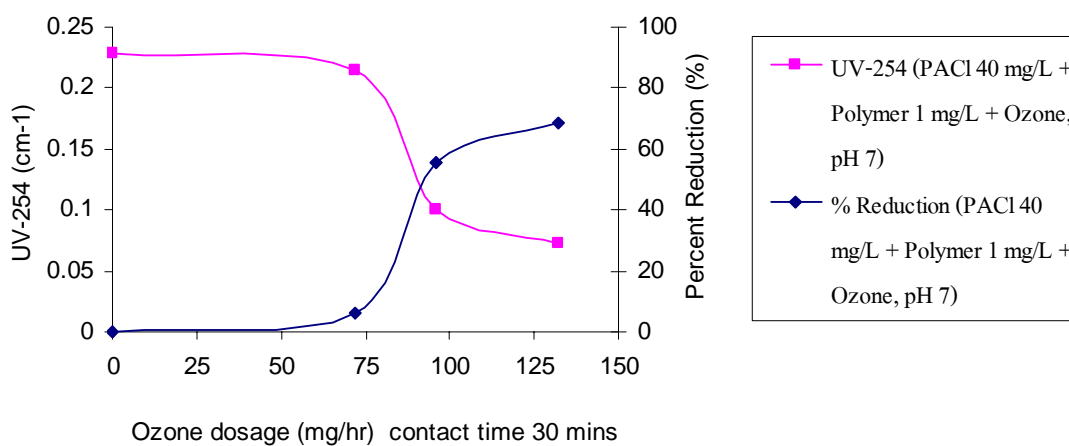
จากรูปที่ 4.29 พบว่าเมื่อปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 และ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ร่วมกับ Ozone ความเข้มข้น 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.9 mg/L ให้ลดลงเหลือ 2.7 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ลดลงเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.30 แสดงค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัด UV-254 พบว่าที่สภาวะเดียวกัน สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.228 cm⁻¹ ให้ลดลงเหลือ 0.072 cm⁻¹ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ลดลงเท่ากับ 68 เปอร์เซ็นต์

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง สามารถลดค่า UV-254 ได้ดีกว่า DOC เช่นเดียวกับน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



รูปที่ 4.29 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง



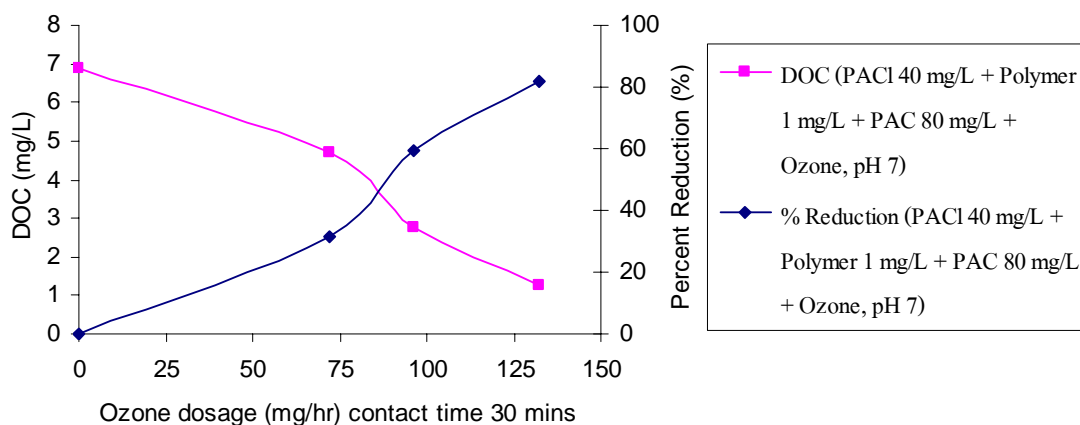
รูปที่ 4.30 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

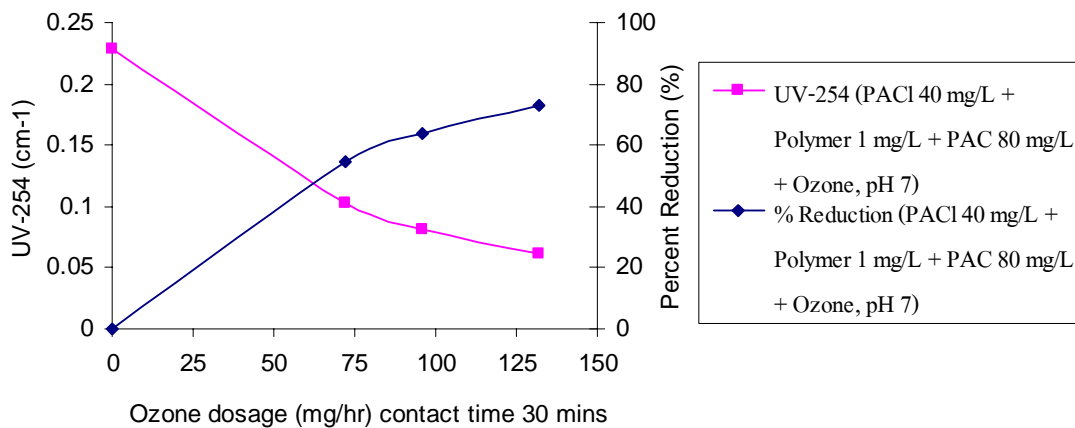
รูปที่ 4.31 ปริมาณสาร PACI ที่ค่าความเข้มข้น PACI 40 mg/L และควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 และ polymer ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ร่วมกับ PAC 80 mg/L และ Ozone ความเข้มข้น 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที สามารถลดค่า DOC ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.9 mg/L ให้ลดลงเหลือ 1.2 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ DOC ลดลงเท่ากับ 82 เปอร์เซ็นต์

ที่สภาวะเดียวกัน สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำดิบจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.228 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.062 cm^{-1} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ลดลงเท่ากับ 73 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.32

เช่นเดียวกันกับการลด DOC และ UV-254 ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในกระบวนการทดลอง



รูปที่ 4.31 ค่า DOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง



รูปที่ 4.32 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้ง

จากหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมประสิทธิภาพการลดของ UV-254 และ DOC และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปของน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดลองในฤดูฝน

การทดลอง	สถานะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)		ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)	
		UV-254	DOC	UV-254	DOC
(1) PACl*,**	PACl 40 mg/L, pH 7	50	54	0	0
(2) PACl + Polymer**	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L, pH 7	54	56	4	2
(3) PACl + PAC**	PACl 40 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	63	77	13	23
(4) PACl + Polymer + PAC**	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	72	87	22	33
(5) PACl + Polymer + Ozone**	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + Ozone 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที, pH 7	67	61	17	7
(6) PACl + Polymer + PAC + Ozone	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L + Ozone 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที, pH 7	74	89	24	35

หมายเหตุ : * PACl เป็นสถานะทั่วไป

** เลือกทำการแฟรกชันเพื่อศึกษาการลด THMFP และ FEEM

ตารางที่ 4.8 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดลองในฤดูแล้ง

การทดลอง	สถานะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)		ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)	
		UV-254	DOC	UV-254	DOC
(1) PACl*,**	PACl 40 mg/L, pH 7	53	57	0	0
(2) PACl + Polymer**	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L, pH 7	57	59	4	2
(3) PACl + PAC**	PACl 40 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	61	70	8	13
(4) PACl + Polymer + PAC**	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	69	76	16	19
(5) PACl + Polymer + Ozone**	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + Ozone 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที, pH 7	68	61	15	4
(6) PACl + Polymer + PAC + Ozone	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L + Ozone 132 mg/hr เวลาสัมผัส 30 นาที, pH 7	73	82	20	25

หมายเหตุ : * PACl เป็นสถานะทั่วไป

** เลือกทำการแฟรกชันเพื่อศึกษาการลด THMFP และ FEEM

เมื่อพิจารณาค่า DOC และ UV-254 กล่าวได้ว่า DOC ใช้เป็นตัวแทนสารอินทรีย์ละลายน้ำ 2 กลุ่มได้แก่ humic like และ non-humic like โดยสารกลุ่ม humic like ส่วนใหญ่ประกอบด้วย aromatic hydrocarbon (Thurman, 1985) และ สารกลุ่ม non-humic like ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็น aliphatic hydrocarbon และมีค่ามวลโมเลกุลต่ำ (AWWA, 1999) ส่วนค่า UV-254 เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์กลุ่ม aromatic hydrocarbon (Edzwald *et al*, 1985) และมีค่ามวลโมเลกุลที่สูง (AWWA, 1999)

จากผลการศึกษาการลด UV-254 และ DOC ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยใช้กระบวนการ (1) PACI (2) PACI + Polymer (3) PACI + PAC (4) PACI + Polymer + PAC (5) PACI + Polymer + Ozone (6) PACI + Polymer + PAC + Ozone ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวซึ่งเป็นสภาวะทั่วไปสามารถลดค่าได้ดีทั้ง UV-254 และ DOC โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูฝนเท่ากับ 50 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกับฤดูฝนพบว่าประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูแล้งเท่ากับ 53 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถลด UV-254 และ DOC ได้ดีซึ่งเป็นตัวแทนสารกลุ่ม aromatic hydrocarbon และ aliphatic hydrocarbon ได้ดี โดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันแบบทำให้ประจุคอลลอยต์ในน้ำดิบมีค่าเป็นกลาง (Charge Neutralization) สอดคล้องกับ AWWA (1993) ศึกษาการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันกับน้ำตัวอย่างจาก Ohio River Water (ORW), Lake Gaillard Water (LGW), Mississippi River Water (MRW), Paaanic River Water (PRW), Salt River Project Water (SRPW) และ Florida groundwater (FGW) พบว่าลดสารอินทรีย์กลุ่ม humic like หรือ aromatic hydrocarbon ได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer สามารถลดค่า UV-254 และ DOC ได้ดี โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูฝนเท่ากับ 54 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกับฤดูฝนพบว่าประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูแล้งเท่ากับ 57 และ 59 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาศัยกระบวนการ polymer bridging flocculation ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเมื่อใช้ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถเพิ่มความสามารถของ floc strength, settleability หรือ filterability และ ลดการก่อให้เกิดรูปของแข็งหรือเพิ่มการยึดเกาะและขจัดน้ำออกจากตะกอนคงเหลือ (AWWA., 1998) โดยเพิ่มความสามารถในการลดสารอินทรีย์กลุ่ม aromatic hydrocarbon

(AWWA., 1993) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์กลุ่มเดียวกันที่ถูกกำจัดโดยการใส่ PACI เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ประสิทธิภาพการลดเพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ AWWA., (1993) ซึ่งใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับ polymer กับตัวอย่างน้ำจาก State Project Water and Colorado River Water (SPW and CRW), SRPW, ORW, Harwood's Mill Reservoir (HMR) และ LRW ผลการศึกษาพบว่าลดสารกลุ่ม humic-like ได้ประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์แบบ PAC สามารถลด DOC ได้ดีกว่า UV-254 โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูฝนเท่ากับ 63 และ 77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สถานะเดียวกับฤดูฝนพบว่าประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูแล้งเท่ากับ 61 และ 70 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปในฤดูฝนได้ 13 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในฤดูแล้งลดได้เท่ากับ 8 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกระบวนการดูดติดผิวด้วย PAC แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือการดูดติดผิวทางฟิสิกส์ (Physisorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978) กล่าวคือเมื่อโมเลกุลของสารใดๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของของแข็งซึ่งเป็นผลมาจากแรงดูดติดผิว (Adsorbate) ที่มีต่อโมเลกุลนั้นมากกว่าพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของโมเลกุล (Adsorbate) โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดติดผิวทางฟิสิกส์ การเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นขั้นๆ ตามความเข้มข้นของสารละลายจากนั้นจะเกิดการดูดติดผิวทางเคมีขึ้น โดยมีพลังงานหนึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดติดผิวและตัวถูกดูดติดผิวกลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งไม่สามารถเปิดกลับไปได้ (Irreversible) (Metcalf และ Eddy, 2004) สำหรับในการศึกษานี้การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์แบบ PAC สามารถลดค่า DOC ได้ดีกว่า UV-254 นั้นหมายถึงการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์แบบ PAC สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดกลุ่มสารอินทรีย์กลุ่ม aliphatic hydrocarbon หรือสารอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำได้ดีกว่า aromatic hydrocarbon หรืออินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Jacangelo *et al.*, (1995) ซึ่งใช้ถ่านกัมมันต์แบบ PAC กับตัวอย่างน้ำดิบประปาเพื่อศึกษาคุณลักษณะของ PAC ต่อการดูดติดผิวของกลุ่มสารอินทรีย์ละลายน้ำพบว่า การเพิ่มการดูดติดผิวของสารอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำในน้ำตัวอย่างเป็นผลมาจากคุณสมบัติของสารอินทรีย์ละลายน้ำมีความเป็นกรดอ่อนทำให้ความสามารถในการละลายได้ลดลงและถูกดูดติดผิวคาร์บอนดีขึ้น

สำหรับการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์แบบ PAC สามารถลด DOC ได้ดีกว่า UV-254 โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการลด

UV-254 และ DOC ในฤดูฝนเท่ากับ 72 และ 87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกับฤดูฝนพบว่า ประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูแล้งเท่ากับ 69 และ 76 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปในฤดูฝนได้ 22 และ 33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและในฤดูแล้งลดได้เท่ากับ 16 และ 19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์แบบ PAC สามารถลด DOC ซึ่งเป็นตัวแทนสารกลุ่ม aliphatic hydrocarbon หรือกลุ่มสารอินทรีย์มวล โมเลกุลต่ำได้ดีกว่า UV-254 ซึ่งเป็นตัวแทนสารกลุ่ม aromatic hydrocarbon เล็กน้อย

การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ กระบวนการ Advanced oxidation โดยใช้ Ozone สามารถลด UV-254 ได้ดีกว่า DOC โดยคิดเป็นประสิทธิภาพ การลด UV-254 และ DOC ในฤดูฝนเท่ากับ 67 และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกับฤดู ฝนพบว่าประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูแล้งเท่ากับ 68 และ 61 เปอร์เซ็นต์ สามารถ เพิ่มประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปในฤดูฝนได้ 17 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและในฤดูแล้งลดได้เท่ากับ 15 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกระบวนการ Advanced oxidation โดยใช้ Ozone สามารถย่อยสลายหรือเปลี่ยนแปลงสภาพสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูป โมเลกุลขนาดเล็กหรือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Minerization) (Najim และ Krasner.,1995) และ Ozone สามารถเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์กลุ่ม humic ในน้ำเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic (AWWA., 1993) สำหรับการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ กระบวนการ Advanced oxidation โดยใช้ Ozone กับตัวอย่างน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งสามารถลด UV-254 ได้ดี นั้นหมายถึง ozone สามารถเพิ่มการลดสารกลุ่ม aromatic hydrocarbon และ สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ AWWA., (1993) ใช้ ozonation ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันกับน้ำตัวอย่างจาก SPW, CRW, SRPW, ORW, HMR และ LRW พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลด UV absorbance และ fluorescene Intensity ซึ่งเป็นตัวแทน สารอินทรีย์กลุ่ม humic-like ได้ดีกว่า DOC ซึ่งเป็นตัวแทนสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic หรือ aliphatic hydrocarbon

การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ การดูดติดด้วย ถ่านกัมมันต์แบบ PAC ร่วมกับกระบวนการ Advanced oxidation โดยใช้ Ozone สามารถลด UV-254 และ DOC ได้ดีโดยคิดเป็นประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูฝนเท่ากับ 74 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกับฤดูฝนพบว่าประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ในฤดูแล้งเท่ากับ 73 และ 82 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลด UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไปในฤดูฝนได้ 24 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและในฤดูแล้งลดได้เท่ากับ

20 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบ PAC ร่วมกับกระบวนการ Advanced oxidation โดยใช้ Ozone สามารถลดสารอินทรีย์กลุ่ม aromatic hydrocarbon และ aliphatic hydrocarbon ได้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดสำหรับการลดลงของ UV-254 และ DOC กล่าวได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC ร่วมกับ กระบวนการ Advance oxidation process โดย Ozone ได้ผลลัพธ์ในการกำจัด UV-254 และ DOC ได้ดีกว่า การใช้สาร PACI หรือ Polymer เพียงอย่างเดียว

เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทดลองของตัวอย่างน้ำทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งแล้ว จะนำน้ำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สถานะที่เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างปริมาณ 5 ลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างน้ำไปผ่านกระดาษกรอง GF/F ขนาด 0.7 μm ก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการแฟรกชันเนชันเพื่อแยกชนิดของน้ำออกเป็นกลุ่มชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และศึกษาการลดลงของ DOC และ THMFP ในน้ำที่กระบวนการแฟรกชันทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งต่อไป

4.3 ประสิทธิภาพของกระบวนการแฟรกชันในการแยกสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง

โดยทั่วไปกระบวนการแฟรกชันด้วยเรซินใช้ในการจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ในระบบการผลิตน้ำ เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ กระบวนการแฟรกชันถูกใช้เพื่อสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ดังนั้นประสิทธิภาพของกระบวนการแฟรกชันในการจำแนกกลุ่มสารอินทรีย์ควรมีการยืนยันด้วยเปอร์เซ็นต์ความต่างของตัวอย่างน้ำก่อนและหลังกระบวนการแฟรกชันของ DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10

เปอร์เซ็นต์ความต่างระหว่างผลรวม DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน และ DOC ของน้ำที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำดิบฤดูฝน, (1)PACI, (2) PACI+Polymer, (3) PACI+PAC, (4) PACI+Polymer+ PAC และ (5) PACI+Polymer+Ozone ของตัวอย่างน้ำฤดูฝนมีค่าเป็น 3.8, 3.6, 5.3, 5.4, -3.3 และ 9.2 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างน้ำในฤดูแล้งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างของน้ำดิบฤดูแล้ง, (1) PACI, (2) PACI+Polymer, (3) PACI+PAC, (4) PACI+Polymer+PAC, (5) PACI+Polymer+Ozone เท่ากับ 5.4, 3.6, 2.5, 5.6, 3.2 และ 7.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Day *et al*, (1991) และ Marhaba และ Pipada, (2000) รายงานถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างของ DOC จากกระบวนการแฟรกชันที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับคือ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Croue *et al*, (1999) รายงานถึงความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ความต่างของ DOC มีค่าระหว่าง 8 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ การหายไปของน้ำหนักหลังกระบวนการแฟรกชัน อาจจะมีผลเนื่องจากกระบวนการ elution โดยบางส่วนของสารอินทรีย์ยังคงติดอยู่ในเรซิน

จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า เปอร์เซ็นต์ความต่างของ DOC ในการศึกษา นี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความต่างของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูฝน

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	DOC (mg/L)		%Difference ³
		Unfractionated Water ¹	Summation of HPI+HPO ²	
Raw Water Supply	ฝน	10.7	10.3	3.8
(1) PACl	ฝน	4.9	4.7	3.6
(2) PACl+Polymer	ฝน	4.7	4.5	5.3
(3) PACl+PAC	ฝน	3.7	3.5	5.4
(4) PACl+Polymer+PAC	ฝน	1.4	1.5	-3.3
(5) PACl+Polymer+Ozone	ฝน	4.2	3.8	9.3

หมายเหตุ:

Unfractionated Water¹ = DOC of Unfractionated Water

HPI+ HPO² = DOC of Hydrophilic fraction + Hydrophobic fraction

%Difference³ = (Unfractionated Water – (HPI+HPO))*100/ก่อน Fraction

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าความต่างของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	DOC (mg/L)		%Difference ³
		Unfractionated Water ¹	Summation of HPI+HPO ²	
Raw Water Supply	แล้ง	6.9	6.5	5.4
(1) PACI	แล้ง	3.0	2.9	3.6
(2) PACI+Polymer	แล้ง	2.8	2.7	2.5
(3) PACI+PAC	แล้ง	2.7	2.5	5.6
(4) PACI+Polymer+PAC	แล้ง	1.9	1.8	3.2
(5) PACI+Polymer+Ozone	แล้ง	2.7	2.5	7.4

หมายเหตุ:

Unfractionated Water¹ = DOC of Unfractionated Water

HPI+ HPO² = DOC of Hydrophilic fraction + Hydrophobic fraction

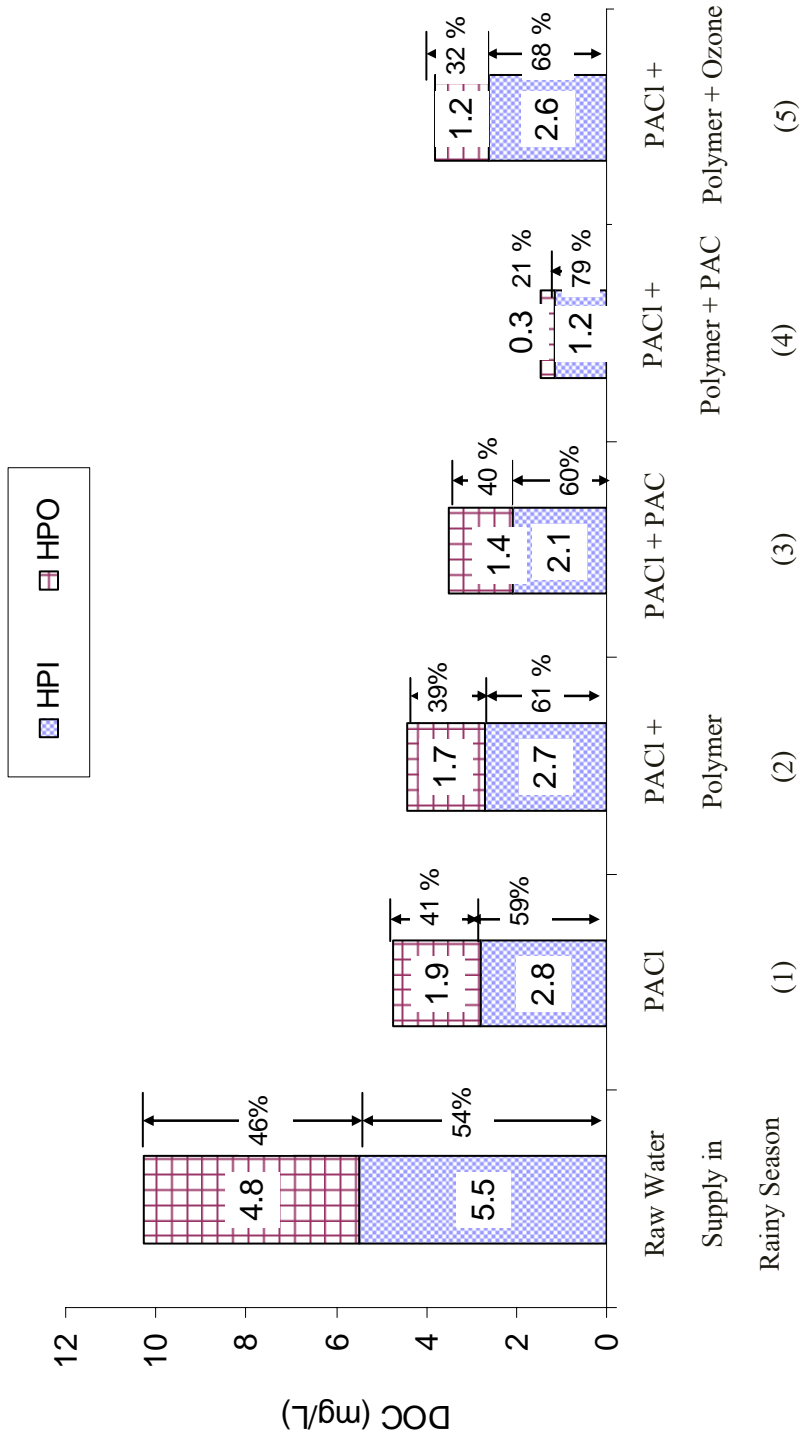
%Difference³ = (Unfractionated Water – (HPI+HPO))*100/ก่อน Fraction

