

บทที่ 2

ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารประกอบไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane , THM)

ไตรฮาโลมีเทนเป็นกลุ่มของสารประกอบออร์กาโนฮาโลเจน (Organohalogen) เกิดจากธาตุหมู่ 7 ในตารางธาตุ เช่น คลอรีน (Cl), บ्रोไมด์ (Br) และไอโอดีน (I) เข้าไปทำปฏิกิริยาแทนที่อะตอมไฮโดรเจน 3 อะตอมของมีเทน มีสูตรทั่วไปเป็น CHX_3 เมื่อ X ก็อะตอมของธาตุในหมู่ที่ 7 มักจะพบสารประกอบไตรฮาโลมีเทน 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl_3) บ्रोโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, CHBrCl_2) ไดบ्रोโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, CHBr_2Cl) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform, CHBr_3)

สารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่พบในกระบวนการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค มักจะพบเพียง 4 ชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว ความสามารถในการเกิดสารประกอบชนิดนี้ขึ้นกับปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำ เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟูลวิก กับคลอรีนอิสระ การเกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนไม่สามารถคำนวณได้จากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าปริมาณสารประกอบไตรฮาโลมีเทนจะเพิ่มสูงสุดเมื่อมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่ตั้งแต่ 3 มก./ล. ขึ้นไป และอัตราการเกิดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นด้วย (APHA,2005)

2.2 นิยาม

Total Trihalomethane (TTHM_T) เป็นผลรวมของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน 4 ชนิดที่เกิดขึ้น ณ เวลา T

TTHM_0 เป็นผลรวมของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนในเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง บางครั้งอาจมีค่าน้อยจนไม่สามารถตรวจวัดได้ หมายความว่าน้ำจากแหล่งนั้นไม่มีการปนเปื้อนโดยคลอรีนหรือไม่มีการคลอรีนชัน หากค่า TTHM_0 มีค่าหลายร้อยไมโครกรัมต่อลิตร แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นผ่านการเติมคลอรีนหรือมีการคลอรีนชัน

TTHM_7 เป็นผลรวมของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นหลังจากตัวอย่างถูกเติมคลอรีนมากเกินไป และให้เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนอิสระที่เติมกับสารอินทรีย์ในน้ำเป็นเวลา 7 วันในสภาวะมาตรฐาน คือสภาวะที่ตัวอย่างมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือประมาณ 3 – 5

มก./ล. เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เมื่อควบคุมพีเอชของตัวอย่างให้เป็น 7.0 ± 0.2 ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์

Trihalomethane formation potential (THMFP หรือ Δ THMFP) เป็นผลต่างระหว่างค่า $TTHM_7$ และ $TTHM_0$ โดยปกติในน้ำธรรมชาติจะไม่มีคลอรีน จะพบคลอรีนเมื่อมี Chlorination ถ้าตัวอย่างน้ำมาจากแหล่งที่ไม่มีการคลอรีนชัน นั่นคือค่า $TTHM_0$ เข้าใกล้ศูนย์ เทอมที่เอามาใช้จะเป็น THMFP

2.3 รายละเอียดแหล่งน้ำที่ใช้ผลิตน้ำประปาที่เลือกศึกษา

2.3.1 กว๊านพะเยา

กว๊านพะเยา อยู่ในเขตอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา ตั้งอยู่ที่พิกัดภูมิศาสตร์ $19^{\circ} 10' 0''$ N, $99^{\circ} 52' 0''$ E เป็นทะเลสาบน้ำจืดใหญ่เป็นอันดับ 1 ในภาคเหนือ และ อันดับ 3 ของประเทศไทย (รองจาก หนองหาน และ บึงบอระเพ็ด) คำว่า "กว๊าน" ตามภาษาพื้นเมืองหมายถึง "บึง" เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติอยู่ใจกลางเมืองพะเยา เกิดจากน้ำที่ไหลมาจากห้วยต่างๆ 18 สาย มีปริมาณน้ำเฉลี่ยปีละ 29.40 ล้านลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่ผิวน้ำ 23.46 ตร.กม. มีพันธุ์ปลาน้ำจืดกว่า 48 ชนิด เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาต่างๆ ทศนิยภาพโดยรอบกว๊านพะเยา มีส่วน ทำให้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวตามธรรมชาติที่สวยงาม

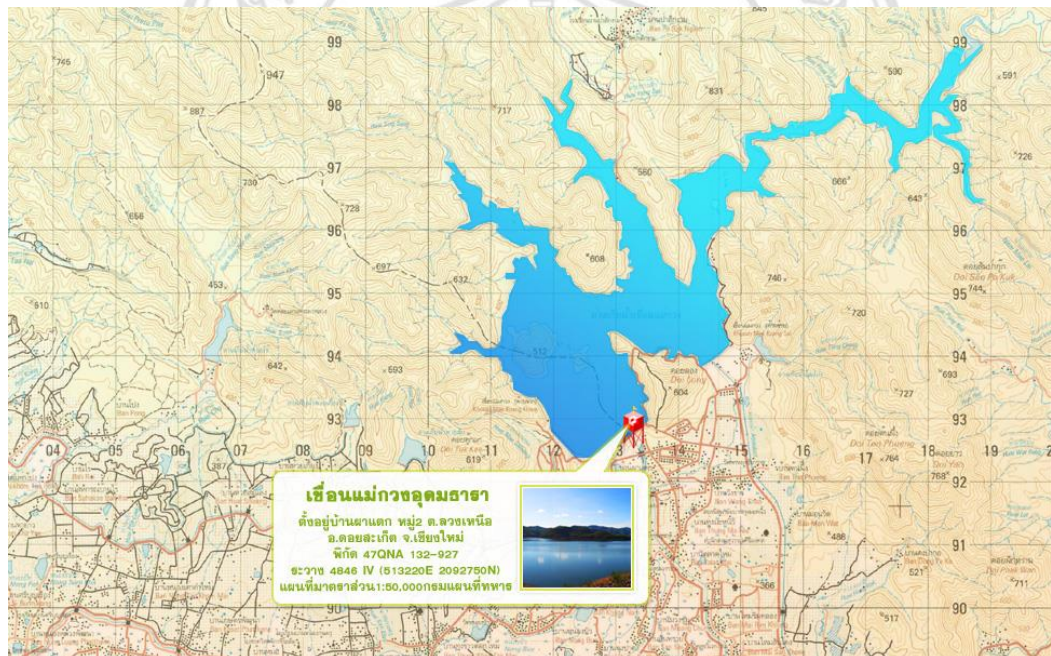
ริมกว๊านพะเยาเป็นร้านอาหารและสวนสาธารณะให้ประชาชนพักผ่อนหย่อนใจ กว๊านพะเยาในอดีตแต่เดิมเคยเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำมีสายน้ำอิงไหลพาดผ่านคเคี้ยวทอดเป็นแนวยาวไปตลอด จากทิศเหนือจรดขอบกว๊านฯ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประกออบกับมีหนองน้ำน้อยใหญ่หลายแห่งและร่องน้ำหลายสายที่ไหลลงมาจากขุนเขาคอยหลวงแล้วเชื่อมติดต่อกัน ทำให้พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำแห่งนี้จึงมีความอุดมสมบูรณ์มากและมีผู้คนเข้ามาตั้งถิ่นฐานอาศัยอยู่เป็นชุมชนนานนับตั้งแต่โบราณ โดยการใช้ประโยชน์กว๊านพะเยาในปัจจุบันมีดังนี้

- ก) ใช้ในการเกษตรกรรมของพื้นที่โดยรอบกว๊านพะเยา
- ข) ใช้ในการอุปโภค บริโภคของเทศบาลเมืองพะเยาและบริเวณโดยรอบ
- ค) เป็นแหล่งเพาะพันธุ์และจับสัตว์น้ำ
- ง) เป็นแหล่งศึกษาวิจัยประมงน้ำจืดของกรมประมง
- จ) เป็นพื้นที่รองรับน้ำที่ไหลบ่ามาจากภูเขา
- ฉ) เป็นพื้นที่รองรับน้ำเสียจากเทศบาลเมืองพะเยาและชุมชนโดยรอบ
- ช) เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญที่สุดของจังหวัดพะเยา
- ซ) เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาของจังหวัดพะเยา

การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพะเยา ใช้น้ำจากก๊ว้นพะเยามาผลิตน้ำประปา โดยมี กำลังการผลิต 1,500 ลบ.ม./ชม. สูบน้ำดิบมาจาก โรงสูบน้ำแรงต่ำบริเวณวัดศรีโคมคำ คุณภาพน้ำ ก๊ว้นจะมีปัญหาเรื่องสาหร่าย ทำให้กระบวนการผลิตของประปาจำเป็นต้องมี Pre-Chlorination เพื่อ กำจัดสาหร่าย และเนื่องจากตะกอนมีลักษณะเป็นตะกอนเบา ทำให้ต้องใช้กระบวนการ Flootation ในการแยกตะกอนออกจากน้ำ

2.3.2 เขื่อนแม่กวงอุดมธารา

ตั้งอยู่ที่บ้านผาแตก หมู่ 2 ตำบลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ พิกัด 47QNA 132-927 ระวาง 4846 IV (513220E 2092750N) ตามแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพิกัดจุดที่ตั้งเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

ที่มา : <http://www.maekueng.net>

อ่างเก็บน้ำมีระดับน้ำสูงสุด +387.80 เมตร (รทก.) และระดับน้ำเก็บกัก +385.00 เมตร (รทก.) ความจุอ่างเก็บน้ำ ณ ระดับน้ำสูงสุด ระดับเก็บกัก และระดับต่ำสุดอยู่ที่ 295 ล้านลบ.ม. 263 ล้านลบ.ม. และ 14 ล้านลบ.ม. ตามลำดับ โดยอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำเก็บกักใช้งาน 249 ล้านลบ.ม. และในแต่ละปีจะมีปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย 238.25 ล้านลบ.ม.

เขื่อนแม่กวงอุดมธารา เป็นเขื่อนดินชนิด Zoned Earth Fill โดยมีแกนกลางเป็นดินเหนียว สันเขื่อนอยู่ที่ระดับ +390.00 เมตร (รทก.) ความยาวสันเขื่อน 610 เมตร ความสูงตัวเขื่อน 68 เมตรกั้นลำน้ำแม่กวงซึ่งเป็นลำน้ำสาขาใหญ่สาขาหนึ่งของลำน้ำปิง มีต้นน้ำอยู่บริเวณเทือกเขาในท้องที่อำเภอคอยสะเก็ด ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดเชียงใหม่ติดต่อกับจังหวัดเชียงราย ลำน้ำนี้ไหลผ่านท้องที่อำเภอคอยสะเก็ด อำเภอสันทราย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอเมืองจังหวัดลำพูน มีความยาวจากต้นน้ำถึงแม่น้ำปิง 115 กม. ในกรณีเกิดพายุในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ จะทำให้น้ำหลาก ซึ่งเป็นสาขาของลำน้ำปิงไหลลงสู่ลำน้ำปิงอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากลำน้ำแม่กวงนี้มีความลาดชันมาก จึงทำให้น้ำในลำน้ำแม่กวงไหลท่วมพื้นที่ทั้งสองฝั่งของลำน้ำแม่ กวงไปยังบริเวณพื้นที่ทั้งสองฝั่งของลำน้ำแม่ปิงในจังหวัดลำพูนจนกระทั่งถึงตัวเมืองเชียงใหม่ ทำให้พื้นที่เพาะปลูกของราษฎรได้รับความเสียหายเกือบทุกปี จึงเกิดการพัฒนางานชลประทานในลุ่มน้ำแม่กวงเกิดขึ้น โดยเขื่อนแม่กวงอุดมธาราได้เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ.ศ. 2531 และเสร็จสมบูรณ์ทั้งโครงการใน พ.ศ. 2536 โดยมีการใช้ประโยชน์จากเขื่อนแม่กวงอุดมธาราดังนี้

ก) เพื่อการชลประทานหรือการเพิ่มผลผลิตการเกษตรซึ่งเป็นประโยชน์หลักของโครงการ คือสามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกได้ประมาณ 175,000 ไร่

ข) เพื่อการบรรเทาอุทกภัย สามารถบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กวง และลุ่มน้ำแม่ปิง จากบริเวณจุดบรรจบที่บ้านสบทา อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน จนกระทั่งถึงตัวเมือง

ค) เพื่อการประมง ในอ่างเก็บน้ำแม่กวง อ่างเก็บน้ำห้วยฮัก และอ่างเก็บน้ำห้วยเกียง เป็นแหล่งเลี้ยงปลาน้ำจืดได้เป็นอย่างดี

ง) เพื่อเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ พื้นที่บริเวณตัวเขื่อนและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งห่างจากตัวเมืองเชียงใหม่ประมาณ 25 กม. เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สวยงามเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจได้เป็นอย่างดี

จ) เพื่อการอุปโภคบริโภคในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยส่งน้ำเข้าระบบของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ ประมาณปีละ 10 ล้านลบ.ม. ซึ่งการประปาสามารถผลิตน้ำประปาได้ประมาณ 2,200 ลบ.ม./ชม. จะสูบน้ำดิบโดยใช้เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งบนเพลลอย ทำให้น้ำจากผิวน้ำด้านบน แต่ในหน้าแล้งปริมาณน้ำในอ่างอาจมีน้อย ทำให้ต้องเปลี่ยนไปรับน้ำบริเวณก้นอ่างซึ่งน้ำจะไหลตามแรงโน้มถ่วง (Gravity flow) น้ำดิบจากบริเวณนี้จะมีปัญหาเรื่องเหล็กและแมงกานีส ทำให้กระบวนการผลิตต้องมีการใช้สารเคมีในปริมาณมาก โดยขั้นตอนจะเริ่มต้นจาก Pre-Chlorination เพื่อกำจัดสาหร่าย ใช้ด่างทับทิมเพื่อกำจัดแมงกานีส ใช้ผงถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสีและกลิ่น ตกตะกอนด้วยสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์และปรับพีเอชด้วยปูนขาว หลังจากผ่านการกรองจะ Post-Chlorination ก่อนจะเข้าไปเก็บที่ถังน้ำใสเพื่อส่งจ่ายให้ผู้ใช้ต่อไป

2.3.3 แม่น้ำปิง

แม่น้ำปิงมีต้นกำเนิดในทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ไหลจากทิศเหนือลงมาทางทิศใต้ผ่านพื้นที่ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ตาก มาบรรจบกับแม่น้ำวังที่จังหวัดตาก และไหลผ่านจังหวัดกำแพงเพชรไปบรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ มีความยาวรวมทั้งสิ้นประมาณ 740 กม. ลำน้ำสาขาที่สำคัญ ได้แก่ แม่แตง แม่จัด แม่กว้ง แม่ขาน แม่แจ่ม รวมทั้งแม่น้ำวังซึ่งเป็นสาขาหลักที่ใหญ่ที่สุดด้วย

ในด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิง จากข้อมูลการสำรวจของกองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ซึ่งทำการสำรวจคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 (ลุ่มน้ำสาขารอบคลุมพื้นที่ในอำเภอดอยหล่อ ดอยสะเก็ด เมืองเชียงใหม่ แม่แตง แม่ริม สะเมิง สันทราย สารภี และหางดง) ตั้งแต่ปี 2540-2545 แสดงว่า น้ำในแม่น้ำปิงบริเวณลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 ปัจจุบันมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีพอใช้ ต่างจากสถานภาพในอดีตที่ค่อนข้างเสื่อมโทรม โดยปัจจุบันน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายในระดับที่สูงกว่า 4 มก./ล. โดยตลอด อย่างไรก็ตาม บริเวณพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองเชียงใหม่ ยังคงปรากฏมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และจุลชีพที่เกิดจากน้ำทิ้งชุมชนในระดับที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะการปนเปื้อนของฟิโคลโคลิฟอร์ม ส่วนใหญ่จะมีค่าเกินระดับความเหมาะสมสำหรับการนำน้ำไปใช้เป็นน้ำดิบผลิตประปา

การประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ได้สูบน้ำดิบจากแม่น้ำปิงมาทำการผลิตน้ำประปาของโรงกรองป่าตัน โดยมีกำลังการผลิต 1500 ลบ.ม./ชม. ซึ่งจะสูบน้ำดิบจากโรงสูบน้ำแรงต่ำบ้านท้อ เนื่องจากแม่น้ำปิงเป็นแหล่งน้ำไหล มีคุณภาพน้ำที่ค่อนข้างแปรผัน โดยปัญหาที่พบส่วนใหญ่จะเป็นความขุ่นของน้ำและมีปัญหาแมลงกาน้ำในบางครั้ง จึงทำให้กระบวนการผลิตมีการ Pre-Chlorination และการกำจัดความขุ่นด้วยสารโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ หลังจากผ่านการกรองจะ Post-Chlorination ก่อนจะไปยังถังน้ำใสเพื่อส่งจ่ายให้ผู้ใช้ต่อไป

2.3.4 คลองชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แตง

โครงการฯ แม่แตง เป็นโครงการส่งน้ำขนาดใหญ่โดยใช้แรงโน้มถ่วง ไม่มีระบบเก็บกักน้ำ เป็นประเภทฝายทดน้ำ โดยทดน้ำในลำน้ำแม่แตงให้ไหลเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ (เพียงสายเดียว) เพื่อส่งน้ำให้กับเนื้อที่โครงการฯ ซึ่งลำน้ำแม่แตงสายนี้ เป็นลำน้ำสาขาของ แม่น้ำปิงตอนบนมีระบบส่งน้ำตามคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่ขวา ทำการส่งน้ำได้ 24 ลบ.ม./วินาที สภาพภูมิประเทศโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แตง จะมีเนื้อที่ส่งน้ำอยู่ฝั่ขวาของลำน้ำแม่ปิง มีคลองส่งน้ำ สายใหญ่เพียงสายเดียว ตัดเลาะไปตามสันเนินของชายเขาจากห้วยงาน อ.แม่แตง ไปจนถึงปลายคลองที่ อ.สันป่าตอง มีความยาว 74.558 กม. เป็นคลองลาดคอนกรีต 30.535 กม. และคลองดิน 44.023 กม.

โดยส่งน้ำทางฝั่งซ้ายด้านเดียวจากคลองสายใหญ่ลงสู่ที่ราบจนจดลำน้ำแม่ปิง พื้นที่ดังกล่าวจึงมีสภาพภูมิประเทศลาดเทจากชายเขาทิศตะวันตกไปจดลำน้ำแม่ปิงในทิศตะวันออก

ปัจจุบันโครงการฯ มีพื้นที่รับประโยชน์จากโครงการ สามารถจำแนกออกได้ดังนี้

ก) ด้านการเกษตร แบ่งเป็น ปลูกข้าวนาปีประมาณ 66,210 ไร่ ปลูกพืชฤดูแล้งประมาณ 35,500 ไร่ ปลูกไม้ผล ประมาณ 27,925 ไร่ บ่อปลาประมาณ 1,019 ไร่

ข) ด้านอุปโภค บริโภค มีการส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค ให้แก่หน่วยงานราชการต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , กองบิน 41 และราษฎรที่อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯ

ค) ประโยชน์เพื่อการประปา โดยได้ส่งน้ำให้กับการประปาส่วนภูมิภาคเชียงใหม่ประมาณ 4.32 ล้านลบ.ม./ปี

ง) เพื่อสนับสนุนกิจกรรม ของโครงการต่อเนื่องมาจากพระราชดำริ คือ ส่งน้ำสนับสนุน สวนหลวง ร.9 และศูนย์สมุนไพรกองบิน 41 (<http://vh1.irmaetang.net/>)

การประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ได้สูบน้ำดิบจากคลองชลประทานแม่แตงมาทำการผลิตน้ำประปาของโรงกรองอุโมงค์ โดยมีกำลังการผลิต 1,250 ลบ.ม./ชม. ซึ่งจะสูบน้ำดิบจากคลองชลประทานแม่แตงโดยตรง กระบวนการผลิตมีการ Pre-Chlorination และการกำจัดความขุ่นด้วยสารโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ หลังจากผ่านการกรองจะ Post-Chlorination ก่อนจะไปยังถังน้ำใสเพื่อส่งจ่ายให้ผู้ใช้ต่อไป

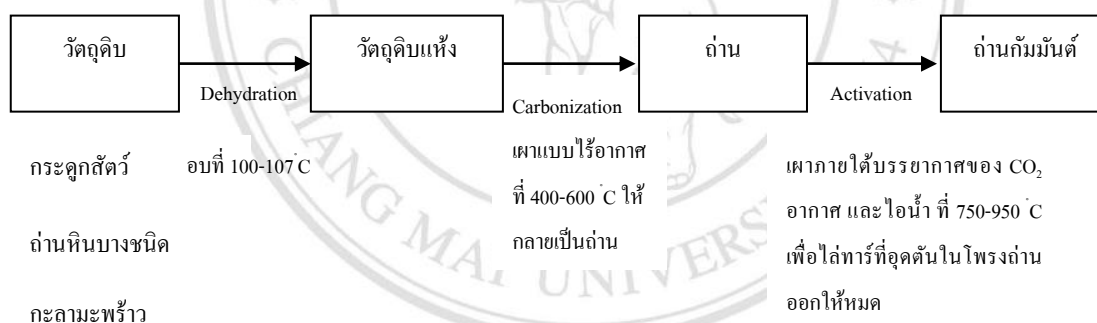
2.4 การกำจัดไทรฮาโลมีเทนออกจากน้ำด้วยกระบวนการดูดซับ

กระบวนการที่สามารถใช้กำจัดไทรฮาโลมีเทนออกจากน้ำมีหลายวิธี เช่น การใช้เมมเบรน การใช้ถ่านกัมมันต์ Air stripping การให้ความร้อน แต่กระบวนการในการผลิตน้ำประปามีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สะดวกในการนำมาใช้ จึงเลือกใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัด

การดูดซับเป็นการแยกโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากสารละลายด้วยการใช้ผิวของของแข็ง การดูดซับนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมและโมเลกุลของตัวถูกละลายกับสารที่มาประกอบกันขึ้นเป็นพื้นผิว เมื่อตัวถูกละลายในของเหลวถูกดูดซับบนผิวของของแข็ง กระบวนการดูดซับนี้จะเกิดขึ้นที่ระหว่างหน้าของของแข็งกับของเหลว (Solid-liquid interface) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ระหว่างหน้าดังกล่าวจะเป็นผู้กำหนดอัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับของพื้นผิว กระบวนการดูดซับของตัวถูกละลายในของเหลวบนผิวของแข็งนี้เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากในการกำจัดสารเจือปนที่ละลายน้ำออกจากน้ำ โดยตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนผิวของแข็งนี้เรียกว่าสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่สามารถดูดซับตัวถูกละลายไว้ที่ผิวเรียกว่า สารตัวกลาง (adsorbent)

2.4.1 สารตัวกลาง (adsorbent)

สารตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการดูดซับมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ดินเหนียวประเภทต่างๆ แอ็คติเวทเต็ดซิลิกา แอ็คติเวทเต็ดอลูมินา ซิลิกาเจล แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันถ่านกัมมันต์นับเป็นสารตัวกลางที่ดี และนิยมใช้กันมากที่สุด ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด โดยการทำให้มีรูพรุนหรือมีโพรงภายในเนื้อถ่านมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับเป็นปรากฏการณ์พื้นผิว ดังนั้นจึงต้องการสารตัวกลางที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรหรือที่เรียกว่า พื้นที่ผิวจำเพาะสูง โดยการผลิตถ่านกัมมันต์จะมีขั้นตอนแสดงไว้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการไล่ไอน้ำ (dehydration) การทำให้เป็นถ่าน (carbonization) และการทำให้มีความพรุนสูง (activation) ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น สามารถทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะได้สูงถึง 600-1,000 ตร.ม./กรัม การที่ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงจะทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลจำนวนมากๆ ได้ ดังนั้นพื้นที่ผิวดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดสมรรถนะของการดูดซับ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ที่มา : วิไลลักษณ์ (2542)

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานทางสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถแบ่งตามขนาดออกได้เป็น 2 แบบ ดังนี้ คือ

ก) แบบผง (Powder Activated Carbon; PAC)

ถ่านกัมมันต์แบบนี้มีขนาดอยู่ในช่วง 10-50 ไมครอนหรือน้อยกว่า การใช้ถ่านกัมมันต์แบบนี้กระทำโดยการเติมลงไปใต้น้ำและ/หรือน้ำเสีย โดยอาจเติมพร้อมๆ กับสารรวม

ตะกอนในถังกวนเร็วก็ได้ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วจะรวมกับตะกอนแขวนลอยในน้ำกลายเป็นฟล็อก ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการตกตะกอนหรือการกรอง ด้วยเหตุนี้จึงนิยมเติมถ่านกัมมันต์ก่อนกระบวนการตกตะกอนหรือการกรอง การใช้ถ่านกัมมันต์แบบนี้มีข้อดีตรงที่ราคาถูก การเพิ่มหรือลดปริมาณถ่านกัมมันต์เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของน้ำดิบนั้นสามารถกระทำได้ทันทีและมีความสะดวก นอกจากนี้การดูดซับก็เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและไม่มีการลงทุนเบื้องต้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านกัมมันต์แบบนี้ก็มีข้อเสียตรงที่ใช้ได้ครั้งเดียวต้องทิ้ง เนื่องจากการทำให้พื้นดินสภาพ (regeneration) นั้นไม่คุ้มค่าและสามารถกำจัดสารเจือปนให้เหลือน้อยได้ แต่การกำจัดจนหมดนั้นไม่คุ้มค่าเนื่องจากต้องใช้ถ่านกัมมันต์เป็นปริมาณมาก

ข) แบบเบกลีค (Granular Activated Carbon; GAC)

การใช้ถ่านกัมมันต์แบบนี้ในการกำจัดสารละลายออกจากน้ำกระทำโดยการบรรจุถ่านกัมมันต์ดังกล่าวลงในถังแล้วให้น้ำไหลผ่านเหมือนการกรองน้ำ ถังถ่านกัมมันต์นี้มีทิวทางหลังถังกรองเพื่อมิให้ถ่านกัมมันต์ต้องทำหน้าที่กรองความขุ่นซึ่งอาจทำให้สมรรถนะในการดูดซับเสื่อมลง อันเนื่องมาจากการอุดตัน ถ่านกัมมันต์แบบเบกลีคที่ใช้จนเสื่อมสภาพแล้วสามารถนำมาทำให้ฟื้นคืนสภาพด้วยการนำไปเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ 750-950 องศาเซลเซียส และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์

โดยทั่วไปการดูดซับโมเลกุลของตัวถูกละลายบนสารตัวกลางจะประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

- 1) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาสารตัวกลาง
- 2) การแทรกตัวของโมเลกุลผ่านชั้นฟิล์มของน้ำที่ห่อหุ้มสารตัวกลางเข้าถึงผิวของสารตัวกลาง ขั้นตอนนี้เรียกว่า film diffusion
- 3) การแทรกตัวของโมเลกุลเข้าไปในช่องว่างภายในสารตัวกลางซึ่งเรียกว่า pore diffusion
- 4) การดูดซับบนสารตัวกลางของโมเลกุลโดยไม่หลุด

ในระหว่างที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปดูดซับอยู่บนสารตัวกลาง โมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ภายในโพรงของสารตัวกลาง จะมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาสารตัวกลางจะเกิดขึ้นจนถึงจุดสมดุล การดูดซับจะไม่เกิดขึ้นอีกต่อไป สมดุลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์นี้เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดความสามารถของการดูดซับ นอกจากนี้ยังมีสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของการดูดซับนั่นก็คือ อัตราเร็วของการดูดซับ ซึ่งอัตราเร็วนี้สามารถทำให้รู้ว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นภายในเวลาเท่าใด จึงช่วยกำหนดเวลากักน้ำหรือเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งเท่ากับเป็นการกำหนดขนาดของถังบรรจุถ่านกัมมันต์นั่นเอง

2.4.2 สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

ในการดูดซับระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวบนผิวของของแข็ง ขณะที่การดูดซับดำเนินไปนั้น จะมีสารที่ดูดติดบนผิวของแข็งแล้วบางส่วนสามารถละลายกลับไปอยู่ในของเหลวได้อีก ปฏิกิริยาทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นไปพร้อมๆ กัน จนกระทั่งในที่สุดปริมาณของสารที่ดูดซับบนผิวของของแข็ง (adsorbed) จะเท่ากับปริมาณของสารที่ละลายกลับสู่ของเหลว (desorbed) นั่นคืออัตราในการดูดซับและอัตราในการละลายกลับของสารได้เข้าสู่สมดุล ซึ่งเรียกว่า สมดุลของการดูดซับ ที่สมดุลนี้ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารที่ดูดซับบนผิวของของแข็งหรือของเหลวได้ สมดุลของการดูดซับจะขึ้นอยู่กับลักษณะต่างๆ ของระบบ เช่น สารที่อยู่ในของเหลว สารตัวกลาง ของเหลว อุณหภูมิ พีเอช เป็นต้น โดยปกติปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารตัวกลางที่สถานะสมดุลและที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่า Adsorption Isotherm

มีผู้เขียนสมการเพื่อนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะข้อมูลของการดูดซับหลายสมการ แต่ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ Langmuir Adsorption Isotherm และ Freundlich Adsorption Isotherm

ก) Langmuir Adsorption Isotherm บางครั้งเรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model มีสมมติฐานที่สำคัญดังนี้ คือ

- มีพื้นที่ที่ถูกดูดซับจำกัดและโมเลกุลที่ถูกดูดซับที่ผิวของสารตัวกลางอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน
- แต่ละตำแหน่งที่ถูกดูดซับจะรับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้นหรือกล่าวได้ว่ามีการดูดซับเพียงชั้นเดียว
- พลังงานในการดูดซับมีค่าเท่ากันในทุก ๆ ตำแหน่ง

นอกจากนี้โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาอย่างอิสระระหว่างพื้นผิวหรือทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้ๆ ได้ สำหรับสมการ Langmuir Isotherm สามารถแสดงดังสมการที่ (2.1) และสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$\frac{x}{m} = \frac{abC}{1+aC} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{abC} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

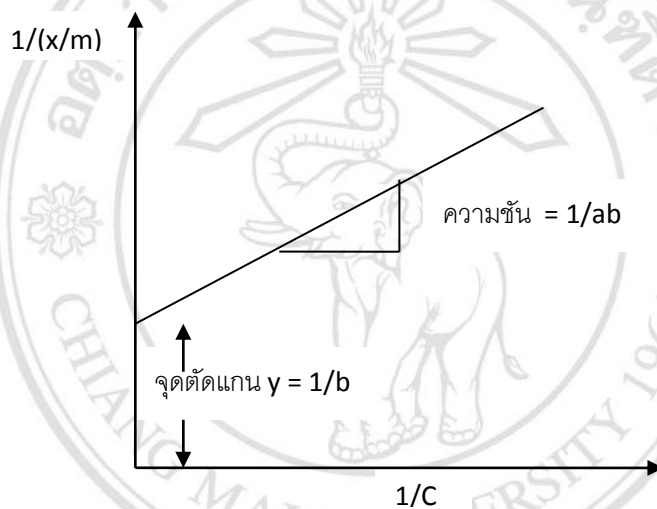
เมื่อ x = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ

m = น้ำหนักของสารตัวกลาง (มก. หรือ ก.)

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลายภายหลังการดูดซับ (มก./ล.)

a, b = ค่าคงที่

ถ้าหากกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามหลักการของ Langmuir เมื่อนำค่า $1/(x/m)$ ไปเขียนกราฟเทียบกับ $1/C$ จะได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจากกราฟดังกล่าวสามารถที่จะนำไปหาค่าคงที่ a และ b ได้จากจุดตัดแกน y และความชันของเส้นกราฟ



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/(x/m)$ และ $1/C$

ที่มา : วิไลลักษณ์ (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

ข) Freundlich Adsorption Isotherm

สมการของ Freundlich เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว โดยมีสมมติฐานว่าตัวกลางชนิดหนึ่งๆ จะมีพื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) ดังนั้นบริเวณที่เกิดการดูดซับจึงมีลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยสามารถอธิบายได้ดังแสดงในสมการที่ (2.3)

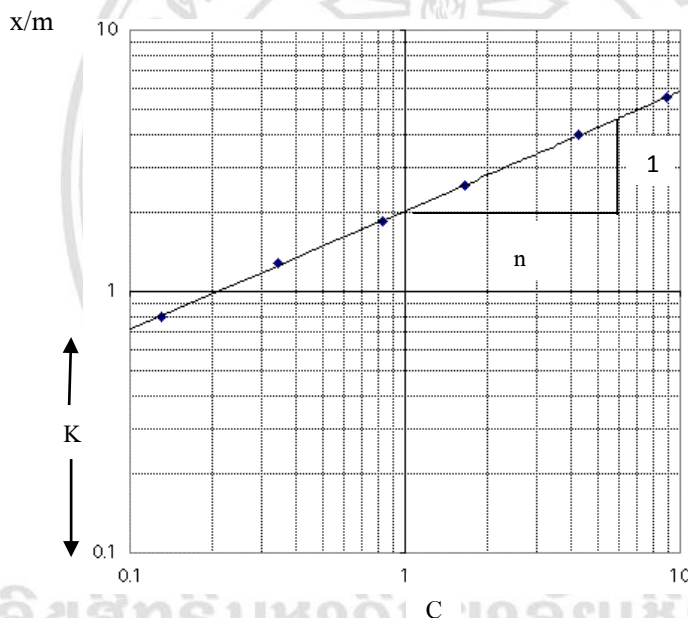
$$\frac{x}{m} = KC^{1/n} \dots\dots\dots(2.3)$$

เมื่อ K และ n คือ ค่าคงที่

จากสมการที่ 2.3 สามารถเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึมได้ดังสมการที่ (2.4)

$$\log \frac{x}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

จากสมการที่ 2.4 จะเห็นว่าถ้าการดูดซับเป็นไปตามทฤษฎีของ Freundlich การเขียนกราฟระหว่าง $\log (x/m)$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีจุดตัดแกน y เท่ากับค่าคงที่ K และความชันของกราฟเท่ากับ $1/n$ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log (x/m)$ และ $\log C$
ที่มา : วิไลลักษณ์ (2542)

สำหรับการดูดซับสารประกอบอินทรีย์บนผิวของถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่า $1/n$ ต่ำกว่า 1 กราฟที่มีค่าความชันสูงคือมีค่า $1/n$ เข้าใกล้ 1 การดูดซับนี้จะมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงเมื่อความเข้มข้นของสารในของเหลวที่สมดุลมีค่าสูง แต่ค่าความสามารถในการดูดซับนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นที่สมดุลมีค่าต่ำลง ส่วนในกรณีที่เส้นกราฟมีค่าความชันต่ำ หรือ $1/n \ll 1$ ความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อค่าความเข้มข้นของสารในของเหลวที่สมดุลมีค่าต่ำลง

จากสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดซับของสารตัวกลาง หรือค่า x/m จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารในของเหลว ดังนั้นค่าความสามารถในการดูดซับจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของสารในของเหลวที่สมดุลมีค่าสูงขึ้น

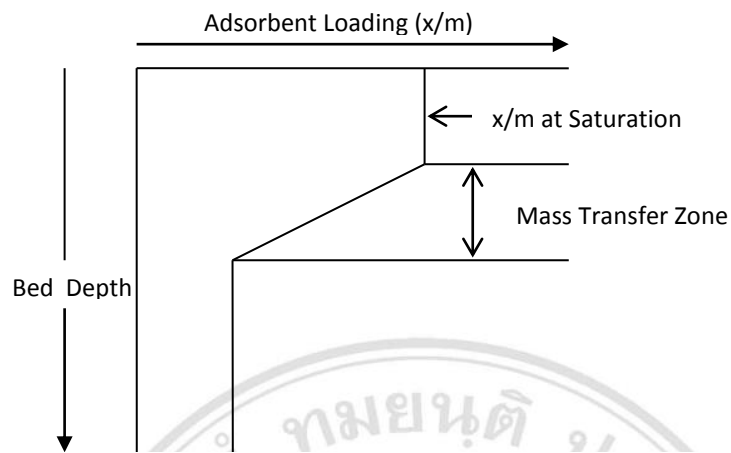
นอกจากนี้ สมการของ Freundlich ยังสามารถใช้ในการคำนวณปริมาณของสารตัวกลางที่ต้องการในการลดค่าความเข้มข้นของสารในของเหลว จากค่าความเข้มข้นเริ่มต้นค่าหนึ่งให้เหลือค่าความเข้มข้นสุดท้ายที่ต้องการได้ โดยการแทนค่า x ในสมการที่ 4 ด้วย $C_0 - C$ โดยที่ค่า C_0 คือค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารในของเหลวดังสมการที่ (2.5)

$$\log \frac{(C_0 - C)}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

สมการที่ (2.5) นี้ มีประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสารต่างๆ ของสารตัวกลางทั้งชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน

2.4.3 ลักษณะของกราฟเบรคทู (Breakthrough Curve) และการเคลื่อนย้ายมวลสารสำหรับ Fixed-Bed Adsorption Column

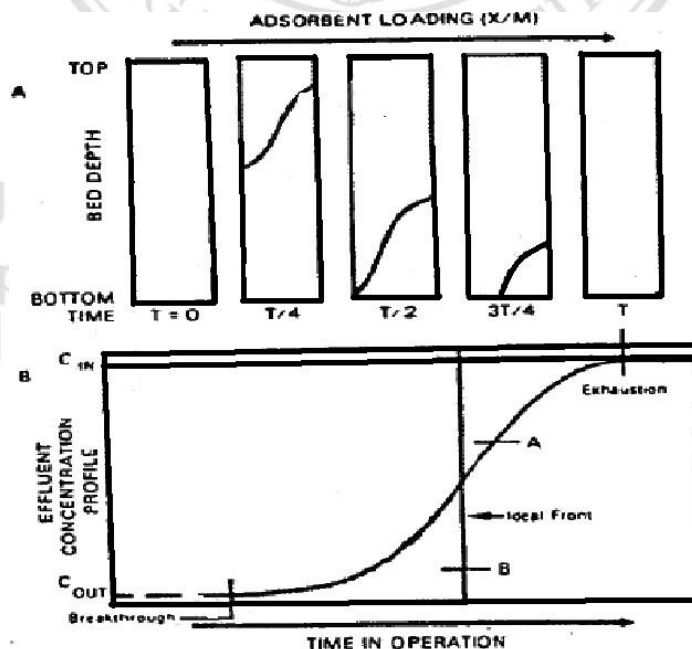
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของสารตัวกลางที่มีความลึกต่างๆ ใน Fixed-Bed Adsorption Column โดยในความยาวของคอลัมน์ส่วนที่มีการดูดซับเกิดขึ้นนี้เรียกว่า Sorption Zone หรือ Mass Transfer Zone เพราะเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนย้ายมวลสารจากของเหลวไปสู่ผิวของแข็งดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะของกราฟเบรคทู โดยกราฟเบรคทูนี้เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเจือปนในน้ำออกกับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ เมื่อสารตัวกลางถูกใช้จนหมด (ที่สมดุล $C_{in} = C_{out}$) หรือเมื่อ Mass Transfer Zone เคลื่อนผ่านคอลัมน์ลงมาถึงปลายคอลัมน์ ความเข้มข้นของสารเจือปนในน้ำออกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับในน้ำเข้า ในช่วงแรก น้ำที่ผ่านระบบออกมาจะมีค่าความเข้มข้นของสารที่ต้องการกำจัดน้อยมาก แต่หลังจากผ่านไปเรื่อยๆ จะพบว่าน้ำที่ออกมาจะมีค่าความเข้มข้นของสารที่ต้องการกำจัดเพิ่มขึ้น จุดที่น้ำออกมีค่าความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลันนี้ เรียกว่า จุดเบรคทู (Breakthrough Point) ในบางครั้งจุดนี้อาจไม่ได้หักมุมโดยทันที แต่จะค่อยๆ โค้งขึ้นจนกระทั่งน้ำออกมีค่าความเข้มข้นของสารที่ต้องการกำจัดเท่ากับของน้ำเข้าดังรูปที่ 2.6 จุดเบรคทูนี้นี้เป็นจุดที่ใช้วัดค่าความสามารถในการดูดซับของสารตัวกลางได้



รูปที่ 2.5 Mass Transfer Zone ใน Fixed-Bed Adsorption Column

ที่มา : Samuel D. Faust and Osman M. Aly.(1987)

ลักษณะของกราฟเบรคทรูโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายตัว S (S-Shape) กรณีที่เส้นกราฟของกราฟเบรคทรูมีความชันสูง แสดงว่าในการดูดซับจะมี Film Transfer Coefficient และ Internal Diffusion Coefficient สูง หรือ Freundlich Adsorption Isotherm มีลักษณะราบหรือมีความชันต่ำ ($1/n$ มีค่าน้อย)



รูปที่ 2.6 Breakthrough Curve ของ Fixed-Bed Adsorption Column

ที่มา : Samuel D. Faust and Osman M. Aly.(1987)

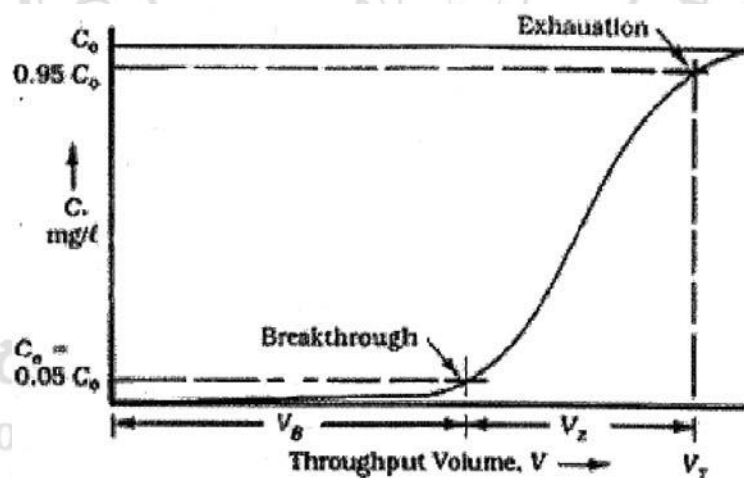
ถ้าคำนวณพื้นที่ภายใต้เส้น $0.95C_0$ ลงมาจนถึงเส้น C_0 ตามรูปที่ 2.7 จะได้ค่าปริมาณสารในของเหลวทั้งหมดที่สะสมในคอลัมน์ และถ้านำปริมาณสารตัวกลางที่บรรจุในคอลัมน์มาหารจะได้ค่าความสามารถในการดูดซับของสารตัวกลางที่สามารถดูดซับสารที่อยู่ในของเหลวนั้นๆ ความสามารถในการดูดซับเท่ากับผลรวมของพื้นที่ที่แบ่งเป็นส่วนเล็กๆ หารด้วยสารตัวกลางที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับในคอลัมน์ ดังสมการที่ (2.6)

$$\text{ความสามารถในการดูดซับ} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_E - C_{Ei}) dV_i}{\text{Weight Media}} \dots\dots\dots(2.6)$$

โดยที่ C_E = ความเข้มข้นของสารที่อยู่ในของเหลวที่จุดหมดสภาพ (95 % ของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่อยู่ในของเหลวที่เข้าระบบ)

C_{Ei} = ความเข้มข้นของสารที่อยู่ในของเหลว (Solute) ที่ผ่านระบบ ณ ปริมาตรที่ i

V_i = ปริมาตร ณ เวลา i



รูปที่ 2.7 รูปแบบของกราฟเบรคทรูในกระบวนการดูดซับ

ที่มา : Richards and Reynolds (1996)

2.4.4 การหาความยาวของ Mass Transfer Zone

ความยาวของ Mass Transfer Zone หรือ Sorption Zone สามารถหาได้โดยสมการที่ (2.7)

$$L_m = L \left[1 - \frac{t_b}{t_s} \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยที่ L_m = ความยาวของ Mass Transfer Zone

L = ความสูงทั้งหมดของชั้นสารตัวกลาง

t_b = เวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำ เริ่มจากเดินระบบจนกระทั่งน้ำออกเริ่มมีค่าความเข้มข้นเกินค่าที่ยอมรับได้ (Breakthrough Time)

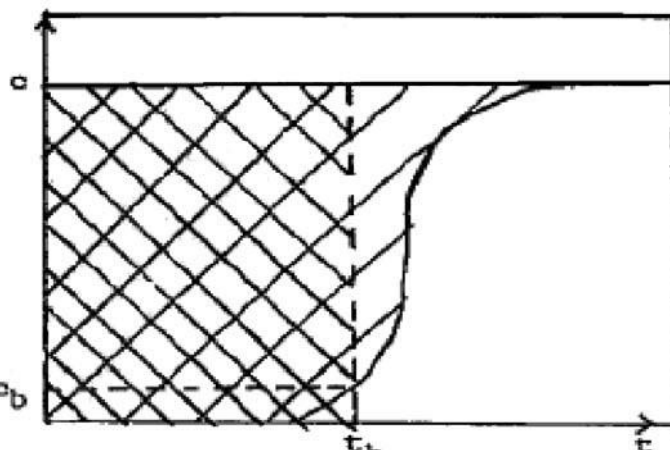
t_s = เวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำ เริ่มจากเดินระบบจนกระทั่งสารตัวกลางถูกใช้จนหมด (Time to Saturation)

ค่า t_b และ t_s ในสมการที่ (7) อาจหาได้จากกราฟเบรคทรูดังรูปที่ 2.8 หรือโดยใช้สมการที่ (2.8) และ (2.9) ดังนี้

$$t_b = \int_0^{t_b} (1 - C) \frac{dt}{C_0} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$t_s = \int_0^\infty (1 - C) \frac{dt}{C_0} \dots\dots\dots(2.9)$$

และ



รูปที่ 2.8 การหาค่า t_b และ t_s จาก Breakthrough Curve

ที่มา : Samuel D. Faust and Osman M. Aly.(1987)

นอกจากสมการที่ (2.7) แล้ว ยังสามารถหาความยาวของ Mass Transfer Zone ได้โดยใช้สมการที่ (2.10) ดังนี้

$$Z_s = Z \left[\frac{V_Z}{V_T - 0.5V_Z} \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

โดยที่ Z_s = ความยาวของ Mass Transfer Zone

Z = ความสูงทั้งหมดของสารตัวกลาง

V_T = ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัด ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพของสารตัวกลาง ดังรูปที่ 2.7

V_Z = ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัด ระหว่างจุดเบรคทวจนถึงจุดหมดสภาพของสารตัวกลาง หรือมีค่าเท่ากับ $V_T - V_B$

2.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Musikavong C. และ Wattanachira S. (2007) ได้ศึกษาโดยทำการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบและผ่านระบบบำบัด ซึ่งประกอบด้วยบ่อเติมอากาศ บ่อแฟลลเททีฟ และบ่อออกซิเดชัน ของนิคมอุตสาหกรรมลำพูน โดยทำการเก็บตัวอย่าง 4 จุด เพื่อมาประเมินสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในรูปของ DOC, UV Absorbance at Wavelength 254 nm (UV-254), Specific Ultraviolet Absorption (SUVA), THMFP โดยวัดค่าได้ตามลำดับดังนี้ 12.9 มก./ล., 0.165 ซม.⁻¹, 1.29 ล./มก.-ม. และ 1.24 มก./ล. ในส่วนของบ่อเติมอากาศให้ผลการบำบัดดีที่สุดโดยลด DOC ได้ร้อยละ 54 ลด UV-254 ได้ร้อยละ 33 และลด THMFP ได้ร้อยละ 57 แต่ SUVA กลับมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับบ่อแฟลลเททีฟ และบ่อออกซิเดชันไม่พบการลดลงของสารอินทรีย์ละลายน้ำแต่อย่างใด ค่าเฉลี่ยของ DOC, UV-254, SUVA, THMFP ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นดังนี้คือ 5.8 มก./ล., 0.107 ซม.⁻¹, 1.85 ล./มก.-ม. และ 468 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ และพบว่า คลอโรฟอร์มเป็นสปีชีส์ของ THM ที่พบมากที่สุด โดยมีร้อยละ 72.6 ของ TTHMFP

