บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

บริเวณพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ชุมชน และจำนวนประชากรเพิ่มสูงขึ้น เป็นแรงผลักดันให้เกิดกิจกรรมการใช้ประโยชน์พื้นที่ลุ่มน้ำอย่างเข้มข้น การบุกรุกเพื่อใช้ประโยชน์พื้นที่ต้นน้ำเพื่อการเกษตรเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนได้ขยายตัวตลอดลำน้ำโดยไม่มีการกำหนดเขตพื้นที่ที่เหมาะสม โดยกิจกรรมดังกล่าวได้ก่อให้เกิดมลพิษไม่ว่าจะเป็นสารพิษในรูปของยาปราบศัตรูพืชและยาฆ่าแมลงจากพื้นที่การเกษตร โลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนเมือง และสารอินทรีย์ ไหลลงสู่ลำน้ำโดยขาดการควบคุมอย่างเคร่งครัด การปนเปื้อนของแหล่งน้ำในลุ่มน้ำต่างๆ ส่งผลต่อคุณภาพน้ำโดยรวมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำในลุ่มน้ำเหล่านั้นมาผลิตน้ำประปา เนื่องจากจุดสูบน้ำดิบประปาอยู่ทางด้านท้ายน้ำของคลองอู่ตะเภา ทั้งนี้เนื่องจากในระบบประปาโดยทั่วไปนั้นจะใช้สารคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค และสารคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งมีอยู่แล้วเดิมตามธรรมชาติหรือเกิดจากการปนเปื้อนจากน้ำทิ้งชุมชนและอุตสาหกรรมก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากรที่อุปโภคบริโภคน้ำประปาโดยตรง ในความเป็นจริงแล้วการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปเป็นการตกตะกอนทางเคมีซึ่งสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้บางส่วนก่อนที่จะนำไปสู่การตกตะกอน การกรอง แต่ยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์หลงเหลือตกค้างอยู่ และการฆ่าเชื้อโรคซึ่งมักใช้คลอรีนดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงมักตรวจพบสารก่อมะเร็งจำพวกไตรฮาโลมีเทนปนเปื้อนกับน้ำประปาได้ โดยเฉพาะกับน้ำดิบที่มีคุณภาพต่ำมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูง

ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา เป็นหนึ่งในหลายตัวอย่างลำน้ำสำคัญที่ถูกนำไปใช้ผลิตน้ำประปา ซึ่งลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจัดได้ว่าเป็นลุ่มน้ำย่อยที่ใหญ่และมีความสำคัญที่สุดในบรรดาลุ่มน้ำย่อยทั้ง 12 ลุ่มน้ำของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภานี้มีต้นน้ำมาจากเทือกเขาเขตชายแดนของประเทศไทย-มาเลเซีย ลำน้ำคลองอู่ตะเภาจึงมีทิศทางการไหลจากทิศใต้ขึ้นมาทิศเหนือ และไหลผ่านอำเภอต่าง ๆ อาทิเช่น อำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ อำเภอรัตภูมิ เป็นต้น ลำน้ำคลองอู่ตะเภามีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 130 กิโลเมตร จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำของคลองอู่

ตะเภาของหน่วยงานต่าง ๆ ได้รายงานไปในแนวเดียวกันว่าคุณภาพน้ำในคลองอู่ตะเภามีสภาพเสื่อมโทรมลงอย่างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะมีการนำน้ำจากคลองอู่ตะเภามาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ตลอดตามความยาวของคลองรวมทั้งการใช้ประโยชน์ในการอุปโภค-บริโภค ของประชาชนที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ใกล้ ๆ คลองอู่ตะเภา น้ำทิ้งจากการอุปโภค-บริโภค และกระบวนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งที่ผ่านการบำบัดแล้วและที่ยังไม่ผ่านการบำบัดก็ถูกปล่อยทิ้งกลับลงสู่คลองอู่ตะเภา ทำให้ภาระบรรทุกอินทรีย์ (Organic Loading) ในลำน้ำมีค่าสูงขึ้น จนเป็นเหตุให้ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) ในลำน้ำมีค่าต่ำลง จนส่งผลกระทบต่อพืชน้ำและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในลำคลอง รวมไปถึงผลกระทบต่อการนำน้ำมาผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภค-บริโภค อีกด้วย นอกจากนี้มลสารที่ปนเปื้อนในลำน้ำนี้ยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลา กล่าวคือทำให้คุณภาพน้ำในทะเลสาบลดลงอีกด้วย เพื่อให้การจัดการลุ่มน้ำเป็นไปอย่างมีระบบมีการบันทึกอย่างต่อเนื่องซึ่งจะส่งผลให้การกำหนดกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการผลิตน้ำประปาที่เป็นประเด็นศึกษาในโครงการย่อยชุดที่ 3 นี้ก็จะทำได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพ หนึ่งในเครื่องมือหลายอย่างที่มีการพูดถึงกันมากคือระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนอย่างไรก็ตามยังไม่มีการจัดทำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำให้มีการใช้น้ำอย่างมีประโยชน์ มีประสิทธิภาพและยั่งยืน ตลอดจนการก่อให้เกิดมิติใหม่ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำเพื่อการควบคุมและการป้องกันการเกิดสารก่อมะเร็ง อันจะเกิดประโยชน์ในการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชากรให้ดีขึ้น ปัจจุบันภาครัฐได้เล็งเห็นถึงความเสื่อมโทรมของลำน้ำสำคัญเช่นคลองอู่ตะเภาและทะเลสาบสงขลา จึงได้จัดทำโครงการต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ซึ่งโครงการส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาเฉพาะ ยังไม่มีการบูรณาการเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มาใช้ในการศึกษาถึงการควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งและแนวทางการควบคุมสารก่อมะเร็งดังกล่าว

ดังนั้นการจัดทำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ของแหล่งกำเนิดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ตลอดจนพิกัดของชุมชนที่ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจากชุดโครงการย่อยที่ 1 และการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนของน้ำบริเวณต้นน้ำ จุดสูบน้ำ และท้ายน้ำของระบบผลิตประปาขนาดใหญ่ในบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ของโครงการย่อยที่ 2 จะนำไปสู่การจัดทำแนวทางการ

ป้องกัน แก้ไขและควบคุมการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ลงสู่ลุ่มน้ำและแหล่งน้ำดิบประปา และใช้เป็นแนวทางในการหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาให้เหมาะสมของโครงการนี้ต่อไป

1.2 ปัญหาและความเป็นมาของงานวิจัย

การประปาส่วนภูมิภาคจังหวัดสงขลาใช้น้ำดิบจากคลองอู่ตะเภาเพื่อผลิตน้ำประปาประมาณ 100,000 – 150,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อแจกจ่ายสำหรับการอุปโภคและบริโภคให้กับผู้ใช้น้ำในเขตเทศบาลหาดใหญ่และจังหวัดสงขลา ระบบผลิตน้ำประปาประกอบด้วยการโคแอกกูเลชันด้วยสาร Poly Aluminum Chloride (PACl) การตกตะกอน (Sedimentation) การกรอง (Filtration) และการฆ่าเชื้อโรคด้วยสารคลอรีน (Chlorine disinfection) มีบ่อพักจำนวนมากเพื่อเก็บกักตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา จากการศึกษาของ Rook (1974) พบว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลืออยู่จากกระบวนผลิตน้ำประปาเมื่อทำปฏิกิริยากับสารคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งได้แก่สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) สารฮาโลอะซิติกแอซิด (Haloacetic acids, HAAs) และสารก่อมะเร็งตัวอื่นๆ United Stated Environmental Protection Agency (USEPA, 1998) กำหนดค่ามาตรฐานของสาร THMs ในน้ำดื่มไว้ที่ไม่เกิน 80 μg/L เมื่อพิจารณาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาพบว่าน้ำดิบประปามีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง (Suksaroj *et al.*, 2009 กมลนาวินและคณะ 2551, Musikavong *et al.*, 2008) เนื่องจากจุดสูบน้ำดิบประปาอยู่ทางด้านท้ายน้ำของคลองอู่ตะเภา ที่เป็นลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาและไหลผ่านพื้นที่ชุมชน เกษตรกรรมเช่นการปลูกยางพาราและเลี้ยงสัตว์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางและอาหารทะเลซึ่งตั้งอยู่กระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่รับน้ำลงสู่ทะเลสาบสงขลา หากพิจารณาที่บริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาปัจจุบันพบว่าคลองอู่ตะเภานอกจากจะเป็นแหล่งน้ำที่มีประโยชน์ต่อชุมชนคือการเป็นแหล่งน้ำดิบผลิตน้ำประปาให้กับเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่ใกล้เคียงในจังหวัดสงขลา เป็นแหล่งประมงน้ำจืดเป็นต้น แล้วยังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ บริเวณพื้นที่รับน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งตอนบนเหนือจุดสูบน้ำดิบประปา ที่อาจมีสาเหตุมาจากการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชนตลอดจนการบุกรุกเพื่อใช้ประโยชน์พื้นที่ต้นน้ำเพื่อการเกษตรเป็นแรงผลักดันให้เกิดกิจกรรมการใช้ประโยชน์พื้นที่ลุ่มน้ำอย่างต่อเนื่องจึงส่งผลให้เกิดมลพิษอนินทรีย์และมลพิษอินทรีย์ลงสู่คลองอู่ตะเภา

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาได้แก่ปริมาณและลักษณะของสารอินทรีย์ตั้งต้นก่อนทำปฏิกิริยากับสารคลอรีน กรณีที่ปริมาณสารอินทรีย์ตั้งต้นมีค่าสูงโอกาสที่จะก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในปริมาณสูงก็มีเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์บางชนิดถึงแม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ในปริมาณสูงเช่นกันทำให้ต้องมีการศึกษาถึงลักษณะของสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ตั้งต้นทำได้โดยใช้ดัชนีชี้วัดเป็นตัวแทนสารอินทรีย์เหล่านั้น ได้แก่ Dissolved organic carbon (DOC), Ultraviolet adsorption at wavelength 254-nm (UV-254), Specific ultraviolet adsorption (SUVA) และ Trihalomethane formation potential (THMFP) ส่วนการจำแนกลักษณะสารอินทรีย์นั้นทำได้หลายวิธี อย่างไรก็ตามวิธีที่เป็นที่นิยมใช้คือการแยกสารอินทรีย์ออกเป็นสองกลุ่มได้แก่ 1)การใช้เรซิ่น DAX-8 เพื่อจำแนกสารอินทรีย์ออกเป็นกลุ่ม Hydrophobic และกลุ่ม Hydrophilic และการใช้ DAX-8/ XAD-4 เพื่อจำแนกสารอินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ Hydrophobic Transphilic และ Hydrophilic 2)การใช้ Fluorescence Excitation-Emision Matrix (FEEM) เพื่อจำแนกชนิดของกลุ่มสารอินทรีย์ออกเป็นกลุ่ม Tyrosine, Tryptophan, Humic and Fulvic acids-like substances 3)การพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยใช้ Fourier transforms infrared (FTIR) และ Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectrometer (Pyrolysis GC/MS) และ spectrometry ใช้เพื่อบงชี้กลุ่มและโครงสร้างสารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์กลุ่มอลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) อโรมาติกโอโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon) คาร์บอกซิลิค (Carboxylic) ฟีนอล (Phenol) อโรมาติกและอลิฟาติกไนโตรเจน (Aromatic and aliphatic nitrogen) และสารอินทรีย์กลุ่มอื่นๆ

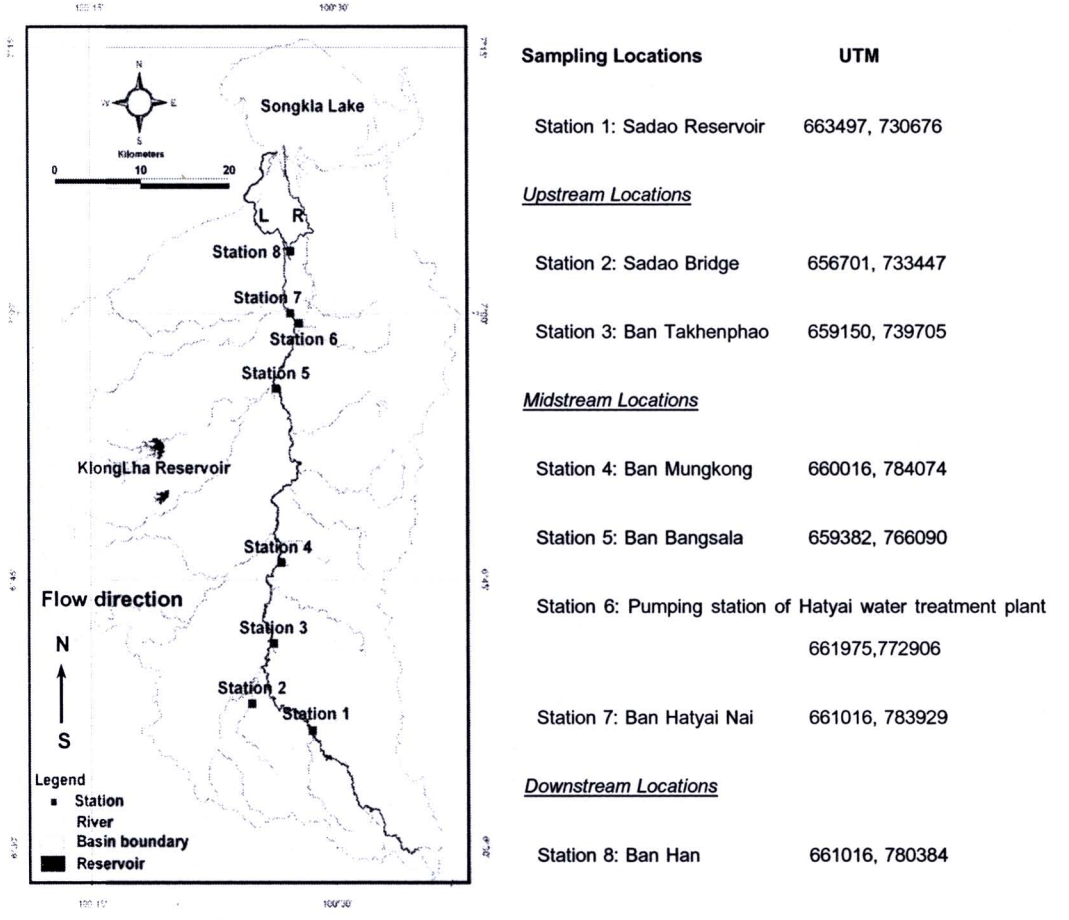
กระบวนการโคแอกกูเลชันซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ลดสารแขวนลอยและความขุ่นในน้ำแต่ในขณะเดียวกันก็สามารถลดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้อีกด้วย (USEPA, 1998) การศึกษาหาปริมาณสารโคแอกกูเลนท์ที่เหมาะสมเพื่อลดสารอินทรีย์ที่ผ่านมา (Suksaroj *et., al.* 2009 กมลนาวินและคณะ, 2551 อัครวินท์, 2548 Kim และ Yu, 2005) พบว่าไม่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ทั้งหมด โดยมักจะลดได้เฉพาะกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ และสอดคล้องกับผลการศึกษาในคลองอู่ตะเภาของกมลนาวินและคณะ (2551) และ Suksaroj *et al.,* (2009) หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพต้องใช้วิธีการต่างๆเสริมเช่นการดูดซับด้วยคาร์บอน หรือการใช้สารช่วยรวมตะกอนชนิดอื่นๆร่วมด้วย ในขณะที่กระบวนการเมมเบรนเป็นกระบวนการหนึ่งที่เริ่มเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบผลิต

น้ำประปา โดยเฉพาะ Ultrafiltration (UF) และ Microfiltration (MF) เพราะนอกจากจะทำให้น้ำใสสะอาด และกำจัดเชื้อโรคได้บางส่วนแล้วยังสามารถกำจัดหรือลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปา ซึ่งช่วยลดการเกิดสารตั้งต้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ (Jacangelo *et., al*, 1995) จากผลการศึกษาของ รอยหทัยและคณะ(2009) พบว่ากระบวนการเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชันสามารถลดค่า UV-254 มากกว่า 60% แต่ลดค่า DOC ได้ประมาณครึ่งหนึ่งซึ่งยังน้อยกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl เล็กน้อย นอกจากนี้ Ates *et., al* (2009) พบว่า กระบวนเมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF) สามารถลดค่า THMFP ได้ 63-82 % และสามารถลดค่า THMFP ได้สูงถึง 93-96 % สำหรับกระบวนเมมเบรนชนิดนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำดิบประปาบริเวณจุดสูบน้ำประปานั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำบริเวณต้นน้ำด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีประเด็นในการศึกษาวิจัยคือ การศึกษาปริมาณและลักษณะสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดได้โดยกระบวนการเมมเบรนระดับนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วย PACl หรือกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และ/หรืออัลตราฟิลเตรชัน จากนั้นวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต่างๆของกระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน เช่น การลดปริมาณและลักษณะสารอินทรีย์ตั้งต้น รวมทั้งเปรียบเทียบผลการประเมินสถานการณ์โอกาสการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาที่จะส่งผลต่อผู้ใช้น้ำประปา ปริมาณการใช้สารสร้างตะกอน ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน การลดปัญหาการกำจัดตะกอน และความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อการผลิตน้ำประปาในอนาคตของการประปาหาดใหญ่ รวมทั้งความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เพื่อผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะใช้ผสมทำผลิตภัณฑ์ ใช้ในการล้างทำความสะอาด หรือใช้ในการทำน้ำร้อนและไอน้ำ ซึ่งคุณภาพน้ำที่ใช้มีตั้งแต่น้ำที่ผ่านการทำใส ลดความกระด้าง ไปจนถึงน้ำบริสุทธิ์ที่แทบจะไม่มีสารละลายเจือปนอยู่เลย จากส่วนนี้จะเห็นได้ว่า กระบวนการเมมเบรนระดับนาโนฟิลเตรชันนั้น มีส่วนสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ และผลการศึกษาที่ได้นั้นจะเป็นการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ด้านลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติในคลองอู่ตะเภาซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็งตลอดจนการกำจัดสารตั้งต้นดังกล่าวทั้งปริมาณและลักษณะกลุ่มสารอินทรีย์ต่างๆด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ได้แก่กระบวนการเมมเบรนระดับ ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชันและนาโนฟิลเตรชัน และโคแอกกูเลชัน ด้วย PACl ประเด็นสำคัญที่สุดคือการนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการจัดการลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาของผู้ที่เกี่ยวข้องและการควบคุมระบบประปาเพื่อลดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปาต่อไปในอนาคต

1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

Musikavong *et al.* (2008) วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์และจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำจากในอ่างเก็บน้ำสะเดา บริเวณต้นน้ำ ลำน้ำช่วงกลางและท้ายลำน้ำของคลองอู่ตะเภาในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนปี 2551-2552 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์โดย Three dimensional fluorescent spectroscopy โดยมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำดังแสดงในรูปที่ 1 จากการผลการศึกษาพบว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำสะเดามีค่าเฉลี่ย DOC ประมาณ 2.1 mg/L UV-254 มีค่าประมาณ 0.309 และ 0.078 cm^{-1} ตามลำดับ ค่า DOC และ UV-254 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดบริเวณต้นน้ำ (Station 2-3) จากบริเวณช่วงกลางลำน้ำถึงบริเวณท้ายลำน้ำ (Station 4-8) ค่า DOC และ UV-254 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปา ค่าเฉลี่ย DOC และ UV-254 มีค่าประมาณ 2.8 mg/L และ 0.278 cm^{-1} ตามลำดับ



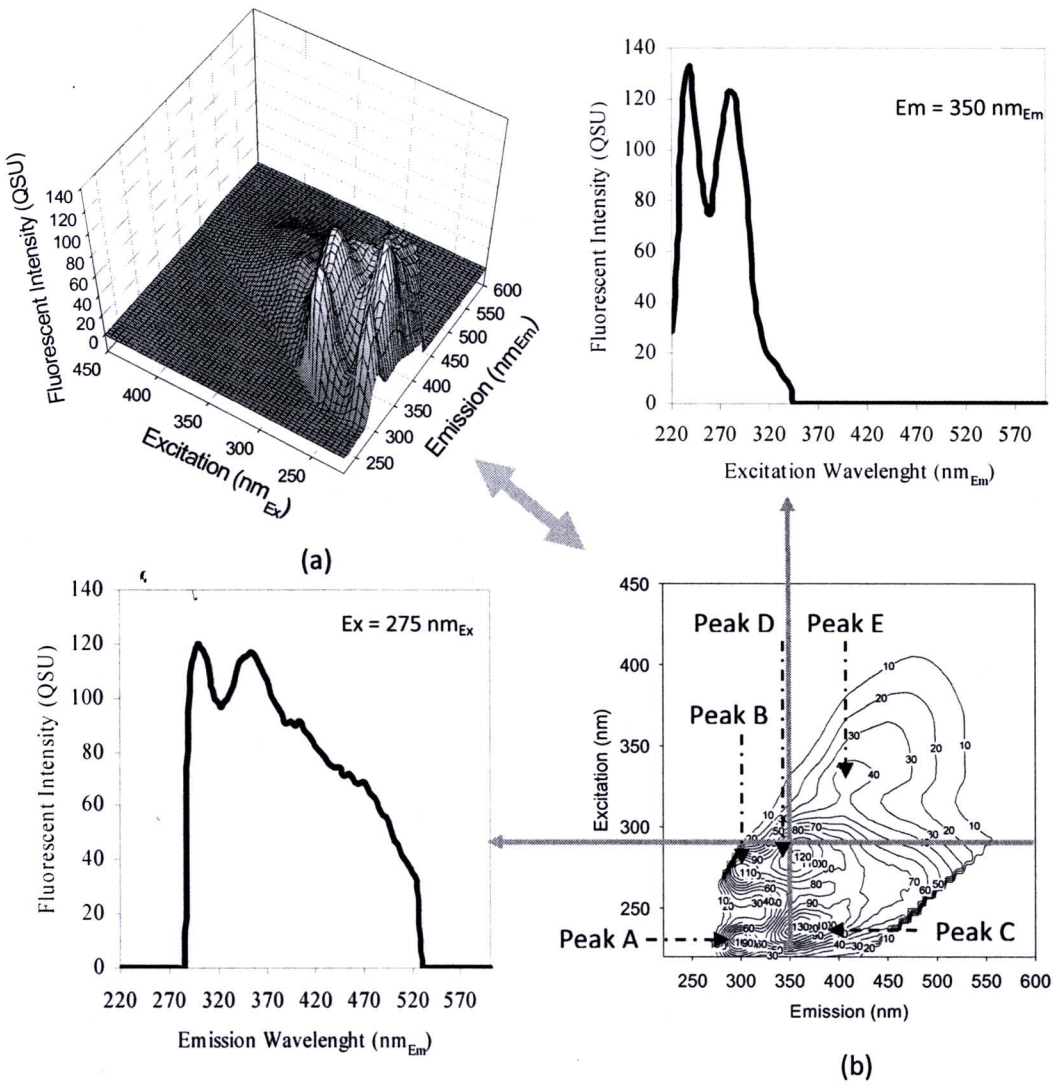
รูปที่ 1.1 คลองอู่ตะเภาและสถานีเก็บน้ำบริเวณอ่างเก็บน้ำเขื่อนสะเดา ต้นน้ำ (Station 1-3) ช่วงกลางลำน้ำ (Station 3-7) และท้ายน้ำ (Station 8) (Musikavong *et al.*, 2008)

การแยกสารอินทรีย์สารอินทรีย์ออกเป็นกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำทำได้โดยใช้เรซิ่น DAX-8 กรณีที่ต้องการจำแนกสารอินทรีย์ออกเป็นกลุ่มไม่ชอบน้ำที่เป็นกรด (Hydrophobic organic acid, HPOA), กลุ่มไม่ชอบน้ำที่เป็นกลาง (Hydrophobic organic neutral, HPON), กลุ่มไม่ชอบน้ำที่เป็นด่าง (Hydrophobic organic base, HPOB), กลุ่มชอบน้ำที่เป็นกรด (Hydrophilic organic acid, HPIA), กลุ่มชอบน้ำที่เป็นกลาง (Hydrophilic organic neutral, HPIN), กลุ่มชอบน้ำที่เป็นด่าง (Hydrophilic organic base, HPIB) ทำได้โดยใช้เรซิ่น DAX-8 AG-MP-50 และ Duolite A-7 หรือ WA-10 (Leenheer, 1981 and Marhaba *et al.*, 2003) มีนักวิจัยหลายท่านใช้เรซิ่นในการจำแนกสารอินทรีย์ในน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ได้แก่ น้ำบาดาล น้ำในอ่างเก็บน้ำและทะเลสาบ (Janhom 2004; Imai *et al.*, 2003 and Imai *et al.*, 2001) น้ำในแม่น้ำ (Marhaba and Van, 1999; Marhaba and Van, 2000; Kimura *et al.* 2004; and Panyapinyopol *et al.* 2005) และน้ำเสียและน้ำเสียที่บำบัดแล้ว (Imai *et al.*, 2002;and Musikavong 2006) อย่างไรก็ตามการแยกสารอินทรีย์ออกเป็น 6 กลุ่มนั้นมีความยุ่งยากในการดำเนินการต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการสูงและนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะแยกสารอินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ Hydrophobic Transphilic และ Hydrophilic ทั้งนี้เนื่องจากการดำเนินไม่ยุ่งยากมากนักและใช้งบประมาณในการดำเนินการไม่สูงมากนักตลอดจนสามารถนำผลไปประยุกต์งานได้ค่อนข้างง่าย ซึ่งมีรายงานการวิจัยการแยกสารอินทรีย์ในน้ำดิบประปาซึ่งเป็นแหล่งน้ำผิวดิน ออกเป็น 3 กลุ่มดังที่กล่าวไปแล้วซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของกลุ่มวิจัยและอีกหลายงานวิจัยคือน้ำดิบประปาผิวดินโดยทั่วไปมักพบสารอินทรีย์ในกลุ่ม Hydrophobic ประมาณร้อยละ 50 เช่นพวกกลุ่มฮิวมิก อีกครึ่งหนึ่งเป็นผลรวมของ Transphilic และ Hydrophilic แต่ที่น่าสังเกตคือ เมื่อน้ำดิบประปามีปริมาณค่า DOC เริ่มต้นสูง พบว่ามีสารอินทรีย์ในกลุ่ม Transphilic และ Hydrophilic ในสัดส่วนที่มากกว่า สารอินทรีย์กลุ่ม Hydrophobic และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Musikavong (2006)

ตารางที่ 1.1 DOC, UV-254, SUVA and percent distribution of DOC obtained in river water

No	Water Sources	DOC (mg/L)	UV254 (cm^{-1})	SUVA (L mg^{-1} m^{-1})	% distribution of DOC		
					HPO	TPI	HPI
1	The Ulu Pontain River, Jorhor, Malaysia (Zularisam *et al* 2007)	6.7	0.087	1.3	35	25	38
2	The Han River ,Korea (Kim *et al* 2006)	2.5	0.028	1.1	45	21	34
3	The Marne River, Paris , France (Lee *et al* 2004)	2.7	0.057	2.1	50	22	28
4	Yffiniac River , Brittany, France (Lee *et al* 2004)	8.4	0.295	3.5	48	28	24

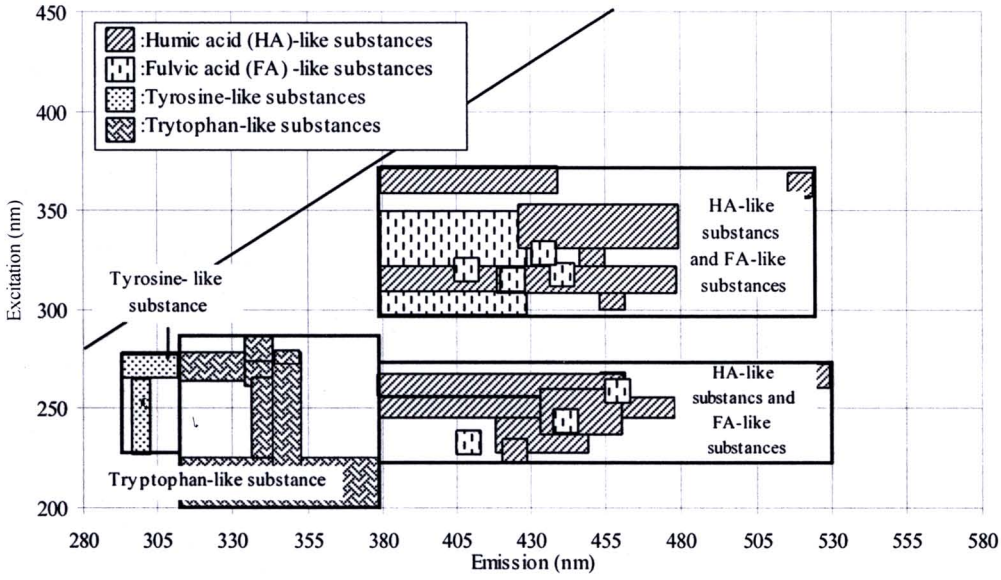
Three-dimensional fluorescence spectroscopy (Fluorescent excitation-emission matrix, FEEM) เป็นการวิเคราะห์ลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เครื่อง Spectrofluorometer ผลการวิเคราะห์ FEEM ที่ได้จะแสดงลักษณะเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างและ Functional groups ของโมเลกุล ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วโดยใช้ปริมาณของตัวอย่างน้อยและมีความเข้มข้นต่ำ ผลที่ได้จากการวัด FEEM คือผลรวมของ Emission spectra ของน้ำตัวอย่างที่ Excitation wavelength ต่างๆ ซึ่งบันทึกเป็น Matrix ของ Fluorescent intensity (Swietlik et al., 2004)



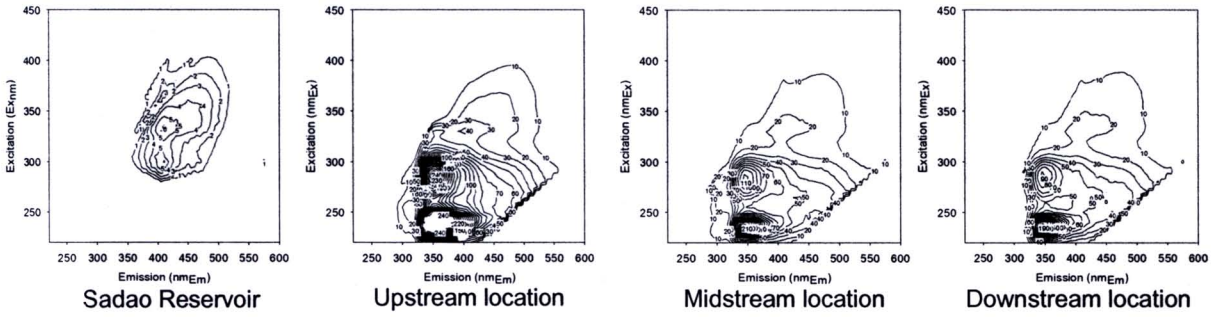
รูปที่ 1.2 Fluorescent Excitation-Emission Matrix (a) และภาพชันความสูง (b) ของการใช้ Spectrofluorometry วิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Musikavong, 2006)

รูปที่ 1.2 แสดง (a) FEEM และ (b) ภาพชันความสูง ของการใช้ Spectrofluorometry วิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ตำแหน่ง A และ B เป็นการตรวจพบสารกลุ่ม Tyrosine-like substances ที่ตำแหน่ง C และ D เป็นการตรวจพบสารกลุ่ม Tryptophan-like substances ส่วนที่ตำแหน่ง E เป็นการตรวจพบสารกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substances ซึ่งสารกลุ่มที่กล่าวมามีผลต่อการก่อตัวของสารก่อมะเร็งในน้ำประปา (Musikavong, 2006) จาก

รวบรวมทบทวนเอกสารจากฐานข้อมูลเพื่อจัดกลุ่ม สรุปและเสนอตำแหน่ง Excitation (nm)/Emission (nm) โดยMusikavong *et al.* (2007) แสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ตำแหน่ง Excitation (nm)/Emission (nm) ของ Tyrosine, Tryptophan and Humic and Fulvic acid-like substances (Musikavong *et al.* 2007)



รูปที่ 1.4 FEEM (contour interval 10 QSU, ยกเว้นอ่างเก็บน้ำสะเดา) ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำสะเดา บริเวณต้นน้ำ (บ้านตะเดียนเภา-ตำแหน่งที่ S3 ดังรูปที่ 1.1) บริเวณลำน้ำช่วงกลาง (น้ำดิบประปา-ตำแหน่งที่ S6 ดังรูปที่ 1.1) และบริเวณท้ายน้ำ (บ้านหารตำแหน่งที่ S8 ดังรูปที่ 1.1) (Musikavong *et al.*, 2008)

เมื่อพิจาณาผลการวิเคราะห์โดย FEEM ของน้ำตัวอย่างจากลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาดังรูปที่ 4 พบว่าสารอินทรีย์กลุ่ม Humic and fulvic acid-like ที่ตำแหน่ง $330nm_{Ex}/410nm_{Em}$ เป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนสะเดา (Suksaroj *et al.*, 2009 และ Musikavong *et al.*, 2008) ส่วนบริเวณต้นน้ำ ลำน้ำช่วงกลางและท้ายลำน้ำมีการตรวจพบสาร Tryptophan-like ที่ตำแหน่ง $240nm_{Ex}/350nm_{Em}$ และ $290nm_{Ex}/350nm_{Em}$ และ Humic and fulvic acid-like ที่ตำแหน่ง $270nm_{Ex}/440nm_{Em}$ และ $330nm_{Ex}/410nm_{Em}$ สามารถกล่าวได้ว่าสาร Tryptophan-like เป็นสารที่เกิดจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่างๆบริเวณพื้นที่รับน้ำ (Musikavong *et al.*, 2008)

ปัจจุบันมีการนำ FEEM ไปใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาเพื่อใช้เป็นระบบเตือนภัย ซึ่งเป็นการตรวจวัดที่สะดวกและรวดเร็วและช่วยให้ทราบว่าช่วงเวลาใดที่น้ำดิบจะมีสารอินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดสาร THMs ในปริมาณมากเข้ามาในระบบผลิตน้ำประปาทำให้มีการป้องกันได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นเสมือนลายนิ้วมือ (Fingerprint) สำหรับตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์เช่นงานวิจัยของอรุณ คงหนูและคณะ (2009) ได้วิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์โดยเทคนิค FEEM ในน้ำทิ้งผ่านการบำบัดของโรงงานแปรรูปยางพาราประกอบด้วยยางขั้นและยางแท่ง โรงงานอาหารทะเลและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพบตำแหน่ง(Peak A): 270-280 nm_{Ex}/450-470 nm_{Em} (Peak B): 320-330 nm_{Ex}/410-420 nm_{Em} (Peak C): 340 nm_{Ex}/420 nm_{Em} และ (Peak D): 380 nm_{Ex}/470 nm_{Em} ซึ่งตำแหน่ง A และ B แสดงให้เห็นกลุ่มสารอินทรีย์ฮิวมิกและฟัลวิค ส่วนกลุ่ม C และ D นั้นมีค่าใกล้เคียงกรอบในตำแหน่งฐานข้อมูลที่เสนอโดย (Musikavong *et al.* 2007) จึงเป็นเรื่องน่าสนใจที่จะศึกษาหาข้อมูลต่อไปและสร้างเป็นฐานข้อมูลกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจพบว่ามีความแตกต่างจากฐานข้อมูลที่ได้เคยมีการรวบรวมไว้ ซึ่งทางกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีและการจัดการทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์กำลังดำเนินการศึกษา

Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) ใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ทุกประเภทและสารประกอบอนินทรีย์บางประเภท รวมถึงหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่างโดยทำการจับคู่สเปคตรัมของสารประกอบที่ต้องการเข้ากับสเปคตรัมอ้างอิง IR/FTIR ใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างและสัณฐานของไอโซเมอร์ ซึ่งเป็นการบ่งบอกองค์ประกอบของสารที่เป็นตัวเกิดปฏิกิริยาหรือใช้ในการศึกษาการเคลื่อนไหวของปฏิกิริยา

คลื่นอินฟราเรดในช่วง Wave number 4,000 – 400 $cm.^{-1}$ ซึ่งจัดเป็นคลื่นอินฟราเรดช่วงกลาง มีความถี่ซึ่งตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะโควาเลนซ์ในโมเลกุลของสาร เมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นหรือการหมุนของพันธะของโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุล ส่งผลให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมา แสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ wave number กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่าอินฟราเรด สเปคตรัม (Infrared Spectrum –IR spectrum)

การวิเคราะห์ลักษณะสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ FTIR นั้นสามารถแจกแจงกลุ่มโครงสร้างสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยออกซิเจนและไนโตรเจนได้เป็นอย่างดี เช่น Carbohydrate Fulvic acid Hydrocarbon และ Proteins การวิเคราะห์โดยใช้ FTIR spectrometry มีรายละเอียดของค่าวามถี่ (Frequencies, cm^{-1}) ที่ใช้ตรวจวัด และสอดคล้องกับโครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 2 (AWWA,2000) และ 3

ตารางที่ 1.2 Infrared frequency bands for biomolecular structures in NOM isolate (AWWA, 2000)

Biomolecule	**Frequencies (cm^{-1})and Structure**
Carbohydrates	3400-3300 (O-H); 1100-1000 (C-0)
Fulvic Acid	3400-3300 (O-H); 2700-2500 (COOH); 1760 (COOR); 1720 (COOH)
Hydrocarbon	1660-1630 (ϕ-C=O); 1280-1150 (ϕ-0;COOH)
Proteins	2960 (CH_3); 2940 (CH_2); 1460 (CH_2); 1380 (CH_3)
	1660 (Amide-1 band; N-C=O); 1550 (Amide-2 band; N=C-O)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 1.3 Wave number และ Functional group จากแหล่งน้ำต่างๆ

Fraction	Wave number(cm^{-1})	Function group	Source water	Reference
HPO	1620-1600	aromatic C=C	Surface water	Zularisam. *et al* .,2006
	1600	aromatic C=C	Wastewater	Xue *et al*., (2008)
	1224	aromatic COOH group	Fresh water	Peuravuori *et al*.,(2005)
TPI	1630–1590	aromatic C=C	Secondary effluent	Xue *et al*.,(2008)
	1600–1650	aromatic C=C	astewater	Quanrud *et al*.,(2004)
	1450 - 1390	aliphatic C–H	Secondary effluent	Xue *et al*.,(2008)
	1040	Aliphatic ether	Surface water	Zularisam. *et al* .,2006
HPI	1640-1585	Aliphatic C-H	Secondary effluent	Xue *et al*.,(2008)
	3400-2500	carboxylic acids O-H	Raw water	Kanokkantapong *et al*.,(2006).
	2960-2890	carboxylic acids	Wastewater	Benoit *et al*.,(2008)

รายงานการศึกษาวิเคราะห์สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำด้วยเทคนิค FTIR เช่น Xue *et al*., (2008) ศึกษาการใช้ FTIR ในการจำแนกลักษณะของสารอินทรีย์ ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ Hydrophobic acid (HPO-A) Hydrophobic neutral (HPO-N) Transphilic acid (TPI-A) และ Transphilic neutral (TPI-N) พบว่า HPO-A มีหมู่ฟังก์ชันเป็น aromatic C=C (1600 cm^{-1}) HPO-N TPI-Aมีหมู่ฟังก์ชันเป็น aliphatic C-H (2950-2850 cm^{-1}) และ TPI-N (1640-1585 cm^{-1}) Kanokkantapong *et al*., 2006. ศึกษาการแยกชนิดของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบประปา เพื่อหาส่วนประกอบของสารอินทรีย์ โดยกระบวนการ resin fractionation ด้วย DAX -8 AG-MP50 WA-10 ได้ถูกนำมาจำแนกสารอินทรีย์ของน้ำดิบจากโรงผลิตน้ำประปาออกเป็น 6 กลุ่มได้แก่ HPOA HPOB HPON HPIA HPIB และ HPIN ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์กลุ่ม HPI ถูกพบมากกว่ากลุ่ม HPO โดย HPIN พบมากที่สุด จากการศึกษาการแยกสารอินทรีย์ในน้ำครั้งนี้ เป็นส่วนสำคัญในการหาศักยภาพการเกิดสารก่อมะเร็งที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำกับคลอรีนจากกระบวนการฆ่าเชื้อโรค จากการศึกษา fraction ของสารอินทรีย์โดยการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 05 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 249158
เลขเรียกหนังสือ

สารอินทรีย์ด้วย FTIR ในตัวอย่างน้ำจะพบหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ carboxylic acids amide ketone amino acids และ aromatic แสดงดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 หมู่ฟังก์ชันหลังจากกระบวนการแยกลักษณะสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบประปา

Fraction	Target functional groups for HAAs
HPOA	Carboxylic acids
HPOB	Amide, amino acids
HPON	Ketone
HPIA	Carboxylic acids
HPIB	-
HPIN	Amide, ketone

ที่มา: Kanokkantapong, 2006

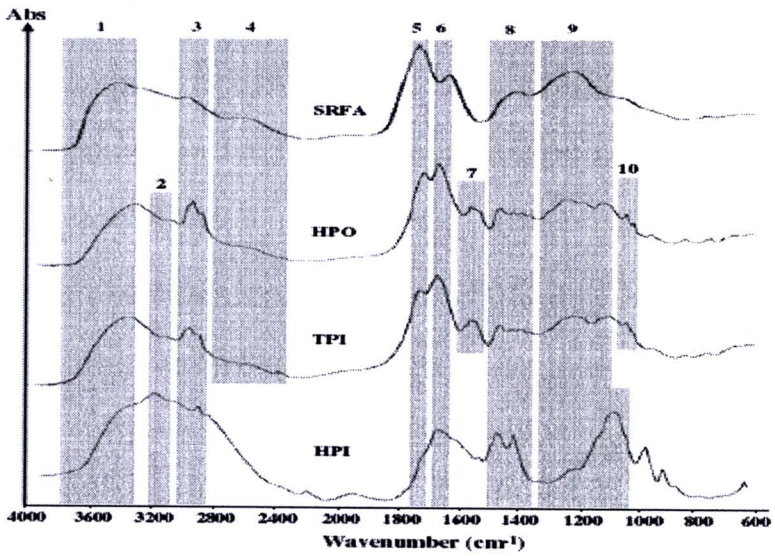
Peuravuori *et al.*,(2005) ใช้ FTIR ในการศึกษาคุณสมบัติชนิดของ humic เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันในสารอินทรีย์พบว่า wave number 1724 cm^{-1} มีหมู่ฟังก์ชันC=C carbonyl functions ketone carboxyl group wave number 1650-1600 cm^{-1} มีหมู่ฟังก์ชัน C=O amide aromatic C=C hydrogen bonded C=O wave number 1224cm^{-1} มีหมู่ฟังก์ชัน COOH group เป็นaromatic และ ester C-OH มีหมู่ฟังก์ชันเป็นaliphatic Zularisam *et al.*,(2006) ศึกษาคุณสมบัติของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินที่ผ่านเมมเบรนฟิลเตรชัน โดยใช้กระบวนresin fraction สามารถแยกสารอินทรีย์เป็น 3 fraction ได้แก่ HPO (humic substances) HPI และ TPI โดยผลการศึกษาพบว่า HPO สามารถแยกได้เกือบ 50% ของ DOC ทั้งหมด เนื่องจากมีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่ และHPI สามารถแยกสารอินทรีย์ได้ 25-40% ของ DOC ทั้งหมด เนื่องจากมีมวลโมเลกุลขนาดเล็ก TPI สามารถแยกสารอินทรีย์ได้ 25%ของ DOC ทั้งหมด การใช้ FTIR ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ในน้ำผิวดินที่ผ่านเมมเบรนฟิลเตรชัน ผลแสดงดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 หมู่ฟังก์ชันสารอินทรีย์ที่ทดสอบโดย FTIR ในแหล่งน้ำผิวดิน

Bands (cm^{-1})	functional groups
Humic substance	
3400-3300	O-H stretching
	N-H stretching
2940-2900	Aliphatic C-H stretching
1725-1720	Carboxylic acids
1660-1630	C=O stretching of amide group
1620-1600	Aromatic C=C
1590-1517	COO- ,N-H
1460-1450	Aliphatic C-H
1400-1390	OH deformation, C-O stretching of phenolic
1280-1200	C-O stretching, OH deformation of COOH
1170-950	C-O stretching of polysaccharide
Polysaccharides	
3400	Alcohol (1,2,3,Ar)
2940	Alkane
1480	Alkane
1370	1370 (starch)
1170	Tertiary alcohol
1120	Secondary alcohol
1040	Aliphatic ether
1000	Primary alcohol
775	Ethyl
Proteins group	
3300	Alcohol
1640	Alkane in aromatic
1540	Mono substituted amide
1100	Ether

ที่มา : Zularisam *et al* (2006)

Benoit *et al.*, (2008) จำแนกสารอินทรีย์ละลายน้ำ โดยการใช้ resin DAX-8/XAD-4 สามารถจำแนกสารอินทรีย์ละลายน้ำแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Hydrophobic (HPO) Transphilics (TPI) และHydrophilic (HPI) พบว่า มีปริมาณ 35% 20% และ 45% ตามลำดับ ผลจากการศึกษา FTIR spectra aromaticity ของน้ำที่ออกจากระบบบำบัด พบว่า Band 1 มีหมู่ฟังก์ชันเป็น O–H alcohols และ carboxylic acids ใน Bands 2 Bands 6 และ7 มีหมู่ฟังก์ชันเป็น amides และ amines, ซึ่งเป็นลักษณะของ proteins and amino sugars Bands 3 และ 8 มี wave number 2960 cm^{-1} เป็น aliphatic (C–H asymmetric stretching in CH_2 and CH_3) และที่ wave number 2890 cm^{-1} (C–H symmetric stretching in CH_2) Bands 4 และ 5 หมู่ฟังก์ชันเป็น carboxylic acid Band 9 หมู่ฟังก์ชันเป็น C–O alcohols และ sugar Band 10 หมู่ฟังก์ชันเป็น sulphonic group แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 1.5 FTIR spectra ของ Suwannee River Fulvic Acid และ HPO TPI HPI fractions isolated จาก WWTP Seine-Aval effluents (Band 1มีหมู่ฟังก์ชัน O–H bonds Bands 2 Band 6และ Band 7 มีหมู่ฟังก์ชัน nitrogen groups Bands 3และ 8 มีหมู่ฟังก์ชัน aliphatic chains Bands 4และ 5: มีหมู่ฟังก์ชัน carboxylic groups Band 9 มีหมู่ฟังก์ชัน C–O bonds Band 10 มีหมู่ฟังก์ชัน sulphonic groups) (Benoit *et al.*, 2008)

Trihalomethane formation potential (THMFP) เป็นผลต่างระหว่างความเข้มข้นของค่า total trihalomethane ณ. เวลาใดๆ ($TTHM_T$) กับ ณ. เวลาที่เก็บตัวอย่าง ($TTHM_0$) เมื่อค่า $TTHM_T$

เป็นความเข้มข้นของสารประกอบทั้ง 4 ชนิดของสารไตรฮาโลมีเทน โดยปกติจะรายงานในอยู่ในรูป $TTHM_7$ ซึ่งเป็นค่า TTHM หลังจากเก็บน้ำตัวอย่างไว้เป็นระยะเวลา 7 วันและค่า $TTHM_0$ เป็นความความเข้มข้นของ TTHM ที่เวลาเก็บตัวอย่าง ถ้าน้ำตัวอย่างไม่มีการเติมคลอรีนในขณะที่เก็บ $TTHM_0$ จะมีค่าความเข้มข้นเข้าใกล้ศูนย์ ค่า THMFP จะเป็นค่า $TTHM_7$ และถ้าน้ำตัวอย่างมีการเติมคลอรีนในขณะที่ทำการเก็บจะทำให้เกิด THMs ส่วนหนึ่ง และ ΔTHMFP จะเป็นค่าที่แตกต่างกันระหว่างความเข้มข้นของ TTHM

กมลนาวินและคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบประปาคลองอู่ตะเภา พบว่าค่า THMFP ของสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 432 และ 316.6 µg/L ตามลำดับ ส่วนค่าในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 318.9 และ 237.1 µg/L เมื่อทำการลดสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl 40 mg/L ร่วมกับ Polymer 1 mg/L และ PAC 80 mg/L โดยลด THMFP นั้น ในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ 49 และ 57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและลดค่า THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในฤดูฝนได้เท่ากับ 77 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในฤดูแล้งได้เท่ากับ 81 และ 96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การลดสารอินทรีย์ธรรมชาติก่อนทำปฏิกิริยากับสารคลอรีนเพื่อลดการเกิดสาร THM นั้นทำได้หลายวิธีเช่นการโคแอกลูเลชัน (Coagulation) การดูดติดโดยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption) การกรองผ่านเมมเบรน (Membrane filtration) และกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced oxidation process) อย่างก็ตามวิธีการซึ่งทำได้ง่ายคือการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันและเพิ่มความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้มีค่าอยู่ในช่วงกรดอ่อนจะเป็นช่วงที่ลดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ดี (USEPA, 1998) กมลนาวินและคณะ (2551) ศึกษาการลดสารอินทรีย์กลุ่มไทโรซีน เทปโตรฟานและฮิวมิคและฟลูวิคอเอซิดในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาจังหวัดสงขลาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้มที่ควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างน้ำสองครั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปริมาณสารส้ม 40 mg/L และ 80 mg/L เป็นค่าที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันเพื่อลดสารอินทรีย์ในน้ำจากฤดูฝนและฤดูแล้งตามลำดับ จากการวิเคราะห์ Fluorescent Excitation-Emission Matrix (FEEM) ของน้ำในฤดูฝนตรวจพบ Fluorescent peaks ที่ตำแหน่ง $230nm_{Ex}/290nm_{Em}$ (Peak A) $235nm_{Ex}/345nm_{Em}$ (Peak B) $285nm_{Ex}/350nm_{Em}$ (Peak C) $315nm_{Ex}/360nm_{Em}$ (Peak D) $270nm_{Ex}/435nm_{Em}$ (Peak E) และ

$335nm_{Ex}/410nm_{Em}$ (Peak F) และมีความเป็นได้ที่ Peak A เกิดจากสารกลุ่ม Tyrosine-like substance ส่วน peak B, C และ D, E และ F เกิดจากสารกลุ่ม Tryptophan-like และ Humic and fulvic acid-like substances ตามลำดับ สารส้ม 80 mg/L ลดสารอินทรีย์ทั้งสามกลุ่มได้ดีโดยเฉพาะสารอินทรีย์กลุ่ม Tyrosine-like substance เมื่อพิจารณา FEEM ของน้ำในฤดูแล้งตรวจพบ Fluorescent peaks ที่ตำแหน่ง B, C, D, E และ F และมีความเป็นได้ที่ peaks B, C และ D, E และ F เกิดจากสารกลุ่ม Tryptophan-like และ Humic and fulvic acid-like substances ตามลำดับ สารส้ม 80 mg/L ลดสารอินทรีย์ทั้งกลุ่ม Humic and fulvic acid-like substances ได้บางส่วนแต่ลดสารอินทรีย์กลุ่ม Tryptophan-like substances ได้น้อยมาก จากผลการศึกษาข้างต้นทำให้มีความจำเป็นต้องจำแนกสารอินทรีย์ว่าสารตั้งต้นของ Tryptophan-like substances ในน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภาเป็นสารชนิดใดและมีความจำเป็นต้องศึกษาว่ากระบวนโคแอกกูเลชันโดยสาร PACl ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในระบบประปาปัจจุบันลดสารอินทรีย์กลุ่ม Tryptophan-like substances ได้หรือไม่และสภาวะที่เหมาะสมเป็นอย่างไร Suksaroj *el al.* (2009) ศึกษาการลดสารกลุ่ม Tryptophan และ Humic and fulvic acid-like ด้วยการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ปริมาณสารส้ม 80 mg/L และควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เท่ากับ 5 ลด UV-254 ได้ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์และลด DOC และ Fluorescent Intensity at Tryptophan และ Humic and fulvic acid-like peaks ได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการกำจัด DOC และ UV-254 ลดลงเมื่อตรวจพบ Tryptophan-like substances รวมอยู่ในน้ำดิบประปา

การใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อลดสารอินทรีย์ในน้ำดิบประปา จากงานการศึกษาเบื้องต้นของกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีและการจัดการทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยรอยหทัยและคณะ(2009) ทดลองปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา ด้วยเมมเบรนแบบปิดตาย ระดับ Microfiltration (MF) และ low pressure Nanofiltration (LPNF) พบว่ากระบวนการเมมเบรนชนิดไมโครฟิวเตรชัน สามารถลดค่า UV-254 มากกว่า 60% แต่ลดค่า DOC ได้ประมาณครึ่งหนึ่งซึ่งยังน้อยกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl เล็กน้อย ส่วนกระบวนการนาโนฟิวเตรชัน สามารถลดค่า UV-254 ได้มากกว่า 80% และลดค่า DOC ได้ประมาณ 50% โดยที่การใช้การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบขั้นต้นด้วย กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย PACl สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้กระบวนการ Microfiltration

จากผลการวิจัยของ วรินทร(2010) พบว่า การบำบัดน้ำขั้นต้นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารสร้างตะกอนชนิด Polyaluminum Chloride (PACl) ที่ความเข้มข้น 40 mg/L ควบคุมค่า pH 7 สามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูปของ UV-254 ได้ดีกว่า DOC คือประมาณ 57% และ 51% ตามลำดับ สำหรับกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF) สามารถลดค่า UV-254 และ DOC ได้ 48% และ 52% ตามลำดับ และเมื่อผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ปรากฏว่ากระบวนการร่วมโคแอกกูเลชันและอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำในรูปของ UV-254 และ DOC ได้ดีที่สุดคือ 74% และ 62% ตามลำดับ ส่วนกระบวนการร่วมไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันน้ำสามารถลดได้เพียง 53% และ 57% ตามลำดับ และเมื่อทำการตรวจวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค FEEM พบว่ากระบวนการร่วมอัลตราฟิลเตรชันสามารถลด Fluorescent Intensity ของสารอินทรีย์กลุ่ม Humic and fulvic acid และ Tryptophan-like substance (ซึ่งจะตรวจพบได้ในน้ำเสียเท่านั้น) ได้ประมาณ 48-53% และ 44-47% ตามลำดับ

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shon *et., al*, 2006 ส่วนระบบไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันมีการใช้กว้างขวางขึ้นในทุกวันนี้โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากมีค่าดำเนินการไม่สูงมากนัก และยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ และเชื้อโรคได้ดีกว่าระบบผลิตน้ำประปาแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Jacangelo *et., al*, 1995) จากการศึกษาหาช่วงมวลโมเลกุล (MW) ของสารอินทรีย์ละลายน้ำ พบว่า สารอินทรีย์ละลายน้ำกลุ่มฮิวมิค มีมวลโมเลกุล (MW) ในช่วง 500-5,000 Daltons (Da) ส่วนกลุ่ม microbial debris มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 Daltons (Da) ขึ้นไป สารอินทรีย์ละลายน้ำ มีมวลโมเลกุลที่ไมโครฟิลเตรชัน (MWCO > 300,000 Da) และอัลตราฟิลเตรชัน (MWCO: 1,000-300,000 Da) สามารถกำจัดได้โดยส่วนมาก แต่หากสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าอาจหลุดลอดออกไปได้เช่นพวกกลุ่มที่ชอบน้ำ ได้แก่ สารในกลุ่มไทโรซีนและเทปโตฟาน ซึ่งตรวจพบในคลองอู่ตะเภาเช่นกัน หากต้องการกำจัดด้วยกระบวนการเมมเบรนต้องใช้นาโนฟิวเตรชันซึ่งสามารถกักกันโมเลกุลสารที่มีขนาด 500-1000 Da

โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ใช้กระบวนการเมมเบรนนั้นมีผลที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่ชนิดของเยื่อเมมเบรนที่ได้และชนิดของสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ ซึ่งจากการศึกษาของ Ates *et., al* (2009) พบว่า ไมโครฟิลเตรชัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ประมาณ 60-70% และ Syafei *et., al* (2009) รายงานว่า อัลตราฟิลเตรชันสามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ประมาณ 80% โดยประสิทธิภาพที่ได้นั้นเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ละลาย

น้ำก่อนและหลังผ่านกระบวนการเมมเบรน ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมา ได้ทำการศึกษาลึกลงไปถึงชนิดของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่กระบวนการเมมเบรนสามารถกำจัดได้ โดยผ่านกระบวนการ Resin Fractionation ซึ่งจากกระบวนการนี้สามารถจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำ (hydrophilic organic compound) และสารอินทรีย์กลุ่มไม่ชอบน้ำ (hydrophobic organic compound)

Kimura *et., al* (2008) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่มีผลต่อการเกิด fouling บนผิวหน้าเยื่อเมมเบรน โดยใช้ MF/UF ทำการแยกขนาดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกเป็น 5 ขนาด คือ < 6,000 Da, 6,000-13,000 Da, 13,000-100,000 Da และ 0.1-0.45 μm และนำ retentate ของแต่ละขนาดมาทำการวิเคราะห์ พบว่า สารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำส่งผลให้เกิด fouling บนผิวหน้าเยื่อเมมเบรนมากกว่า สารอินทรีย์กลุ่มไม่ชอบน้ำ

ในส่วนของการเกิด fouling จากสารอินทรีย์ในน้ำได้มีรายงานการศึกษาวิจัยไว้ด้วยเช่นกัน เช่น Shon *et., al* (2005) ศึกษาการเกิด Fouling ของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้กระบวนการเมมเบรน ชนิดอัลตราฟิลเตรชัน พบว่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดไม่ชอบน้ำ และชนิดชอบน้ำ ได้ประมาณ 67.4% และ 19.7% ตามลำดับ นอกจากนี้ Kimura *et., al* (2008) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่มีผลต่อการเกิด fouling บนผิวหน้าเยื่อเมมเบรน โดยใช้ MF/UF ทำการแยกขนาดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกเป็น 5 ขนาด คือ < 6,000 Da, 6,000-13,000 Da, 13,000-100,000 Da และ 0.1-0.45 μm และนำ retentate ของแต่ละขนาดมาทำการวิเคราะห์ พบว่า สารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำส่งผลให้เกิด fouling บนผิวหน้าเยื่อเมมเบรนมากกว่า สารอินทรีย์กลุ่มไม่ชอบน้ำ

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ของแหล่งกำเนิดน้ำเสียประกอบด้วยพิกัดของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ตลอดจนพิกัดของชุมชนที่ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจากโครงการย่อยที่ 1 และผลการจำแนกสารอินทรีย์จากโครงการย่อยที่ 2 ของแผนงานวิจัย การประเมินคุณภาพน้ำผิวดินเพื่อนำมาควบคุมการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา มาวิเคราะห์การเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบประปาบริเวณต้นน้ำคลองอู่ตะเภาและบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาหาดใหญ่ในปัจจุบัน เพื่อหาแนวทางในการลดสารดังกล่าว

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบประปาของระบบผลิตประปาขนาดใหญ่ในบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาสองแห่งคือบริเวณต้นน้ำคลองอู่ตะเภาและบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาหาดใหญ่ในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีที่ประหยัดและเหมาะสม
3. เสนอแนวทางในการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนจากน้ำประปาทั้งในกรณีการกำจัดสารอินทรีย์เริ่มต้นและในกรณีที่ไม่สามารถลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนได้ตามมาตรฐานน้ำดื่มของการผลิตน้ำประปาด้วยวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ประหยัดและเหมาะสม

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. การแยกสารอินทรีย์ออกเป็นกลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำจะใช้ DAX-8 เรซิ่นในการแยกและกลุ่ม Tranphilic จะใช้ XAD-4 เรซิ่น
2. การจำแนกลักษณะสารอินทรีย์ของสารอินทรีย์กลุ่ม Hydrophobic Transphilic และ Hydrophilic จะใช้วิธี FTIR และ Three dimensional-fluorescent spectroscopy
3. สารโคแอกกูเลนท์ที่ใช้คือสาร Poly Aluminum Chloride (PACl)
4. การทดลองโคแอกกูเลชันทำโดยใช้เครื่อง Jar-Test โดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทำสอบปริมาณสารโคแอกกูเลนท์ 6 ค่าความเข้มข้นและควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง1ค่า (จากข้อมูลของกลุ่มวิจัยฯที่มีการศึกษาต่อเนื่องมาโดยตลอด)
5. เมมเบรนที่ใช้ สำหรับ Microfiltration เป็นเมมเบรนแบบไส้กรอง (cartridge) เมมเบรน nanofiltration ใช้แบบแผ่นกรองแบบไหลตามขวาง (ซึ่งอาจปรับได้ตามชนิดเมมเบรนที่ได้รับมาภายหลังได้แต่ไม่ปรับการเดินระบบ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน 3-5 ค่าสำหรับ nanofiltration)
6. ระบบเมมเบรน MF เดินระบบที่อุณหภูมิห้อง ระบบ nanofiltration มีการควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบหล่อเย็น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ชนิดและแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในคลองอู่ตะเภา เมื่อเทียบกับข้อมูล น้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งโรงงานแปรรูปยางพารา และอาหารทะเล รวมถึงปริมาณและโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนของสารอินทรีย์กลุ่ม Hydrophobic Transphilic และ Hydrophilic ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะและชนิดสารอินทรีย์กับโอกาสการก่อตัวของสารก่อมะเร็งในน้ำที่จุดสูบน้ำดิบประปา ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถใช้เพื่อบ่งชี้ว่าน้ำใน

คลองอู่ตะเภาช่วงใดมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ชนิดใด(จากการจำแนกสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค FEEM) ส่วนมากมาจากแหล่งใด และสารอินทรีย์ดังกล่าวส่งผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งมากน้อยเพียงใด กรณีน้ำดิบประปานั้นผลการศึกษาจะแสดงให้เห็นถึงสภาวะการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในปัจจุบันและนำไปสู่การหาวิธีการจัดการต่อไป

2. การลดสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยกระบวนโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl ซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนที่ใช้จริงในระบบประปาของการประปาหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยกรณีที่ไม่มีการใช้เมมเบรนและการใช้เมมเบรนแบบต่างๆที่ใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl เป็นการบำบัดขั้นต้น

3. สามารถนำกระบวนการเมมเบรนมาพัฒนา และประยุกต์ใช้ในการกำจัด และ/หรือ ลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปา ของระบบผลิตน้ำประปาได้จริง โดยอาจใช้กระบวนการเมมเบรนแทนที่ระบบผลิตน้ำแบบเดิม หรืออาจเพิ่มกระบวนการเมมเบรนกับระบบผลิตน้ำประปาแบบเดิมที่มีอยู่ (hybrid process) เพื่อลดโอกาสการก่อตัวของสารก่อมะเร็งจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำและคลอรีนได้

4. ผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการกำจัด และ/หรือ ลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา และอาจเป็นทางเลือกให้กับระบบผลิตน้ำประปาแหล่งอื่นที่มีลักษณะน้ำดิบประปาคล้ายคลึงกับแหล่งน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา