

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาก่อนตัวของสารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane Precursors)

2.1.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)

NOM เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการแอดซอร์ปชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) ตัวอย่างเช่น Trihalomethanes (THMs) โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งประเภทของ NOM ตามสถานะการละลายออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

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

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

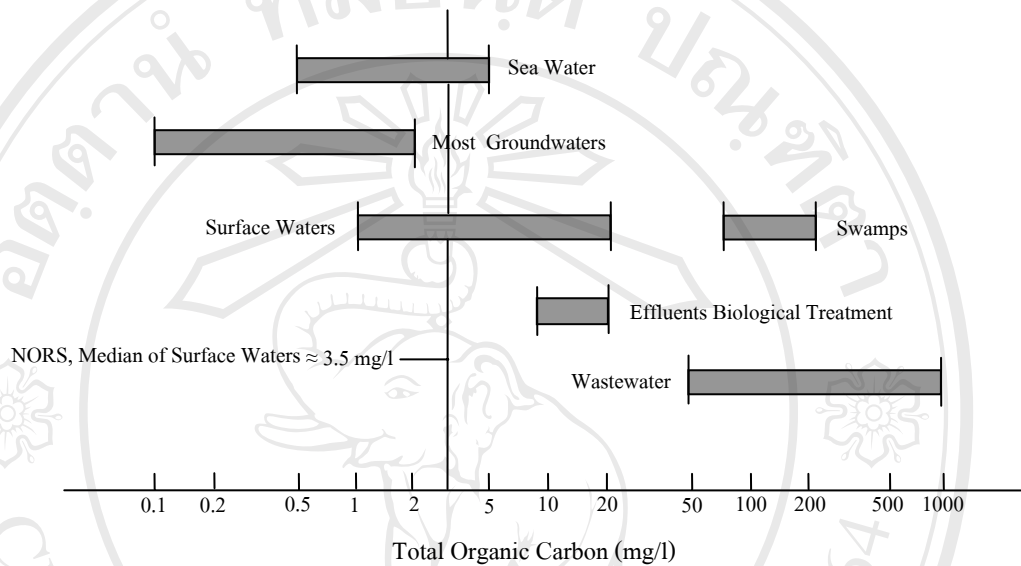
$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{COM} + \text{POM}$$

2.1.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM)

Dissolved Organic Matter (DOM) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 50-65 % ซึ่งมีลักษณะเป็น สารที่มีขี้ สีสางขาว และเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของดินและพืชน้ำ Humic substance เป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ประกอบด้วย humic และ fulvic acid ในส่วนของ non-humic substance ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ประกอบด้วย hydrophilic acids , proteins , amino acids , carbohydrate และ carboxylic acids

2.1.3.1 Total Organic Carbon (TOC)

TOC โดยทั่วไปใช้เป็นตัวชี้วัดแทนเพื่อวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ปริมาณความเข้มข้นของ TOC ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีช่วงที่กว้างมากซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ช่วงค่าต่างๆของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Kavanaugh, 1978)

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

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์การลดค่า 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%

2.1.3.2 Dissolved Organic Carbon (DOC)

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

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

การดูดกลืนแสง Ultraviolet (UV) มีประโยชน์โดยใช้เป็นดัชนีตัวแทนในการวัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำรวมถึงใช้ประเมินความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจะดูดกลืนแสง UV เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีค่าสูงขึ้น ปริมาณการดูดกลืนแสง UV ที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย น้ำตัวอย่างที่จะทำการวัดค่าแสง UV จะต้องนำมาผ่านกระดาษกรองก่อนเพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของ aromatic compound และโมเลกุลที่เป็นพันธะคู่จะดูดกลืนแสง UV ได้ดี ในขณะที่สารประกอบในกลุ่มของ simple aliphatic acids แอลกอฮอล์ และน้ำตาลจะไม่ดูดกลืนแสง UV (Edzwald et al., 1985) กระบวนการวัดแสง UV จะทำการวัดที่ความยาวคลื่น 253.7 nm (ประมาณ 254 nm) เนื่องจากสารอินทรีย์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้ได้ดีที่สุดและมีการรบกวนจากสารประกอบอื่นๆ น้อยที่สุด (Andrew Eaton, 1995)

2.1.3.4 Specific Ultraviolet Absorption (SUVA)

SUVA เป็นดัชนีชี้วัดของ humic ที่อยู่ในน้ำซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าของ UV-254 (ในหน่วย cm^{-1}) หารด้วยค่า DOC (ในหน่วย mg/L) น้ำตัวอย่างที่มีค่า SUVA ต่ำประกอบด้วย non-humic organic matter และไม่เหมาะสมที่จะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันในการลดสารอินทรีย์ในน้ำ ในส่วนของน้ำตัวอย่างที่มีค่า SUVA สูง โดยทั่วไปจะสามารถใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันในการลดสารอินทรีย์ในน้ำได้ดีกว่า น้ำที่มีค่า SUVA ต่ำกว่า (USEPA, 1999)

2.1.3.5 Three-dimensional fluorescence spectroscopy

Fluorescence spectroscopy เป็นข้อมูลที่แสดงลักษณะเคมีของ NOM โดยลักษณะของ fluorescence เป็นฟังก์ชันของโครงสร้างและ functional groups ของ

โมเลกุล ซึ่งเป็นวิธีใช้พิจารณาลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำที่ง่ายและรวดเร็วโดยใช้ปริมาณของตัวอย่างจำนวนน้อยและมีความเข้มข้นต่ำ ผลที่ได้จากการวัด Fluorescence spectrometry (EEM) เป็นผลรวมของ emission spectra ของน้ำตัวอย่างที่ excitation ต่างๆ ซึ่งบันทึกเป็น matrix ของความเข้มข้น fluorescence (Swietlik et al., 2004)

2.2 กระบวนการแยก (fractionation) ชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้เรซิน

กระบวนการ Fraction สารอินทรีย์ในน้ำมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากสามารถกำหนดการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่าง DOM กับสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคซึ่งก่อให้เกิด disinfection by – product (DBP) และทำให้เข้าใจลักษณะทางเคมีของ DOM เพื่อใช้ออกแบบระบบบำบัดที่เหมาะสมในการกำจัด DOM กระบวนการแยก DOM ในน้ำโดยใช้เรซิน เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อแยกชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำ DOM ในน้ำธรรมชาติสามารถจำแนกออกได้เป็นแบบ Hydrophobics ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆคือ fulvic และ humic acids จัดเป็นส่วนของ humic fraction อีกส่วนหนึ่งเป็นแบบ Hydrophilics หรือ non humic fraction ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำและกรดอะมิโน โดย Hydrophobics มีโครงสร้างเป็นแบบ aromatic มากกว่า Hydrophilics

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

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

2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ผ่านการ fraction และกลุ่มทางเคมี

Fraction	กลุ่มทางเคมี
<u>Hydrophobic</u>	
<u>Acids</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>Bases</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>Bases</u>	Amino acids, purines, pyrimidines, low MW alkyl amines
<u>Neutrals</u>	Polysaccharides; low MW alkyl alcohols, aldehydes and ketones

2.3 ลักษณะทางเคมีของสารไตรฮาโลมีเทน

Disinfection by-products (DBPs) เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการทำปฏิกิริยาของสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค (เช่น คลอรีน) กับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่อยู่ในน้ำ DBPs ตรวจพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1974 จากการนำน้ำตัวอย่างที่ถูกเติมคลอรีนมาตรวจสอบ พบว่ามีสาร Trihalomethanes (THMs) อยู่ในน้ำ ในกระบวนการผลิตน้ำประปาจะมีการเติมคลอรีนเพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อโรค ก่อให้เกิด THMs ในระบบการผลิตน้ำประปาซึ่งถูกแจกจ่ายสู่ชุมชน (J.J. Rook, 1974) ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 USEPA ได้นำน้ำตัวอย่างจาก 80 เมืองในประเทศสหรัฐอเมริกามาตรวจสอบพบ THMs ซึ่งประกอบไปด้วย Chloroform (CHCl_3), Bromodichloromethane (CHBrCl_2), Dibromochloromethane (CHBr_2Cl) และ Bromoform (CHBr_3) (Symons et al., 1975) ในปี 1976 National Cancer Institute พบว่า chloroform ที่พบในน้ำประปาเป็นสารก่อมะเร็ง และในปี 1979 USEPA ได้ออกกฎเพื่อควบคุม THMs ในน้ำดื่มให้มีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 0.1 mg/L ในระยะต่อมา

เมื่อกระบวนการวิเคราะห์หา DBPs ถูกพัฒนาขึ้น พบว่า DBPs เช่น THMs, Haloacetic acids (HAAs), Chlorite และ Bromate มีค่าอยู่ในระดับที่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ ดังนั้นในปี 1998 USEPA จึงกำหนดค่า Maximum contaminant level (MCL) ขึ้นใหม่ โดยในระยะแรกกำหนดค่า THMs ไว้ที่ 80 $\mu\text{g/L}$ และระยะที่ 2 ได้ปรับลดลงเหลือ 40 $\mu\text{g/L}$ (USEPA, 1998)

THMs เป็นสารประกอบออร์แกโนฮาโลเจน (Organohalogen) ซึ่งมีชื่อเรียกเป็นส่วนหนึ่งของมีเทน โดยสูตรโครงสร้างทั่วไปของ THMs คือ CHX_3 เมื่อ X คือ อะตอมของฮาโลเจน จากสูตรโครงสร้างจะมีไฮโดรเจนอยู่ 1 อะตอม และที่เหลืออีก 3 อะตอมจะเป็นอะตอมของ ฮาโลเจน เช่น ฟลูออรีน, คลอรีน, โบรไมด์, ไอโอดีน หรืออาจจะผสมกัน THMs จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเติมคลอรีนลงในน้ำที่มีสารอินทรีย์ สารประกอบ THMs ประกอบไปด้วย Chloroform (CHCl_3), Bromodichloromethane (CHBrCl_2), Dibromochloromethane (CHBr_2Cl), Bromoform (CHBr_3) สำหรับข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนแสดงในตารางที่ 2.3

2.3.1 ความเป็นพิษของไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs)

THMs มีพิษต่อเซลล์ในตับและไตของหนูทดลอง เมื่อได้รับในปริมาณเท่ากับ 0.5 mmol/kg ของน้ำหนักตัว นอกจากนั้นยังมีผลเล็กน้อยต่อระบบสืบพันธุ์และระบบพัฒนาการด้วย แต่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสเปิร์มเมื่อได้รับน้ำที่มีสาร Bromodichloromethane เป็นปริมาณ 39 mg/kg ของน้ำหนักตัว ต่อวัน Bromodichloromethane ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในตับและไตเมื่อได้รับในปริมาณที่สูงตลอดช่วงชีวิต เช่นเดียวกับ Chloroform เมื่อถูกเติมลงในน้ำมันข้าวโพด Bromodichloromethane และ Bromoform แตกต่างจาก Chloroform และ Dichlorobromomethane ตรงที่สามารถก่อให้เกิดเนื้องอกในส่วนลำไส้ใหญ่ของหนูทดลอง นอกจากนี้ Bromodichloromethane ในปริมาณที่ต่ำกว่า สารประกอบ THMs ชนิดอื่นๆ สามารถทำให้เกิดเนื้องอกได้ทั้งที่ตับ ไต และลำไส้ใหญ่ (IPCS, 2000)

2.3.2 กลไกการเกิดพิษของ THMs

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 จะถูกสันดาป

ได้เร็วกว่า Chloroform สารประกอบ THMs จะถูกสันดาปโดยกระบวนการออกซิเดชันเป็นหลัก ผ่าน cytochrome P450 ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดเป็น Dihalocarbonyls เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสันดาปจะเกิดเป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์และสารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ (genes) (IPCS, 2000)

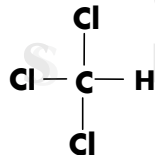
2.3.3 ความเป็นพิษของสารประกอบ THMs แต่ละชนิด

2.3.3.1 Chloroform

Chloroform ถูกดูดซึมได้ดีผ่านระบบทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจและทางผิวหนัง เมื่อได้รับสารทางระบบทางเดินหายใจ จะดูดซึมสารได้ในปริมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ในขณะที่อาบน้ำ Chloroform จะถูกกระจายไปทั่วร่างกายและถูกกำจัดออกในรูปแบบคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่หายใจออก Chloroform ส่วนที่เหลือจะสะสมในไขมันได้นานกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่นๆ ภาวะส่วนที่สะสม Chloroform ได้มากที่สุดที่ตับและไต

ปริมาณ Chloroform ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 36 ถึง 1366 mg/kg ของน้ำหนักตัว อาการที่เกิดจากการได้รับ Chloroform ในมนุษย์คือหมดสติ อาจถึงแก่ชีวิตจากอาการล้มเหลวของระบบทางเดินหายใจและหัวใจเต้นผิดจังหวะ อาจมีอาการเนื้อเยื่อต่อไตตายตลอดจนไตไม่สามารถทำงานได้ International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัด Chloroform ให้อยู่ในกลุ่ม 2B ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองแต่ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัดถึงการทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (IPCS, 1994)

Chloroform หรือ Trichloromethane มีโครงสร้างทางเคมีคือ

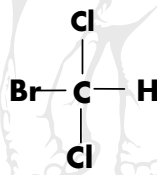


2.3.3.2 Bromodichloromethane

Bromodichloromethane มีพิษต่อตับและไตของหนูทดลองหลังจากได้รับภายใน 24 ชั่วโมงและพิษนั้นจะมีผลในการทำลายตับได้นานกว่า Chloroform

ปริมาณ Bromodichloromethane ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 450 ถึง 900 mg/kg ของน้ำหนักตัว อาการที่เกิดขึ้นในหนูทดลองหลังจากการได้รับ Bromodichloromethane คือไม่สามารถควบคุมการทรงตัวได้ ง่วงซึม หายใจช้าลง หมดสติ ตับและไตถูกทำลาย IARC ได้จัด Bromodichloromethane ให้อยู่ในกลุ่ม 2B ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองแต่ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัดถึงการทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (IARC, 1991)

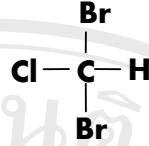
Bromodichloromethane หรือ Dichlorobromomethane มีโครงสร้างทางเคมีคือ



2.3.3.3 Dibromochloromethane

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)

Dibromochloromethane หรือ Chlorodibromomethane มีโครงสร้างทางเคมีคือ

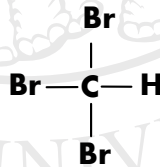


2.3.3.4 Bromoform

Bromoform มีพิษต่อตับน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบ THMs ที่มี bromine เป็นส่วนประกอบ ปริมาณ Bromoform ที่เมื่อได้รับแล้วทำให้หนูทดลองตาย (LD50) มีค่าอยู่ในช่วง 1400 ถึง 1550 mg/kg ของน้ำหนักตัว

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

Bromoform หรือ Tribromomethane มีโครงสร้างทางเคมีคือ



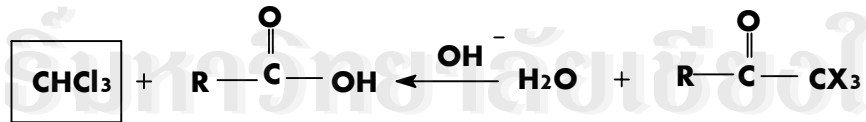
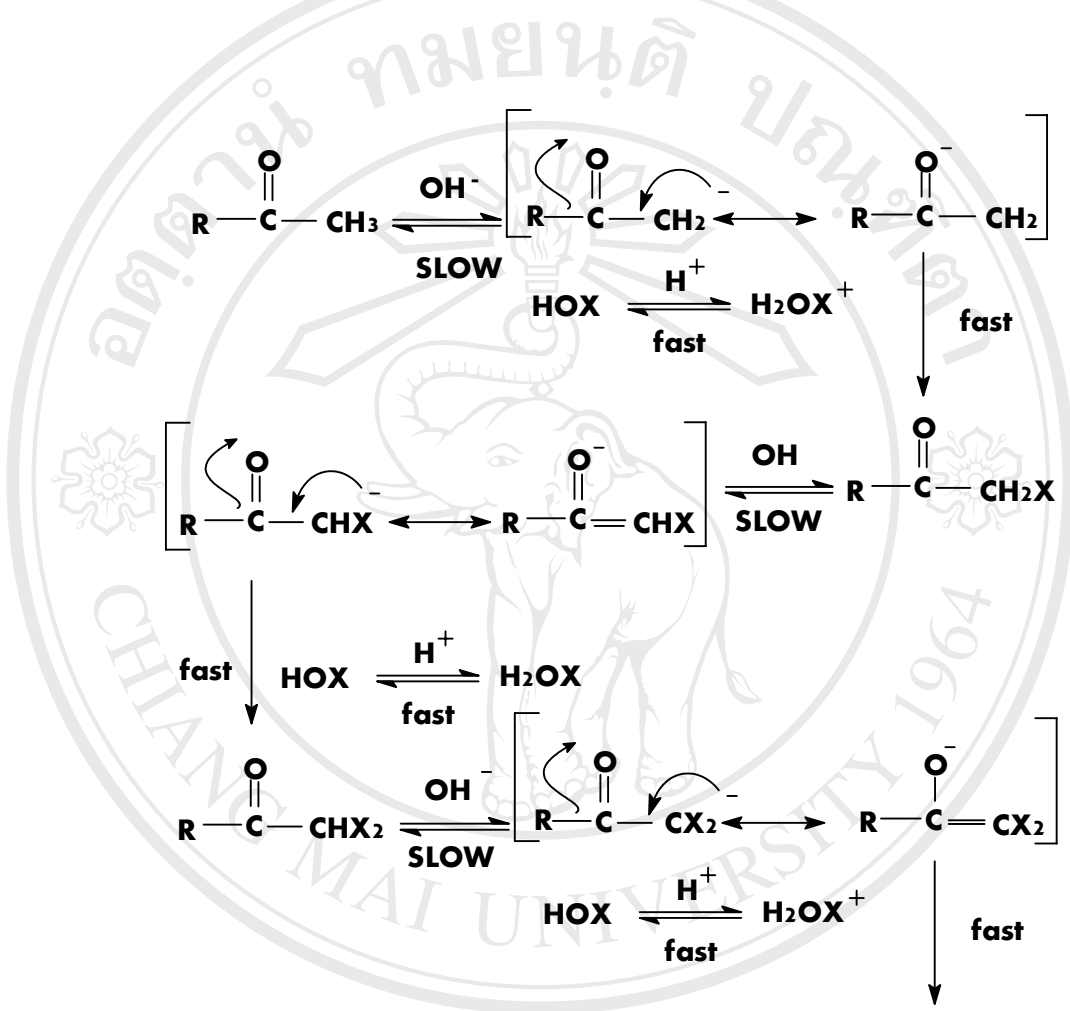
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน

	Chloroform	Bromodichloromethane	Dibromochloromethane	Bromoform
ชื่อทางเคมี	Trichloromethane	Dichlorobromomethane	Chlorodibromomethane	Tribromomethane
มวลโมเลกุล	119.38	163.83	208.28	252.73
สี	ไม่มีสี	ไม่มีสี	ไม่มีสี	เหลืองอ่อนจนถึงไม่มีสี
สถานะ	ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว
จุดหลอมเหลว	-63 °C	-57.1 °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 (ที่ 20 °C)	3.10*10 ³ mg/L
ตัวทำละลายสารอินทรีย์	ผสมได้ใน alcohol, benzene, ether, petroleum ether, carbon Tetrachloride, carbon disulfide, oils	ละลายได้	สามารถละลายใน ethanol ether และ acetone	ผสมได้ใน ethanol, 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://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/>

2.3.4 เส้นทางปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ในกระบวนการบำบัดน้ำ

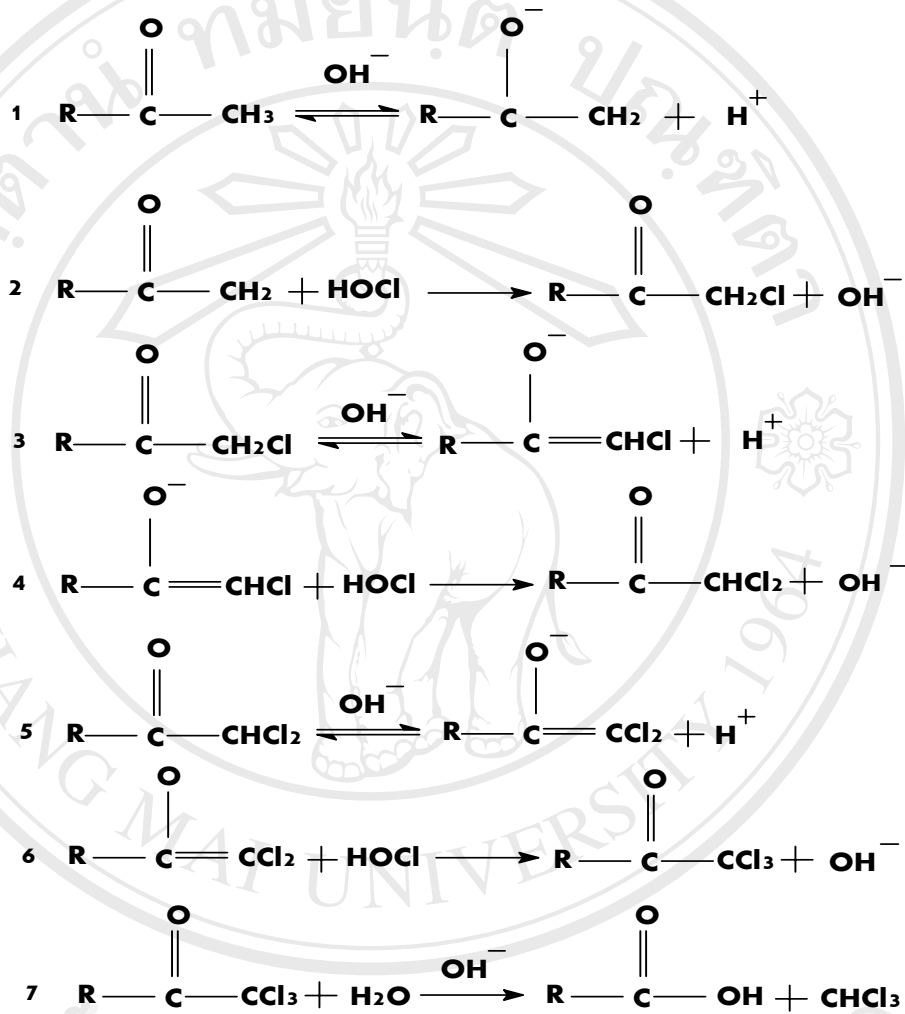
Trussell และ Umphres (1978) ได้เสนอปฏิกิริยา Haloform โดยแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เส้นทางปฏิกิริยา Haloform (Trussell และ Umphres, 1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

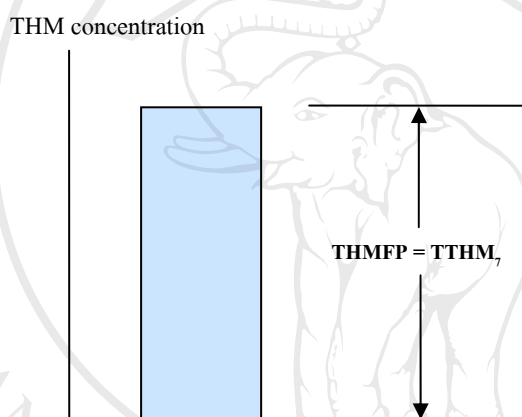
ปฏิกิริยาแบบต่างๆของ chloroform ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการบำบัดน้ำแสดงใน
รูปที่ 2.4



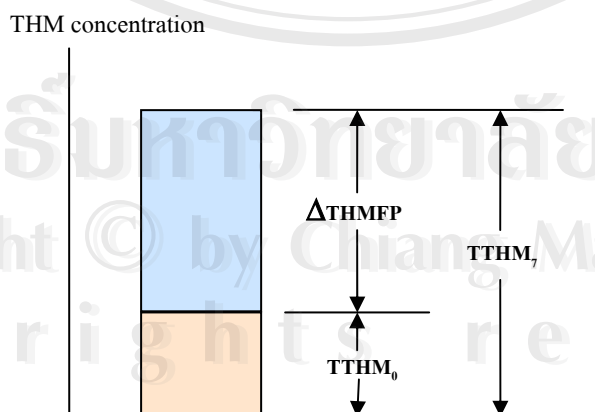
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาขั้นพื้นฐานของ chloroform ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการบำบัดน้ำ (Natural
Environmental board, 1984)

2.4 Trihalomethane formation potential (THMFP)

THMFP เป็นผลต่างระหว่างความเข้มข้นของค่า $TTHM_T$ กับค่า $TTHM_0$ (รูปที่ 2.5 และ 2.6) เมื่อค่า $TTHM_T$ เป็นความเข้มข้นของสารประกอบทั้ง 4 ชนิดของ THMs โดยปกติจะรายงานในรูปของ $TTHM_T$ ซึ่งเป็นค่า $TTHM$ หลังจากเก็บน้ำตัวอย่างไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน และค่า $TTHM_0$ เป็นความเข้มข้นของ THM ณ เวลาเก็บตัวอย่างน้ำ ถ้าน้ำตัวอย่างไม่มีการเติมคลอรีนในขณะที่ทำการเก็บ $TTHM_0$ จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่า THMFP จะเป็นค่า $TTHM_T$ และถ้าน้ำตัวอย่างมีการเติมคลอรีนในขณะที่ทำการเก็บจะทำให้เกิด THMs ส่วนหนึ่ง และ $\Delta THMFP$ จะเป็นค่าที่แตกต่างกันระหว่างความเข้มข้นของ $TTHM_T$ กับ $TTHM_0$



รูปที่ 2.5 อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างไม่มี free chlorine



รูปที่ 2.6 อธิบายการเกิด THMs ของน้ำตัวอย่างเมื่อขณะเก็บน้ำตัวอย่างมี free chlorine

2.5 Uniform formation Condition (UFC)

Uniform formation Condition เป็นวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ DBP formation ระหว่างแหล่งน้ำที่แตกต่างกันโดยกระบวนการเติมคลอรีนถูกกำหนดภายใต้สภาวะเดียวกัน โดยสภาวะนี้ได้มาจากการสำรวจระบบแจกจ่ายน้ำจำนวน 318 แห่ง และจากห้องทดลองจำนวน 24 แห่ง ซึ่งเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกับระบบแจกจ่ายน้ำของประเทศสหรัฐอเมริกา (Summers et al., 1996) การทดสอบ Uniform formation Condition สามารถใช้ในการวิเคราะห์สภาวะในขั้นตอนการผลิตน้ำประปาว่ามีผลต่อการเกิด DBPs อย่างไร นอกจากนี้การทดสอบยังสามารถใช้ในการประเมินผลของฤดูกาลที่แตกต่างกันว่ามีผลต่อการเกิด DBPs ได้อีกด้วย

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด THMs

2.6.1 เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพของคลอรีน โดยเมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น ประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้น (Department of Environmental 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)

2.6.2 ปริมาณสารคลอรีน (Chlorine Dosage)

ประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณคลอรีนเพิ่มขึ้น (Department of Environmental and labor, 2000) ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิด chloroform ในระบบแจกจ่ายน้ำกับอัตราการเติมคลอรีน โดยระดับของ chloroform จะเพิ่มขึ้นจาก 20 µg/L เป็น 220 µg/L ภายหลังจากการเติมคลอรีนเพิ่มขึ้นจาก 4 mg/L เป็น 30 mg/L และที่ปริมาณคลอรีน 22 mg/L จะเกิด chloroform ในระดับที่สูงที่สุด (Natural Environmental board, 1984) 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

2.6.3 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นจะขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพของคลอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมีความขุ่นลดลง (Department of Environmental and labor, 2000)

2.6.4 อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature)

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

2.6.5 พีเอช

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 ต่างๆกันคือ 3.4 , 5.2, 6.2 และ 9.2 ตามลำดับ

2.6.6 ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Precursor Concentration)

Natural Environmental Board, (1984) อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC ในน้ำดิบกับความเข้มข้นของ THM ทั้งหมด (TTHM) ภายหลังจากการเติมคลอรีน ภายใต้สภาวะของปริมาณคลอรีน 10 mg/L ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ THM ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อ TOC เพิ่มขึ้น โดยค่าความเข้มข้นของ THM ทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 250 µg/L เมื่อค่า TOC อยู่ในช่วงระหว่าง 1-11 mg/L

2.7 การลดสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

2.7.1 Coagulation, Flocculation, Sedimentation and Filtration

กระบวนการ โคแอกกูเลชันหมายถึงการเติมสารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยซึ่งส่วนมากเป็นประเภทคอลลอยด์ เพื่อทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) โดยการลดแรงที่ผลักดันระหว่างอนุภาคต่างๆลงและจับตัวกันเกิดเป็นมวลรวมที่ใหญ่ขึ้น (larger aggregates) การสร้างตะกอนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารเคมีและกวนอย่างรวดเร็วเพื่อช่วยกระจายสารเคมีทำให้อนุภาคเล็กๆในน้ำรวมตัวกัน Flocculation เป็นการรวมตัวของตะกอนซึ่งเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการสร้างตะกอน โดยทำการกวนช้าทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆเคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนมีการสัมผัสกันเกิดขึ้น อนุภาคที่สัมผัสกันจะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) พร้อมทั้งจะตกตะกอน (โกมล สีขาว, 2523) กระบวนการตกตะกอน (sedimentation) เป็นกระบวนการแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงในการตกตะกอนเพื่อแยกของแข็งในส่วนที่ตกตะกอนได้ การกรองเป็นการแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยการนำของเหลวไปผ่านตัวกลางที่มีความพรุนหรือวัสดุที่มีความพรุนอื่นๆ (Reynolds and Richards, 1996)

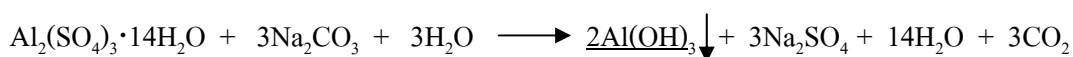
โคแอกกูเลชัน เป็นกระบวนการที่ใช้ในระบบผลิตน้ำประปาโดย coagulant ที่นิยมใช้ เช่น สารส้ม, ferric chloride และ ferrous sulfate กระบวนการ โคแอกกูเลชัน ไม่เพียงทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแต่ยังสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติได้

2.7.2 Coagulants

สารส้ม (alum, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) เป็น coagulant ที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย โดยปกติการทำปฏิกิริยาของสารส้มในน้ำจำเป็นต้องมีความเป็นด่างเพียงพอ เพื่อใช้ในการเกิดตะกอน (floc) hydroxide ปฏิกิริยาทางเคมีในการเกิดตะกอนมีดังนี้คือ



ในกรณีที่น้ำมีความเป็นด่างไม่เพียงพอในการทำปฏิกิริยากับสารส้มจะต้องเพิ่มความเป็นด่างในรูปของ carbonate ion โดยการเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปฏิกิริยาในกระบวนการโคแอกกูเลชัน กับ โซเดียมคาร์บอเนต จะได้เป็น



สารส้มมีทั้งแบบแห้งและแบบน้ำแต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบแห้งมากกว่า สารส้มแบบแห้งนี้จะมีหลายแบบเช่น แบบเม็ดเล็กๆ แบบผง หรือแบบก้อน ซึ่งแบบเม็ดจะนิยมใช้มากกว่า (Reynolds and Richards, 1996)

2.7.3 การลดสารอินทรีย์ละลายน้ำโดยใช้สารส้มในกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยทั่วไปแล้วจะใช้ในการลดสารแขวนลอยในน้ำ แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถลดสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำได้อีกด้วย (USEPA, 2001) การลดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆเช่น pH, ความเป็นค่า, ชนิดของ coagulant รวมถึง ชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วกระบวนการโคแอกกูเลชัน สามารถลด humic และ สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ดีกว่า non humic และสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ สำหรับค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 6 เมื่อใช้สารส้มเป็น Coagulant (Cheng R.C. et al, 1995)

2.8 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Chadik และ Amy (1983) ได้ศึกษาการกำจัด Trihalomethanes precursors จากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้มและ ferric chloride เป็น coagulant การทดลองแรกจะทำที่พีเอช 8.5 ส่วนการทดลองที่ 2 ทำที่พีเอช6 ผลการทดลองพบว่าค่า TOC และ THMFP ลดลง หลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน สำหรับน้ำในแม่น้ำ Mississippi น้ำดิบมีค่า THMFP เท่ากับ 313 $\mu\text{g/L}$ หลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม พบว่าค่า THMFP ลดลงเหลือ 131 $\mu\text{g/L}$

El-Shahat, Abdel-Halim and Hassan (2001) ได้ทำการศึกษา THMs ในระบบการบำบัดน้ำของ Tebbin, Rod El-Farag และ Mostorod ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว น้ำตัวอย่างที่ใช้การทดลองที่เก็บจากระบบบำบัดประกอบไปด้วย น้ำดิบ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ น้ำที่ผ่านการกรอง และน้ำที่ออกจากระบบบำบัด จากผลการศึกษาพบว่า THMs มีค่าสูงสุดในส่วนของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดโดยมีค่าในช่วงระหว่าง 41.70 ถึง 54.50 $\mu\text{g/L}$ ในฤดูร้อน และ 29.00 ถึง 34.90 $\mu\text{g/L}$ ในฤดูหนาว

Homklin S. (2004) ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ซึ่งกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ค่า pH เท่ากับ 5.5 และความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 60 mg/L pH เท่ากับ 6.0 และความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 mg/L และ pH เท่ากับ 6.0 และความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 mg/L เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำจากอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว, เขื่อนแม่กวงและแม่น้ำแม่สา ตามลำดับ และที่สภาวะดังกล่าวสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว, เขื่อนแม่กวงและแม่น้ำแม่สาได้เท่ากับ 33.0 และ 79.6 เปอร์เซ็นต์, 27.6 และ 50.2 เปอร์เซ็นต์ และ 50.9 และ 79.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Huble และ Edzwald (1987) ได้อธิบายการลด Trihalomethane precursor โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม, high-molecular-weight polymers, cationic polymers และใช้ coagulants เหล่านี้ร่วมกัน จากผลการทดลองพบว่าสารส้มที่ใช้ high-charge-density cationic เป็น coagulant aid สามารถลด precursor ได้ดีที่ความเข้มข้นของสารส้มต่ำ

Janhom T. (2004) ศึกษาการลดสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายน้ำ 6 กลุ่มโดยการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำของการนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จ.ลำพูน พบว่าการจำแนกลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำทั้ง 6 กลุ่ม ที่ประกอบด้วยสารกลุ่ม HPON, HPOB, HPOA, HPIB, HPIA, และ HPIN โดยหลักการ resin adsorption ด้วยอนุกรมของเรซิน DAX-8, AG-MP-50 และ WA-10 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสัดส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอนละลายในน้ำ (DOC) ในน้ำดิบที่กรองผ่านกระดาษกรอง GF/F 0.7 ไมครอน ประกอบด้วยสารอินทรีย์ละลายน้ำกลุ่ม HPOA 41.6 เปอร์เซ็นต์, HPON 12.1 เปอร์เซ็นต์, HPOB 3.4 เปอร์เซ็นต์, HPIA 20.5 เปอร์เซ็นต์, HPIN 17.7 เปอร์เซ็นต์ และ HPIB 4.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน (THMFP) ที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายน้ำแต่ละกลุ่มในน้ำดิบประปานั้น พบว่าสารกลุ่ม HPOA มีค่า 247.1 ไมโครกรัม/ลิตร, HPIA มีค่า 112.6 ไมโครกรัม/ลิตร, HPIB มีค่า 67.9 ไมโครกรัม/ลิตร, HPIN มีค่า 64.9 ไมโครกรัม/ลิตร, HPOB มีค่า 41.4 ไมโครกรัม/ลิตร และ HPON มีค่า 68 ไมโครกรัม/ลิตร และจากผลการศึกษการบำบัดโดยการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำนั้น อยู่ภายใต้สภาวะที่มี pH 5.5 ด้วยปริมาณสารส้ม 40 mg/L สามารถลดสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายน้ำทั้ง 6 กลุ่มในน้ำดิบนี้ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดนั้นสำหรับ HPOA มีค่า 32.1 เปอร์เซ็นต์, HPON มีค่า 9.5 เปอร์เซ็นต์, HPOB มีค่า 10.6

เปอร์เซ็นต์, HPIA มีค่า 24 เปอร์เซ็นต์, HPIN มีค่า 12.2 เปอร์เซ็นต์ และ HPIB มีค่า 11.5 เปอร์เซ็นต์

Jiarsirikul V. (2003) ได้ทำการศึกษาน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนของบ่อน้ำตื้นใกล้พื้นที่เทกองมูลฝอยที่ปิดดำเนิน การแล้ว จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ถูกตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทน (THMFP) และตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM surrogate parameters) การทดลองโคเอกกูเลชันในห้องปฏิบัติการ ใช้ภายใต้สภาวะในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 ถึง 8 และค่าความเข้มข้นของสารส้ม ในช่วง 10 ถึง 60 mg/L จากการศึกษาพบว่า ในน้ำดิบไม่สามารถตรวจพบ THMs แต่พบว่ามีค่า THMFP เฉลี่ยเท่ากับ 139.08 209.91 และ 190.02 ไมโครกรัม/ลิตร จากบ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดหาคุณลักษณะของน้ำดิบ พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ TOC เท่ากับ 2.58 12.22 และ 1.28 mg/L ความเข้มข้นของ DOC เท่ากับ 1.78 9.24 และ 2.57 mg/L และ UV-254 มีค่าเท่ากับ 0.25 15.65 และ 0.32 mg/L สำหรับน้ำดิบจากบ่อที่ 1 บ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่ามีค่าความเข้มข้นของ THMFP ในน้ำดิบของบ่อน้ำอย่างมีค่ามากกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม (80 ไมโครกรัม/ลิตร เสนอโดย USEPA) โอกาสการเกิด THMFP ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเติมสารส้มที่ความเข้มข้น 10 mg/L และสามารถลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนได้ดีที่สุดเมื่อเติมสารส้มที่ความเข้มข้น 30 mg/L ภายใต้สภาวะในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 นอกจากนี้ยังพบว่า คลอโรฟอร์มเป็นสปีชีส์หลักของสาร THMFP ในน้ำตัวอย่างที่ทำการศึกษา โดยคิดเป็นร้อยละที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างเท่ากับ 50 ถึง 80 ในขณะที่พบไดคลอโรโบรโมฟอร์มและไตรโบรโมคลอโรฟอร์มร้อยละ 10 ถึง 30 และ 5 ถึง 20 ตามลำดับ และพบโบรโมฟอร์มเพียงเล็กน้อยในบ่อที่ 1 และบ่อที่ 2

Musigavong C. (2002; 2005) ได้ทำการศึกษาการลดโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในน้ำทิ้งจากการนิคมอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจโอกาสการก่อตัวและการลดลงของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในน้ำทิ้งจากการนิคมอุตสาหกรรม โดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากการนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือมาทำการโคเอกกูเลชันในระบบจาร์เทสต์ (Jar-test) โดยทำการแปรผันปริมาณสารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยปริมาณสารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ 80 mg/L สามารถลดค่า THMFP ในน้ำทิ้งจากการนิคมอุตสาหกรรมได้ร้อยละ 25.53 และ 27.71 ตามลำดับ

Panyapinyopol B. (2004) ทำการศึกษาวิธีการคัดกรองโดยใช้เรซินสามชนิด คือ DAX-8 AG-MP-50 และ WA-10 ได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกลักษณะของน้ำดิบจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนเป็น 6 กลุ่ม พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ไฮโดรฟิลิกที่เป็นกลาง ไฮโดรโฟบิกที่เป็นกรด ไฮโดรฟิลิกที่เป็นกรด ไฮโดรโฟบิกที่เป็นกลาง ไฮโดรฟิลิกที่เป็นด่าง และ ไฮโดรโฟบิกที่เป็นด่าง ตามลำดับ ซึ่งสารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรฟิลิกที่เป็นกลาง และ ไฮโดรโฟบิกที่เป็นกรดเป็นสารอินทรีย์สองกลุ่มหลักที่ก่อให้เกิดการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในแหล่งน้ำดิบ ในขณะที่สารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรโฟบิกที่เป็นด่าง และ ไฮโดรฟิลิกที่เป็นด่างเป็นกลุ่มที่เกิดปฏิกิริยาได้มากที่สุด การโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มสามารถลดการเกิดไตรฮาโลมีเทนได้แต่ประสิทธิภาพยังไม่ดีเมื่อเทียบกับการใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์โดยที่ประสิทธิภาพของโพลีเมอร์ DADMAC มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลด THMF และรองลงมาคือ EpiDMA CatPAM และ AnPAM ตามลำดับ

Sakomarun S. (1987) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ค่า THMs ในน้ำที่ถูกเติมคลอรีนก่อนเข้าระบบบำบัดกับน้ำที่ถูกเติมคลอรีนหลังผ่านระบบบำบัด และทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ THMs ที่เกิดขึ้น โดยน้ำตัวอย่างได้มาจาก แม่น้ำเจ้าพระยา ในจังหวัดกรุงเทพฯ และในจังหวัดอยุธยา คลองประปาสามเสน และ บางเขน น้ำตัวอย่างจะถูกเติมคลอรีนที่ปริมาณ 3, 5, 7, 10, 15 และ 20 ppm และเวลาสัมผัส 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของ THMs จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธี Headspace method and Gas Chromatography with Electron Capture Detector (GC/ECD) พบว่าความเข้มข้นของ THMs ในน้ำที่เติมคลอรีนหลังผ่านระบบบำบัดจะมีค่าน้อยกว่าน้ำที่ถูกเติมคลอรีนก่อนเข้าระบบบำบัด กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มสามารถลดปริมาณ TOC และ THMs ในน้ำดิบได้ร้อยละ 34.30 และ 47.86 ตามลำดับ

Marhaba T.F. และ Pipada N. (2000) ได้ศึกษาถึงวิธีการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบออกให้ได้มากที่สุดเป็นการศึกษาโดยใช้สารส้มเป็น coagulant ผ่านกระบวนการ jar Coagulation test ที่ช่วงพีเอชและสารส้มปริมาณต่างๆ กระบวนการดูดซับโดยใช้เรซินเพื่อแยกสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ Hydrophobic acid (FA), base (FB), neutral (FN), Hydrophilic acid (PA), base (PB), neutral (PN) ผลการทดลองพบว่า ในกลุ่มของ PA, PB, PN และ FN จะกำจัด TOC ได้มากที่สุดที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 6 และใช้สารส้มเป็นปริมาณ 60

mg/L ขณะที่กลุ่มของ FA และ FB จะกำจัดได้มากที่สุดที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 6 และใช้สารส้ม เป็นปริมาณ 40 mg/L

Muttamara S. et al. (1995) ศึกษาถึงผลของ humic acid ต่อการเกิด THMs เมื่อ humic acid มีความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/L ที่ความเข้มข้นของคลอรีน 3, 5 และ 10 mg/L จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ปริมาณคลอรีนเริ่มต้นเท่ากัน ปริมาณ THMs ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ humic acid โดยเมื่อ humic acid มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิด THMs สูงขึ้นด้วย

Wattanachira S. et al. (2004) ศึกษาการกำจัดตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น TOC DOC และ UV-254 ในน้ำดิบและน้ำประปาและความน่าจะเป็นในการพบสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาที่ผลิตจากการประปาขนาดเล็กที่ใช้น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำอ่างแก้วและอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ ในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการผลิตน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน การตกตะกอน การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนและการกรอง พบว่า ค่า TOC DOC และ UV-254 เฉลี่ยในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำอ่างแก้วมีค่าเท่ากับ 3.52 mg/L 0.78 mg/L และ 0.1278 1/cm ตามลำดับ ส่วนค่า TOC DOC และ UV-254 เฉลี่ย ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ มีค่าเท่ากับ 2.59 mg/L 0.42 mg/L และ 0.1447 1/cm ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ไม่พบสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบจากแหล่งน้ำทั้งสองแหล่ง ส่วนในน้ำประปาที่ผลิตได้จากการประปาทั้งสองแหล่งมีค่าไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 60.0 และ 62.5 µg/L ตามลำดับโดยค่าความขุ่น พีเอช และความเป็นด่าง มีค่าผ่านมาตรฐานน้ำดื่มของประเทศไทย