4.4 การกระจายมวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในรูปของ DOC

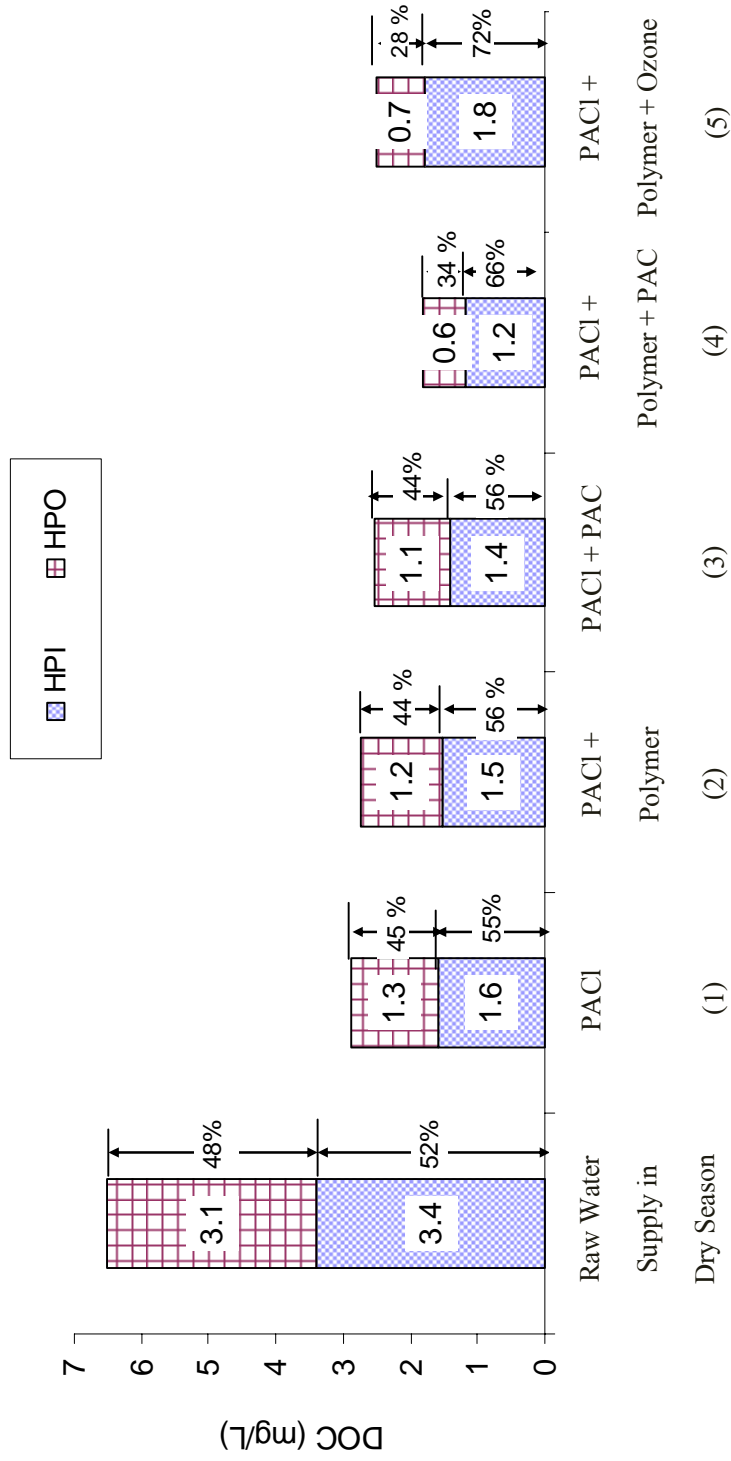
การกระจายมวลของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองโดยใช้ (1) PACl, (2) PACl+Polymer, (3) PACl+PAC, (4) PACl+Polymer+PAC และ (5) PACl+Polymer+Ozone ของตัวอย่างน้ำฤดูฝน แสดงในรูปที่ 4.33 ขณะที่การกระจายมวลของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองโดยใช้ (1) PACl, (2) PACl+Polymer, (3) PACl+PAC, (4) PACl+Polymer+PAC, (5) PACl+Polymer+Ozone ของตัวอย่างน้ำฤดูแล้งแสดงในรูปที่ 4.34 ซึ่งสามารถสรุปการกระจายมวล DOC ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งได้ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.33, 4.34 และ ตารางที่ 4.11 และ 4.12 แสดงว่า HPI เป็นสารประกอบหลักของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง (ผลรวม DOC ของ HPI ของแต่ละกระบวนการทดลองมีค่ามากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ DOC ทั้งหมด) ส่วนในน้ำดิบมี HPI ใกล้เคียงกับ HPO

Leenheer *et al.*, (1982), Leenheer and Noyes, (1984) and Reckhow *et al.*, (1992) เสนอลักษณะของกลุ่มสารอินทรีย์ที่ผ่านการแฟรกชันและกลุ่มทางเคมีโดย HPO ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือ fulvic และ humic acid และ hydrocarbon, aldehydes, high MW methyl ketones and alkyl, alcohols, ethers, furan, pyrrole จัดเป็นส่วนของ humic fraction และ HPI หรือ non humic fraction ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำและกรดอะมิโน Polysaccharides; low MW alkyl alcohols, aldehydes and ketones โดย HPO มีโครงสร้างเป็นแบบ aromatic hydrocarbon และ HPI ซึ่งมีโครงสร้างแบบ aliphatic hydrocarbon



รูปที่ 4.33 การกระจายมวลของ DOC ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูฝน



รูปที่ 4.34 การกระจายมวลของ DOC ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถดฝน

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ Hydrophilic (HPI) และ Hydrophobic (HPO)	DOC (mg/L)	
			DOC _{HPI}	DOC _{HPO}
Raw Water Supply	ฝน	HPI (54%) > HPO (46%)	5.5	4.8
(1) PACl	ฝน	HPI (59%) > HPO (41%)	2.8	1.9
(2) PACl+Polymer	ฝน	HPI (61%) > HPO (39%)	2.7	1.7
(3) PACl+PAC	ฝน	HPI (60%) > HPO (40%)	2.1	1.4
(4) PACl+Polymer+PAC	ฝน	HPI (79%) > HPO (21%)	1.2	0.3
(5) PACl+Polymer+Ozone	ฝน	HPI (68%) > HPO (32%)	2.6	1.2

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถดแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ Hydrophilic (HPI) และ Hydrophobic (HPO)	DOC (mg/L)	
			HPI	HPO
Raw Water Supply	แล้ง	HPI (52%) > HPO (48%)	3.4	3.1
(1) PACl	แล้ง	HPI (55%) > HPO (45%)	1.6	1.3
(2) PACl+Polymer	แล้ง	HPI (56%) > HPO (44%)	1.5	1.2
(3) PACl+PAC	แล้ง	HPI (56%) > HPO (44%)	1.4	1.1
(4) PACl+Polymer+PAC	แล้ง	HPI (66%) > HPO (34%)	1.2	0.6
(5) PACl+Polymer+Ozone	แล้ง	HPI (72%) > HPO (28%)	1.8	0.7

จากรูปที่ 4.33 และ ตารางที่ 4.11 แสดงค่ามวล DOC ของตัวอย่างน้ำของฤดูฝนที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI เพียงอย่างเดียว มีค่า DOC เท่ากับ 4.9 mg/L และค่ามวล DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 2.8 และ 1.9 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 4.73 mg/L โดยเปอร์เซ็นต์สัดส่วน HPI (54%) มีค่าใกล้เคียงกับ HPO (46%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ polymer มีค่า DOC เท่ากับ 4.7 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 2.7 และ 1.7 mg/L ตามลำดับ โดยสัดส่วน HPI (61%) > HPO (39%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ การดูดซับด้วย PAC มีค่า DOC เท่ากับ 3.7 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 2.1 และ 1.4 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 3.5 mg/L โดยสัดส่วน HPI (60%) > HPO (40%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ polymer ร่วมกับกระบวนการดูดซับด้วย PAC มีค่ามวล DOC เท่ากับ 1.4 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 1.2 และ 0.3 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 1.5 mg/L โดยสัดส่วน HPI (79%) > HPO (21%)

การใช้ PACI และ polymer ร่วมกับกระบวนการ advanced oxidation process โดยใช้ Ozone มีค่า DOC เท่ากับ 4.2 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 2.6 และ 1.2 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 3.8 mg/L โดยสัดส่วน HPI (68%) > HPO (32%)

สำหรับตัวอย่างน้ำดิบประปาในฤดูแล้ง มีค่า DOC ตั้งต้นเท่ากับ 6.9 mg/L ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.34 พบว่า มวล DOC ของตัวอย่างน้ำของฤดูแล้งโดยใช้ PACI เพียงอย่างเดียว มีค่า DOC เท่ากับ 3.0 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 1.6 และ 1.3 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 2.9 mg/L โดยสัดส่วน HPI (55%) > HPO (45%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ polymer มีค่า DOC เท่ากับ 2.8 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 1.5 และ 1.2 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 2.7 mg/L โดยสัดส่วน HPI (56%) > HPO (44%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI ร่วมกับ การดูดซับด้วย PAC มีค่า DOC เท่ากับ 2.7 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 1.4 และ 1.1 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 2.5 mg/L โดยสัดส่วน HPI (56%) > HPO (44%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ polymer ร่วมกับกระบวนการดูดซับด้วย PAC มีค่า DOC เท่ากับ 1.9 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 1.2 และ 0.6 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 1.8 mg/L โดยสัดส่วน HPI (66%) > HPO (34%)

การโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ polymer ร่วมกับกระบวนการ advanced oxidation process โดยใช้ Ozone มีค่า DOC เท่ากับ 2.7 mg/L และค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} มีค่าเท่ากับ 1.8 และ 0.7 mg/L ตามลำดับ และมีค่ารวมกันเท่ากับ 2.5 mg/L โดยสัดส่วน HPI (72%) > HPO (28%)

จากผลการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้งสามารถกล่าวได้ว่า HPI ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองมีค่าคงเหลือมากกว่า HPO โดยอาจกล่าวได้ในเบื้องต้นได้ว่าในน้ำดิบประปา สารอินทรีย์กลุ่ม non humic fraction หรือ HPI ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำและกรดอะมิโน Polysaccharides; low MW alkyl alcohols, aldehydes and ketones มีค่ามากกว่า สารอินทรีย์กลุ่ม HPO เมื่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดใกล้เคียงกัน สารกลุ่ม HPI จึงเหลืออยู่มากกว่า HPO หรืออาจเกิดมาจากสารอินทรีย์กลุ่ม HPO ถูกกำจัดได้ดีกว่า HPI โดยผลการทดลองจะแสดงในหัวข้อถัดไป

4.5 การลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน

ตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้งในหัวข้อนี้ได้แสดงผลการทดลองที่ต่อเนื่องจากหัวข้อ 4.4 ซึ่งสามารถสรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC , DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} และประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปของฤดูฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.35 และตารางที่ 4.13

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 49 และ 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การใช้ PACI เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการลดค่า DOC_{HPO} ดีกว่า DOC_{HPI} ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 51 และ 63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer มีประสิทธิภาพในการลดค่า DOC_{HPO} และ DOC_{HPI} เท่ากัน

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 62 และ 71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 13 และ 11 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC มีประสิทธิภาพในการลดค่า DOC_{HPI} ดีกว่า DOC_{HPO} เล็กน้อย

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ การดูดซับด้วย PAC สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลด เท่ากับ 79 และ 93 เปอร์เซ็นต์

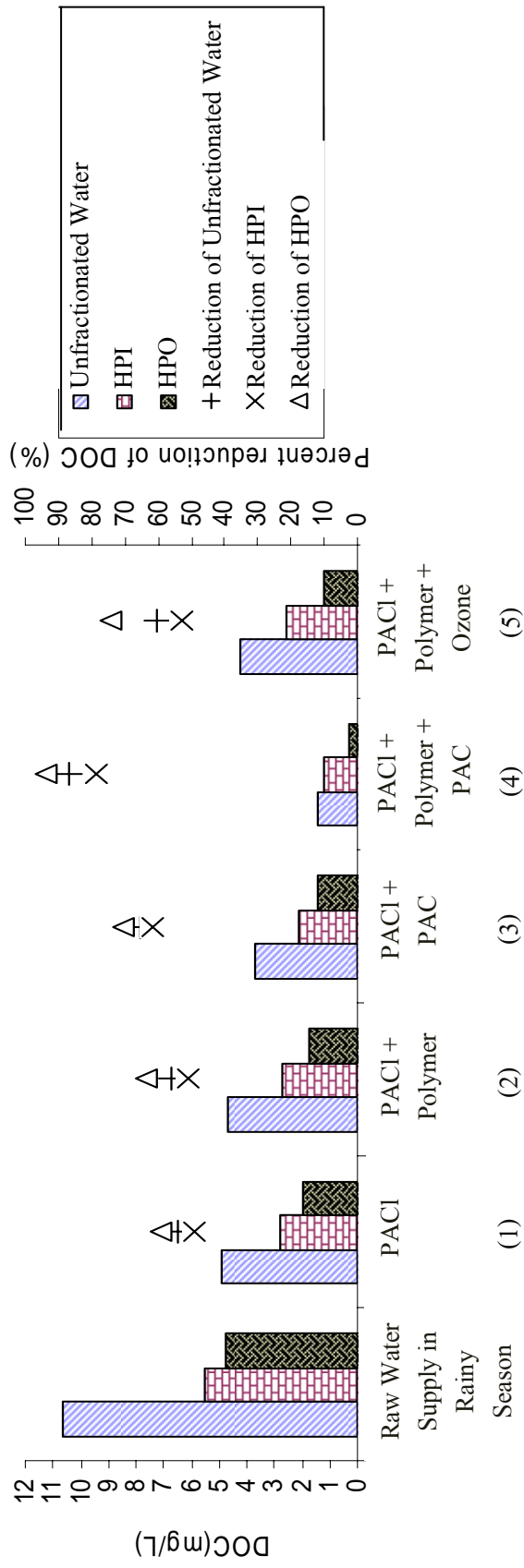
ตามลำดับ สำหรับเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 30 และ 34 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับการดูดติดด้วย PAC มีประสิทธิภาพในการลดค่า DOC_{HPO} ดีกว่า DOC_{HPI} เล็กน้อย

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับการกระบวนการกระบวนการ Advance oxidation process โดย Ozone สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 53 และ 75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 4 และ 15 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับการกระบวนการกระบวนการ Advance oxidation process โดย Ozone มีประสิทธิภาพในการลด DOC_{HPO} ดีกว่า DOC_{HPI} อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการลด DOC และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปของ ตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

หมายเหตุ : * PACI เป็นสถานะทั่วไป

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูฝน					
	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)			ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)		
	Unfractionated Water	HPI	HPO	Unfractionated Water	HPI	HPO
(1) PACI*	54	49	59	0	0	0
(2) PACI+Polymer	56	51	63	2	2	4
(3) PACI+PAC	65	62	71	11	13	11
(4) PACI+Polymer+PAC	87	79	93	33	30	34
(5) PACI+Polymer +Ozone	61	53	75	7	4	15



รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันและประสิทธิภาพการลด DOC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

สำหรับการลดลงของ DOC ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง แสดงในรูปที่ 4.36 และ ตารางที่ 4.14

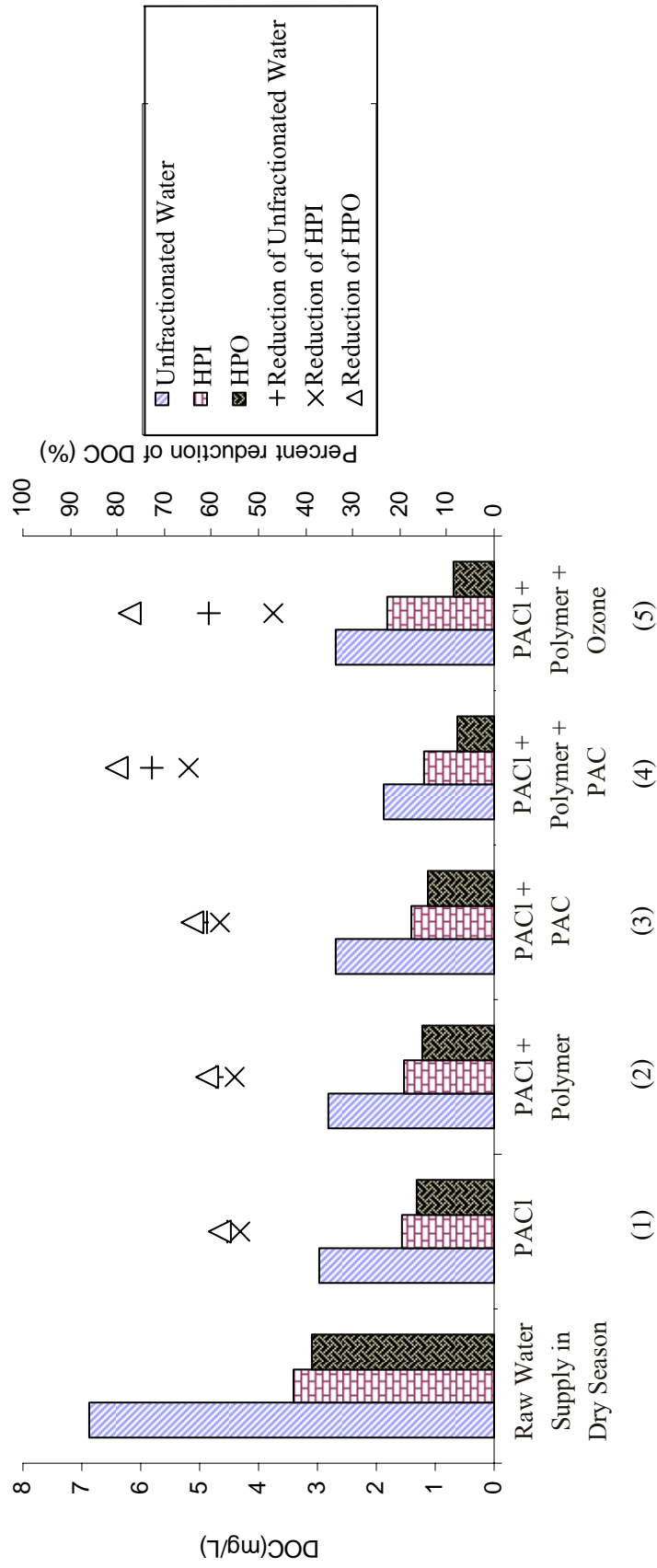
การโคแอกกูเลชันด้วย PACl เพียงอย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 54 และ 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ Polymer มีเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 55 และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การลด DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่า การเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer มีประสิทธิภาพในการลดค่า DOC_{HPO} ใกล้เคียงกับ DOC_{HPI}

การโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ PAC สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 58 และ 64 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ การดูดซับด้วย PAC สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 65 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 11 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ Polymer ร่วมกับ กระบวนการกระบวนการ Advance oxidation process โดย Ozone สามารถลดค่า DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC_{HPI} และ DOC_{HPO} เท่ากับ 47 และ 77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และ มีเปอร์เซ็นต์การลดของ DOC_{HPO} เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 19 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกชันและประสิทธิภาพการลด DOC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการลดลงของ DOC และประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะ
ทั่วไปของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูแล้ง					
	ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)			ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้น จากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)		
	Unfractionated Water	HPI	HPO	Unfractionated Water	HPI	HPO
(1) PACI*	57	54	58	0	0	0
(2) PACI+Polymer	59	55	61	2	1	3
(3) PACI+PAC	61	59	64	4	4	6
(4) PACI+Polymer +PAC	73	65	80	16	11	22
(5) PACI+Polymer +Ozone	61	47	77	4	-7	19

หมายเหตุ : * PACI เป็นสถานะทั่วไป

จากผลการลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟร็กชันของตัวอย่างน้ำใน
ฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพ polymer และ PAC เพิ่มการลดสารกลุ่ม HPI และ
HPO ได้ใกล้เคียงกันทั้งในตัวอย่างน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่เมื่อวิเคราะห์โดยภาพรวมค่า HPO
ลดลงมากกว่า HPI โดยการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย polymer และ PAC ลดได้ดีทั้ง HPI และ HPO
สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพโดย Ozone สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลด HPO ได้ดีกว่า HPI
อย่างชัดเจน และประสิทธิภาพโดยรวม HPO ลดมากกว่า HPI ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถลดสารกลุ่ม HPO มากกว่า HPI
เช่นเดียวกับการศึกษาของ AWWA, (1993) ใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI กับน้ำตัวอย่าง
จาก SPW, CRW, SRPW, ORW, HMR และ LRW สามารถลด สารอินทรีย์กลุ่ม humic ได้ดีกว่า
non humic (ลดสารอินทรีย์กลุ่ม humic ได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์)

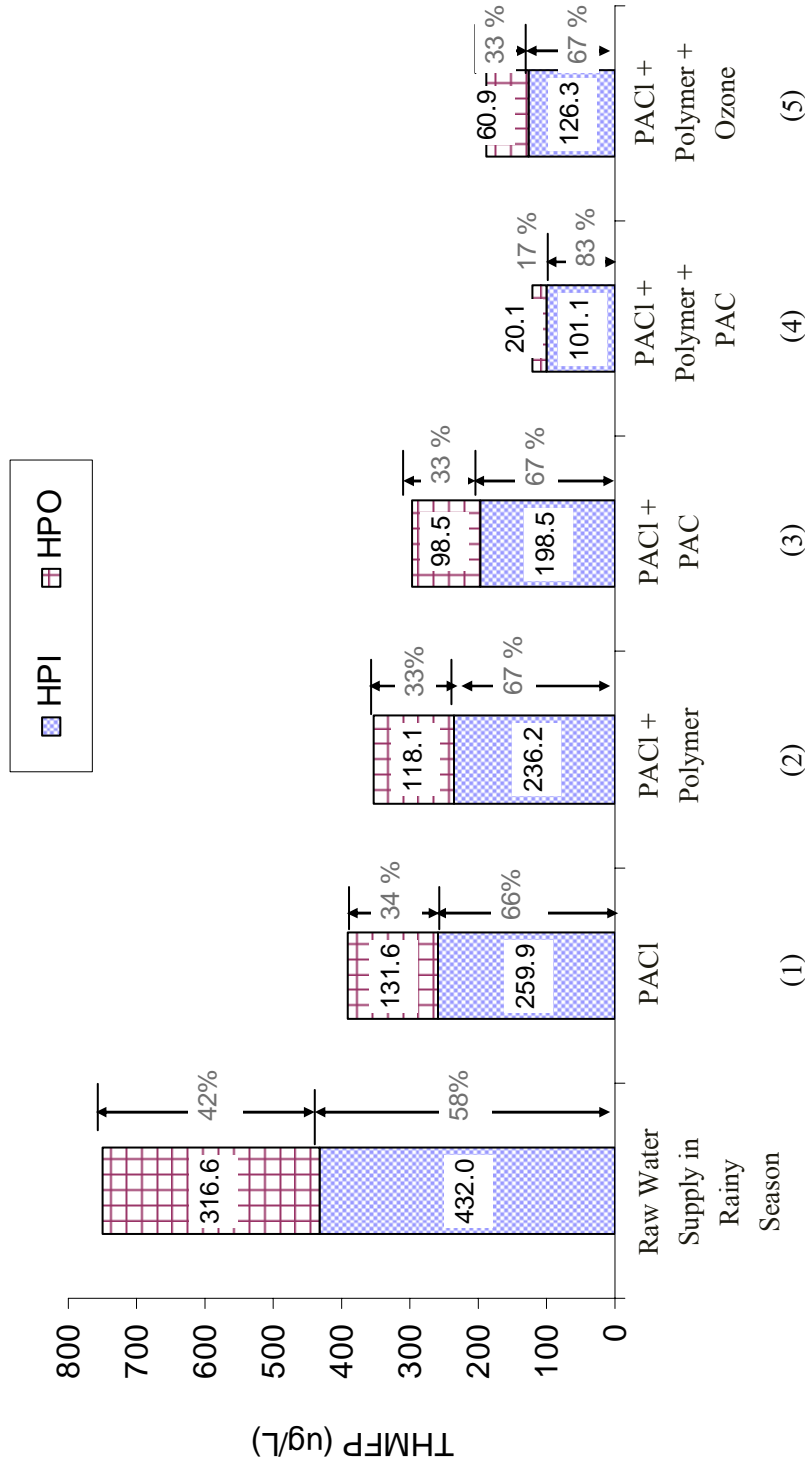
การเพิ่มประสิทธิภาพด้วย Polymer และ PAC ลด HPI ได้ใกล้เคียงกับ HPO สอดคล้องกับการศึกษาของ Lyn *et al.*, (1994) ซึ่งใช้ cationic polymer ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์ กับตัวอย่างน้ำดิบพบว่าลดสารกลุ่ม humic substance ซึ่งเป็นตัวแทนกลุ่ม HPO ได้ดี และ การศึกษา ของ Unai Iriarte-Velasco., (2008) ใช้กระบวนการโคแอกกูแลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC กับ ตัวอย่างน้ำดิบประปาในประเทศสเปนพบว่า PAC เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของสารอินทรีย์ มวลโมเลกุลต่ำหรือ non-humic ซึ่งเป็นตัวแทนกลุ่ม HPI ในน้ำตัวอย่างได้เป็นอย่างดี

สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย Ozone สามารถลด HPO มากกว่า HPI อย่าง ชัดเจน เนื่องจากกระบวนการโคแอกกูแลชันและ Ozonation มีอิทธิพลต่อกลุ่มสารอินทรีย์ชนิด เดียวกัน โดย กระบวนการโคแอกกูแลชันมีผลโดยตรงต่อกลุ่มสารอินทรีย์แบบ humic และกลุ่ม สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง (AWWA., 1993) และ Ozonation ไม่ให้ผลในการทำลายกลุ่ม สารอินทรีย์ (destruction) แต่เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนลักษณะสารอินทรีย์ (Transformation) เมื่อใช้ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูแลชันอาจกล่าวได้ว่า ozone อาจเปลี่ยนรูป สารอินทรีย์บางชนิดซึ่งมีลักษณะเป็น humic ให้กลายเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม non-humic (AWWA, 1993)

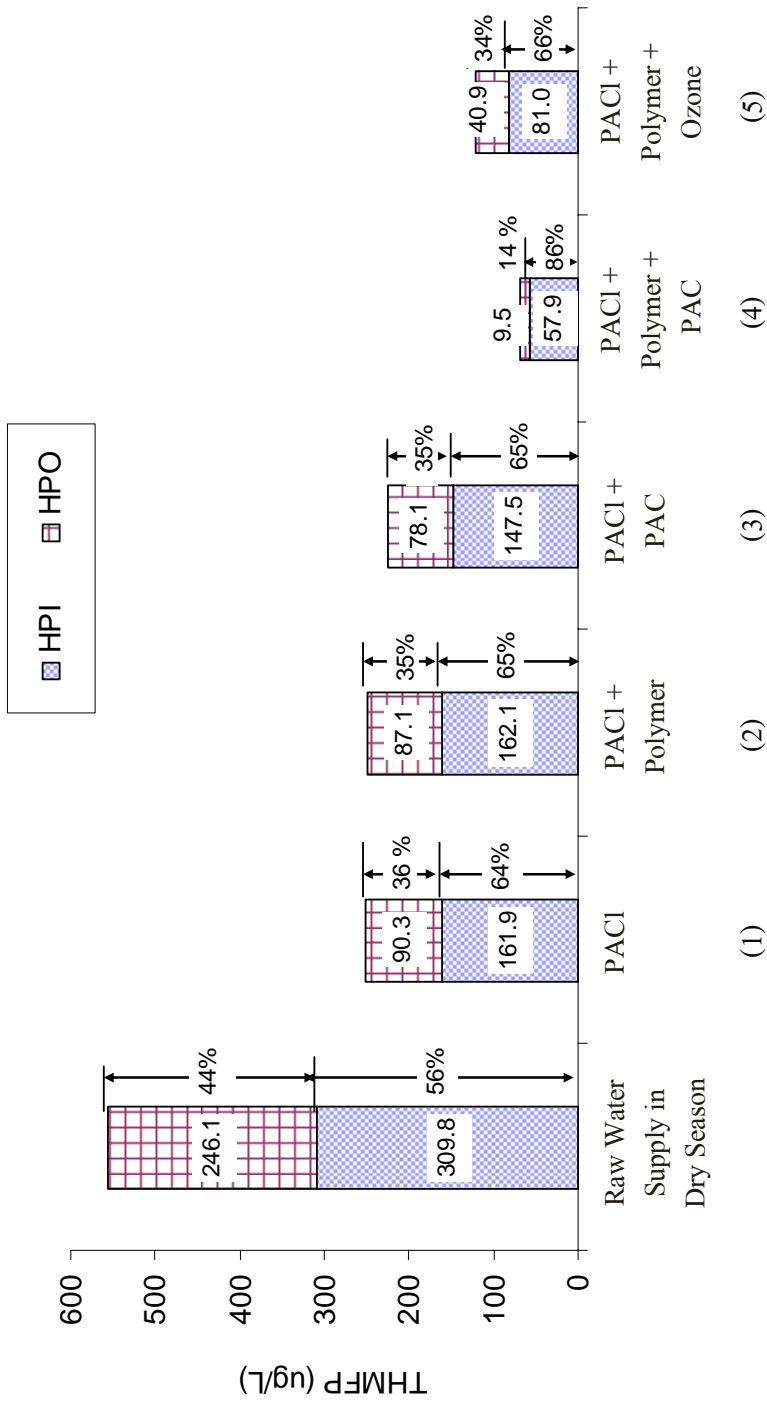
จากที่กล่าวมาข้างต้น สารอินทรีย์กลุ่ม HPO และ HPI เป็นสารตั้งต้นของการเกิด สาร THMs ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการลดสารอินทรีย์ให้ได้ดีที่สุดก็คือการลดโอกาสที่จะเกิดสาร THMs ได้ดีที่สุด น้ำตัวอย่างหลังจากผ่านกระบวนการทดลองได้ถูกนำไปทดสอบโอกาสการก่อตัว ของสาร THMs เพื่อวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของการเกิดสารก่อมะเร็งในส่วนถัดไป

4.6 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน

จากผลการทดลองในรูปแบบที่ 4.37 และตารางที่ 4.15 ในฤดูฝนค่า THMFP ในน้ำดิบ เกิดจาก HPI และ HPO ร้อยละ 58 และ 42 ตามลำดับ ส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองนั้น ผลการ ทดลองแสดงอย่างชัดเจนว่า HPI เป็นสารตั้งต้นหลักที่ก่อให้เกิด THMs ในทุกกระบวนการทดลอง THMFP_{HPI} มีค่ามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของ THMFP ทั้งหมด ในทุกกระบวนการทดลองและ เช่นเดียวกันกับฤดูแล้งค่า THMFP ในน้ำดิบเกิดจาก HPI และ HPO ร้อยละ 56 และ 44 ตามลำดับ ส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองนั้น THMFP_{HPI} มีค่ามากกว่า THMFP_{HPO} ในทุกกระบวนการ ทดลอง ดังแสดงในรูปแบบที่ 4.38 และ ตารางที่ 4.16 ในส่วนของการวิเคราะห์ผลของค่า THMFP ในน้ำ ที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันแสดงไว้ในส่วนถัดไป



รูปที่ 4.37 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน



รูปที่ 4.38 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและที่ผ่านกระบวนการแปรทรีนในฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การกระจาย THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถดถุน

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ Hydrophilic (HPI) และ Hydrophobic (HPO)	THMFP ($\mu\text{g/L}$)	
			THMFP _{HPI}	THMFP _{HPO}
Raw Water Supply	ฝน	HPI (58%) > HPO (42%)	432.0	316.6
(1) PACl	ฝน	HPI (66%) > HPO (34%)	259.9	131.6
(2) PACl+Polymer	ฝน	HPI (67%) > HPO (33%)	236.2	118.1
(3) PACl+PAC	ฝน	HPI (67%) > HPO (33%)	198.5	98.5
(4) PACl+Polymer+PAC	ฝน	HPI (83%) > HPO (17%)	101.1	20.1
(5) PACl+Polymer+Ozone	ฝน	HPI (67%) > HPO (33%)	126.3	60.9

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การกระจาย THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของถดถุน

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ Hydrophilic (HPI) และ Hydrophobic (HPO)	THMFP ($\mu\text{g/L}$)	
			THMFP _{HPI}	THMFP _{HPO}
Raw Water Supply	แล้ง	HPI (56%) > HPO (44%)	309.8	246.1
(1) PACl	แล้ง	HPI (64%) > HPO (36%)	161.9	90.3
(2) PACl+Polymer	แล้ง	HPI (65%) > HPO (35%)	162.1	87.1
(3) PACl+PAC	แล้ง	HPI (65%) > HPO (35%)	147.5	78.1
(4) PACl+Polymer+PAC	แล้ง	HPI (86%) > HPO (14%)	57.9	9.5
(5) PACl+Polymer+Ozone	แล้ง	HPI (66%) > HPO (34%)	81.0	40.9

4.7 การลดลงของ THMFP ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน

จากหัวข้อที่ 4.5 ซึ่งอธิบายการกระจายของ THMFP ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันเนชัน สามารถสรุปการลดลงของ THMFP และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ในทั้งฤดูฝน ดังแสดงใน รูปที่ 4.39 และ ตารางที่ 4.17

น้ำดิบประปาก่อนกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนดังแสดงในรูปที่ 4.39 และตารางที่ 4.17 มีค่า THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} มีค่าตั้งต้นเท่ากับ 749.7, 432.0 และ 316.6 µg/L ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การใช้ PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 383.9, 259.9 และ 131.6 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 48, 40 และ 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การใช้ PACI เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการลดค่า THMFP_{HPO} ดีกว่า THMFP_{HPI} ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 337.2, 236.2 และ 118.1 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 53, 45 และ 63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 5, 5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} ใกล้เคียงกัน

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 297.0, 198.5 และ 98.5 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 64, 54 และ 69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 13, 14 และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} มากกว่า THMFP_{HPO} เล็กน้อย

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 110.3, 101.1 และ 20.1 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 84, 77 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 36, 37 และ 35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} มากกว่า THMFP_{HPO} เล็กน้อย

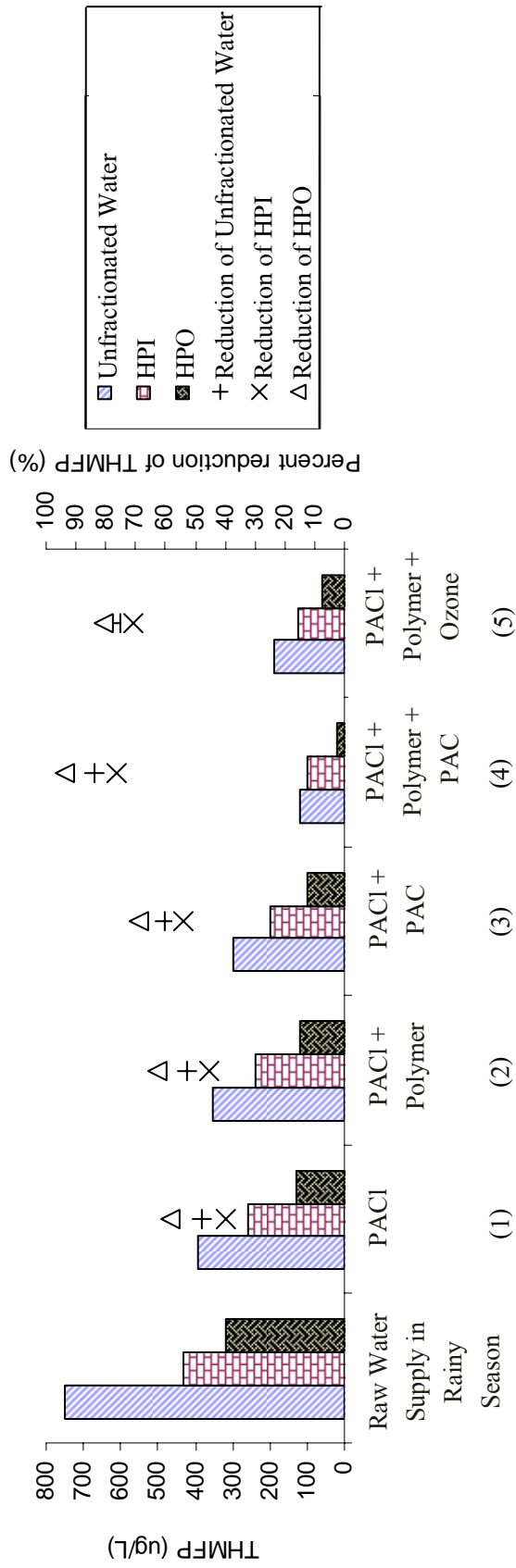
การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 181.2, 126.3 และ 60.9 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 75, 71 และ 81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และ

คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 27, 31 และ 22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMF_{HPI} มากกว่า THMF_{HPO}

ตารางที่ 4.17 ประสิทธิภาพการลดของ THMF และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูฝน					
	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)			ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจาก สถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)		
	Unfractionated Water	HPI	HPO	Unfractionated Water	HPI	HPO
(1) PACI*	48	40	58	0	0	0
(2) PACI+Polymer	53	45	63	5	5	4
(3) PACI+PAC	60	54	69	13	14	10
(4) PACI+Polymer +PAC	84	77	94	36	37	35
(5) PACI+Polymer +Ozone	75	71	81	27	31	22

หมายเหตุ : * PACI เป็นสถานะทั่วไป



รูปที่ 4.39 ค่า THMFP ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันและประสิทธิภาพการลดของค่า THMFP ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

น้ำดิบประปาก่อนกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้งดังแสดงในรูปที่ 4.40 และตารางที่ 4.18 มีค่า THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} มีค่าตั้งต้นเท่ากับ 556.9, 309.8 และ 246.1 µg/L ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

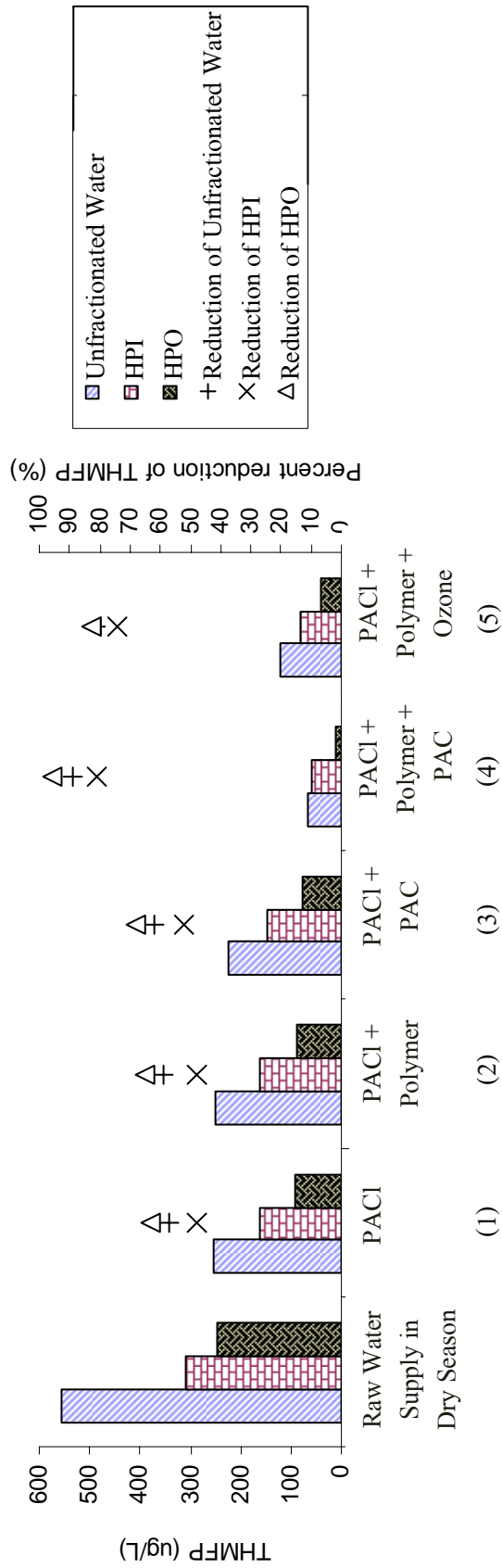
การใช้ PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 240.7, 161.9 และ 90.3 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 57, 48 และ 63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การใช้ PACI เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการลดค่า THMFP_{HPO} ดีกว่า THMFP_{HPI} ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 230.5, 162.1 และ 147.5 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 53, 45 และ 63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 2, 0 และ 2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} ใกล้เคียงกัน

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 212.4, 147.5 และ 78.1 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 62, 52 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 5, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} ใกล้เคียงกัน

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 61.8, 57.9 และ 95 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 89, 81 และ 96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 32, 33 และ 33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} ใกล้เคียงกัน

การโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone สามารถลด THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} คงเหลือเท่ากับ 113.8, 81 และ 40.9 µg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP, THMFP_{HPI} และ THMFP_{HPO} เท่ากับ 80, 74 และ 83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไปเท่ากับ 23, 26 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการลด THMFP_{HPI} มากกว่า THMFP_{HPO}



รูปที่ 4.40 ค่า THMF ในน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกสีและประสิทธิภาพการลดของค่า THMF ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพการลดของ THMFp และประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะ
ทั่วไปของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูแล้ง					
	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)			ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจาก สภาวะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)		
	Unfractionated Water	HPI	HPO	Unfractionated Water	HPI	HPO
(1) PACI*	57	48	63	0	0	0
(2) PACI+Polymer	59	48	65	2	0	2
(3) PACI+PAC	62	52	68	5	4	5
(4) PACI+Polymer +PAC	89	81	96	32	33	33
(5) PACI+Polymer +Ozone	80	74	83	23	26	20

หมายเหตุ : * PACI เป็นสภาวะทั่วไป

จากผลการทดลองของ THMFp ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันทั้งสองฤดูพบว่า การใช้ PACI เพียงอย่างเดียว การเพิ่มประสิทธิภาพด้วย polymer และ PAC มีผลการทดลองที่สอดคล้องการลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของเส้นแนวโน้มการลดลงของ THMFp และ DOC ที่ผ่านกระบวนการ แฟรกชัน โดยที่ค่าความสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลด DOC ของการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย polymer และ PAC กับเปอร์เซ็นต์การลด THMFp การเพิ่มประสิทธิภาพด้วย polymer และ PAC ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9774 และ 0.9225 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ดี ซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ปริมาณ THMFp ที่เกิดขึ้นในน้ำตัวอย่างกระทำไดยาก สามารถใช้เปอร์เซ็นต์การลดของ DOC ทำนายเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFp ได้ (แสดงในภาคผนวก จ) และผลการศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFp พบว่าระดับ

ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ THMF_P มีระดับความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยที่ค่าความสัมพันธ์ (R^2) ระหว่าง DOC กับ THMF_P ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9553 และ 0.914 ดังนั้น DOC จึงเหมาะสมที่สุดในการอธิบายปริมาณ THMF_P ที่เกิดขึ้น (ดังแสดงในภาคผนวก ง) ดังนั้น จากผลการลดลงของ THMF_P ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันทั้งสองฤดูสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย polymer และ PAC สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ THMF_P ได้ดี

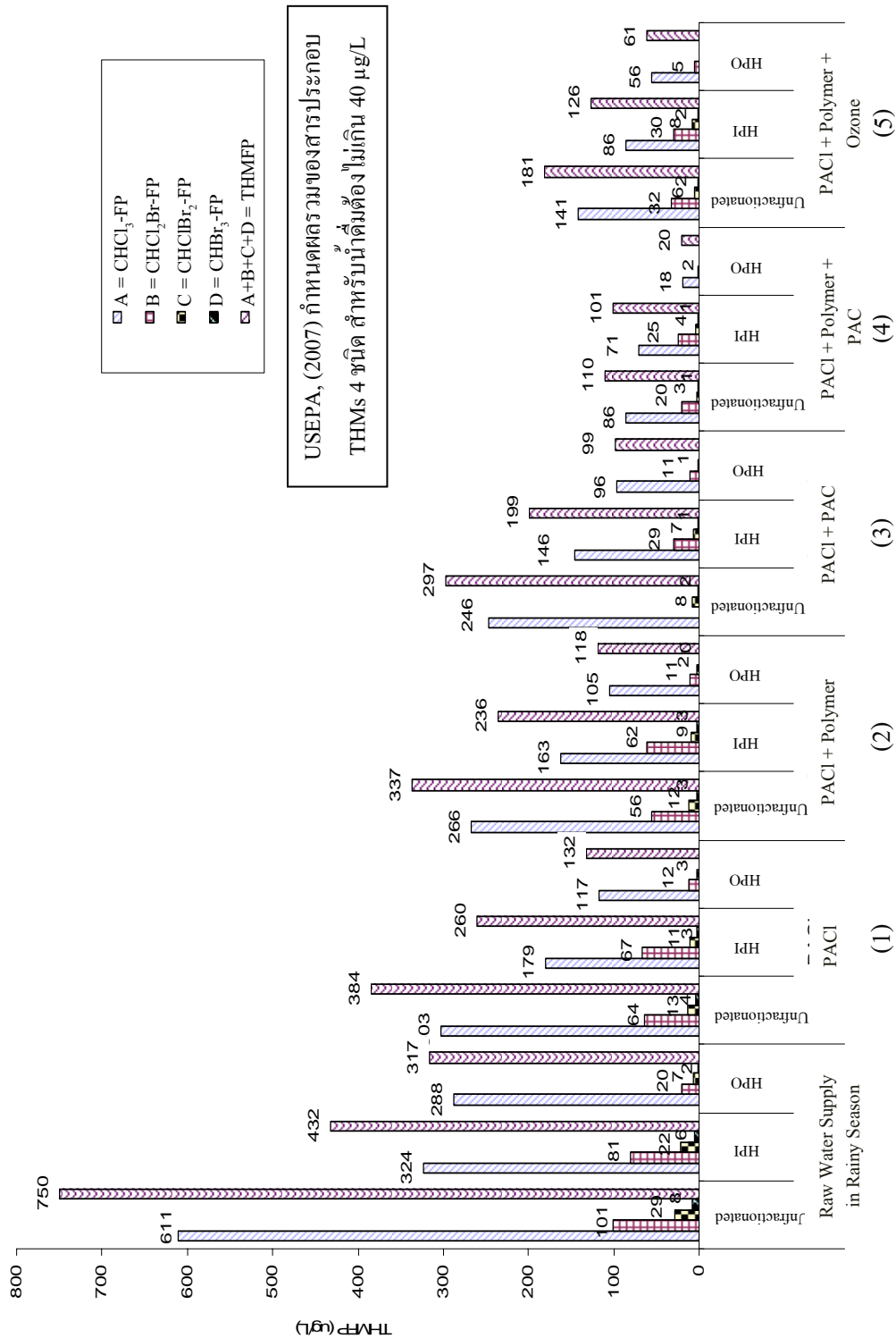
สำหรับการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone มีผลการลดลงของ THMF_{HPI} มากกว่า THMF_{HPO} ซึ่งไม่สอดคล้องกับการลดลงของ DOC ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน เนื่องจาก Ozonation ไม่ให้ผลในการทำลายกลุ่มสารอินทรีย์ (destruction) แต่อยู่ในลักษณะการเปลี่ยนรูป (Transformation) ทำให้เกิดเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์กลุ่ม humic หรือ HPO ในน้ำตัวอย่าง (AWWA, 1993) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดลงของ THMF_{HPO} ที่ค่าเข้มข้นและเวลาสัมผัสของ ozone ในการศึกษานี้

4.8 การลดลงของสารประกอบ THMs

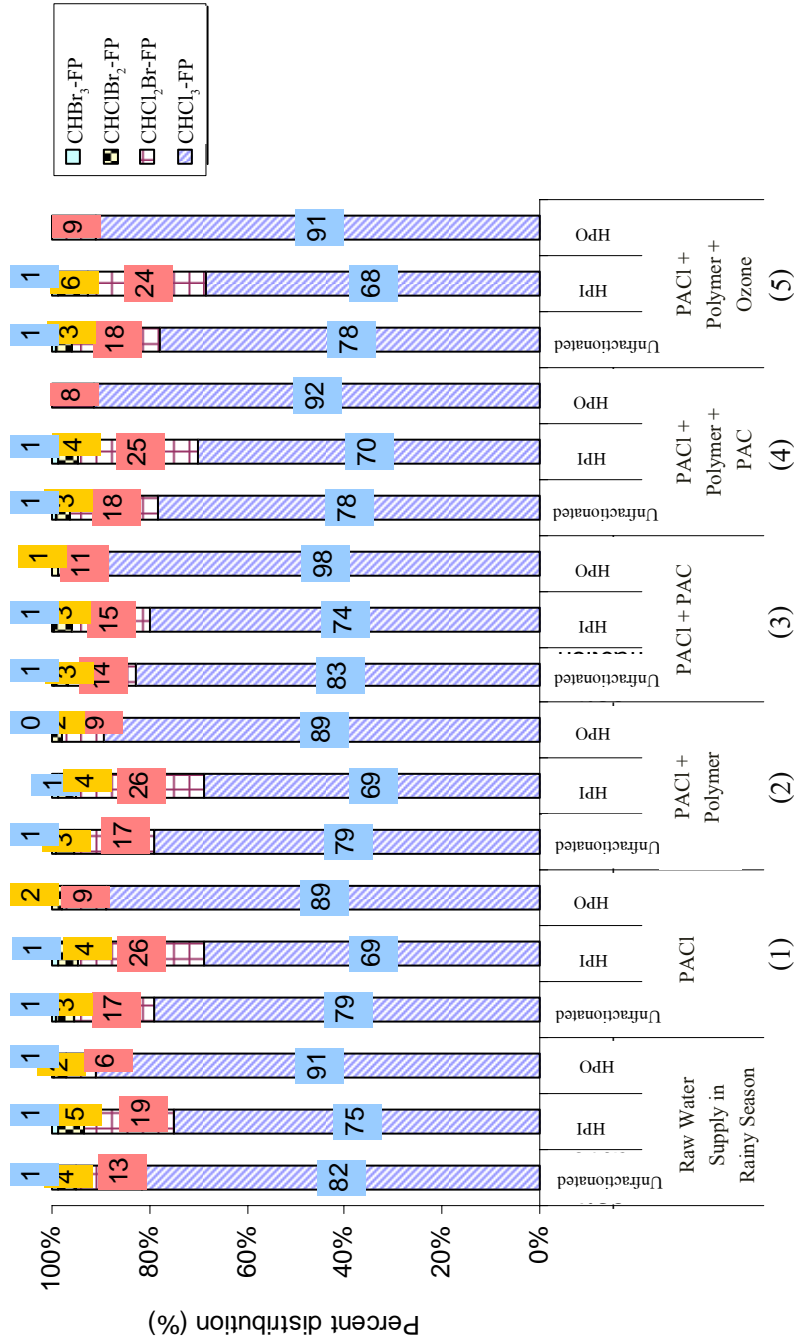
ค่า THMF_P ของสารประกอบ THMs ซึ่งประกอบด้วย CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 และ CHBr_3 ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนแสดงในรูปที่ 4.41 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของสารประกอบ THMs ทั้ง 4 ชนิด ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝนแสดงในรูปที่ 4.42

ค่า THMF_P ของสารประกอบ THMs ซึ่งประกอบด้วย CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 และ CHBr_3 ในน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนแสดงในรูปที่ 4.43 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของสารประกอบ THMs ทั้ง 4 ชนิด ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝนแสดงในรูปที่ 4.44

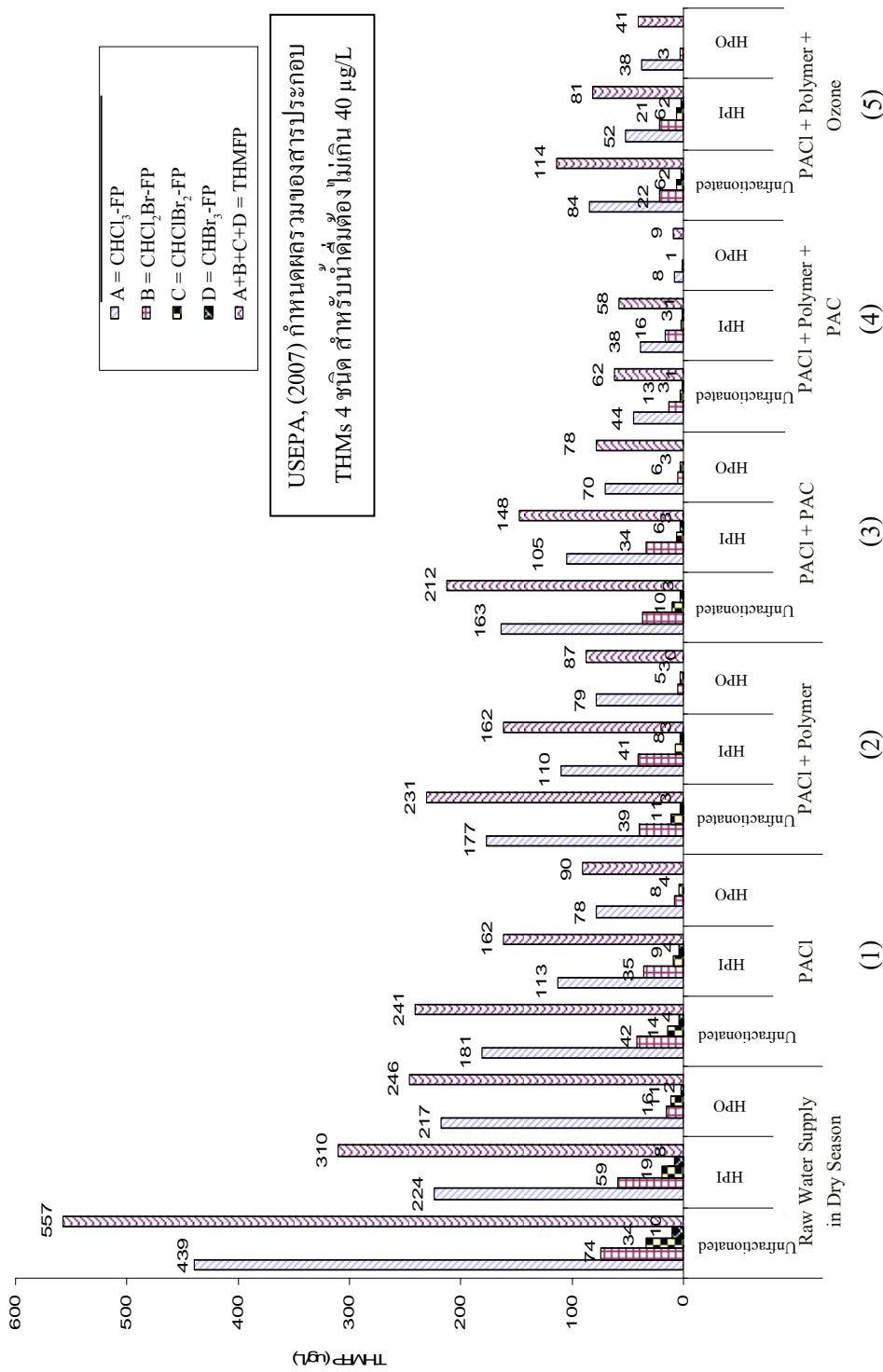
เมื่อนำค่าผลรวมของสารประกอบ THMs 4 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 และ CHBr_3 ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูฝนและฤดูแล้งไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดคุณภาพน้ำดื่มของ USEPA (40 $\mu\text{g/L}$) พบว่ามีค่าเกินกว่าข้อกำหนดของ USEPA



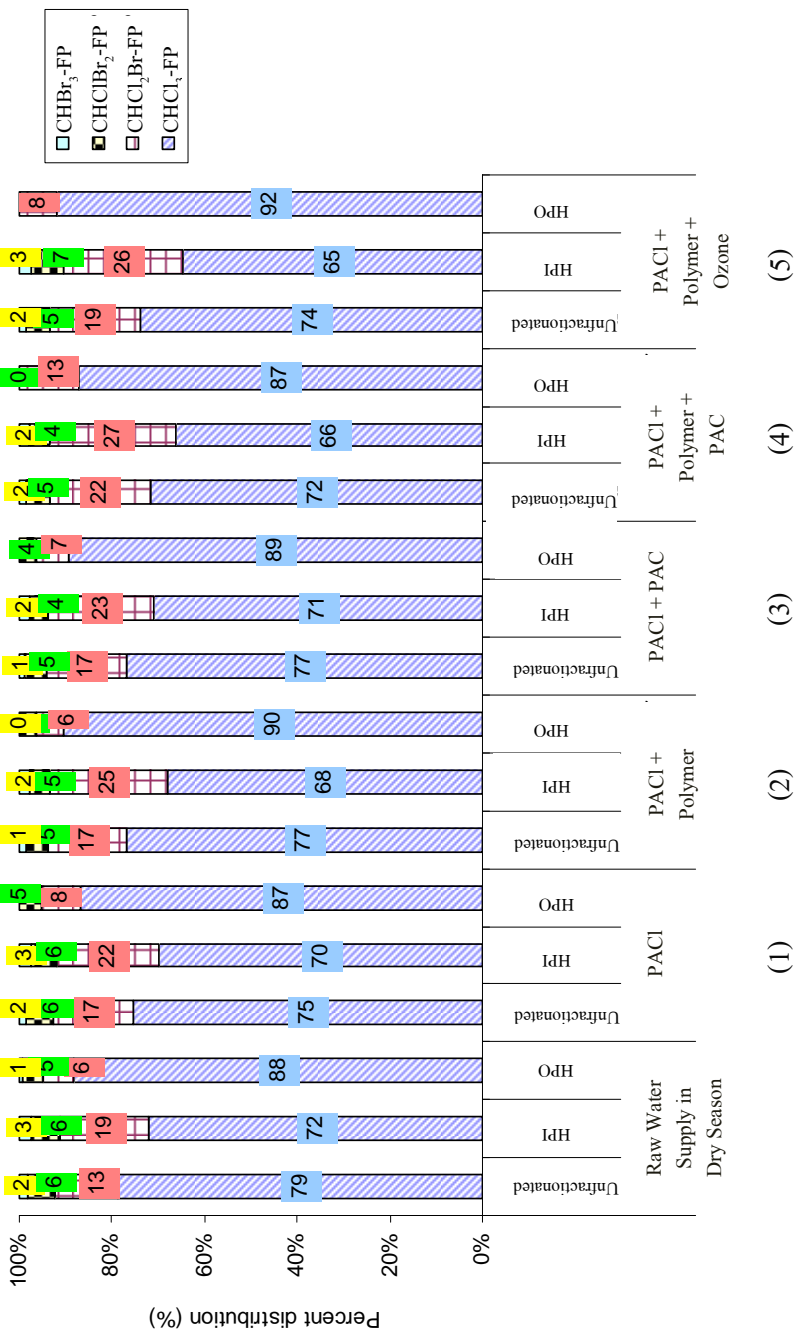
รูป 4.41 ค่าของ THMFP, $\text{CHCl}_3\text{-FP}$, $\text{CHCl}_2\text{Br-FP}$, $\text{CHClBr}_2\text{-FP}$ และ $\text{CHBr}_3\text{-FP}$ ของน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน



รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบสัดส่วนของ CHCl₃-FP, CHCl₂Br-FP, CHClBr₂-FP และ CHBr₃-FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกชันในฤดูฝน



รูป 4.43 ค่าของ THMFP, CHCl₃-FP, CHCl₂Br-FP, CHClBr₂-FP และ CHBr₃-FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกชันในฤดูแล้ง



รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบสัดส่วนของ CHCl₃-FP, CHCl₂Br-FP, CHClBr₂-FP และ CHBr₃-FP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกชันในฤดูแล้ง

จากผลการศึกษาการลดลงของสารประกอบ THMs ในฤดูฝนและฤดูแล้งนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ WHO, (1997) (สมการที่ 4.1) ดังแสดงในรูปที่ 4.45 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI หารกับ Guide line ของ WHO รวมกันในน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 2.7 และ 1.8 ตามลำดับ

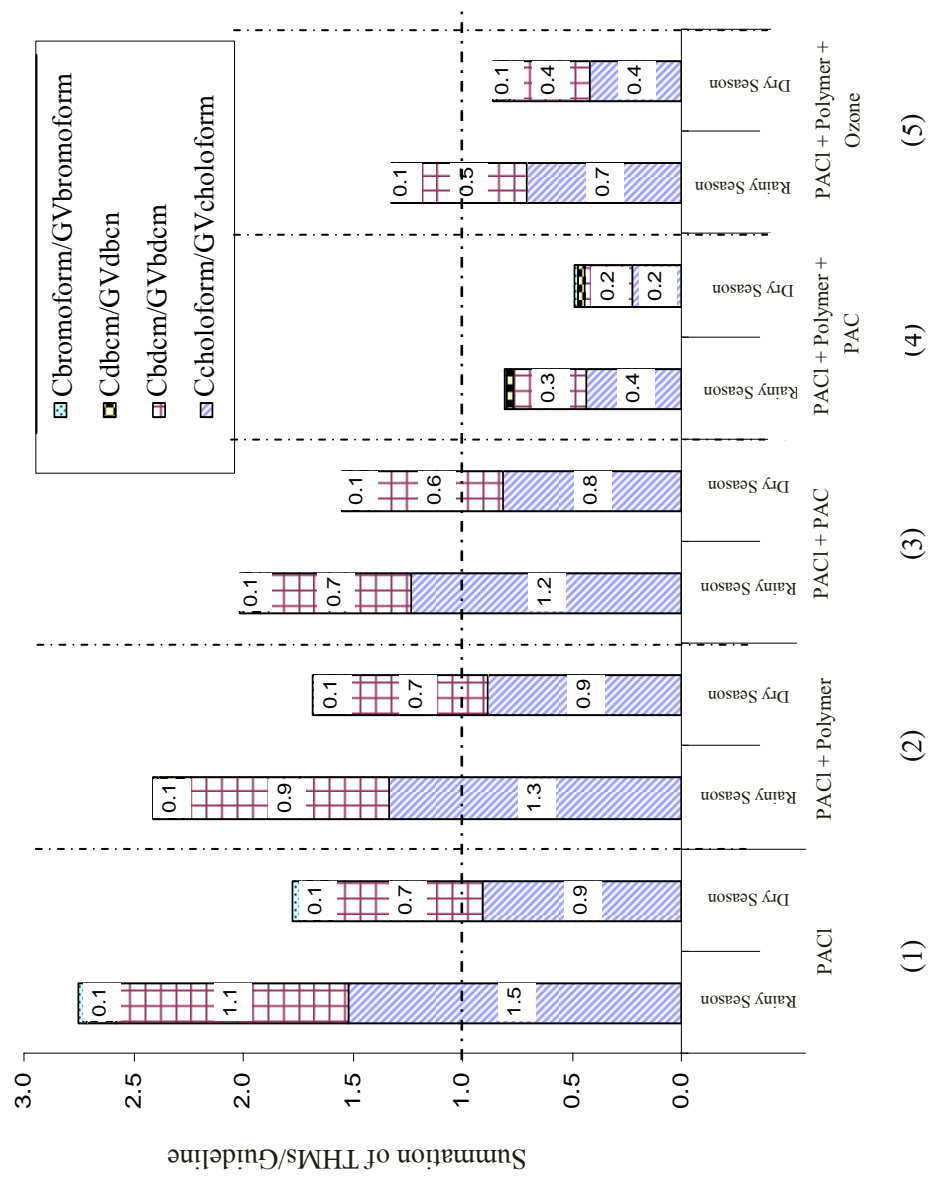
ค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer หารกับ Guide line ของ WHO รวมกันในน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 2.4 และ 1.7 ตามลำดับ

ค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC หารกับ Guide line ของ WHO รวมกันในน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 2.0 และ 1.6 ตามลำดับ

ค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC หารกับ Guide line ของ WHO รวมกันในน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 0.8 และ 0.5 ตามลำดับ

ค่าปริมาณสารประกอบ THMs แต่ละชนิดน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ Ozone หารกับ Guide line ของ WHO รวมกันในน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 1.3 และ 0.9 ตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถกล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ Polymer ร่วมกับ PAC สามารถลดผลรวมของสารประกอบ THMs ในน้ำตัวอย่างได้ตามข้อกำหนดของ WHO



รูปที่ 4.45 ค่าของสารประกอบ THMs /Guideline value ของน้ำที่ผ่านกระบวนการฟอกซ์ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

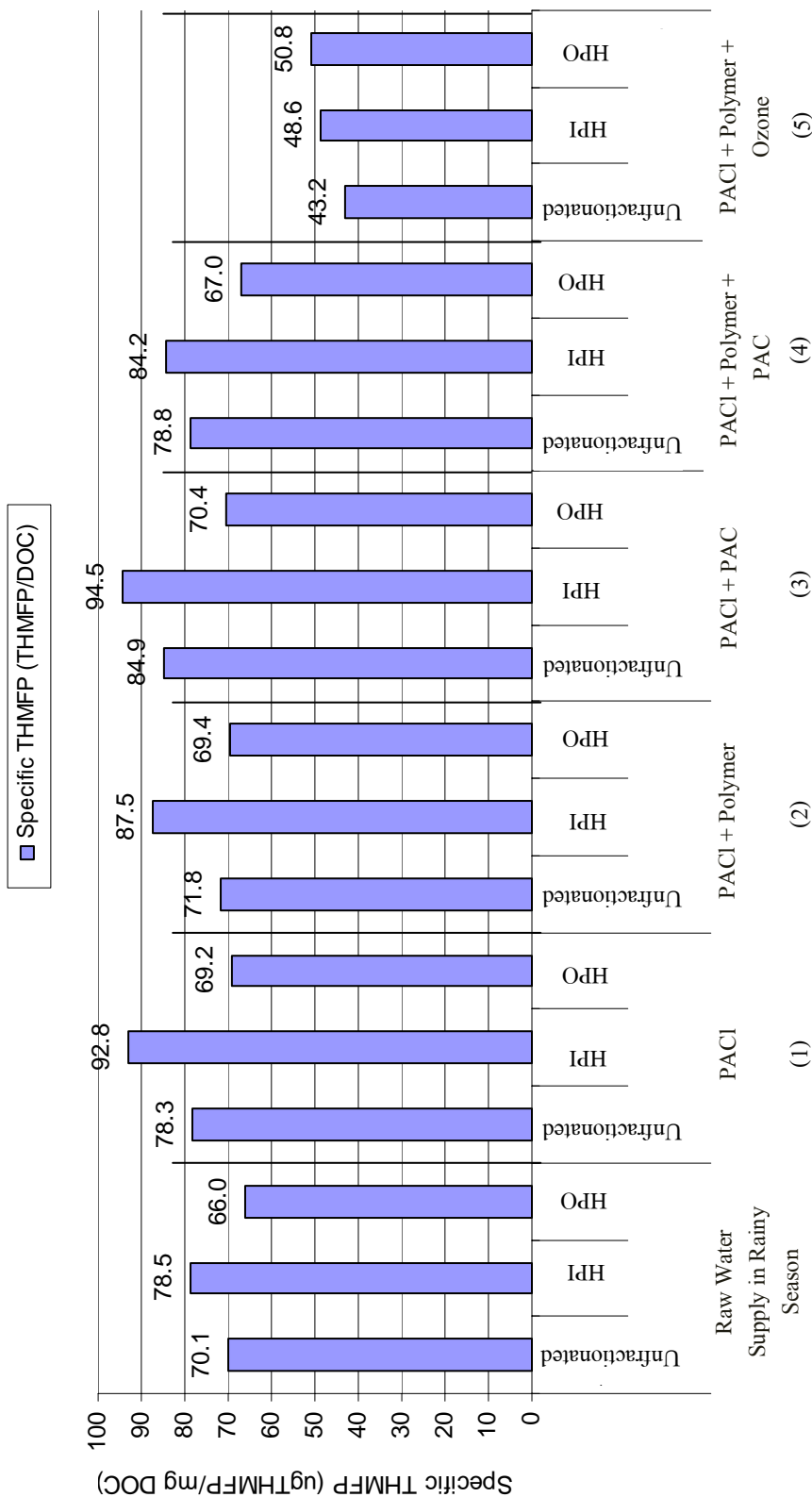
4.9 Specific THMFP

ค่า Specific THMFP ของน้ำ สามารถอธิบายได้ดังนี้

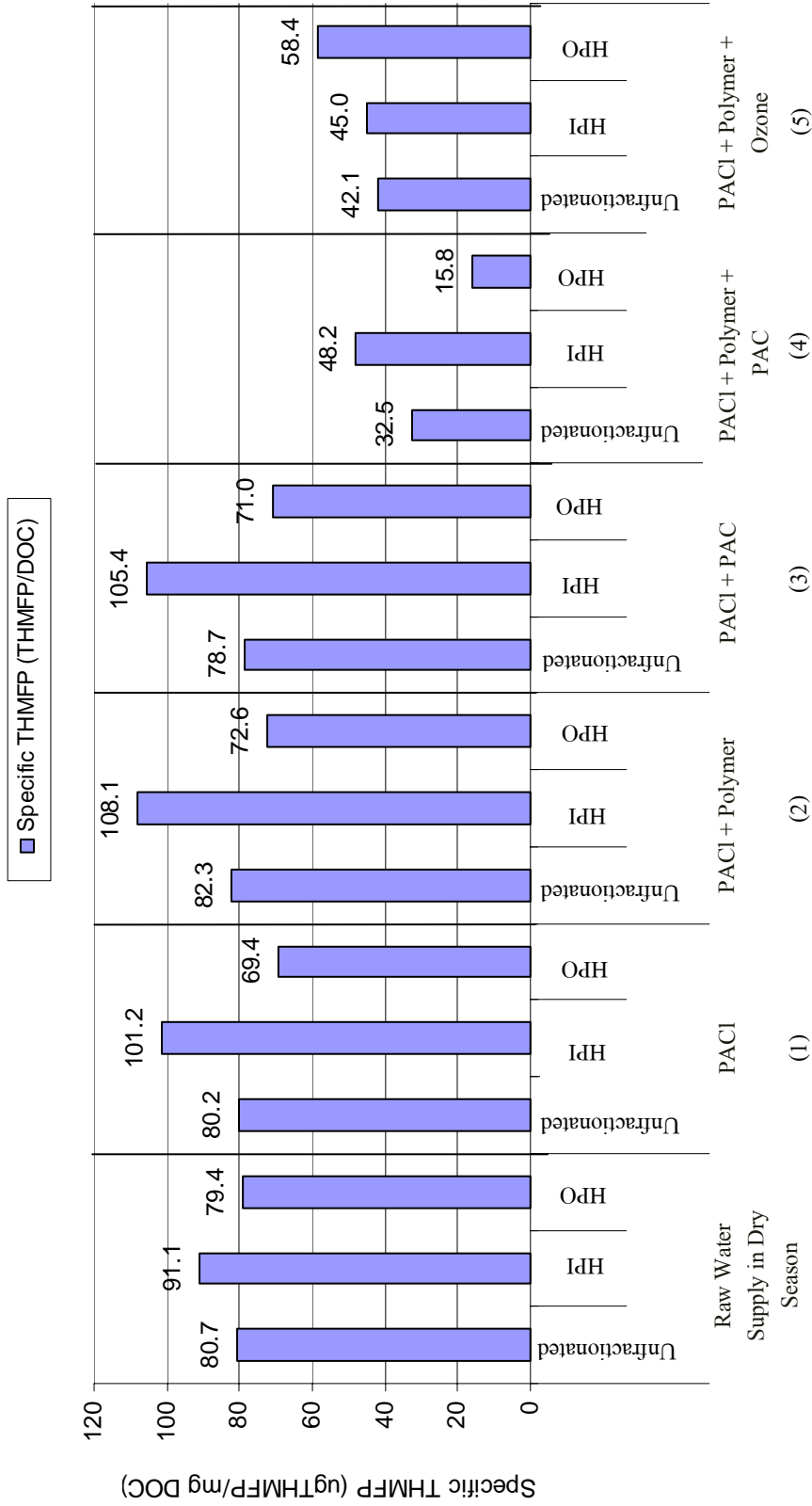
$$\text{Specific THMFP } (\mu\text{g THMFP/ mg DOC}) = \frac{\text{THMFP } (\mu\text{g THMFP/L})}{\text{DOC } (\text{mg DOC/L})}$$

ค่า Specific THMFP แสดงความสามารถของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนก่อให้เกิด THMs โดยค่า Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในถุฝุ่นและถุแสงแสดงในรูปที่ 4.46 และ 4.47 ตามลำดับและลำดับของ Specific THMFP และ ค่า Specific THMFP ของตัวอย่างน้ำในทุกกระบวนการทดลองในถุฝุ่นและถุแสง แสดงในตารางที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

จากการศึกษาค่า Specific THMFP ในน้ำตัวอย่างในถุฝุ่นและถุแสง อาจจะสามารถกล่าวได้ว่า Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย PACI และ PACI ร่วมกับ polymer และ PACI ร่วมกับ PACI มีค่าสูงกว่า Specific THMFP ของน้ำดิบ เช่นเดียวกัน Specific THMFP_{HPI} ของน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย PACI และ PACI ร่วมกับ polymer และ PACI ร่วมกับ PACI มีค่าสูงกว่า Specific THMFP_{HPI} ของน้ำดิบ และ Specific THMFP_{HPO} ของน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย PACI และ PACI ร่วมกับ polymer และ PACI ร่วมกับ PACI มีค่าใกล้เคียงกับ Specific THMFP_{HPO} ของน้ำดิบ แสดงว่าสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ใน HPO ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีน ส่วนสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ใน HPI หลังการบำบัดมีโอกาสก่อให้เกิดการสารก่อมะเร็งได้สูงขึ้น สำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ Ozone สามารถลด Specific THMFP ได้ดีทั้ง Specific THMFP, Specific THMFP_{HPI} และ Specific THMFP_{HPO} อาจกล่าวได้ว่า Ozone ลดความสามารถของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนก่อให้เกิด THMs ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.46 Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝน



รูปที่ 4.47 Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.19 Specific THMFP และค่า Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของ
 ฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูแล้ง	Specific THMFP จากสูงไปต่ำ (ค่า Specific THMFP, $\mu\text{g THMFP/mg DOC}$)
Raw Water Supply	ฝน	HPI (78.5) > RAW (70.1) > HPO (66.0)
(1) PACl	ฝน	HPI (92.8) > RAW (78.3) > HPO (69.2)
(2) PACl+Polymer	ฝน	HPI (87.5) > RAW (71.8) > HPO (69.4)
(3) PACl+PAC	ฝน	HPI (94.5) > RAW (84.9) > HPO (70.4)
(4) PACl+Polymer+PAC	ฝน	HPI (84.2) > RAW (78.8) > HPO (67.0)
(5) PACl+Polymer+Ozone	ฝน	HPO (50.8) > HPI (48.6) > RAW (43.2)

ตารางที่ 4.20 Specific THMFP และค่า Specific THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองของ
 ฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูแล้ง	Specific THMFP จากสูงไปต่ำ (ค่า Specific THMFP, $\mu\text{g THMFP/mg DOC}$)
Raw Water Supply	แล้ง	HPI (91.1) > RAW (80.7) > HPO (79.4)
(1) PACl	แล้ง	HPI (101.2) > RAW (80.2) > HPO (69.4)
(2) PACl+Polymer	แล้ง	HPI (108.1) > RAW (82.3) > HPO (72.6)
(3) PACl+PAC	แล้ง	HPI (105.4) > RAW (78.7) > HPO (71.0)
(4) PACl+Polymer+PAC	แล้ง	HPI (48.2) > RAW (32.5) > HPO (15.8)
(5) PACl+Polymer+Ozone	แล้ง	HPO (58.4) > HPI (45.0) > RAW (42.1)

4.10 การลดลงของ FEEM

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำตัวอย่างน้ำจากการทดลองดังกล่าวไปวิเคราะห์ลักษณะกลุ่มสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง Spectrofluorometer JASCO FP-6200 และ FP-750 spectrofluorometer ที่ 200 ถึง 600 nm สำหรับ excitation และ emission wavelength (Lee S., and Ahn K-H., 2004)

จากหัวข้อที่ 4.1.3 ดังที่กล่าวมาในข้างต้น FEEM, FEEM_{HPI} และ FEEM_{HPO} ของน้ำดิบประปาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ตรวจพบความเข้มแสงฟลูออโรเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนที่ตำแหน่ง Peak A: 240nm_{Ex}/350nm_{Em} Peak B: 260nm_{Ex}/360nm_{Em} Peak C: 280nm_{Ex}/350nm_{Em} Peak D: 280nm_{Ex}/410nm_{Em} ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับขอบเขตความยาวคลื่นของ Chen *et al.* (2003) พบว่าที่ peak D เป็นตัวแทนของ Humic and fulvic acid-like substance และ peak A, B และ C เป็นตัวแทนของกลุ่ม Trypophan-like substance ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suksaroj *et al.* (2008) และ Musikavong *et al.*, (2008) พบกลุ่มสารอินทรีย์ที่ความเข้มแสงบริเวณเดียวกันในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา ซึ่งโดยทั่วไป fluorescent peak จากกลุ่มเทปโตฟาน ไม่มีการตรวจพบในแหล่งน้ำธรรมชาติแต่พบในน้ำเสีย เป็นไปได้ว่าการปนเปื้อนดังกล่าวเกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชนหรือแหล่งอื่นๆ

Musikavong *et al.*, (2007) เสนอการประเมินการลดลงของสารอินทรีย์ธรรมชาติ กลุ่มเทปโตฟาน และกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด และกลุ่มไทโรซีน โดยประเมินการลดลงของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มดังกล่าวหลังจากผ่านการบำบัด นอกจากนี้การประเมินการลดลงของ fluorescent organic matter ทั้งหมด สามารถหาได้จากการประเมินการลดลงของผลรวมของ fluorescent intensities ของสารทั้ง 3 กลุ่มหลังจากการบำบัด การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำวิธีการดังกล่าวมาประเมินการลดลงของสารกลุ่มเทปโตฟาน และกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด และกลุ่มไทโรซีน

ดังนั้นในหัวข้อนี้ มุ่งเน้นศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชันเพื่อลดสารกลุ่มเทปโตฟาน และกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิดในน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทดลองทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

การลดลงของ fluorescent intensity ของ กลุ่มเทปโตฟาน และกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูฝน แสดงในรูปที่ 4.48 และ ตารางที่ 4.21 เมื่อพิจารณาการลดลงผลรวมของ fluorescent intensity ของ Peak A, B และ C ซึ่งเกิดจากสารกลุ่มเทปโตฟาน พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโตฟาน จาก fluorescent intensity ดั้งเดิมที่ 696 QSU คงเหลือ 564 QSU คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลงเท่ากับ 19 และการใช้ PACI ร่วมกับ PAC สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโตฟานได้ 23 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ

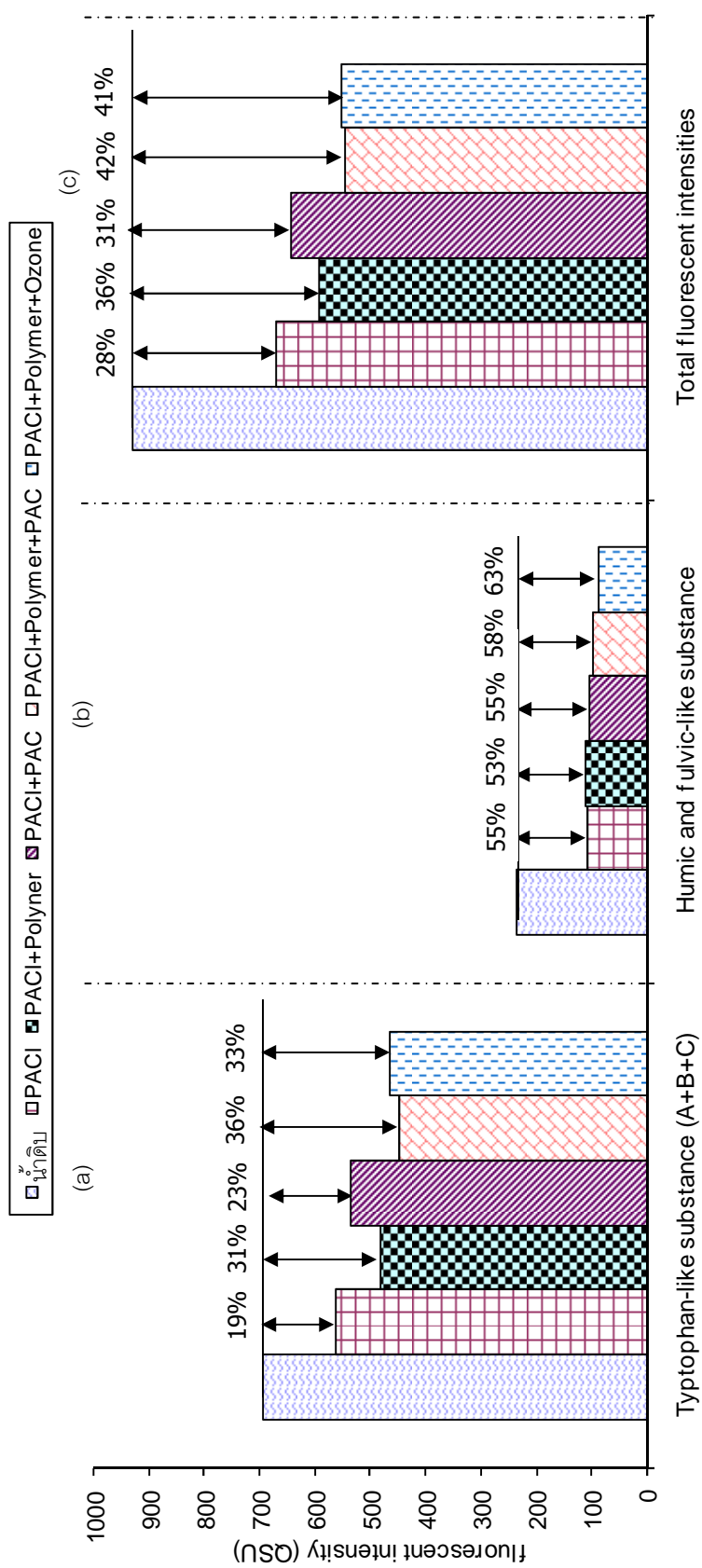
Polymer สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโตฟาน ได้ 31 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโตฟาน ได้ 36 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโตฟาน ได้ 33 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.48a) สำหรับการลดลงของสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลดค่า fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด ได้ร้อยละ 55 และการใช้ PACI ร่วมกับ PAC และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลดค่า fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด ได้ใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 55 และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด ได้ 63 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.48b)

จากข้างต้นกล่าวได้ว่าการใช้สาร PACI เพียงอย่างเดียวลดสารกลุ่มเทปโตฟาน ได้ค่อนข้างน้อยแต่ลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิดได้ดีผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ USEPA, (1998) ซึ่งกล่าวว่าการโคแอกกูเลชันสามารถลด humic like และ สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ดีและการใช้ Ozone ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด ได้เป็นอย่างดี สำหรับการลดลงของ total fluorescent organic matter พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 28 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ PAC สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 31 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 36 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 42 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 41 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.48c)

จากตารางที่ 4.22 พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC และ PACI ร่วมกับ polymer ตลอดจน PACI ร่วมกับ polymer และ PAC และ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโตฟาน ได้เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมด้วยการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว 4, 12, 17 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC และ PACI ร่วมกับ polymer และ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด ได้เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมเพียงเล็กน้อย แต่ การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟุลวิกแอซิด ได้เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสม 8 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.21 ค่า Fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptophan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูฝน

ตัวอย่างน้ำ	Peak A (240nmEx/ 350nmEm) (QSU)	Peak B (280nmEx/ 360nmEm) (QSU)	Peak C (280nmEx/ 350nmEm) (QSU)	Peak D (280nmEx/ 410nmEm) (QSU)	Tryptophan- like substance (A+B+C)	Humic and fulvic-like substance (QSU)	Total fluorescent intensities (QSU)
Raw Water Supply	327	123	246	235	696	235	932
(1) PACl	261	103	200	106	564	106	670
(2) PACl +Polymer	216	91	174	111	482	111	593
(3) PACl +PAC	267	91	180	105	537	105	643
(4) PACl +Polymer+PAC	208	81	158	98	447	98	545
(5) PACl +Polymer+Ozone	212	83	169	87	465	87	551



รูปที่ 4.48 Fluorescent intensities และการลดลงของ fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptophan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูฝน

ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ PACl เพียงอย่างเดียว ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

การทดลอง	ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ PACl เพียงอย่างเดียว (ร้อยละ)		
	Tryptophan-like substance	Humic and Fulvic-like substance	Total fluorescent intensities
(1) PACl	N.A.	N.A.	N.A.
(2) PACl + Polymer	12	N.A.	8
(3) PACl + PAC	4	N.A.	3
(4) PACl + Polymer + PAC	17	3	13
(5) PACl + Polymer + Ozone	14	8	13

N.A. = Not available

สำหรับค่าและการลดลง Fluorescent intensity ของ กลุ่มเทปโทฟาน และกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทดลองของฤดูแล้ง แสดงในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.49

จากรูปที่ 4.49 และ ตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาการลดลงผลรวมของ fluorescent intensity ของ Peak A, B และ C ซึ่งเกิดจากสารกลุ่มเทปโทฟาน พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโทฟาน จาก fluorescent intensity ตั้งต้นที่ 696 QSU คงเหลือ 564 QSU คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลงเท่ากับ 19 และการใช้ PACI ร่วมกับ PAC สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโทฟานได้ 27 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ Polymer สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโทฟาน ได้ 32 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโทฟาน ได้ 39 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโทฟาน ได้ 36 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.49a) สำหรับการลดลงของสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด พบว่า กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลดค่า fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด ได้ 58 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ PAC และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดค่า fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิกแอซิด ได้ 59, 60, 63 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.49b)

สำหรับการลดลงของ total fluorescent organic matter พบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 32 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ PAC สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 37 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 41 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 47 เปอร์เซ็นต์และการใช้ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลด total fluorescent organic matter ได้ 42 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.49c)

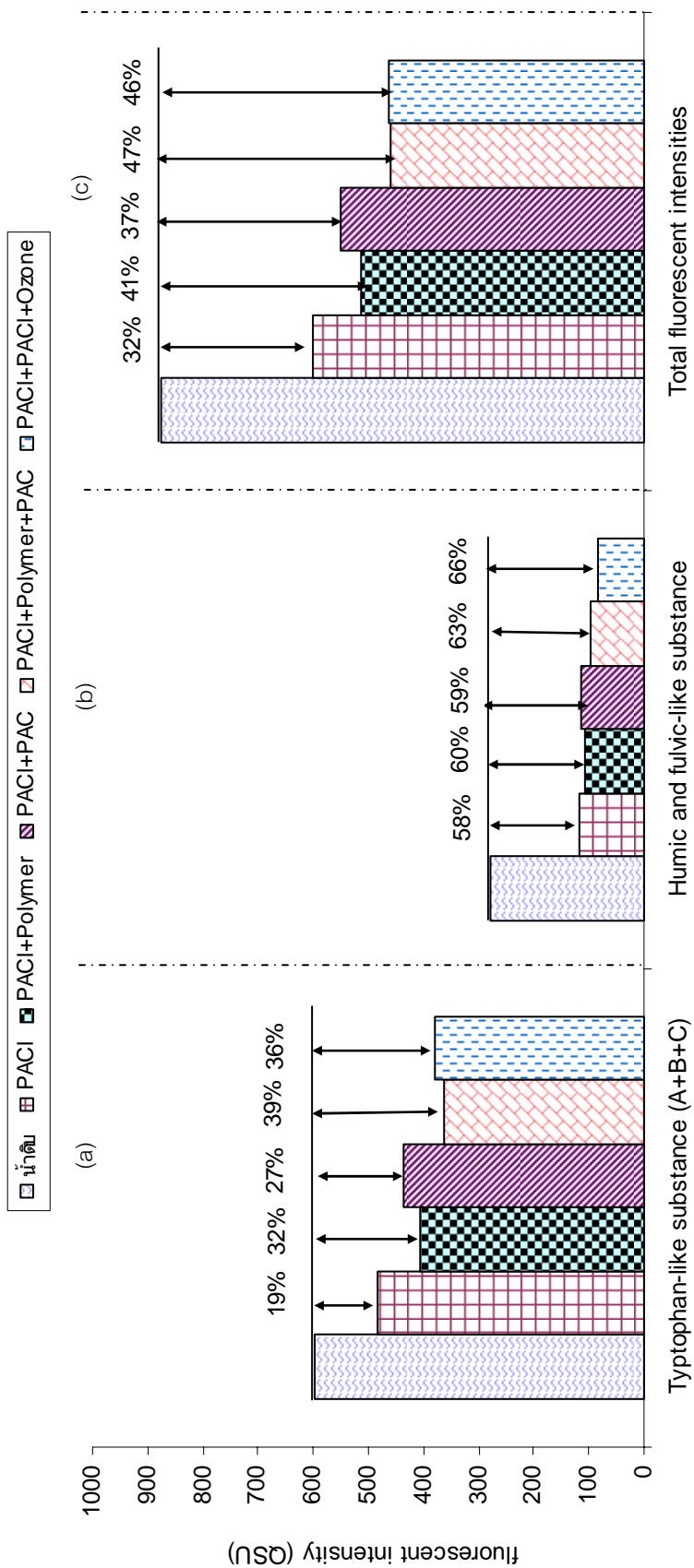
จากตารางที่ 4.24 พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC และ PACI ร่วมกับ polymer ตลอดจน PACI ร่วมกับ polymer และ PAC และ PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดค่าผลรวมของ fluorescent intensity ของสารกลุ่มเทปโทฟาน ได้เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมด้วยการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว 8, 13, 20 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

ด้วย PACI ร่วมกับ PAC และ PACI ร่วมกับ polymer และ PACI ร่วมกับ polymer และ PAC สามารถลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิด ได้เพิ่มขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสมเพียงเล็กน้อย แต่ การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer และ Ozone สามารถลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิด ได้เพิ่มขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสม 8 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองทั้งสองฤดูกาลสามารถกล่าวได้ว่า น้ำดิบประปาบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาคลองอยู่ตะกามีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มกลุ่มเทปโตฟาน และกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิด จากแหล่งกำเนิดที่ไม่ทราบตำแหน่งแน่นอนและแหล่งกำเนิดที่ทราบตำแหน่งแน่นอน การโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียว ลดค่า fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิดได้ดี แต่สามารถลดค่าสารกลุ่มเทปโตฟานได้น้อย กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชันด้วย polymer และ PAC ลด fluorescent intensity ของสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิดได้น้อยมาก แต่สามารถลดค่าดังกล่าวของสารกลุ่มเทปโตฟานได้เป็นอย่างดี และการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย Ozone สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดสารกลุ่มเทปโตฟานได้น้อย แต่สามารถลดสารกลุ่มฮิวมิกและฟลูวิคแอซิด ได้ดี

ตารางที่ 4.23 ค่า Fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptphan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent Intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์ได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	Peak A (240nmEx/ 350nmEm) (QSU)	Peak B (280nmEx/ 360nmEm) (QSU)	Peak C (280nmEx/ 350nmEm) (QSU)	Peak D (280nmEx/ 410nmEm) (QSU)	Tryptphan- like substance (A+B+C)	Humic and fulvic-like substance (QSU)	Total fluorescent intensities (QSU)
น้ำดิบประปา	267	112	216	280	596	280	876
(1) PACl	213	94	175	118	482	118	599
(2) PACl +Polymer	174	84	146	113	405	113	518
(3) PACl +PAC	208	79	149	114	436	114	549
(4) PACl +Polymer+PAC	156	72	134	104	362	104	467
(5) PACl +Polymer+Ozone	168	73	140	96	380	96	476



รูปที่ 4.49 Fluorescent intensities และการลดลงของ fluorescent intensities ของสารกลุ่ม tryptophan-like, humic and fulvic-like substances และ total fluorescent intensities ของน้ำที่ผ่านการลดสารอินทรีย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.24 ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

การทดลอง	ประสิทธิภาพการลดที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว (ร้อยละ)		
	Tryptophan-like substance	Humic and Fulvic-like substance	Total fluorescent intensities
(1) PACI	N.A.	N.A.	N.A.
(2) PACI + Polymer	13	2	9
(3) PACI + PAC	8	1	6
(4) PACI + Polymer + PAC	20	5	15
(5) PACI + Polymer + Ozone	17	8	14

N.A. = Not available

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาในฤดูฝนและฤดูแล้ง มีรายละเอียดดังนี้

- สภาพที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าปริมาณ PACI 40 mg/L ค่า pH เท่ากับ 7 และการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารเพิ่มประสิทธิภาพ มีสภาวะดังต่อไปนี้ Polymer มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 mg/L และ ปริมาณ PAC เท่ากับ 80 mg/L และ ปริมาณ Ozone เท่ากับ 132 mg/hr ที่เวลาสัมผัส 30 นาที
- กำจัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI สามารถ HPO ได้มากกว่า HPI โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer และ Ozone สามารถลด HPO ได้ดีกว่า HPI และ การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PAC สามารถลด HPI ได้ดีกว่า HPO
- จากการศึกษาปริมาณสารก่อมะเร็ง พบว่าในทุกตัวอย่างน้ำ มีค่า THMFP_{HPI} มากกว่า THMFP_{HPO} และ CHCl₃ เป็นสารประกอบหลักของ THMs (ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ CHCl₂Br, CHClBr₂ และ CHClBr₂ ตามลำดับ
- การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer และ PAC หรือ Ozone สามารถลด THMFP_{HPO} ได้มากกว่า THMFP_{HPI} ในทุกกระบวนการทดลอง
- ผลจากการศึกษา พบว่า การลดสารประกอบ THMs ในทุกกระบวนการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ HPO มากกว่า HPI และ การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ PAC และ การโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ Polymer และ Ozone ของทั้ง 2 ฤดู สามารถลดสารประกอบของ THMs ได้ตามกำหนดของ WHO (1994)

- Fluorescent excitation-emission matrix (FEEM) ของตัวอย่างน้ำดิบและน้ำดิบที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตรวจพบตำแหน่งความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนที่ตรวจพบทั้งสี่ตำแหน่ง Peak A: 240nm_{Ex}/350nm_{Em} Peak B: 260nm_{Ex}/360nm_{Em} Peak C: 280nm_{Ex}/350nm_{Em} Peak D: 280nm_{Ex}/410nm_{Em} ซึ่งเป็นตัวแทนของ Humic and fulvic acid-like substance และ peak A, B และ C เป็นตัวแทนของกลุ่ม Trypohan-like substance
- จากการศึกษาการลดลงของ FEEM พบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวสามารถสลายกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance ได้ดีแต่ลดสลายกลุ่ม Trypohan-like substance ได้น้อย การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer และ PAC สามารถเพิ่มการลดลงของกลุ่ม Trypohan-like substance ได้ดีและ Ozone การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย สามารถลดสลายกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance ได้ดีกว่า Trypohan-like substance

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองของการศึกษาลักษณะของน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาโดยแสดงการกระจายของสารอินทรีย์และค่า THMFP และสารประกอบ THMs และค่า Specific THMFP และลักษณะของกลุ่มสารอินทรีย์ที่ตรวจพบโดยวิธี FEEM มีผลการทดลองซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างชัดเจนรวมถึงความสามารถของการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำที่แสดงออกมาในการทดลองทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง อย่างไรก็ตาม เพื่อความสมบูรณ์ในการศึกษาต่อไปในอนาคตควรมีการเพิ่มรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

- การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับสารเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน เพื่อลดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำ เช่น ถ่านกัมมันต์แบบประเภทต่างๆ หรือกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตน้ำประปา

- ศึกษาผลกระทบทางด้านระบาดวิทยา ที่เกิดจากสารประกอบ THMs ที่คงเหลือในน้ำประปาเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง เพื่อแสดงถึงความจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นในน้ำดิบประปาเพื่อลดสารก่อมะเร็ง
- การใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อลดสารกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance เนื่องจากในทุกกระบวนการทดลองในการศึกษานี้ ลดสารกลุ่ม Tryptophan-like substance ได้ดีแต่ลดสารกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance ได้เพียงเล็กน้อย
- ศึกษาแหล่งที่มาแบบทราบตำแหน่งและไม่ทราบตำแหน่ง ที่เป็นต้นเหตุของการปนเปื้อนสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา ตลอดจนความเป็นไปได้ในการย้ายตำแหน่งจุดสูบน้ำดิบประปาใหม่เพื่อลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ณ แหล่งกำเนิด รวมถึงค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัดของระบบการผลิตน้ำประปา

เอกสารอ้างอิง

- กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. 2539. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแอกติเวเต็ดสแต็คซ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2536. หลักการและมาตรการป้องกันภัยจากคลอรีน. (หน้า 3-15). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์การศาสนา.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2536. วิศวกรรมประปา (หน้า 145). กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์.
- โกมล สีวะบวร, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ และ สุวิทย์ ชุมนุมศิริวัฒน์. 2524. การประปาเบื้องต้น. ภาควิชาสาขาวิชาวิศวกรรม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, หน้า 63-79
- จังหวัดสงขลา. 2544-2552. ข้อมูลจังหวัดสงขลา ปี 2544-2552. จังหวัดสงขลา.
- จิรัชยา สุขทรัพย์สร้าง, ศรชัย ชัยชำนาญ, อลิยา จตุรพฤกษ์. 2544. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ไพศาล วีรกิจ. การเลือกระบบการเติมคลอรีน Chlorination Systems. Thai Environmental Engineering. 2539. Vol. 10(4) : 23 – 24.
- มันสิน ตันจุลเวศน์. 2526. วิศวกรรมการประปา เล่ม 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วัฒน์ชัย เหมือนทอง. 2536. การลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุพร สาครอรุณ. 2530. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอรีนแบบพรีคลอรีนชั้น และ โปสคลอรีนชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหิดล.
- Amy, G.L., 1993. Using NOM Characterization for the Evaluation of Treatment. Proceeding of the Natural Organic Matter (NOM) workshop. *J.AWWA* (11):19-22
- AWWA. 1993. Characterization of Natural Organic Matter and its Relationship to treatability, 1st ed., AWWA, USA.

- Babcock, D.B. and Singer P.C. 1979. Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acid.
Journal of American Water Works Association. 71: 149.
- Berger, B.B. 1987. Control of substances in Water and Wastewater. New Jersey : Noyes Data
Cooperation.
- Bin Xu, Nai-Yun Gao, Xiao-Feng Sun, Sheng-Ji Xia, Marie-Odile Simonnot, Christel
Casserrand, Min Rui and Hai-Hui Wu. 2007. Characteristics of organic material in Hangpu
River and treatability with the O₃-BAC process. Separation and Purification Technology
57:348-355
- Bunn, W.W., Haas, B.B., Deane, E.R. and Kleopfer, R .D. 1975. Formation of Trihalomethanes
by Chlorination of Surface Water. Environment Letter.10 : 205.
- Canada, April 1999. Summary of Guidelines for Canadian Drinking Water Quality of the Federal-
Provincial Committee on Environment and Occupational Health, Canada
- Chaisri SUKSAROJ, Payom RATANAMANEE, Charongpun MUSIKAVONG, Suraphong
WATTANACHIRA. 2008. The Determination of Tryptophan and Humic and Fulvic acid-
like substance Reduction in Raw Water from U-tapao Basin Thailand with Alum
coagulation. Natural Organic Matter :From Source to tap., IWA, 2-4 September 2008, Bath,
UK
- Cheng, R.C., Krasner, S.W., Green, J.F. and Wattier, K.L. 1995. Enhanced coagulation: a
preliminary evaluation. Journal of American Water Work Association (2):91-103.
- Chow, C.W.K., Fabris, R., Drikas, M., Holmes, M., 2005. A case study of treatment performance
and organic character. J. Water Supply Res. Technol.-AQUA 54 (6), 385–395.
- Crozes, G. , White, P.N. , and Marshall, M. 1995. Enhanced Coagulation: its effect on NOM
Removal and Chemical Costs. Jurnal AWWA. Vol. 87: No. 1: pp.78-89.
- Eaton A. 1995. Measuring UV-absorbing organic: A standard method. Journal of American
Water Work Association. (2): 86-90.
- Edwards, A.G., Amirtharajah, A. 1985. Removing Color Caused by Humic Acids. Journal of
American Water Works Association. 77(3) : 50-7.
- Edzwald; J.K., Becker, W.C., and Wattier, K. 1985. Surrogate parameters for monitoring organic
matter and THM precursors. J.AWWA. 4:122-132

European Union (EU), 98/83/EC of 3 November, 1998 on the Quality of Water Intended for Human Consumption

Fearing, D.A., Goslan, E.H., Banks, J., Wilson, D., Hillis, P., Campbell, A.T., Parsons, S.A., 2004. Staged coagulation for treatment of refractory organics. J. Environ. Eng., ASCE 130 (9), 975–982.

Homklin, S. 2004. Removal of hydrophobic and hydrophilic dissolved organic matters in natural water by alum coagulation. Master thesis. Chulalongkorn University, Thailand.

Huseyin Selcuk, Luigi Rizzo, Anastasia N. Nikolaou, Sureyya Meric, Vincenzo Belgiorno, Miray Bekbolet., 2007. DBPs formation and toxicity monitoring in different origin water treated by ozone and alum/PAC coagulation. Desalination 210 (2007), 31-43

Huseyin Selcuk, Luigi Rizzo, Anastasia N. Nikolaou, Sureyya Meric, Vincenzo Belgiorno, Miray Bekbolet., 2007. DBP formation and toxicity monitoring in different origin water treated by ozone and alum/PAC coagulation. Desalination 210 (2007) p31-43.

IARC. 1991. Monographs on evaluation of carcinogenic risks of chemicals to humans: Chlorinated drinking water; Chlorination by-product; some other halogenated compounds; cobalt and cobalt compounds. International Agency for Research on Cancer, Lyon

IPCS. 1994. Environmental health Criteria 163: Chloroform. Geneva: Available: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc163.htm>

IPCS. 2000. Environmental health Criteria 163: Disinfectants and Disinfectant by-product Available: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc216.htm> Part Number 8

Jacangelo, J.G., DeMarco, J., Owen, D.M. and Randtke, S.J. 1995. Selected Processes for Removing NOM: and overview. Journal AWWA. Vol.87: No. 1: pp.64-77.

Kajino, M. and Yagi, M. 1980. Formation of Trihalomethanes During Chlorination and Determination of Halogenated Hydrocarbons in Drinking Water. Quoted in Hydrocarbons and Halogenated Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Edited by Afghan BK. and Mackay D., Miami : Plenum Publishing Corp.: 491 – 506.

Kavanaugh, M.C., 1978. Modified Coagulation for Improved of Trihalomethane Precursors. Journal of American Water Works Association. 70(2): 613 – 20.

Kawamura, S. 1991. Integrated Design of water treatment facilities. New York: Wiley-Interscience.

- Kim, H.C., Yu, M.J., 2005. Characterization of natural organic matter in conventional water treatment processes for selection of treatment processes focused on DBPs control. *Water Res.* 39 (19), 4779–4789.
- LaGrega M.D., Buckingham P.L., Evans J.C., Hazardous Waste Management, 2 nd edition, McGraw-Hill inc, 2001
- Leenheer , J.A., Noyes, T.I. and Steer, H.A. 1982. Determine of Polar Oraganic Solute in Oil-Shale Report Water. *Environ. Sci.Technol.* 16(10):714-723
- Leenheer, J.A. and Noyes, T.I. 1984. A Filtration of Organic Substance from Large Volume of Water. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2230, U.S. Govt. Printing office Washington, D.C.
- Marhaba T.F. and Washington M.B. 1998. Drinking water disinfection byproducts: history and current practice. *Advance Environmental Research.* 2 (1): 103–115.
- Marhaba, T. F. and Pipada, N. S. 2000. Coagulation: effectiveness in removing dissolved organic matter fractions. *Environmental Engineering Science.* 17(2): 107-115.
- Maria Tomaszewska, Sylwia Mozia, Antoni W.Morawski. 2004. Removal of organic matter by coagulation enhanced with adsorption on PAC, *Desalination* 161:79-87
- Matilainen, A., Lindqvist, N., Tuhkanen, T. 2005. Comparison of the efficiency of aluminium and ferric sulphate in the removal of natural organic matter during drinking water treatment process. *Environ. Technol.* 26 (8), 867–875.
- Metcalf and Eddy . Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th edition, McGraw-Hill inc, 2001
- Musikavong C. 2007. Characterization of fractionated dissolved organic matter in industrial estate wastewater by srectrofluorometry and pyrolysis GC/ MS analysis. *Ph.D Dissertation*. Inter-Department Program in Environmental Management, Chulalongkorn University
- Muttamara, S.Sakes, C.I. and Gazali, Z.1995. The Formation of Trihalomethane from Chemical Disinfectants and Humic Substances in Drinking Water. *Water Supply.*13(2):105-117
Official Journal of Italy, 25 D.Lgs 31/2001.110 (2001)
- Owen, D.M., Amy, G.L., Chowdhury, Z.K., Paode., McCoy, G., and Viscosil, K. 1995. NOM characterization and treatability. *Journal AWWA.* Vol. 87: No. 1: PP.46-63

- Panyapinyopol 2004. Characterization treatment and removal of trihalomethane precursors in Bangkok water sources. Ph.D Dissertation. Inter-Department Program in Environmental Management, Chulalongkorn University, Thailand
- REAL DECRETO, 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, Spanish Transposition of Directive 98/83/EC.
- Rebhun, M. and Lurie, M.(1993). Control of Organic Matter by Coagulation and Flocculation. Water Science Technology. 27(11):1-20.
- Recknow, D.A., Bose, P., Bezbarua, B., Hesse, E.M. and Mxknight, A.P. 1992. Transformations of Natural Organic Material During Preozonation. EPA Report. USEPA, Drinking Water Research Division, Cincinnati, Ohio.
- Reynolds, D.T. and Richards, A.P. Unit operation and process in environmental engineering. 2nd U.S.:PWS publishing Company, 1996.
- Rook J.J. (1977). Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters. Environmental Engineering Science. 11(5): 478-482.
- Rosenblast, D.H., (1975). Chlorine and Oxychlorine Species Reactivity with Organic Substances. quoted in Johnson, J.D., Disinfection : Water and Wastewater. (pp 249-276). Michigan : Ann Arbor Science Publisher, Inc.
- Schnitzler, M. and Khan, S.U. 1972. Humic Substances in The Environment. New York :Marcel Dekker.
- Singer, P.C., 1993. Trihalomethanes and Other By-products Formed by Chlorination of Drinking Water. Keeping Pace with Science and Engineering: 141-164.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*: 1995 19th edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.
- Steven, A.A., et al. 1976. Chlorination of Organic in Drinking Water, Journal of American Water Works Association. 68 : 615.
- Thurman, E.M. 1985. Organic Geochemistry of Natural Waters. Marinus Nijhoff/Dr.W.Junk, Dordrecht. The Netherlands
- Thurman, E.M. and Malcolm, R.L. 1981. Preparative isolation of aquatic humic substances. Environmental Science and Technology. 15 (4): 463–466.

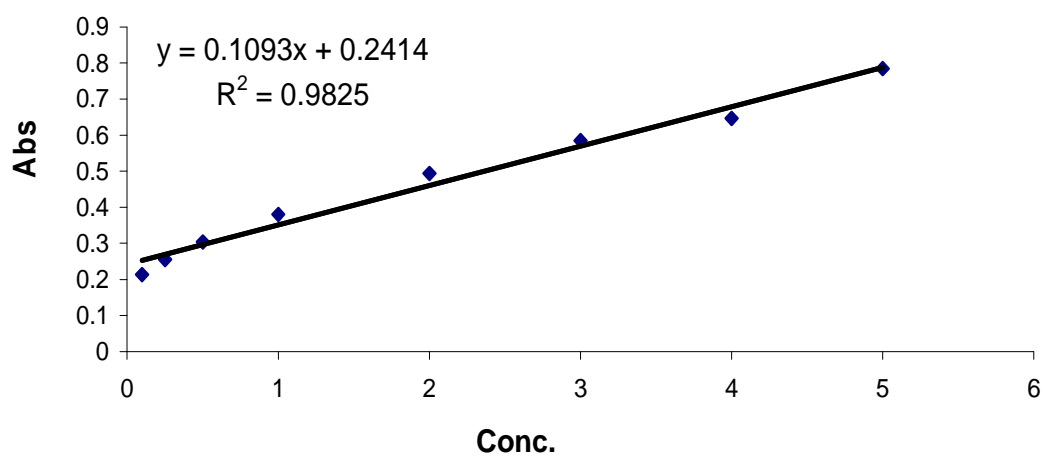
- Trusell, R.R. and Umphres M.D. 1978. The Formation of Trihalomethanes. Journal of American Water Works Association. 70 (11):604 – 612.
- Turkish Water Consumption Regulation (TWCR) 25730, Ankara, Turkey, 2005
- Unai Iriarte-Velasco, Jan I.Alvarez-Uriarte, Juan R.Gonzalez-Velasco., 2007. Enhanced coagulation under changing alkalinity-hardness conditions and its implications on trihalomethane precursors removal and relationship with UV absorbance. Separation and Purification Technology 55 (2007), 368-380
- Unai Iriarte-Velasco, Jon I.Alvarez-Uriarte, Juan R. Gonzalez-Velasco. 2007. Enhanced coagulation under changing alkalinity-hardness conditions and its implications on trihalomethane precursors removal and relationship with UV absorbance. Separation and Purification Technology 55 (2007) 368-380
- USEPA. 1999. Enhanced coagulation and enhanced precipitative softening guidance manual: Office of water (4607) [Online]. Available online from: <http://www.epa.gov> [2001, November 10]
- USEPA (2007). List of Contaminants & their Maximum Contaminant Level [Online] Available online from : <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#mcls> [2007, September 30]
- Vik, E.A., Calson, D.A., Eikum, A.S. and Gjessing, E.T. 1985. Removing Aquatic Humus From Norwegian Lakes. Journal of American Water Works Association.77 (3):58 – 66.
- Wattanachira S., Musikavong C., Permsuk O., and Pavasant P., 2004. Removal of Surrogates for Natural Organic Matter and the Probability of finding Trihalomethaes in the Produced Water Supply from Small Waterworks in Chiang Mai, Thailand. Songklanakarin J.Sci. Technol., 26(Suppl.-1):25-35

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Calibration data และ curve

conc.	UV-515 (nm) ครั้งที่ 1	UV-515 (nm) ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.1	0.213	0.214	0.2135
0.25	0.254	0.256	0.255
0.5	0.304	0.303	0.3035
1	0.378	0.383	0.3805
2	0.492	0.496	0.494
3	0.586	0.584	0.585
4	0.648	0.645	0.6465
5	0.781	0.789	0.785



รูปที่ ก.1 Calibration curve ของ free chlorine residual

Calibration

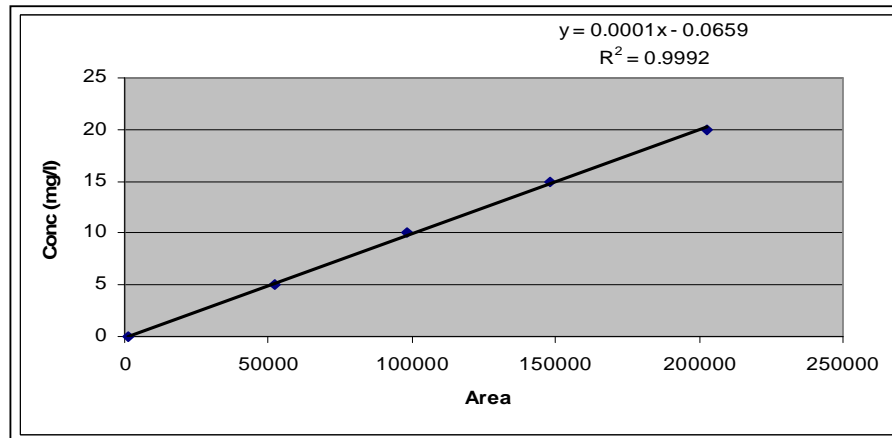
Std. #	Use	Concentration (ppm)	Volume (ml)	Area Counts per Rep
1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	10.000	Rep 1 - 1271
2	<input checked="" type="checkbox"/>	5.000	10.000	Rep 1 - 51496
3	<input checked="" type="checkbox"/>	10.000	10.000	Rep 1 - 96620
4	<input checked="" type="checkbox"/>	15.000	10.000	Rep 1 - 145612
5	<input checked="" type="checkbox"/>	20.000	10.000	Rep 1 - 200199

Cal. Mode: TIC TOC TC
Allow Editing: Yes No
RF Calculation: Automatic Manual

RF (ugC/k-ct): 0.000
 R² Value: 0.9998
 Offset (ugC): 0.000
 Offset (ct): 0

Calibration: 210752p

Conc	Area
0	1287
5	52238
10	98213
15	148230
20	202867



รูปที่ ก.2 Calibration curve ของ TOC, DOC

ตารางที่ ก.1 HP6890 GC method และ Calibration data ของ TTHM

Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\WINTHM1.M of 8/5/2009 2:00:06 PM

Injection Source and Location

Injection Source: HP GC Injector

Injection Location: Back

HP6890 GC METHOD

OVEN

Initial temp: 60 'C (On)	Maximum temp: 300 'C
Initial time: 1.00 min	Equilibration time: 3.00 min
Ramps:	
# Rate Final temp Final time	
1 10.00 100 1.00	
2 10.00 130 1.00	
3 10.00 180 1.00	
4 0.0(Off)	
Post temp: 60 'C	
Post time: 0.00 min	
Run time: 16.00 min	

FRONT INLET (COOL ON COLUMN)

Mode: Oven track
Pressure: 0.00 psi (Off)
Gas type: Helium

BACK INLET (SPLIT/SPLITLESS)

Mode: Split
Initial temp: 225 'C (On)
Pressure: 31.14 psi (On)
Split ratio: 10:1
Split flow: 96.4 mL/min
Total flow: 108.7 mL/min
Gas saver: On
Saver flow: 20.0 mL/min
Saver time: 2.00 min
Gas type: Helium

COLUMN 1

Capillary Column
Model Number: HP 19091J-413
HP-5 5% Phenyl Methyl Siloxane
Max temperature: 325 'C
Nominal length: 30.0 m
Nominal diameter: 320.00 um
Nominal film thickness: 0.25 um
Mode: constant flow
Initial flow: 9.6 mL/min
Nominal init pressure: 31.15 psi
Average velocity: 100 cm/sec
Inlet: Back Inlet
Outlet: Back Detector
Outlet pressure: ambient

COLUMN 2

(not installed)

FRONT DETECTOR (FID)

Temperature: 250 'C (Off)
Hydrogen flow: 40.0 mL/min (Off)
Air flow: 450.0 mL/min (Off)
Mode: Constant makeup flow
Makeup flow: 45.0 mL/min (Off)
Makeup Gas Type: Nitrogen
Flame: Off
Electrometer: Off
Lit offset: 2.0

BACK DETECTOR (μ ECD)

Temperature: 300 'C (On)
Mode: Constant makeup flow
Makeup flow: 60.0 mL/min (On)
Makeup Gas Type: Nitrogen
Electrometer: On

SIGNAL 1

Data rate: 20 Hz
Type: back detector
Save Data: On

SIGNAL 2

Data rate: 20 Hz
Type: front detector
Save Data: Off

Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\WINTHM1.M of 8/5/2009 2:00:06 PM

Zero: 0.0 (Off)
Range: 0
Fast Peaks: Off
Attenuation: 0

Zero: 0.0 (Off)
Range: 0
Fast Peaks: Off
Attenuation: 0

COLUMN COMP 1
Derive from back detector

COLUMN COMP 2
Derive from front detector

POST RUN
Post Time: 0.00 min

TIME TABLE
Time Specifier Parameter & Setpoint

7673 Injector

Front Injector:
No parameters specified

Back Injector:
Sample Washes 3
Sample Pumps 5
Injection Volume 1.0 microliters
Syringe Size 10.0 microliters
PostInj Solvent A Washes 3
PostInj Solvent B Washes 0
Viscosity Delay 0 seconds
Plunger Speed Fast
PreInjection Dwell 0.00 minutes
PostInjection Dwell 0.00 minutes

Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\WINTHM1.M of 8/5/2009 2:00:06 PM

```

=====
                        Calibration Table
=====
THMs for Bromoflorobenzene 400 ug/L

Calib. Data Modified   :      8/5/2009 2:00:01 PM

Calculate              :      Internal Standard
Based on              :      Peak Area

Rel. Reference Window :      5.000 %
Abs. Reference Window :      0.000 min
Rel. Non-ref. Window  :      5.000 %
Abs. Non-ref. Window  :      0.000 min
Uncalibrated Peaks    :      not reported
Partial Calibration    :      Yes, identified peaks are recalibrated
Correct All Ret. Times:      No, only for identified peaks

Curve Type            :      Linear
Origin                :      Included
Weight                :      Equal

Recalibration Settings:
Average Response      :      Average all calibrations
Average Retention Time:      Floating Average New 75%

```

```

Calibration Report Options :
  Printout of recalibrations within a sequence:
    Calibration Table after Recalibration
    Normal Report after Recalibration
  If the sequence is done with bracketing:
    Results of first cycle (ending previous bracket)

```

Default Sample ISTD Information (if not set in sample table):

```

ISTD  ISTD Amount  Name
#      [ug/L]
----|-----|-----
  1    400.00000  Bromofluorobenzene

```

Signal 1: ECD1 B,

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [ug/L]	Area	Amt/Area	Ref Grp Name
0.598	1 1	25.00000	1903.59595	1.31330e-2	+ 1 Chloroform
	2	50.00000	2829.75073	1.76694e-2	
	3	100.00000	4054.53003	2.46638e-2	
	4	300.00000	1.42804e4	2.10079e-2	
	5	500.00000	2.15379e4	2.32149e-2	
	6	700.00000	2.59516e4	2.69733e-2	
	7	1000.00000	3.80743e4	2.62644e-2	
0.687	1 1	25.00000	1.88183e4	1.32849e-3	+ 1 Bromodichloroform
	2	50.00000	2.99631e4	1.66872e-3	
	3	100.00000	4.63666e4	2.15672e-3	
	4	300.00000	1.57995e5	1.89880e-3	
	5	500.00000	2.47386e5	2.02113e-3	
	6	700.00000	2.96656e5	2.35964e-3	
	7	1000.00000	4.35203e5	2.29778e-3	
1.029	1 1	25.00000	2.17847e4	1.14759e-3	+ 1 Chlorodibromoform
	2	50.00000	3.75743e4	1.33070e-3	
	3	100.00000	5.71430e4	1.74999e-3	
	4	300.00000	1.93973e5	1.54661e-3	
	5	500.00000	2.99883e5	1.66732e-3	
	6	700.00000	3.67176e5	1.90644e-3	
	7	1000.00000	5.29027e5	1.89026e-3	
1.235	1 1	25.00000	9655.47070	2.58921e-3	+ 1 Bromoform
	2	50.00000	1.67460e4	2.98579e-3	
	3	100.00000	2.44439e4	4.09100e-3	
	4	300.00000	7.84040e4	3.82634e-3	
	5	500.00000	1.19930e5	4.16909e-3	
	6	700.00000	1.49597e5	4.67924e-3	
	7	1000.00000	2.08135e5	4.80458e-3	

Instrument 1 8/5/2009 2:01:24 PM Kamonnawin Inthanuchit

Page 3 of 4

Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\WINTHM1.M of 8/5/2009 2:00:06 PM

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [ug/L]	Area	Amt/Area	Ref	Grp Name
1.461	1	1	400.00000	922.00507	4.33837e-1	I1 Bromofluorobenzene
		2	400.00000	924.75024	4.32549e-1	
		3	400.00000	932.40399	4.28999e-1	
		4	400.00000	927.80762	4.31124e-1	
		5	400.00000	934.72882	4.27932e-1	
		6	400.00000	929.16492	4.30494e-1	
		7	400.00000	927.85150	4.31103e-1	

=====
Peak Sum Table
=====

No Entries in table
=====

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลน้ำดิบจากคลองอุตะเกาทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

พารามิเตอร์	ฤดูกาล	
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
พีเอช(pH)	6.9	6.7
ความขุ่น(NTU)	290	21.5
Suspended Solid (mg/L)	272	66
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃ /L)	24	26.1
D.O.	5	4.6
UV-254(1/cm)	0.112	0.228
DOC (mg/L)	10.67	6.87
SUVA(L/mg-m)	1.1	3.3

ตารางที่ ข.2 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ PACl (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0	0.112	0	0.112	0
5	0.105	6	0.085	24	0.068	39
10	0.101	10	0.082	27	0.064	43
20	0.094	16	0.067	40	0.062	45
30	0.098	13	0.059	47	0.06	46
40	0.085	24	0.056	50	0.058	48

ตารางที่ ข.3 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Polymer (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0	0.112	0	0.112	0
0.2	0.11	2	0.093	17	0.083	26
0.4	0.099	12	0.092	18	0.08	29
0.6	0.098	13	0.09	20	0.089	21
0.8	0.096	14	0.086	23	0.083	26
1	0.095	15	0.081	28	0.082	27

ตารางที่ ข.4 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ PACI (mg/L)	pH 7	
	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0
5	0.085	24
10	0.082	27
20	0.067	40
30	0.059	47
40	0.056	50
40 ร่วมกับ polymer 1 mg/L	0.051	54

ตารางที่ ข.5 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0
PACl 40 mg/L+ PAC 10 mg/L	0.073	35
PACl 40 mg/L+ PAC 20 mg/L	0.072	36
PACl 40 mg/L+ PAC 40 mg/L	0.07	38
PACl 40 mg/L+ PAC 60 mg/L	0.069	38
PACl 40 mg/L+ PAC 80 mg/L	0.041	63

ตารางที่ ข.6 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 5mg/L	0.054	52
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 10 mg/L	0.053	53
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 15 mg/L	0.051	54
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 20 mg/L	0.05	55
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 40 mg/L	0.049	56
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 60 mg/L	0.048	57
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L	0.031	72

ตารางที่ ข.7 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0
72	0.078	30
96	0.051	54
132	0.037	67

ตารางที่ ข.8 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.112	0
72	0.061	46
96	0.045	60
132	0.029	74

ตารางที่ ข.9 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ PACl (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	10.7	0	10.7	0	10.7	0
5	7.2	33	6.6	38	6.0	44
10	7.1	33	6.6	38	5.7	47
20	6.8	36	5.5	48	5.2	51
30	6.4	40	5.1	52	5.1	52
40	6.6	38	4.9	54	5.0	53

ตารางที่ ข.10 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Polymer (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	10.7	0	10.7	0	10.7	0
0.2	10.6	1	10.5	1	10.2	4
0.4	10.6	1	10.3	3	10.1	6
0.6	10.4	2	9.8	8	9.9	7
0.8	10.3	3	9.8	8	9.8	9
1	10.1	5	9.7	9	9.7	9

ตารางที่ ข.11 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ PACI (mg/L)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซนต์ลดลง
น้ำดิบ	10.7	0
5	6.6	38
10	6.6	38
20	5.5	48
30	5.1	52
40	4.9	54
40+polymer 1 mg/L	4.7	56

ตารางที่ ข.12 DOC คงเหลือ, เปอร์เซนต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซนต์ลดลง
น้ำดิบ	10.7	0
PACI 40 mg/L+ PAC 10 mg/L	3.0	72
PACI 40 mg/L+ PAC 20 mg/L	2.9	73
PACI 40 mg/L+ PAC 40 mg/L	2.9	73
PACI 40 mg/L+ PAC 60 mg/L	2.6	75
PACI 40 mg/L+ PAC 80 mg/L	2.4	77

ตารางที่ ข.13 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และpolymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ โคแอกกูแลนต์	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	10.7	0
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 5mg/L	2.8	74
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 10 mg/L	2.6	75
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 15 mg/L	2.3	79
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 20 mg/L	2.3	79
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 40 mg/L	2.1	80
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 60 mg/L	1.7	84
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L	1.4	87

ตารางที่ ข.14 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และpolymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	10.7	0
72	4.4	58
96	4.3	60
132	4.2	61

ตารางที่ ข.15 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และ polymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์กำจัด
น้ำดิบ	10.7	0
72	4.1	61
96	2.8	74
132	1.2	89

ตารางที่ ข.16 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ PACl (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0	0.228	0	0.228	0
5	0.172	25	0.114	50	0.131	43
10	0.139	39	0.113	50	0.129	43
20	0.134	41	0.111	51	0.121	47
30	0.133	42	0.11	52	0.115	50
40	0.129	43	0.108	53	0.112	51

ตารางที่ ข.17 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Polymer (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0	0.228	0	0.228	0
0.2	0.17	25	0.163	29	0.158	31
0.4	0.163	29	0.15	34	0.156	32
0.6	0.155	32	0.147	36	0.146	36
0.8	0.151	34	0.142	38	0.145	36
1	0.149	35	0.14	39	0.144	37

ตารางที่ ข.18 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ PACl (mg/L)	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0
5	0.114	50
10	0.112	51
20	0.11	52
30	0.11	52
40	0.108	53
40+polymer 1 mg/L	0.098	57

ตารางที่ ข.19 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0
PACI 40 mg/L+ PAC 10 mg/L	0.106	54
PACI 40 mg/L+ PAC 20 mg/L	0.104	54
PACI 40 mg/L+ PAC 40 mg/L	0.101	56
PACI 40 mg/L+ PAC 60 mg/L	0.098	57
PACI 40 mg/L+ PAC 80 mg/L	0.089	61

ตารางที่ ข.20 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และ polymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 5mg/L	0.103	55
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 10 mg/L	0.101	56
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 15 mg/L	0.098	57
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 20 mg/L	0.087	62
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 40 mg/L	0.086	62
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 60 mg/L	0.083	64
PACI 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L	0.071	69

ตารางที่ ข.21 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0
72	0.214	6
96	0.101	56
132	0.072	68

ตารางที่ ข.22 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ โคลแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0
72	0.103	55
96	0.082	64
132	0.062	73

ตารางที่ ข.23 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ โคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	0.228	0
72	0.115	50
96	0.093	59
132	0.081	64

ตารางที่ ข.24 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	UV-254 (cm^{-1})	เปอร์เซ็นต์กำจัด
น้ำดิบ	0.228	0
72	0.147	36
96	0.128	44
132	0.119	48

ตารางที่ ข.25 UV-254 คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลง UV-254 กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ร่วมกับ กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	ปริมาณ Ozone	pH 7	
		UV-254 (cm ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์กำจัด
น้ำดิบ	น้ำดิบ	0.228	0
72	5	0.107	53
96	10	0.098	57
132	20	0.072	68

ตารางที่ ข.26 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ PACI (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0	6.9	0	0.0	0
5	4.9	29	2.8	59	29.4	29
10	4.7	31	2.7	61	34.9	35
20	4.4	37	2.5	63	37.1	37
30	3.9	43	2.4	66	47.3	47
40	3.7	46	3.0	57	53.6	54

ตารางที่ ข.27 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย
Polymer เพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Polymer (mg/L)	pH 8.5		pH 7		pH 5.5	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0	6.9	0	6.9	0
0.2	6.8	0	6.8	1	6.7	2
0.4	6.8	1	6.0	13	6.7	2
0.6	6.7	3	5.9	14	6.4	6
0.8	6.5	5	5.9	15	6.3	8
1	6.2	9	5.8	15	6.1	11

ตารางที่ ข.28 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI
ร่วมกับ polymer ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ PACI (mg/L)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
5	5.8	15
10	5.6	18
20	5.3	23
30	4.4	36
40	3.3	52
40+polymer 1 mg/L	2.8	59

ตารางที่ ข.29 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
PACl 40 mg/L+ PAC 10 mg/L	6.7	2
PACl 40 mg/L+ PAC 20 mg/L	6.4	6
PACl 40 mg/L+ PAC 40 mg/L	5.7	16
PACl 40 mg/L+ PAC 60 mg/L	2.9	58
PACl 40 mg/L+ PAC 80 mg/L	2.1	70

ตารางที่ ข.30 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl และpolymer ร่วมกับ PAC ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณโคแอกกูแลนต์	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 5mg/L	4.7	32
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 10 mg/L	4.4	36
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 15 mg/L	3.6	47
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 20 mg/L	3.4	51
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 40 mg/L	2.4	66
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 60 mg/L	1.9	73
PACl 40 mg/L+ Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L	1.7	76

ตารางที่ ข.31 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของDOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
72	4.4	36
96	4.0	42
132	2.7	61

ตารางที่ ข.32 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI และpolymer ร่วมกับ PAC และ Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูฝน

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
72	4.7	31
96	2.8	60
132	1.2	82

ตารางที่ ข.33 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ร่วมกับ กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
72	3.5	50
96	3.0	57
132	2.6	63

ตารางที่ ข.34 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
72	4.9	29
96	4.1	40
132	3.9	43

ตารางที่ ข.35 DOC คงเหลือ, เปอร์เซ็นต์การลดลง DOC กระบวนการ advanced oxidation process ด้วย Ozone ร่วมกับ กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ของตัวอย่างน้ำในฤดูแล้ง

ปริมาณ Ozone (mg/hr)	pH 7	
	DOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง
น้ำดิบ	6.9	0
72	3.0	57
96	2.9	59
132	2.7	61

ตารางที่ ข.36 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นของการทดลองในฤดูฝน

การทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)		ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)	
		UV-254	DOC	UV-254	DOC
PACl*	PAC 40 mg/L, pH 7	50	54	0	0
Polymer	Polymer 1 mg/L, pH7	28	9	-	-
PACl + Polymer	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L, pH 7	54	56	4	2
PACl + PAC	PACl 40 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	63	77	13	23
PACl + Polymer + PAC	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	72	87	22	33
PACl + Polymer + Ozone	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + Ozone 132 mg/hr 30 นาที, pH 7	67	61	17	7
PACl + Polymer + PAC + Ozone	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L + Ozone 132 mg/hr 30 นาที, pH 7	74	89	24	35

หมายเหตุ : *PACl เป็นสภาวะทั่วไป

ตารางที่ ข.37 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 และ DOC ที่เพิ่มขึ้นของการทดลองในฤดูแล้ง

การทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)		ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)	
		UV-254	DOC	UV-254	DOC
PACl*	PAC 40 mg/L, pH 7	53	57	0	0
Polymer	Polymer 1 mg/L, pH 7	39	15	-	-
Pre-Ozone	Ozone 132 mg/hr 30 นาที, pH 7	48	43	-	-
PACl + Polymer	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L, pH 7	57	59	4	2
PACl + PAC	PACl 40 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	61	70	8	13
PACl + Polymer + PAC	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	69	76	16	19
PACl + Polymer + Ozone	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + Ozone 132 mg/hr 30 นาที, pH 7	68	61	15	4
PACl + Polymer + PAC + Ozone	PACl 40 mg/L + Polymer 1 mg/L + PAC 80 mg/L + Ozone 132 mg/hr 30 นาที, pH 7	73	82	20	25
PACl + Ozone	PACl 40 mg/L + Ozone 132 mg/hr 30 นาที, pH 7	64	63	11	6
Ozone + PACl	Ozone 132 mg/hr 30 นาที + PACl 40 mg/L, pH 7	68	61	15	4

หมายเหตุ : *PACl เป็นสภาวะทั่วไป

ตารางที่ ข.38 การกระจายมวล DOC ของน้ำดิบประปาทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	กลุ่มสารอินทรีย์				
		HPI ¹	HPO ²	HPI+HPO	Total ³	%Diff ⁴
น้ำดิบฤดูฝน	DOC (mg/L)	5.5	4.8	10.3	10.7	4
น้ำดิบฤดูแล้ง	DOC (mg/L)	3.4	3.1	6.5	6.9	5

ตารางที่ ข.39 การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝน

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	กลุ่มสารอินทรีย์				
		HPI ¹	HPO ²	HPI+HPO	Total ³	%Diff ⁴
PACl	DOC (mg/L)	2.8	1.9	4.7	4.9	4
Polymer	DOC (mg/L)	5.1	4.3	9.4	9.7	2
PACl + Polymer	DOC (mg/L)	2.7	1.7	4.5	4.7	5
PACl + PAC	DOC (mg/L)	2.1	1.4	3.5	3.7	5
PACl + Polymer + PAC	DOC (mg/L)	1.2	0.3	1.5	1.4	-3
PACl + Polymer +Ozone	DOC (mg/L)	2.6	1.2	3.8	4.2	9

ตารางที่ ข.40 การกระจายมวล DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	กลุ่มสารอินทรีย์				
		HPI ¹	HPO ²	HPI+HPO	Total ³	%Diff ⁴
PACl*	DOC (mg/L)	1.6	1.3	2.9	3.0	4
Polymer	DOC (mg/L)	3.1	2.3	5.4	5.8	7
PACl + Polymer	DOC (mg/L)	1.5	1.2	2.7	2.8	3
PACl + PAC	DOC (mg/L)	1.4	1.1	2.5	2.7	6
PACl + Polymer + PAC	DOC (mg/L)	1.2	0.6	1.8	1.9	3
PACl + Polymer +Ozone	DOC (mg/L)	1.8	0.7	2.5	2.7	7
PACl + Ozone	DOC (mg/L)	1.6	0.8	2.4	2.6	8
Ozone +PACl	DOC (mg/L)	1.9	0.8	2.7	2.7	0

ตารางที่ ข.41 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารอินทรีย์ Hydrophilic และ hydrophobic ของน้ำตัวอย่าง จากฤดูฝนที่ผ่านกระบวนการทดลอง

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	ฤดูฝน					
		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)			ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)		
		ก่อน fraction	HPI	HPO	ก่อน fraction	HPI	HPO
PACl*	DOC (mg/L)	54	49	59	0	0	0
Polymer	DOC (mg/L)	9	7	9	-	-	-
PACl + Polymer	DOC (mg/L)	56	51	63	2	2	4
PACl + PAC	DOC (mg/L)	65	62	71	11	13	11
PACl + Polymer + PAC	DOC (mg/L)	87	79	93	33	30	34
PACl + Polymer + Ozone	DOC (mg/L)	54	49	59	7	4	15

หมายเหตุ : *PACl เป็นสถานะทั่วไป

ตารางที่ ข.42 เปรี่เซ็นต์การลดลงของสารอินทรีย์ Hydrophilic และ hydrophobic ของน้ำตัวอย่าง จากฤดูแล้งที่ผ่านกระบวนการทดลอง

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	ฤดูแล้ง					
		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)			ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)		
		ก่อน fraction	HPI	HPO	ก่อน fraction	HPI	HPO
PACl*	DOC (mg/L)	57	54	58	0	0	0
Polymer	DOC (mg/L)	15	8	25	-	-	-
PACl + Polymer	DOC (mg/L)	59	55	61	2	1	3
PACl + PAC	DOC (mg/L)	61	58	64	4	4	6
PACl + Polymer + PAC	DOC (mg/L)	73	65	80	16	11	22
PACl + Polymer + Ozone	DOC (mg/L)	61	47	77	4	-7	19
PACl + Ozone	DOC (mg/L)	62	54	73	6	1	15
Ozone + PACl	DOC (mg/L)	61	44	75	4	-10	16

หมายเหตุ : *PACl เป็นสภาวะทั่วไป

ตารางที่ ข.43 THMFP ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในถดฝนและถดฝงจากคลองอู่ตะเภา

ชนิดน้ำ		THMFP (µg/L)				
		Chloroform	Bromodichloromethane	Dibromochloromethane	Bromoform	TTHMFP
น้ำดิบถดฝน	ก่อน fraction	611.2	101.2	28.9	8.4	749.7
	Hydrophilic	323.6	80.8	21.5	6.1	432
	Hydrophobic	287.6	20.4	6.9	1.7	316.6
น้ำดิบถดฝง	ก่อน fraction	438.9	74.3	33.6	10.1	556.9
	Hydrophilic	223.5	58.6	19.4	8.3	309.8
	Hydrophobic	217.3	15.7	11.2	1.9	246.1

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.44 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนจากคลองอู่ตะเภา

ชนิดน้ำ		THMFP (µg/L)				
		Chloroform	Bromodichloromethane	Dibromochloromethane	Bromoform	TTHMFP
PACI*	ก้อน fraction	303.2	64.0	13.2	3.5	383.9
	Hydrophilic	179.3	66.7	10.7	3.2	259.9
	Hydrophobic	116.8	12.3	2.5	ND	131.6
polymer	ก้อน fraction	526.9	95.7	24.5	7.9	655.0
	Hydrophilic	295.8	79.1	19.2	5.5	399.6
	Hydrophobic	248.2	19.4	5.9	1.4	275.0
PACI + Polymer	ก้อน fraction	266.5	56.1	11.7	3.0	337.2
	Hydrophilic	162.8	61.9	9.0	2.6	236.2
	Hydrophobic	105.3	10.6	2.2	ND	118.1

หมายเหตุ : *PACI เป็นสภาวะทั่วไป

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.44 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูฝนจากคลองอุตะเถา (ต่อ)

ชนิดน้ำ		THMFP (µg/L)				
		Chloroform	Bromodichloromethane	Dibromochloromethane	Bromoform	TTHMFP
PACI + PAC	ก้อน fraction	246.3	41.3	8.1	1.7	297.0
	Hydrophilic	146.3	29.4	6.7	1.0	198.5
	Hydrophobic	96.3	11.3	1.4	0.0	98.5
PACI + Polymer + PAC	ก้อน fraction	86.2	20.1	3.0	1.0	110.3
	Hydrophilic	70.9	25.0	3.8	1.4	101.1
	Hydrophobic	18.4	1.7	ND	ND	20.1
PACI + Polymer + Ozone	ก้อน fraction	141.2	32.3	6.1	1.7	181.2
	Hydrophilic	86.4	30.4	7.8	1.8	126.3
	Hydrophobic	55.5	5.4	ND	ND	60.9

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.45 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้งจากคลองอุตะเถา

ชนิดน้ำ		THMFP (µg/L)				
		Chloroform	Bromodichloromethane	Dibromochloromethane	Bromoform	TTHMFP
PAC*	ก่อน fraction	181.3	41.5	14.0	3.8	240.7
	Hydrophilic	113.3	35.3	9.3	4.1	161.9
	Hydrophobic	78.4	7.6	4.2	0.0	90.3
polymer	ก่อน fraction	365.6	69.5	27.5	9.0	471.6
	Hydrophilic	204.1	56.1	16.7	7.9	284.7
	Hydrophobic	186.2	14.1	8.9	1.7	210.9
PACI + Polymer	ก่อน fraction	176.9	39.2	11.4	3.1	230.5
	Hydrophilic	110.2	40.9	7.5	3.5	162.1
	Hydrophobic	78.7	5.1	3.3	0.0	87.1
PACI + PAC	ก่อน fraction	163.3	36.7	9.8	2.6	212.4
	Hydrophilic	104.6	33.5	6.4	3.0	147.5
	Hydrophobic	69.8	5.5	2.9	0.0	78.1

หมายเหตุ : *PACI เป็นสถานะทั่วไป ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.46 THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันในฤดูแล้งจากคลองอู่ตะเภา (ต่อ)

ชนิดน้ำ		THMFP (µg/L)				
		Chloroform	Bromodichloromethane	Dibromochloromethane	Bromoform	TTHMFP
PACl + Polymer + PAC	ก้อน fraction	44.3	13.3	3.3	0.9	61.8
	Hydrophilic	38.2	15.8	2.5	1.4	57.9
	Hydrophobic	8.3	1.2	0.0	0.0	9.5
PACl + Polymer + Ozone	ก้อน fraction	84.3	21.8	5.9	1.7	113.8
	Hydrophilic	52.3	21.0	5.6	2.1	81.0
	Hydrophobic	37.6	3.3	0.0	0.0	40.9
PACl + Ozone	ก้อน fraction	158.9	33.5	9.0	2.2	203.6
	Hydrophilic	101.5	34.6	6.0	2.9	144.9
	Hydrophobic	67.6	4.6	2.6	0.0	74.7
Ozone +PACl	ก้อน fraction	128.2	29.1	6.7	1.7	165.5
	Hydrophilic	78.0	31.8	5.1	2.4	117.3
	Hydrophobic	58.9	3.5	1.5	0.0	63.8

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.47 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ที่เพิ่มขึ้น จากสถานะทั่วไปในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชัน ของน้ำ ตัวอย่างจากถาดฝน

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	ถาดฝน					
		ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)			ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)		
		ก่อน fraction	HPI	HPO	ก่อน fraction	HPI	HPO
PACl*	THMFP (µg/L)	48	40	58	0	0	0
Polymer	THMFP (µg/L)	13	8	13	-	-	-
PACl + Polymer	THMFP (µg/L)	53	45	63	5	5	4
PACl + PAC	THMFP (µg/L)	60	54	69	13	14	10
PACl + Polymer + PAC	THMFP (µg/L)	84	77	94	36	37	35
PACl + Polymer +Ozone	THMFP (µg/L)	75	71	81	27	31	22

หมายเหตุ : *PACl เป็นสถานะทั่วไป

ตารางที่ ข.48 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP และเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ที่เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำ

ตัวอย่างจากฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์	ฤดูแล้ง					
		ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)			ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)		
		ก่อน fraction	HPI	HPO	ก่อน fraction	HPI	HPO
PACl*	THMFP (µg/L)	57	48	63	0	0	0
Polymer	THMFP (µg/L)	15	8	14	-	-	-
PACl + Polymer	THMFP (µg/L)	59	48	65	2	0	2
PACl + PAC	THMFP (µg/L)	62	52	68	5	4	5
PACl + Polymer + PAC	THMFP (µg/L)	89	81	96	32	33	33
PACl + Polymer +Ozone	THMFP (µg/L)	80	74	83	23	26	20
PACl + Ozone	THMFP (µg/L)	63	53	70	6	5	7
Ozone +PACl	THMFP (µg/L)	70	62	74	13	14	11

หมายเหตุ : *PACl เป็นสถานะทั่วไป

ตารางที่ ข.49 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูฝน

ชนิดน้ำ		ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)				ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)			
		CHCl3-FP	CHCl2Br-FP	CHClBr2-FP	CHBr3-FP	CHCl3-FP improved	CHCl2Br-FP improved	CHClBr2-FP improved	CHBr3-FP improved
PACI*	ก่อน fraction	50	37	54	58	0	0	0	0
	Hydrophilic	45	17	50	48	0	0	0	0
	Hydrophobic	59	40	63	100	0	0	0	0
polymer	ก่อน fraction	14	5	15	6	-	-	-	-
	Hydrophilic	9	2	11	10	-	-	-	-
	Hydrophobic	14	5	15	16	-	-	-	-
PACI + Polymer	ก่อน fraction	56	45	60	64	6	8	5	6
	Hydrophilic	50	23	58	58	5	6	8	10
	Hydrophobic	63	48	68	100	4	8	4	0

หมายเหตุ:

* PACI เป็นสถานะทั่วไป

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.49 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูฝน (ต่อ)

ชนิดน้ำ		ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)				ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป (เปอร์เซ็นต์)			
		CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	CHBr ₃	CHCl ₃ improved	CHCl ₂ Br improved	CHClBr ₂ improved	CHBr ₃ improved
PACl + PAC	ก้อน fraction	60	59	72	80	9	22	18	22
	Hydrophilic	55	64	69	84	10	46	19	36
	Hydrophobic	67	45	80	100	7	5	16	0
PACl + Polymer + PAC	ก้อน fraction	86	80	90	88	36	43	36	30
	Hydrophilic	78	69	82	77	34	52	32	29
	Hydrophobic	94	92	100	100	34	52	37	0
PACl + Polymer +Ozone	ก้อน fraction	77	68	79	80	27	31	25	22
	Hydrophilic	73	62	64	71	29	45	14	24
	Hydrophobic	81	74	100	100	21	34	37	0

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.50 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูแล้ง

ชนิดน้ำ		ประสิทธิภาพการลดลง (เปอร์เซ็นต์)				ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะที่เหมาะสม (เปอร์เซ็นต์)			
		CHCl3-FP	CHCl2Br-FP	CHClBr2-FP	CHBr3-FP	CHCl3-FP improved	CHCl2Br-FP improved	CHClBr2-FP improved	CHBr3-FP improved
PACl*	ก่อน fraction	59	44	58	62	0	0	0	0
	Hydrophilic	49	40	52	51	0	0	0	0
	Hydrophobic	64	51	63	100	0	0	0	0
polymer	ก่อน fraction	17	6	18	11	-	-	-	-
	Hydrophilic	9	4	14	5	-	-	-	-
	Hydrophobic	14	11	20	12	1	3	8	7
PACl + Polymer	ก่อน fraction	60	47	66	69	1	-10	9	7
	Hydrophilic	51	30	61	58	0	16	8	0
	Hydrophobic	64	67	70	100	0	16	8	7

หมายเหตุ: * PACl เป็นสถานะทั่วไป ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ตารางที่ ข.50 สรุปเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูแล้ง (ต่อ)

ชนิดน้ำ		ประสิทธิภาพการกำจัด (เปอร์เซ็นต์)				ประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสม (เปอร์เซ็นต์)			
		CHCl3-FP	CHCl2Br-FP	CHClBr2-FP	CHBr3-FP	CHCl3-FP improved	CHCl2Br-FP improved	CHClBr2-FP improved	CHBr3-FP improved
PACl + PAC	ก่อน fraction	63	51	71	74	4	7	13	12
	Hydrophilic	53	43	67	63	4	3	15	12
	Hydrophobic	68	65	74	100	4	14	12	0
PACl + Polymer + PAC	ก่อน fraction	90	82	90	91	31	38	32	29
	Hydrophilic	83	73	87	84	34	33	35	33
	Hydrophobic	96	92	100	100	32	41	37	0
PACl + Polymer + Ozone	ก่อน fraction	81	71	82	83	22	27	24	21
	Hydrophilic	77	64	71	75	27	24	19	24
	Hydrophobic	83	79	100	100	19	28	37	0

ND = Not Detected ไม่มีการตรวจพบ

ตารางที่ ข.50 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารประกอบ THMs ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองและน้ำที่ผ่านกระบวนการแฟรกชันของน้ำตัวอย่างจากฤดูแล้ง (ต่อ)

ชนิดน้ำ		ประสิทธิภาพการลดลงของ (ร้อยละ)				ประสิทธิภาพการลดลงที่เพิ่มขึ้นจากสถานะทั่วไป			
		CHCl ₃ -FP	CHCl ₂ Br-FP	CHClBr ₂ -FP	CHBr ₃ -FP	CHCl ₃ -FP improved	CHCl ₂ Br-FP improved	CHClBr ₂ -FP improved	CHBr ₃ -FP improved
PACl + Ozone	ก่อน fraction	64	55	73	79	5	11	15	17
	Hydrophilic	55	41	69	65	5	1	17	14
	Hydrophobic	69	71	77	100	5	20	14	0
Ozone + PACl	ก่อน fraction	71	61	80	83	12	17	22	22
	Hydrophilic	65	46	74	71	16	6	22	20
	Hydrophobic	73	78	87	100	9	27	24	0

ND = Not Detected (ไม่มีการตรวจพบ)

ภาคผนวก ค

ภาพ Microscopic โครงสร้าง floc ในน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลอง

ลักษณะทางกายภาพโครงสร้าง floc ของการใช้ PACI เพียงอย่างเดียว มีการจับตัวกันแบบหลวม ดังแสดงในรูปที่ ค.1a

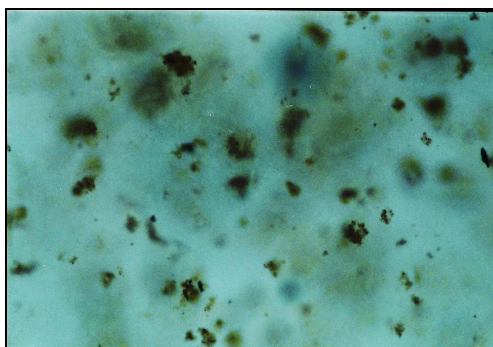
ลักษณะทางกายภาพโครงสร้าง floc ของการใช้ Polymer เพียงอย่างเดียว มีขนาดใหญ่มากและบริเวณผิวโครงสร้างสามารถจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้ ดังแสดงในรูปที่ ค.1b

ลักษณะทางกายภาพโครงสร้าง floc ของการใช้ PACI ร่วมกับ Polymer มีลักษณะอนุภาคของ PACI แทรกเข้าไปในโครงสร้างของ floc ซึ่งทำให้โครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดมวลโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ ดังแสดงในรูปที่ ค.1c

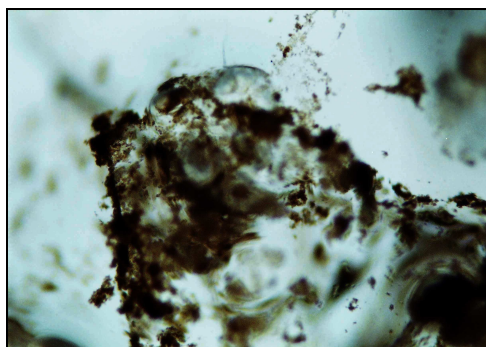
ลักษณะทางกายภาพโครงสร้าง floc ของการใช้ PACI ร่วมกับ PAC พบว่าอนุภาคของ PAC แทรกเข้าไปในโครงสร้างของ floc ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบมวลโมเลกุลต่ำได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ ค.1d

ลักษณะโครงสร้าง floc ของการใช้ Ozone ร่วมกับ PACI มีขนาดโครงสร้างของ floc มีขนาดเล็กมาก เนื่องจาก pre-ozone สามารถลดความขุ่นและสารประกอบบางส่วนก่อนทำกระบวนการโคแอกกูชันด้วย PACI ดังแสดงในรูปที่ ค.1e

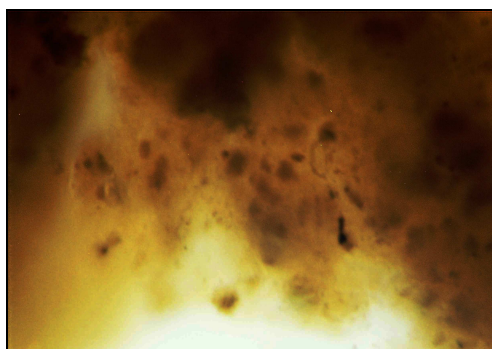
สำหรับโครงสร้าง Floc ของการใช้ PACI ร่วมกับ Polymer และ PAC พบว่าอนุภาคของ PACI และ PAC แทรกเข้าไปในโครงสร้าง floc ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบทั้งมวลโมเลกุลสูงและต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และมีการจับตัวแบบของโครงสร้างที่หนาแน่นมาก ดังแสดงในรูปที่ ค.1f



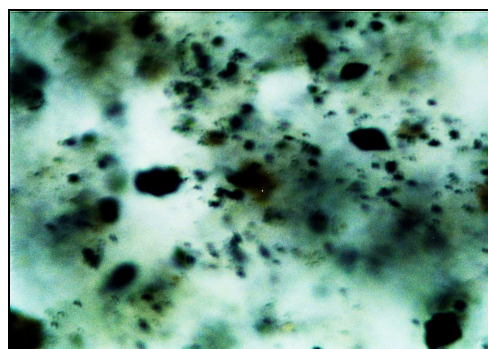
(a) PACl เพียงอย่างเดียว (20 x)



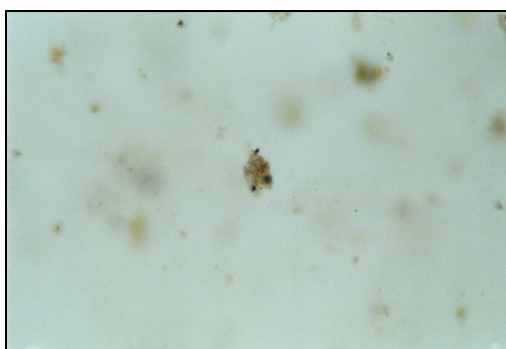
(b) Polymer เพียงอย่างเดียว (20 x)



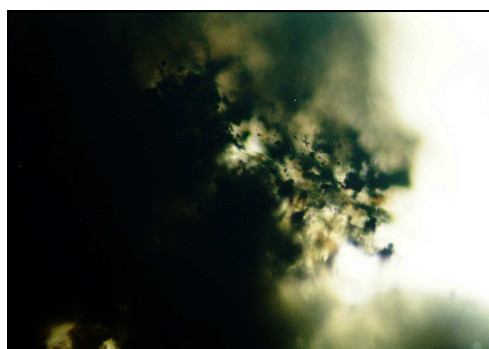
(c) PACl ร่วมกับ Polymer (20 x)



(d) PACl ร่วมกับ PAC (20 x)



(e) Ozone ร่วมกับ PACl (20 x)



(f) PACl และ Polymer ร่วมกับ PAC

รูปที่ ก.1 ภาพ Microscopic โครงสร้าง flocc ที่ผ่านกระบวนการทดลอง

ภาคผนวก ง

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP

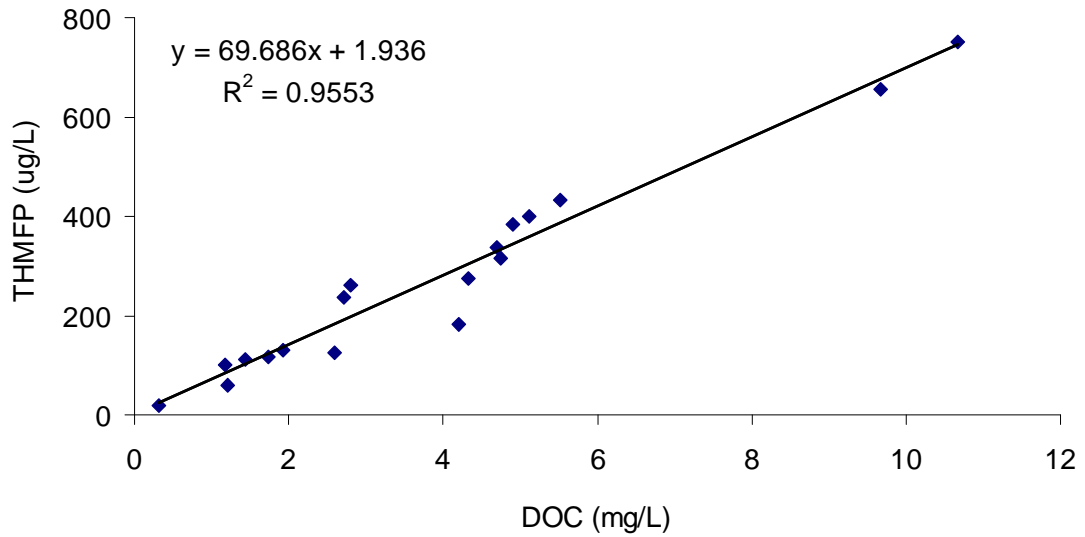
ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFp

ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น DOC, UV-254 และ SUVA กับ THMFp มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทำนายปริมาณของ THMFp ของน้ำตัวอย่างจากคลองอู่ตะเภา

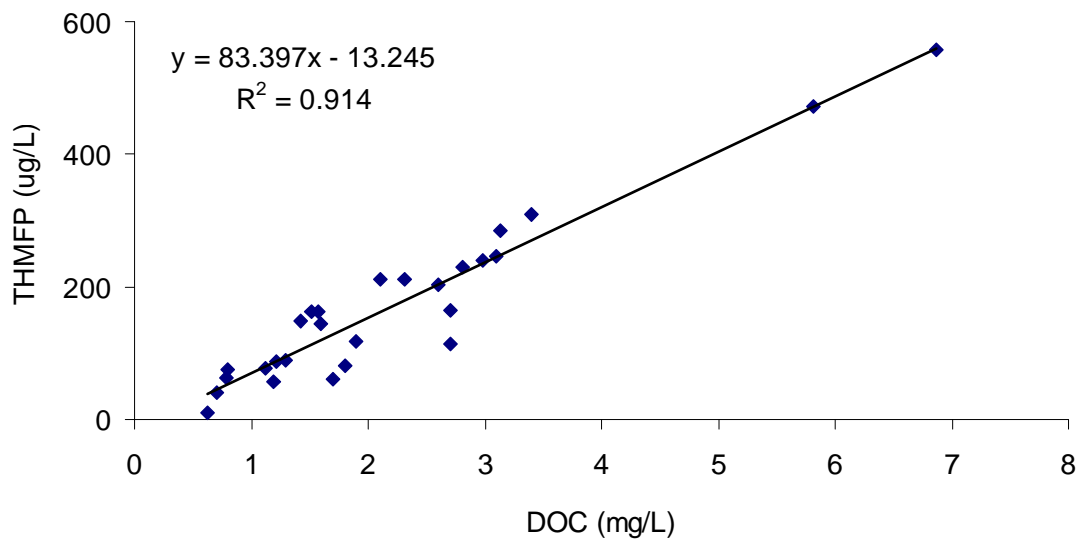
American Water Work Association (AWWA, 1993) ได้จำแนกระดับความสัมพันธ์ออกเป็น 4 ประเภท เมื่อค่าของความสัมพันธ์ (R^2) > 0.9 เป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อค่าความสัมพันธ์มีค่า $0.7 < R^2 < 0.9$ เป็นระดับความสัมพันธ์ปานกลาง เมื่อค่าระดับความสัมพันธ์มีค่าเป็น $0.5 < R^2 < 0.7$ เป็นระดับความสัมพันธ์พอใช้ และเมื่อค่าระดับความสัมพันธ์เป็น $R^2 < 0.5$ เป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี สำหรับการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนั้น จะไม่นำมาแสดงผล เนื่องจากค่าความชัน (slope) และค่า intercept ของสมการไม่เป็นที่ยอมรับ

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันของคลองอู่ตะเภาแสดงในรูปที่ ง.1 และ ง.2 และในตารางที่ ง.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DOC, UV-254 และ SUVA กับ THMFp โดยที่ค่าความสัมพันธ์ (R^2) ระหว่าง DOC กับ THMFp ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9553 และ 0.914 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 กับ THMFp โดยค่า R^2 ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9494 และ 0.8685 ตามลำดับ เป็นระดับความสัมพันธ์ดีและปานกลางตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่าง SUVA กับ THMFp ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่า $R^2 < 0.5$ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี

จากผลการศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ กับ THMFp พบว่าระดับความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ THMFp มีระดับความสัมพันธ์ดีที่สุด ดังนั้น DOC จึงเหมาะสมที่สุดในการอธิบายปริมาณ THMFp ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 กับ THMFp ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ดี ก็สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาปริมาณการเกิด THMFp ของน้ำจากคลองอู่ตะเภาได้

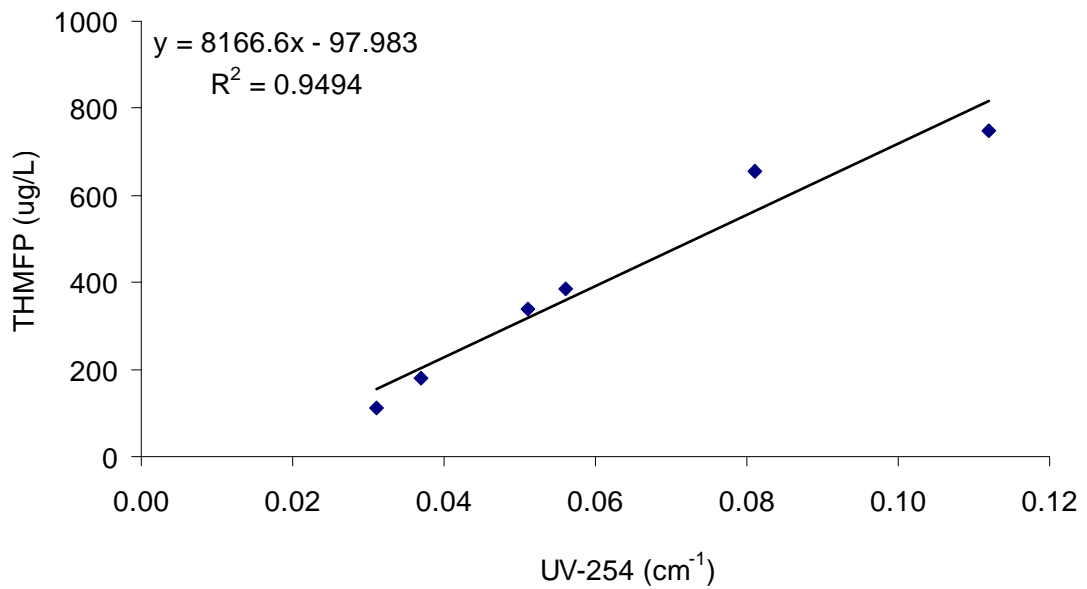


ก. ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ THMFPP ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน

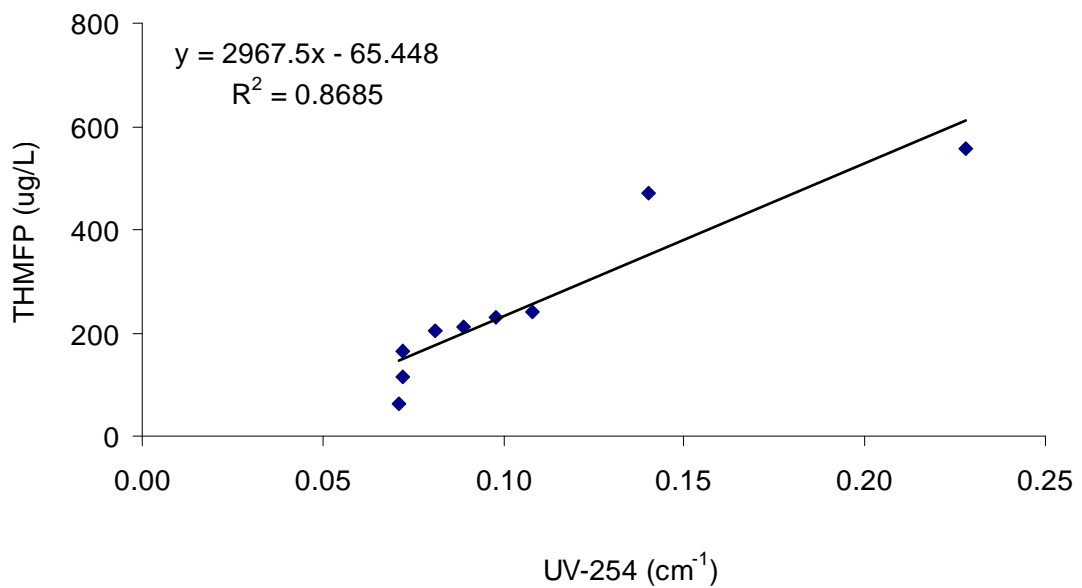


ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ THMFPP ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

รูปที่ ๑.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOC ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองก่อนผ่านกระบวนการแฟรกชันและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน กับ THMFPP



ก. ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝน



ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างในฤดูแล้ง

รูปที่ ๒.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองก่อนผ่านกระบวนการแฟรกชันและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน กับ THMFP

ตารางที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP ทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง

ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ	สถานะ	ฤดูกาล	N	R ²	สมการ	หมายเหตุ
THMFP	DOC	น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน	ฝน	18	0.9553	$y = 69.686x + 1.936$	ระดับความสัมพันธ์ดี
			แล้ง	27	0.914	$y = 83.397x - 13.245$	ระดับความสัมพันธ์ดี
THMFP	UV-254	น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน	ฝน	6	0.9494	$y = 8166.6x - 97.983$	ระดับความสัมพันธ์ดี
			แล้ง	9	0.8685	$y = 2967.5x - 65.448$	ระดับความสัมพันธ์ปานกลาง
THMFP	SUVA	น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน	ฝน	6	< 0.5	-	ไม่ดี
			แล้ง	9	< 0.5	-	ไม่ดี

ภาคผนวก จ

**ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ
THMFP**

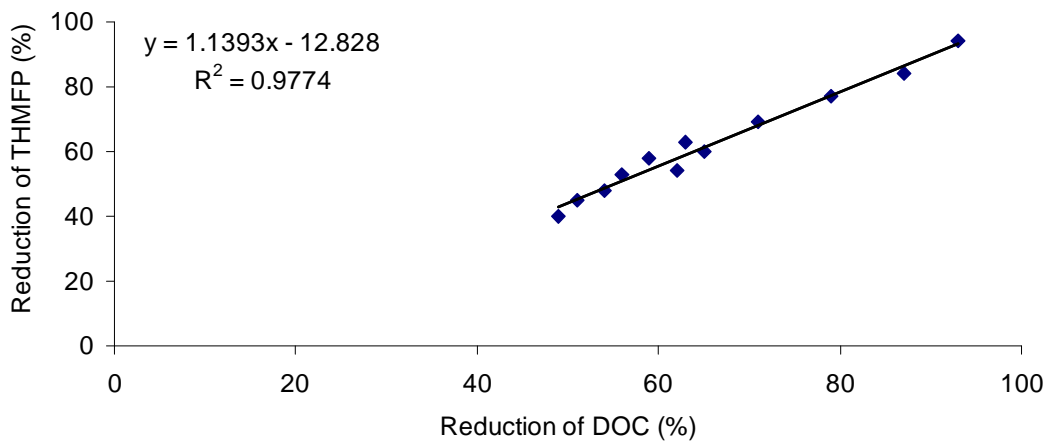
ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMF

ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแนวโน้มการลดของ DOC กับ THMF มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMF ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพการกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย Polymer และ PAC ในกรณีทีวิเคราะห์ THMF กระทำได้ยาก

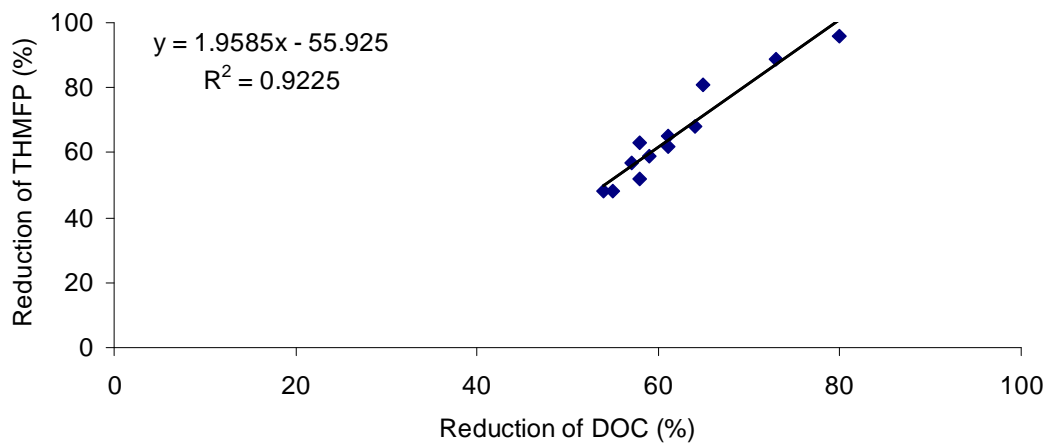
American Water Work Association (AWWA, 1993) ได้จำแนกระดับความสัมพันธ์ออกเป็น 4 ประเภท เมื่อค่าของความสัมพันธ์ (R^2) > 0.9 เป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อค่าความสัมพันธ์มีค่า $0.7 < R^2 < 0.9$ เป็นระดับความสัมพันธ์ปานกลาง เมื่อค่าระดับความสัมพันธ์มีค่าเป็น $0.5 < R^2 < 0.7$ เป็นระดับความสัมพันธ์พอใช้ และเมื่อค่าระดับความสัมพันธ์เป็น $R^2 < 0.5$ เป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี สำหรับการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนั้น จะไม่นำมาแสดงผล เนื่องจากค่าความชัน (slope) และค่า intercept ของสมการไม่เป็นที่ยอมรับ

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMF ในรูปที่ จ.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMF โดยที่ค่าความสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMF ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9774 และ 0.9225 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ดี

จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC สามารถทำนายเปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMF ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย polymer และ PAC ได้เป็นอย่างดี



ก. ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ในฤดูฝน



ข. ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ในฤดูแล้ง

รูปที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของ DOC กับ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ THMFP ของน้ำตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ภาคผนวก ฉ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์
ธรรมชาติ

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์กับดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การทำนายค่าดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิค Three-dimensional fluorescent spectroscopy (EEM) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ตำแหน่งความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนที่ตรวจพบทั้งสี่ตำแหน่ง Peak A: $240\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$ Peak B: $260\text{nm}_{\text{Ex}}/360\text{nm}_{\text{Em}}$ Peak C: $280\text{nm}_{\text{Ex}}/350\text{nm}_{\text{Em}}$ Peak D: $280\text{nm}_{\text{Ex}}/410\text{nm}_{\text{Em}}$ ซึ่งเป็นตัวแทนของ Humic and fulvic acid-like substance และ peak A, B และ C เป็นตัวแทนของกลุ่ม Tryptophan-like substance กับค่าดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น DOC และ THMFP

ตารางที่ ๓.1 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance, Tryptophan-like substance และ Total fluorescence intensities กับ DOC และ THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ความสัมพันธ์ของกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance กับค่าดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น DOC ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนและแล้งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8641 และ 0.9047 และ ความสัมพันธ์ของกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance กับ THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8889 และ 0.8731 จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่า ระดับความสัมพันธ์ระหว่าง กลุ่ม Humic and fulvic acid-like substance กับ DOC และ THMFP มีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง

สำหรับความสัมพันธ์ของกลุ่ม Tryptophan-like substance กับ DOC และ THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้ง อยู่ในระดับความสัมพันธ์ ปานกลาง พอใช้ และ ปานกลาง ตามลำดับ จึงสามารถอธิบายได้ว่า กลุ่ม Tryptophan-like substance กับ DOC และ THMFP มีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง

สำหรับความสัมพันธ์ของ Total fluorescence intensities กับค่าดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น DOC และ THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8731 และ 0.8793 มีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง และความสัมพันธ์ของกลุ่ม Total fluorescence intensities กับ DOC และ THMFP ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูแล้ง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9139 และ 0.9326 จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่า ระดับความสัมพันธ์ระหว่าง กลุ่ม Total fluorescence intensities กับ DOC และ THMFP มีระดับความสัมพันธ์ดี ดังนั้น DOC และ THMFP จึงเหมาะสมที่สุดในการอธิบายกลุ่ม Total fluorescence intensities ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ ๑.1 ความสัมพันธ์ Humic and fulvicacid-like substance, Trypohan-like substance และ Total fluorescence intensities กับค่าดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ	ฤดูกาล	N	R ²	สมการ	ระดับความสัมพันธ์
DOC	Humic and fulvicacid-like substance	ฝน	6	0.8641	$y = 0.0548x - 1.608$	ปานกลาง
		แล้ง	6	0.9047	$y = 0.0269x - 0.2832$	ดี
	Trypohan-like substance	ฝน	6	0.7921	$y = 0.02x - 5.705$	ปานกลาง
		แล้ง	6	0.7982	$y = 0.014x - 3.1227$	ปานกลาง
	Total fluorescence intensities	ฝน	6	0.8731	$y = 0.0157x - 5.4144$	ปานกลาง
		แล้ง	6	0.9139	$y = 0.0101x - 2.673$	ดี
THMFP	Humic and fulvicacid-like substance	ฝน	6	0.8889	$y = 4.0052x - 148.02$	ปานกลาง
		แล้ง	6	0.8731	$y = 2.4343x - 79.018$	ปานกลาง
	Trypohan-like substance	ฝน	6	0.7909	$y = 1.4371x - 434.89$	ปานกลาง
		แล้ง	6	0.8413	$y = 1.3254x - 362.14$	ปานกลาง
	Total fluorescence intensities	ฝน	6	0.8793	$y = 1.1386x - 417.45$	ปานกลาง
		แล้ง	6	0.9326	$y = 0.9388x - 310.53$	ดี

จากผลการทดลองทั้งสองฤดูกาลในการหาอัตราการลดลงของ UV-254, DOC, THMFP และ FEEM สามารถอธิบายประสิทธิภาพการลดลงของสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูปของ UV-254 ต่อผลรวม fluorescent intensities และ DOC ต่อผลรวม fluorescent intensities และ THMFP ต่อผลรวม fluorescent intensities ดังแสดงในตารางที่ จ.2

ตารางที่ จ.2 อัตราการลดลงของ UV-254 ต่อผลรวม FEEM และ DOC ต่อผลรวม FEEM และ THMFP ต่อผลรวม FEEM ของน้ำที่ผ่านกระบวนการทดลองในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ตัวอย่างน้ำ	ฤดูกาล	UV-254/total FEEM	DOC/total FEEM	THMFP/total FEEM
(1) PACI	ฝน	1.8	1.9	1.8
	แล้ง	1.7	1.8	1.8
(2) PACI+Polymer	ฝน	1.5	1.6	1.5
	แล้ง	1.4	1.4	1.4
(3) PACI+PAC	ฝน	2.0	2.5	1.9
	แล้ง	1.6	1.6	1.7
(4) PACI+Polymer+PAC	ฝน	1.7	2.1	2.0
	แล้ง	1.5	1.5	1.9
(5) PACI+Polymer +Ozone	ฝน	1.6	1.5	1.9
	แล้ง	1.5	1.3	1.7

หมายเหตุ : NA = Not Available

จากตารางที่ จ.2 แสดงอัตราส่วนการลดลงของสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูปของ UV-254, DOC และ THMFP ต่อผลรวม FEEM มีการใกล้เคียงกันในทุกกระบวนการทดลอง นั้นหมายถึงไม่ควรใช้ UV-254, DOC หรือ THMFP เพียงอย่างเดียวในการอธิบายการลดลงของสารอินทรีย์ละลายน้ำแต่ควรวิเคราะห์ควบคู่กับ FEEM ในทุกกระบวนการทดลอง

ภาคผนวก ข

การประเมินศักยภาพการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งาน

การประเมินศักยภาพการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งาน

จากตารางที่ ข.1 แสดงรายการประเมินค่าใช้จ่ายของสารเคมี จะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายสำหรับ MR[®] FLOC R5000 Dry cationic polymer และ Powder activated coconut shell based carbon เกรด HRO M325-60 มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าหากนำไปใช้ดำเนินการจริงในระบบการผลิตน้ำประปา ควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำในขั้นแรกเช่น การลดปริมาณตะกอน ณ จุดสูบน้ำดิบ เพื่อลดต้นทุนในการใช้สารเคมีสำหรับการบำบัดขั้นสูงด้วย MR[®] FLOC R5000 Dry cationic polymer หรือ Powder activated coconut shell based carbon เกรด HRO M325-60 ทั้งนี้ จากผลการทดลองดังกล่าวข้อก่อนหน้าสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับ polymer และ PAC มีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือ PACl ร่วมกับ PAC และ PACl ร่วมกับ Polymer ซึ่งแสดงรายการประเมินค่าสารเคมีเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของ DOC และ THMFP ในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.1 รายการประเมินค่าสารเคมี

สารเคมี	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ต่อน้ำ ดิบ 1 m ³	จำนวนเงิน (บาท)
Polyaluminum chloride ของการ ประปาส่วนภูมิภาค 1 กิโลกรัม	10	0.04	0.4
MR [®] FLOC R5000 Dry cationic polymer 1 กิโลกรัม	200	0.001	0.2
Powder activated coconut shell based carbon เกรด HRO M325- 60 1 กิโลกรัม	58	0.08	4.64

ตารางที่ ข.2 รายการประเมินค่าสารเคมีเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของ DOC และ THMFP

กระบวนการ ทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพ การลด DOC (%)	ประสิทธิภาพ การลด THMFP (%)	จำนวนเงินต่อ น้ำดิบ 1 m ³ (บาท)
(1) PACl	PACl 40 mg/L, pH 7	> 51 %*	> 53 %*	0.4
(2) PACl+ Polymer	PACl 40 mg/L + polymer 1 mg/L, pH 7	> 56%	> 57 %	0.6
(3) PACl+PAC	PACl 40 mg/L + PAC 80 mg/L, pH 7	> 62%	> 62 %	4.68
(4) PACl+ Polymer +PAC	PACl 40 mg/L + polymer 1 mg/L+ PAC 80 mg/L, pH 7	> 70 %	> 87 %	5.24

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ยของฤดูฝนและฤดูแล้ง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายกมลนาวิน อินทนูจิตร	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010120091	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนสนับสนุนการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- ทุนผู้ช่วยสอน ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- ทุนค่าเล่าเรียน ระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- ทุนผู้ช่วยวิจัย ทีมวิจัยเทคโนโลยีและการจัดการทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

กมลนาวิน อินทนูจิตร พยอม รัตนมณี ชัยศรี สุขสาโรจน์ สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์. 2551. การลดสารอินทรีย์กลุ่มไทโรซีน เทปโตฟานและฮิวมิกและฟูลวิกเอซิดในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, สงขลา. วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551.

นิวัฒน์ มุหิณ กมลนาวิน อินทนูจิตร ชัยศรี สุขสาโรจน์ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ และ สุรพงษ์ วัฒนะจิระ. 2552. การลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยการกรองสามผัส. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, สงขลา. วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551.

กมลนาวิน อินทนูจิตร ชัยศรี สุขสาโรจน์ พยอม รัตนมณี สุรพงษ์ วัฒนะจิระ และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์. 2552. การเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชันเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจาก คลองอู่ตะเภา. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 8. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. วันที่ 25-27 มีนาคม 2552.

กมลนาวิน อินทนูจิตร ชัยศรี สุขสาโรจน์ ชันวดี เตชะภัททวรกุล และ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์. 2552. การลดสารกลุ่มเทปโตฟาน และฮิวมิกและฟลูวิคในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการโคแอกกูเลชัน. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, สงขลา. วันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552.