นรเทพ ปรีชาณุกุล (2553) ได้ศึกษาการเกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนในน้ำจากกระบวนการผลิตน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าความสามารถในการเกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนเมื่อใช้น้ำจากอ่างแก้วเป็นแหล่งผลิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 387 ไมโครกรัม/ลิตร คลอโรฟอร์ม ในขณะที่ปริมาณสารอินทรีย์ละลายเหลือมีค่าเท่ากับ 3.45 มก./ล. และคลอโรฟอร์มเป็นสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่ตรวจพบมากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 95 รองลงมาคือ ไดคลอโรโบรโมฟอร์มประมาณร้อยละ 5 ไดโบรโมคลอโรฟอร์มพบน้อยมาก และไม่พบโบรโมฟอร์ม นอกจากนี้ความสามารถในการเกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนยังมีความสัมพันธ์กับฤดูกาล โดยมีการเกิดในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง จากการตรวจวัดปริมาณสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจริงในน้ำประปาจากถังเก็บน้ำใสหลังเดิมคลอรีน และจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.1 และ 47.3 ไมโครกรัม/ลิตรคลอโรฟอร์มตามลำดับ ปริมาณสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจริงในน้ำประปาส่วนใหญ่ยังคงเป็นคลอโรฟอร์ม คิดเป็นร้อยละ 93 ไดคลอโรโบรโมฟอร์มประมาณ

ร้อยละ 7 ไคโบรโมคลอโรฟอร์มพบน้อยมาก และไม่พบโบรโมฟอร์มเลย ผลการตรวจวัดการปนเปื้อนสารประกอบไตรฮาโลมีเทนในระบบประปามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า THMFP มากกว่าปริมาณสารอินทรีย์ละลาย แสดงว่าค่า THMFP น่าจะเป็นดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนแล้วได้สารประกอบไตรฮาโลมีเทนได้ดีกว่าปริมาณสารอินทรีย์ละลาย

อรทัย เพิ่มสุข (2545) ได้ศึกษาโอกาสการก่อตัวของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มที่ได้จากการประปาขนาดเล็กอ่างแก้ว และแม่เหิยะจังหวัดเชียงใหม่ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ TOC, DOC, UV-254 และ THMFP พบว่า THMFP และ TOC มีความสัมพันธ์กันที่สุด ส่วน UV-254 ไม่เป็นพารามิเตอร์ที่ดีในการเป็นตัวแทน จากการศึกษพบว่า THMFP เฉลี่ยของน้ำดิบเท่ากับ 253.32 และ 251.52 ไมโครกรัม/ลิตร ความเข้มข้นเฉลี่ยของ TOC เท่ากับ 2.61 และ 2.05 มก./ล. ความเข้มข้นของ DOC เฉลี่ยเท่ากับ 0.48 และ 0.41 มก./ล. UV-254 เท่ากับ 0.1277 และ 0.1477 สำหรับน้ำดิบจากโรงประปาอ่างแก้วและแม่เหิยะตามลำดับ สำหรับน้ำประปาที่ผลิตได้จากระบบประปาทั้งสองตรวจวัดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 60.0 และ 62.5 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ สปีชีส์หลักของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่พบคือ คลอโรฟอร์ม และไดคลอโรโบรโมฟอร์ม คิดเป็นร้อยละ 69 และ 32 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ PACl เป็นสารตกตะกอนเพื่อลดค่า THMFP พบว่าที่ pH 7 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ PACl เข้มข้น 0.5 และ 5 มก./ล. สามารถทำให้ THMFP ลดลงร้อยละ 70 และ 98 ตามลำดับ

มัลลิกา ปัญญาอะโป และ ผ่องศรี เผ่าภูริ (2550) ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาของเทศบาลนครปทุมระหว่างเดือน เม.ย. 2548 ถึง มี.ค. 2549 ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ และประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต โดยเก็บในระบบผลิตและบ้านผู้ใช้น้ำ พบว่าความเข้มข้นของ TTHMs คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไคโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มในน้ำประปาอยู่ในช่วง 12.70-41.74 6.72-29.19 1.12-11.75 0.63-3.35 และ 0.08-3.40 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ สาร THMs ชนิดที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่ทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำและทุกครั้งของการเก็บ คือ คลอโรฟอร์ม รองลงมาคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่า ความเข้มข้นของ TTHMs ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ WHO EU และ US-EPA สำหรับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งใช้วิธีการของ US-EPA โดยจำกัดขอบเขตเฉพาะการรับสารผ่านทางเดินอาหาร จากการใช้น้ำประปาในการอุปโภค และการรับสารจากการสัมผัสผิวหนังจากการอาบน้ำ ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตลอดชีวิตจากการได้รับสาร

TTHMs อยู่ในช่วงความเสี่ยงในระดับที่ยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA โดยร้อยละความเสี่ยงในการก่อมะเร็งจากสารทั้ง 4 ชนิด เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม และ โบรโมฟอร์ม เท่ากับร้อยละ 64 ,21 ,13 และ 2 ตามลำดับ จากการประเมินเป็นที่น่าสนใจกว่าสารที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือคลอโรฟอร์มแตเมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงในการก่อมะเร็งแล้วพบว่าสารที่มีความเสี่ยงจะก่อมะเร็งสูงที่สุดคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน

พรรณธิพา และคณะ (2552) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำผิวดินที่มีความขุ่นสูง โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำปิงมาทำการทดลองจาร์เทสโดยใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยแปรผันความเข้มข้น 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มก./ล. ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่ 2.5 มก./ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายโดยกำจัดได้ร้อยละ 41.5 ลดค่า THMFP ได้ร้อยละ 41 และสามารถลดค่า UV-254 และ FEEM ลงได้

สุปรินดา หอมกลิ่น (2547) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบโดยการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม เพื่อหาโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำกับสารคลอรีน และเพื่อหาการลดลงของโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนเนื่องจากการลดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำแม่สา จากผลการศึกษาพบว่า การโคแอกกูเลชันที่ ค่า pH เท่ากับ 6.0 และความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 มก.ล. เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำจากแม่น้ำแม่สา โดยสภาวะดังกล่าวสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ในน้ำดิบจากแม่น้ำแม่สา ได้ 50.9 และ 79.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบแม่น้ำแม่สา มีค่าเท่ากับ 112.36 ไมโครกรัมต่อลิตร การโคแอกกูเลชันที่สภาวะที่เหมาะสมสามารถลดค่าโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนจากสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดไม่ชอบน้ำร้อยละ 43.1 และจากการศึกษาพบว่า ลักษณะสัญญาณ EEMs สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำได้ โดยการวิเคราะห์ตำแหน่งของ peak และ fluorescent intensities ในลักษณะสัญญาณ EEM ของสารอินทรีย์ละลายน้ำทั้งสองชนิด

จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ และ สุรพงษ์ วัฒนะจิระ (2554) ได้ทำการศึกษาเพื่อจำแนกลักษณะและกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำ (hydrophilic organic fraction, HPI) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic organic fraction, HPO) ในน้ำดิบประปาจากลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจังหวัดสงขลาและเพื่อหา

ความสามารถของระบบประปาในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในการลดปริมาณและชนิดสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของสารกลุ่ม HPI และ HPO การศึกษาในครั้งนี้ได้เก็บน้ำ 1 ครั้งในฤดูฝนและ 1 ครั้งในฤดูแล้ง จากบริเวณอ่างเก็บน้ำสะเดา อ่างเก็บน้ำคลองหลา บ้านบางศาลา บ้านม่วงก้อง จุดสูบน้ำดิบประปา และบ้านหาดใหญ่ในตลอดจนเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบประปาบริเวณหลังการตกตะกอน หลังการกรองและน้ำประปา น้ำจากอ่างเก็บน้ำมีค่า Dissolved organic carbon (DOC) ค่อนข้างต่ำ 4.2-4.9 มก./ล. ส่วนน้ำจากคลองอุตะเถามีค่า DOC 3.9-6.2 มก./ล. ค่า Trihalomethane formation potential (THMFP) ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำและคลองอุตะเถามีค่า 157 – 435 มกก./ล. แต่บริเวณจุดสูบน้ำดิบประปามีค่า THMFP เท่ากับ 729 มกก./ล. และ 508 มกก./ล. ในฤดูฝนและฤดูแล้งตามลำดับ HPO เป็นสารอินทรีย์กลุ่มหลักในน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ส่วน HPI เป็นสารอินทรีย์กลุ่มหลักในน้ำจากคลองอุตะเถา น้ำจากอ่างเก็บน้ำ HPO ก่อให้เกิด THMFP ได้มากกว่า HPI ส่วนน้ำจากคลองอุตะเถา HPI ก่อให้เกิด THMFP ได้สูงกว่า HPO

กฤษฎา ทองนาค (2553) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำเข้าโรงงานประปาจากแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบจากแม่น้ำท่าจีนพบว่ามีความขุ่นและสารอินทรีย์สูงกว่าแม่น้ำแม่กลอง ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นได้ดีกว่าสารอินทรีย์ โดยสารสร้างตะกอนและสภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้จริงในระบบประปาของน้ำจากแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน คือ สารส้ม 40 มก./ล. ที่ pH 7.0 และ สารส้ม 60 มก./ล. ที่ pH 6.0 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดจากการทดลองและน้ำจากระบบประปาในระบบปัจจุบัน พบว่าทั้งการทดลองและระบบประปาสามารถบำบัดความขุ่นได้ใกล้เคียงกัน โดยร้อยละของการบำบัดความขุ่นสูงกว่า 90 ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัด DOC UV-254 และ THMFP ของระบบประปาคือ 10.81, 7.03 และ 0.05 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า THMFP ของน้ำที่บำบัดด้วยสภาวะที่ทำการทดลองมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของ THMs ในมาตรฐานของ WHO จึงสรุปได้ว่าสภาวะการทดลองนี้สามารถบำบัดน้ำให้ปลอดภัยต่อการอุปโภคบริโภค

Carol S. และคณะ (1998) ได้ศึกษารูปแบบของสารตั้งต้นในการเกิดไตรฮาโลมีเทน ซึ่งทำการวัดในรูป THMFP โดยทำการเก็บตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำ Cannonsville สัปดาห์ละครั้งตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนพฤศจิกายน ปี 1995 ผลการศึกษาพบว่าสารตั้งต้นร้อยละ 98 ทำให้เกิดสารคลอโรฟอร์ม และร้อยละ 94 ของสารตั้งต้นพบในรูปละลายน้ำ ค่า THMFP พบว่ามีค่าสูงขึ้นตั้งแต่ช่วง

ฤดูใบไม้ผลิ (170 มก./ล.) ไปจนถึงช่วงกลางฤดูร้อน (360 มก./ล.) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า THMFP จะเกิดมากขึ้นตามระดับความลึกในอ่างเก็บน้ำและจะมีค่าสูงในบริเวณก้นอ่างเก็บน้ำ

Bahman R. และ Ghorban A. (2012) ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำ Karun เพื่อหา THMFP รวมถึงทำการหาปัจจัยต่างๆที่จะมีผลต่อการเกิด THMs คือ TOC, pH, ปริมาณการเติมคลอรีน, อุณหภูมิของน้ำ และการแปรผันตามฤดูกาล ผลการศึกษาพบว่าจากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น TOC และ อุณหภูมิของน้ำมีผลกระทบต่อ THMFP อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ผลการทดลองจากการทดลองแบบ batch ซึ่งให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของ pH มีผลอย่างมากต่อความเข้มข้นของ THMFP และค่า THMFP ของ แม่น้ำ Karun ในช่วงฤดูร้อน เมื่ออุณหภูมิของน้ำมากกว่า 26 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้น 1.2 -1.6 เท่า ของที่เกิดในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง และเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส พบว่า THMFP ของแม่น้ำ Karun ในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วงในบางครั้งสูงมากกว่า 100 มก./ล.

Y. Liang และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และความสัมพันธ์กับการเกิด THMs ในแม่น้ำ Dongjiang โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ ทางด้านเคมีกายภาพและด้านชีวภาพของตัวอย่างน้ำ รวมถึงการพัดพาของตะกอน โดยเก็บตัวอย่าง ตลอดความยาวของแม่น้ำ และทำการทดลองเติมคลอรีนด้วย นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเกี่ยวกับ สาหร่ายเพื่อดูผลกระทบต่อ การเติมคลอรีน ผลการศึกษาพบว่าที่ต้นน้ำสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำมา จากสิ่งที่ถูกชะมาจากหน้าดินในขณะที่ปลายน้ำจะเป็นสารอินทรีย์ประเภทแพลงก์ตอนพืชเป็นส่วนใหญ่ และแพลงก์ตอนพืชจะพบมากในตะกอนใต้น้ำซึ่งมีซากสารอินทรีย์สะสมเป็นแหล่งสารอาหาร ให้แพลงก์ตอนได้ และปริมาณ DOC ในบริเวณผิวน้ำเป็นดัชนีที่ดีในการบ่งชี้การเกิด THM

Samadi M.T. และคณะ (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของคอลัมน์ Granular Activated Carbon (GAC) กับคอลัมน์ Air Stripping (AS) ในการกำจัด THM (Chloroform) ภายใต้การ แปรผันค่าอัตราการไหล ความเข้มข้นของ Chloroform และ TDS โดยค่าความเข้มข้นของ Chloroform แปรผันอยู่ในช่วง 50-300 ไมโครกรัม/ลิตร อัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.5-3 ลิตร/นาที่ และความเข้มข้น ของ TDS เท่ากับ 250 500 750 และ 1000 ไมโครกรัม/ลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต โดยคอลัมน์ Air Stripping ได้ทำการทดลองด้วยตัวแปรเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าในคอลัมน์ GAC การกำจัดที่ได้ผลดีที่สุดเกิดที่อัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที่ ความเข้มข้นของ Chloroform 100 ไมโครกรัม/ลิตร กำจัด Chloroform ได้ร้อยละ 86.6 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเป็นร้อยละ 69.1 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Chloroform ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงร้อยละ 32 สำหรับ คอลัมน์ Air Stripping มีประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากถึงร้อยละ 97.6 ที่อัตราการไหล 1 ลิตร/นาที่

ความเข้มข้นของ Chloroform 50 ไมโครกรัม/ลิตร และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Chloroform และอัตราการไหล สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TDS พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด Chloroform อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งคอลัมน์ GAC และคอลัมน์ Air Stripping ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Air Stripping มีสมรรถนะในการกำจัด THM (Chloroform) สูงกว่า GAC

Tebeje Z. (2011) ทำการทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับตามสมการของ Freundlich และ Langmuir และความสามารถในการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ Calgon F200 ทำการทดลองโดยเติมคลอโรฟอร์มในน้ำปราศจากไอออนให้มีความเข้มข้น 3.85 มก./ล. ใช้ถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 0.02-8.0 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็ว 25 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 วัน แล้ววัดความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มคงเหลือด้วยเครื่อง Gas Chromatography ผลการทดลองพบว่าได้ค่าไอโซเทอมการดูดซับตามสมการของ Freundlich โดยมีค่า K และ $1/n$ เท่ากับ 10.60 และ 0.74 ตามลำดับ ค่า R^2 เท่ากับ 0.97 และได้ค่าไอโซเทอมการดูดซับตามสมการของ Langmuir โดยมีค่า Q_0 และ K เท่ากับ 1.878 และ 40.96 ตามลำดับ ค่า R^2 เท่ากับ 0.93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved