

การก่อตัวของไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มของระบบประปาชนบทในจังหวัดนครราชสีมา

นายราชัน ธีระพิทยาตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2545

ISBN974-533-038-8

**TRIHALOMETHANES FORMATION IN DRINKING WATER OF RURAL WATER
SUPPLIES IN NAKHONRATCHASIMA PROVINCE**

Mr. Rachun Terapitayatragul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Master of

Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2002

ISBN 974-533-038-8

ราชนัน ธีระพิทยาตระกูล : การก่อตัวของไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มของระบบประปาชนบท
ในจังหวัดนครราชสีมา (TRIHALOMETHANES FORMATION IN DRINKING
WATER OF RURAL WATER SUPPLIES IN NAKHONRATCHASIMA PROVINCE)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ, 202 หน้า. ISBN 974-533-038-8

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในสถานะท้องถิ่นที่ทำการสำรวจ
และศึกษาทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ศึกษาการ
ก่อตัวของไตรฮาโลมีเทน และหาความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฮิวมิกในน้ำดิบกับปริมาณไตรฮาโล
มีเทนที่เกิดขึ้น และส่วนที่ 2 เป็นการสำรวจหาปริมาณไตรฮาโลมีเทน โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากขบวน
การต่าง ๆ ของระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และประปาหมู่บ้าน มาตรฐานระดับเอ
ของกรมอนามัย 8 แห่ง มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดฮิวมิก ความขุ่น คลอริเนตค้ำ และไตรฮา
โลมีเทนและหาความสัมพันธ์การเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสถานะท้องถิ่นแต่ละแห่งจากการสำรวจ
ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณคลอริเนตและเวลาสัมผัส มีผลต่อปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้น และการ
ทำพรีคลอรีเนชันมีค่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอริเนตสูงกว่าการทำโพส
คลอรีเนชัน รวมทั้งการกำจัดคลอริเนตก่อนทำคลอรีเนชันพบว่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำมีค่าลด
ลง จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 3 แบบในการทดลอง คือ น้ำดิบ น้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย และน้ำ
ที่ผ่านระบบประปา พบปริมาณไตรฮาโลมีเทนเรียงจากมากไปหาน้อยตามลำดับ ซึ่งหาความ
สัมพันธ์กับปริมาณกรดฮิวมิก ได้ค่าสมการเชิงเส้น คือ $Y = 8.633 + 7.083X$ ($Y =$ ปริมาณไตรฮาโล
มีเทน ($\mu\text{g/L}$), $X =$ ปริมาณกรดฮิวมิก (mg/L)) ส่วนที่ 2 พบปริมาณไตรฮาโลมีเทนทุกขั้นตอนใน
ระบบประปาชนบททั้ง 9 แห่ง และพบว่าปริมาณความขุ่น คลอริเนตค้ำ กรดฮิวมิกมีความสัมพันธ์
กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบประปาทุกแห่ง สำหรับการก่อตัวของไตรฮาโลมีเทน
จากการทดลองได้ค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 1.096 ppb/hr โดยทุกขั้นตอนทดสอบ
ค่าสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนผลการคาดคะเนความเสี่ยงสุขภาพ จากการวิจัยพบปริมาณ
คลอโรฟอร์มสูงสุดที่ตรวจวัดได้ คือ $245.81 \mu\text{g/L}$ อยู่ในระบบประปาหมู่บ้าน หมู่ที่ 3 บ้านน้ำฉ่ำ อ.
ขามทะเลสอ จ.นครราชสีมา และพบโอกาสที่จะป่วยด้วยโรคมะเร็งเท่ากับ 9.52×10^{-4} ราย/ปี

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

RACHUN TERAPITAYATRAGUL : TRIHALOMETHANES FORMATION IN
DRINKING WATER OF RURAL WATER SUPPLIES IN NAKHONRATCHASIMA
PROVINCE THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D.
202 PP. ISBN 974-533-038-8

KINETICS OF TRIHALOMETHANES FORMATION/HEALTH RISK ASSESSMENT

This research was aimed at studying the kinetics of trihalomethanes formation in local area. The study is divided into 2 parts. The first part is to study in laboratory about the formation of trihalomethanes and the relationships between humic acid in raw water and trihalomethanes formation. The second part is to measure the concentrations of trihalomethanes by collecting SUT water supply and eight plants of Grade A Health department water supply and determine the relationship of trihalomethanes formation in local areas.

The results showed that a chlorination and contact time have related to trihalomethanes formation directly. The trihalomethanes in water which was pre-chlorination are more than that of post-chlorination and dechlorinated water gave the reduction of THMs significantly. The trihalomethanes in 3 types of the water – raw water, filtered water, and finished water supply – were found highest in raw water and lowest in water supply. The trihalomethanes formation and humic acid in water were correlated by Linear Regression, $Y = 8.633 + 7.083X$ ($Y =$ trihalomethanes, $\mu\text{g/L}$; $X =$ humic acid, mg/L). In the second part, trihalomethanes in the water supply having turbidity, residual chlorine, and humic acid were found to relate with trihalomethanes formation significantly ($\alpha = 0.05$). For Average kinetics of THMs formation rate constant was “significant” ($k = 1.096$ ppb/hr). The health risk assessment of THMs uptake of this research used the highest chloroform indicator. At mu 3 Numsha village Tumbol Pongdang Khamtalaesoo-district Nakhonratchasima province was found $245.81 \mu\text{g/L}$ of CHCl_3 that is the highest value. Estimating calculation of probable carcinogenic attack rate is about 9.52×10^{-4} cases/year.

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สุจิตต์ กระจิต อาจารย์ ดร.สมทิพย์ ด้านธีร วณิชย์ และอาจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ ศรีจรูณรัตน์ คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และ Mrs. Yanling Hua เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอาคารเครื่องมือ และวิจัย 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่กรุณาให้ความรู้ ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกต่อผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่ได้อนุมัติให้ลาศึกษาตลอดระยะเวลา 2 ปี และเพื่อนนักศึกษาตลอดทั้งทุกท่านที่เกี่ยวข้องแต่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย จนสามารถดำเนินการวิจัย สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมารดา และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา จนการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

ราชนัน ธีระพิทยาตระกูล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.6 ข้อยกเว้นของการวิจัย.....	4
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบประสาทนบท.....	7
2.2 สารชีวโมค.....	12
2.3 คลอรีน.....	18
2.4 ไตรฮาโลมีเทน.....	28
2.5 ระบาดวิทยาและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ.....	50
3 วิธีศึกษา.....	56
3.1 รูปแบบการวิจัย.....	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	62
3.4 การตรวจวิเคราะห์.....	64
3.5 น้ำตัวอย่าง.....	67
3.6 ขั้นตอนการทดลอง.....	67
3.7 แผนผังการทดลอง.....	72
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย.....	73
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	74
4.1 ส่วนที่ 1 ภาคการทดลอง.....	74
4.2 ส่วนที่ 2 การสำรวจหาปริมาณไตรฮาโลมีเทน (THMs).....	86
4.3 จลนศาสตร์ของการเกิดไตรฮาโลมีเทน (Kinetics of THMs formations).....	92
4.4 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ (Health risk assessment).....	96
5 บทสรุป.....	104
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป.....	105
เอกสารอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รายชื่อประปาหมู่บ้านที่ได้มาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย ของจังหวัดนครราชสีมา และเกณฑ์การพิจารณา.....	113
ภาคผนวก ข. การเตรียมการทดลอง.....	115
ภาคผนวก ค. ขั้นตอนการทดลอง.....	124
ภาคผนวก ง. ผลการทดลอง.....	129
ภาคผนวก จ. การเตรียม Standard Chlorine Solution.....	147
ภาคผนวก ฉ. การทำจาร์เทสต์ (Jar test).....	149
ภาคผนวก ช. ผลการทดสอบค่าทางสถิติในการวิจัย.....	153

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ซ. รูปแบบระบบประปาของหน่วยงานต่าง ๆ และขั้นตอนกระบวนการผลิต.....	200
ประวัติผู้เขียน.....	202

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบในการจัดหาน้ำสะอาดในชนบท.....9
2-2	คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก.....16
2-3	กลุ่ม Phenolic-OH และ -COOH ในกรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก.....17
2-4	Available Chlorine ของสารประกอบคลอรีนบริสุทธิ์ต่าง ๆ.....27
2-5	การทำปฏิกิริยากับสารฮิวมิกโดยคลอรีน.....31
2-6	ปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากสารอินทรีย์ตัวเดียวกัน ที่ระดับพีเอชต่างกัน.....38
2-7	ปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลันของไตรฮาโลมีเทน.....52
2-8	ประเภทน้ำบริโภคของคนไทยแยกตามเขตที่อยู่อาศัย.....54
2-9	คุณภาพน้ำบริโภคในประเทศไทย ปี 2540-2541.....55
2-10	จำนวนประชากรที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน.....55
3-1	เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....57
4-1	ผลการเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอรีนแบบ ฟรีคลอรีนชั้น และโพสคลอรีนชั้นทั้งแบบกำจัด และไม่กำจัด Cl_2 ก่อน โดยใช้ คลอรีนที่ความเข้มข้น 3, 5, 7, 10, 15, 20 ppm เวลาสัมผัส 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง.....74
4-2	ผลทดสอบอทิพิลระหว่างกลุ่ม (ตัวอย่างน้ำดิบ).....83
4-3	ผลทดสอบอทิพิลระหว่างกลุ่ม (ตัวอย่างน้ำกรองอย่างง่าย).....84
4-4	ผลทดสอบอทิพิลระหว่างกลุ่ม (ตัวอย่างน้ำประปาเบื้องต้น).....86
4-5	ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรียจากแหล่งน้ำดิบ ประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก ปี 2527.....87
4-6	ปริมาณการเกิดไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากขบวนการต่าง ๆ ของ ระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และประปา มทส. ของ จ.นครราชสีมา.....88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดฮิวมิก ความขุ่น คลอรีนตกค้าง และไตรฮาโลมีเทน ของประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และประปาหมู่บ้าน มาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย 8 แห่ง ในจังหวัดนครราชสีมา จากผลการทดสอบค่าสถิติสมการเชิงเส้นอย่างง่าย ($\alpha=0.05$).....89
4-8	อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนต่อระยะเวลาสัมผัส หรือ จลนศาสตร์ในการเกิดไตรฮาโลมีเทนจากแหล่งน้ำผิวดิน ในจังหวัดนครราชสีมา จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....98
ข-1	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 3 ppm (Pre-chlorination).....116
ข-2	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 5 ppm (Pre-chlorination).....117
ข-3	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 7 ppm (Pre-chlorination).....118
ข-4	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 10 ppm (Pre-chlorination).....119
ข-5	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 15 ppm (Pre-chlorination).....120
ข-6	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 20 ppm (Pre-chlorination).....121
ข-7	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 3 ppm (Post-chlorination).....122
ข-8	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 5 ppm (Post-chlorination).....122
ข-9	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 7 ppm (Post-chlorination).....122
ข-10	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 10 ppm (Post-chlorination).....123
ข-11	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 15 ppm (Post-chlorination).....123
ข-12	ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 20 ppm (Post-chlorination).....123
ค-1	การเตรียมสารละลาย Humic acid ที่ 1, 5, 10, 15, 20 ppm ด้วย Standard solution, mL of 100 mg/L125
ง-1	ผลการตรวจวิเคราะห์หาไตรฮาโลมีเทนจากตัวอย่างน้ำผิวดินในห้องปฏิบัติการ.....130
ง-2	ผลการตรวจวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่าง ก ₁ -ก ₅ ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....136
ง-3	ผลการตรวจวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่าง ก ₆ -ก ₁₀ ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....137
ง-4	ผลการตรวจวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่าง ข ₁ -ข ₅ ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....137
ง-5	ผลการตรวจวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่าง ข ₆ -ข ₁₀ ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....138

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-6	ผลการตรวจวิเคราะห์หากรดิวมิค (mg/L) จากตัวอย่าง ค ₁ -ค ₅ ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....138
ง-7	ผลการตรวจวิเคราะห์หากรดิวมิค (mg/L) จากตัวอย่าง ค ₆ -ค ₁₀ ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....139
ง-8	ผลการตรวจวิเคราะห์หาไตรฮาโลมีเทนจากแหล่งน้ำดิบระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)140
ง-9	ผลการตรวจวิเคราะห์ความขุ่น กรดิวมิค และคลอรีนตกค้างจากแหล่งน้ำดิบระบบ ประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)140
ฉ-1	ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากตัวอย่างน้ำผิวดินจุดเก็บโรงกรองน้ำ บ้านมะขามเต่า151
ฉ-2	ผลการทำจาร์เทสต์จากตัวอย่างน้ำผิวดินจุดเก็บโรงกรองน้ำบ้านมะขามเต่า.....152

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 จลนศาสตร์ของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสภาวะท้องถิ่น ที่จะทำการศึกษา และสำรวจ.....	6
2-1 รูปแบบการดำเนินงานของระบบประปาหมู่บ้าน.....	11
2-2 รูปแบบการดำเนินงานของระบบประปamahavithayalaiเทคโนโลยีสุรนารี.....	12
2-3 โครงสร้างอย่างง่ายของสารประกอบฮิวมิก.....	14
2-4 โครงสร้างของกรดฮิวมิก.....	17
2-5 การกระจาย HOCl และ OCl ⁻ ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ.....	25
2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และสารประกอบคลอรีนชนิดต่าง ๆ.....	25
2-7 การเปรียบเทียบอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคระหว่างคลอรีนรวม และคลอรีนอิสระ.....	26
2-8 ความสำคัญของพีเอช และเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่าง ๆ.....	26
2-9 กราฟของการเกิด Breakpoint Chlorination.....	27
2-10 เส้นทางของปฏิกิริยาฮาโลฟอร์ม.....	30
2-11 อัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทนในปริมาณที่แตกต่างกันของการประปา Concord และการประปา Kennewick ในสหรัฐอเมริกา.....	32
2-12 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดคลอโรฟอร์ม.....	32
2-13 ปริมาณการเกิด TTHM ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล จากข้อมูลของ การประปา 5 แห่ง ในอเมริกาที่ใช้น้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดิน.....	33
2-14 ปริมาณการเกิดไตรฮาโลมีเทนโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดฮิวมิกและ คลอรีนในน้ำซึ่งมีความเข้มข้นของโบรมีนแตกต่างกันโดยใช้คลอรีน ที่ความเข้มข้น 28.2 microequivalent ต่อลิตร.....	34
2-15 ผลของพีเอชของน้ำต่อการเกิดคลอโรฟอร์มในน้ำภายหลังการตกตะกอน ที่อุณหภูมิ 25 ⁰ C (77 ⁰ F) และใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L.....	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-16	ผลของพีเอชของน้ำต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทนจากการใช้อะซิโตนความเข้มข้นในน้ำ 1 mg/L ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ความเข้มข้น 10 mg/L ที่อุณหภูมิ 25 ^o C (77 ^o F) และใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L.....37
2-17	ความเข้มข้นของกรดฮิวมิคในน้ำต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทน เมื่อใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L ที่พีเอชของน้ำเท่ากับ 6.7 ที่อุณหภูมิ 25 ^o C (77 ^o F)38
2-18	เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L กับกรดฮิวมิคในน้ำดิบซึ่งวัดในรูปของ NPOC.....39
2-19	เวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่เป็นแบบอย่างของสารเริ่มต้นของไตรฮาโลมีเทนกับคลอรีนในน้ำ.....40
2-20	ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอรีนตกค้างไม่มีผลต่ออัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำ ที่พีเอชเท่ากับ 7 และอุณหภูมิ 25 ^o C (77 ^o F).....41
2-21	เปรียบเทียบอัตราการเกิดคลอโรฟอร์มกับปริมาณคลอรีนตกค้างที่ใช้ซึ่งไม่สัมพันธ์กัน.....42
2-22	เปรียบเทียบอัตราการเกิดคลอโรฟอร์มจากการใช้คลอรีนตกค้าง 2 แบบ คือ คลอรีนตกค้างอิสระ และ คลอรีนตกค้างรวม.....43
2-23	คำนิยามต่าง ๆ ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา.....45
3-1	ขั้นตอนการทดลองชุดที่ 1.....68
3-2	ขั้นตอนการทดลองชุดที่ 2.....69
3-3	ขั้นตอนการทดลองชุดที่ 3.....70
3-4	จุดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ของระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....70
3-5	จุดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ของระบบประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอของกรมอนามัย.....71
3-6	แผนผังการทดลองในการวิจัย.....72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-1	การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และไม่มีการกำจัดก่อน กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และมีการกำจัดก่อน.....76
4-2	การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Pre-chlorination และไม่มีการกำจัดก่อน กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Pre-chlorination และมีการกำจัดก่อน.....77
4-3	การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Pre-chlorination และมีการกำจัดก่อน กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และมีการกำจัดก่อน.....78
4-4	การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Pre-chlorination และไม่มีการกำจัดก่อน กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และไม่มีการกำจัดก่อน.....79
4-5	ปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากปริมาณกรดฮิวมิก ในตัวอย่างน้ำดิบที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง.....81
4-6	ปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากปริมาณกรดฮิวมิกในตัวอย่างน้ำ ที่ผ่านการกรองอย่างง่ายที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง.....81
4-7	ผลการทดลองส่วนที่ 1.2 หากความสัมพันธ์ปริมาณไตรฮาโลมีเทนกับปริมาณกรดฮิวมิก.....82
4-8	ค่าเฉลี่ยเส้นขอบประมาณการของตัวอย่างน้ำดิบ.....83
4-9	ค่าเฉลี่ยเส้นขอบประมาณการของตัวอย่างน้ำผ่านการกรองอย่างง่าย.....85
4-10	ค่าเฉลี่ยเส้นขอบประมาณการของตัวอย่างน้ำประปาเบื้องต้น.....86
4-11	ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในชั้นตอนต่าง ๆ ของระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และประปา มทส. ของ จ.นครราชสีมา.....88
4-12	Humic acid of Calibration Curve และ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กรดฮิวมิกกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 1 – 590

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน แห่งที่ 6 – 8 และในระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.).....	91
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน แห่งที่ 1 – 5.....	92
4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน แห่งที่ 6 – 8 และในระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.).....	93
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน แห่งที่ 1 – 5	94
4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน แห่งที่ 6 – 8 และในระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.).....	95
4-18 จลนศาสตร์ในการเกิดไตรฮาโลมีเทน จากแหล่งน้ำผิวดินในจังหวัดนครราชสีมา จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	100
ซ-1 รูปแบบระบบประปาของหน่วยงานต่าง ๆ และขั้นตอนกระบวนการผลิต.....	201

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes :THMs) ถูกพบเป็นครั้งแรกในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี พ.ศ. 2517 ในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนของระบบการผลิตน้ำประปา ซึ่งใช้แหล่งน้ำผิวดิน สารในกลุ่ม THMs ที่พบบ่อยในน้ำประปามี 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (CHCl_3), โบรโมไดคลอโรมีเทน (CHCl_2Br), ไดโบรโมคลอโรมีเทน (CHClBr_2), และโบรโมฟอร์ม (CHBr_3) โดยมีคลอโรฟอร์มเป็นสารที่พบในสัดส่วนมากที่สุด ซึ่ง THMs เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ดังนั้นถ้าประชาชนบริโภคน้ำที่มี THMs เป็นเวลานานจะเสี่ยงต่อความปลอดภัยด้านสุขภาพของผู้บริโภคและอาจได้รับอันตรายถึงขั้นเกิดมะเร็งได้ (วัฒนชัย เหมืองทอง, 2536)

สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S.EPA) ได้เสนอกฎ D/DBP (Disinfectant/Disinfection By-Product) ในเดือนธันวาคม 2539 กำหนดให้ระดับ THMs ที่พบในน้ำประปามีค่าไม่เกิน 80 $\mu\text{g/L}$ และลดลงให้เหลือ 40 $\mu\text{g/L}$ ในระดับที่ 2 พร้อมทั้งมาตรการในการควบคุม THMs (Pontius F.W., 1995)

ประเทศไทยได้มีการสำรวจคุณภาพน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เมื่อเดือนพฤษภาคม 2527 พบว่าที่สถานีสูบน้ำบางเขนมี Total THMs อยู่ในช่วง 50 – 100 $\mu\text{g/L}$ มีค่าเฉลี่ย 80 $\mu\text{g/L}$ ส่วนที่สถานีสูบน้ำสามเสนเครื่องที่ 5 มี Total THMs อยู่ในช่วง 44 – 86 $\mu\text{g/L}$ มีค่าเฉลี่ย 68 $\mu\text{g/L}$ และในปี 2532 ได้สำรวจพบว่าปริมาณ THMs ที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ โดยเฉลี่ยมีค่า 279 $\mu\text{g/L}$ และมีปริมาณสูงสุด 657 $\mu\text{g/L}$ เมื่อพิจารณาระดับ THMs ที่เกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่า น้ำประปาของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือไม่ผ่านระดับแรก โรงสูบน้ำบางเขนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่ามาตรฐานระดับแรก ส่วนค่าเฉลี่ยของสถานีสูบน้ำสามเสนเครื่องที่ 5 ยังไม่ผ่านระดับที่ 2 (วิมลทิน แก้วทอง, 2539)

ถึงแม้ประเทศไทยจะยังไม่มีข้อกำหนดปริมาณ THMs ในน้ำประปากก็ตาม แต่เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคจำเป็นต้องเตรียมการเพื่อปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนดเนื่องจากระบบประปาในประเทศไทยมีการใช้คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Chlorination) กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย และราคาถูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบประปาชนบทหรือประปาหมู่บ้าน

จากรายงานผลการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคในจังหวัดนครราชสีมาระหว่างเดือนตุลาคม 2539 ถึงเดือนกันยายน 2540 พบว่า คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรียของระบบประปาที่เฝ้าระวังของ ปรากฏภูมิภาค 45 ตัวอย่าง ไม่ได้มาตรฐาน 21 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 46.70 ประปาเทศบาลเมือง 6 ตัวอย่าง ไม่ได้มาตรฐาน 4 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 66.70 ประปาเทศบาลตำบล 18 ตัวอย่าง ไม่ได้มาตรฐาน 14 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 77.80 และประปาหมู่บ้าน 9 ตัวอย่าง ไม่ได้มาตรฐานทั้งหมด (ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, ฝ่ายเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2542) และจากการศึกษาสถานการณ์งานจัดหาน้ำสะอาดในชนบทพื้นที่เขต 5 พบว่า ระบบประปาหมู่บ้านจังหวัดนครราชสีมาส่วนใหญ่คุณภาพน้ำยังไม่ได้มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค และผู้ดูแลระบบประปาหมู่บ้านส่วนใหญ่ยังไม่สามารถปรับจ่ายคลอรีนให้เหมาะสมตามขั้นตอนที่กำหนด รวมทั้งขาดประสิทธิภาพในการบริหารจัดการบำรุงรักษาและการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับระบบประปาหมู่บ้าน (กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542)

ด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ เหล่านี้ จึงเป็นเหตุจูงใจให้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการก่อตัวของ THMs ในน้ำดื่มของระบบประปาชนบทในจังหวัดนครราชสีมาขึ้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิธีการลด THMs และปรับปรุงพัฒนาระบบประปาชนบทต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค และหาความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับสารไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาชนบทของจังหวัดนครราชสีมา

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

อัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำบริโภคของระบบประปาชนบทจังหวัดนครราชสีมาเกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคและการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนผ่านขั้นตอนระบบประปาชนบทจะมีค่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนเกิดขึ้นมากกว่าปริมาณของไตรฮาโลมีเทนในน้ำบริโภคที่เกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคหลังผ่านขั้นตอนระบบประปาชนบท รวมทั้งปริมาณกรดฮิวมิกที่อยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค

1.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวิจัยประกอบด้วย

1.4.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variables)

ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนเริ่มต้น, ปริมาณกรดฮิวมิกเริ่มต้น, ปริมาณความขุ่นเริ่มต้น และปริมาณไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้นของน้ำตัวอย่าง

1.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables)

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนของน้ำตัวอย่างที่กำจัด Cl_2 ก่อน (Dechlorination) หลังผ่านการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนผ่านขั้นตอนระบบประปาในห้องปฏิบัติการ (Pre-chlorination)

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนของน้ำตัวอย่างที่ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน หลังผ่านการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนผ่านขั้นตอนระบบประปาในห้องปฏิบัติการ (Pre-chlorination)

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนของน้ำตัวอย่างที่กำจัด Cl_2 ก่อน หลังผ่านการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคหลังผ่านขั้นตอนระบบประปาในห้องปฏิบัติการ (Post-chlorination)

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนของน้ำตัวอย่างที่ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน หลังผ่านการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคหลังผ่านขั้นตอนระบบประปาในห้องปฏิบัติการ (Post-chlorination)

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่เกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่ไม่ผ่านขั้นตอนการผลิตน้ำประปาในห้องปฏิบัติการ

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่เกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคหลังผ่านการกรองอย่างง่ายในห้องปฏิบัติการ

- ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่เกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค หลังผ่านขั้นตอนการผลิตน้ำประปาในห้องปฏิบัติการ

- ปริมาณความขุ่น, ปริมาณคลอรีนตกค้าง, ปริมาณกรดฮิวมิก, ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างหลังผ่านแต่ละขั้นตอนของระบบประปาชนบทจังหวัดนครราชสีมา

1.4.3 ตัวแปรควบคุม (Control variables)

pH, อุณหภูมิ, แสงที่สัมผัสน้ำตัวอย่าง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ และส่วนที่ 2 ศึกษาในภาคสนาม มีขั้นตอนดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ : หากการก่อตัวของ THMs (THMs formation) และหาความสัมพันธ์ระหว่าง Humic acid กับ THMs ในตัวอย่างน้ำผิวดินจุดเก็บน้ำที่โรงกรองน้ำมะขามเต่า

ส่วนที่ 2 ศึกษาในภาคสนาม : หากจลนศาสตร์ของ THMs (Kinetics of THMs) ในน้ำประปาในระบบประปาชนบทของจังหวัดนครราชสีมาแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ

ก.) ระบบประปamahวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและ

ข.) ระบบประปาหมู่บ้าน (มาตรฐานระดับเอ กรมอนามัย) (ดูภาคผนวก ก.)

1.6 ข้อยกจำกัดของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวอย่างน้ำ 2 แหล่ง คือ ส่วนที่ 1 จากแหล่งน้ำผิวดินจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่โรงกรองน้ำมะขามเต่า และส่วนที่ 2 จากระบบประปาหมู่บ้าน (มาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย) และระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการอาคารเครื่องมือและวิจัย 1 (F₁) ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.7.1 ระบบประปาชนบท หมายถึง ระบบประปาหมู่บ้านหรือระบบการนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ อันได้แก่ น้ำใต้ดินหรือแหล่งน้ำผิวดินมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อผลิตให้เป็นน้ำสะอาดตามหลักวิชาการ และวิธีการที่เหมาะสม และจ่ายน้ำที่ผลิตได้ไปตามเส้นทางท่อ และผ่านมาตรวัดน้ำเพื่อให้ประชาชนผู้ใช้น้ำในหมู่บ้านได้ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคต่อไป (กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542)

1.7.2 ระบบประปาชนบทในจังหวัดนครราชสีมาในการวิจัย หมายถึง ระบบประปาหมู่บ้านในจังหวัดนครราชสีมาที่ได้รับการจัดลำดับมาตรฐานอยู่ในระดับเอของกรมอนามัยและระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ยกเว้นประปาเทศบาล และประปาส่วนภูมิภาค

1.7.3 การก่อตัวของ THMs (THMs formation) หมายถึง อัตราการเกิดของ THMs ที่มีความสัมพันธ์กับสารตั้งต้น ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะกรดฮิวมิกและคลอรีนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิด THMs เท่านั้น

1.7.4 จลนศาสตร์ (Kinetics) หมายถึง เป็นการศึกษาเคมีเชิงฟิสิกส์เกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา และผลต่าง ๆ ทางกายภาพที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ, แสง, ความเข้มข้น, การวัดอัตราปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ กันเพื่อหากลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (ลัดดา มีสุข, 2533)

1.7.5 จลนศาสตร์ของ THMs (Kinetics of THMs) ในการวิจัย หมายถึง อัตราการเกิด THMs และผลต่าง ๆ ทางกายภาพที่มีต่ออัตราการเกิด THMs ได้แก่ pH, อุณหภูมิ, แสง, ความเข้มข้นของสารตั้งต้น, ความขุ่น, การวัดอัตราการเกิด THMs ที่สภาวะต่าง ๆ กันในแต่ละขั้นตอนการทดลองที่กำหนดเพื่อหากลไกการก่อตัวของ THMs ที่เกิดขึ้น

1.7.6 การเติมคลอรีน (Chlorination) ในห้องปฏิบัติการ หมายถึง การเติมคลอรีนหลังจากนำน้ำตัวอย่างมาตรวจหาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความขุ่น, pH, อุณหภูมิของน้ำ และหาความต้องการเติมคลอรีนในน้ำ (Cl_2 demand) รวมทั้งหาจาร์เทสต์ (Jar test) สำหรับควบคุมในการทดลองหาการก่อตัวของ THMs ในสภาวะต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนการทดลองที่กำหนด

1.7.7 การเติมคลอรีนก่อน (Pre-chlorination) ในห้องปฏิบัติการ หมายถึง การเติมคลอรีนหลังจากนำน้ำตัวอย่างมาตรวจหาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความขุ่น, pH, อุณหภูมิของน้ำ และหาความต้องการเติมคลอรีนในน้ำ (Cl_2 demand) รวมทั้งหาจาร์เทสต์ (Jar test) สำหรับควบคุมในการทดลองหาการก่อตัวของ THMs และก่อนผ่านขั้นตอนในการผลิตน้ำประปาในห้องปฏิบัติการตามการทดลองที่กำหนด

1.7.8 การเติมคลอรีนหลัง (Post-chlorination) ในห้องปฏิบัติการ หมายถึง การเติมคลอรีนหลังจากนำน้ำตัวอย่างมาตรวจหาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความขุ่น, pH, อุณหภูมิของน้ำ และหาความต้องการเติมคลอรีนในน้ำ (Cl_2 demand) รวมทั้งหาจาร์เทสต์ (Jar test) สำหรับควบคุมในการทดลองหาการก่อตัวของ THMs และหลังผ่านขั้นตอนในการผลิตน้ำประปาในห้องปฏิบัติการตามขั้นตอนการทดลองที่กำหนด

1.7.9 การกำจัดคลอรีน (Dechlorination) ในห้องปฏิบัติการ หมายถึง การกำจัดคลอรีนที่ไม่ต้องการออกไปหลังทำคลอรีนชันในน้ำตัวอย่างในห้องปฏิบัติการและก่อนการวิเคราะห์หา THMs ที่เกิดขึ้น ตามขั้นตอนการทดลองที่กำหนด

1.7.10 สารฮิวมิก (Humic substances) หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีสภาพเป็นกรด ประกอบด้วยกลุ่มที่สำคัญ 2 กลุ่ม คือ Aromatic และ Hydrophobic มีโมเลกุลใหญ่ และซับซ้อนมี 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ กรดฮิวมิก (Humic acid), กรดฟุลวิก (Fulvic acid) และฮิวมิน (Humic) เป็นตัวที่ทำให้เกิดสีในน้ำ และเป็นสารตั้งต้น (Precursor) ของ THMs ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะกรดฮิวมิกซึ่งเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งของ THMs เท่านั้น

1.7.11 กรดฮิวมิก (Humic acid) หมายถึง สารอินทรีย์ที่เป็นส่วนหนึ่งของสารฮิวมิก มีสภาพเป็นกรด มีความสามารถละลายในด่างได้ดี แต่ไม่ละลายในกรดที่ $pH < 2$ เป็นตัวที่ทำให้เกิดสีเหลืองหรือสีน้ำตาลในน้ำ ในการทดลองนี้ใช้สารเคมีที่มีชื่อทางการค้าว่า Humic acid เป็นผงสีน้ำตาลเข้ม ความเข้มข้น 99% ของบริษัท Fluka อเมริกา

1.7.12 อัตราการเกิด THMs ในห้องปฏิบัติการ หมายถึง ปริมาณ THMs ที่ตรวจพบในน้ำ ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการที่มีการเติมคลอรีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และ ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ ในแต่ละ ขั้นตอนการทดลองที่กำหนด เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas chromatography (Headspace/ECD detector)

1.7.13 อัตราการเกิด THMs ในระบบประปาชนบท หมายถึง ผลต่างของปริมาณ THMs ที่ตรวจพบในน้ำที่ผ่านขั้นตอนแต่ละขั้นตอนการผลิตน้ำประปา กับน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนในการผลิตน้ำประปาของระบบประปาชนบทเมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas chromatography (Headspace/ECD detector)

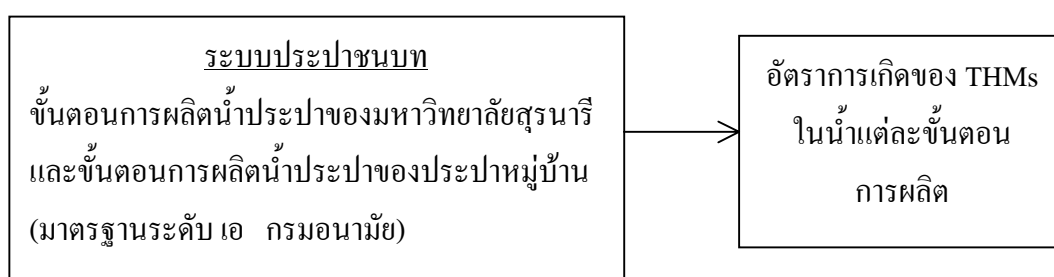
1.8 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มุ่งที่จะศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิด THMs ในสภาวะท้องถิ่นที่จะทำการศึกษาและสำรวจโดยมีแนวคิดในการศึกษา 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ คุณภาพน้ำ ระบบประปา และสารตั้งต้นการก่อตัวของ THMs โดยศึกษาเฉพาะคลอรีน และกรดฮิวมิกในน้ำ และส่วนที่ 2 แสดงถึงอัตราการเกิดของ THMs ในน้ำแต่ละขั้นตอนการผลิตน้ำประปาที่เป็นผลมาจากระบบประปาชนบทโดยศึกษาเฉพาะระบบประปาของมหาวิทยาลัยสุรนารี และระบบประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย ดังแสดงในภาพที่ 1-1

ส่วนที่ 1



ส่วนที่ 2



↔ = ความสัมพันธ์, → = ผลที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 1-1 จลนศาสตร์ของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสภาวะท้องถิ่นที่จะทำการศึกษาและสำรวจ

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดขอบเขตของเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ตามลำดับ ดังนี้

- 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบประปาชนบท
- 2.2 สารฮิวมิก (Humic substances)
- 2.3 คลอรีน
- 2.4 ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes ; THMs)
- 2.5 ระบาดวิทยา และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบประปาชนบท

ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการบริหารกิจการและการบำรุงรักษาระบบประปาชนบท พ.ศ.2535 ได้ให้ความหมาย “ระบบประปาหมู่บ้าน” ไว้ หมายถึง ระบบการนำน้ำจากใต้ดินหรือแหล่งน้ำผิวดินมาผลิตให้เป็นน้ำสะอาดตามหลักวิชาการ และวิธีการอันเหมาะสมเพื่อใช้ในการอุปโภค-บริโภคโดยการจ่ายน้ำไปตามท่อผ่านมาตรวัดน้ำบริการให้แก่ประชาชนในหมู่บ้านแต่ไม่หมายความรวมถึงระบบประปาหมู่บ้านที่เกิดจากการขยายระบบประปาที่อยู่ในความรับผิดชอบของการประปาส่วนภูมิภาค (สำนักปลัดกระทรวงมหาดไทย 2535 : 1 อ้างถึงใน กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542)

องค์การอนามัยโลก (WHO) (โกมล สีระบวร, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชุมนุมศิริวัฒน์, 2527 : 68) ได้ให้นิยามของวัตถุประสงค์ของการทำระบบน้ำประปาไว้ 3 ประการ คือ

- 1) ผลิตน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคได้โดยปลอดภัย (Safe and wholesome)
- 2) ผลิตน้ำให้พอกับความต้องการของผู้ใช้น้ำ (Adequate quantity)
- 3) ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำและพร้อมที่จะจ่ายน้ำให้แก่ผู้ต้องการใช้น้ำได้อย่างทั่วถึง (Readily available to the users)

สรุปองค์ประกอบสำคัญในการจัดทำระบบประปานั้น ประกอบด้วย

- 1) แหล่งน้ำดิบ มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ จากแหล่งน้ำใต้ดินหรือแหล่งน้ำผิวดินก็ได้
- 2) น้ำที่ผลิตได้ต้องเป็นน้ำที่สะอาดตามหลักวิชาการ ด้วยวิธีการที่เหมาะสม
- 3) ระบบการจ่ายน้ำต้องผ่านระบบท่อและผ่านมาตรวัดน้ำ

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ในปี พ.ศ. 2526 ดำรวจพบว่า ประชาชนในชนบทภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแหล่งน้ำที่สะอาดปลอดภัยต่อการดื่มเพียงร้อยละ 14 (กระทรวงสาธารณสุข, 2535 : 16 อ้างถึงใน กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542)

การศึกษาความต้องการเรื่องน้ำดื่มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ความต้องการระบบประปาชนบทสูงกว่าความต้องการด้านอื่น ๆ เช่น บริการสาธารณสุข ถนน ประชาชนให้ความนิยมเนื่องจากทำให้ได้น้ำใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภคที่มีความสะอาด ถูกสุขลักษณะก่อให้เกิดความสะดวกสบาย และยังทำให้มีน้ำกินน้ำใช้ตลอดปี (สันศักดิ์ เสริมศรี และคณะ, 2525 : 30 อ้างถึงใน กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542)

มติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 6 สิงหาคม 2534 ให้ดำเนินการตามแผนเร่งรัดการขยายระบบประปาชนบทโดยวางวัตถุประสงค์ให้ประชาชนในชนบทมีน้ำสะอาดใช้อุปโภคบริโภคด้วยระบบประปาชนบทอย่างทั่วถึง มีเป้าหมายการดำเนินงานในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2535 – 2544) และในแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540 – 2544) กำหนดการจัดสร้างระบบประปาหมู่บ้านไว้ว่าเมื่อสิ้นแผน ฯ 8 จะต้องจัดสร้างระบบประปาให้ครอบคลุมร้อยละ 70 ของจำนวนหมู่บ้านในประเทศไทย พร้อมทั้งกำหนดให้ครัวเรือนในประเทศไทยมีน้ำสะอาดเพียงพอสำหรับดื่ม 5 ลิตร/คน/วัน ให้มีน้ำใช้ 45 ลิตร/คน/วัน โดยแบ่งงานตามโครงการและกำหนดหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไว้ชัดเจนตามแผนงานโครงการ และทรัพยากรที่จัดสรรไว้ให้ หน่วยงานหลักที่ดำเนินการก่อสร้างระบบประปาชนบทเพื่อให้ประชาชนในชนบทมีน้ำใช้อย่างทั่วถึงมีหลายหน่วยงานและหลายรูปแบบด้วยกันแต่ปัจจุบันเหลือ 4 หน่วยงานหลัก คือ กรมโยธาธิการ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) กรมทรัพยากรธรณี และกรมอนามัย ซึ่งสามารถจำแนกระบบประปาในชนบทออกได้เป็น 2 ระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัยครั้งนี้ คือ ระบบประปาที่มีเครื่องเติมคลอรีนสำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้แก่ ระบบประปาของกรมอนามัย และระบบประปาของกรมโยธาธิการ กับระบบประปาที่ไม่มีเครื่องเติมคลอรีนสำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ได้แก่ ระบบประปาของ รพช. และระบบประปาของ กรมทรัพยากรธรณี (กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542) ดังตารางที่ 2-1

รูปแบบของระบบประปาชนบท ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้

- 1) ระบบประปาหมู่บ้าน หรือ ประปาชนบทของ 4 หน่วยงาน

ตารางที่ 2-1 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบในการจัดหาน้ำสะอาดในชนบท

หน่วยงานของรัฐ	แหล่งน้ำสำหรับดื่มและใช้ในครัวเรือนในชนบท				
	ถึงเก็บน้ำ (รวมตุ่มน้ำ)	บ่อน้ำ ตื้น	บ่อบาดาล	สระน้ำ	ระบบ ประปา
<u>กระทรวงเกษตรและสหกรณ์</u> - กรมส่งเสริมการเกษตร - สำนักงานปฎิรูปที่ดิน เพื่อการเกษตรกรรม - กรมพัฒนาที่ดิน				✓ ✓ ✓	
<u>กระทรวงมหาดไทย</u> - กรมการปกครอง - กรมโยธาธิการ - กรมประชาสัมพันธ์ - กรมพัฒนาชุมชน - สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท - การประปาส่วนภูมิภาค	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	 ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	 ✓ ✓
<u>กระทรวงสาธารณสุข</u> - กรมอนามัย	✓	✓	✓		✓
<u>กระทรวงอุตสาหกรรม</u> - กรมทรัพยากรธรณี			✓		✓
<u>กระทรวงกลาโหม</u> - กรป.กลาง	✓	✓	✓	✓	

หมายเหตุ จากรายงานการศึกษาสถานภาพแหล่งน้ำอุปโภค-บริโภคในประเทศไทย พ.ศ. 2535-2539 (หน้า 4), โดยกองประสานการพัฒนาชนบท สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2540, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์พิชการพิมพ์. อ้างถึงใน รายงานการศึกษาศถานการณ์งานจัดหาน้ำสะอาดในชนบทในพื้นที่เขต 5 (หน้า 3), กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542.

ตามแผนเร่งรัดจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบทได้กำหนดให้ใช้น้ำจากบ่อบาดาลเป็นแหล่งน้ำหลัก เนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพ ในกรณีที่พื้นที่ใดมีปัญหาด้านแหล่งน้ำได้ดินให้พิจารณาใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน ดังนี้ (สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย 2535 : 9 – 10 อ้างถึงใน กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา)

1.1) ขนาดของระบบประปาชนบท แบ่งโดยขีดปริมาณจากแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ดี และจำนวนผู้ใช้น้ำเป็นเกณฑ์ ซึ่งขนาดของระบบประปาชนบทที่เหมาะสมแบ่งได้เป็น 3 ขนาด คือ

- ระบบประปาขนาดเล็ก เหมาะสมสำหรับแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ไม่น้อยกว่า 5 ลบ.ม./ชั่วโมง จำนวนผู้ใช้น้ำไม่เกิน 50 หลังคาเรือน

- ระบบประปานขนาดกลาง เหมาะสมสำหรับแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ไม่น้อยกว่า 10 ลบ.ม./ชั่วโมง จำนวนผู้ใช้น้ำไม่เกิน 50 – 120 หลังคาเรือน

- ระบบประปานขนาดใหญ่ เหมาะสมสำหรับแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ไม่น้อยกว่า 20 ลบ.ม./ชั่วโมง จำนวนผู้ใช้น้ำเกินกว่า 120 หลังคาเรือน

1.2) องค์ประกอบของระบบประปาชนบท ระบบประปาชนบททั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ สามารถจัดรูปแบบการดำเนินงานให้เหมาะสมได้ ดังภาพที่ 2-1 โดยมีองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ

- ระบบน้ำดิบ ได้แก่ บ่อบาดาลหรือแหล่งน้ำผิวดิน และเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า

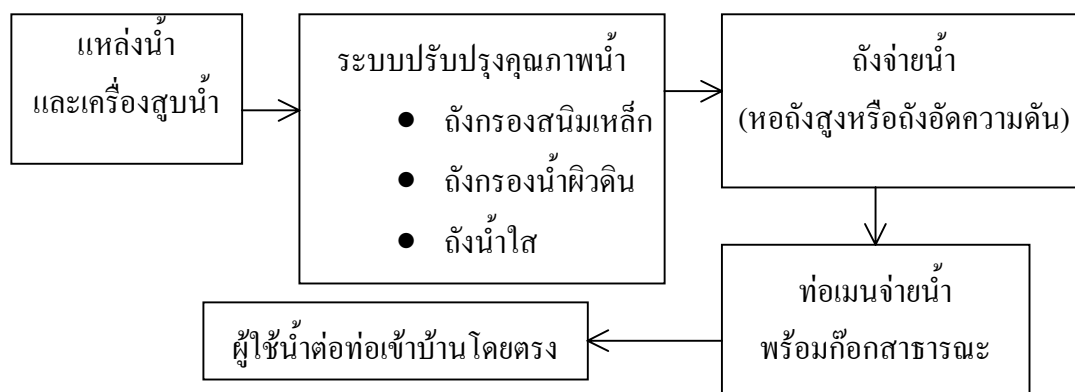
- ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้แก่ ถังกรองน้ำ และถังน้ำใส ใช้ในพื้นที่ที่น้ำบาดาลมีสนิมเหล็กเจือปน แต่ในพื้นที่ที่น้ำบาดาลมีความบริสุทธิ์แล้ว ไม่จำเป็นต้องติดตั้งถังกรองน้ำ

- ถังจ่ายน้ำ ปัจจุบันมี 2 แบบ คือ

ก. หอดังสูง หน่วยงานที่ใช้ คือ กรมโยธาธิการ และระบบประปานขนาดใหญ่ของกรมอนามัย มีข้อดี คือ สะดวกในการใช้และบำรุงรักษา แต่มีราคาค่าก่อสร้างสูง

ข. ถังความดัน หน่วยงานที่ใช้ คือ กรมอนามัย สำหรับระบบประปานขนาดเล็กและขนาดกลาง มีข้อดี คือ ราคาคิดตั้งต่อแห่งต่ำ

- ท่อเมนจ่ายน้ำ เฉพาะเส้นท่อสายหลัก พร้อมก๊อกสาธารณะให้ครอบคลุมทั้งหมดหมู่บ้าน



ภาพที่ 2-1 รูปแบบการดำเนินงานของระบบประปาหมู่บ้าน (ดูภาคผนวก ท.)

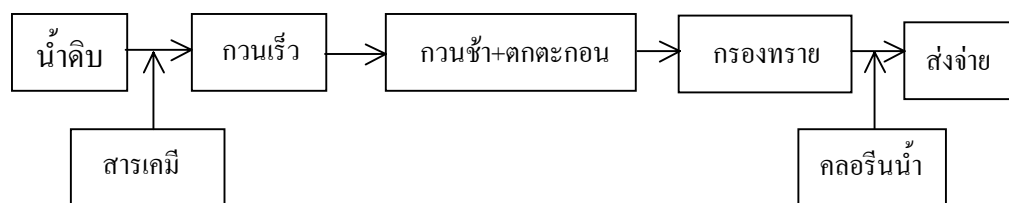
จากรายงานการศึกษาสถานการณ์งานจัดหาน้ำสะอาดในชนบทในพื้นที่เขต 5 ของศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ปี 2542 จังหวัดนครราชสีมาซึ่งมีเขตการปกครอง 26 อำเภอ 6 กิ่งอำเภอ 291 ตำบล 3,324 หมู่บ้าน 372,850 หลังคาเรือน ประชากร 1,802,224 คน ได้รับการสำรวจประปาหมู่บ้านจำนวน 2,831 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 85.17 พบว่า มีความครอบคลุมการมีน้ำประปาใช้ของหมู่บ้านดังนี้ มีประปาตั้งอยู่จำนวน 1,081 หมู่บ้าน คิดเป็นร้อยละ 38.18 ใช้ประปาพร้อมกันจำนวน 398 หมู่บ้าน คิดเป็นร้อยละ 38.18 ไม่มีประปาจำนวน 1,351 หมู่บ้าน คิดเป็นร้อยละ 47.76 ระบบประปามีสภาพการใช้งานได้ แยกตามหน่วยงานหลัก ดังนี้ กรมอนามัย จำนวน 296 แห่ง ใช้ได้ 281 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 94.93 กรมโยธาธิการ จำนวน 301 แห่ง ใช้ได้ 267 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 88.70 กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 186 แห่ง ใช้ได้ 164 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 88.17 สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท จำนวน 65 แห่ง ใช้ได้ 53 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 81.54 (กรมอนามัย, ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, 2542) และพบว่าได้มาตรฐานตามเกณฑ์ของกรมอนามัยแยกตามมาตรฐานสูงไปหาค่าได้ดังนี้ ประปาหมู่บ้านระดับเอ จำนวน 8 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 14.29 ประปาหมู่บ้านระดับบี ไม่มี ประปาหมู่บ้านระดับซี จำนวน 22 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 39.29 ประปาหมู่บ้านระดับดี จำนวน 26 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 46.42 (พัชราภรณ์ ศิริจงประเสริฐ, 2542)

2.) ระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, งานประปา และสิ่งแวดล้อม, 2542)

ระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจัดว่าเป็นระบบประปาชนบทที่สำคัญแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากมีการผลิตน้ำให้แก่ชุมชนในมหาวิทยาลัยแล้ว ยังผลิตจำหน่ายให้แก่ประชาชนทั่วไปด้วย โดยมีการควบคุมระบบผลิตน้ำประปาให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

เทียบได้กับการจัดลำดับประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย แต่มีระบบการผลิตที่ต่างออกไปคือ เป็นระบบ Super hydropulse ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติแสดงผลสถานะต่าง ๆ ของระบบที่หน้าจอคอมพิวเตอร์พร้อมกับระบบ Manual ที่มีผู้ควบคุมดูแลอีกทีหนึ่ง มีกำลังการผลิต $100 \text{ m}^3/\text{hr}$. จำนวน 4 ชุด รวมกำลังการผลิต $9,600 \text{ m}^3/\text{วัน}$ ใช้แหล่งน้ำดิบทั้งจาก อ่างห้วยยาง, อ่างขุดโนนมหาวิทยาลัย, น้ำใต้ดินและน้ำจากโรงกรองน้ำมะขามเฒ่า โดยแต่ละชุดประกอบด้วย ถังกวนเร็ว, ถังกวนช้าและตกตะกอน, ถังกรองทราย, จุดส่งจ่าย ดังแสดงในภาพที่ 2-2 สำหรับสารเคมีที่ใช้ได้แก่ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC), ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), โพลีเมอร์ (Cation), คลอรีนน้ำ (NaOCl) และมีอัตราการใช้น้ำประปา ๆ แปรเปลี่ยนตามฤดูกาล คือ

- 2.1) ฤดูฝน อัตราการใช้น้ำประมาณ 2,000 ลบ.ม.ต่อวัน
- 2.2) ฤดูร้อน อัตราการใช้น้ำประมาณ 2,500 ลบ.ม.ต่อวัน
- 2.3) ฤดูหนาว อัตราการใช้น้ำประมาณ 1,700 ลบ.ม.ต่อวัน



ภาพที่ 2-2 รูปแบบการดำเนินงานของระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 สารฮิวมิก (Humic substances)

เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Organic contaminants) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม (วิมลนิกแก้้วทงง, 2539 ; ธนธร ยอดสมสวย, 2541) คือ

2.2.1 Natural organic matter (NOM) ประกอบด้วย Humic substances, Microbial exudations และสารอินทรีย์อื่นที่ละลายในน้ำจากแหล่งกำเนิด เช่น เนื้อเยื่อของพืชและของเสียจากสัตว์

2.2.2 Synthetic organic chemicals (SOCs) ประกอบด้วย ยาฆ่าแมลง, Volatile organic chemicals (VOCs) และสารเคมีสังเคราะห์ตัวอื่น

2.2.3 Chemical by-product and additives ที่เข้ามาหรือเกิดขึ้นในน้ำระหว่างการบำบัด (Treatment system) หรือในระบบการจ่ายน้ำ (Distribution system)

แต่กลุ่มที่สำคัญคือ กลุ่มของสารอินทรีย์ในธรรมชาติ (Natural organic matter : NOM) เนื่องจากมี Humic substances ที่มีส่วนประกอบที่ซับซ้อนมาก มีรูปร่างไม่แน่นอน โดยมีต้นกำเนิดจากการสลายตัวของซากพืช และมีลักษณะสมบัติ (Vik et al, 1985) ดังนี้

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

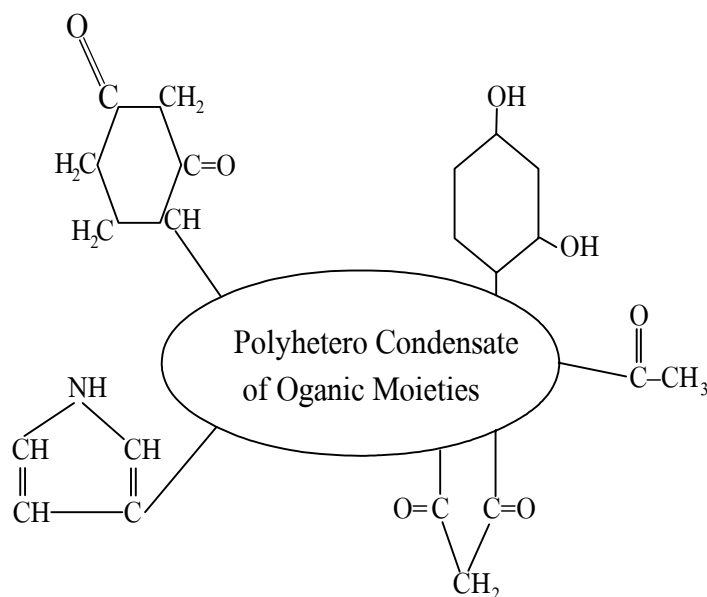
รูปแบบโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฮิวมิก ประกอบด้วยกลุ่มของ Polyhetero condensate ของโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน โดยมีกลุ่มฟังก์ชันต่าง ๆ ขึ้นออกมาตามผิว ได้แก่ Carboxyl, Phenolic, Alcoholic, Ketonic, Quinonoid และ Methoxyl ดังแสดงในภาพที่ 2-3 กลุ่มฟังก์ชันต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบฮิวมิก และเป็นส่วนที่คลอรีนอิสระจะมากทำปฏิกิริยาจนเกิด THMs ขึ้นมา (Trussell and Umphres, 1978)

ลักษณะของสารฮิวมิกเป็นสารประกอบสีน้ำตาล หรือดำ มีสภาพเป็นกรด มวลโมเลกุลอยู่ในช่วงร้อยไปจนถึงหลายล้าน พบในธรรมชาติทั้งในดิน และในน้ำ (Schmitzer and Khan, 1972)

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

สารฮิวมิก สามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ (Trussell and Umphres, 1978 ; Berger , 1987)

- 1.) กรดฮิวมิก (Humic acid) เป็นส่วนที่พบมากของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ในด่าง (Alkaline solution) แต่ไม่ละลายในสารละลายกรดที่ pH < 2 หรือ Ethyl alcohol
- 2.) กรดฟุลวิก (Fulvic acid) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Soil organic material) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง
- 3.) ฮิวมิน (Humin) มีคุณสมบัติไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างอย่างง่ายของสารประกอบฮิวมิก

หมายเหตุ จาก“*The formation of trihalomethanes,*”Trusell R.R. And Umphres M.D. ,
Jour. AWWA. 1978 ; 70, 11 : 604 – 612. อ้างถึงใน การลดปริมาณการเกิด
ไตรฮาโลมีเทนด้วยสารโพลิอะลูมินัมคลอไรด์ (หน้า 8), โดยวิมลทิน แก้วทนนง, 2536,
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

สารฮิวมิกจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนมากและยังไม่มีหลักเกณฑ์ใดแสดงได้
คุณสมบัติของกรดฮิวมิก กรดฟุลวิก และ ฮิวมิน สรุปได้ดังนี้ (Tinsley, 1979)

(1) สารฮิวมิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสีน้ำตาลเข้ม หรือ สีดำซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของสาร
ฮิวมิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า ส่วนพวกที่มีสีน้ำตาลอ่อน หรือ สีเหลืองจะเป็นสารฮิวมิกที่มีน้ำ
หนักโมเลกุลต่ำกว่า

(2) จุดไม่อิ่มตัวสูง (High degree of unsaturation)

(3) ความเป็นกรดจะสัมพันธ์กับกลุ่มที่มี O_2 เป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่ม

Carboxyl และ Phenolic hydroxyl

(4) กรดอะมิโนจะพบได้ในสารฮิวมิก

(5) ส่วนใหญ่ร้อยละ 50 ของ O_2 จะคงอยู่ในส่วนของโครงสร้างที่ไม่ว่องไว (Nonreactive
structure units) เช่น ใน Ether bond หรือ Heterocyclic oxygen

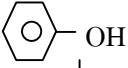
- (6) สารฮิวมิกจะมีอัตราส่วนไนโตรเจนที่เป็นอุปสรรคต่อการเกิด Hydrolysis
- (7) สารฮิวมิกจะค่อนข้างไวต่อการออกซิเดชันด้วย CO_2 , น้ำ และ Oxalic acid
- (8) โครงสร้างคาร์บอนที่อยู่ตรงกลางจะต้านทานการทำปฏิกิริยาทางเคมี และจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลาย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของกรดฮิวมิกและฟุลวิก พบว่ามีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2-2 ซึ่งในสภาวะ pH ของน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่ สารฮิวมิกจะมีประจุลบ และมีโมเลกุลใหญ่ สามารถจับตัวกันได้ตามธรรมชาติกลายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น และตารางที่ 2-3 แสดงถึงความแตกต่างของจำนวนกลุ่ม Carboxyl และ Phenolic ในกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก ซึ่งกลุ่มที่ทำให้เกิดประจุลบเหล่านี้มีผลต่อการทำปฏิกิริยากับสารสร้างตะกอนในระบบบำบัดน้ำ โดยหากมีประจุสูงขึ้นจะทำให้อนุภาคของสารอินทรีย์เหล่านี้แยกตัวออกจากกันมากขึ้นและต้องใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่สูงขึ้นสำหรับ TOC ในธรรมชาตินั้นมีสารฮิวมิกเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 25 สำหรับในแหล่งน้ำธรรมชาติที่น้ำจืด และมหาสมุทรมีสารฮิวมิกอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (Dissolved organic matter) ซึ่งทำให้เกิดสีในน้ำ (Edzwald, 1993) โดยกลุ่ม Carboxyl และ Phenolic จะมีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคสารฮิวมิก นั่นคือ เมื่อพีเอชสูงขึ้น ประจุลบของสารฮิวมิกจะเพิ่มขึ้น ซึ่งประจุลบส่วนใหญ่จะเกิดจากกลุ่ม carboxyl ($-\text{COOH}$) โดยที่ H^+ จะไอออไนซ์ออกมาที่ pH ระหว่าง 3 – 8 ถ้า pH สูงกว่านี้ จะมีประจุลบสูงขึ้นอีกเพราะได้มาจากการไอออไนเซชันของ H^+ จากกลุ่ม phenolic ($-\text{OH}$) ดังนั้นสารฮิวมิกจะมีเสถียรภาพสูงขึ้นด้วยการทำปฏิกิริยากับสารสร้างตะกอนทำได้ยากขึ้น สำหรับ TOC ในน้ำธรรมชาติตามแหล่งต่าง ๆ นั้น ส่วนใหญ่ในน้ำใต้ดินมี $\text{TOC} < 2 \text{ mg/L}$ น้ำผิวดินมี $\text{TOC} 1\text{--}20 \text{ mg/L}$ ในขณะที่น้ำในหนองหรือบึงนั้นมีค่าสูงได้ถึง 300 mg/L (Kavanaugh, 1978)

สารประกอบฮิวมิกมีความสามารถสูงในการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก และสามารถดึงไอออนโลหะเข้ามารวมอยู่ได้ และเนื่องจากมีคุณสมบัติของสารอินทรีย์อยู่ด้วย จึงสามารถสะสมสารประกอบอินทรีย์ประเภท Hydrophobic รวมทั้งสารฆ่าแมลง และเป็นสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็งฮาโลมีเทน (THMs precursors) (มันซิน ตันทูลเวศม์, 2526 ; Rebhun and Lurie, 1993)

ที่ pH 8.0 สารละลายที่มีความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 1 mg/L จะทำให้เกิดสี 26.5 Color units (CU) ขณะที่ความเข้มข้นของกรดฟุลวิก 1 mg/L ทำให้เกิดสีน้อยกว่ากรดฮิวมิกประมาณ 10 เท่า คือ 2.8 CU (Narkis and Rebhun, 1977)

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก

คุณสมบัติ	กรดฮิวมิก	กรดฟุลวิก
องค์ประกอบธาตุ % โดยน้ำหนัก		
C	50 – 60	40 – 50
H	4 – 6	4 – 6
O	30 – 35	44 – 45
N	2 – 4	< 1 – 3
S	1 – 2	0 – 2
ละลายในกรดแก่(pH<1)	ไม่ละลาย	ละลาย
ช่วงน้ำหนักโมเลกุล(M.W.)	100 ⁺ → หลายล้าน	180 – 10,000
Functional group distribution	Percent of oxygen in indicated Functional group	Percent of oxygen in indicated Functional group
Carboxyl $-\text{COOH}$	14 – 45	58 – 65
Phenol 	10 – 38	9 – 19
Alcohol $-\text{C}-\text{OH}$	13 – 15	11 – 16
Carbonyl $-\text{C}=\text{O}$	4 – 23	4 – 11
Methoxyl $-\text{O}-\text{CH}_3$	1 – 5	1 – 2

หมายเหตุ จาก Water Chemistry. 1st ed. Snoeyink V.L., Jenkins D. 1980. New York :

John Wiley & Sons. อ้างถึงใน การลดปริมาณกรดฮิวมิกโดยกระบวนการ
โคแอกกูเลชันด้วยสารโพลีเฟอร์ริกซัลเฟต (หน้า 8), โดยชนธร ยอดสมสวย, 2541.
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล.

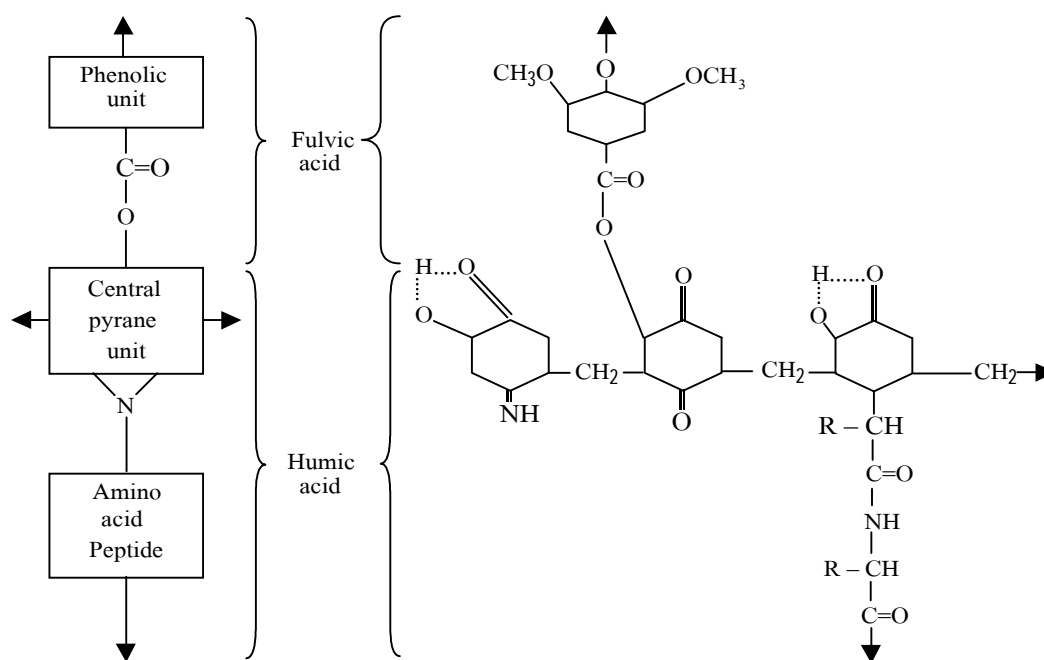
กรดฮิวมิก (Humic acid)

เป็นกลุ่มขององค์ประกอบซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารฮิวมิกดังภาพที่ 2-4 ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ในด่าง (Alkaline solution) แต่ไม่ละลายในกรด หรือ Ethyl alcohol จะพบได้ทั้งในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยมีความเข้มข้นแตกต่างกันไป เป็นตัวที่ทำให้เกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลในน้ำ ลักษณะสมบัติไม่มีพิษ และไม่อันตรายโดยตรงต่อสุขภาพ แต่จะไปลดคุณภาพของน้ำ ที่สำคัญคือเป็นสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็งไตรฮาโลมีเทน (THMs precursors) (ชนธร ยอดสมสวย, 2541)

ตารางที่ 2-3 กลุ่ม Phenolic-OH และ -COOH ในกรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก

Acids	Anionic Groups		
	-OH me/100g	-COOH me Ca ⁺⁺ /100g	$\Sigma(-COOH) + (-OH)$ me Ba ⁺⁺ /100g
Fulvic	308	164	472
Humic	425	445	870

หมายเหตุ จาก “Coagulation in drinking water treatment : Particles, organic and coagulants” Edzwald J.K., *Wat. Sci. Tech.* 1993; 27 (11) : 21 – 35. อ้างถึงในการลดปริมาณกรดฮิวมิกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารโพลีเพอร์ริคซัลเฟต (หน้า 9), โดยชนธร ยอดสมสวย, 2541.



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของกรดฮิวมิก

หมายเหตุ จาก *Chemical concept in pollutant behavior*, Tinsley I.J., 1979, New York : Wiley. อ้างถึงในการลดปริมาณกรดฮิวมิกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (หน้า 11), ชนธร ยอดสมสวย, 2541. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

2.3 คลอรีน

2.3.1 ประวัติความเป็นมา (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2536)

สารประกอบคลอรีน มีการกล่าวถึงมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 77 หรือประมาณเกือบ 2000 ปีมาแล้ว โดยชาวโรมันชื่อ Pliny ได้ทำการทดลองทางเคมีเพื่อแยกทองคำให้บริสุทธิ์พบว่าเกิดสารไฮโดรเจนคลอไรด์จากปฏิกิริยาดังกล่าว และต่อมาอีก 800 ปี ก่อนมีการบันทึกข้อมูลเป็นลายลักษณ์อักษร ชาวอาหรับได้ทำการศึกษาพบว่ามีแก๊สชนิดหนึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วให้กรดเกลือ (HCl) ในราว ค.ศ. 1200 นักเล่นแร่แปรธาตุได้พบว่า ขณะที่นำกรดเกลือมาผสมกับดินประสิว (HNO_3) เพื่อทำการกัดทอง ได้แก๊สชนิดหนึ่ง มีสีตองอ่อนและหนักกว่าอากาศแต่ไม่ได้มีการบันทึกรายละเอียดไว้ จนมาถึง ค.ศ.1630 ได้มีนักเคมีชาวเบลเยียมชื่อ Jean Baptist Van Helmont เรียก แก๊สนี้ว่า แก๊สเกลือ (Salt gas) ซึ่งในปัจจุบันรู้จักกันในชื่อ “คลอรีน” โดยแผลงมาจากภาษากรีก “Chloros” ที่แปลว่าสีเขียวอ่อนตามลักษณะสีของตัวเอง ในปี ค.ศ. 1774 เกอิชกรชาวสวีเดนชื่อ Carl Wilhelm Scheele ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของคลอรีนได้พบโดยบังเอิญว่า เมื่อนำดอกไม้และใบไม้ไปใส่ไว้ในขวดที่บรรจุแก๊สคลอรีนภายในช่วงฤดูดอกไม้และใบไม้จะเปลี่ยนเป็นสีขาวซึ่งเป็นที่แรกที่มนุษย์ได้บันทึกคุณสมบัติฟอกสีของคลอรีนไว้ ปี ค.ศ. 1789 บริษัทผู้ผลิตสิ่งทอของฝรั่งเศสที่เมืองจาเวลล์ (Javelle) ได้ผลิตน้ำยาคลอรีนฟอกสีออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรก โดยใช้ชื่อ โอ เดอ จาเวลล์ หรือ จาเวลล์ วอเตอร์ จากนั้นไม่นานคลอรีนถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็วแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ และใน ค.ศ. 1913 ได้มีการตั้งโรงงานแยกความชื้นออกจากคลอรีนเหลวซึ่งมลรัฐเพนซิลวาเนียได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นมลรัฐแรก ค.ศ.1930 อุตสาหกรรมเคมีได้เจริญก้าวหน้าอย่างมาก คลอรีนถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญต่อโภชนาการในชีวิตประจำวันของมนุษย์ คุณสมบัติการฟอกสีของคลอรีนและการฆ่าเชื้อโรคกลายเป็นเพียงคุณสมบัติส่วนหนึ่งเท่านั้นปัจจุบันคลอรีนเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสาร PVC (Polyvinyl chloride) เพื่อใช้ทำเป็นวัสดุปูพื้น ท่อ กระดาษปิดผนัง เสื้อผ้า เครื่องเรือนและวัสดุในครัวเรือนหลายชนิด น้ำยาทำความสะอาดเสื้อผ้า คราบน้ำมัน จารบีฉาบผิวโลหะ สกัดคาเฟอีนจากกาแฟ สกัดกลี้น ใช้ในขบวนการผลิตน้ำยารักษาโรค เป็นส่วนประกอบพื้นฐานสารเคมีฆ่าแมลง สารเคมีกำจัดวัชพืชอีกหลายชนิด และยังใช้เป็นส่วนประกอบของวัตถุสำหรับทำความเย็น

2.3.2 การทำคลอรีนชัน (Chlorination) (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2526)

การทำคลอรีนชัน (Chlorination) คือ การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (Disinfection) โดยใช้คลอรีนในการเติมในระบบประปา ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นวิธีที่ใช้กันมานาน และยังเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน เนื่องจากราคาถูก มี Oxidizing power สูง ทำให้หยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ และคงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคในเส้นท่อได้นาน รวมทั้ง

ง่ายในการจัดหา การวัดและควบคุมปริมาณในการใช้ สารที่ใช้ ได้แก่ แก๊สคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และ คลอรีนไดออกไซด์ (ClO₂) ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการทำ คลอรีเนชัน มีดังนี้

1.) ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ (สุพร สาครอรุณ, 2530)

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



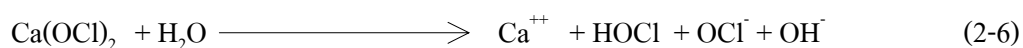
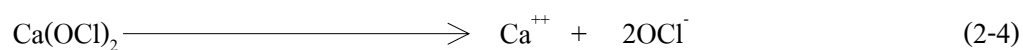
เมื่อมีการเติมแก๊สคลอรีนลงไปในน้ำบริสุทธิ์จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วดังนี้ (Rosenblast, 1975)



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



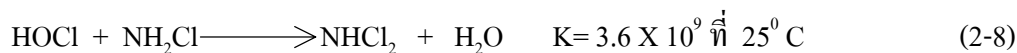
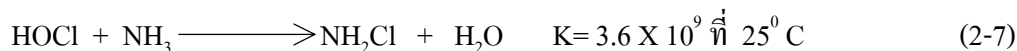
ด้วยเหตุนี้ ในน้ำจึงมีคลอรีนที่อยู่ในรูปกรดเกลือที่แตกตัว HOCl, OCI⁻ และมีแก๊สคลอรีนเหลืออยู่ในรูปอิสระบ้างเล็กน้อย กรดที่เกิดขึ้น ทำให้ pH ของน้ำมีค่าลดลง แต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง HOCl และ OCI⁻ รวมเรียกว่า คลอรีนอิสระ (Free available chlorine) ซึ่ง ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ระดับการแทรกตัวเป็นไอออนของกรดไฮโปคลอรัสขึ้นอยู่กับ pH ดังแสดงในภาพที่ 2-5 จะเห็นได้ว่าถ้า pH ต่ำ น้ำจะมี HOCl มาก ถ้าน้ำมี pH สูง จะมี OCI⁻ มาก แต่เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCI⁻ หลายเท่า การทำคลอรีเนชัน ที่ pH ต่ำได้ผลมากกว่าที่ pH สูง เหตุผล เพราะว่า HOCl มี Oxidizing power สูงกว่า OCI⁻ และเนื่องจาก OCI⁻ มีประจุลบทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของ Cell ซึ่งมีประจุลบเหมือนกัน HOCl ไม่มีประจุจึงสามารถสัมผัสกับ Cell ได้ง่ายกว่าเพราะไม่ถูกผลักการเติมสารประกอบคลอรีน เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ [Ca(OCl)₂] ให้กับน้ำบริสุทธิ์ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังนี้



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

ในกรณีที่น้ำมีสารละลายหรือตะกอนแขวนลอย ปฏิกิริยาของคลอรีนจะมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้แทบทุกชนิดสารประกอบที่ควรพิจารณาคือ แอมโมเนีย (NH₃) เมื่อเติม คลอรีน หรือสารประกอบของคลอรีน ให้กับน้ำที่มี NH₃ (เมื่ออยู่เองหรือ

เดิมลงไปใต้น้ำ) กรดไฮโปคลอรัสจะทำปฏิกิริยากับ NH_3 ทำให้เกิดสารประกอบโมโนคลอรามิน (NH_2Cl), ไดคลอรามิน (NHCl_2), และไตรคลอรามิน (NCl_3) ดังนี้



อัตราส่วนระหว่างสารคลอรามินทั้งสามชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวทำปฏิกิริยาทั้งคู่ และ pH เมื่ออัตราส่วนของจำนวนโมลระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไม่เกิน 1:1 NHCl_2 จะเกิดขึ้นได้ ทั้งคู่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณของสารทั้งสองขึ้นอยู่กับ pH ดังนี้

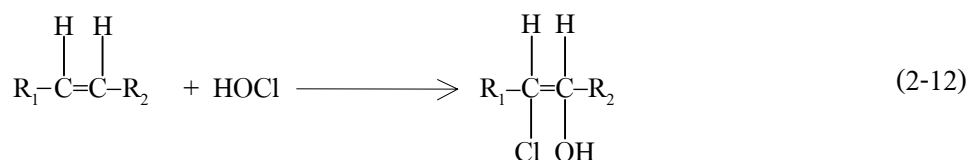


เมื่อ pH ต่ำ จะมีสาร NHCl_2 มาก แต่ถ้า pH สูงจะมีสาร NH_2Cl มากกว่า ดังรูปที่ 2-6 เมื่ออัตราส่วนระหว่างคลอรีนและ NH_3 สูงกว่า 1:1 จะมี NCl_3 เกิดขึ้น สำหรับในน้ำที่มีอยู่เล็กน้อย เมื่ออัตราส่วนระหว่างคลอรีนและ $\text{NH}_3 = 2:1$ จะได้ N_2O เกิดขึ้น

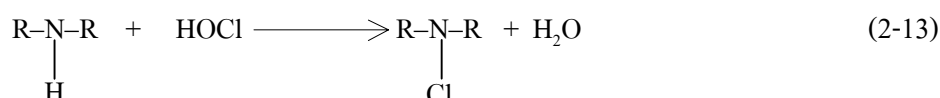


สารประกอบคลอรามินทั้งสามชนิด รวมเรียกว่า คลอรีนรวม (Combined available chlorine) ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อต่ำกว่าคลอรีนอิสระมาก ดังภาพที่ 2-7 แต่มีข้อดีคือ สามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้นานกว่าคลอรีนอิสระทำให้มีอำนาจการฆ่าเชื้ออยู่ได้นาน ๆ จึงเหมาะสมสำหรับใช้ในระบบท่อส่งน้ำเพื่อให้มีคลอรีนตกค้างจนถึงมือผู้ใช้น้ำ อีกประการหนึ่งคือ มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคที่ pH > 10 ได้ดีกว่าคลอรีนอิสระ นอกจาก NH_3 แล้ว คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซิงเอเจนต์อื่น ๆ เช่น H_2S , Fe^{++} , NO_2^- เป็นต้น บางครั้งคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (ที่มีความเข้มข้นต่ำ) ในน้ำ เช่น phenol, Chloroform เป็นต้น ทำให้เกิดกลิ่นและรสที่ไม่น่ารับเกียจ ดังสมการข้างล่างนี้ (สุพรสาครอรุณ, 2530 ; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526)

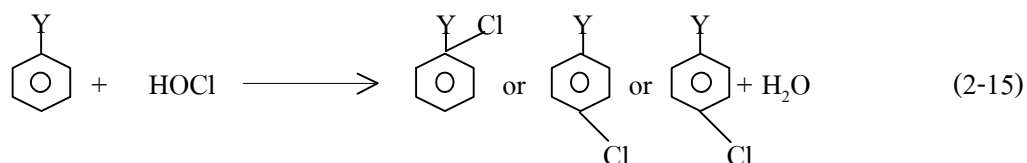
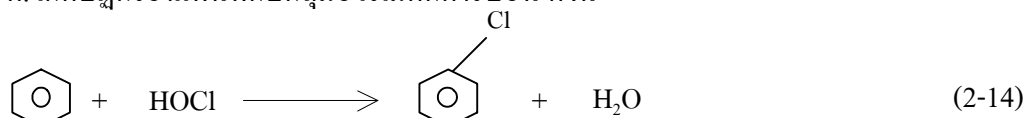
ก. HOCl ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ไม่อิ่มตัวเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์คลอรีน ดังนี้



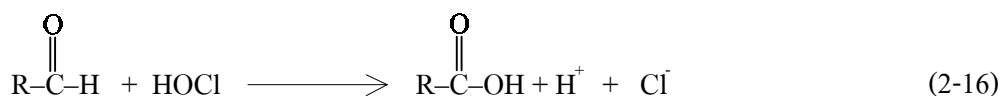
ข. แทนที่ไฮโดรเจนอะตอมเกิดสารประกอบคลอรามิน ดังนี้



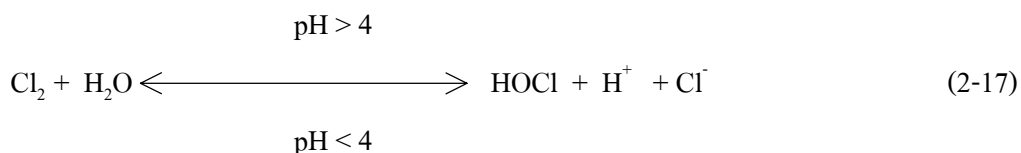
ค. เกิดปฏิกิริยาแทนที่กับกลุ่มอโรเมติกคาร์บอน ดังนี้



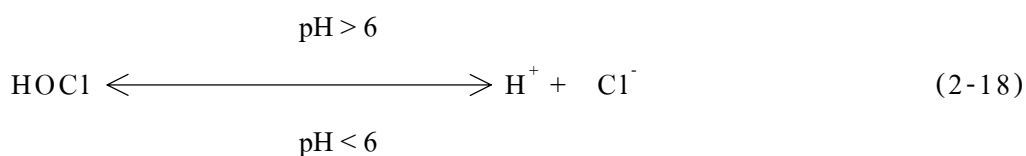
ง. เกิดปฏิกิริยา Oxidation กับสารประกอบอินทรีย์ ดังนี้



รูปที่ว่องไวของคลอรีนที่อยู่ในน้ำที่ได้รับการฆ่าเชื้อ มิได้อยู่ในรูปของ Aqueous chlorine molecule แต่จะเป็นการแตกตัวดังสมการข้างล่าง



กรดไฮโปคลอรัส เป็นกรดอ่อน สามารถแตกตัวได้อีก ดังสมการ



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

2.) ความเข้มข้นของคลอรีน

การทำคลอรีนเข้มข้นขึ้นกับปริมาณของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารในน้ำเรียกว่า ความต้องการคลอรีน (Chlorine demand) ในน้ำ โดยรวมปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้างเพื่อ สำรองไว้ฆ่าเชื้อโรคด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำ เช่น น้ำที่มีความขุ่น หรือสารละลาย มักต้องการคลอรีนสูง เป็นต้น ส่วนระดับคลอรีนตกค้างนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานน้ำ ประปาที่กำหนดขึ้น

3.) pH

pH ต่ำเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำคลอรีนเข้มข้น เนื่องจากคลอรีนจะอยู่ในรูปของ HOCl ที่ pH ต่ำ ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อได้ดีมาก และทำให้สิ้นเปลืองคลอรีนน้อยด้วย ความสำคัญของ pH อาจดูได้จากภาพที่ 2-8

4.) เวลาสัมผัส

ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของคลอรีนที่ใช้เป็นสำคัญ เช่น ถ้าใช้คลอรีนมาก เวลาสัมผัส อาจต่ำได้ แต่ถ้าใช้คลอรีนน้อยจำเป็นต้องมีเวลาสัมผัสนาน และถ้าใช้คลอรีนอิสระ เวลาสัมผัสก็ไม่ จำเป็นต้องมาก เนื่องจากคลอรีนอิสระมีอำนาจสูงฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็ว แต่ถ้าใช้คลอรีนรวมต้องให้ มีเวลาสัมผัสนานกว่า ทั้งนี้เพื่อให้มีการฆ่าเชื้อโรคเกิดขึ้นอย่างแน่นอน

5.) ความขุ่นของน้ำ

อนุภาคความขุ่น เป็นเกราะกำบังให้กับเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัส ได้ ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคจะให้ผลดีก็ต่อเมื่อน้ำมีความใสสูง เช่น น้ำที่ผ่านเครื่องกรองแล้ว เป็นต้น

6.) Breakpoint chlorination

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน จะได้ผลอย่างแน่นอนก็ต่อเมื่อการเติมคลอรีน จนกระทั่ง มีคลอรีนอิสระตกค้าง (Free chlorine residual) ปรากฏอยู่ในน้ำ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า Breakpoint chlorination แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนที่เติมและปริมาณคลอรีนตกค้างถ้าทดลอง เติมคลอรีนในปริมาณต่าง ๆ ให้กับน้ำ และวัดปริมาณคลอรีนตกค้างหลังจากเวลาสัมผัส 30 นาที ตามทฤษฎีแล้วเมื่อเติมคลอรีนให้กับน้ำบริสุทธิ์จะได้คลอรีนตกค้างเท่ากับคลอรีนที่เติมเนื่องจากไม่ มีการสูญเสียคลอรีนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมคลอรีนให้กับน้ำประปาที่สะอาดย่อมมีการสูญเสียคลอรีนเกิดขึ้นเสมอเนื่องจากในน้ำประปามีสารละลายที่เป็น Reducing agent เช่น Fe^{++} เป็นต้น ทำให้มีคลอรีนตกค้างน้อยกว่าคลอรีนที่เติมลงไป แต่หลังจากที่เกิดปฏิกิริยากับ Reducing agent แล้ว คลอรีนที่เติมลงไปจะเท่ากับคลอรีนตกค้าง ในกรณีที่น้ำประปามีแอมโมเนียหรือสารอื่น ๆ กราฟที่ได้ จะเป็น (ดังภาพที่ 2-9) ช่วงแรกของกราฟ (ระยะ กข) มีคลอรีนตกค้างต่ำมาก เนื่องจาก คลอรีนถูกสารประกอบอินทรีย์จับไว้เกือบหมด นอกจากนี้คลอรีนยังมีปฏิกิริยากับ Reducing agent

ที่อยู่ในน้ำ ระยะ ชด มีปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับแอมโมเนียเกิดขึ้น ทำให้ได้สารคลอรามินต่าง ๆ ซึ่งเป็นคลอรีนรวม (Combined chlorine) ด้วยเหตุนี้ แม้ว่าคลอรีนอิสระจะลดลงแต่คลอรีนรวมมีเพิ่มมากขึ้น กราฟ ชด จึงยังปรากฏให้เห็นการเพิ่มของคลอรีนตกค้าง เมื่อเติมคลอรีนเพิ่มขึ้นอีกจนเลยจุด ค ปฏิกิริยา Oxidation ยังเกิดต่อไปแต่เป็นการทำลายสารประกอบคลอรามินให้กลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ ปริมาณคลอรีนตกค้างจึงลดลง แอมโมเนียและสารประกอบคลอรามินจะลดลงจนเหลือน้อยที่สุดที่จุด ง จุดนี้เรียกว่า Breakpoint แสดงถึงปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารในน้ำถึงที่สุดแล้ว จากนั้นไปคลอรีนตกค้างจะอยู่ในรูปคลอรีนอิสระซึ่งใช้ฆ่าเชื้อโรค คลอรีนตกค้างจะเท่ากับคลอรีนที่เติมเมื่อถึงและเลยจุด ง ไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงของสารต่าง ๆ ในการทำ Breakpoint chlorination ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว ระบบประปาขนาดกลางและขนาดใหญ่ นิยมใช้ก๊าซคลอรีนสำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำส่วนระบบประปาขนาดเล็กนิยมใช้คลอรีนผงหรือน้ำ เพราะไม่ต้องเสียเงินลงทุนเบื้องต้นสูงมากนักและผู้ควบคุมไม่ต้องมีความรู้สูง ประเภทของคลอรีนที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคในระบบประปามีดังนี้ (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2526 ; ไพศาล วิรกิจ, 2539)

ก. แก๊สคลอรีน (Chlorine gas)

แก๊สนี้มีสีเหลืองแกมเขียว หนักเป็น 2.5 เท่าของอากาศ เมื่อเป็นของเหลวจะมีสีเหลืองอำพัน และหนักเป็น 1.44 เท่าของน้ำ บรรจุอยู่ในถัง Cylinder ขนาด 100 ปอนด์ (45 Kgs.) และ 150 ปอนด์ (68 Kgs.) คลอรีนเหลวระเหยเป็นแก๊สได้รวดเร็วถ้าปิดไม่มิดชิด คลอรีนเหลว 1 หน่วยปริมาตร จะให้แก๊ส 450 ปริมาตร แก๊สคลอรีนสามารถละลายน้ำได้ไม่เกิน 1 % (น้อยมาก) และจะไม่ละลายน้ำที่ อุณหภูมิ 100°C แต่ถ้าน้ำมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 10 -100°C คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็น HCl และ HOCl เนื่องจากมันละลายน้ำได้น้อย จึงไม่นิยมใช้น้ำเป็นพาหะในการขนคลอรีน

ข. ปูนคลอรีน (Chlorinated lime)

ปูนคลอรีนผลิตได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอรีนกับปูนขาว



บางที่เรียกว่า ผงฟอกขาว ที่ผลิตได้จะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 70 % ที่เหลือเป็นปูนขาวประมาณ 20 % และสารคาร์บอนेट ปูนคลอรีนนี้เป็นผงหรือเม็ดสีขาว ไม่ควรเป็นก้อน % Available chlorine ควรสูงประมาณ 27 – 37 %

ค. แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Ca(OCl)₂)

แคลเซียมไฮโปคลอไรต์มี 2 ชนิด คือ ชนิดสารละลาย และชนิดผงหรือเม็ด มี % Available chlorine ประมาณ 6 – 35 % เป็นของเหลวสีเหลือง ส่วนผงมี % Available chlorine สูงมากคือประมาณ 70 – 80 % (เรียกว่า HTH หรือ High Test Hypochlorite) สารนี้ผลิตภายในประเทศเป็น

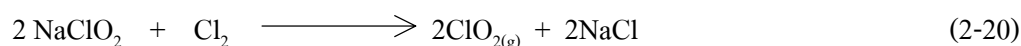
ชนิดสารละลาย ส่วนชนิดผงหรือเม็ดส่วนใหญ่ส่งมาจากต่างประเทศ ทั้งสองแบบไม่นิยมใช้ใน ระบบผลิตน้ำประปาเพราะมีสิ่งเจือปนมาก (Impurities)

ง. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl)

สารตัวนี้ผลิตเป็นสารละลายเท่านั้น เป็นของเหลวใสสีเหลืองอมเขียว มีเสถียรภาพต่ำกว่า ทำให้เสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว ควรเก็บไว้ในที่มืดและอุณหภูมิไม่สูงกว่า 30° C อายุในการเก็บ ไม่ควรเกิน 60 - 90 วัน สารละลาย NaOCl มี 2 เกรด คือ ชั้นคุณภาพ ก และ ชั้นคุณภาพ ข ซึ่งมี % Available chlorine ประมาณ 10 และ 5 % ตามลำดับ สารคลอรีนนี้นิยมใช้กับระบบประปาขนาดเล็กหรือสระว่ายน้ำ

จ. แก๊สคลอรีนไดออกไซด์

แก๊สนี้เตรียมได้จากการผสมสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaClO₂) กับคลอรีนเมื่อเตรียม ได้แล้วต้องนำไปใช้ทันที มิฉะนั้นแก๊สจะเสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว

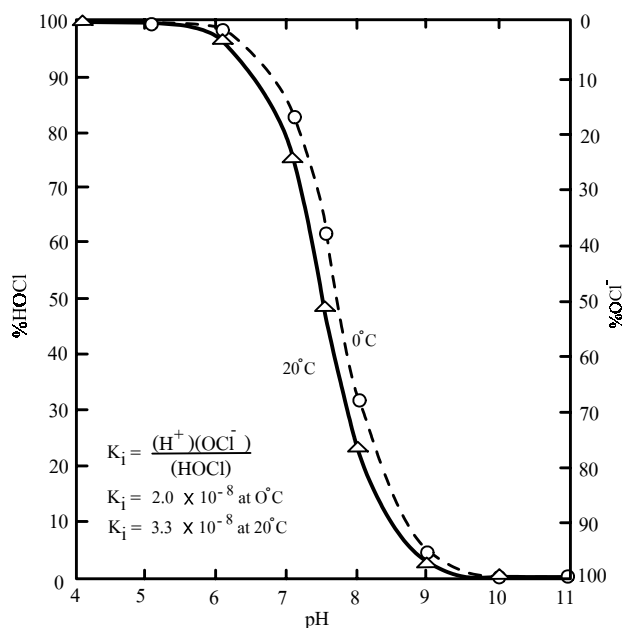


pH ในช่วง 6 - 10 มีผลกระทบน้อยมากต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคของ ClO_{2(g)} ทำให้สามารถใช้แก๊สนี้ได้ดีในน้ำที่มี pH สูง และน้ำที่มี pH ต่ำ นอกจากนี้ ClO_{2(g)} ไม่รวมกับ NH₃ ทำให้ลดความสิ้นเปลืองในการฆ่าเชื้อโรค แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพงและยังไม่มีวิธีวัดปริมาณตกค้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ยุ่งยากและขาดความมั่นใจในระหว่างการควบคุมระบบประปา

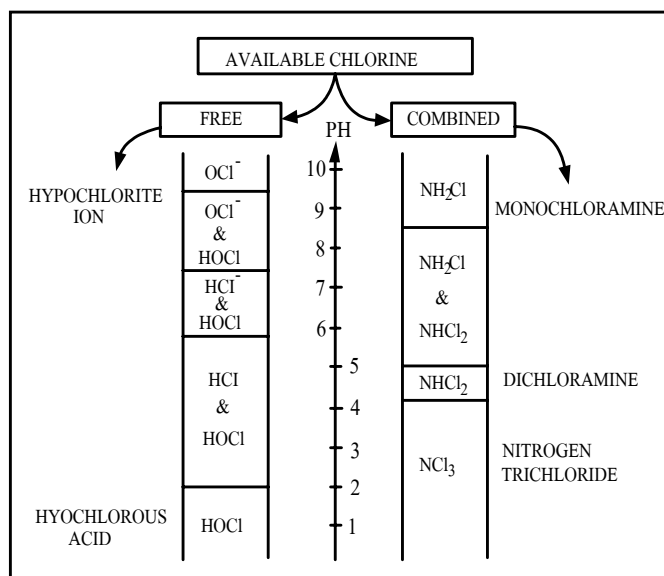
แก๊สคลอรีนมี Oxidizing power วัดในหน่วยของ % Available chlorine โดยกำหนดให้แก๊สคลอรีน (Cl_{2(g)}) มี Available chlorine 100 % ส่วนสารประกอบคลอรีนต่าง ๆ สามารถวัด Oxidizing power โดยเปรียบเทียบกับ % Available chlorine ของ (Cl_{2(g)}) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2-4

2.3.3 ระบบการเติมคลอรีน

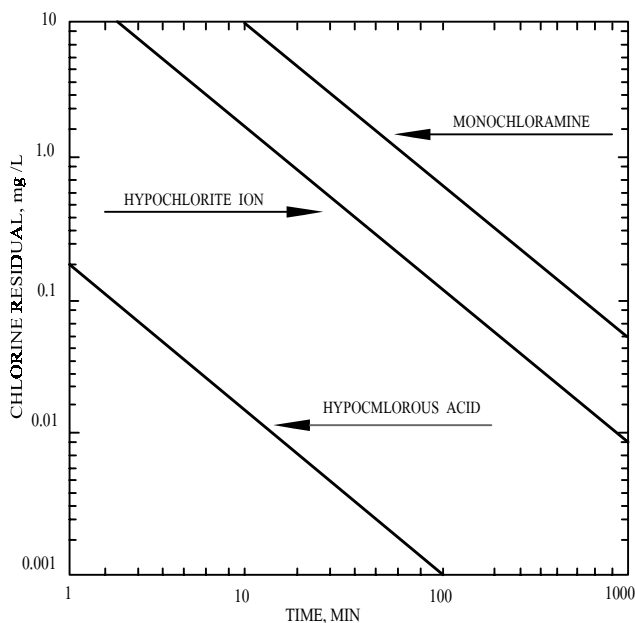
ระบบประปาหมู่บ้านส่วนใหญ่มีเครื่องจ่ายสารละลายคลอรีนอยู่ประมาณ 3 ยี่ห้อ คือ ยี่ห้อ โพรมิเนนท์ ยี่ห้อเอ็นพีเคอร์ และยี่ห้อบลูไวท์ โดยระบบประปาหมู่บ้านแต่ละขนาดจะมีการจ่าย สารละลายคลอรีนที่อัตราการผลิตน้ำประปาต่างกัน สำหรับกรมอนามัย อัตราการผลิตน้ำประปาที่ 10 และ 20 m³/hr. จะจ่ายน้ำยาคลอรีน 33 และ 66 ซีซี./นาที ซึ่งจำเป็นต้องมีปรับตั้งเครื่องจ่ายสารละลายคลอรีนให้ได้ตามที่ต้องการด้วย (กรมอนามัย, 2543)



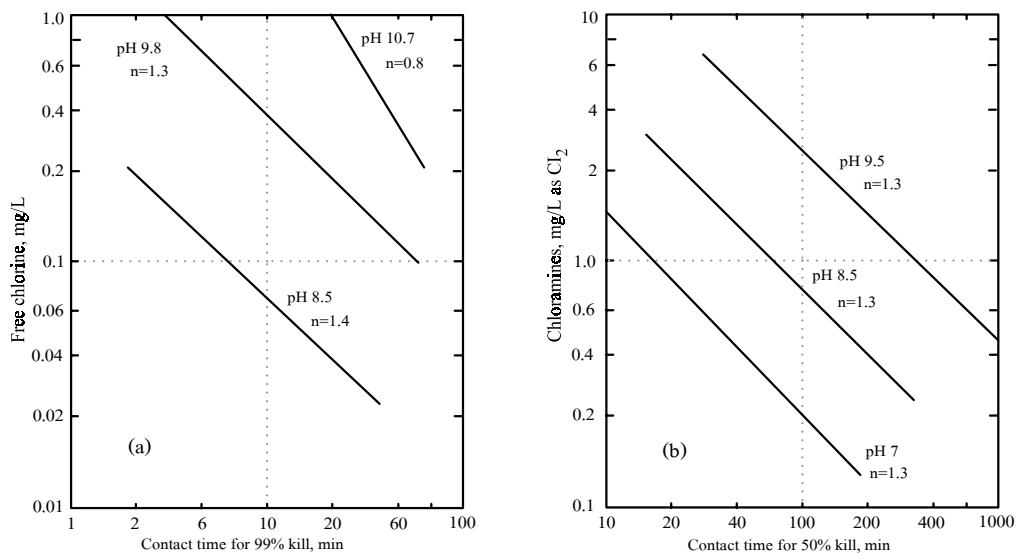
ภาพที่ 2-5 การกระจาย HOCl และ OCl⁻ ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ
 หมายเหตุ จากวิศวกรรมประปา เล่ม 4 (หน้า 275), โดยมันสิน ตันกุลเวศม์, 2526,
 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ อ.วิวรรณ.



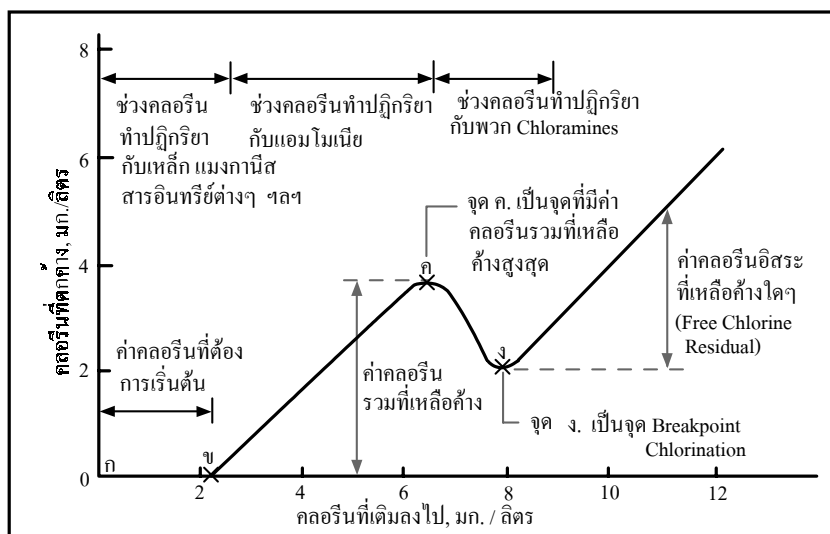
ภาพที่ 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และ สารประกอบคลอรีนชนิดต่าง ๆ
 หมายเหตุ จากวิศวกรรมประปา เล่ม 4 (หน้า 277), โดยมันสิน ตันกุลเวศม์, 2526,
 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ อ.วิวรรณ.



ภาพที่ 2-7 การเปรียบเทียบอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคระหว่างคลอรีนรวมและคลอรีนอิสระ
 หมายเหตุ จากวิศวกรรมประปาเล่ม 4 (หน้า 278), โดยมันสิน ตันกุลเวศม์, 2526,
 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ อ.วิวรรธน์.



ภาพที่ 2-8 ความสำคัญของพีเอช และเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่าง ๆ
 หมายเหตุ จากวิศวกรรมประปาเล่ม 4 (หน้า 281), โดยมันสิน ตันกุลเวศม์, 2526,
 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ อ.วิวรรธน์



ภาพที่ 2-9 กราฟของการเกิด Breakpoint chlorination

หมายเหตุ จากวิศวกรรมประปา (หน้า 145), โดยเกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536,
กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์.

ตารางที่ 2-4 Available Chlorine ของสารประกอบคลอรีนบริสุทธิ์ต่าง ๆ

Compound	Mol.Weight	Chlorine Equivalent (moles of Cl_2)	Actual Chlorine (%)	Available Chlorine (%)
Cl_2	71	1	100	100
Cl_2O	87	2	81.7	163.4
ClO_2	67.5	2.5	52.5	260
$NaOCl$	74.5	1	47.7	95.4
$CaClOCl$	127	1	56	56
$Ca(OCl)_2$	143	2	49.6	99.2
$NaClO_2$	90.5	2	39.2	157
$HOCl$	52.5	1	67.7	135.4
$NHCl_2$	86	2	82.5	165
NH_2Cl	51.5	1	69	138

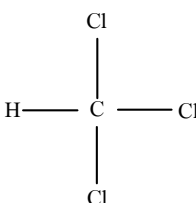
หมายเหตุ จากวิศวกรรมประปา เล่ม 4 (หน้า 290), โดยมันสิน ตัญกุลเวศม์, 2526,
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ อ.วิวรรณ.

2.4 ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes ;THMs)

THMs ในน้ำดื่มโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของ Oxidative treatment กับสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติ การเกิดขึ้นมักเกี่ยวข้องกับการใช้คลอรีน สารที่สำคัญ (WHO, 1993) ในกลุ่มนี้มี 4 ตัวได้แก่ Bromofrom (CHBr_3), Dibromochloromethane (CHClBr_2 , DBCM), Bromodichloromethane (CHCl_2Br , BDCM) และ Chloroform (CHCl_3) ความเข้มข้นของ THMs อาจมีถึง 1,000 $\mu\text{g/L}$ แต่โดยทั่วไปมักไม่เกิน 100 $\mu\text{g/L}$ (วัฒนชัย เหมือนทอง, 2536)

THMs เป็นสารประกอบ halogen มีคาร์บอน 1 ตัว เป็นองค์ประกอบ มีสูตรทั่วไปคือ CHX_3 ตำแหน่งของ X อาจแทนที่ด้วย ฟลูออรีน (F), คลอรีน (Cl), โบรมีน (Br), ไอโอดีน (I) หรือธาตุเหล่านั้นรวมกัน ในน้ำประปามักจะประกอบด้วยสาร 4 ตัว ที่กล่าวมาข้างต้น โดยมี CHCl_3 อยู่ในสัดส่วนที่มากที่สุด

ก. คลอโรฟอร์ม (Chloroform or Trichloromethane (CHCl_3)) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 119.378 และมีสูตรโครงสร้าง



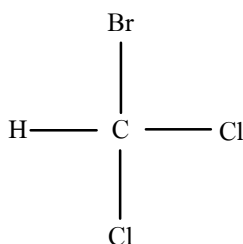
คุณสมบัติ คือ ไม่มีสี หักเหแสงได้สูง ปกติเป็นของเหลวหนัก ระเหยเป็นไอได้ง่าย มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถผสมเข้ากับสารต่าง ๆ เหล่านี้ได้ ได้แก่ Alcohol, Ether, Benzene, Carbon disulfide, Carbon tetrachloride แต่ละลายได้น้อยกว่าน้ำ, ความถ่วงจำเพาะ 1.485 (20°C), จุดเดือด $61-62^\circ\text{C}$, จุดเยือกแข็ง -63.5°C , wt/gal 12.96 lb (25°C), refractive index 1.442 มีเกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้



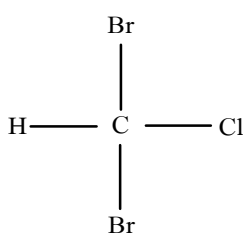
และเป็นผลจากการทำ Chlorination ในน้ำที่มีสาร Methane หรือ Hydrocarbon อยู่ด้วยดังสมการ



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

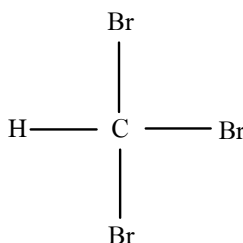


ค. Dibromochloromethane หรือ Dibromochloromethane (CHClBr_2) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 208.28 และมีสูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติ คือ เป็นของเหลวหนัก ไม่มีสี, ใส, ความถ่วงจำเพาะ 2.38, จุดเดือด 116 - 120 °C

ง. Bromoform หรือ Tribromomethane หรือ Methyl tribromide (CHBr_3) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 237.9, จุดเดือด 149 - 150 °C และมีสูตรโครงสร้าง

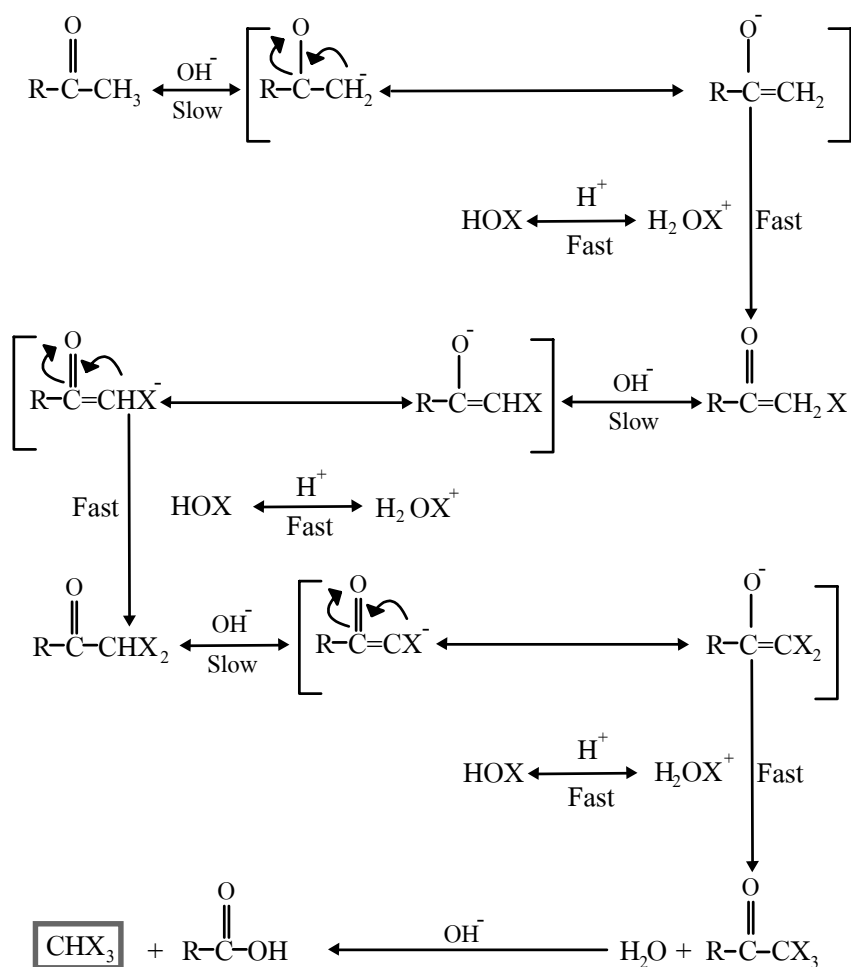


คุณสมบัติ คือ เป็นของเหลวหนัก ไม่มีสี กลิ่นและรส คล้าย Chloroform ละลายได้ใน Alcohol, Ether, Chloroform, Benzene, Naptha และละลายน้ำได้เล็กน้อย ในน้ำธรรมชาติมักจะมีธาตุ Br, I อยู่ด้วย ดังนั้นเวลาที่ Cl_2 เข้าทำปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาเป็น CHCl_2 , CHClBr , CHBr_2 , และ CHI_3

1) The haloform reaction

Haloform reaction หมายถึง ปฏิกิริยาใด ๆ ในน้ำที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ทำปฏิกิริยากับ Hypochlorous acid จนเกิดสาร THMs หรือ การทำปฏิกิริยาระหว่าง Hypochlorous acid กับสารประกอบที่มีส่วนประกอบของ Acetyl groups หรืออนุพันธ์ ปฏิกิริยานี้เริ่มต้นจากสารประกอบหรือกลุ่มของสารประกอบที่มีสูตรทั่วไปคือ $\text{CH}_3\text{CHOH-R}$ หรือ CH_3COR ซึ่งรวมถึง Ethanol, Acetaldehyde, Methyl ketone และ Secondary alcohols ซึ่งสาร Olefin ที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CR}_1-\text{R}_2$ จะถูกออกซิไดซ์โดย Hypochlorous acid (HOCl) ไปเป็น First หรือ Secondary

alcohols และไปเป็น Methyl ketones ที่รวมอยู่ในปฏิกิริยานี้ด้วย ส่วนที่ถูกทำปฏิกิริยาโดยคลอรีน คือ Methyl group ที่อยู่ติดกับอะตอมของคาร์บอนที่มีพันธะของ Oxygen ติดอยู่ด้วย Hydrogen อะตอม 1 ตัว ของ Methyl group และถูกแทนที่ด้วยคลอรีน 1 อะตอม จาก Hypochlorous acid (HOCl) แต่ละตัวจนกระทั่งถูกแทนที่หมดในขั้นตอนสุดท้าย Trihalogenated carbon ใน Methyl group จะถูก Hydrolysis จนได้สารประกอบ THMs เกิดขึ้น ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 เส้นทางของปฏิกิริยาฮาโลฟอร์ม

หมายเหตุ จากการผลิตปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 26), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

Humic acid และ Fulvic acid เป็นสารตั้งต้นของคลอโรฟอร์มในการทำคลอรีนชัน ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม THMs โดย Humic acid จะทำให้เกิดคลอโรฟอร์มในปริมาณที่สูงกว่า Fulvic acid เมื่อความเข้มข้นของทั้งสองเท่ากัน (Babcock and Singer, 1979) ดังตารางที่ 2-5

กลุ่มบนสุดของภาพที่ 2-3 หรือ Methylhydroxy aromatic ring หรือ (m-dihydroxy) แสดงโมเดลของสารประกอบ Humic คือ กลุ่มที่มักจะทำปฏิกิริยากับคลอรีน และได้ THMs เกิดขึ้น (Rook, 1977)

ตารางที่ 2-5 การทำปฏิกิริยากับสารฮิวมิกโดยคลอรีน

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

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 27), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

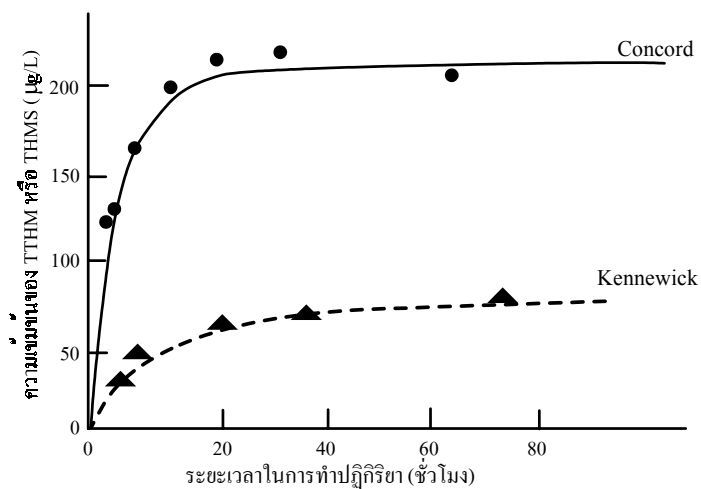
2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทน

2.1) เวลา

ปฏิกิริยาของการเกิด THMs ช้ามาก ส่วนใหญ่จะใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมงปฏิกิริยาจึงจะสมบูรณ์ อัตราในการเกิดไม่แน่นอนขึ้นกับ ความแตกต่างของส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำดิบที่ใช้ เช่น ถ้ามีปริมาณ Bromide ในน้ำสูง ปฏิกิริยาจะเร็วและเกิด THMs ในปริมาณมาก เป็นต้น ดังภาพที่ 2-11

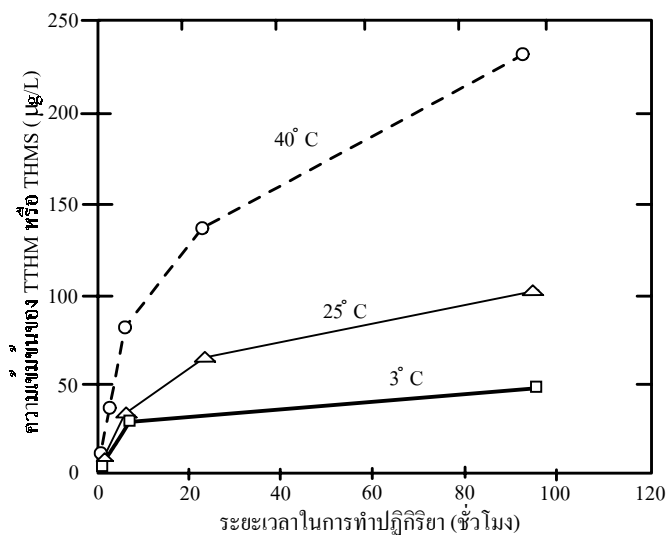
2.2) อุณหภูมิ

ได้มีการทดลองที่การประปา Cincinnati เกี่ยวกับการเกิดคลอโรฟอร์มในห้องทดลอง โดยการเอาน้ำจากแม่น้ำ Ohio มาเติมคลอรีนและมีการเพิ่มอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับการเกิด Chloroform และสัมพันธ์กับฤดูกาล ดังนั้นในการควบคุมจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษในฤดูร้อน ซึ่งอุณหภูมิจะสูงขึ้นในระหว่างการผลิต และในระบบแจกจ่ายน้ำประปา ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-11 อัตราการเกิด THMs ในปริมาณที่แตกต่างกันของการประปา Concord และ การประปา Kennewick ในสหรัฐอเมริกา

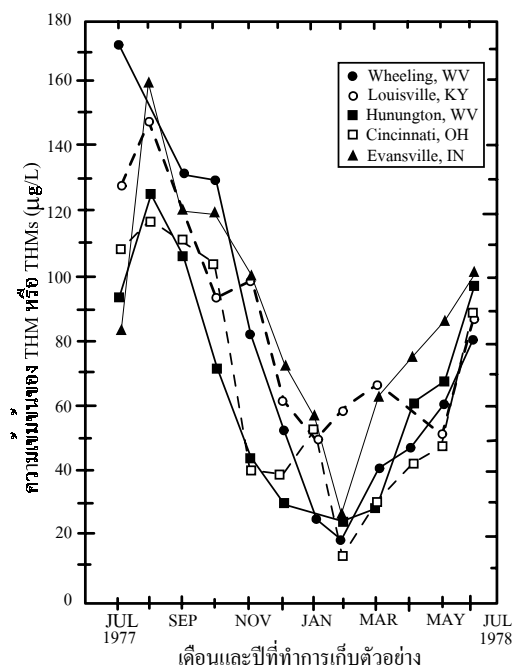
หมายเหตุ จาก “The Formation of Trihalomethanes,” โดย Trusell ,R.R. and Umphres, M.D., 1978, Jour. AWWA, 70(11) : 604 – 612.



ภาพที่ 2-12 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดคลอโรฟอร์ม

หมายเหตุ จากการผลิตปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 29), โดยวิวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ข้อมูลสนับสนุนของ ORSANCO (Ohio River Valley Water Sanitation Commission) ได้แสดงให้เห็นว่า น้ำที่ได้จากระบบผลิตประปาจะมีความเข้มข้นของปริมาณ THMs หรือ TTHM เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล และจะลดลงในช่วงฤดูฝน แต่ข้อมูลที่ได้ ไม่ได้ทำการศึกษาปริมาณสารเริ่มต้น (Precursor) และเงื่อนไขอื่น ๆ ของระบบการผลิตประปาด้วย ดังภาพที่ 2-13

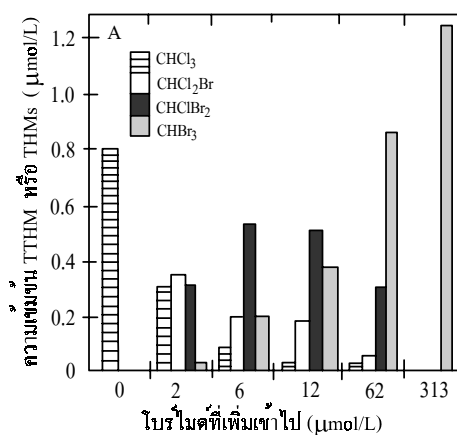


ภาพที่ 2-13 ปริมาณการเกิด TTHM ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล จากข้อมูลของการประปา 5 แห่ง ในอเมริกา ที่ใช้น้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดิน หมายเหตุ จากกรดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 30), โดยวัณชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

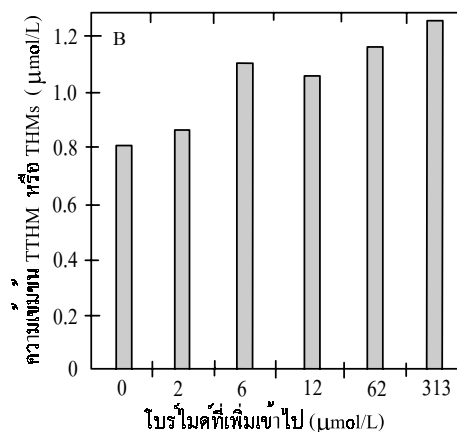
2.3) ปริมาณความเข้มข้นของ Bromide และ Iodide

ไอออนของ Bromide และ Iodide จะถูกออกซิไดซ์โดยคลอรีนในน้ำในลักษณะแทนที่ในสารอินทรีย์ จนเป็นผลให้เกิด THMs ทั้งในรูปของ Halogen แท้ ๆ และ mixed halogen แต่สำหรับสารฟลูออไรด์ ไม่ปรากฏการทำปฏิกิริยา Oxidation กับคลอรีนในน้ำเพื่อให้เกิดสารฟลูออไรด์ในรูปที่ว่องไว แต่ประการใด (Bunn et al, 1975)

ภาพที่ 2-14 แสดงถึงการเพิ่มโบรไมด์ มีผลต่อการเกิด TTHM หรือ THMs จากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนและกรด Humic ในน้ำ พบว่า การแทนที่ของ Bromide จะดีกว่าคลอรีน ถึงแม้ว่าปริมาณของคลอรีนจะมีอยู่อย่างเกินพอเมื่อเทียบกับปริมาณโบรไมด์เมื่อเริ่มต้น แต่เนื่องจากโบรไมด์พบได้น้อยมากจึงไม่ได้นำมาประกอบการศึกษาวิจัยครั้งนี้



2-14 ก ปริมาณ THMs
ที่เกิดขึ้นแต่ละชนิด



2-14 ข ผลรวมปริมาณ THMs
ที่เกิดขึ้นแต่ละชนิด

ภาพที่ 2-14 ปริมาณการเกิดไตรฮาโลมีเทนโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดฮิวมิก และคลอรีนในน้ำ ซึ่งมีความเข้มข้นของโบรไมด์ แตกต่างกัน โดยใช้คลอรีนที่มีความเข้มข้น 28.2 microequivalent ต่อลิตร

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 31-32), โดยวัณชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

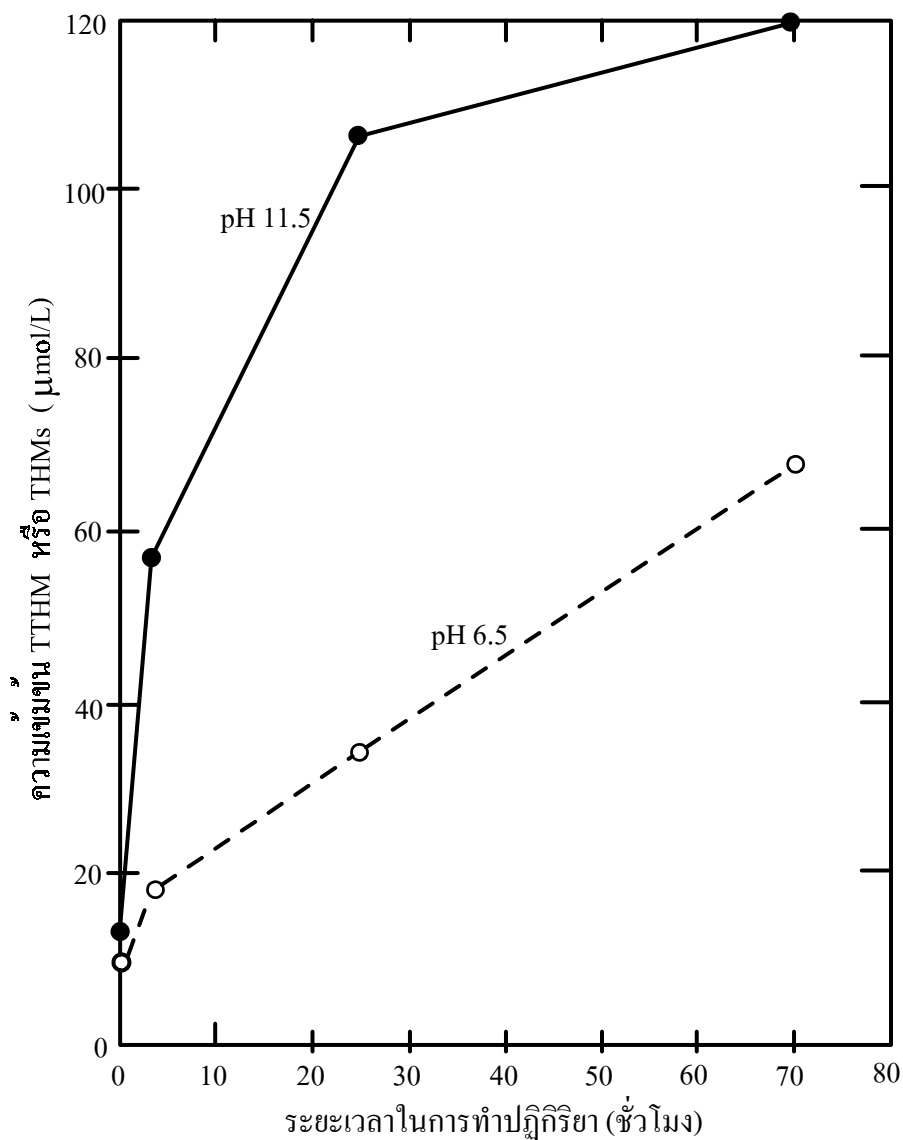
2.4) สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่าถ้าเพิ่มค่า pH ของน้ำให้สูงขึ้น จะทำให้อัตราการเกิด THMs ในระบบการผลิตน้ำประปาสูงขึ้นด้วยดังตารางที่ 2-6 แสดงปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากสารอินทรีย์ตัวเดียวกันที่ระดับ pH ต่างกัน และ ภาพที่ 2-15 เป็นตัวอย่างของการทดลองให้เกิด THMs โดยปล่อยให้ปฏิกิริยาเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปนาน ๆ การเกิด THMs เป็นไปในลักษณะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิด THMs โดยการเพิ่ม pH ของน้ำเป็นสิ่งที่คาดการณ์ได้เพราะปฏิกิริยา Halogen เป็นปฏิกิริยาประเภท Base catalyzed อย่างไรก็ตามถ้านำเอาโครงสร้างของ Humic acid ที่ซับซ้อนมาเกี่ยวข้องกับ ก็จะอธิบายได้ยาก เพราะ Simple methyl ketones ซึ่งเป็นรูปแบบของการอธิบาย Haloform reaction นั้น ได้ทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็น THMs ได้เข้ามาในสถานะของระบบการผลิตน้ำประปา ภาพที่ 2-16 แสดงถึงในสถานะที่น้ำมี pH สูงขึ้น Methyl ketone , Acetone จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นด้วย และหมายถึงว่าสารทั้งสองกลุ่มจะเป็นสารเริ่มต้นที่สำคัญต่อการเกิด THMs ที่ pH สูงด้วย ส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างที่ซับซ้อนของ Humic จะมีส่วนที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้มากกว่า Simple methyl ketone แต่ก็พบว่าที่ pH = 7 Methyl ketone เป็นกลุ่มที่มีบทบาทในการทำปฏิกิริยากับคลอรีน ในขณะที่ Acetyl group จะมีบทบาทมากกว่าเมื่อ pH สูงขึ้น

2.5) คุณลักษณะเฉพาะและความเข้มข้นของสารเริ่มต้น

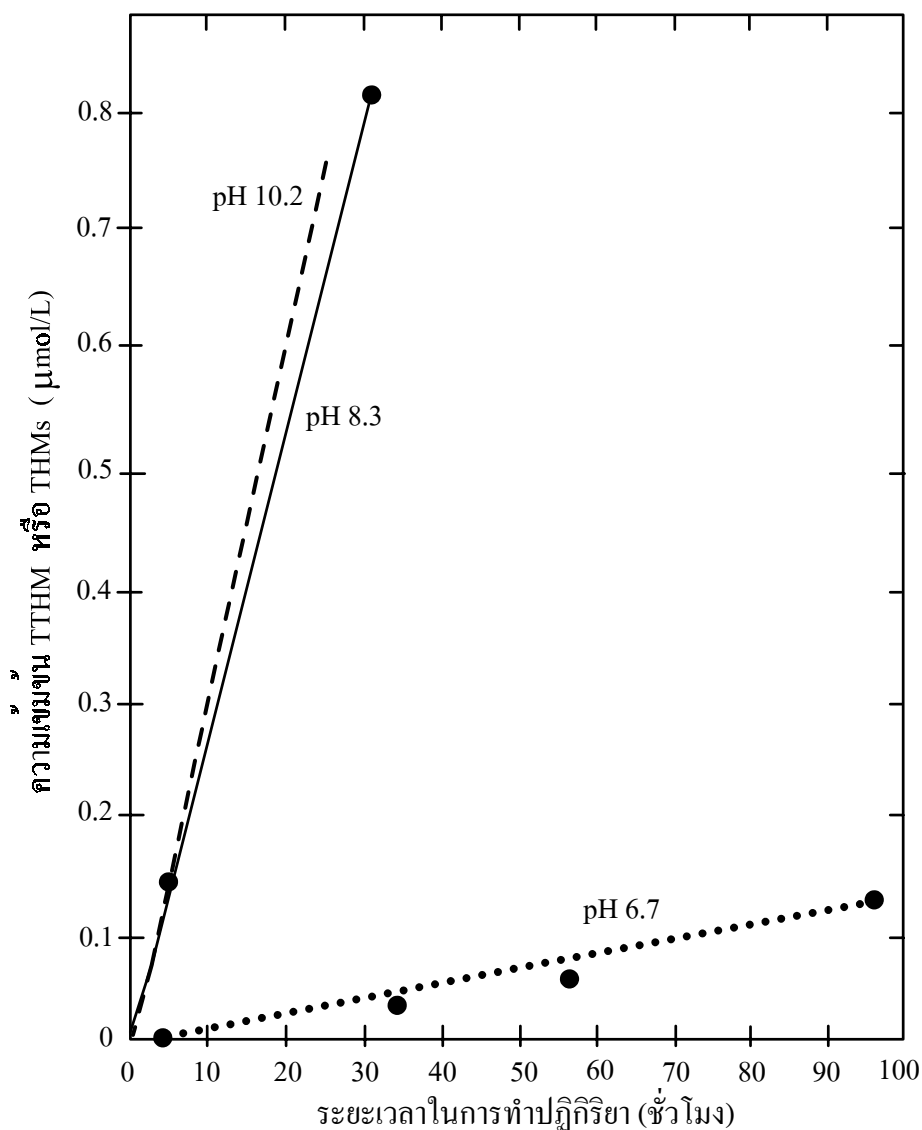
การเพิ่มความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (Precursor) ในสถานะปกติโดยมีปริมาณคลอรีนมากเกินไปอยู่แล้ว พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ THMs เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของ Humic acid ดังภาพที่ 2-17 และภาพที่ 2-18 ซึ่งในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ Humic acid ที่มีความเข้มข้นของ NPOC (Non-purgable organic carbon) เท่า ๆ กัน จะให้ผลของ THMs เหมือน ๆ กัน อย่างไรก็ตามเมื่อแหล่งน้ำดิบที่ใช้ต่างกัน มักจะพบว่าความเข้มข้นของ Organic carbon และ THMs ที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กันเพียงหยาบ ๆ เท่านั้น

อัตราการเกิดของ THMs จะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ขึ้นอยู่กับสารเริ่มต้นจากการศึกษาของ (Rook, 1977) แสดงให้เห็นถึงสารเริ่มต้นที่เป็น Fulvic acid จะให้รูปแบบการเกิด THMs ที่คล้าย ๆ กับ m-dihydroxyphenyl moieties เช่น Resorcinol เป็นต้น ผลของปฏิกิริยาจะสมบูรณ์ที่สุด เมื่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็นกลางอย่างน้อย 2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวมักเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ใช้เวลา 3- 4 วันขึ้นไป ดังภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-15 ผลของพีเอชของน้ำต่อการเกิดคลอโรฟอร์มในน้ำภายหลังการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 25^o C (77^o F) และใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L

หมายเหตุ จากกรดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 33), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.



ภาพที่ 2-16 ผลของพีเอชของน้ำต่อการเกิด THMs จากการใช้อะซิโตนความเข้มข้นในน้ำ 1 mg/L ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ความเข้มข้น 10 mg/L ที่อุณหภูมิ 25^o C (77^oF) และใช้คลอรีนความเข้มข้น 10 mg/L

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 34), โดยวัตนชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ตารางที่ 2-6 ปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากสารอินทรีย์ตัวเดียวกัน ที่ระดับพีเอชต่างกัน

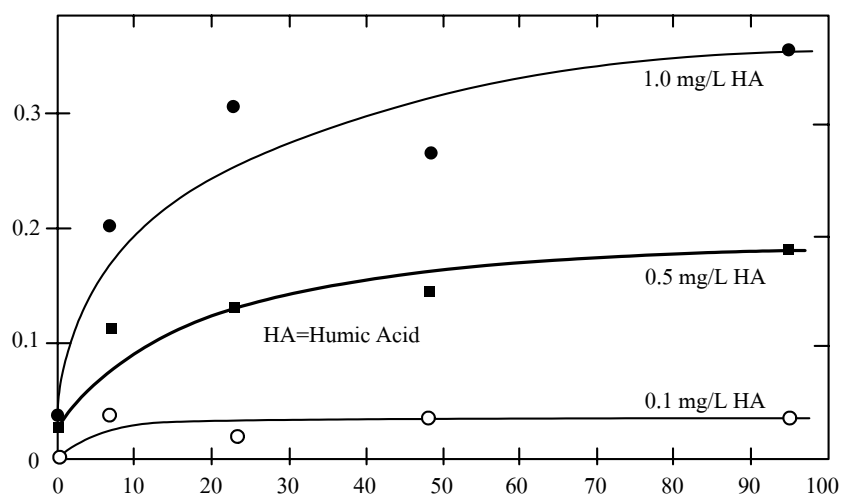
Organic	Chloroform Concentration ($\mu\text{g/L}$)	
	pH 7	pH 11
Fulvic acid	28	39
Humic acid	29	42
Tannic acid	11	61
Lignosulphonic acid	3	9
Aspartic acid	2	85
Phenol	24	31

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

หมายเหตุ จาก “Haloforms in Drinking Water : A Study of Precursors and Precursors

Removal,” โดย Oliver, B.G. And Lawrence, J., 1979, Jour AWWA. 71(3) :

161 – 163.



ภาพที่ 2-17 ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทนเมื่อใช้คลอรีน

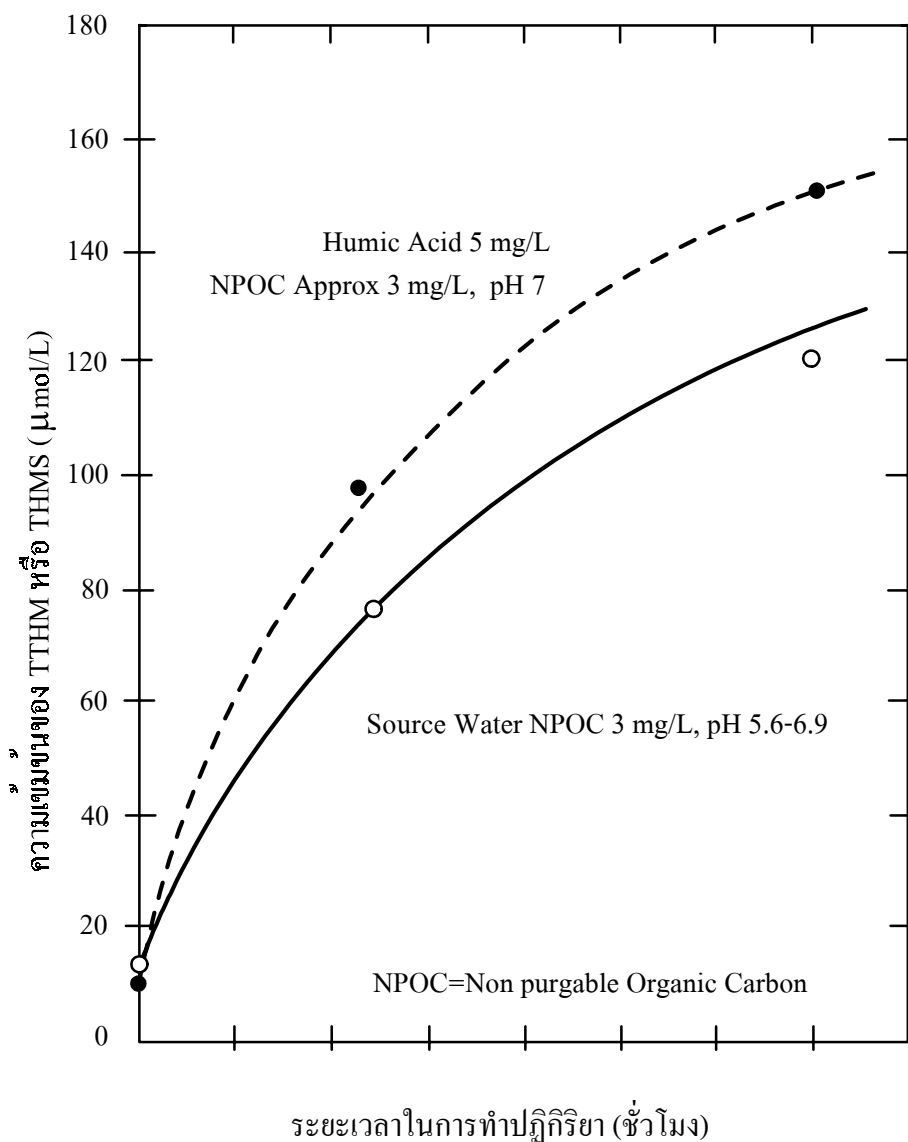
ความเข้มข้น 10 mg/L ที่พีเอชของน้ำเท่ากับ 6.7 ที่อุณหภูมิ 25° C (77° F)

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัส

อากาศ (หน้า 35), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญา

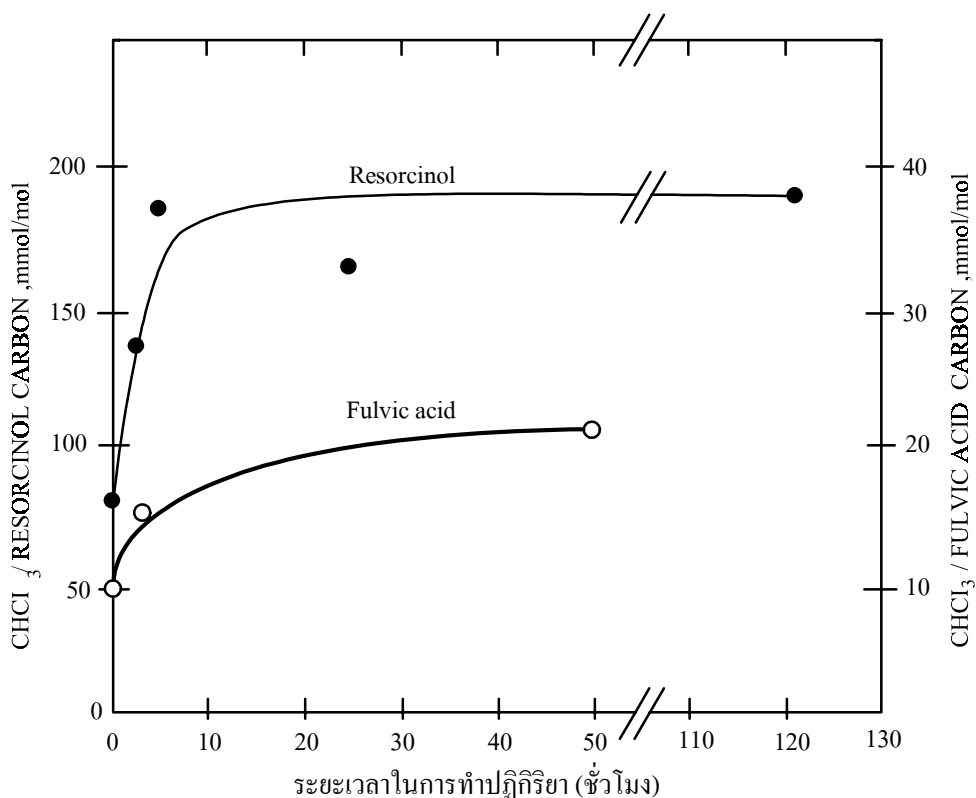
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.



ภาพที่ 2-18 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีน ความเข้มข้น 10 mg/L กับกรดฮิวมิกในน้ำดิบซึ่งวัดในรูปของ NPOC

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 35), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.



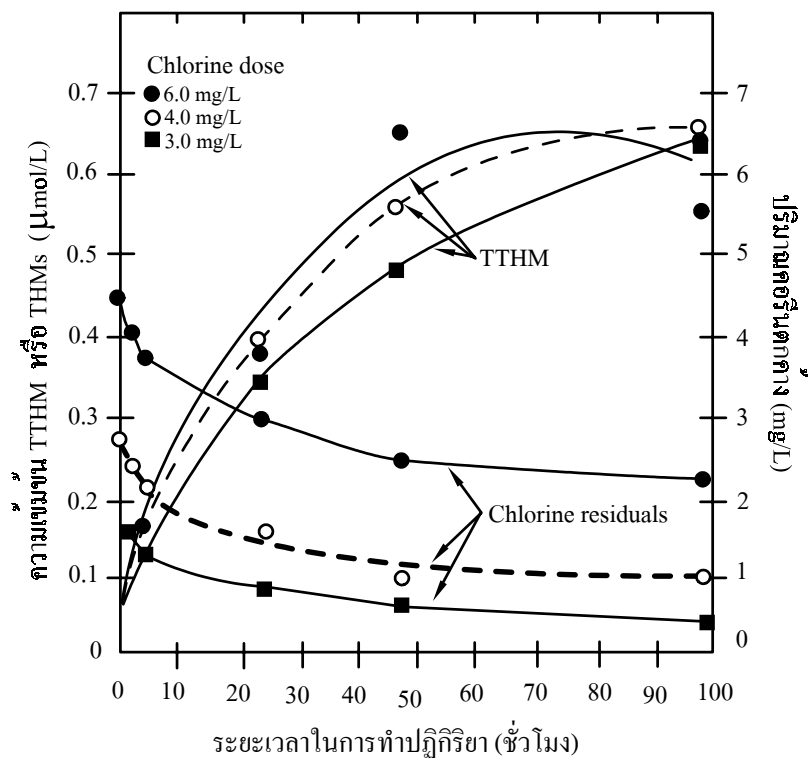
ภาพที่ 2-19 เวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่เป็นแบบอย่างของสารเริ่มต้น
ของไตรฮาโลมีเทนกับคลอรีนในน้ำ

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัส
อากาศ (หน้า 36), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

2.6) ปริมาณ และชนิดของคลอรีนที่ใช้

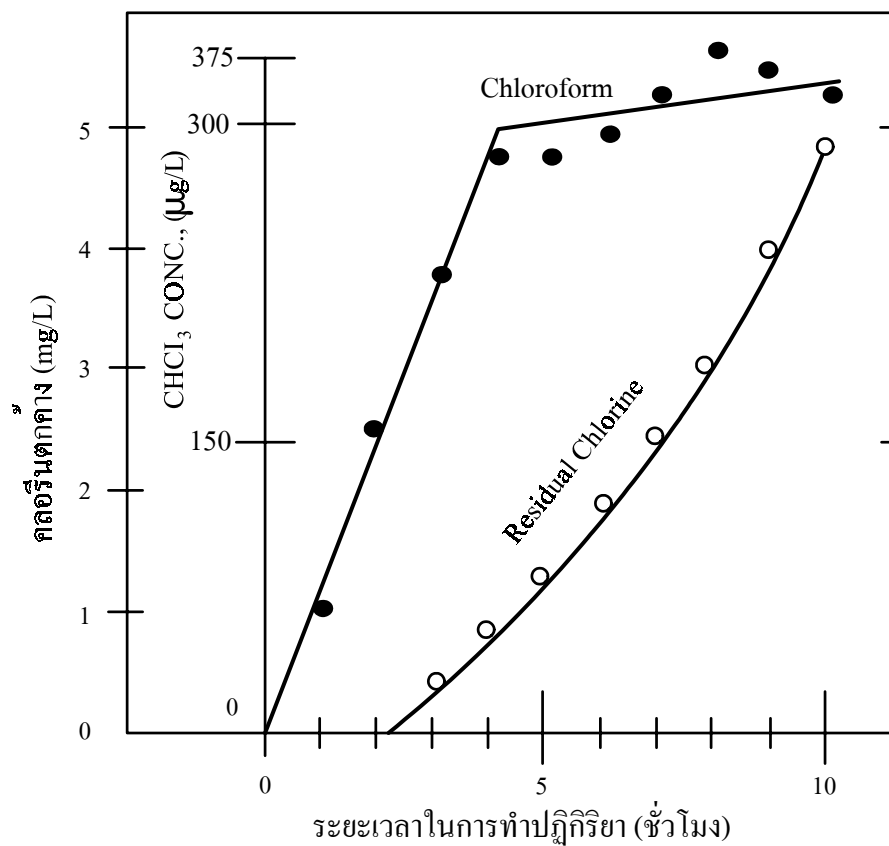
เมื่อสารตั้งต้นอยู่ในสถานะคงที่ อัตราการเกิด THMs มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำนั้น ภาพที่ 2-20 และ ภาพที่ 2-21 เป็นผลงานของ (Kajino and Yagi, 1980) ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมคลอรีนจนเพียงพอกับความต้องการคลอรีนของน้ำแล้ว ถ้าเพิ่มปริมาณ Chlorine residual ลงไปอีก ก็จะมีผลต่อการเกิด THMs เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนในการทดลองกับสารเริ่มต้นที่ได้จากน้ำดิบหลายแหล่งก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่จะไม่พบการเกิด THMs จากการใช้ Combined chlorine (Chloramine) เลย และอาจสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารเริ่มต้นจะมีความสำคัญต่อการเกิด THMs มากกว่าปริมาณและชนิดของคลอรีนที่ใช้ และเมื่อทำการ

เปรียบเทียบระหว่างการใช้ Free chlorine residual กับ Combined chlorine residual พบว่า อัตราการเกิด THMs มีผลมาจาก Free chlorine residual เพียงอย่างเดียว

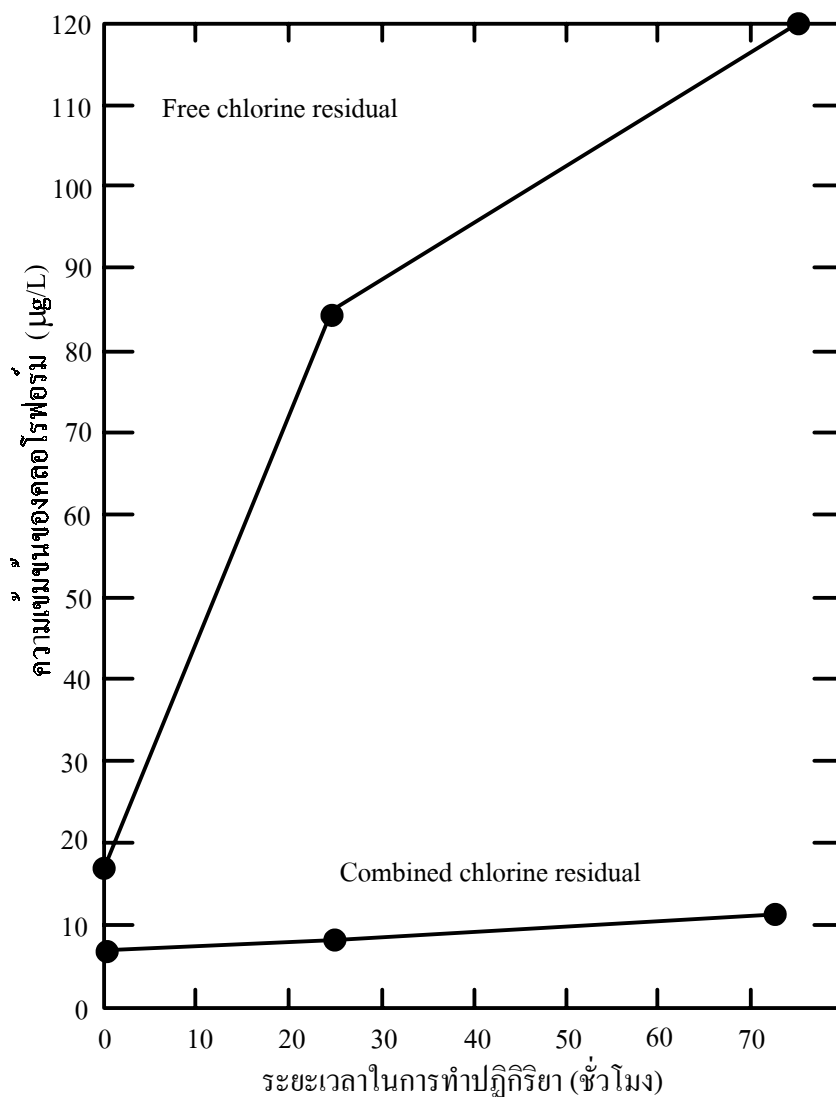


ภาพที่ 2-20 ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอรีนตกค้าง ไม่มีผลต่ออัตราการเกิด ไตรฮาโลมีเทนในน้ำ ที่พีเอชเท่ากับ 7 และอุณหภูมิ 25° C (77°F)

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 37), โดยวัชณชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.



ภาพที่ 2-21 เปรียบเทียบอัตราการเกิดคลอโรฟอร์มกับปริมาณคลอรีนตกค้างที่ใช้ซึ่งไม่สัมพันธ์กัน
 หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัส
 อากาศ (หน้า 38), โดยวิวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.



ภาพที่ 2-22 เปรียบเทียบอัตราการเกิดคลอโรฟอร์มจากการใช้คลอรีนตกค้าง 2 แบบ คือ คลอรีนตกค้างอิสระ และคลอรีนตกค้างรวม

หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองส้มฝัดอากาศ (หน้า 39), โดยวิวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

3) การตรวจวัดไตรฮาโลมีเทน

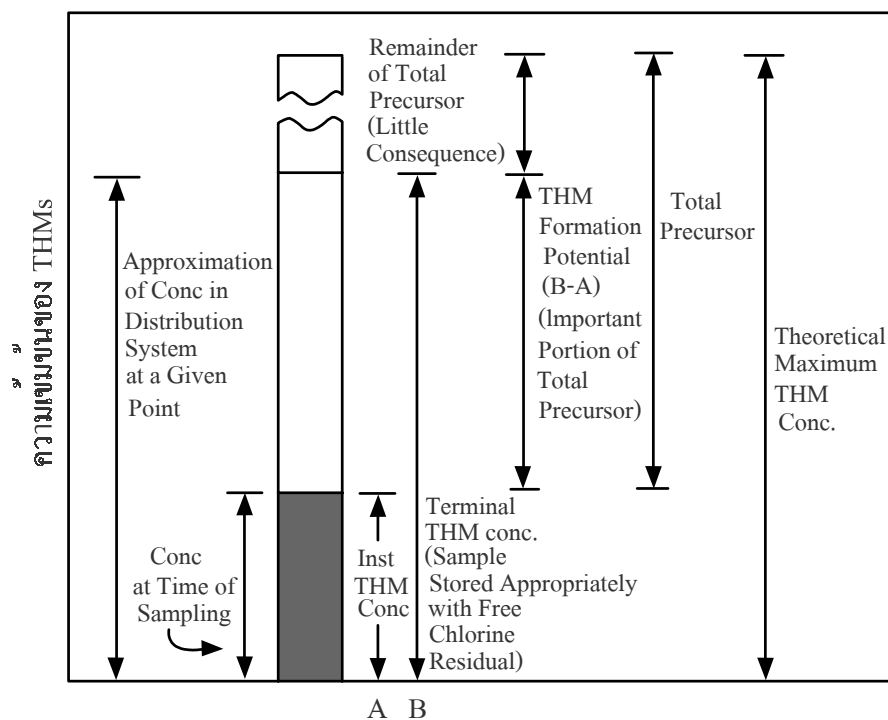
ในการตรวจวิเคราะห์ THMs เราจำเป็นต้องเข้าใจค่านิยามบางอย่างที่เกี่ยวข้องในเรื่องนี้เสียก่อน ได้แก่ (วิวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536)

3.1) Instantaneous trihalomethanes (Inst THMs) concentration หมายถึง ความเข้มข้นของ THMs ในน้ำซึ่งวัดในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งอาจจะเป็นความเข้มข้นของสารในกลุ่ม THMs แต่ละตัว หรือเป็นผลรวมของความเข้มข้นของสารในกลุ่ม THMs ที่พบทั้งหมดก็ได้ ถ้าเป็นผลรวมจะใช้คำว่า Total trihalomethanes (TTHM) ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่กล่าวถึงในการกำหนดค่ามาตรฐานของข้อบังคับต่าง ๆ

3.2) Terminal trihalomethanes (Term THMs) concentration หมายถึง ความเข้มข้นของ THMs ที่วัดได้เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนและสารตั้งต้น (Precursor) ในสภาวะต่าง ๆ ตามแต่การบำบัดของระบบประปา นั้น ๆ เป็นค่าที่ใช้มากกับการประเมินผลการปรับปรุงระบบประปาต่าง ๆ โดยมากจะเป็น THMs ที่ได้จากการนำน้ำตัวอย่างมาเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิที่แน่นอนจนปฏิกิริยาไม่เกิดขึ้นต่อไป

3.3) Trihalomethanes formulation potential (THMFP) หมายถึง ค่าที่คำนวณได้จากความแตกต่างของ Term THMs กับ Inst THMs ซึ่งจะบ่งชี้ถึงความเสี่ยงของผู้บริโภคที่ได้รับจาก THMs ค่า THMFP นี้สามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบการผลิตน้ำประปาทั้งหมด หรืออาจจะประเมินเป็นส่วน ๆ ของระบบก็ได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเปรียบเทียบ THMFP เป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารเริ่มต้นทั้งหมด

3.4) Total precursor หมายถึง ความเข้มข้นของสารเริ่มต้นในน้ำทั้งหมดที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารในกลุ่ม Halogen ภายใต้สภาวะที่จะเกิด THMs ได้อย่างมากที่สุด แต่ยังไม่มียุทธวิธีใดที่สามารถวัดค่าตัวแปรนี้ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิด THMs อย่างมากที่สุดและสมบูรณ์ที่สุดตามทฤษฎียังคงมีต่อไป และจะนำมาซึ่งค่าของปริมาณสารเริ่มต้นทั้งหมดที่ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากการตรวจวัดหาสารตั้งต้น THMs ยังไม่มีวิธีที่แน่นอน อัตราการกำจัดสารตั้งต้นจึงวัดจาก THMFP ของน้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดกับ THMFP ของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดที่มีการเติมคลอรีนในสภาวะที่คล้ายกัน ตัวอย่างเช่น ถ้านำตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบกรองทรายมาเติมคลอรีนแล้วเก็บไว้เป็นเวลา 2 วัน พบว่า คลอโรฟอร์มเกิดขึ้น 50 µg/L เปรียบเทียบกับน้ำที่ผ่าน Absorbent ทำการเติมคลอรีนแล้วเก็บไว้นานเท่ากัน ซึ่งพบว่ามีคลอโรฟอร์มเกิดขึ้น 25 µg/L เราสามารถสรุปได้ว่า Absorbent มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มได้ร้อยละ 50 ภาพที่ 2-23 แสดงถึงนิยาม และความสัมพันธ์ของนิยามต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณ THMs ที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตน้ำประปา รวมทั้งการศึกษาวิจัย ๆ ที่จะได้กล่าวต่อไป



ภาพที่ 2-23 ค่านิยามต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา
 หมายเหตุ จากการลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัส
 อากาศ (หน้า 41), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ก. การวิเคราะห์หาปริมาณ THMs ในน้ำ

วิธีที่มีความไว และความจำเพาะที่เชื่อถือได้สำหรับการตรวจวัดน้ำประปาและสำหรับการ
 วิจัยครั้งนี้คือ Gas chromatographic method (headspace/ECD detector)

วิธีการตรวจวัด THMs ในน้ำ วิธีใช้ได้ดีคือการใช้ Gas chromatographic technique เท่านั้น
 ที่จะให้ได้ค่าถูกต้องและแม่นยำ (Rook, 1972 ; Bellar and Lichtenberg, 1974)

การทดลองของ Mackey et al และ Mc Auliffe ว่าวิธี Head-space technique เหมาะสม
 สำหรับการหา Hydrocarbon ในน้ำ และจากการทดลองของ Kaiser และ Oliver พบว่า การใช้วิธี
 Head-space Technique เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ Chloroform ในปริมาณต่ำ ๆ ซึ่งมีขีด
 จำกัดของการวิเคราะห์ที่ 0-1 $\mu\text{g/L}$ ของ Chloroform ที่ 70°C โดยใช้ Sample injection เพียง 5 μL
 head space (Kaiser and Oliver, 1976)

การวิเคราะห์หาปริมาณ THMs ในระดับ $\mu\text{g/L}$ ในน้ำโดยวิธี Gas chromatography ได้มีการพัฒนาวิธีต่าง ๆ ขึ้น ได้แก่ วิธี Head-space, Liquid-liquid extraction, Adsorption-elution และ Direct aqueous injection ซึ่งวิธีการดังกล่าว สามารถใช้ได้ดีกับการตรวจวัด THMs ทั้งสิ้น (Trussell and Umphres, 1979)

U.S.EPA ได้ยอมรับการตรวจวิเคราะห์ THMs ในน้ำโดย Gas chromatographic techniques เพียงวิธีเดียว ได้แก่ “Purge and Extraction techniques” เท่านั้น และได้กล่าวถึงหน่วยของการตรวจวัดว่า สามารถใช้หน่วยไมโครกรัมต่อลิตร ($\mu\text{g/L}$) ซึ่งเป็นหน่วยที่อาศัยหลักทาง Gravimetric (weighed) standard หรือ อาจจะใช้หน่วยเป็นไมโครโมลต่อลิตร ($\mu\text{mol/L}$) ก็ได้ ส่วนใหญ่การใช้หน่วยแบบหลังจะมีประโยชน์ต่องานวิจัยที่ต้องการศึกษา Reactive sites ของสารเริ่มต้น และการศึกษา Active site ของการ Adsorption เพราะสามารถทราบจำนวนโมเลกุลที่ทำปฏิกิริยา ด้วยการคำนวณจากสูตรเบื้องต้นที่ว่า 1 μmole จะมีโมเลกุลของสารอยู่ 6.02×10^{17} โมเลกุล ได้

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประเทศไทย ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการตรวจหาปริมาณ TTHMs ในน้ำประปา ด้วยวิธี Headspace analysis กับวิธี Liquid-liquid extraction สำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas chromatography ผลสรุปคือ การเตรียมตัวอย่างและการตรวจวัดของวิธีทั้งสองมีความสะดวกพอๆกัน และมีระดับการวัดปริมาณ TTHMs อยู่ระหว่าง 0.1 – 200 $\mu\text{g/L}$ แต่จะแตกต่างกันที่เวลาของการสกัดจากก๊าซนำพา เพราะวิธี Liquid-liquid extraction มีสารเคมีที่ใช้ในการสกัดเป็นประเภท Nonvolatile compounds จึงใช้เวลาหลายนาที่สำหรับแยกสารที่ต้องการสกัดได้ ส่วนวิธี Headspace analysis เป็นการตรวจวัดโดยตรงจึงใช้เวลาสั้นกว่า (Onodera et al, 1984)

การวิเคราะห์ปริมาณ THMs โดยวิธี Headspace technique คือ ความดันไอของสารจะถูกทิ้งอยู่ใน Equilibrium ระหว่างน้ำตัวอย่าง และ space (gas) ในภาชนะที่ปิด ตัวอย่างจากส่วนที่เป็น Head-space gas จะถูกฉีดเข้าสู่เครื่อง Gas chromatography และตรวจวัดปริมาณสาร THMs โดย Electroncapture detector (ECD) ซึ่งในการสำรวจปริมาณ TTHMs ในน้ำประปาของกรุงเทพฯ ฯ Onodera ได้เลือกใช้วิธีนี้รวมทั้งการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ที่จะได้กล่าวต่อไป

การศึกษเปรียบเทียบปริมาณ THMs ในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอรีนแบบ Pre-chlorination และ Post-Chlorination โดยใช้วิธี Head-space technique ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph/ECD detector (สุพร สาครอรุณ, 2530)

การศึกษการลดปริมาณ THMs ที่ปนเปื้อนในน้ำประปา โดยระบบการกรองอากาศชนิด ถาดหลายชั้นซ้อนกัน ใช้วิธี Head-space technique ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph/ECD detector โดยได้อ้างถึง การศึกษาการประยุกต์การใช้วิธี Head-space สำหรับการตรวจ

วิเคราะห์ THMs ในน้ำไหล โดยใช้เครื่อง Gas chromatograph/ECD detector ชนิดควบคุมในภาคสนาม, การศึกษาคุณลักษณะของTHMs ต่อการดูดซับบนผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) โดยวิธี Head-space ใช้เครื่อง Gas chromatograph/ECD detector, การศึกษาการใช้วิธี Head-space ในการตรวจสอบประกอบ Halogenated ในน้ำ ใช้เครื่อง Gas chromatograph/ECD detector ตรวจสอบ CH_2Cl_2 , CHCl_3 , 1,1,1-trichloroethane และ 3,4-chloroethylene มีระดับการตรวจวัด 0.1 – 1 $\mu\text{g/L}$., การตรวจหาสาร THMs ในน้ำ โดยวิธี Head-space vapour ใช้เครื่อง Gas chromatograph/ECD detector ซึ่งวิธีนี้เป็นการลดการปนเปื้อนและการสูญหายของสาร THMs เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Liquid-liquid extraction และ Purge and trap method (วัฒนชัย เหมือนทอง, 2536)

การศึกษาการลดปริมาณการเกิด THMs ด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly aluminum chloride, PAC) โดยศึกษาในคุณภาพน้ำตัวอย่างที่แตกต่างกัน ด้วยวิธี Head-space technique โดยนำน้ำตัวอย่าง 10 mL ใส่ใน Vial ขนาด 20 mL ปิดผนึกด้วย Septum และ Aluminum cap นำไปอุ่น ณ อุณหภูมิ 32^o C Water bath เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นใช้ Gas tight syringe ดูดอากาศเหนือสารละลาย 500 μL ฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatograph (GC)/Mass spectrophotometer (MS) (วิมลทิน แก้วทนาง, 2536)

ข. Head Space Analysis

เป็นวิธีที่นำสารละลายที่บรรจุอยู่ในขวด (Vial) ปิดผนึกด้วย Septum และ Aluminium cap นำขวด Vial ไปเขย่าไปมา กลับด้านบนลงล่างจากนั้นใช้ Gas tight syringe ดูดอากาศเหนือสารละลาย ปริมาตรประมาณ 100 – 500 μL ฉีดเข้าเครื่อง GC/MS เพื่ออ่านผลต่อไป ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่อง Head space มาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจวัดง่ายขึ้นซึ่งรวมถึงใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ค. ข้อกำหนดต่าง ๆ และมาตรฐานที่ใช้

THMs ที่พบในน้ำดื่มสามารถใช้เป็นตัวชี้วัด (WHO, 1997) ถึงอนุพันธ์ที่เกิดจากการใช้คลอรีน (Chlorination by-products) ได้ การควบคุมปริมาณของสารกลุ่มนี้ทำได้โดยการลดปริมาณของอนุพันธ์ที่เกิดจากการใช้คลอรีน องค์การอนามัยโลก (World health organization : WHO) ได้เสนอแนะปริมาณรวมของ THMs ควรมีค่าเท่ากับ

$$\frac{C_{\text{bromoform}}}{GV_{\text{bromoform}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{GV_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{BDCM}}}{GV_{\text{BDCM}}} + \frac{C_{\text{chloroform}}}{GV_{\text{chloroform}}} \leq 1$$

เมื่อ C = Concentration และ GV = Guideline value

U.S.EPA ได้กำหนดระดับการปนเปื้อนสูงสุด (Maximum contaminant level, MCL) สำหรับ THMs ในรูปความเข้มข้นรวม กำหนดไม่เกิน 100 $\mu\text{g/L}$ และได้ออกข้อกำหนด Federal register เมื่อกรกฎาคม 2519 เพื่อใช้ควบคุมปริมาณ Organic contaminants ในน้ำดื่ม โดยมีประเด็นหลักว่า ต้องดำเนินการให้มีการควบคุมปริมาณ THMs และ Organic contaminants ในน้ำดื่ม โดยให้เลือกวิธีการได้หลายแบบและเสนอให้รับฟังความคิดเห็นจากสาธารณชนด้วยต่อมาในเดือนพฤษภาคม 2521 ได้ประกาศใช้ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของ THMs และ Organic contaminants อื่น ๆ และได้เสนอแนะให้ใช้ Granular activated carbon เป็นตัวกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านี้

ง.) เอกสารงานที่เกี่ยวข้อง

THMs (Chloroform Bromodichloromethane และ Dibromochloromethane) ถูกตรวจพบในน้ำประปาเขตเมืองหลายแห่งซึ่งเป็นผลมาจากการทำ Chlorination ในน้ำประปา (Bellar et al, 1974)

สารชีวโมลในธรรมชาติในน้ำผิวดินเป็นสารตั้งต้น(Precursors)ที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใส่ในน้ำประปาเพื่อฆ่าเชื้อโรคเกิดเป็นฮาโรฟอร์ม (Haloform) (Rook , 1974)

พบ THMs 4 ชนิด จากการสำรวจ Halogenated organic compound จากระบบประปา 80 แห่ง ในอเมริกา จากการเติมคลอรีนในน้ำดื่มที่ทำ Chlorination แต่ตรวจไม่พบในแหล่งน้ำดิบเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่ำมาก (Symon et al, 1975)

สารประกอบอินทรีย์ที่พบในแม่น้ำมีประมาณ 60 – 70 ชนิดที่คงอยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบประปาเมือง New Orlean และพบ Volatile halogenated organic compounds 13 ชนิด ในน้ำประปา และอย่างน้อยที่สุด 5 ชนิด ที่ตรวจพบในเลือดของผู้ดื่มน้ำประปา (Dowty et al, 1975)

ผลการแถลงรายงานการศึกษาของ Bunn และคณะ ที่ ห้องปฏิบัติการ EPA พบ Chloroform 0 – 311 $\mu\text{g/L}$, Bromodichloromethane 0 – 116 $\mu\text{g/L}$, Dibromochloromethane 0 – 100 $\mu\text{g/L}$ และ Bromoform 0 – 92 $\mu\text{g/L}$ ในระบบประปาที่เติมคลอรีนที่นำน้ำมาจากแม่น้ำ Missouri (Steven et al, 1976)

รายงานการยืนยันว่า Humic acid และ Fulvic acid ทำให้เกิด Chloroform และ Mixed haloform จากการทำ Chlorination ถ้ายังคงมีไอออนของ Bromide อยู่ในน้ำประปา (Kissinger and Fritz, 1976)

สารชีวโมลที่ความเข้มข้นสูงในน้ำผิวดินส่วนใหญ่ดูเหมือนกับเป็นสารตั้งต้นหลักในการเกิด Haloform ในน้ำธรรมชาติ (Oliver and Lawrence, 1979)

จากผลการตรวจวิเคราะห์น้ำดื่มของ The national organics monitoring survey (NOMS) ใน 133 เมือง 3 ช่วง ตลอดปี พบว่า THMs ที่พบในน้ำดื่มในอเมริกาส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในธรรมชาติในน้ำผิวดิน (Cotruvo, 1981)

ปริมาณ THMs ที่เกิดขึ้นจากการเติมคลอรีนในน้ำดื่มมีค่าสูงกว่าปริมาณ THMs ที่เกิดจากการเติมคลอรีนในน้ำที่ผ่านการกรองและน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว อย่างมีนัยสำคัญที่ p-value 0.01 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำดิบ และปริมาณ THMs ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กันด้วยค่า $r=0.6934$ (สุพร ศาครอรุณ, 2530)

ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก พบว่ามีการเกิดคลอโรฟอร์มขึ้นแต่กรดฟุลวิกจะสร้างคลอโรฟอร์มน้อยกว่ากรดฮิวมิกครึ่งหนึ่งเมื่อมีการใช้ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฟุลวิกและกรดฮิวมิกเท่ากัน (Babcock and Singer, 1977)

การศึกษาประสิทธิภาพของการลดปริมาณการเกิด THMs ด้วย Poly aluminum chloride (PAC) ในน้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นกรดฮิวมิกเริ่มต้น 2, 4 และ 8 mg/L ความขุ่นเริ่มต้น 20, 60 และ 180 NTU ที่ pH 5, 6 และ 7 ความเข้มข้น PAC เท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดในการลดปริมาณการเกิด THMs คือ 78.499% ที่ความเข้มข้นกรดฮิวมิก 2 mg/L ความขุ่นเริ่มต้น 180 NTU ความเข้มข้นของ PAC 50 mg/L ที่ pH 5 และเมื่อความเข้มข้นของกรดฮิวมิกเริ่มต้นคงที่ ประสิทธิภาพเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ PAC เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของกรดฮิวมิกเริ่มต้นจะมีผลต่อการลดปริมาณการเกิด THMs โดยที่เมื่อความเข้มข้นของกรดฮิวมิกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณการเกิด THMs จะลดลง รวมทั้งเมื่อ pH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพจะลดลงด้วย (วิมลสิน แก้วทอง, 2539)

การศึกษาการเกิด THMs ในน้ำดื่มที่มีการเติมคลอรีน พบว่า การเกิด THMs ขึ้นอยู่กับ pH, Bromide, สารอินทรีย์ตั้งต้น, อุณหภูมิ และปริมาณคลอรีนที่ใช้ จากผลการศึกษาปริมาณ THMs ในน้ำดื่ม ของเมือง Alexandria ประเทศอียิปต์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจืดละ 3 ตัวอย่างจาก 5 จุด ของเมือง เก็บในขวดตัวอย่าง 10 mL ปิดด้วยฝาปิดและฝาลูมิเนียม ตรวจวิเคราะห์ด้วย GC/MS พบว่ามีปริมาณคือ $\text{CHCl}_3 > \text{CHCl}_2\text{Br} > \text{CHClBr}_2 > \text{CHBr}_3$ ในน้ำดื่มเกือบทุกตัวอย่างโดยพบ Chloroform มีสัดส่วนกว่าร้อยละ 70 (Hassan et al, 1996)

ผลการศึกษาปริมาณ THMs จากระบบประปาเมือง Cairo ประเทศอียิปต์ ระหว่างปี ค.ศ. 1991 - 1993 โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุกเดือนจากระบบประปา 3 แห่งในเมือง Mostord, Tebbin และ Rod El-Frag ตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบประปาถูกกำจัดคลอรีนด้วย Sodium thiosulfate ก่อน และตัวอย่างน้ำหลังผ่านระบบประปา ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/ECD detector พบ Chloroform และ

Dichlorobromomethane เป็นตัวหลักส่วนสารอื่น ๆ พบน้อยมาก และตรวจไม่พบ Bromoform เป็นส่วนใหญ่ (El-Shahat et al, 1998)

2.5 ระบาดวิทยาและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

2.5.1 ระบาดวิทยา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายเนื่องจากโรคมะเร็ง 16 ชนิด ตามตำแหน่งของร่างกายกับระดับของ THMs ในน้ำดื่มข้อมูลต่าง ๆ มาจาก NORS และ EPA Region 5 ในปี 2518 ศึกษาเฉพาะในคนผิวขาว โดยแยกเป็นกลุ่มตามร้อยละของการใช้น้ำของประชากรมากกว่าร้อยละ 50 ใน 76 ประเทศ ทำให้พบความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการตายด้วยมะเร็งที่กระเพาะปัสสาวะกับระดับของ THMs ในน้ำประปา จึงได้ทำการสังเกตทั้งในเพศชายและเพศหญิงในสัดส่วนที่พอเหมาะพบว่า Brominated trihalomethane ให้ผลที่รุนแรงกว่า Chloroform (Cantor, 1984)

การศึกษาใน 88 เมืองของรัฐโอไฮโอ โดยเลือกกลุ่มตามประเภทของแม่น้ำที่ผลิตน้ำประปาและนำการวิเคราะห์แบบ Step analysis มาใช้ พบว่าอัตราการตายอันเนื่องมาจากมะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ และมะเร็งทุกชนิดจะสูงขึ้นเล็กน้อยในชายผิวขาว เมื่อเทียบกับการใช้น้ำดื่มจากแหล่งน้ำแม่น้ำโอไฮโอ และพบว่าในหญิงผิวขาวที่บริโภคน้ำประปาซึ่งผลิตจากแหล่งน้ำผิวดินมีอัตราการตายจากมะเร็งกระเพาะอาหารมากกว่า หญิงที่บริโภคน้ำประปาที่ผลิตจากแหล่งน้ำใต้ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kuzma et al, 1977)

การศึกษา Case-control study ของการตายจากโรคมะเร็งในหญิงและความสัมพันธ์ของการตายดังกล่าวกับน้ำดื่มที่มีการเติมคลอรีนใน 7 เมืองของรัฐนิวยอร์ก พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการตายด้วยมะเร็งของระบบทางเดินอาหารและมะเร็งของระบบทางเดินปัสสาวะ ในอนาคต การตายด้วยมะเร็งเหล่านี้จะเพิ่มมากขึ้น โดยประชาชนที่อยู่ในเมืองที่ใช้น้ำดื่มที่มีการเติมคลอรีน จะมีอัตราการตายมากกว่าประชาชนที่ดื่มน้ำที่ไม่มีคลอรีน (Alavanja et al, 1976)

การศึกษาอัตราเสี่ยงของการเกิดมะเร็งในประชากร โดยใช้รูปแบบ (Model) ที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ซึ่งคำนวณอัตราเสี่ยงมากที่สุดจากการได้รับคลอโรฟอร์มทางน้ำประปา โดยการใช้ระดับความปลอดภัยเท่ากับ 0.02 mg/Kg ต่อวัน (5,000 applied ต่อ Minimum effect animal dose) การใช้ Log probit model และการใช้ Slope ตามที่ Mentel และ Bryun ได้แนะนำไว้ ทำให้ได้ข้อสรุปที่ว่า Maximum daily dose ของ 0.01 mg/Kg risk จะอยู่ระหว่าง 0.016 และ 0.683 cancer ต่อ 1,000,000 ประชากรที่ดื่มน้ำต่อปี นอกจากนั้น Hogan ยังได้คำนวณสัดส่วนของอัตราการตายจากมะเร็งตับและมะเร็งของไต เนื่องจากการมีคลอโรฟอร์มในน้ำดื่ม ได้เท่ากับ 1.60% และ 1.44% ของอัตราการเกิดมะเร็งตับและมะเร็งของไตต่อปี ตามลำดับ ถ้าอนุโลมว่าในสัดส่วนที่คำนวณได้ ได้รับคลอโรฟอร์ม

ในน้ำดื่มทั้งหมดจะประมาณการได้ว่าประชากรจำนวน 168 คน จะตายมะเร็งตับ 84 คน จะตายด้วยมะเร็งของไต และจำนวนสูงสุดที่ตายด้วยโรคมะเร็งเท่ากับ 252 คน/ปี เนื่องจากมีคลอโรฟอร์มปนเปื้อนในน้ำดื่ม (Hogan, 1979)

การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดมะเร็งของลำไส้ใหญ่ในประชากรกับประวัติการบริโภคน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคโดยคลอรีน ในรัฐ North carolina แบบ Case-control study โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ PROC.LOGIST ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ มีความสัมพันธ์กับการบริโภคน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคโดยคลอรีนอย่างมาก ในกลุ่มประชากรที่มีอายุมากกว่า 60 ปี และในทุกกลุ่มอายุมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดโรคมะเร็งของลำไส้ใหญ่เมื่อมีการบริโภคน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนเป็นเวลานานกว่า 15 ปีขึ้นไป EPA's Carcinogen assessment group's (CAG) ได้ประมาณความเสี่ยงของการได้รับคลอโรฟอร์มในน้ำประปา โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากสถาบันมะเร็งแห่งชาติ (NCI) ประมาณการว่ามีประชาชนที่ได้ใช้น้ำที่มีการฆ่าเชื้อโรคโดยคลอรีนประมาณ 160 ล้านคน ซึ่งผลของการกำหนดค่ามาตรฐานของคลอโรฟอร์มในน้ำดื่มในระดับต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กับอัตราเสี่ยงต่อการเกิดเนื้องอก (Tumors) ในผู้ใช้น้ำดังนี้ มาตรฐาน THMs ไม่ให้เกิน 100 $\mu\text{g/L}$ จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดเนื้องอก 19 - 175 ราย ถ้ามาตรฐาน THMs ไม่ให้เกิน 50 $\mu\text{g/L}$ จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดเนื้องอก 17 - 155 ราย และถ้ามาตรฐาน THMs ไม่ให้เกิน 10 $\mu\text{g/L}$ จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดเนื้องอก 12 - 108 ราย และจากการศึกษา Potential health risk ของคน การกำหนดค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของ THMs ในน้ำประปาที่ 0.1 mg/L นั้นมาจากการคำนวณของ National academy of sciences (NAS) และ Carcinogen assessment group (CAG) ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติอเมริกา (U.S.EPA) ซึ่งมีพื้นฐานว่าจะเกิดอัตราการเกิดโรคมะเร็งประมาณ 3-4 คนต่อประชากร 10,000 คน โดยมีแนวคิดพื้นฐานว่าคนมีการบริโภคน้ำคนละ 2 ลิตรต่อวัน และประชากรมีอายุเฉลี่ย 70 ปี ควบคุมปริมาณ THM ในน้ำดื่มหรือน้ำประปา สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ปริมาณที่เหมาะสมถึงประสิทธิภาพของการป้องกันโรคต่าง ๆ ที่อาศัยน้ำในการแพร่ระบาดเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีและค่าใช้จ่ายที่จะใช้ในการควบคุม THM เป็นสำคัญ จากข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับพิษของสถาบันวิจัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา และสถาบันมะเร็งแห่งชาติอเมริกา สรุปว่าคลอโรฟอร์มเป็นสาเหตุก่อมะเร็งต่อสัตว์กัดแทะ (Mice และ Rat) ในระดับ Dose ที่สูงเนื่องจาก Metabolic pattern ในสัตว์คล้ายกับคน ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า คลอโรฟอร์มอาจเป็นสารก่อมะเร็งต่อคนเช่นกัน (วัฒนชัย เหมือนทอง, 2536)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของ THMs จะเกี่ยวข้องกับคลอโรฟอร์มเนื่องจากคลอโรฟอร์มเป็นสารที่มีสัดส่วนมากที่สุดของกลุ่ม THMs และสารอื่นๆ ในกลุ่มมักจะมีผลกระทบในลักษณะที่คล้ายกับคลอโรฟอร์ม ปกติมนุษย์จะได้รับคลอโรฟอร์มได้จากอาหาร อากาศ และน้ำ

เมื่อรับเข้าไป ร่างกายจะดูดซึมคลอโรฟอร์มได้ดีบริเวณปากและช่องท้อง และจะถูก Metabolize ไปเป็น CO_2 , Chlorite, Phosgene ซึ่ง Phosgene เป็นสารก่อมะเร็ง และผลการศึกษาทาง Toxicity ของสารในกลุ่ม THMs ในการสัมมนาเรื่อง "Trihalomethane in Drinking Water in Bangkok Metropolitan Area" เมื่อเดือนกรกฎาคม 2527 ดังตารางที่ 2-7 พบว่า อาการเฉียบพลันที่เกิดจากคลอโรฟอร์มจะเกิดที่ระบบหายใจ ส่วนที่ตับจะเกิด Fatty liver และเกิดเนื้อตายด้านส่วนที่ไตจะมีการเสียหายของ Convulated tubules และมีการเปลี่ยนแปลงของเยื่อของไตบริเวณ Henle's loops (Onodera et al, 1984)

ตารางที่ 2-7 ปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลันของไตรฮาโลมีเทน

Compound	No. of rats		Lethal time day	LD ₅₀ mg/L p=0.005	
	M	F		M	F
Chloroform (CHCl_3)	90	90	1 – 9	1120 (789 – 1590)	1400 (1120 – 1680)
Bromodichloromethane (CHCl_2Br , BDCM)	70	90	1 – 6	450 (326 – 621)	900 (811 – 990)
Dibromochloromethane (CHClBr_2 , DBCM)	80	80	1 – 5	800 (667 – 960)	1200 (945 – 1524)
Bromoform (CHBr_3)	80	70	1 – 9	1400 (1205 – 1595)	1550 (1165 – 2062)

หมายเหตุ จาก Trihalomethanes in Drinking Water Supplies in Bangkok Metropolitan area

(p. 13) Laboratory and Research Section, Environmental Quality Standard Division Office of National Environment Board, Thailand, 1984 อ้างถึงใน การลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ (หน้า 47), โดยวัฒน์ชัย เหมือนทอง, 2536, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

2.5.2 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ (Health risk assessment) (ชัชวาล จันทรวิจิตร, 2542)

เป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ช่วยทำให้เห็นภาพของผลกระทบจากมลพิษสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรมและเป็นประโยชน์ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา (Priority setting) โดยมี นิยาม หมายถึง กระบวนการการทำนายเชิงปริมาณถึงความเป็นไปได้ในการเกิดผลไม่พึงประสงค์ขึ้นในมนุษย์อันเนื่องมาจากการได้รับสัมผัสสารเคมี 1 ชนิด หรือมากกว่า เป็นกระบวนการที่มีการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เพราะการประเมินนี้ได้นำเอาความเป็นพิษ (Toxicity), สิ่งคุกคาม (Hazard), และความเล็ง (Risk) เข้ามารวมไว้ในภาพเดียวกัน ส่วนผลอันไม่พึงประสงค์นั้นส่วนใหญ่จะหมายถึงการเจ็บป่วยและการตาย รวมถึงอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มีองค์ประกอบร่วมกัน 4 ขั้นตอน คือ (พาลาก สิงหเสนี, 2540)

ขั้นตอนที่ 1 การชี้ให้เห็นอันตราย (Hazard Identification)

เป็นการประเมินเชิงคุณภาพเพื่อตอบคำถามว่า วัตถุอันตรายชนิดใดชนิดหนึ่งมีความเป็นพิษในตัวเองมากน้อยเพียงใด หรืออีกนัยหนึ่ง มีความน่าจะเป็นไปได้เพียงใดที่วัตถุอันตรายนั้นจะแสดงผลอันไม่พึงประสงค์ในลักษณะต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่สุขภาพของสิ่งมีชีวิต

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่ได้รับ (Dose-response Assessment or Hazard Characterization)

ข้อมูลที่ได้ส่วนใหญ่ศึกษาในสัตว์ทดลองมาประเมินความเสี่ยงอันตรายในสภาพการใช้ของมนุษย์ ซึ่งต้องทำการอนุมาน (Extrapolation) ในหลายประเด็น โดยเฉพาะประเด็น เช่น ความแตกต่างระหว่างชนิดของสัตว์ทดลอง ขนาด ช่วงชีวิต เมตาบอลิซึม (Metabolism) ขนาดและผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น วิธีการอนุมานข้อมูลดังกล่าว ในปัจจุบันยังคงมีความแตกต่างของวิธีการและค่าที่นำมาใช้ รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีผู้คิดขึ้น เป็นสาเหตุให้ค่าตัวเลขการประเมินความเสี่ยงต่อพิษของวัตถุอันตรายมีความแตกต่างกันได้

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินสัมผัส (Exposure assessment)

เนื่องจากการสัมผัสมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของสาร ระยะเวลาและความถี่ในการสัมผัสขนาดของวัตถุอันตรายในร่างกายซึ่งมีความสัมพันธ์กับพิษของวัตถุอันตราย ดังนั้นการสัมผัสจึงมีความสำคัญมากต่อการประเมินความเสี่ยงจากพิษของวัตถุอันตราย

ขั้นตอนที่ 4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายโดยการนำข้อมูลที่รวบรวมในขั้นตอนที่ 1, 2, และ 3 นำมาเชื่อมโยงเพื่อประเมินความรุนแรงหรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดพิษจากวัตถุอันตราย มี 2 รูปแบบ คือ

1.) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสารที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง มีรูปแบบคือ

ค่าความปลอดภัย (Margin of Safety)

$$= \frac{\text{ปริมาณการได้รับสัมผัส (mg/kg/day)}}{\text{ปริมาณการได้รับสัมผัสที่ยอมรับได้ (RfD or ADI) (mg/kg/day)}}$$

การแปลผล ถ้าค่าความปลอดภัย น้อยกว่าหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่า ปริมาณสารโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้ แต่ถ้ามากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณสารโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับอยู่นั้นเกินมาตรฐานหรืออยู่ในระดับที่เสี่ยงต่อสุขภาพ

2.) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสารก่อมะเร็ง

ความเสี่ยง (Risk) = CDI (mg/kg/day) X Q* or Carcinogenic potency factor (mg/kg/day)⁻¹

CDI= ปริมาณการรับสัมผัสตลอดชั่วชีวิต (Chronic daily intake)(mg/kg/day)

Q* = ศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็งของสาร (Carcinogenic potency factor)(mg/kg/day)⁻¹

ทฤษฎีแบบจำลองดังกล่าว ได้ถูกพัฒนามาจากอเมริกา สามารถคำนวณเพื่อกำหนดขนาดที่เมื่อใช้สารนั้นแล้วเกิดความปลอดภัยในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้เป็นสากลคือ ระดับความเสี่ยงต่อโอกาสการเกิดเนื้องอกเพิ่มขึ้นหนึ่งรายในประชากรที่มีความเสี่ยง 1 ล้านราย โดยการกำหนดปริมาณน้อยที่สุดของวัตถุอันตรายที่จะมีผลต่อสุขภาพโดยสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (U.S.EPA) และ องค์การอาหารและยา (Food and Drug administration) ได้นำวิธีการนี้มาใช้ออกกฎหมายควบคุมวัตถุอันตรายที่มีฤทธิ์ก่อมะเร็ง การประเมินความเสี่ยง (Risk) เป็นโอกาสของความเป็นไปได้ (Probability) ดังนั้นค่าความเสี่ยงจริงอาจต่ำกว่าหรืออาจถึงศูนย์ก็ได้

จากข้อมูลประเภชน้ำบริโภคของคนไทยแยกตามเขตที่อยู่อาศัย (ตารางที่ 2-8) และคุณภาพน้ำบริโภคในประเทศไทย (ตารางที่ 2-9) รวมทั้งจำนวนประชากรที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน (ตารางที่ 2-10) เป็นเหตุผลให้การวิจัยครั้งนี้นำผลการศึกษาที่ได้มาอธิบายลักษณะความเสี่ยงสุขภาพร่วมด้วย

ตารางที่ 2-8 ประเภทน้ำบริโภคของคนไทยแยกตามเขตที่อยู่อาศัย

เขตอาศัย	ประเภทน้ำบริโภค(ร้อยละ)					
	น้ำประปา	น้ำฝน	น้ำบาดาล	น้ำบ่อตื้น	น้ำบรรจุขวด	น้ำผิวดิน
เมือง	28	42	7	20	23	1
ชนบท	9	52	12	41	8	3
รวม	13	50	11	37	11	2

หมายเหตุ จากรายงานการสำรวจสถานะอาหารและโภชนาการของประเทศไทยครั้งที่ 4 พ.ศ.2538

ตารางที่ 2-9 คุณภาพน้ำบริโภคในประเทศไทย ปี 2540-2541

ประเภทแหล่งน้ำบริโภค	จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค(WHO, 2527)			
		กายภาพ	เคมี	แบคทีเรีย	กายภาพเคมีและแบคทีเรีย
ประปานครหลวง	193	3.6	11.4	20.2	29.0
ประปาภูมิภาค	3038	21.0	36.4	29.8	48.4
ประปาเทศบาล	119	31.1	37.8	37.8	65.5
ประปาสุขาภิบาล	866	15.6	40.3	32.3	56.1
ประปาหมู่บ้าน	332	18.6	38.3	44.6	72.0
น้ำบาดาล	613	36.2	68.2	28.1	82.4
น้ำบ่อตื้น	413	46.7	50.1	53.0	84.0
น้ำฝน	419	30.6	23.6	49.6	77.3

หมายเหตุ จากสถานการณ์คุณภาพน้ำบริโภค ปี 2540-2541 โดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

ตารางที่ 2-10 จำนวนประชากรที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน

ประเภทน้ำ	สัดส่วนผู้บริโภค (ร้อยละ)	สัดส่วนคุณภาพน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน (ร้อยละ)	จำนวนประชากรในประเทศไทย (ล้านคน)	จำนวนประชากรที่บริโภคน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน (ล้านคน)
น้ำฝน	50	77	62	24
น้ำบ่อตื้น	37	84	62	19
น้ำบาดาล	11	82	62	6
น้ำประปา	13	55	62	4
น้ำบรรจุขวด	11	20	62	1

ข้อสังเกต: จำนวนประชากรที่บริโภคน้ำที่ไม่ได้มาตรฐานรวมทุกประเภทน้ำดื่มจะเท่ากับ $(24+19+6+4+1) \times 100/122 = 43$ ล้านคน เนื่องจากผลรวมของสัดส่วนผู้บริโภคในแต่ละชนิดเกินร้อยละ 100 เพราะสามารถตอบได้มากกว่าหนึ่งข้อ

หมายเหตุ จากรายงานการสำรวจสภาวะอาหารและโภชนาการของประเทศไทยครั้งที่ 4 พ.ศ.2538

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษาวิจัยเชิงทดลองและสำรวจ เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ (Kinetics) ของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสถานะท้องถิ่น (Local area) ที่ทำการศึกษาและสำรวจ ซึ่งจะทำให้รู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำดิบกับปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในระบบประปาชนบทในจังหวัดนครราชสีมา และสามารถคาดคะเนความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสุขภาพของประชาชนได้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง (ดูตารางที่ 3-1)

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ ได้แก่ ภาชนะสำหรับใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ, ขวดแก้วสีชา, ขวด BOD, ถังพลาสติก Polyethylene เก็บน้ำดื่ม, ถังใส่น้ำแข็งเก็บตัวอย่าง, เทอร์โมมิเตอร์, ดินสอ, ถังพลาสติก, ฉลากสำหรับปิดขวด เป็นต้น

2.) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ได้แก่ ขวดเออร์เลนเมเยอร์ (Erlenmeyer flask) ขนาดต่าง ๆ, กระจกตวง (Graduated cylinder) ขนาดต่าง ๆ, ปิเปตต์ (Pipette) ขนาดต่าง ๆ, บิวเรตต์ (Burette) ขนาดต่าง ๆ และบีกเกอร์ (Beaker) ขนาดต่าง ๆ, กรวยแก้ว (Funnel), กระดาษกรอง WHATMAN No. 42, กระจกฉีด (Syringe) เป็นต้น

3.) อุปกรณ์สำหรับตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ได้แก่ ขวด Vial, Silicone septum, Aluminum caps, Vial closer-opener เป็นต้น ดังแสดงรายละเอียด ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ	อุปกรณ์ที่ใช้	สารเคมีที่ใช้
pH	Electrometric Method (Standard Methods, 1995)	1. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) 2. บีกเกอร์ (Beaker)	1. น้ำกลั่น 2. Buffer Solution pH 7
สี (Color) Apparent Color (สีปรากฏ)	Visual Comparison Method (Standard Methods, 1995)	1. pH meter หรือ pH pen 2. Nessler tube 50 mL 3. เครื่องปั่นตกตะกอน (Centrifuge)	1. น้ำกลั่น 2. Stock color solution 500 units
ความขุ่น (Turbidity)	Nephelometric Method (Standard Methods, 1995)	Turbidimeter	1. น้ำกลั่น 2. สารละลายความขุ่นมาตรฐาน 0.61, 10, 100,1000 NTU
Total Dissolved solids (TDS)	Gravimetric method (Standard Methods, 1995)	1. กระดาษกรอง GF/C 7.0 cm 2. Disposable filter funnels พร้อมชุดกรองตัวอย่าง 3. กระจกนาฬิกา 4. เครื่องดูดอากาศ 5. ตู้อบ 103 ⁰ C 6. Desicator 7. เครื่องชั่งแบบละเอียด	

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ตัวแปรที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ	อุปกรณ์ที่ใช้	สารเคมีที่ใช้
ความกระด้าง (Hardness)	EDTA Titrimetric method (Standard Methods, 1995)	1. บิวเรตต์ 50 mL 2. Erenmeyer flask 250 mL 2 ใบ 3. Beaker 150 mL	1. สารละลายบัฟเฟอร์ 2. Inhibitor 3. Indicator 4. สารละลายมาตรฐาน EDTA 0.01 M 5. สารละลายมาตรฐาน Ca
ซัลเฟต (Sulfate)	Turbidimetric method (SO_4^{2-}) ช่วง 1-40 mg/L (Standard Methods, 1995)	1. Magnetic stirrer 2. Spectrophotometer 3. นาฬิกาจับเวลา 4. ซ้อนดวง 0.2-0.3 mL	1. Conditioning reagent 2. สารละลายมาตรฐาน ซัลเฟต 3. BaCl_2 crystal 20-30 mesh
คลอไรด์ (Chloride)	Mercuric Nitrate Method (Standard Methods, 1995)	1. Erlenmeyer 250 mL 3 ใบ 2. บิวเรตต์ 50 mL 3. Beaker 250 mL	1. Standard NaCl solution 0.0141 N. 2. HNO_3 0.1 N 3. NaOH 0.1 N 4. น้ำยาเคมีสำหรับการ ไตเตรตน้ำที่มีปริมาณ คลอไรด์ต่ำ-สูง
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	Electrode method (Standard Methods, 1995)	1. Electrometer or Ion Analyzer 2. Single selective reference electrode 3. Fluoride electrode 4. Megnetic stirror & Megnetic bar	1. Stock-fluoride solution 2. Standard fluoride solution 3. Fluoride buffer

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ตัวแปรที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ	อุปกรณ์ที่ใช้	สารเคมีที่ใช้
ไนเตรท (Nitrate)	Nitrate Electrode screening Method (Standard Methods, 1995)	1. Electrometer or Ion Analyzer 2. Double junction reference electrode 3. Nitrate ion electrode 4. Magnetic Stirrer & Magnetic bar	1. Buffer solution 2. ISA solution 3. Stock KNO_3 1000 mg/L 4. Std. NO_3^- 100 mg/L
ซีโอดี (COD)	Open reflux (Standard Methods, 1995)	1. Flat bottom flask 250 , 500 mL 2. Condenser 3. Heating Mantle	1. Standard potassium dichromate solution 0.25 N 2. Sulfuric acid reagent 3. Standard ferrous ammonium sulfate titrant 0.10 N
บีโอดี (BOD)	Direct method (Standard Methods, 1995)	1. BOD bottles 300 mL 2. ตู้ Incubator 3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว ต่าง ๆ เช่น บิวเรตต์, ขวดรูปกรวย, กระบอก ตวง	1. น้ำกลั่น 2. Phosphate solution 3. Magnesium sulfate solution 4. Calcium chloride solution 5. สารละลายไอโรออน (III)คลอไรด์ 6. H_2SO_4 1 N 7. NaOH 1 N 8. Sodium sulphite solution 0.025 N

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ตัวแปรที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ	อุปกรณ์ที่ใช้	สารเคมีที่ใช้
โลหะหนัก (Heavy Metals)	Atomic absorption spectrophotometry (Standard Methods, 1995)	1. Atomic absorption spectrophotometer พร้อมอุปกรณ์ 2. Three-slot burner head 3. Air compressor 4. Standard C ₂ H ₂ commercial grade	1. Deionized distilled water 2. Conc. HCl 3. Conc. HNO ₃ 4. สารละลายเกลือโลหะมาตรฐาน และสารละลายมาตรฐานของโลหะชนิดต่าง ๆ
ปริมาณสารส้ม	Jar test (กรม อนามัย, 2543)	1. ชุด Jar test set 2. บีกเกอร์ 1,000 mL 3. ปิเปตต์ 1, 5, 10 mL	สารละลายสารส้ม 1,000 ppm
โคโลฟอร์มและ ฟิคัลโคโลฟอร์ม แบคทีเรีย	Standard Multiple-Tube (MPN) Tests (Standard Methods, 1995)	1. จานเพาะเชื้อ (Petri-dish) 2. Test tube 20 x 150 mm. 3. Incubator 4. Autoclave 5. Measuring pipette 6. Colony counter 7. Cylinder 8. Water-bath	1. อาหารเพาะเชื้อ (Plate count agar)

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ตัวแปรที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ	อุปกรณ์ที่ใช้	สารเคมีที่ใช้
Chlorine Demand	Breakpoint Chlorination (Standard Methods, 1995)	1. บิวเรตต์ 50 mL 2. Erlenmeyer flask 250 mL 3. Pipette bulb 50 mL 4. ขวด BOD 5. ปิเปตต์ 1, 5, 10 mL	1. สารละลายคลอรีน มาตรฐาน 100 ppm 2. 0.1 N. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 3. 0.1 N. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4. H_2SO_4 เข้มข้น 5. 0.025 N. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 6. น้ำแข็ง 7. Potassium iodide 8. Glacial acetic acid 9. น้ำกลั่น
กรดฮิวมิก	Colorimetry (HACH, 2543)	DR (Direct read) Spectrophotometer 2010	1. Stock humic acid Solution 2. น้ำกลั่น 3. Humic acid (ยี่ห้อ Fluka 99%)
คลอรีนตกค้าง	Orthotolidine arsenite method (Standard Methods, 1995)	ชุดตรวจ DR (Direct read) Spectrophotometer 2000	1. สารละลายไอโธโทลิดีน 2. สารละลายโซเดียมอาร์ซีไนต์

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ตัวแปรที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ	อุปกรณ์ที่ใช้	สารเคมีที่ใช้
ไตรฮาโลมีเทน (THMs)	Gas chromatographic method (สำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2527)	GC : HP6890 (Hewlett Packard) Column : Ultra performance capillary column, Ultra 1 crosslinked methyl siloxane) ; HP part number : 19091A-112; Length : 25 m ; film thickness : 0.52 um ; column ID : 0.32 mm ; Carrier Gas : Helium , 49 cm/sec , constant flow ; Injection : Split (50 : 1) , Headspace(TEKMAR 7000), 70 °C Oven : 40 °C (4 min.) to 100 °C at 10 °C/min. Detector : ECD, 250 °C	1. THMs Mix (EPA 601) Catalog No. 48746 & 4S8746 2. น้ำกลั่น 3. 10 % Na ₂ S ₂ O ₃

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 สารละลายคลอรีนมาตรฐาน (100 ppm)

ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ (CaOCl₂.4H₂O) 60 % จำนวน 0.06 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร เก็บไว้ 1 คืน ตวงเอาส่วนที่ใสไว้ใช้ และตรวจสอบมาตรฐานด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไธโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃) ก่อนนำไปใช้

3.3.2 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐาน 0.1 N

ใช้โซเดียมโซอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ละลายในน้ำกลั่นต้มเดือดแล้วเก็บไว้อย่างน้อย 2 สัปดาห์ ตรวจสอบมาตรฐานด้วยสารโปแตสเซียมไดโครเมต 0.1 N และเติมด้วยคลอโรฟอร์ม 2 mL

3.3.3 สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตมาตรฐาน 0.025 N

ใช้โซเดียมโซอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.1 N ละลายในน้ำกลั่นต้มเดือด

3.3.4 สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตมาตรฐาน 0.1 N

ใช้แอนไฮดรัสโปตัสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 4.904 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและทำให้เจือจางเท่ากับ 1,000 mL

3.3.5 โปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI)

3.3.6 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4)

3.3.7 น้ำแข็งใช้ตรวจสอบ

ใช้เป่งมัน 0.5 กรัมละลายในน้ำกลั่นปกติเล็กน้อยแล้วละลายในน้ำกลั่นต้มเดือด 100 mL แล้วทิ้งให้ตกตะกอน 1 คืน ใช้ส่วนที่เป็นน้ำใส

3.3.8 Glacial acetic acid

3.3.9 สารละลายอโซโทลิติน

ใช้สารอโซโทลิตินไดไฮโดรคลอไรด์ 1.35 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 mL แล้วเติมผสมน้ำกลั่น 350 mL และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl) กวนด้วยความเร็วคงที่

3.3.10 สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์

ใช้สารโซเดียมอาร์เซไนต์ (NaAsO_2) 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเจือจางให้เท่ากับ 1 ลิตร

3.3.11 สารละลายสารส้มสต็อก (Stock alum) 1,000 ppm

ใช้สารส้มกรอง [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$] 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเจือจางให้เท่ากับ 1 ลิตร

3.3.12 สารละลายไตรฮาโลมีเทนมาตรฐานสต็อก (Stock standard mixtures of THMs)

ชุดสำเร็จรูปสารละลายไตรฮาโลมีเทนมาตรฐานสต็อก 200 g/mL ประกอบด้วย Chloroform (CHCl_3), Dibromochloroform (CHCl_2Br), Bromoform (CHBr_3), Bromodichloro methane (CHCl_2Br) ของบริษัท Suppelco อเมริกา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.13 สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต 10 %

ใช้โซเดียมโซอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 mL (สารละลายนี้ใช้สำหรับหยุดการทำ Chlorination และ กำจัดคลอรีนตกค้าง)

3.3.14 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl)

3.4 การตรวจวิเคราะห์

3.4.1 ความต้องการเติมคลอรีน (Chlorine demand)

ก.) ปรับมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

- เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 mL ในน้ำกลั่น 80 mL
- เติมโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1 N จำนวน 10 mL และ โปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) 1 กรัม
- ไตเตรตด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N จนกระทั่งสีเหลืองจางเกือบหมด
- เติมน้ำแบ่งที่ใช้ตรวจสอบ 2 mL ไตเตรตต่อจนกระทั่งสีฟ้าหายจดบันทึกปริมาณ โซเดียม

ไธโอซัลเฟตที่ใช้

$$\text{นอร์มอลลิตีของโซเดียมไธโอซัลเฟต (Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{1}{\text{กรัมของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\text{ที่ใช้}}$$

ข.) ปรับมาตรฐานของสารละลายคลอรีน (Standard chlorine)

- เติม H_2SO_4 2 mL ลงในน้ำกลั่น 15 mL
- เติมโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) 1 กรัม แล้วกวนจนกระทั่งละลาย
- แล้วเติมสารละลายคลอรีน 50 mL ไตเตรตด้วย 0.025 N สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

มาตรฐาน ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) จนกระทั่งสีเหลืองจางเกือบหมด

- เติมน้ำแบ่งที่ใช้ตรวจสอบ 2 mL ไตเตรตต่อจนกระทั่งสีฟ้าหายจดบันทึกปริมาณ โซเดียม

ไธโอซัลเฟตที่ใช้

- หา Blank โดยใช้ น้ำกลั่นตามวิธีข้างบน

$$\text{สารละลายคลอรีนมาตรฐาน (ppm)} = \frac{(A \pm B) \times N \times 35.45}{50}$$

เมื่อ A = mL ของ โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตสำหรับตัวอย่าง

B = mL ของ โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตสำหรับ Blank

N = mL ของ โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตสำหรับสารละลายมาตรฐาน

ค.) หาค่าความต้องการเติมคลอรีนในน้ำ (Chlorine demand)

- วิเคราะห์ค่า คลอรีนตกค้างอิสระ (Free residual chlorine) และคลอรีนตกค้างทั้งหมด

(Total residual chlorine)

- ใช้ Spectrophotometer DR2000 โพรแกรม 80 ปรับความยาวคลื่นที่ 530 nm

- สารละลาย DPD free chlorine Cat.No. 14070-99 วิเคราะห์ค่าคลอรีนตกค้างอิสระ (Free residual chlorine)

- สารละลาย DPD free chlorine Cat.No. 14064-99 วิเคราะห์ค่าคลอรีนตกค้างทั้งหมด (Total residual chlorine)

- ค่าคลอรีนตกค้างรวม (Combined residual chlorine) = ข้อ 3. – ข้อ 2.

3.4.2 จาร์เทสต์ (Jar test)

1.) หาคุณภาพน้ำตัวอย่าง เช่น Alkalinity, สี, pH, และความขุ่น ตามวิธี “Standard Methods”, (1995)

2.) นำน้ำตัวอย่าง 600 mL เติมใส่ในบีกเกอร์ 6 ใบ (ชุด Jar test set)

3.) เติมสารละลายสารส้มสต็อก 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 mL ลงในแต่ละบีกเกอร์ ดังนั้น บีกเกอร์จะมีปริมาณสารส้ม 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ppm ตามลำดับ

4.) นำน้ำตัวอย่างกวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที นาน 1 นาที

5.) กวนต่อด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที อีก 20 นาที แล้วหยุด

6.) สังเกตขนาด ปริมาณตะกอน และเวลาที่ใสของบีกเกอร์แต่ละใบ นำไปตกตะกอนต่อ 60 นาทีสังเกตตะกอนแขวนลอยของบีกเกอร์แต่ละใบ

7.) นำน้ำใสของแต่ละใบหาค่า Alkalinity, สี, pH, และความขุ่น ต่อ

8.) เขียนกราฟระหว่างความขุ่นกับปริมาณสารส้มที่ใช้ จะได้ค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

3.4.3 วิเคราะห์ไตรฮาโลมีเทน (Trihalometrane : THMs)

1.) การเก็บตัวอย่าง

เก็บน้ำตัวอย่าง 10 mL และ 15 mL ในหลอด Serum vial เติมโซเดียมไฮโอซัลเฟต 10 % จำนวน 2 หยด ทันทีกักด้วยกระดาษพาราฟิน Septum และ ฟลอสลูมิเนียม เขย่าให้เข้ากันเก็บไว้ในตู้เย็นจนกระทั่งวิเคราะห์

2.) วิเคราะห์ด้วยวิธี Gas chromatograph (GC)

ใช้ GC : HP6890 (Hewlett Packard), Column : Ultra performance capillary, Ultra1 (Crosslinked methyl siloxane) ; HP part number :19091A-112 ; Length : 25 m ; film thickness : 0.52 μm ; column ID : 0.332 mm ; Carrier Gas : Helium, 49 cm/sec, อัตราไหลคงที่ ; Injection : Split(50 : 1), Headspace (TEKMAR 7000), 70⁰C, Oven : 40⁰ C (4 min.) to 100⁰C at 10⁰/min, Detector : ECD, 250⁰ C EPA 601 Trihalomethanes Mix 200 g/mL Catalog Numbers 48746 & 4S8746 ประกอบด้วย : Chloroform (CHCl₃), Dibromochloroform (CHClBr₂), Bromoform (CHBr₃), Bromodichloro methane (CHCl₂Br)

3.) วิเคราะห์หา THMs

นำ Serum vial ตัวอย่างทำให้อุ่นที่อุณหภูมิห้อง เปิดเครื่อง Headspace และ GC ติดตั้ง Column ECD detector, เปิดแก๊ส เตรียมสารตัวอย่างนำเข้าเครื่อง Headspace เพื่อฉีดเข้าเครื่อง GC ต่อไป

3.4.4 วิเคราะห์หาคาร์บอนิก (Humic acid)

- เตรียมสาร Humic acid (FLUKA 99%) ผงสีน้ำตาลเข้ม 1 g/L ด้วยน้ำกลั่น (ใช้ Humic acid ของ Fluka Chemice AG CH-9471 Switzerland Fluka 53680 ขนาด 10 g Humic acid Analysis Number : 45729/1 35097, Ash ~ 20 %, EEC No. 2158096)

- เตรียมสารละลาย Humic acid ความเข้มข้น 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 mg/L ด้วยขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาดต่าง ๆ 25, 50, 100 mL โดยการเจือจางสารละลาย Humic acid ความเข้มข้น 1 g/L แล้วปิดฝาให้สนิท (ดูรายละเอียดที่ดำเนินการทดลองไว้แล้ว)

- นำสารละลาย Humic acid ที่เตรียมไว้เข้าเครื่องเขย่าโดยใช้กระดาษสีดำหุ้มให้ปราศจากแสงส่องผ่านเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (เนื่องจากละลายยากมาก)

- นำสารละลาย Humic acid แต่ละความเข้มข้นที่ได้ผ่านการเขย่า มาวัดด้วยเครื่อง DR 2010 spectrophotometer ที่ Wavelength 427 nm โดยใช้ blank น้ำกลั่น (Humic acid = 0 mg/L) plot ค่า Absorbance ของ Humic acid (เครื่อง DR 2010 Spectrophotometer จะทำ Cal. Curve อัตโนมัติ)

- นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดนำมาตรวจด้วยเครื่อง DR 2010 Spectrophotometer โดยเลือกช่วง Wavelength ที่ 427 nm ที่ได้ตั้งไว้ ก็จะได้อ่านค่า Humic acid (mg/L)

3.4.5 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรีย ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2527

3.5 น้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างจากแม่น้ำลำตะคองจุดเก็บตัวอย่างน้ำโรงกรองน้ำมะขามเต่า และน้ำจากระบบประปา มทส. และประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย ในจังหวัดนครราชสีมา

3.6 ขั้นตอนการทดลอง

3.6.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ก. ส่วนที่ 1 : ศึกษาการก่อตัวของ THMs (THMs formation)

เก็บตัวอย่างน้ำ 20 ลิตร ใส่ในถังเก็บน้ำพลาสติก ตัวอย่างน้ำตรวจวิเคราะห์ภายใน 48 ชั่วโมง ดังนี้

1.) ตรวจสอบ Humic acid, THMs, ความขุ่น, สี, Alkalinity, pH, และอุณหภูมิ เพื่อใช้กำหนดในการควบคุมตัวแปรในการทำ Chlorination ในชุดที่ 1

2.) หาปริมาณคลอรีนที่ต้องเติมสำหรับให้เกิดคลอรีนตกค้าง 2.0 ppm เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง (ในการทำ Chlorination ในระบบประปาเบื้องต้น ปริมาณคลอรีนตกค้างไม่ควรเกิน 2.0 ppm เนื่องจากมีผลต่อกลิ่นและรสของน้ำ (Holden, 1970)) เพื่อใช้ประกอบการทำข้อ 4.

3.) ทำ Jar test หาปริมาณสารส้มที่ใช้ในการก่อตะกอน (Coagulation) และการรวมตะกอน (Flocculation)

4.) ทำ Chlorination อีกโดยใช้ Cl_2 ความเข้มข้น 3, 5, 7, 10, 15, และ 20 ppm และให้เวลาสัมผัสเป็น 1, 3, 6, 12, และ 24 ชั่วโมง ในน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง ในข้อ 2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นคลอรีนและระยะเวลาสัมผัสต่อการเกิด THMs นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หา THMs ที่เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

ก.) Pre - chlorination กำจัด Cl_2 ตกค้างออกก่อน และไม่กำจัด Cl_2 ตกค้างออกก่อน

ข.) Post - chlorination กำจัด Cl_2 ตกค้างออกก่อน และไม่กำจัด Cl_2 ตกค้างออกก่อน (จากข้อมูลของการประปานครหลวง พบว่า ความเข้มข้นของคลอรีน 3-5 ppm สำหรับการทำให้ Pre - chlorination และ 2-3 ppm สำหรับการทำให้ Post-chlorination ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง จะสามารถตรวจพบคลอรีนตกค้างในน้ำประปาภายใน 24 ชั่วโมงก่อนสูบจ่ายสู่ผู้บริโภค) (ภาคผนวก ข.)

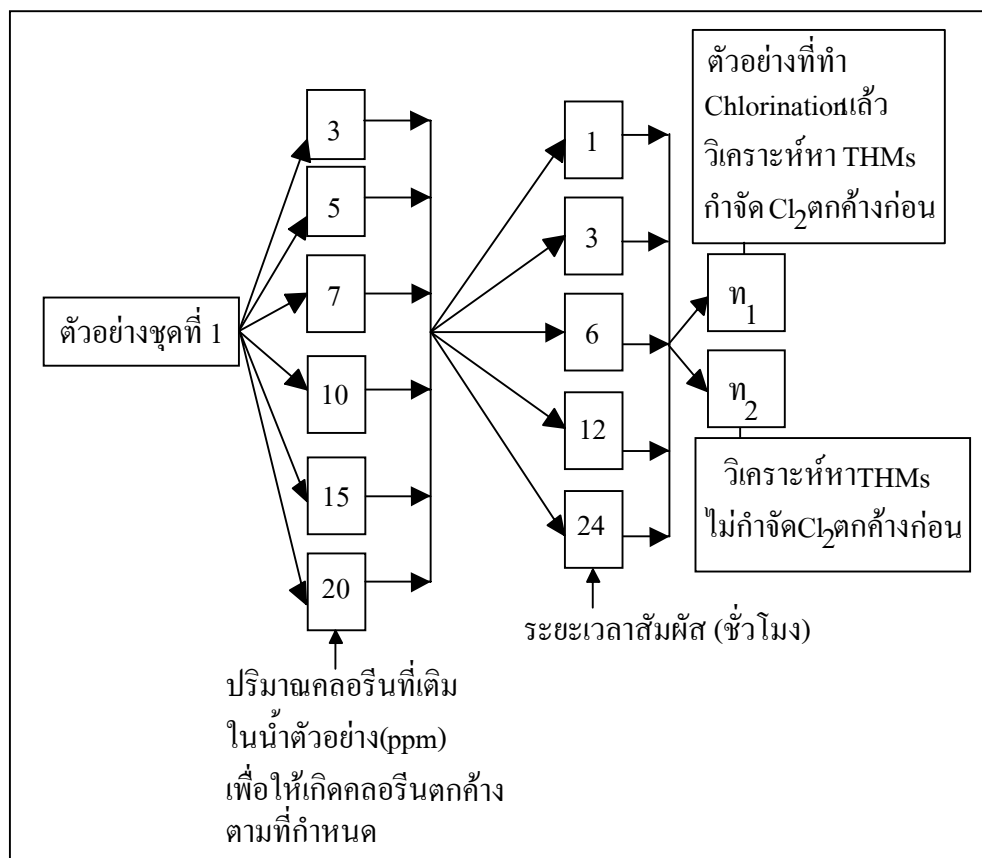
5.) ชุดที่ 2 นำน้ำตัวอย่างทำ Chlorination ตรวจวิเคราะห์หา THMs เปรียบเทียบระหว่าง Pre-chlorination และ Post - chlorination ดังภาพที่ 3-2

6.) นำตัวอย่างน้ำดิบ ก1 มาก่อตะกอน-รวมตะกอน-ตกตะกอน ด้วยสารส้มใช้เวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C เรียกว่า ตัวอย่าง ค1 และนำตัวอย่างน้ำดิบมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เรียกว่า ตัวอย่าง ข1 แล้วนำตัวอย่าง ก1 และ ข1 และ ค1 มาวิเคราะห์หา Humic acid และ THMs ในตัวอย่างน้ำ ก่อนและหลังทำ Chlorination ด้วยความเข้มข้นคลอรีน X, 2X, 1, 5, 20 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 และ 3 ชั่วโมง (ภาคผนวก จ.)

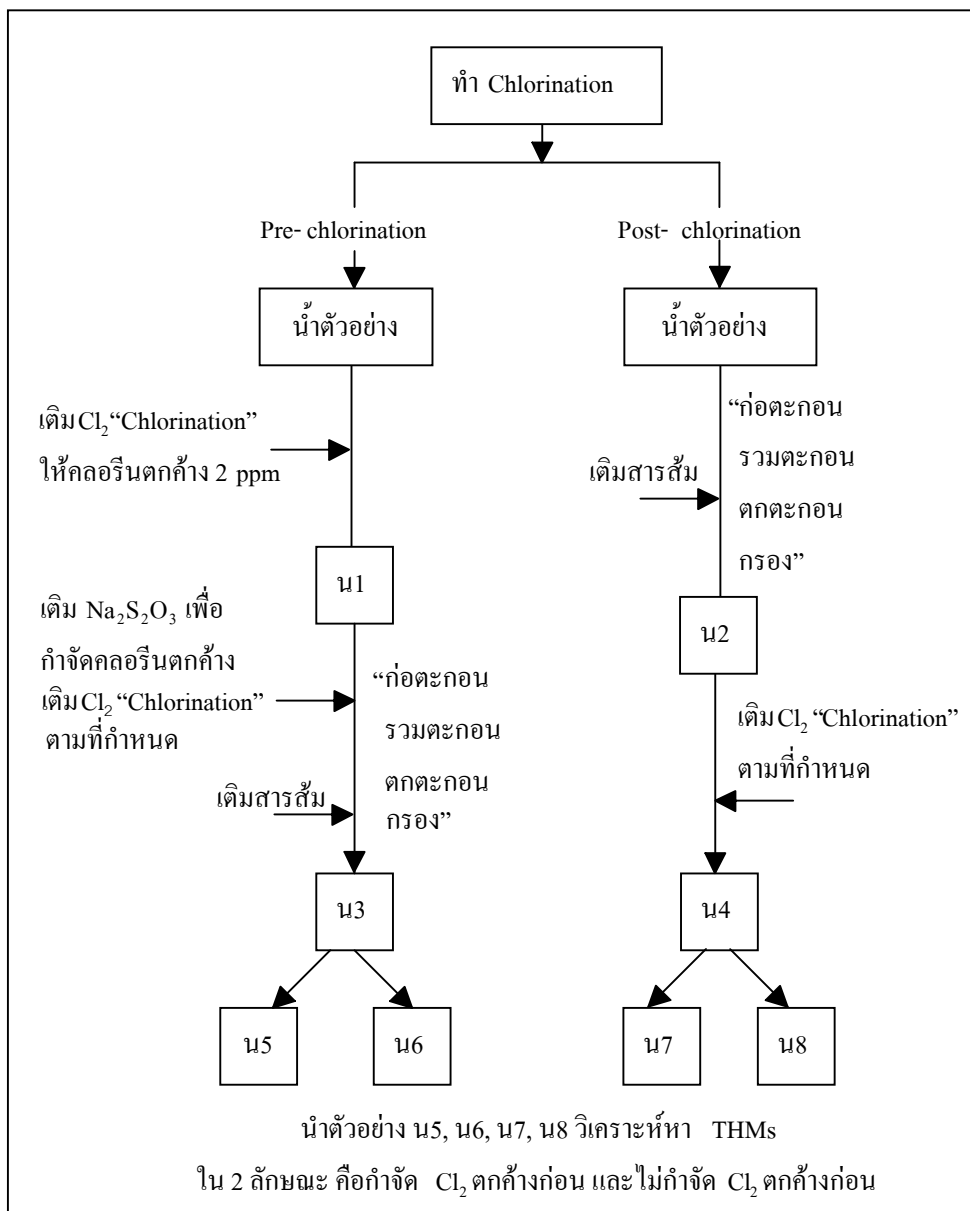
โดย X = ปริมาณคลอรีนที่ต้องเติมในน้ำตัวอย่างที่ทำให้มีคลอรีนตกค้าง 2.0 ppm

2X = 2 เท่าของปริมาณคลอรีนที่ต้องเติมในน้ำตัวอย่าง และ pH = 7

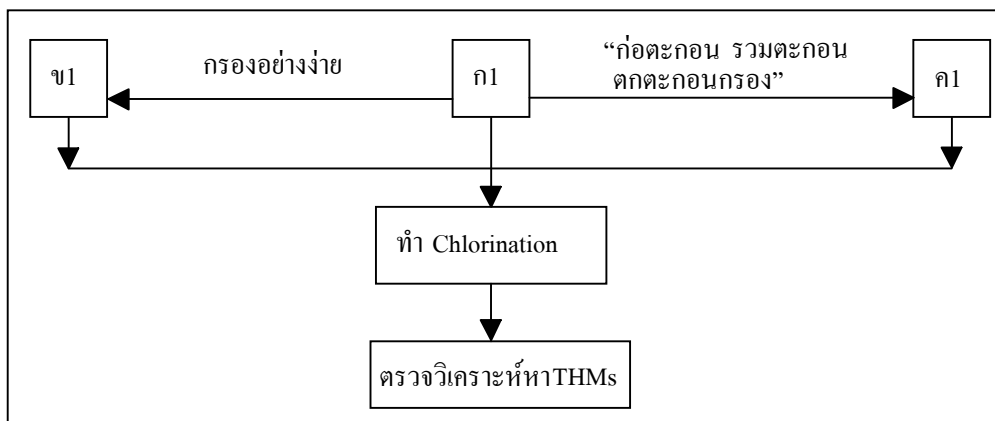
กวนเร็วสำหรับก่อกวนใช้ความเร็ว 100 รอบ/นาที ใช้เวลา 1 นาที
 กวนช้าสำหรับรวมตะกอนใช้ความเร็ว 30 รอบ/นาที ใช้เวลา 30 นาที
 ตกตะกอนใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการทดลองชุดที่ 1



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการทดลองชุดที่ 2



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการทดลองชุดที่ 3

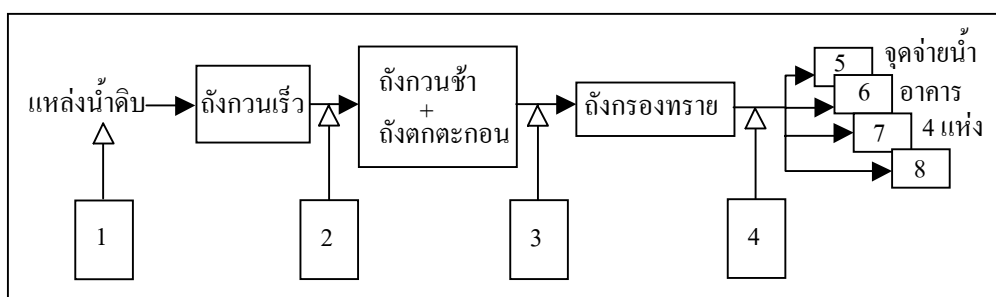
ข. ส่วนที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Humic acid และ THMs

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ 48 ตัวอย่าง จากจุดเก็บแม่น้ำลำตะคอง 24 จุด นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หา Humic acid แล้วเติมคลอรีนความเข้มข้น 20 ppm ใช้เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หา THMs หลังจากทำ Dechlorination แล้ว

3.6.2 การศึกษาในภาคสนามวิเคราะห์หาจลนศาสตร์ของ THMs (Kinetics of THMs) ในระบบประปาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ก. ระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิเคราะห์หาความขุ่น, คลอรีนตกค้าง, Humic acid, และ THMs ตามลำดับ ดังภาพที่ 3-4

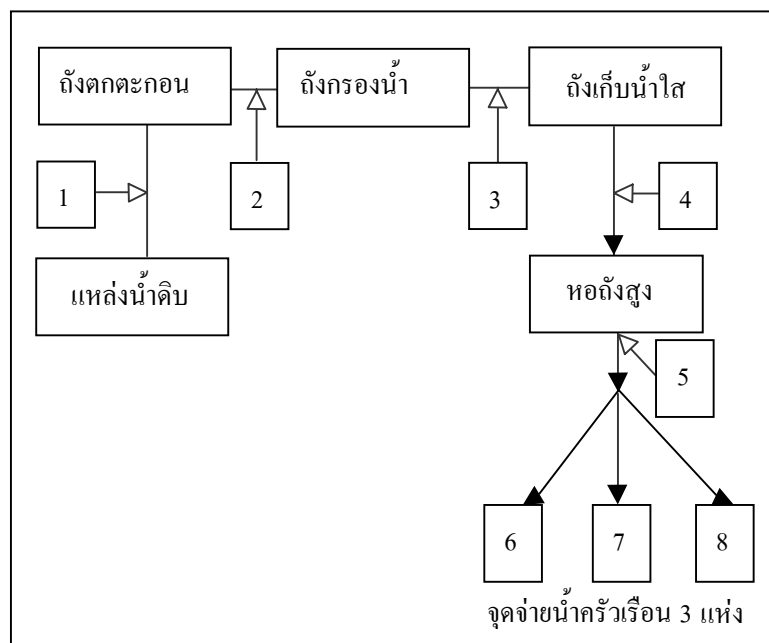


ภาพที่ 3-4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ของระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบประปา มทส. นี้มีการเติมคลอรีน ในจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 4 เป็นแบบ Post-chlorination (ดูภาพที่ 2-2 หน้า 12 ประกอบ)

ข. ระบบประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย

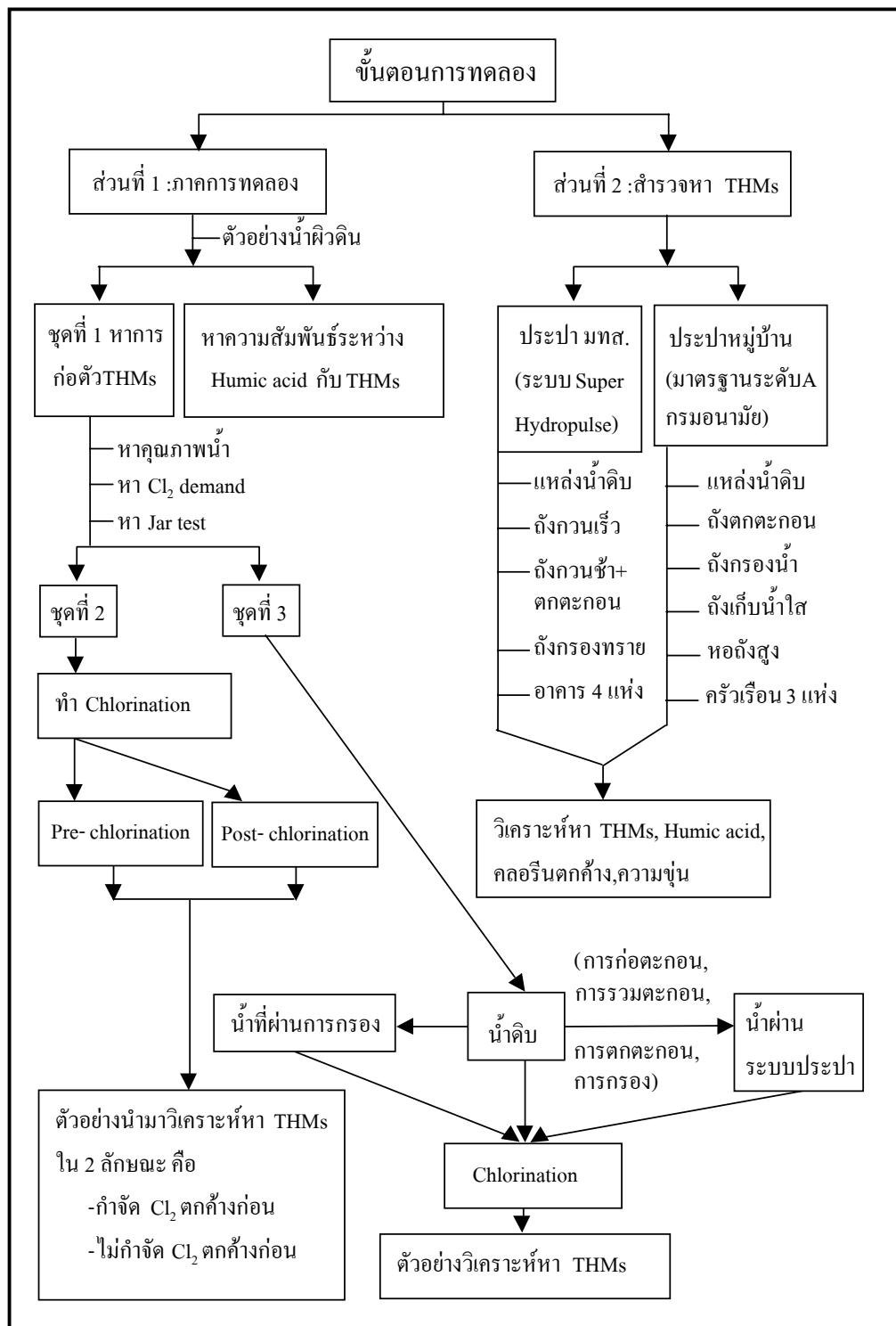
วิเคราะห์หาความขุ่น, คลอริเนตก้าง, Humic acid, และ THMs ตามลำดับดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ของระบบประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ
ของกรมอนามัย

ระบบประปาหมู่บ้านนี้มีการเติมคลอรีน ในจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 1 เป็นแบบ Pre-chlorination (ดูภาค
ผนวก ๓. ประกอบ)

3.7 แผนผังการทดลอง



ภาพที่ 3-6 แผนผังการทดลอง

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ในการวิจัย

วิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลด้วยการใช้กราฟเส้น, แผนภูมิ, ร้อยละ, ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) อธิบายลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Excel 7.0 และ SPSS/PC version 10.02

สถิติที่ใช้ T-Test แสดงการวิเคราะห์ปริมาณ THMs ในน้ำตัวอย่าง ที่กำจัด Cl_2 ตกค้างก่อน กับไม่กำจัด Cl_2 ตกค้างก่อน, ใช้ Paired T-Test แสดงการวิเคราะห์ปริมาณ THMs ในน้ำตัวอย่างที่เติม Cl_2 ก่อน (Prechlorination) กับเติม Cl_2 หลัง (Postchlorination) ผ่านระบบประปา, ใช้ ANOVA วิเคราะห์ปริมาณ THMs ในน้ำตัวอย่าง 3 แบบ คือ น้ำดิบ น้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย และน้ำที่ผ่านระบบประปา และวิเคราะห์ปริมาณ THMs ในน้ำตัวอย่างในขั้นตอนการผลิตน้ำประปาในระบบประปาชนบท, ใช้ Linear regression วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับปริมาณ THMs, ใช้ Linear regression วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนกับปริมาณ THMs, ใช้ Linear regression วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับปริมาณ THMs, วิเคราะห์และเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณ THMs ด้วยวิธี Stepwise regression, กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับ 0.05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล

4.1 ส่วนที่ 1 ภาคการทดลอง (รูปภาพที่ 3-6 ประกอบ)

จากผลการทดสอบค่าสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) พบว่า

ชุดที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอรีนแบบพรีคลอรีเนชัน (Pre-chlorination) และโพสคลอรีเนชัน (Post-chlorination) ทั้งแบบกำจัด และไม่กำจัด Cl_2 ก่อน โดยใช้คลอรีนที่ ความเข้มข้น 3, 5, 7, 10, 15, 20 ppm เวลาสัมผัส 1, 3, 6, 12, และ 24 ชั่วโมง ได้ ผลดังตารางที่ 4-1

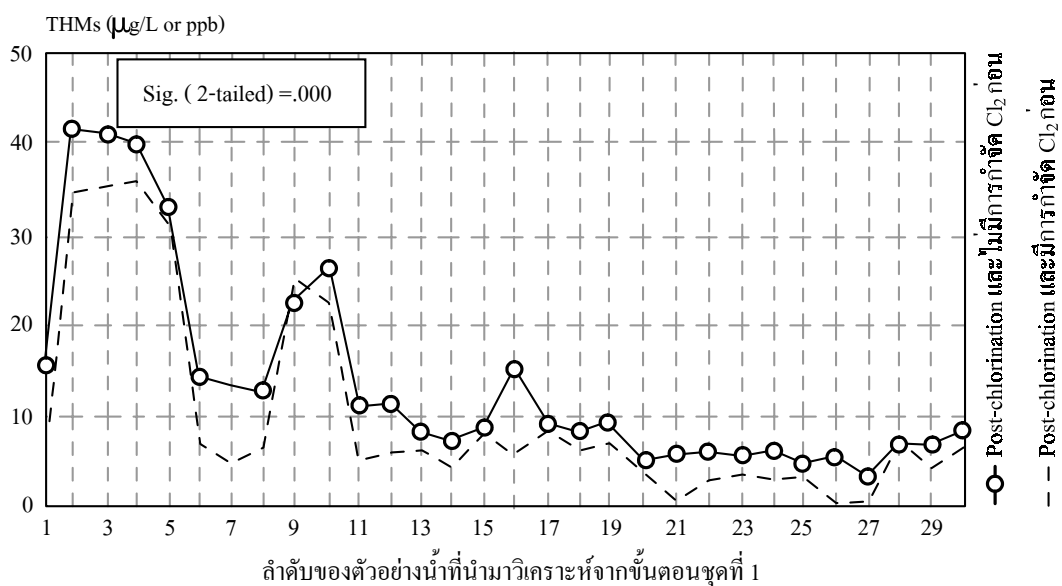
ตารางที่ 4-1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอรีนแบบพรีคลอรีเนชัน และโพสคลอรีเนชันทั้ง แบบกำจัดและไม่กำจัด Cl_2 ก่อน โดยใช้คลอรีนที่ ความเข้มข้น 3, 5, 7, 10, 15, 20 ppm เวลาสัมผัส 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง

ลำดับตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์	คลอรีนที่เติม/เวลา (ppm/hr)	THMs (Pre-chlorination ไม่มีการกำจัด Cl_2) (ppb)	THMs (Pre-chlorination มีการกำจัด Cl_2) (ppb)	THMs (Post-chlorination ไม่มีการกำจัด Cl_2) (ppb)	THMs (Post-chlorination มีการกำจัด Cl_2) (ppb)
1.	3/1	9.32	3.90	14.19	6.45
2.	3/3	5.84	2.14	40.86	32.88
3.	3/6	9.54	2.81	40.99	33.59
4.	3/12	7.34	4.41	40.25	34.04
5.	3/24	20.63	9.16	33.70	31.72
6.	5/1	10.65	4.30	13.25	7.44
7.	5/3	11.76	12.73	12.24	4.90
8.	5/6	30.02	15.61	11.43	6.03
9.	5/12	30.01	18.75	22.65	25.56
10.	5/24	53.74	32.88	25.73	23.71

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

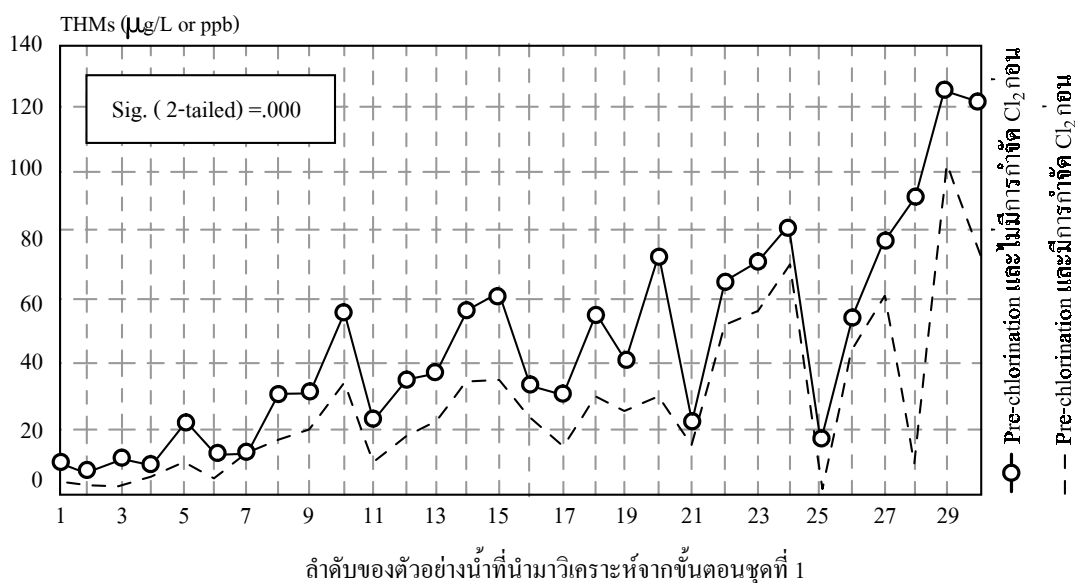
ลำดับ ตัวอย่างที่ ตรวจ วิเคราะห์	คลอรีน ที่เติม/ เวลา (ppm/hr)	THMs (Pre- chlorination ไม่มีการกำจัด Cl ₂) (ppb)	THMs (Pre- chlorination มีการกำจัด Cl ₂) (ppb)	THMs (Post- chlorination ไม่มีการกำจัด Cl ₂) (ppb)	THMs (Post- chlorination มีการกำจัด Cl ₂) (ppb)
11.	7/1	21.62	9.33	10.30	4.54
12.	7/3	33.87	17.33	10.71	5.92
13.	7/6	35.73	21.36	7.60	5.77
14.	7/12	55.41	34.22	7.27	3.58
15.	7/24	61.41	33.95	7.41	8.42
16.	10/1	31.24	22.08	14.93	3.46
17.	10/3	29.48	13.79	9.30	8.45
18.	10/6	54.78	28.67	7.46	6.09
19.	10/12	38.99	24.05	9.74	6.36
20.	10/24	71.77	30.49	3.16	4.57
21.	15/1	19.97	14.43	4.98	0.48
22.	15/3	64.39	50.96	3.29	5.24
23.	15/6	69.45	54.35	4.89	3.67
24.	15/12	81.32	70.63	3.02	5.40
25.	15/24	9.32	4.57	3.59	2.71
26.	20/1	53.06	42.88	0.21	4.44
27.	20/3	75.76	58.99	2.46	-
28.	20/6	90.98	6.54	6.80	6.50
29.	20/12	124.47	98.67	6.33	4.39
30.	20/24	118.13	70.77	3.23	6.41

1.) ปริมาณไตรฮาโลมีเทน ในตัวอย่างน้ำที่ทำการ Post-chlorination และ ไม่มีการกำจัด ก่อน มีค่ามากกว่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำที่ทำการ Post-chlorination และมีการกำจัด ก่อน โดยจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณความเข้มข้นคลอรีนและเวลาดัมพัสเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวอย่างได้ผ่านกระบวนการของระบบประปาเบื้องต้นมาก่อนทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างที่จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนลดลงตามลำดับ (ดูภาพที่ 4-1)



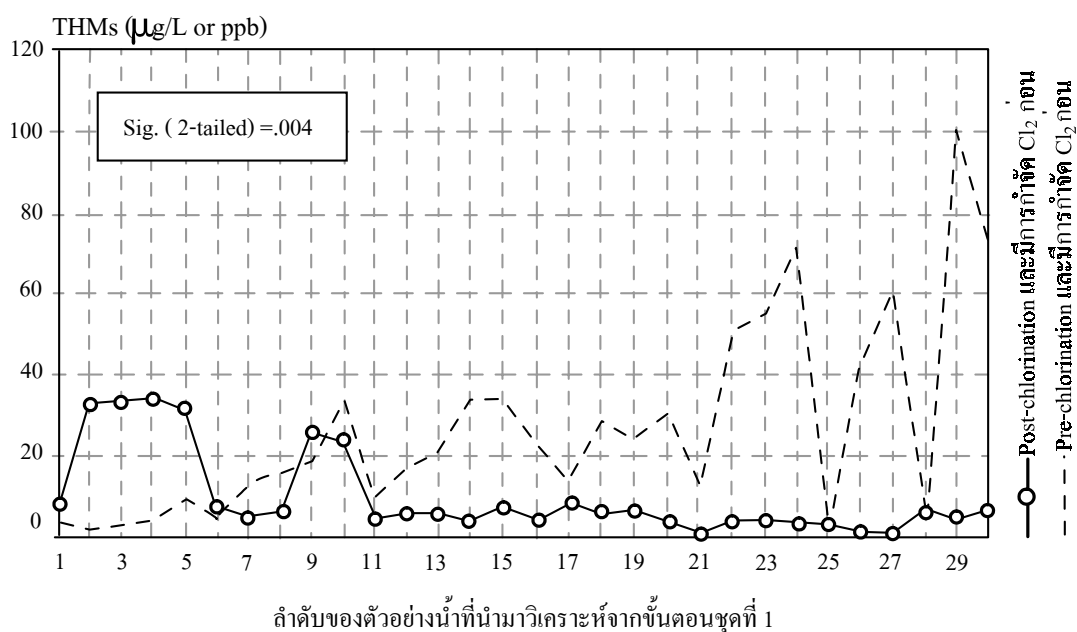
ภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และ ไม่มีการกำจัด Cl₂ ก่อนกับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และ มีการกำจัด Cl₂ ก่อน

2.) ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำที่ทำกร Pre-chlorination และ ไม่มีการกำจัด Cl_2 ก่อน มีค่ามากกว่าปริมาณไตรฮาโลมีเทน ในตัวอย่างน้ำที่ทำกร Pre-chlorination และ มีการกำจัด Cl_2 ก่อน โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณความเข้มข้นคลอรีนและเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากรูปแบบตัวอย่างไม่ได้ผ่านกระบวนการของระบบประปาเบื้องต้นมาก่อนทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (ดูภาพที่ 4-2)



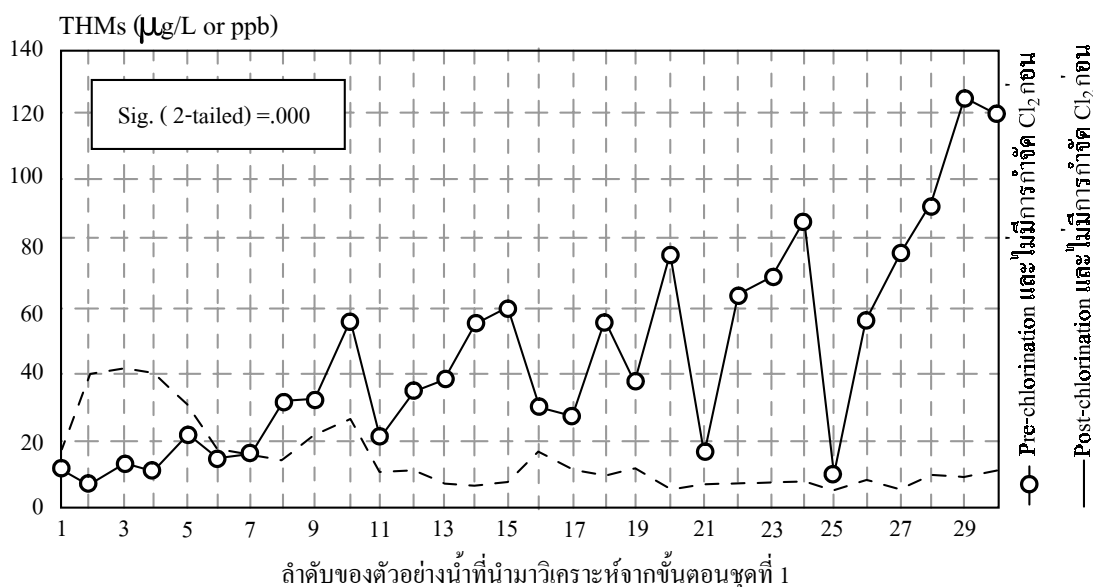
ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำกร Pre-chlorination และ ไม่มีการกำจัด Cl_2 ก่อน กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำกร Pre-chlorination และ มีการกำจัด Cl_2 ก่อน

3.) ปริมาณไตรฮาโลมีเทน ในตัวอย่างน้ำที่ทำการ Pre-chlorination และมีการกำจัด Cl_2 ก่อน มีค่ามากกว่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำที่ทำการ Post-chlorination และ มีการกำจัด Cl_2 ก่อน เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่ทำการ Pre-chlorination และ มีการกำจัด Cl_2 ก่อนยังไม่ได้ผ่านกระบวนการของระบบประปาเบื้องต้นมาก่อนทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (ดูภาพที่ 4-3)



ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Pre-chlorination และมีการกำจัด Cl_2 ก่อน กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำการ Post-chlorination และมีการกำจัด Cl_2 ก่อน

4.) ปริมาณไตรฮาโลมีเทน ในตัวอย่างน้ำที่ทำกร Pre-chlorination และไม่มีกรกำจัด Cl_2 ก่อน มีค่ามากกว่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำที่ทำกร Post-chlorination และไม่มีกรกำจัด Cl_2 เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่ทำกร Pre-chlorination และไม่มีกรกำจัด Cl_2 ก่อนยังไม่ได้ผ่านกระบวนการของระบบประปาเบื้องต้นมาก่อนทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (รูปภาพที่ 4-4)



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ทำกร Pre-chlorination และไม่มีกรกำจัด Cl_2 ก่อนกับปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างที่ทำกร Post-chlorination และไม่มีกรกำจัด Cl_2 ก่อน

ชุดที่ 3 ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณไตรฮาโลมีเทนจากตัวอย่างน้ำ 3 แบบ คือน้ำดิบ น้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย และน้ำที่ผ่านระบบประปา ที่เติมคลอรีนที่ความเข้มข้น 1, 2, 4, 5, 20 ppm ระยะเวลาสัมผัส 1, 3 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่างน้ำดิบที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่ายที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดฮิวมิกที่อยู่ในน้ำ

จากผลการทดสอบค่าสถิติ Simple linear regression ที่ $\alpha = 0.05$ พบว่า

ตัวอย่างน้ำดิบที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง

$$Y = (-62.799) + 87.083X \quad (\text{ดูภาพที่ 4-5})$$

ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่ายที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง

$$Y = (-57.626) + 6.602X \quad (\text{ดูภาพที่ 4-6})$$

(Y = ปริมาณไตรฮาโลมีเทน หน่วยเป็น $\mu\text{g/L}$, X = ปริมาณกรดฮิวมิก หน่วยเป็น mg/L)

ส่วนตัวอย่างน้ำดิบที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง, ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย ที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง, ตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบประปาที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณไตรฮาโลมีเทน ที่เกิดขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดฮิวมิก ในแนวเชิงเส้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 รวมทั้ง ตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบประปาที่เติม Cl_2 เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ได้เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าไตรฮาโลมีเทนได้ และพบว่าปริมาณคลอรีนที่เติมมีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย มากกว่าตัวอย่างน้ำดิบ และตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบประปา ค่าสถิติ Stepwise regression ได้ดังนี้

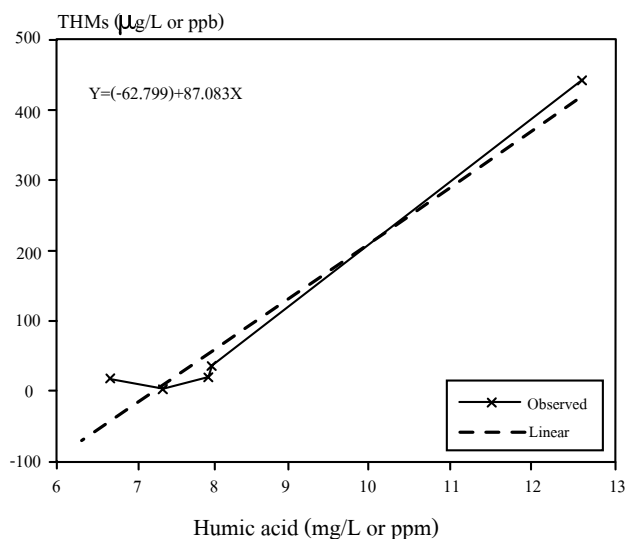
$$Y = 0.538 + 0.309X \quad (Y = \text{ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองอย่างง่าย หน่วยเป็น } \mu\text{g/L}, X = \text{ปริมาณคลอรีนที่เติม หน่วยเป็น } \text{mg/L as } Cl_2)$$

รวมทั้งพบว่าระยะเวลาสัมผัสมีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบประปามากกว่าตัวอย่างน้ำดิบ และตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย ค่าสถิติ Stepwise regression ได้ดังนี้

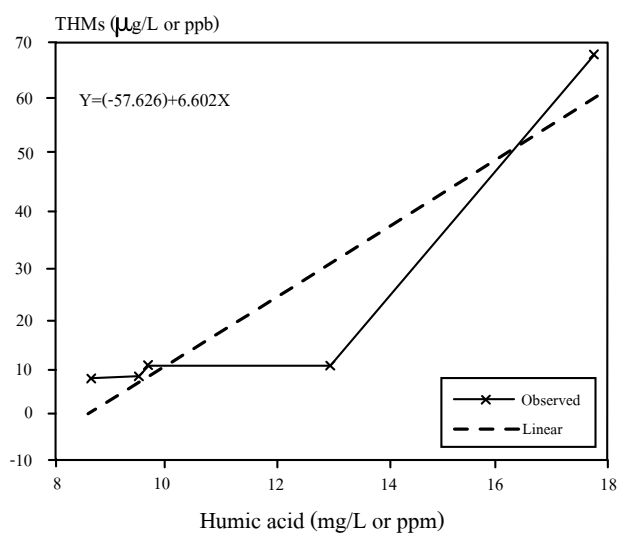
$$Y = 1.342 + 0.405X \quad (Y = \text{ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำตัวอย่างที่ผ่านระบบประปา หน่วยเป็น } \mu\text{g/L}, X = \text{ระยะเวลาสัมผัส หน่วยเป็น ชั่วโมง})$$

และศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและทดสอบความแตกต่างสำหรับตัวอย่างน้ำ 3 กลุ่มที่มาจากแหล่งเดียวกันและมีความสัมพันธ์กับการเกิด THMs โดยใช้ปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อทำปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้น X, 2X, 1, 5, 20 ppm (ดูภาคผนวก จ.) กับระยะเวลาสัมผัสที่ 1 และ 3 ชั่วโมง เป็นตัวควบคุม โดยใช้สถิติ One-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำทั้ง 3 แบบ ได้แก่ น้ำดิบ, น้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย และน้ำที่ผ่านระบบประปาเบื้องต้น (การก่อดตะกอน, รวมตะกอน, ตกตะกอน และกรอง) ที่ใช้ปริมาณคลอรีนในการเติมเพื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น X, 2X, 1, 5, 20 ppm (ดูภาคผนวก จ.) กับระยะเวลาสัมผัสที่ 1 และ 3 ชั่วโมง เป็นตัวควบคุม การเกิดไตรฮาโลมีเทนแตกต่างกัน (sig. = .000) และมีความแตกต่างกันภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มด้วยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 รวมทั้งศึกษาอิทธิพลต่อการเกิดไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างน้ำทั้ง 3 แบบ ของ

ปัจจัยดังกล่าว คือ ระยะเวลาสัมผัส และปริมาณความเข้มข้นคลอรีนที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้ สถิติ Two-way ANOVA สรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 4-5 ปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากปริมาณกรดฮิวมิกในตัวอย่างน้ำดิบที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง

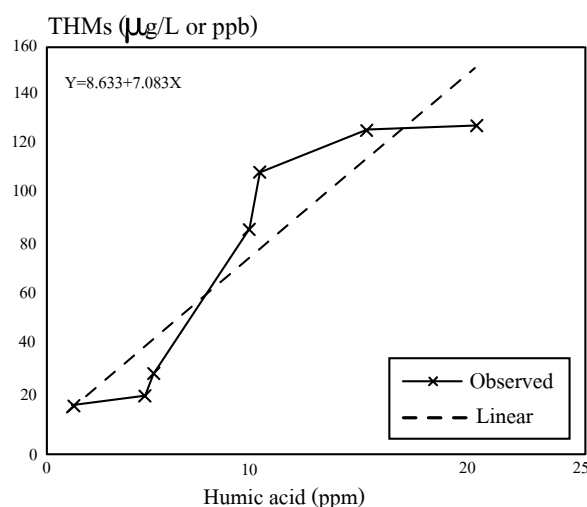


ภาพที่ 4-6 ปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากปริมาณกรดฮิวมิกในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่ายที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง

ส่วนที่ 1.2 หาความสัมพันธ์ปริมาณไตรฮาโลมีเทนกับกรดฮิวมิก ปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดฮิวมิก ผลการทดสอบค่าสถิติสมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) ได้ดังนี้

$$Y = 8.633 + 7.083X$$

(Y = ปริมาณไตรฮาโลมีเทน หน่วยเป็น $\mu\text{g/L}$, X = ปริมาณกรดฮิวมิก หน่วยเป็น mg/L)



ภาพที่ 4-7 แสดงผลการทดลองส่วนที่ 1.2 หาความสัมพันธ์ปริมาณไตรฮาโลมีเทนกับปริมาณกรดฮิวมิก

1. น้ำดิบ

1.1 ระยะเวลาสัมผัสในการทดลองไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำดิบหรือปริมาณ THMs ในตัวอย่างน้ำดิบในทุกช่วงเวลาในการทดลองไม่แตกต่างกัน (Sig. = .706 > .05) เนื่องจากใช้ช่วงระยะน้อยไป เพียงแค่ 2 ช่วง จึงไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ ดูตารางที่ 4-2

1.2 ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองมีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำดิบหรือปริมาณ THMs ในตัวอย่างน้ำดิบในทุกระดับปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองแตกต่างกัน (Sig. = .003 < .05) ดูตารางที่ 4-2

1.3 ระยะเวลาในการสัมผัสและปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำดิบเนื่องจากเส้นกราฟ Chlorine dose แต่ละเส้นเกือบจะขนานกัน ดูภาพที่ 4-8

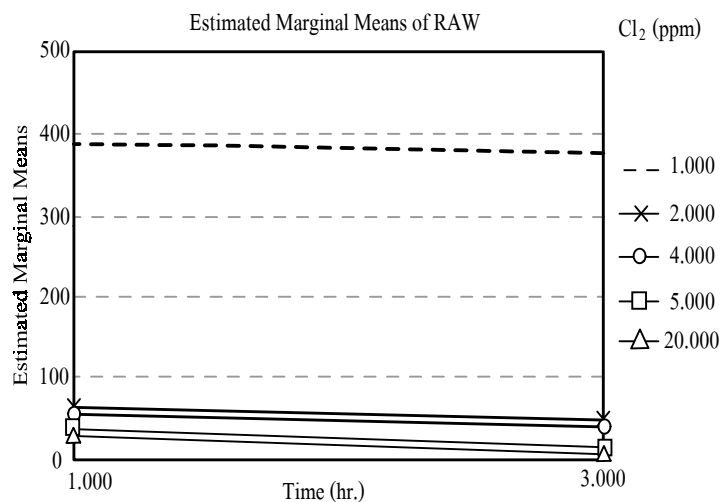
ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่ม (ตัวอย่างน้ำดิบ)

Test of Between – Subjects Effects (Dependent Variable : Raw water)

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	210514.582 ^b	5	42102.916	22.727	.005	113.636	.992
Intercept	98821.493	1	98821.493	53.344	.002	53.344	.999
TIME	304.373	1	304.373	.164	.706	.164	.062
Cl ₂	210210.209	4	52552.552	28.368	.003	113.472	.997
Error	7410.120	4	1852.530				
Total	316746.195	10					
Corrected Total	217924.702	9					

^a. Computed using alpha = .05

^b. R Squared = .966 (Adjusted R Squared =.923)



ภาพที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยเส้นขอบประมาณการของตัวอย่างน้ำดิบ

2. น้ำผ่านการกรองอย่างง่าย

2.1 เวลาสัมผัสในการทดลองไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิดTHMsในตัวอย่างน้ำดิบ เนื่องจากใช้ช่วงระยะน้อยไป เพียงแค่ 2 ชั่วโมง จึงไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ (Sig. = .444 > .05)

ดูตารางที่ 4-3

2.2 ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองมีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำดิบหรือปริมาณ THMs ในตัวอย่างน้ำผ่านการกรองอย่างง่ายในทุกระดับปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองแตกต่างกัน (Sig. = .000 < .05) ดูตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่ม (ตัวอย่างน้ำกรองอย่างง่าย)

Test of Between – Subjects Effects (Dependent Variable : Filter water)

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	4846.007 ^b	5	969.201	74.745	.000	373.724	1.000
Intercept	3596.712	1	3596.712	277.379	.000	277.379	1.000
TIME	9.312	1	9.312	.718	.444	.718	.102
Cl ₂	4836.694	4	1209.174	93.252	.000	373.006	1.000
Error	51.867	4	12.967				
Total	8494.586	10					
Corrected Total	4897.874	9					

^a Computed using alpha = .05

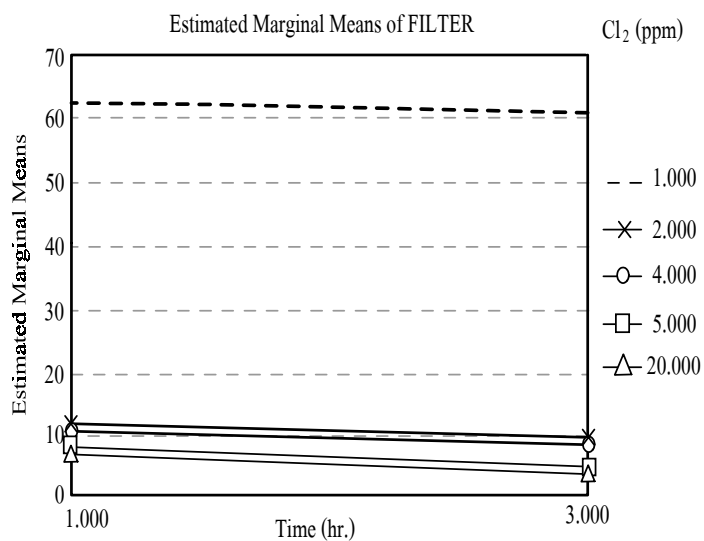
^b R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .976)

2.3 ระยะเวลาในการสัมผัสและปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำผ่านการกรองอย่างง่ายเนื่องจากเส้นกราฟ Chlorine dose แต่ละเส้นเกือบจะขนานกัน ดูภาพที่ 4-9

3. น้ำผ่านระบบประปาเบื้องต้น

3.1 ระยะเวลาสัมผัสในการทดลองมีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำผ่านระบบประปาเบื้องต้นหรือปริมาณ THMs ในตัวอย่างน้ำผ่านระบบประปาเบื้องต้นใน ทุกช่วงเวลาในการทดลองแตกต่างกัน เนื่องจากช่วงเวลาที่ 1 ชั่วโมง ไม่พบปริมาณ THMs เลย ส่วนที่ 3 ชั่วโมง ตรวจพบปริมาณ THMs ทุกตัวอย่าง (Sig. = .01 < .05) ดูตารางที่ 4-4

3.2 ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำดิบหรือปริมาณ THMs ในตัวอย่างน้ำดิบในทุกระดับปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองไม่แตกต่างกัน เนื่องจากที่ช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณคลอรีนที่แตกต่างกันแต่ตรวจไม่พบปริมาณ THMs เลย (Sig. = .5 < .05) ดูตารางที่ 4-4



ภาพที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยเส้นขอบประมาณการของตัวอย่างน้ำผ่านการกรองอย่างง่าย

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่ม (ตัวอย่างน้ำประปาเบื้องต้น)

Test of Between – Subjects Effects

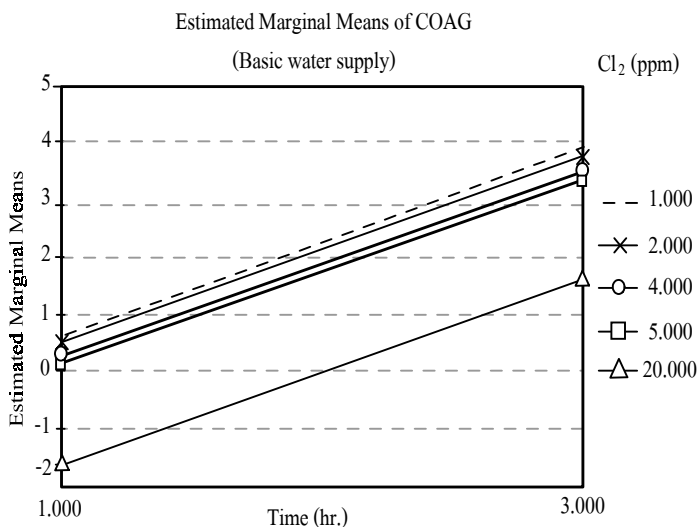
Dependent Variable : Basic water supply (or Coag. Water)

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	33.198 ^b	5	6.640	3.873	.107	19.366	.443
Intercept	26.341	1	26.341	15.366	.017	15.366	.830
TIME	26.341	1	26.341	15.366	.017	15.366	.830
Cl ₂	6.857	4	1.714	1.000	.500	4.000	.142
Error	6.857	4	1.714				
Total	66.397	10					
Corrected Total	40.056	9					

^a. Computed using alpha = .05

^b. R Squared = .829 (Adjusted R Squared = .615)

3.3 ระยะเวลาในการสัมผัสและปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนในการทดลองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณการเกิดTHMsในตัวอย่างน้ำผ่านระบบประปาเบื้องต้นเนื่องจากเส้นกราฟ Chlorine Dose แต่ละเส้นเกือบจะขนานกัน ดูภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยเส้นขอบประมาณการของตัวอย่างน้ำประปาเบื้องต้น

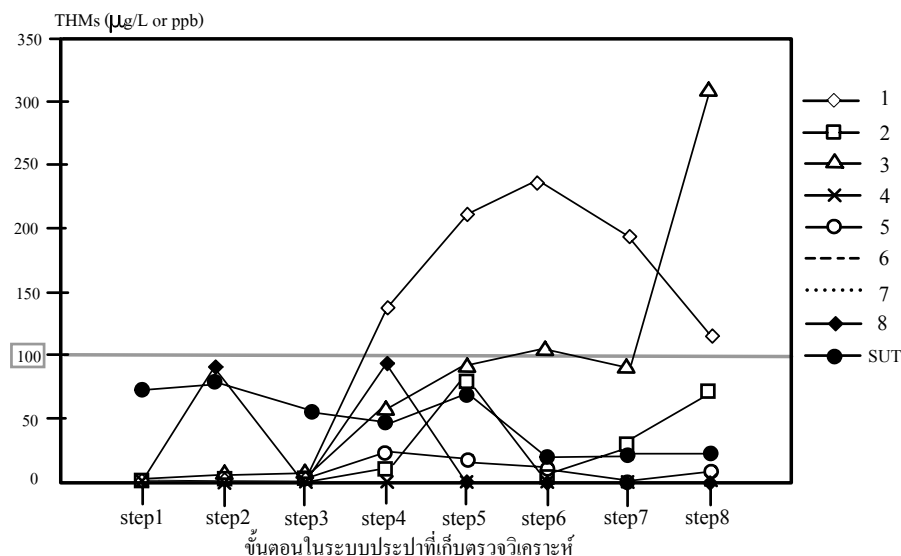
4.2 ส่วนที่ 2 การสำรวจหาปริมาณไตรฮาโลมีเทน

โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากขบวนการต่าง ๆ ของระบบประปาได้แก่ ระบบประปamahavithayalai เทคโนโลยีสุรนารี และประปาหมู่บ้าน มาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย 8 แห่ง วิเคราะห์หาปริมาณกรด ฮิวมิก, ความขุ่น, คลอรีนตกค้าง และไตรฮาโลมีเทน จากผลการตรวจคุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรียจากแหล่งน้ำดิบของประปาทั้ง 2 ระบบ เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2527 พบว่ามีบางพารามิเตอร์เกินมาตรฐานน้ำดื่มได้แก่ สี, ความขุ่น, เหล็ก, แมงกานีส โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำดิบที่เกินมาตรฐานจึงจำเป็นต้องมีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในระบบประปา ทั้ง 2 ระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4-5 และจากการวิเคราะห์หาปริมาณ THMs จากขบวนการต่าง ๆ ของระบบทั้ง 2 ระบบ จำนวน 9 แห่ง พบปริมาณ THMs ทุกขั้นตอนในระบบประปาทุกแห่ง โดยพบ 2 แห่ง จากระบบประปาชนบท ที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำสุดท้าย คือ ที่ครัวเรือนผู้ใช้น้ำมีปริมาณ THMs เฉลี่ยเท่ากับ 180.73 และ 171.89 $\mu\text{g/L}$ สูงกว่าค่าเฉลี่ยที่ U.S.EPA ยอมรับได้ คือ ไม่เกิน 100 $\mu\text{g/L}$ จากการสำรวจและสอบถาม พบว่า เครื่องเติมคลอรีนอัตโนมัติเสีย ผู้ควบคุมดูแลระบบประปาใช้วิธีการเดิมโดยนำคลอรีนผสมน้ำทำให้ปริมาณคลอรีนสูงเกินมาตรฐานและเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำทำให้พบปริมาณ THMs สูงขึ้น ดูภาพที่ 4-11 และตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-5 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรียจากแหล่งน้ำดิบของ
ประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และประปamahวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) เปรียบเทียบกับ
กับมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2527

ลำดับตัวอย่าง พารามิเตอร์ที่วัด	แหล่งน้ำดิบของระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง								SUT (มทส.) S/1	WHO ปี 2527
	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/1	8/1		
ความเป็นกรด-ด่าง	9.4	8.0	7.6	7.3	7.6	6.5	8.7	7.6	7.8	6.5-8.5
สี (แพลตตินัมโคบอลท์)	15	30	20	35	25	100	25	10	30	15
ความขุ่น (NTU)	1.2	3.2	4.5	39.0	6.7	41.0	3.6	17.0	14.0	5
TDS (mg/L)	1498	378	231	182	301	77	294	1526	266	1,000
Hardness (mg/l as CaCO ₃)	253	170	134	84	163	32	168	69	103	500
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4	12	13	6	21	17	3	2	19	400
Cl ⁻ (mg/L)	775	55	18	19	23	13	30	10	39	250
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.58	0.83	0.68	0.69	0.90	0.82	0.92	0.85	0.97	10
F ⁻ (mg/L)	0.52	0.31	0.18	0.30	0.28	0.087	0.24	0.21	0.37	1.5
COD (mg/L)	3.75	3.01	9.00	4.06	3.13	5.91	4.61	2.04	3.12	-
BOD (mg/L)	1.90	1.5	4.6	1.9	1.7	2.9	2.2	1.1	1.2	-
Fe (mg/L)	0.116	0.518	0.153	0.307	0.263	2.574	0.171	0.228	0.433	0.3
Mn (mg/L)	0.023	1.219	0.036	0.700	0.345	2.924	0.056	0.043	0.031	0.1
Cu (mg/L)	0.048	0.044	0.044	0.046	0.047	0.043	0.044	0.014	0.038	1.0
Zn (mg/L)	-	-	0.019	0.020	0.010	0.039	0.014	0.010	0.010	5.0
Pb (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
Cr (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	0.067	-	0.05
Cd (mg/L)	0.026	0.026	0.017	0.014	0.014	0.018	0.020	0.003	0.003	0.005
โคลิฟอร์ม (MPN/100ml)	10	100	1300	170	500	110	<20	20	30	0
ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100ml)	2	20	170	4	50	40	<20	<20	8	0

■ ค่าในกรอบสีเทา หมายถึง ค่าที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มที่องค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2527



ภาพที่ 4-11 ปริมาณ THMs ในขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และประปา มทส. ของ จ.นครราชสีมา

ตารางที่ 4-6 ปริมาณการเกิดไตรฮาโลมีเทนที่เกิดจากขบวนการต่าง ๆ ของระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และประปา มทส. ของ จ.นครราชสีมา

ขั้นตอนในระบบประปาหมู่บ้าน	ระบบประปาหมู่บ้าน (แห่งที่)								ขั้นตอนในระบบประปามทส.(SUT)	
	1	2	3	4	5	6	7	8		
step1 แหล่งน้ำดิบ	2.84	3	5.12	0.44	3.32	2.42	2.94	0.64	step1 แหล่งน้ำดิบ	73.91
step2 ถังตกตะกอน	1.38	2.84	7.33	0.48	3.15	2.96	2.92	94.68	step2 ถังตกตะกอน	87.95
step3 ถังกรองน้ำ	0.79	1.56	8.89	0.48	3.81	2.78	2.69	0.64	step3 ถังกรองน้ำ	64.76
step4 ถังเก็บน้ำใส	144.86	15.76	64.67	8.89	36.52	3.14	4.06	98.61	step4 ถังเก็บน้ำใส	54.47
step5 หอถังสูง	213.51	79.05	91.51	7.74	32.58	3.1	3.03	2.81	step5 จุดจ่ายน้ำ ห้องพักสูรนิเวศ 2	82.58
step6 จุดจ่ายน้ำครัวเรือน	240.02	8.15	105.6	5.01	20.1	3.24	4.01	2.19	step6 จุดจ่ายน้ำ อาคารเรียนรวม	31.83
step7 จุดจ่ายน้ำครัวเรือน	190.62	36.17	91.14	6.91	7.63	4.03	4.3	2.99	step7 จุดจ่ายน้ำอาคาร กิจกรรม นศ.	33.14
step8 จุดจ่ายน้ำครัวเรือน	111.54	74.49	318.9	7.2	19.9	3.56	3.75	3.12	Step8 จุดจ่ายน้ำ โรงอาหารกลาง	33.34

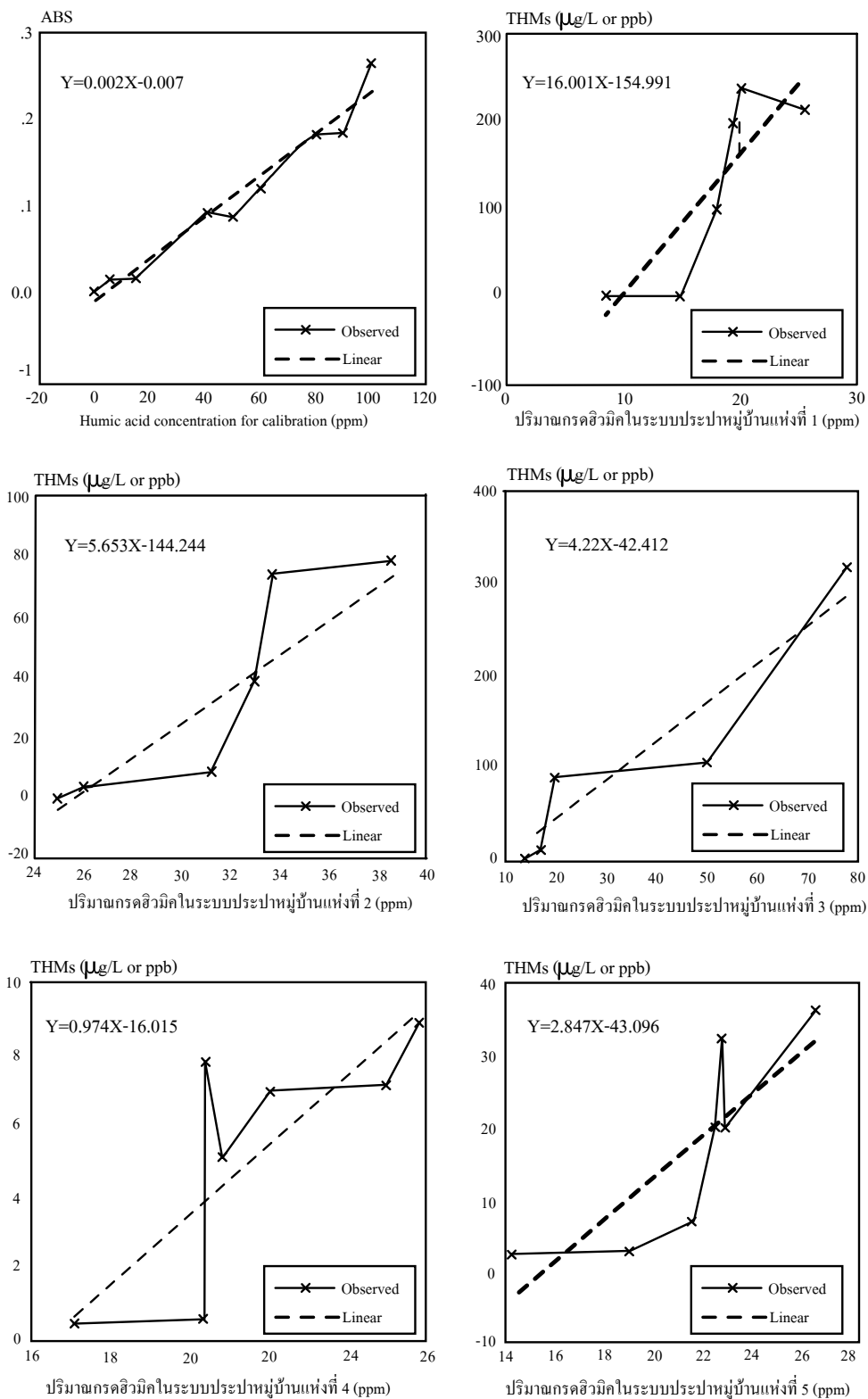
แถบสีเทาคือ ค่า THMs ที่ตรวจวัดได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำจากครัวเรือนและอาคารที่ใช้น้ำ ดูหน้า 146-148

และจากผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณกรดฮิวมิก ความขุ่น คลอริเนตค้ำ และ THMs นำมาหาความสัมพันธ์การเกิดสาร THMs ในสถานะท้องถิ่นแต่ละแห่งที่ทำการสำรวจ ผลการศึกษาพบว่าคลอริค้ำ ความขุ่น และกรดฮิวมิกมีความสัมพันธ์ กับสาร THMs ในเชิงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกี่ยวข้องกับสารตั้งต้นที่ทำให้เกิด THMs ดังแสดงในตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-12 – 4-17

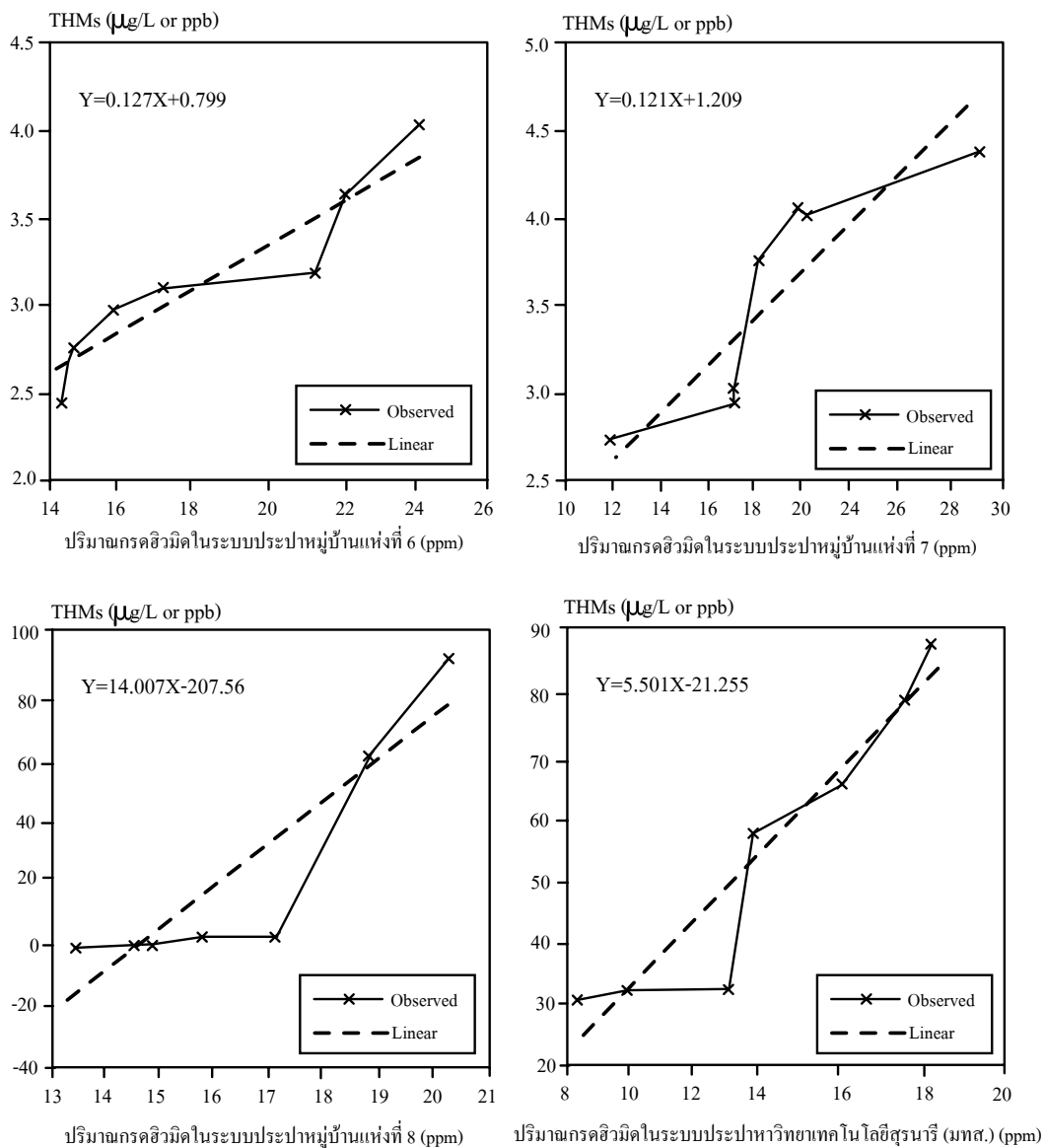
ตารางที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดฮิวมิก ความขุ่น คลอริเนตค้ำ และไตรฮาโลมีเทนของประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย 8 แห่ง ในจังหวัดนครราชสีมาจากผลการทดสอบค่าสถิติสมการเชิงเส้นอย่างง่าย ($\alpha=0.05$)

ระบบประปา	ความขุ่น	คลอริเนตค้ำ	กรดฮิวมิก
1. บ้านดอนพวา ม.5 ต.ลำคองษ์ อ. โนนสูง	$Y=264.097X - 154.203$	$Y= 262.04X +17.223$	$Y=16.011X - 154.991$
2. บ้านหินตั้ง ม.5 ต.เสมา อ.สูงเนิน	$Y= 37.969X - 31.695$	$Y= 192.652X +7.403$	$Y = 5.653X - 144.244$
3. บ้านศรีละกอ ม.3, 4 ต.ศรีละกอ อ.จักราช	$Y= 105.362X -106.956$	$Y= 165.0X + 22.916$	$Y = 4.244X - 42.412$
4. บ้านโปรงแดง ม.3 ต.โปรง แดง อ.ขามทะเลสอ	$Y= 1.477X + 4.77 \times 10^{-2}$	$Y= 204.354X +1.323$	$Y = 0.974X - 16.015$
5. บ้านโลกสะอาด-ป่าโจด ม.1,7,11 ต.สุขเกษม อ.ปักธงชัย	$Y = 10.099X - 1.544$	$Y= 314.554X - 1.031$	$Y = 2.847X - 43.096$
6. บ้านดอนแขวน ม.2, 1 ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง	$Y = 0.989 + 1.665X$	$Y = 57.214X + 2.439$	$Y = 0.127X + 0.799$
7. บ้านหนองเข้ตูม ม.1 ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง	$Y = 4.234X - 1.036$	$Y = 113.5X + 1.76$	$Y = 0.121X + 1.209$
8. บ้านเกลียงโคก ม.4 ต.เกลียงโคก อ.ครบุรี	$Y = 58.938X - 42.069$	$Y = 153.694X+7.843$	$Y=14.007X - 207.56$
9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี	$Y = 64.766X + 11.602$	$Y = 92.29X+34.214$	$Y=5.501X - 21.255$

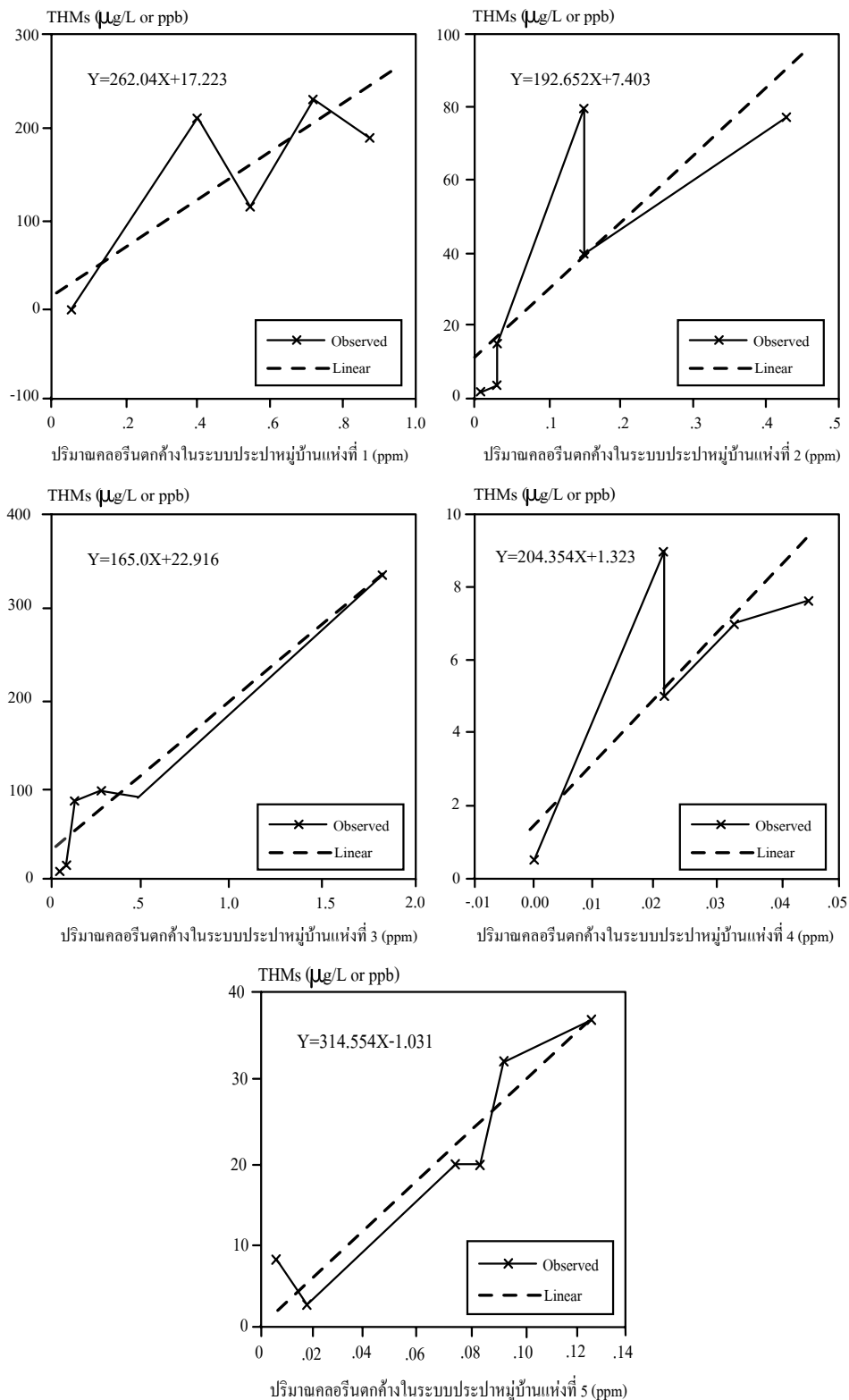
(Y = ปริมาณTHMs ($\mu\text{g/L}$), X = ปริมาณความขุ่นอ่านค่าเป็น NTU, ปริมาณคลอริเนตค้ำอ่านค่าเป็น mg/L as Cl_2 , ปริมาณกรดฮิวมิกอ่านค่าเป็น $\text{mg/L as Humic acid}$)



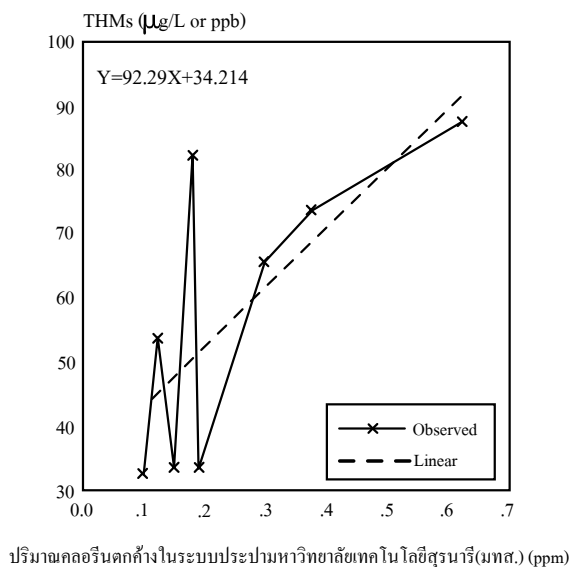
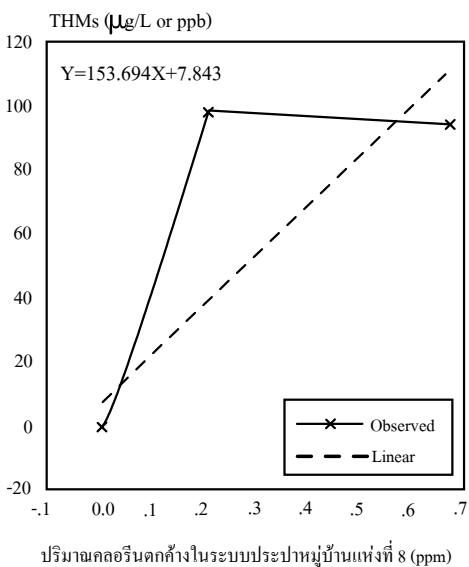
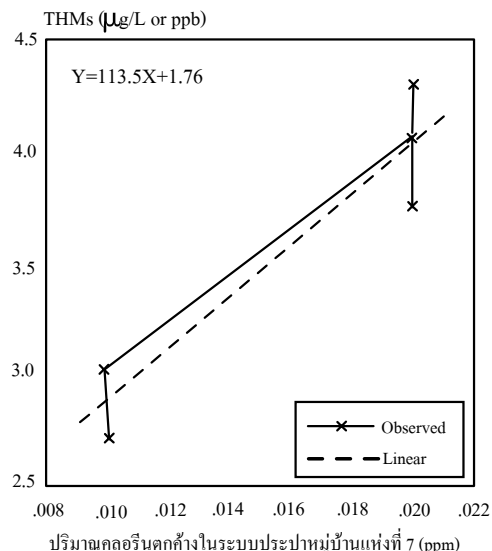
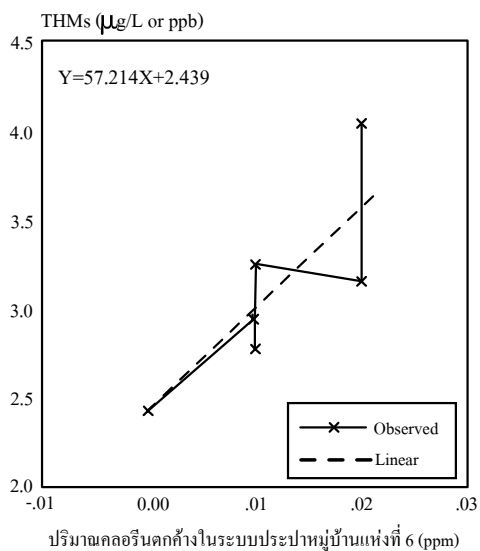
ภาพที่ 4-12 Calibration Curve of Humic acid และความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับ ไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 1 – 5



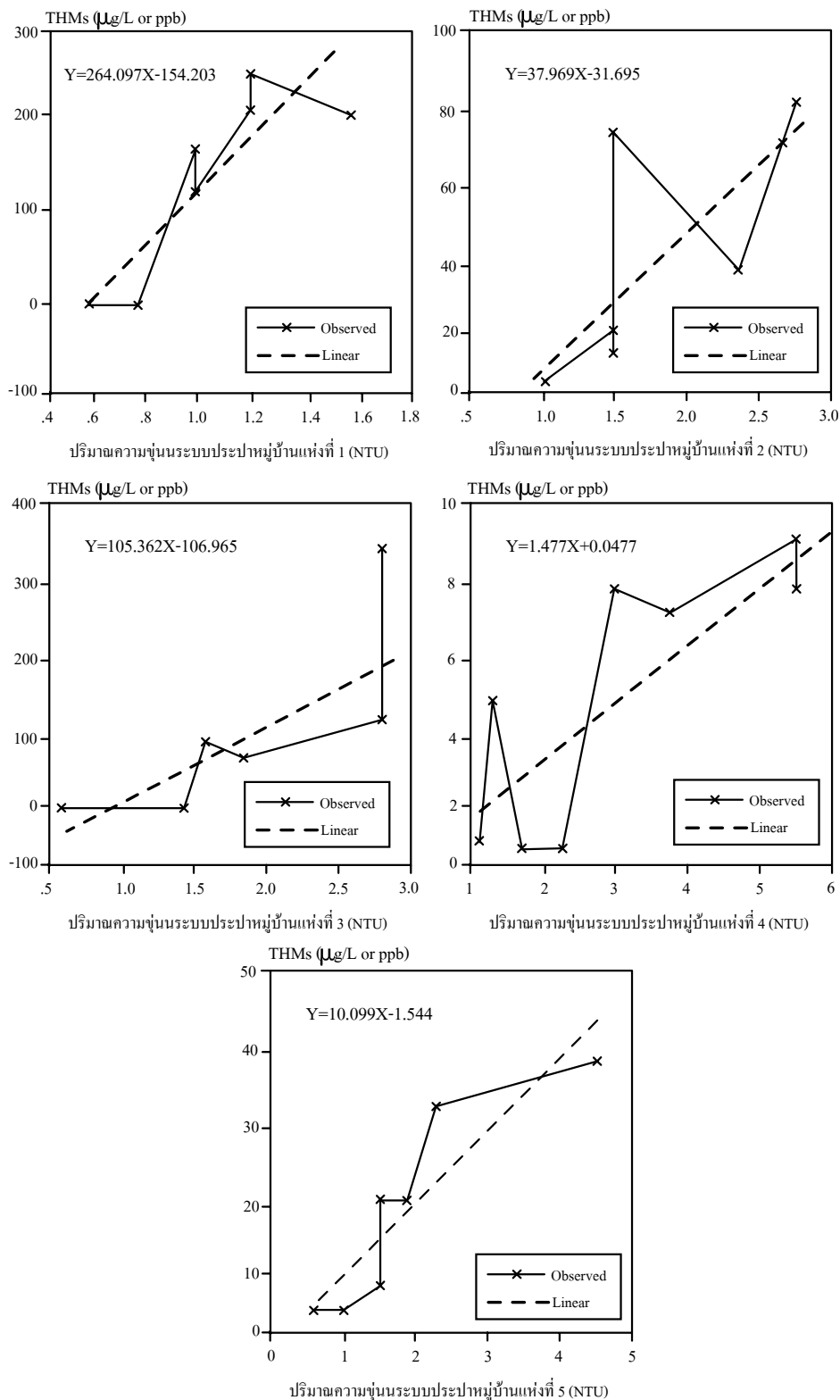
ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 6 – 8 และในระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)



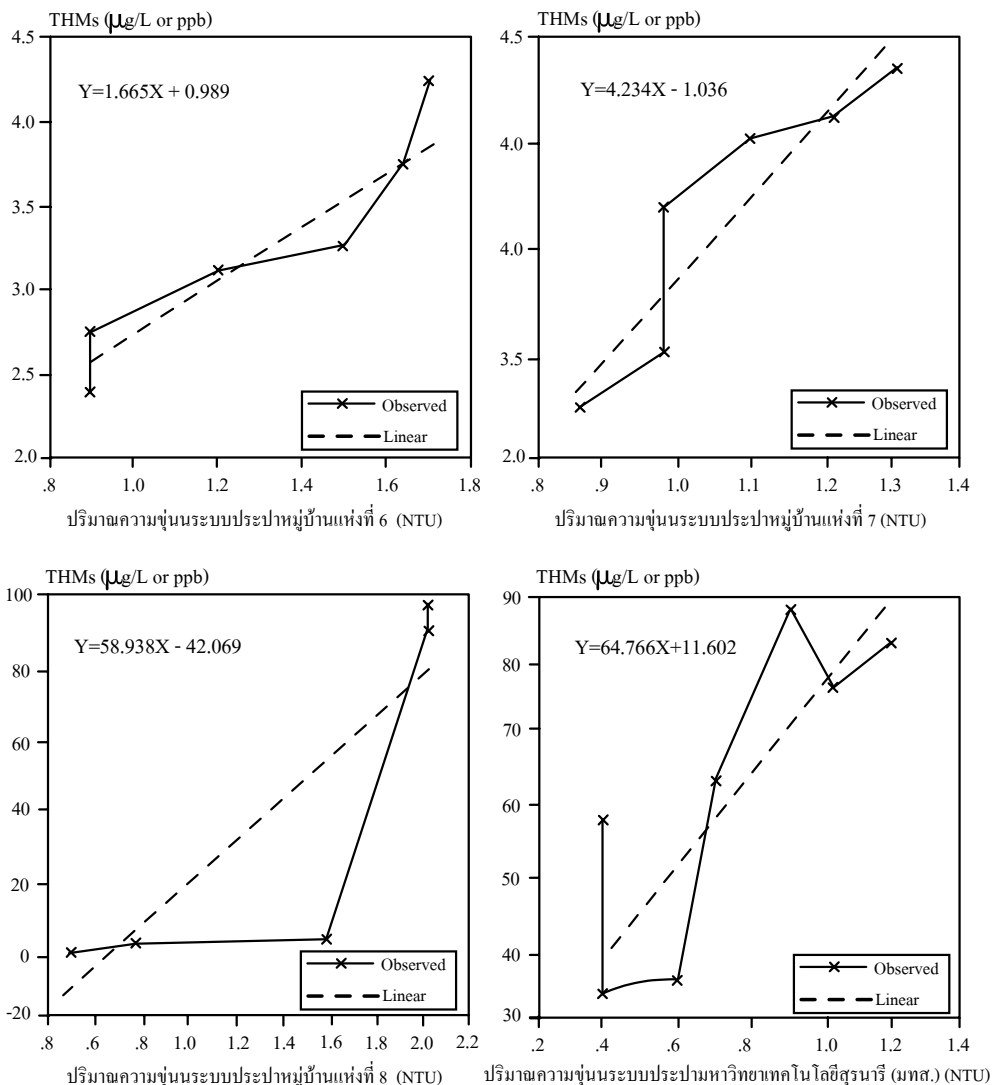
ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน
 แห่งที่ 1 – 5



ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน
แห่งที่ 6 – 8 และในระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)



ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้าน
 แห่งที่ 1 – 5



ภาพที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 6 – 8 และในระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)

4.3 จลนศาสตร์ของการเกิดไตรฮาโลมีเทน (Kinetics of THMs formations)

นักวิจัยจำนวนหนึ่งได้พยายามหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายการก่อตัวของสารที่เป็นผลลัพท์จากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (Disinfection By-products or DBP formation) จากความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่ายภายใต้การควบคุมเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การเกิด THMs กับปริมาณความเข้มข้นของ TOC (Total organic carbon), ค่าดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ต (UV-absorbance) และ ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ โดยการทดลองเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ในอเมริกาจำนวน 9 แห่ง ภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมคือ pH, อุณหภูมิ และปริมาณความเข้มข้นคลอรีนที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างน้ำถูกทำให้แตกต่างกันด้วยสารละลายโบรไมด์ โดยวัดปริมาณความเข้มข้น THMs ที่เวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 0.1 ถึง 168 ชั่วโมง วิเคราะห์ด้วยสถิติ Multiple regression จำนวน 995 ชุดของตัวอย่างข้อมูล ได้สมการในทางปฏิบัติ ดังนี้ (Amy et al., 1987)

$$[TTHM = 0.00309[(TOC)](UV-254)]^{0.440}(Cl_2)^{0.409}(t)^{0.265}(T)^{1.06}(pH-2.6)^{0.715}(Br+1)^{0.036}] \quad (4-1)$$

โดยประกอบด้วยปัจจัยที่จำเป็นทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อการเกิด THMs คือ

TTHM = ปริมาณความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด หน่วยเป็น $\mu\text{g/L}$

TOC = ปริมาณความเข้มข้นของ Total organic carbon หน่วยเป็น mg/L

แทนสารอินทรีย์ในธรรมชาติ (THM precursors)

UV-254 = ค่าดูดกลืนแสง Ultra-violet ที่ 254 nm (cm^{-1})

Cl_2 = ปริมาณความเข้มข้นของ Cl_2 หน่วยเป็น mg/L

t = เวลา (ชั่วโมง)

T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

pH = ความเป็นกรด-ด่าง

Br = ปริมาณความเข้มข้นของโบรไมด์ หน่วยเป็น mg/L

ซึ่งสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (The United State Environmental Protection Agency : U.S.EPA) ได้ใช้เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนมาตรการในการควบคุม DPB (Disinfection By-product) และฐานข้อมูลในการพัฒนาสมการ (1) ยังได้นำมาหาสมการในทางปฏิบัติของ THMs แต่ละชนิดโดยการวิเคราะห์ค่าสถิติ Stepwise multiple regression ด้วยโปรแกรม Water treatment plant simulation program version 1.21 ได้สมการในทางปฏิบัติของคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) และ ไดโบรโมคลอโรมีเทน (CHBrCl_2) หน่วยเป็น $\mu\text{g/L}$ ดังนี้ (Malcolm Pirnie Inc, 1992)

$$[\text{CHCl}_3 = 0.278[(TOC)](UV-254)]^{0.616}(Cl_2)^{0.391}(t)^{0.265}(T)^{1.15}(pH-2.6)^{0.800}(Br+1)^{-2.23}] \quad (4-2)$$

$$[\text{CHBrCl}_2 = 0.863[(\text{TOC}) (\text{UV-254})]^{0.177}(\text{Cl}_2)^{0.309}(\text{t})^{0.271}(\text{T})^{0.720}(\text{pH}-2.6)^{0.925}(\text{Br}+1)^{0.722}] \quad (4-3)$$

จากสมการ (4-1), (4-2), (4-3) พบว่าความสัมพันธ์ในเชิงเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ (THMs precursor) ได้แก่ TOC (Total organic carbon) กับปริมาณความเข้มข้น THMs ที่เกิดขึ้น จากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Chlorination) และจากผลการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งใช้ Humic acid เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ (THMs precursor) ก็พบความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณ THMs จากการทดสอบค่าทางสถิติได้สมการเชิงเส้น (Linear equation) ดังนี้

$$Y = 8.633 + 7.083X \quad (\text{ดูภาพที่ 4-7})$$

(Y = ปริมาณไตรฮาโลมีเทน (THMs) หน่วยเป็น $\mu\text{g/L}$, X = ปริมาณ Humic acid หน่วยเป็น mg/L) รวมทั้งจากการทดลอง ส่วนที่ 1 : ภาคการทดลอง ชุดที่ 1 ในการทำ Chlorination กับตัวอย่างน้ำผิวดินแบบ Pre-chlorination กำจัด-ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน และ แบบ Post-chlorination กำจัด-ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน ในห้องปฏิบัติการได้อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ THMs ($\mu\text{g/L}$) ต่อระยะเวลาสัมผัส (t) หน่วยเป็น ชั่วโมง จากการทดสอบค่าสถิติ Linear regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha = 0.05$) ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่ายภายใต้การควบคุมเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ pH (อยู่ในช่วงเป็นกลาง), อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้องปกติ), ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ (THMs Precursor) (ใช้ตัวอย่างน้ำผิวดินเดียวกันเริ่มต้นในการทำ Chlorination แต่ละครั้ง), ความเข้มข้นคลอรีนในการทำ Chlorination แต่ละครั้ง คือ 3, 5, 7, 10, 15, และ 20 ppm และใช้เวลาสัมผัส (t) ที่ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ในการทำ Chlorination แต่ละครั้ง ได้ข้อมูลทั้งหมด 24 ชุด คือ แบบ Pre-chlorination กำจัด -ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน จำนวน 12 ชุด และแบบ Post-chlorination กำจัด-ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน จำนวน 12 ชุด ดังแสดงในตารางที่ 4-8

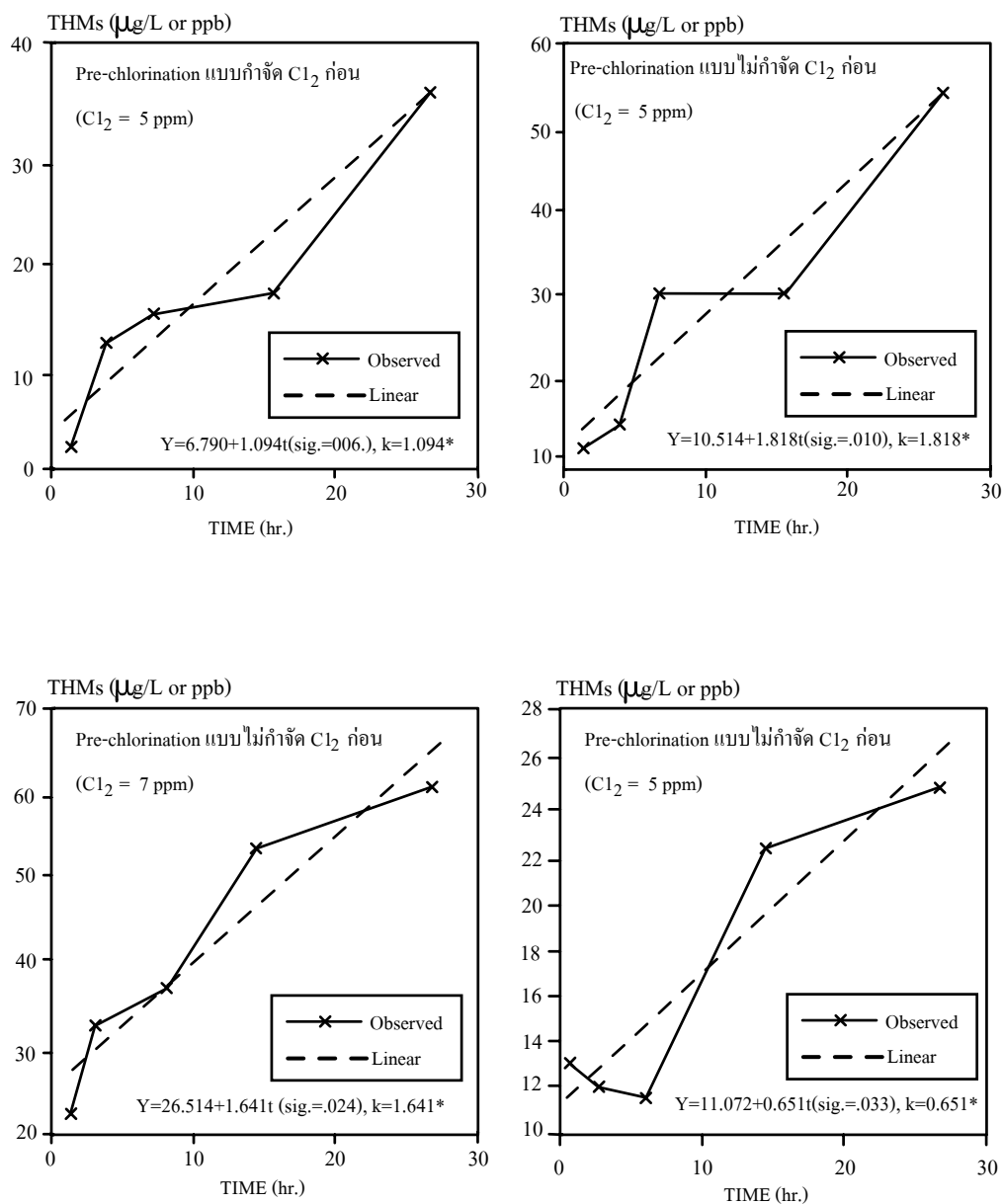
ตารางที่ 4-8 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนต่อระยะเวลาสัมผัส หรือ จลนศาสตร์ในการเกิดไตรฮาโลมีเทนจากแหล่งน้ำผิวดินในจังหวัดนครราชสีมา จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

รูปแบบการทำ Chlorination	สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear equation) ($\alpha = 0.05$)	อัตราการเปลี่ยนแปลง THMs ต่อ เวลา (t)
1. Pre- Chlorination แบบกำจัด Cl_2 ก่อน	$Y = THMs_{(0)}$ หน่วยเป็น ppb $t =$ เวลา หน่วยเป็น ชั่วโมง	$\frac{dy}{dt} = \frac{dTHMs_{(0)}}{dt} = k$ (ค่าคงที่/ ความชันของเส้นตรง) (ppb/hr)
1.1 $Cl_2 = 3$ ppm	$Y = 1.964 + 0.275t$ (sig. = .029)*	$k = 0.275^*$
1.2 $Cl_2 = 5$ ppm	$Y = 6.790 + 1.094t$ (sig. = .006)*	$k = 1.094^*$
1.3 $Cl_2 = 7$ ppm	$Y = 13.953 + 1.009t$ (sig. = .059)	$k = 1.009$
1.4 $Cl_2 = 10$ ppm	$Y = 19.510 + 0.468t$ (sig. = .225)	$k = 0.468$
1.5 $Cl_2 = 15$ ppm	$Y = 48.188 - 1.000t$ (sig. = .589)	$k = (-1.000)$
1.6 $Cl_2 = 20$ ppm	$Y = 39.859 + 1.708t$ (sig. = .432)	$k = 1.708$
2. Pre- Chlorination แบบไม่กำจัด Cl_2 ก่อน	$Y = THMs_{(0)}$ หน่วยเป็น ppb $t =$ เวลา หน่วยเป็น ชั่วโมง	$\frac{dy}{dt} = \frac{dTHMs_{(0)}}{dt} = k$ (ค่าคงที่/ ความชันของเส้นตรง) (ppb/hr)
2.1 $Cl_2 = 3$ ppm	$Y = 5.630 + 0.533t$ (sig. = .072)	$k = 0.533$
2.2 $Cl_2 = 5$ ppm	$Y = 10.514 + 1.818t$ (sig. = .010)*	$k = 1.818^*$
2.3 $Cl_2 = 7$ ppm	$Y = 26.514 + 1.641t$ (sig. = .024)*	$k = 1.641^*$
2.4 $Cl_2 = 10$ ppm	$Y = 30.300 + 1.625t$ (sig. = .074)	$k = 1.625$
2.5 $Cl_2 = 15$ ppm	$Y = 60.151 - 1.224t$ (sig. = .560)	$k = (-1.224)$
2.6 $Cl_2 = 20$ ppm	$Y = 68.302 + 2.628t$ (sig. = .089)	$k = 2.628$

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

รูปแบบการทำ Chlorination	สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear equation) ($\alpha = 0.05$)	อัตราการเปลี่ยนแปลง THMs ต่อ เวลา (t)
3. Post- Chlorination แบบกำจัด Cl ₂ ก่อน	Y = THMs _(t) หน่วยเป็น ppb t = เวลา หน่วยเป็น ชั่วโมง	$\frac{dy}{dt} = \frac{dTHMs_{(t)}}{dt} = k$ (ค่าคงที่/ ความชันของเส้นตรง) (ppb/hr)
3.1 Cl ₂ = 3 ppm	Y = 22.354 + 0.585t (sig. = .443)	k = 0.585
3.2 Cl ₂ = 5 ppm	Y = 5.160 + 0.910t (sig. = .085)	k = 0.910
3.3 Cl ₂ = 7 ppm	Y = 4.711 + 0.0796t (sig. = .384)	k = 0.0796
3.4 Cl ₂ = 10 ppm	Y = 6.461 - 0.104t (sig. = .462)	k = (-0.104)
3.5 Cl ₂ = 15 ppm	Y = 2.299 + 0.036t (sig. = .662)	k = 0.036
3.6 Cl ₂ = 20 ppm	Y = 1.231 + 0.247t (sig. = .178)	k = 0.247
3. Post- Chlorination แบบไม่กำจัด Cl ₂ ก่อน	Y = THMs _(t) หน่วยเป็น ppb t = เวลา หน่วยเป็น ชั่วโมง	$\frac{dy}{dt} = \frac{dTHMs_{(t)}}{dt} = k$ (ค่าคงที่/ ความชันของเส้นตรง) (ppb/hr)
4.1 Cl ₂ = 3 ppm	Y = 31.030 + 0.323t (sig. = .673)	k = 0.323
4.2 Cl ₂ = 5 ppm	Y = 11.072 + 0.651t (sig. = .033)*	k = 0.651*
4.3 Cl ₂ = 7 ppm	Y = 9.671 - 0.088t (sig. = .368)	k = (-0.088)
4.4 Cl ₂ = 10 ppm	Y = 12.127 - 0.318t (sig. = .123)	k = (-0.318)
4.5 Cl ₂ = 15 ppm	Y = 5.376 - 0.06t (sig. = .119)	k = (-0.06)
4.6 Cl ₂ = 20 ppm	Y = 3.849 + 0.196t (sig. = .102)	k = 0.196

จากตารางที่ 4-8 พบว่า สมการที่ได้เครื่องหมาย * ค่า k (อัตราการเปลี่ยนแปลง THMs ต่อ เวลา (t)) เป็นค่าที่ยอมรับได้ทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % สอดคล้องกับสมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Amy et al., 1978) ในรูปแบบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้นหรือจลนศาสตร์ของการก่อตัวอย่างง่าย (Simple kinetics of THMs formation) หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงสมการเชิงเส้น (Differential linear equation) คูภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-18 จลนศาสตร์ในการเกิดไตรฮาโลมีเทนจากแหล่งน้ำผิวดินในจังหวัดนครราชสีมา จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

4.4 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ (Health risk assessment)

การประเมินความเสี่ยงสุขภาพจากผลการสำรวจในการวิจัยครั้งนี้ในที่นี้จะใช้ปริมาณคลอโรฟอร์มสูงสุดซึ่งจัดอยู่ในประเภท Class B2 : Probable human carcinogen ที่พบในน้ำดื่มจากการสำรวจระบบประปาชนบทในจังหวัดนครราชสีมา มาใช้ในการประเมินแทนปริมาณ TTHM (Total trihalomethanes) จากการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงใช้การประเมินความเสี่ยงทั้ง 2 แบบ คือ

ความเสี่ยงของร่างกายต่อสารที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง และความเสี่ยงของร่างกายต่อสารก่อมะเร็ง โดยพบปริมาณคลอโรฟอร์มสูงสุดเท่ากับ 245.81 $\mu\text{g/L}$ ที่ระบบประปาหมู่บ้าน หมู่ที่ 3 บ้านน้ำฉ่า ต.โป่งแดง อ.ขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา มีนายสุชาติ จั้วสันเทียะ อายุ 58 ปี ตำแหน่งผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้านเป็นผู้รับผิดชอบดูแลระบบประปาแห่งนี้ จากการสอบถามมีผู้ใช้น้ำทั้งหมดประมาณ 260 หลังคาเรือน เฉลี่ยหลังคาเรือนละ 6 คน รวมทั้งสิ้นมีผู้ใช้น้ำ 1,560 คน

ปริมาณวัตถุอันตรายในน้ำดื่มที่ร่างกายได้รับสัมผัสโดยระบบทางเดินอาหาร =

$$\frac{\text{ความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในน้ำดื่ม} \times \text{ปริมาณน้ำดื่มต่อวัน} \times \text{ค่าเฉลี่ยในการได้รับสัมผัส}}{\text{น้ำหนักร่างกาย}}$$

ปริมาณวัตถุอันตรายในน้ำดื่มที่ร่างกายได้รับสัมผัส มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน

(mg/kg-day)

ความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในน้ำดื่ม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร (mg/L)

ปริมาณน้ำดื่มต่อวัน มีหน่วยเป็น ลิตร/วัน (L/day)

(ในผู้ใหญ่ เฉลี่ยประมาณ 2 ลิตร/คน/วัน, ในเด็ก 1 ลิตร/คน/วัน (L/cap-day))

น้ำหนักร่างกาย มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg.)

จากการสำรวจในการวิจัย

ขั้นแรก : พิจารณาจากเงื่อนไขที่ทราบ

ความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในน้ำดื่ม (คลอโรฟอร์ม (CHCl_3)) = 245.81 ไมโครกรัม/ลิตร

หรือประมาณ = 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร

จำนวนน้ำที่ผู้ใหญ่ดื่มเฉลี่ยแต่ละวัน = 2 ลิตร/วัน

น้ำหนักเฉลี่ยของผู้ใหญ่ = 70 กิโลกรัม

อายุขัยเฉลี่ยทั่วไป 70 ปี = 70 X 365 วัน

หากผู้ใหญ่ อายุ 30 ปี เวลาที่ได้รับสัมผัสคลอโรฟอร์มในน้ำดื่ม = 70-30 = 40 ปี = 40X365 วัน

ขั้นที่ 2 : คำนวณหาค่าเฉลี่ยในการได้รับการสัมผัสวัตถุอันตรายของผู้ใหญ่ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ยในการได้รับสัมผัส} &= \frac{\text{ระยะเวลาทั้งหมดที่ผู้ใหญ่ดื่มน้ำในบ่อที่มีคลอโรฟอร์ม}}{\text{อายุขัยเฉลี่ย}} \\ &= \frac{40 \times 365}{70 \times 365} = 0.571 \end{aligned}$$

ขั้นสุดท้าย : แทนค่าในสูตร

ปริมาณวัตถุอันตรายในน้ำดื่มที่ร่างกายได้รับสัมผัสโดยระบบทางเดินอาหาร =

ความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในน้ำดื่ม X ปริมาณน้ำดื่มต่อวัน X ค่าเฉลี่ยในการได้รับสัมผัส

$$= \frac{0.25 \times 2 \times 0.571}{70} = 0.0041 \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน}$$

นั่นคือ ในผู้ใหญ่จะได้รับคลอโรฟอร์ม (CHCl₃) ในน้ำดื่มโดยระบบทางเดินอาหารประมาณวันละ

$$0.0041 \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ในเด็ก ประมาณวันละ} = \frac{0.25 \times 1 \times 0.571}{70} = 0.002 \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน}$$

1.) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสารที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง

ค่าความปลอดภัย (Margin of Safety) = $\frac{\text{ค่าการได้รับสัมผัส (CDI)}}{\text{ค่าขนาดอ้างอิง (RfD) หรือเอดีไอ (ADI)}}$

ค่าขนาดอ้างอิง (RfD) = 0.010 mg./kg-day (ที่มา : U.S.EPA. <http://www.epa.gov/iris>)

$$\text{ค่าการได้รับสัมผัส (CDI)} = \frac{0.25 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/day}}{70 \text{ kg.}} = 0.007 \text{ mg/kg-day}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความปลอดภัย} &= \frac{\text{ปริมาณการได้รับสัมผัส (mg/kg/day)}}{\text{ปริมาณการได้รับสัมผัสที่ยอมรับได้ (RfD or ADI)(mg/kg/day)}} \\ &= \frac{0.007 \text{ mg/kg - day}}{0.010 \text{ mg/kg - day}} = 0.7 \end{aligned}$$

แสดงว่า ปริมาณสาร โดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้

2.) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสารก่อมะเร็ง

ความเสี่ยง (Risk) = ค่าการได้รับสัมผัส (CDI) X Q*(Carcinogenic potency factor)

Q*(Carcinogenic potency factor for oral route) = 6.1 X 10⁻³ (mg/kg-day)⁻¹ (ที่มา : U.S.EPA. <http://www.epa.gov/iris>)

$$\text{เพราะฉะนั้น ความเสี่ยง (Risk)} = 0.007 \times 6.1 \times 10^{-3} = 42.7 \times 10^{-6}$$

ถ้าประชากรที่บริโภคน้ำดื่มจากระบบประปาหมู่บ้าน หมู่ที่ 3 บ้านน้ำจ๋า ต.โปรงแดง อ.ขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา มีทั้งหมด 1,560 คน และมีความเสี่ยง (Risk) ต่อการป่วยด้วยโรคมะเร็งเนื่องจากดื่มน้ำที่มีคลอโรฟอร์ม (CHCl₃) อยู่ = 42.7 รายต่อประชากร 1 ล้านคน ตลอดช่วงชีวิตมนุษย์

ดังนั้นถ้าใน 1 ปี จะพบการป่วยด้วยโรคมะเร็งเนื่องจากดื่มน้ำที่มีคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) เท่ากับ

$$1,560 \text{ คน} \times 42.7 \text{ ราย/ประชากร 1 ล้านคน} \times \frac{1}{70 \text{ ปี}} = 9.52 \times 10^{-4} \text{ ราย/ปี}$$

อัตราการป่วยด้วยโรคนี้ออก (รวมทั้งมะเร็ง) ของจังหวัดนครราชสีมา

$$= 3,372 \text{ ราย/ประชากร 2,080,262 คน}$$

$$\text{หรือคิดเป็น} = 1620.95 \text{ ราย/ประชากร 1 ล้านคน}$$

(ที่มา: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา, 2543)

ถ้าประชากร หมู่ที่ 3 บ้านน้ำฉ่า ต.โป่งแดง อ.ขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา มีทั้งหมด 1,560 คน โอกาสที่จะป่วยด้วยโรคนี้ออก(รวมทั้งมะเร็ง) จะเท่ากับ

$$1,560 \text{ คน} \times \frac{1620.95 \text{ ราย/ปี}}{1,000,000 \text{ คน}} = 2.53 \text{ ราย/ปี หรือ ประมาณ 3 ราย/ปี}$$

จะเห็นได้ว่า ปริมาณความเสี่ยงที่พบที่ระบบประปาหมู่บ้าน หมู่ที่ 3 ต.โป่งแดง อ.ขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา จากการดื่มน้ำที่มีปริมาณคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) เพิ่มขึ้นน้อยมาก คือ 9.52×10^{-4} ราย/ปี ซึ่งค่าความเสี่ยงจริงอาจต่ำกว่านี้ หรืออาจใกล้เคียงศูนย์ก็ได้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการก่อตัวของไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค และหาความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิก และไตรฮาโลมีเทน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ศึกษาการก่อตัวของไตรฮาโลมีเทน และหาความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฮิวมิกในน้ำดิบกับปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้น และส่วนที่ 2 เป็นการสำรวจหาปริมาณไตรฮาโลมีเทน โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากขบวนการต่าง ๆ ของระบบประปา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย 8 แห่ง มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดฮิวมิก ความขุ่น คลอรีนตกค้าง และไตรฮาโลมีเทน และหาความสัมพันธ์การเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสถานะท้องถิ่นแต่ละแห่งจากการสำรวจ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณคลอรีนและเวลาสัมผัส มีผลต่อปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้น และการทำพรีคลอรีเนชันมีค่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติมคลอรีนสูงกว่าการทำโพสคลอรีเนชัน รวมทั้งการกำจัดคลอรีนก่อนทำคลอรีเนชันพบว่าปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำมีค่าลดลง จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 3 แบบในการทดลอง คือ น้ำดิบ น้ำที่ผ่านการกรองอย่างง่าย และน้ำที่ผ่านระบบประปา พบปริมาณไตรฮาโลมีเทนเรียงจากมากไปหาน้อยตามลำดับ ซึ่งหาความสัมพันธ์กับปริมาณกรดฮิวมิก ได้ค่าสมการเชิงเส้น คือ $Y = 8.633 + 7.083X$ ($Y =$ ปริมาณไตรฮาโลมีเทน ($\mu\text{g/L}$), $X =$ ปริมาณกรดฮิวมิก (mg/L)) ส่วนที่ 2 พบปริมาณไตรฮาโลมีเทนทุกขั้นตอนในระบบประปาชนบท ทั้ง 9 แห่ง และพบว่าปริมาณความขุ่น คลอรีนตกค้าง กรดฮิวมิกมีความสัมพันธ์กับปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบประปาทุกแห่ง สำหรับการก่อตัวของไตรฮาโลมีเทนจากการทดลองได้ค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 1.096 ppb/hr โดยทุกขั้นตอนทดสอบค่าสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนผลการคาดคะเนความเสี่ยงสุขภาพ จากการวิจัยพบปริมาณคลอโรฟอร์มสูงสุดที่ตรวจวัดได้ คือ $245.81 \mu\text{g/L}$ อยู่ที่ระบบประปาหมู่บ้าน หมู่ที่ 3 บ้านน้ำคำ อ.ขามทะเลสอ จ. นครราชสีมา และพบโอกาสที่จะป่วยด้วยโรคมะเร็งเท่ากับ 9.52×10^{-4} ราย/ปี

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษารั้งต่อไป

5.2.1 ควรมีการศึกษาตัวแปรอื่น ๆ ของน้ำดื่มในระบบประปา ที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเกิดไตรฮาโลมีเทน รวมทั้งมีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำบริโภค

5.2.2 การประเมินความเสี่ยงสุขภาพ (Health risk assessment) ของประชาชนในท้องที่ที่จะทำการศึกษาวินิจฉัยหากต้องการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ควรมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมโดยอาศัยรูปแบบแนวทางการวิจัยนี้เป็นหลักได้รวมทั้งควรมีการประเมินค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สาธารณสุขเปรียบเทียบด้วย

5.2.3 ควรมีการศึกษามการปฏิกริยาอันดับที่สอง หรือสมการในทางปฏิบัติ (Empirical equation) เพื่อใช้เป็นรูปแบบในการทำนาย (Predictive model) การก่อตัวและจลนศาสตร์ของสารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes : THMs) ในน้ำบริโภคในระบบประปาชนบทในสภาวะท้องถื่นต่อไป ซึ่งอาจเขียนความสัมพันธ์ในลักษณะข้างต้นได้ดังนี้

$$[[\text{THMs}]_{(t)} \sim [\text{Cl}_2]_{(t)}^a \cdot [\text{Ha}]_{(t)}^b \text{ หรือ } C_{\text{THMs}(t)} \sim C_{\text{Cl}_2(t)}^a \cdot C_{\text{Ha}(t)}^b]$$

ภายใต้การควบคุมเงื่อนไขอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (Amy et al, 1987) อาจเขียนสมการปฏิกริยาอันดับที่สองได้ดังนี้

$$\left[\frac{dC_{\text{THMs}(t)}}{dt} = k \cdot C_{\text{Cl}_2(t)}^a \cdot C_{\text{Ha}(t)}^b = k' \cdot C_{\text{Cl}_2(t)}^a = k'' \cdot C_{\text{Ha}(t)}^b \text{ โดย } k' = k \cdot C_{\text{Ha}(t)}^b, k'' = k \cdot C_{\text{Cl}_2(t)}^a \right]$$

เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย. ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา. (2542). รายงานการศึกษาสถานการณ์งาน
จัดหน้าสะอาดในชนบทในพื้นที่เขต 5. นครราชสีมา : ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5
นครราชสีมา.
- กรมอนามัย. (2543). คู่มือผู้ดูแลระบบประปาหมู่บ้านผิวดินและผิวดินขนาดใหญ่. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์(ร.ส.พ.).
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2536). หลักการและมาตรการป้องกันภัยจากคลอรีน. (หน้า 3–
15). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์การศาสนา.
- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. (2536). วิศวกรรมประปา (หน้า 145). กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการ
พิมพ์.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2543). การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล เวอร์ชัน 7-10. พิมพ์
ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : หจก. ซี เค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ.
- โกมล สีวะบรร, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชุมนุมศิริวัฒน์. (2527). การประปาเบื้องต้น.
พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : หจก. ธารการพิมพ์.
- ชัชวาล จันทรวิจิตร “การประเมินความเสี่ยงสุขภาพต่อมลพิษสิ่งแวดล้อม” วารสารเวชศาสตร์สิ่ง
แวดล้อม ปีที่ 1 ฉบับที่ 2. (ก.ค. – ธ.ค. 2542) กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษาวิเศษสุนน. (2535). คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย : สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย.
- ธนธร ยอดสมสวย. (2541). การลดปริมาณกรดฮิวมิคโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารโพลี
เฟอร์ริกซัลเฟต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่ง
แวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นฤมล แก้วกล้า. (2532). การหาความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD และ TOC ของน้ำที่มีสาร
อินทรีย์เป็นองค์ประกอบของน้ำธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหิดล.

- บริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชัน จำกัด.(2543).ใน เอกสารสัมมนาทางวิชาการเรื่อง การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยใช้เครื่องมือ HACH. กรุงเทพมหานคร: บริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชัน จำกัด.
- พัชราภร ศิริจงประเสริฐ. (2542). ตารางสรุปจำนวนและร้อยละการจัดลำดับประปาหมู่บ้านตามโครงการประปากรมอนามัยตั้งแต่ปี 2542 ของศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา. นครราชสีมา : ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา.(เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)
- พาลาก สิงหเสนี. (2540). การประเมินความเสี่ยงจากพิษของวัตถุอันตราย : หลักการและการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพศาล วีรกิจ. “การเลือกระบบการเติมคลอรีน Chlorination Systems”. Thai Environmental Engineering. 2539. Vol. 10(4) : 23 – 24.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, งานประปาและสิ่งแวดล้อม. (2542). ระบบผลิตน้ำประปา. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)
- มัทนาวดี สุทธิรัตนศักดิ์. (2538). การลดปริมาณกรดฮิวมิกโดยการใช้แอกติเวตเต็ดคาร์บอนเป็นตัวช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหิดล.
- มันสิน ดัชนีกุลเวสน์. (2526). วิศวกรรมการประปา เล่ม 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลัดดา มีสุข. (2533). พจนานุกรมศัพท์เคมี. กรุงเทพมหานคร. บริษัทเจเนอรัลบุ๊กส์ เซนเตอร์ จำกัด.
- วัฒนชัย เหมือนทอง. (2536). การลดปริมาณไนโตรฮาโลมีเทนที่ปนเปื้อนในน้ำประปาโดยระบบการกรองสัมผัสอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิมลสิน แก้วทอง.(2536). การลดปริมาณการเกิดไนโตรฮาโลมีเทนด้วยสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.(2527).ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง ไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มในเขตกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา.(2543). ข้อมูลประชากรกลางปี 2542 ของจังหวัดนครราชสีมา และ รง.504. ฝ่ายข้อมูลคอมพิวเตอร์. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. กองประสานการพัฒนาชนบท.
(2540). สถานภาพแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคในประเทศไทย พ.ศ. 2535 – 2539. (หน้า 4).
กรุงเทพฯ ฯ โรงพิมพ์พิชการพิมพ์.
- สุพร สาครอรุณ.(2530). การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่เกิดจากการเติม
คลอรีนแบบพรีคลอรีเนชัน และโพสคลอรีเนชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหิดล.
- ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา, ฝ่ายเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม.(2542). **สถานการณ์
คุณภาพน้ำบริโภคในจังหวัดนครราชสีมา (ต.ล.2539-ก.ย.2540)**. นครราชสีมา : ศูนย์
อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)
- Amy, G.L., Chadik, P.A., Chowdhury, Z.K. (1987). **Developing Models for Predicting
Trihalomethane Formation Potential and Kinetics**. Journal of American Water Works
Association. 79(7):89.
- Alavanja, M., Goddstein, I. and Suser, M.(1978). **A Case Control Study of Gastrointestinal
and Urinary Tract Cancer Mortality and Drinking Water Chlorination**. Quoted in
Water Chlorination Chemistry, Env. Impact and Health Effects(Vol.2). Jolley R.L.,
Gorchev H., and Hamilton DH. Jr., Miami : Ann Arbor Science Publishers, Inc. pp 395-
409.
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water
environment Federation (1995). **Standard Methods for the Examination of Water and
Wastewater**. 19th ed. APHA : Washington DC.
- Berger, B.B. (1987). **Control of Ssubstances in Water and Wastewater**. New Jersey : Noyes
Data Coperation.
- Babcock, D.B. and Singer P.C. (1979). **Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic
Acid.**, Journal of American Water Works Association. 71 : 149.
- Bellar, T.A., Lichtenberg J.J. and Kroner R.C.(1974). **The Occurrence of Organohalides in
Chlorinated Dringing Water**. Journal of American Water Works Association. 66 :
703 – 706.
- Babcock, D. and Singer, P.(1977). **Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acid**.
In : 97th Annual Conference Proccedings paper 16 – 6, Journal of American Water Works
Association.

- Bunn, W.W., Haas, B.B., Deane, E.R. and Kleopfer, R.D.(1975). **Formation of Trihalomethanes by Chlorination of Surface Water**. Environment Letter.10 : 205.
- Chadik, P.A. and Amy, G.L. (1993) **Removing Trihalomethane Precursors from Various Natural Waters by Metal Coagulant** . Journal of American Water Works Association. 75, 10 : 532 – 536.
- Clark, S.K. (1992). **Key Issues for Regulating Disinfection Byproduct. In : Regulating Drinking Water Quality**. (p.135 – 144). Edited by Charles EG, Edward JC. Michigan : Lewis Publishers, Inc.
- Cantor, K.P.(1984). **Epidemiologic Studies to Estimate Effects of Low level Exposures**. In : Methods of Estimating Risk of Chemical Injury : Human Biota and Ecosystems . Edited by Vouk VB, eds. Geneva : Wiley & sons, Inc. pp 303 – 325.
- Cotruvo, J.A.(1981). **THMs in Drinking Water** . Environmental Science & Technology Journal. 15(3) : 268.
- Cotton, F.A. and Wilkinson, G.(1972). **Advanced Inorganic Chemistry**, 3rd. Ed., New York : Interscience Publishers.
- Dowty, B.J., Carlisle, D.R. and Laseter, J.L.(1975). **Halogenated Hydrocarbons in New Orleans Drinking Water and Blood Plasma**. Science. 187:75.
- Edzwald, J.K.(1993). **Coagulation in Drinking Water Treatment : Particles, Organic and Coagulants**. Water Science Technology. 27(11) : 21 – 35.
- Edwards, A.G., Amirtharajah, A. (1985). **Removing Color Caused by Humic Acids**. Journal of American Water Works Association. 77(3) : 50-7.
- El-Shahat, M.F., Abdel-Halim,S.H. and Hassan, G.A.(1998). **“Evaluation of Trihalomethanes in Water Treatment Plants’ Output in Cairo, Egypt during 1991 to 1993,”** Bulletin of Env. Contamination and Toxicology. 60 (3) : 73 – 79.
- Gilbert, M. Masters. (1998). Risk Assessment. **Introduction to Environmental Engineering and Sciences**. (pp 117-154). U.S.A. : Prentice-Hall, Inc.
- Hubel, R.E. and Edzwald, J.K. (1987). **Removing Trihalometrane Precursors by Coagulation**. Journal of American Water Works Association. 7:98 – 106.

- Hoehn, R.C., Randall, C.W., Groode, R.P. and Shaffer, P.T. (1978). **Chlorination and Water Treatment for Minimizing Trihalomethanes in Drinking Water**. In : Water Chlorination : Environmental Impact and Health Effect , Volume 2. Edited by Jolley, R.L., Gorchev, H., Hamiton, H.D. (pp 519 – 535).Miami : Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- Huang, J.Y.C , Smith, G.C. (1984). **Spectrophotometric Determination of Total Trihalomethanes in Finished Water** . Journal of American Water Works Association. 76 : 168 – 171.
- Hogan, M.D.(1979). **Association between Chloroform Levels in Finished Drinking Water Supplies and Various., Site-Specific Cancer Mortality Rates**. Journal of Environment Pathology and Toxicology. (2) : 873-887.
- Holden, W.S. (1970). **Water Treatment and Examination**. Baltimore : Williams and Wilkins Company.
- Hassan, A.M., Benfenati, E. and Fanelli, R.(1996) “**Detection and Quantification of Trihalomethanes in Drinking Water from Alexandria, Egypt,**” Bulletin of Environment Contamination and Toxicology. 58(3) : 397 – 404.
- Kavanaugh, M.C.,(1978). **Modified Coagulation for Improved of Trihalomethane Precursors**. Journal of American Water Works Association. 70(2):613 – 20.
- Kuzma, R.J., Kuzma, D.M. and Buncher, C.R. (1977). **Ohio Drinking Water Source and Cancer Rates**. American Journal of Public Health. 67(8) : 725 – 729.
- Kaiser, K.L.E. and Oliver, B.G.(1976). **Determination of Volatile Halogenated Hydrocarbon in Water by Gas Chromatography**. Quoted in Analytical Chemistry. 84 (14) : 2,207.
- Kuzma, R.J., Kuzma, D.M. and Buncher, C.R.(1977). **Ohio Drinking Water Source and Cancer Rates**. American Journal of Public Health. 67(8):725-729.
- Kissinger, L. and Fritz, J.(1976). **Analysis of Drinking Water for Haloforms**. Journal of สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, กองประสานการพัฒนาชนบท.(2540). สถานภาพแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคในประเทศไทย พ.ศ. 2535-2539.(หน้า 4). กรุงเทพฯ ฯ : โรงพิมพ์ปพิชการพิมพ์.American Water Works Association. 68:435.

- Kajino, M. and Yagi, M.(1980). **Formation of Trihalomethanes During Chlorination and Determination of Halogenated Hydrocarbons in Drinking Water.** Quoted in **Hydrocarbons and Halogenated Hydrocarbons in the Aquatic Environment.** Edited by Afghan BK. and Mackay D., Miami : Plenum Publishing Corp.: 491 – 506.
- Malcolm Pirnie Inc.(1992). **Water treatment plant simulation program version 1.21 user's manual.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Narkis, N. and Rebhun, M.(1997). **Stoichiometric Relationship between Humic and Fulvic acid and Flocculants.** Journal of American Water Works Association. 69(6):325 – 8.
- Oliver, B.G. and Lawrence, J.(1979). **Haloforms in Drinking Water : A Study of Precursors and Precursors Removal.** Journal of American Water Works Association. 71, 3 : 161 – 163.
- Onodera, S., Tabucanon, M. and Uavanichkul, S.(1984). **Trihalomethanes in Drinking Water Supplies in Bangkok Metropolitan Area.** Asian Environment Journal. 25 – 30.
- Pontius,F.W. (1995). **An up Date of the Drinking Water Regulations.** Journal of American Water Works Association. 87, 2 :48 – 58.
- Rosenblast, D.H., (1975). **Chlorine and Oxychlorine Species Reactivity with Organic Substances.** quoted in Johnson, J.D., **Disinfection : Water and Wastewater.** (pp 249-276). Michigan : Ann Arbor Science Publisher, Inc.
- Rebhun, M. and Lurie, M.(1993). **Control of Organic Matter by Coagulation and Flocculation.** Water Science Technology. 27(11):1-20.
- Rook, J.J. (1974). **Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Water,** Water Treatment and Examination. 23, 241.
- Rook, J.J.(1976). **Haloform in Drinking Water .** Journal of American Water Works Association. 68 : 168 – 172.
- Rook, J.J.(1977). **Chlorination Reactions of Fulvic Acids in Natural Waters.** Environmental Science and Technology Journal. 11(5):478.
- Snoeyink, V.L. and Jenkins, D.,(1980). **Water Chemistry. 1st ed.** New York : John Wiley & Sons.
- Schnitzler, M. and Khan, S.U.(1972). **Humic Substances in The Environment.** New York :Marcel Dekker.

- Symons, J.M., Bellar, T.A. and Carswell, J.K.,(1975). **National Organics Reconnaissance Survey for Halogenated Organics**. Journal of American Water Works Association. 67 : 634 – 647.
- Steven, A.A., et al.(1976). **Chlorination of Organic in Drinking Water**, Journal of American Water Works Association. 68 : 615.
- Tinsley, I.J., (1979). **Chemical Concept in Pollutant Behavior**. New York : Wiley.
- Trussell, R.R. and Umphres M.D.(1978). **The Formation of Trihalomethanes**. Journal of American Water Works Association. 70 (11):604 – 612.
- Trussell, A.R., Umphres M.D., Leong L.Y.C. and Trussell R.R.(1979). **Precise Analysis of Trihalomethanes**. Journal of American Water Works Association. 71(7):385.
- U.S.EPA. (Safe Drinking Water Committee).Z1985). **The Chemistry of Disinfectants in Water. In:Drinking Water and Health** (Volume 1). 2nd editions. Washington : National Academy Press. 139.
- U.S.EPA.(1975). **Statement of Basis and Purpose for the Amendment on Trihalomethane**. In : **Drinking Water Detoxification** . Edited by Jolley R.L. Cincinnati : Ann Arbor Science Inc. 156 – 211.
- Vik, E.A., Calson, D.A., Eikum, A.S. and Gjessing, E.T.(1985). **Removing Aquatic Humus From Norwegian Lakes**. Journal of American Water Works Association.77 (3):58 – 66.
- WHO.(1993). **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Vol. 1. (pp 99-101). Geneva : World Health Organization.

ภาคผนวก ก

รายชื่อประปาหมู่บ้านที่อยู่ในระดับเอ ของกรมอนามัย ในจังหวัดนครราชสีมา
และเกณฑ์การพิจารณา

รายชื่อประปาหมู่บ้านที่อยู่ในระดับเอ ของกรมอนามัย ในจังหวัดนครราชสีมา และเกณฑ์การพิจารณา

1). รายชื่อประปาหมู่บ้านที่อยู่ในระดับเอ ของกรมอนามัย ในจังหวัดนครราชสีมา

1.1 ประปาหมู่บ้านหินตั้ง	หมู่ที่ 5	ต.เสมา	อ.สูงเนิน
1.2 ประปาหมู่บ้านหนองเข้หนองตุม	หมู่ที่ 1	ต.สุขไพบุลย์	อ.เสิงสาง
1.3 ประปาหมู่บ้านโคกสะอาด-ป่าโจด	หมู่ที่ 1, 7, 11	ต.สุขเกษม	อ.ปักธงชัย
1.4 ประปาหมู่บ้านคอนแวน	หมู่ที่ 2 1	ต.สุขไพบุลย์	อ.เสิงสาง
1.5 ประปาหมู่บ้านน้ำจ่า	หมู่ที่ 3	ต.โป่งแดง	อ.ขามทะเลสอ
1.6 ประปาหมู่บ้านละกอ	หมู่ที่ 3, 4	ต.ศรีละกอ	อ.จักราช
1.7 ประปาหมู่บ้านเฉลียงโคก	หมู่ที่ 4	ต.เฉลียง	อ.ครบุรี
1.8 ประปาหมู่บ้านดอนพวา	หมู่ที่ 5	ต.ลำคองษ์	อ.โนนสูง

2). เกณฑ์การพิจารณา

พิจารณาจากองค์ประกอบหลักของประปาหมู่บ้าน 4 ประการ คะแนนรวม 1,000 คะแนน คือ

1.) คุณภาพน้ำ	250	คะแนน
2.) โครงสร้างของระบบประปาหมู่บ้าน	300	คะแนน
3.) การบำรุงรักษาระบบประปาหมู่บ้าน	200	คะแนน
4.) การบริหารจัดการระบบประปาหมู่บ้าน	250	คะแนน

โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ ระดับ A, B, C, D, และ E ดังนี้

- 1.) ระดับ A หมายถึง ระบบประปาที่สามารถประกาศเป็นประปาดื่มได้
- 2.) ระดับ B หมายถึง ระบบประปาที่ต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมเล็กน้อยเพื่อให้สามารถประกาศเป็นประปาดื่มได้
- 3.) ระดับ C หมายถึง ระบบประปาที่สามารถจะพัฒนาให้เป็นระบบประปาดื่มได้ แต่ต้องมีการเพิ่มระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ และอื่น ๆ
- 4.) ระดับ D หมายถึง ระบบประปาที่ไม่ควรใช้ในการบริโภคจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเป็นกรณีพิเศษเนื่องจากมีสารปนเปื้อนในน้ำประปา ได้แก่ ความกระด้าง, แคลเซียม, คลอไรด์, ทองแดง, แมกนีเซียม, ซัลเฟต, และสังกะสี
- 5.) ระดับ E หมายถึง ระบบประปาที่สมควรปิดกิจการ เนื่องจากมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพปนเปื้อนในน้ำประปา ได้แก่ สารหนู, ปรอท, แคดเมียม, ตะกั่ว, ซีลีเนียม, และไซยาไนด์

ภาคผนวก ข

การเตรียมการทดลอง

การเตรียมการทดลอง

ส่วนที่ 1 : ภาคการทดลอง : ชุดที่ 1 ทำ Chlorination

1.) Pre – chlorination

นำตัวอย่างน้ำผิวดิน (สำหรับการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บน้ำโรงกรองน้ำประปาบ้านมะขามเต่า) ใส่ในถังพลาสติกโพลีเอทิลีนขนาดความจุ 2 ลิตร จำนวน 6 ใบ นำตัวอย่างน้ำมาตรวจวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำดื่มตามเกณฑ์มาตรฐานองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO ปี พ.ศ. 2527) แยกหา Cl_2 Demand (คิดจากการคำนวณปริมาณตัวอย่างน้ำกับความเข้มข้นสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้) และทำ Jar test หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการก่ตะกอน – รวมตะกอน – และตกตะกอน จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมาเติมสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้ดังนี้

ตารางที่ ข-1 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 3 ppm (Pre-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
1.	Pre 3 (1)	17.34 น. 1 พ.ค. 2543	18.34 น. 1 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
2.	Pre 3 (3)	17.35 น. 1 พ.ค. 2543	20.35 น. 1 พ.ค. 2543	
3.	Pre 3 (6)	17.36 น. 1 พ.ค. 2543	23.36 น. 1 พ.ค. 2543	
4.	Pre 3 (12)	17.37 น. 1 พ.ค. 2543	05.37 น. 2 พ.ค. 2543	
5.	Pre 3 (24)	17.38 น. 1 พ.ค. 2543	17.38 น. 2 พ.ค. 2543	

วิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm

$$\text{จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ ในที่นี้ = 3 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปิดต้วมา

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปิดต้วมารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 100 mL

นำสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 3 ppm ปิเปตต์มา 66.67 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 mL เติมน้ำตัวอย่างลงไปจนได้ปริมาตร 100 mL ก็จะได้สารละลายตัวอย่างที่มี คลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วเติม $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง ก่อนเติมสารละลายคลอรีนที่เตรียมไว้ลงไปอีกจนทำให้น้ำตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างเท่ากับ 3 ppm จากนั้นนำตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, 5 ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาทำการก่อตะกอน – รวมตะกอน – ตกตะกอน ด้วยสารส้ม โดยเติมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm ลงไปจำนวน 5 mL ทำการเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรอง ดังตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-2 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 5 ppm (Pre-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
6.	Pre 5 (1)	17.55 น. 1 พ.ค. 2543	18.55 น. 1 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
7.	Pre 5 (3)	17.56 น. 1 พ.ค. 2543	20.56 น. 1 พ.ค. 2543	
8.	Pre 5 (6)	17.57 น. 1 พ.ค. 2543	23.57 น. 1 พ.ค. 2543	
9.	Pre 5 (12)	17.58 น. 1 พ.ค. 2543	05.58 น. 2 พ.ค. 2543	
10.	Pre 5 (24)	17.59 น. 1 พ.ค. 2543	17.59 น. 2 พ.ค. 2543	

วิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ ในที่นี้ = 5 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปิเปตต์มา

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปิเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 100 mL

นำสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 5 ppm ปิเปตต์มา 40 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 mL เติมน้ำตัวอย่างลงไปจนได้ปริมาตร 100 mL ก็จะได้สารละลายตัวอย่างที่มี คลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วเติม $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง ก่อนเติมสารละลายคลอรีนที่เตรียมไว้จนทำให้น้ำตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างเท่ากับ 5 ppm จากนั้นนำตัวอย่างที่ 6, 7, 8, 9, 10 ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตาม

ลำดับ เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาทำการก่อตะกอน – รวมตะกอน – ตกตะกอน ด้วยสารส้ม โดยเติมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm ลงไปจำนวน 5 mL ทำการเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองดั่งตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-3 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 7 ppm (Pre-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
11.	Pre 7 (1)	18.12 น. 1 พ.ค. 2543	19.12 น. 1 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
12.	Pre 7 (3)	18.13 น. 1 พ.ค. 2543	21.13 น. 1 พ.ค. 2543	
13.	Pre 7 (6)	18.14 น. 1 พ.ค. 2543	00.14 น. 2 พ.ค. 2543	
14.	Pre 7 (2)	18.15 น. 1 พ.ค. 2543	06.15 น. 2 พ.ค. 2543	
15.	Pre 7 (24)	18.16 น. 1 พ.ค. 2543	18.16 น. 2 พ.ค. 2543	

วิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm

$$\text{จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ ในที่นี้ = 7 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปิเปตต์มา

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปิเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 100 mL

นำสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 7 ppm ปิเปตต์มา 28.57 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 mL เติมน้ำตัวอย่างลงไปจนได้ปริมาตร 100 mL ก็จะได้สารละลายตัวอย่างที่มี คลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วเติม $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง ก่อนเติมสารละลายคลอรีนที่เตรียมไว้จนทำให้น้ำตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างเท่ากับ 7 ppm จากนั้นนำตัวอย่างที่ 11, 12, 13, 14, 15 ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาทำการก่อตะกอน – รวมตะกอน – ตกตะกอน ด้วยสารส้ม โดยเติมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm ลงไปจำนวน 5 mL ทำการเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองดั่งตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-4 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 10 ppm (Pre-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
16.	Pre 10 (1)	18.30 น. 1 พ.ค. 2543	19.30 น. 1 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
17.	Pre 10 (3)	18.31 น. 1 พ.ค. 2543	21.31 น. 1 พ.ค. 2543	
18.	Pre 10 (6)	18.32 น. 1 พ.ค. 2543	00.32 น. 2 พ.ค. 2543	
19.	Pre 10 (12)	18.33 น. 1 พ.ค. 2543	06.33 น. 2 พ.ค. 2543	
20.	Pre 10 (24)	18.34 น. 1 พ.ค. 2543	18.34 น. 2 พ.ค. 2543	

วิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 10 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปตต์มา

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 100 mL

นำสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 10 ppm ปีเปตต์มา 20 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 mL เติมน้ำตัวอย่างลงไปจนได้ปริมาตร 100 mL ก็จะได้สารละลายตัวอย่างที่มี คลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วเติม $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง ก่อนเติมสารละลายคลอรีนที่เตรียมไว้จนทำให้น้ำตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างเท่ากับ 10 ppm จากนั้นนำตัวอย่างที่ 16, 17, 18, 19, 20 ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาทำการก่อกองตะกอน – รวมตะกอน – ตกตะกอนด้วยสารส้ม โดยเติมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm ลงไปจำนวน 5 mL ทำการเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองดังตารางที่ ข-4

ตารางที่ ข-5 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 15 ppm (Pre-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
21.	Pre 15 (1)	19.04 น. 1 พ.ค. 2543	20.04 น. 1 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
22.	Pre 15 (3)	19.05 น. 1 พ.ค. 2543	22.05 น. 1 พ.ค. 2543	
23.	Pre 15 (6)	19.06 น. 1 พ.ค. 2543	01.06 น. 2 พ.ค. 2543	
24.	Pre 15 (12)	19.07 น. 1 พ.ค. 2543	07.07 น. 2 พ.ค. 2543	
25.	Pre 15 (24)	19.08 น. 1 พ.ค. 2543	19.08 น. 2 พ.ค. 2543	

วิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ ในที่นี้ = 15 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปตต์มา

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 250 mL

นำสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 15 ppm ปีเปตต์มา 33.33 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 250 mL เติมน้ำตัวอย่างลงไปจนได้ปริมาตร 250 mL ก็จะได้สารละลายตัวอย่างที่มี คลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วเติม $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง ก่อนเติมสารละลายคลอรีนที่เตรียมไว้จนทำให้น้ำตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างเท่ากับ 15 ppm จากนั้นนำตัวอย่างที่ 21, 22, 23, 24, 25 ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาทำการก่อก้อน - รวมตะกอน - ตกตะกอนด้วยสารส้ม โดยเติมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm ลงไปจำนวน 5 mL ทำการเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองดังตารางที่ ข-5

ตารางที่ ข-6 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 20 ppm (Pre-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
26.	Pre 20 (1)	19.28 น. 1 พ.ค. 2543	20.28 น. 1 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
27.	Pre 20 (3)	19.29 น. 1 พ.ค. 2543	22.29 น. 1 พ.ค. 2543	
28.	Pre 20 (6)	19.30 น. 1 พ.ค. 2543	01.30 น. 2 พ.ค. 2543	
29.	Pre 20 (12)	19.31 น. 1 พ.ค. 2543	07.30 น. 2 พ.ค. 2543	
30.	Pre 20 (24)	19.32 น. 1 พ.ค. 2543	19.32 น. 2 พ.ค. 2543	

วิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) 2 ppm

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ ในที่นี้ = 20 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปตต์มา

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่มีคลอรีนตกค้าง 2 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปีเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 200 mL

นำสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 20 ppm ปีเปตต์มา 20 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 200 mL เติมน้ำตัวอย่างลงไปจนได้ปริมาตร 200 mL ก็จะได้สารละลายตัวอย่างที่มี คลอรีนตกค้าง 2 ppm ใช้ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วเติม $Na_2S_2O_3$ เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง ก่อนเติมสารละลายคลอรีนที่เตรียมไว้จนทำให้น้ำตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างเท่ากับ 20 ppm จากนั้นนำตัวอย่างที่ 26, 27, 28, 29, 30 ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาทำการก่อตะกอน – รวมตะกอน – ตกตะกอน ด้วยสารส้ม โดยเติมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm ลงไปจำนวน 5 mL ทำการเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองดังตารางที่ ข-6 ตัวอย่างน้ำทั้งหมดนำมาวิเคราะห์หา THMs ใน 2 ลักษณะ คือ แบบกำจัดคลอรีนตกค้างก่อนโดยเติม $Na_2S_2O_3$ และแบบไม่กำจัดคลอรีนตกค้าง

2.) Post – chlorination

นำน้ำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการก่อตะกอน-รวมตะกอน-ตกตะกอนด้วยสารส้มแล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมาเติมสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้ดังตารางที่ ข-7 — ข-12 ส่วนวิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหลือคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) ตามที่กำหนด ทำเหมือนขั้นตอน Pre-chlorination.

ตารางที่ ข-7 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 3 ppm (Post-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
31.	Post 3 (1)	22.25 น. 2 พ.ค. 2543	23.25 น. 2 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
32.	Post 3 (3)	22.40 น. 2 พ.ค. 2543	01.40 น. 3 พ.ค. 2543	
33.	Post 3 (6)	22.41 น. 2 พ.ค. 2543	04.41 น. 3 พ.ค. 2543	
34.	Post 3 (12)	22.43 น. 2 พ.ค. 2543	10.43 น. 3 พ.ค. 2543	
35.	Post 3 (24)	22.45 น. 2 พ.ค. 2543	22.45 น. 3 พ.ค. 2543	

ตารางที่ ข-8 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 5 ppm (Post-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
36.	Post 5 (1)	22.49 น. 2 พ.ค. 2543	23.49 น. 2 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
37.	Post 5 (3)	22.50 น. 2 พ.ค. 2543	01.50 น. 3 พ.ค. 2543	
38.	Post 5 (6)	22.51 น. 2 พ.ค. 2543	04.51 น. 3 พ.ค. 2543	
39.	Post 5 (12)	22.55 น. 2 พ.ค. 2543	10.55 น. 3 พ.ค. 2543	
40.	Post 5 (24)	22.57 น. 2 พ.ค. 2543	22.57 น. 3 พ.ค. 2543	

ตารางที่ ข-9 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 7 ppm (Post-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
41.	Post 7 (1)	23.00 น. 2 พ.ค. 2543	24.00 น. 2 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 ppm
42.	Post 7 (3)	23.01 น. 2 พ.ค. 2543	02.01 น. 3 พ.ค. 2543	
43.	Post 7 (6)	23.02 น. 2 พ.ค. 2543	05.02 น. 3 พ.ค. 2543	
44.	Post 7 (12)	23.03 น. 2 พ.ค. 2543	11.03 น. 3 พ.ค. 2543	
45.	Post 7 (24)	23.05 น. 2 พ.ค. 2543	23.05 น. 3 พ.ค. 2543	

ตารางที่ ข-10 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 10 ppm (Post-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
46.	Post 10 (1)	23.20 น. 2 พ.ค. 2543	00.20 น. 3 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสม อยู่ที่ 50 ppm
47.	Post 10 (3)	23.21 น. 2 พ.ค. 2543	02.21 น. 3 พ.ค. 2543	
48.	Post 10 (6)	23.22 น. 2 พ.ค. 2543	05.22 น. 3 พ.ค. 2543	
49.	Post 10 (12)	23.23 น. 2 พ.ค. 2543	11.23 น. 3 พ.ค. 2543	
50.	Post 10 (24)	23.25 น. 2 พ.ค. 2543	23.25 น. 3 พ.ค. 2543	

ตารางที่ ข-11 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 15 ppm (Post-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
51.	Post 15 (1)	23.25 น. 2 พ.ค. 2543	00.25 น. 3 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสม อยู่ที่ 50 ppm
52.	Post 15 (3)	23.26 น. 2 พ.ค. 2543	02.26 น. 3 พ.ค. 2543	
53.	Post 15 (6)	23.27 น. 2 พ.ค. 2543	05.27 น. 3 พ.ค. 2543	
54.	Post 15 (12)	23.28 น. 2 พ.ค. 2543	11.28 น. 3 พ.ค. 2543	
55.	Post 15 (24)	23.29 น. 2 พ.ค. 2543	23.30 น. 3 พ.ค. 2543	

ตารางที่ ข-12 ตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายคลอรีนมาตรฐาน 20 ppm (Post-chlorination)

ตัวอย่างที่	รหัส	เวลาที่เติมคลอรีน	เวลาที่ครบกำหนด	ทำการตกตะกอนด้วยสารส้ม
56.	Post 20 (1)	23.35 น. 2 พ.ค. 2543	00.35 น. 3 พ.ค. 2543	จากการทำ Jar test พบว่าค่าสารละลายสารส้มที่เหมาะสม อยู่ที่ 50 ppm
57.	Post 20 (3)	23.36 น. 2 พ.ค. 2543	02.36 น. 3 พ.ค. 2543	
58.	Post 20 (6)	23.38 น. 2 พ.ค. 2543	05.38 น. 3 พ.ค. 2543	
59.	Post 20 (12)	23.40 น. 2 พ.ค. 2543	11.40 น. 3 พ.ค. 2543	
60.	Post 20 (24)	23.42 น. 2 พ.ค. 2543	23.42 น. 3 พ.ค. 2543	

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

ส่วนที่ 1 : ภาคการทดลอง : หาความสัมพันธ์ระหว่าง Humic acid กับ THMs

1. นำน้ำตัวอย่างมา 1 ลิตร นำมาวิเคราะห์หา

1.1 Humic acid โดยใช้เครื่อง DR2010 Spectrophotometer เติมน้ำตัวอย่าง 25 mL ลงใน Sample cell (ใช้น้ำกลั่น 25 mL ใน Sample cell เป็น Blank) วัดค่าเทียบกับ Calibration Curve ที่ตั้งไว้ (ความยาวคลื่นที่ 427 nm.) จะได้ค่าเริ่มต้น ตัวอย่างน้ำ X = 4.695 mg/L as Humic acid

1.2 THMs นำน้ำตัวอย่างใส่ขวดสีชา ปริมาตร 150 mL ปิดฝาให้สนิทหุ้มด้วยกระดาษสีดำ ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิทแช่ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ < 4 °C ก่อนนำไปล้างบรรจุน้ำแข็งส่งตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ ฯ 1 (F₁)

2. เตรียมสารละลายกรด Humic ที่ 2X จากค่าเริ่มต้น X = 4.695 mg/L as Humic acid

(เพราะฉะนั้น 2X = 9.39 mg/L as Humic acid)

โดยนำน้ำตัวอย่างมา 1,000 mL ปิเปตต์มา 9.39 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 1,000 mL เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 mL ก็จะได้ 2X = 9.39 mg/L as Humic acid

$$\text{จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของ Humic acid ในน้ำตัวอย่าง = 4.695 mg/L as Humic acid

V_1 = ปริมาตรของสารละลาย Humic acid ที่ปิเปตต์มา (mL)

C_2 = ความเข้มข้นของ Humic acid ที่ต้องการ (ppm)

V_2 = ปริมาตรของสารที่ต้องการเมื่อเติมน้ำกลั่นลงไปจนมีค่า = 1,000 mL

ตารางที่ ค-1 การเตรียมสารละลาย Humic acid ที่ 1, 5, 10, 15, 20 ppm ด้วย Standard solution, mL of 100 mg/L

Humic acid (ppm or mg/L)	Standard solution, mL of 100 mg/L
1	1 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL
5	5 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL
10	10 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL
15	15 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL
20	20 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL

เตรียมสารละลายคลอรีนมาตรฐานความเข้มข้น 20 ppm (mg/L as Cl₂) โดยนำคลอรีนผงCa(OCl)₂ มา 1 g เติมน้ำจำนวน 1 ลิตร จะได้ Ca(OCl)₂·4H₂O ความเข้มข้น 1,000 mg/L as Cl₂ (ppm) แต่เนื่องจากคลอรีนผงมีความเข้มข้น 60% ดังนั้น จะได้

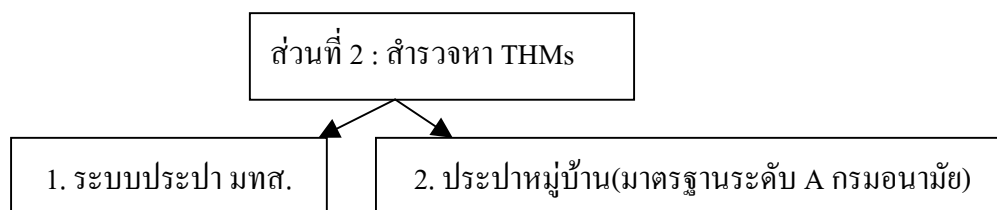
$$\text{mg/L as Cl}_2 = (1,000 \text{ mg/L}) \times 0.6 = 600 \text{ mg/L as Cl}_2$$

ปิเปตต์สารละลาย 600 mg/L as Cl₂ มาจำนวน 10 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 500 mL เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 300 mL ก็จะได้สารละลายคลอรีนความเข้มข้น 20 ppm

$$\text{จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

หมายเหตุ : ใช้สัญลักษณ์ A, B, C, D, E, F, G ในการส่งตรวจวิเคราะห์ THMs

ส่วนที่ 2 : ดำรงหา THMs



จัดเตรียมอุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่างน้ำ แบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. สำหรับส่งตรวจคุณภาพน้ำทั่วไป

1.1 ชุดเก็บตัวอย่างน้ำ ทางกายภาพ ได้แก่ ถังเก็บน้ำดื่มพลาสติกโพลีเอทิลีน ขนาด 2 ลิตร จำนวน 3 ถัง

1.2 ชุดเก็บตัวอย่างน้ำทางเคมี ได้แก่ ถังเก็บน้ำดื่มพลาสติกโพลีเอทิลีน ขนาด 1.5 ลิตร พร้อมชุดกรดไนตริก

1.3 ชุดเก็บตัวอย่างน้ำทางแบคทีเรีย ได้แก่ ขวด BOD ขนาด 100 mL ครอบฝาด้วยจุกแก้วพร้อมฟุ่มพอยด์ ใส่ในกระบอกเหล็ก พร้อมตะแกรงเหล็ก และตะเกียงแอลกอฮอล์

2. สำหรับส่งตรวจวิเคราะห์ THMs

ใช้ขวดแก้วสีชาขนาด 150 mL พร้อมฝาปิดสนิท หุ้มด้วยกระดาษสีดำ เก็บใส่ถุงพลาสติก รัดปากถุงปิดสนิท นำตัวอย่างทั้งหมดเก็บรักษาอุณหภูมิด้วยการแช่ในถังอุณหภูมิต่ำแช่แข็งเต็ม 2 ถัง ก่อนนำส่งตรวจวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ ฯ ภายใน 24 ชั่วโมง

3. วัน เวลา และสถานที่ดำเนินการ

วันจันทร์ที่ 6 มีนาคม 2543 เก็บตัวอย่างที่จุดเก็บระบบประปาหมู่บ้าน

14.00 น. – หมู่ที่ 5 บ้านดอนผวา ต.ลำคองหษ์ อ.โนนสูง

16.00 น. – หมู่ที่ 5 บ้านหินตั้ง ต.เสมา อ.สูงเนิน

วันอังคารที่ 7 มีนาคม 2543 เก็บตัวอย่างที่จุดเก็บระบบประปาหมู่บ้าน

14.00 น. – หมู่ 3, 4 บ้านศรีละกอ ต.ศรีละกอ อ.จักราช

18.00 น. หมู่ที่ 3 ต.โป่งแดง อ.ขามทะเลสอ

วันพุธที่ 8 มีนาคม 2543 เก็บตัวอย่างที่จุดเก็บระบบประปามทส. และประปาหมู่บ้าน

10.00 น. – เก็บที่ระบบประปา มทส.

15.00 น. – หมู่ที่ 1, 7, 11 บ้านโคกสะอาด-ป่าโจด ต.สุขเกษม อ.ปักธงชัย

วันพฤหัสบดีที่ 9 มีนาคม 2543 เก็บตัวอย่างที่จุดเก็บระบบประปาหมู่บ้าน

10.00 น. – หมู่ที่ 2, 1 บ้านคอนแขวน ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง

11.30 น. – หมู่ที่ 1 บ้านหนองเข้คูม ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง

14.00 น. – หมู่ที่ 4 บ้านเฉลียงโคก ต.เฉลียงโคก อ.ครบุรี

ในส่วนที่ผู้วิจัยสามารถดำเนินการได้ตามการทดลอง แบ่งเป็นดังนี้

- เตรียมขั้นตอนการทดลองในทุกส่วน, เก็บตัวอย่างส่งตรวจวิเคราะห์ THMs ที่ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือและวิจัย (F₁) และคุณภาพน้ำทั่วไป ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 นครราชสีมา

- ตรวจวิเคราะห์ ความขุ่น (Turbidity) ด้วยเครื่อง Turbidimeter

- คลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) ใช้เครื่อง DR2000 Spectrophotometer

- Humic acid ใช้เครื่อง DR2010 Spectrophotometer

4. จุดเก็บตัวอย่างน้ำระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)

4.1 แหล่งน้ำดิบ เก็บที่ก๊อกรูน้ำก่อนเข้าระบบ (S₁)

4.2 ถังกวนเร็ว (S₂)

4.3 ถังกวนช้า+ถังตกตะกอน (S₃)

4.4 ถังกรองทราย (S₄)

4.5 อาคาร 4 แห่ง จุดเก็บก๊อกรูน้ำของอาคาร แยกเป็น

- อาคารห้องพักสุรนารีเวศ 2 (S₅)

- อาคารเรียนรวม (S₆)

- อาคารกิจกรรมนักศึกษา (S₇)

- โรงอาหารกลาง (S₈)

5. จุดเก็บตัวอย่างน้ำระบบประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย

5.1 แหล่งน้ำดิบ เก็บจากจุดสูบน้ำก่อนเข้าระบบ (1/1, ..., 8/1)

5.2 ถังตกตะกอน (1/2, ..., 8/2)

5.3 ถังกรองน้ำ (1/3, ..., 8/3)

5.4 ถังเก็บน้ำใส ภายในถังรูปโดมวงกลม มีฝาปิด (1/4, ..., 8/5)

5.5 หอดังสูง จุดเก็บก๊อกน้ำหน้าหอดังสูง (1/5, ..., 8/5)

5.6 จุดจ่ายน้ำครัวเรือน 3 แห่ง ได้แก่

- ก๊อกน้ำครัวเรือนผู้ใช้น้ำ ระยะห่างประมาณ 50 m (1/6, ..., 8/6)

- ก๊อกน้ำครัวเรือนผู้ใช้น้ำ ระยะห่างประมาณ 100 m (1/7, ..., 8/7)

- ก๊อกน้ำครัวเรือนผู้ใช้น้ำ ระยะห่างประมาณ 150 m (1/8, ..., 8/8)

ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1.) ผลการทดลองส่วนที่ 1 : ภาคการทดลอง : ชุดที่ 1 หาการก่อตัว THMs

ตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวิเคราะห์หาไตรฮาโลมีเทนจากตัวอย่างน้ำผิวดินในห้องปฏิบัติการ

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCl ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
A	12.97	4.61	0.64	ND	18.22
B	17.01	4.08	0.17	ND	21.26
C	29.06	ND	ND	ND	29.06
D	109.39	0.46	ND	ND	109.85
E	86.08	0.47	ND	0.79	87.34
F	128.31	0.22	ND	0.37	128.89
G	125.93	0.80	ND	0.07	126.80
1/1	5.59	2.78	0.95	ND	9.32
1/2	2.72	1.18	ND	ND	3.90
2/1	5.18	0.66	ND	ND	5.84
2/2	2.14	ND	ND	ND	2.14
3/1	7.82	1.72	ND	ND	9.54
3/2	2.37	0.44	ND	ND	2.81
4/1	6.31	1.03	ND	ND	7.34
4/2	3.72	0.69	ND	ND	4.41
5/1	13.67	5.53	1.44	ND	20.63
5/2	5.56	3.14	0.48	ND	9.19
6/1	8.12	2.30	0.23	ND	10.65
6/2	3.43	0.87	ND	ND	4.30
7/1	6.79	3.74	1.23	ND	11.76
7/2	7.12	4.44	1.17	ND	12.73

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCL ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
8/1	18.25	8.43	3.34	ND	30.02
8/2	8.88	4.91	1.82	ND	15.61
9/1	18.23	8.42	3.36	ND	30.01
9/2	11.04	5.64	2.07	ND	18.75
10/1	34.11	14.33	5.30	ND	53.74
10/2	19.76	9.70	3.42	ND	32.88
11/1	11.66	6.51	3.45	ND	21.62
11/2	4.85	3.04	1.44	ND	9.33
12/1	19.16	9.57	4.68	0.46	33.87
12/2	9.19	5.57	2.57	ND	17.33
13/1	20.82	10.09	4.83	ND	35.73
13/2	11.87	6.61	2.87	ND	21.36
14/1	34.14	14.76	6.29	0.21	55.41
14/2	19.67	10.16	4.39	ND	34.22
15/1	39.48	16.08	5.85	ND	61.41
15/2	20.54	9.78	3.64	ND	33.95
16/1	18.32	8.72	4.20	ND	31.24
16/2	12.34	6.83	2.91	ND	22.08
17/1	18.35	7.69	3.43	ND	29.48
17/2	8.08	4.07	1.63	ND	13.79
18/1	34.45	14.03	6.07	0.23	54.78
18/2	16.49	8.54	3.65	ND	28.67
19/1	25.51	9.95	3.52	ND	38.99
19/2	15.00	6.59	2.45	ND	24.05
20/1	47.28	18.13	6.36	ND	71.77
20/2	18.00	9.16	3.33	ND	30.49

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCL ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
21/1	15.17	4.24	0.56	ND	19.97
21/2	10.78	3.38	0.27	ND	14.43
22/1	39.34	17.91	7.14	ND	64.39
22/2	30.54	14.85	5.57	ND	50.96
23/1	43.26	18.85	7.34	ND	69.45
23/2	32.71	15.68	5.96	ND	54.35
24/1	52.02	21.22	7.96	0.13	81.32
24/2	44.31	19.26	7.07	ND	70.63
25/1	8.39	0.93	ND	ND	9.32
25/2	3.96	0.61	ND	ND	4.57
26/1	32.13	14.81	6.11	ND	53.06
26/2	25.86	12.31	4.71	ND	42.88
27/1	37.99	22.21	9.99	5.56	75.76
27/2	31.33	16.71	7.12	3.83	58.99
28/1	48.73	24.07	10.55	7.63	90.98
28/2	34.66	18.75	8.12	6.01	6.54
29/1	72.98	33.54	12.84	5.11	124.47
29/2	56.35	27.53	10.27	4.52	98.67
30/1	70.47	32.20	12.31	3.14	118.13
30/2	38.69	21.24	8.24	2.60	70.77
31/1	11.35	1.17	ND	1.67	14.19
31/2	4.87	0.25	ND	1.33	6.45
32/1	25.17	11.02	3.41	1.25	40.86
32/2	20.06	9.00	2.88	0.94	32.88
33/1	25.57	10.96	3.59	0.88	40.99
33/2	20.41	9.37	3.07	0.74	33.59

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCl ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
34/1	24.88	11.12	3.71	0.54	40.25
34/2	20.86	9.65	3.15	0.39	34.04
35/1	20.76	9.39	3.23	0.31	33.70
35/2	18.95	9.38	3.26	0.13	31.72
36/1	13.02	0.22	ND	ND	13.25
36/2	7.44	ND	ND	ND	7.44
37/1	12.24	ND	ND	ND	12.24
37/2	4.90	ND	ND	ND	4.90
38/1	11.43	ND	ND	ND	11.43
38/2	6.00	0.03	ND	ND	6.03
39/1	14.89	6.07	1.70	ND	22.65
39/2	17.16	6.66	1.73	ND	25.56
40/1	18.60	5.68	1.45	ND	25.73
40/2	16.38	5.80	1.53	ND	23.71
41/1	10.30	ND	ND	ND	10.30
41/2	4.54	ND	ND	ND	4.54
42/1	10.71	ND	ND	ND	10.71
42/2	5.92	ND	ND	ND	5.92
43/1	7.60	ND	ND	ND	7.60
43/2	5.77	ND	ND	ND	5.77
44/1	7.27	ND	ND	ND	7.27
44/2	3.58	ND	ND	ND	3.58
45/1	7.41	ND	ND	ND	7.41
45/2	7.46	0.96	ND	ND	8.42
46/1	14.06	0.87	ND	ND	14.93
46/2	3.46	ND	ND	ND	3.46

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCL ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
47/1	9.30	ND	ND	ND	9.30
47/2	7.90	0.55	ND	ND	8.45
48/1	7.46	ND	ND	ND	7.46
48/2	6.09	ND	ND	ND	6.09
49/1	9.74	ND	ND	ND	9.74
49/2	6.36	ND	ND	ND	6.36
50/1	3.16	ND	ND	ND	3.16
50/2	4.29	0.29	ND	ND	4.57
51/1	4.98	ND	ND	ND	4.98
51/2	0.48	ND	ND	ND	0.48
52/1	3.29	ND	ND	ND	3.29
52/2	4.96	0.29	ND	ND	5.24
53/1	4.89	ND	ND	ND	4.89
53/2	3.67	ND	ND	ND	3.67
54/1	3.02	ND	ND	ND	3.02
54/1	5.40	ND	ND	ND	5.40
54/1	3.59	ND	ND	ND	3.59
54/2	2.71	ND	ND	ND	2.71
55/1	0.21	ND	ND	ND	0.21
55/2	3.84	0.60	ND	ND	4.44
56/1	2.46	ND	ND	ND	2.46
56/2	ND	ND	ND	ND	ND
57/1	6.80	ND	ND	ND	6.80
57/2	5.87	0.62	ND	ND	6.50
58/1	6.33	ND	ND	ND	6.33
58/2	4.39	ND	ND	ND	4.39

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCl ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
60/1	3.23	ND	ND	ND	3.23
60/2	5.43	0.98	ND	ND	6.41
A1 – ก 1	7.28	1.01	ND	ND	8.29
A2 – ก 2	18.30	3.52	0.75	ND	21.89
A3 – ก 3	12.98	3.97	0.75	ND	17.70
A4 – ก 4	19.83	7.61	2.57	ND	30.01
A5 – ก 5	357.94	72.27	15.38	1.15	446.74
A6 – ก 6	13.71	4.85	0.82	ND	19.37
A7 – ก 7	32.04	13.26	4.99	ND	50.28
A8 – ก 8	7.86	3.05	ND	ND	10.91
A9 – ก 9	40.61	13.63	4.62	ND	58.87
A10 – ก 10	274.38	45.69	9.96	ND	330.03
B1 – ข 1	5.78	1.55	ND	ND	7.33
B2 – ข 2	7.89	1.60	ND	ND	9.48
B3 – ข 3	3.92	1.33	ND	ND	5.25
B4 – ข 4	6.92	2.36	ND	ND	9.28
B5 – ข 5	52.26	12.97	3.08	ND	68.31
B6 – ข 6	5.45	1.29	ND	ND	6.74
B7 – ข 7	9.01	1.34	ND	ND	10.36
B8 – ข 8	4.17	1.35	ND	ND	5.51
B9 – ข 9	9.05	1.01	ND	ND	10.06
B10 – ข 10	45.17	9.78	2.38	ND	57.33
C1 – ค 1	ND	ND	ND	ND	ND
C2 – ค 2	ND	ND	ND	ND	ND
C3 – ค 3	ND	ND	ND	ND	ND
C4 – ค 4	ND	ND	ND	ND	ND

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCl ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
C5 – ค 5	ND	ND	ND	ND	ND
C6 – ค 6	3.20	1.34	ND	ND	4.54
C7 – ค 7	2.95	1.31	ND	ND	4.27
C8 – ค 8	2.51	1.09	ND	ND	3.60
C9 – ค 9	ND	ND	ND	ND	ND
C10 – ค 10	2.79	1.03	ND	ND	3.82

ND: lower than detection limit (0.2ug/L)

2.) ผลการทดลองส่วนที่ 1 : ภาคการทดลอง : ชุดที่ 3

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์หากรดิวมิก (mg/L) จากตัวอย่างที่ ก₁-ก₅ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

จำนวนตัวอย่าง ที่ส่งตรวจ วิเคราะห์	ปริมาณ Cl ₂ ที่เติม (ppm)	pH เริ่มต้น	pH ที่ปรับแล้ว	ปริมาณ Humic acid (mg/L) ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 เม.ย. 2543 เริ่ม 22.40 น.
ก ₁	X (2.5 mL)	8.36	7.04	7.51
ก ₂	2X (5 mL)	8.72	7.01	7.92
ก ₃	1 (1.25 mL)	7.84	7.02	6.68
ก ₄	5 (6.25 mL)	7.96	7.00	7.92
ก ₅	20 (Cl ₂ 600 ppm เติม 0.83 mL)	7.84	7.01	12.16

ตารางที่ ง-3 ผลการวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่างที่ ก₆-ก₁₀ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

จำนวนตัวอย่าง ที่ส่งตรวจ วิเคราะห์	ปริมาณ Cl ₂ ที่เติม (ppm)	pH เริ่มต้น	pH ที่ปรับแล้ว	ปริมาณ Humic acid (mg/L) ที่เวลา 3 ชั่วโมง 30 เม.ย. 2543 เริ่ม 23.40-02.40 น.
ก ₆	X (2.5 mL)	8.09	7.02	6.26
ก ₇	2X (5 mL)	8.07	7.05	6.26
ก ₈	1 (1.25 mL)	8.18	6.96	5.85
ก ₉	5 (6.25 mL)	8.13	6.96	6.68
ก ₁₀	20 (Cl ₂ 600 ppm เติม 0.83 mL)	8.29	6.96	7.09

ตารางที่ ง-4 ผลการวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่างที่ ข₁-ข₅ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

จำนวนตัวอย่าง ที่ส่งตรวจ วิเคราะห์	ปริมาณ Cl ₂ ที่เติม (ppm)	pH เริ่มต้น	pH ที่ปรับแล้ว	ปริมาณ Humic acid (mg/L) ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 เม.ย. 2543 เริ่ม 23.10 น.
ข ₁	X (5 mL)	8.13	7.04	9.59
ข ₂	2X (10 mL)	8.06	6.95	9.59
ข ₃	1 (2.5 mL)	7.93	6.99	8.76
ข ₄	5 (12.5 mL)	8.08	6.97	12.91
ข ₅	20 (Cl ₂ 600 ppm เติม 1.67 mL)	8.06	7.03	17.89

ตารางที่ ง-5 ผลการวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่างที่ ข₆-ข₁₀ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

จำนวนตัวอย่าง ที่ส่งตรวจ วิเคราะห์	ปริมาณ Cl ₂ ที่เติม (ppm)	pH เริ่มต้น	pH ที่ปรับแล้ว	ปริมาณ Humic acid (mg/L) ที่เวลา 3 ชั่วโมง 1 พ.ค. 2543 เริ่ม 00.10-03.10 น.
ข ₆	X (5 mL)	7.82	6.96	6.68
ข ₇	2X (10 mL)	7.74	7.01	7.51
ข ₈	1 (2.5 mL)	7.69	6.98	5.02
ข ₉	5 (12.5 mL)	7.83	7.01	7.92
ข ₁₀	20 (Cl ₂ 600 ppm เติม 1.67 mL)	7.96	6.99	9.17

ตารางที่ ง-6 ผลการวิเคราะห์หากรดฮิวมิก (mg/L) จากตัวอย่างที่ ค₁-ค₅ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

จำนวนตัวอย่าง ที่ส่งตรวจ วิเคราะห์	ปริมาณ Cl ₂ ที่เติม (ppm)	pH เริ่มต้น	pH ที่ปรับแล้ว	ปริมาณ Humic acid (mg/L) ที่เวลา 1 ชั่วโมง 1 พ.ค. 2543 เริ่ม 00.45 น.
ค ₁	X (10 mL)	7.80	6.96	8.34
ค ₂	2X (20 mL)	7.77	7.00	8.76
ค ₃	1 (10 mL ขวด 200 mL)	7.68	7.01	7.92
ค ₄	5	7.86	7.01	9.59
ค ₅	20	8.02	7.00	10.00

ตารางที่ ง-7 ผลการวิเคราะห์หากรดิวมิก (mg/L) จากตัวอย่างที่ ค₆-ค₁₀ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

จำนวนตัวอย่าง ที่ส่งตรวจ วิเคราะห์	ปริมาณCl ₂ ที่เติม (ppm)	pH เริ่มต้น	pH ที่ปรับแล้ว	ปริมาณ Humic acid (mg/L) ที่เวลา 3 ชั่วโมง 1 พ.ค. 2543 เริ่ม 01.45-03.45 น.
ค ₆	X (10 mL)	8.07	7.00	6.68
ค ₇	2X (20 mL)	7.78	7.02	6.68
ค ₈	1 (10 mL ขวด 200 mL)	7.89	7.00	6.26
ค ₉	5	7.73	6.95	8.34
ค ₁₀	20	7.75	6.98	10.00

ใช้คลอรีนมาตรฐาน 20 ppm ปีเปดต์มา 10 mL ใส่ในตัวอย่าง 100 mL จะได้คลอรีนตกค้าง 2 ppm
 ใช้คลอรีนมาตรฐาน 20 ppm ปีเปดต์มา 20 mL ใส่ในตัวอย่าง 100 mL จะได้คลอรีนตกค้าง 4 ppm
 ใช้คลอรีนมาตรฐาน 20 ppm ปีเปดต์มา 10 mL ใส่ในตัวอย่าง 200 mL จะได้คลอรีนตกค้าง 1 ppm
 ใช้คลอรีนมาตรฐาน 20 ppm ปีเปดต์มา 10 mL ใส่ในตัวอย่าง 40 mL จะได้คลอรีนตกค้าง 5 ppm
 ใช้คลอรีนมาตรฐาน 600 ppm ปีเปดต์มา 10 mL ใส่ในตัวอย่าง 300 mL จะได้คลอรีนตกค้าง 20 ppm

$$\text{จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = คลอรีน ความเข้มข้น 20 ppm ที่เตรียมไว้

V_1 = ปริมาตรของสารละลายคลอรีนที่ต้องเติม

C_2 = ความเข้มข้นของคลอรีน ที่ต้องการ (ppm)

V_2 = ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ต้องการ (ในที่นี้ใช้ขวดรูปชมพู่ 25 mL)

ตัวอย่าง ต้องการเตรียมสารละลายคลอรีนที่มี คลอรีนตกค้าง 1 ppm ในน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 mL (ขวดรูปชมพู่ จีตบออกปริมาตร) จะต้องเติมสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 20 ppm ที่เตรียมไว้ ปริมาตรเท่าใด

$$\text{จาก } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(20 \text{ mg/L}) V_1 = (1 \text{ mg/L})(25 \text{ mL})$$

$$V_1 = 1.25 \text{ mL}$$

3.) ผลการทดลองส่วนที่ 2 : การตรวจวิเคราะห์หาไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane : THMs) จากแหล่งน้ำดิบระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)

ตารางที่ ง-8 ผลการตรวจวิเคราะห์หาไตรฮาโลมีเทนจากแหล่งน้ำดิบระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCL ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
1/1	0.52	0.12	ND	2.20	2.84
1/2	0.41	0.11	0.09	0.77	1.38
1/3	0.56	0.11	0.13	ND	0.79
1/4	22.88	42.08	58.30	21.59	144.86
1/5	65.25	62.76	64.40	21.09	213.51
1/6	61.60	80.67	76.88	20.88	240.02
1/7	39.53	63.55	67.22	20.32	190.62
1/8	28.44	32.58	37.72	12.80	111.54
2/1	0.58	0.08	ND	2.34	3.00
2/2	0.56	0.07	ND	2.25	2.87
2/3	0.58	0.07	ND	0.92	1.56
2/4	10.43	3.61	1.04	0.68	15.76
2/5	50.97	21.40	6.00	0.68	79.05
2/6	6.22	1.45	0.49	ND	8.15
2/7	23.43	9.47	2.63	0.63	36.17
2/8	49.95	18.90	5.08	0.55	74.49
3/1	4.23	0.68	0.21	ND	5.12
3/2	5.50	1.41	0.42	ND	7.33
3/3	6.59	1.79	0.51	ND	8.89
3/4	43.06	17.01	4.60	ND	64.67
3/5	59.92	24.65	6.94	ND	91.51

ตารางที่ ง-8 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCl ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
3/6	69.54	27.63	7.95	0.47	105.59
3/7	60.16	24.12	6.86	ND	91.14
3/8	245.81	59.70	12.84	0.59	318.93
4/1	0.38	0.06	ND	ND	0.44
4/2	0.41	0.07	ND	ND	0.48
4/3	0.41	0.07	ND	ND	0.48
4/4	7.55	1.16	0.18	ND	8.89
4/5	6.55	1.01	0.18	ND	7.74
4/6	4.40	0.61	ND	ND	5.01
4/7	5.74	0.99	0.17	ND	6.91
4/8	6.06	0.98	0.16	ND	7.20
5/1	3.06	0.27	ND	ND	3.32
5/2	2.88	0.27	ND	ND	3.15
5/3	3.52	2.89	ND	ND	3.81
5/4	16.66	10.78	7.62	1.46	36.52
5/5	13.89	9.78	7.34	1.57	32.58
5/6	8.51	5.30	4.98	1.30	20.10
5/7	4.11	1.58	1.50	0.45	7.63
5/8	8.58	5.26	4.84	1.22	19.90
6/1	2.24	0.18	ND	ND	2.42
6/2	2.71	0.25	ND	ND	2.96
6/3	2.54	0.23	ND	ND	2.78
6/4	2.77	0.37	ND	ND	3.14
6/5	2.79	0.31	ND	ND	3.10
6/6	2.97	0.27	ND	ND	3.24
6/7	3.77	0.26	ND	ND	4.03

ตารางที่ ง-8 (ต่อ)

Sample name	CHCL ₃ ug/L	CHCl ₂ Br ug/L	CHClBr ₂ ug/L	CHBr ₃ ug/L	Total THMs ug/L
6/8	3.28	0.28	ND	ND	3.56
7/1	2.71	0.24	ND	ND	2.94
7/2	2.69	0.23	ND	ND	2.92
7/3	2.48	0.22	ND	ND	2.69
7/4	2.86	0.34	0.86	ND	4.06
7/5	2.73	0.31	ND	ND	3.03
7/6	3.48	0.53	ND	ND	4.01
7/7	3.74	0.56	ND	ND	4.30
7/8	3.38	0.37	ND	ND	3.75
8/1	0.55	0.09	ND	ND	0.64
8/2	48.12	28.91	15.53	2.12	94.68
8/3	0.56	0.08	ND	ND	0.64
8/4	52.55	27.84	15.80	2.41	98.61
8/5	2.59	0.22	ND	ND	2.81
8/6	2.02	0.17	ND	ND	2.19
8/7	2.81	0.19	ND	ND	2.99
8/8	2.88	0.24	ND	ND	3.12
S/1	71.99	1.37	0.22	0.33	73.91
S/2	67.81	17.07	2.75	0.32	87.95
S/3	55.66	8.35	0.75	ND	64.76
S/4	46.81	7.02	6.33	ND	54.47
S/5	58.84	17.54	5.36	0.84	82.58
S/6	23.19	6.47	2.18	ND	31.83
S/7	23.64	6.80	2.30	0.40	33.14
S/8	24.65	6.29	1.95	0.45	33.34

ND : lower than detection limit (0.05ug/L)

4.) ผลการทดลองส่วนที่ 2 : การตรวจวิเคราะห์หาความขุ่น กรดฮิวมิก และคลอรีนตกค้างจากแหล่งน้ำดิบระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง-9 ผลการวิเคราะห์ความขุ่น กรดฮิวมิก และคลอรีนตกค้างจากแหล่งน้ำดิบระบบประปาหมู่บ้าน 8 แห่ง และระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างที่	ผลการตรวจวิเคราะห์		
	ความขุ่น (Turbidity) (NTU)	Humic acid (mg/L as Humic acid)	คลอรีนตกค้าง (Residual Chlorine) (mg/L or ppm)
1/1	0.8	14.98	0.02
1/2	0.7	10.13	0.01
1/3	0.6	8.34	0.01
1/7	1.0	18.31	0.32
1/5	1.2	25.37	0.44
1/6	1.2	19.97	0.68
1/7	1.6	19.14	0.84
1/8	1.0	17.76	0.61
2/1	1.0	25.37	0.02
2/2	1.0	24.95	0.02
2/3	1.0	24.95	0.01
2/4	1.5	31.60	0.03
2/5	2.7	38.66	0.16
2/6	1.5	31.18	0.02
2/7	2.3	32.84	0.16
2/8	1.5	33.67	0.42
3/1	1.3	15.40	0.03
3/2	1.4	17.48	0.05
3/3	0.7	17.48	0.04
3/4	1.8	18.72	0.14

ตารางที่ ง-9 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ผลการตรวจวิเคราะห์		
	ความขุ่น (Turbidity) (NTU)	Humic acid (mg/L as Humic acid)	คลอรีนตกค้าง (Residual Chlorine) (mg/L or ppm)
3/5	2.3	24.54	0.19
3/6	2.8	50.83	0.30
3/7	1.6	20.80	0.52
3/8	2.8	78.04	1.82
4/1	1.8	17.06	0
4/2	2.3	18.31	0
4/3	1.1	20.38	0
4/4	5.8	25.78	0.02
4/5	3.1	20.38	0.02
4/6	1.3	20.80	0.02
4/7	3.7	22.04	0.03
4/8	5.8	24.95	0.04
5/1	1.0	15.82	0.02
5/2	0.6	14.32	0.02
5/3	1.0	19.14	0.02
5/4	4.3	26.61	0.12
5/5	2.1	22.88	0.09
5/6	1.8	22.88	0.08
5/7	1.5	21.63	0.01
5/8	1.5	22.46	0.07
6/1	1.0	14.15	0
6/2	1.1	15.82	0.01

ตารางที่ ง-9 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ผลการตรวจวิเคราะห์		
	ความขุ่น (Turbidity)(NTU)	Humic acid (mg/L as Humic acid)	คลอรีนตกค้าง (Residual Chlorine) (mg/L or ppm)
6/3	1.0	14.98	0.01
6/4	1.3	17.89	0.02
6/5	1.2	17.48	0.01
6/6	1.5	21.21	0.01
6/7	1.7	24.17	0.02
6/8	1.6	22.06	0.02
7/1	1.0	17.06	0.01
7/2	1.0	16.23	0.01
7/3	0.9	11.66	0.01
7/4	1.2	19.82	0.02
7/5	1.0	17.06	0.01
7/6	1.1	20.86	0.02
7/7	1.3	27.44	0.02
7/8	1.0	18.31	0.02
8/1	0.5	13.32	0
8/2	2.0	20.38	0.68
8/3	0.5	14.15	0
8/4	2.0	19.14	0.21
8/5	0.8	15.82	0.01
8/6	0.8	15.40	0.01
8/7	1.0	15.82	0.01
8/8	1.6	17.06	0.01

ตารางที่ ง-9 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ผลการตรวจวิเคราะห์		
	ความขุ่น (Turbidity) (NTU)	Humic acid (mg/L as Humic acid)	คลอรีนตกค้าง (Residual Chlorine) (mg/L or ppm)
S/1	1.0	17.48	0.38
S/2	0.9	18.72	0.63
S/3	0.7	16.23	0.29
S/4	0.4	13.32	0.12
S/5	1.2	18.31	0.18
S/6	0.4	8.34	0.10
S/7	0.5	9.58	0.15
S/8	0.6	12.91	0.19

หมายเหตุ : ค่าคลอรีนตกค้าง ที่วัดได้น้อยมากเนื่องจากไม่ได้วัดทันทีที่จุดเก็บตัวอย่างแต่นำมาวัดด้วยเครื่องวัดในห้องปฏิบัติการหลังจากเก็บตัวอย่างมาแล้ว > 3 ชั่วโมง

ภาคผนวก จ

การเตรียม Standard Chlorine Solution

การเตรียม Standard Chlorine Solution

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ความเข้มข้นที่ 3, 5, 7, 10, 15, 20 ppm

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ตัวอย่าง เช่น $Cl_2 = 3 \text{ ppm}$

นำสารละลาย Cl_2 มาตรฐาน 600 ppm ปิเปตต์มาจำนวน 3 mL เติมน้ำกลั่น 600 mL

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$C_1 =$ ความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 600 ppm

$V_1 =$ ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปิเปตต์มา ในที่นี้ = 3 mL

$C_2 =$ ความเข้มข้นสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ต้องการ 3 ppm

$V_2 =$ ปริมาตรของสารละลายคลอรีนมาตรฐานที่ปิเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 600 mL

$$\frac{600 \text{ mg/L} \times 3 \text{ mL}}{600 \text{ mL}} = 3 \text{ mg/L (or ppm)}$$

จากนั้นนำมาไทเตรทด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ 0.025 N ได้ค่าที่ใช้ตามลำดับดังนี้ 0.04, 0.26, 0.46, 0.56, 0.89 mL ทำ blank 1 ค่า โดยใช้น้ำกลั่น โดยปิเปตต์เอา Cl_2 50 mL

ภาคผนวก จ

การทำจาร์เทสต์ (Jar Test)

การทำจาร์เทสต์ (Jar test)

การทำจาร์เทสต์ คือ การทดสอบคุณลักษณะการตกตะกอนของน้ำเพื่อจะนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่จะใช้ให้เกิดการตกตะกอนดีที่สุดที่รวดเร็วที่สุด และใช้สารเคมีน้อยที่สุดกับปริมาณน้ำดีที่มีปริมาณมาก ๆ

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ มีดังนี้

1. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1,000 mL	จำนวน	6	ใบ
2. ปิเปตต์ (Pipet) ขนาด 1, 2, 5, 20 mL	อย่างละ	1	อัน
3. แท่งแก้ว	จำนวน	2	อัน
4. ช้อนตักสารเคมี	จำนวน	2	อัน
5. ตาชั่งแบบละเอียด	จำนวน	1	เครื่อง
6. เครื่องวัดพีเอช (pH)	จำนวน	1	เครื่อง
7. สารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm	จำนวน	1,000	มิลลิลิตร
8. เครื่องกวนสารส้มสำหรับทำจาร์เทสต์	จำนวน	1	เครื่อง

การเตรียมสารละลายสารส้มมาตรฐาน 1,000 ppm

ละลายผงสารส้มที่ผ่านการกรองจำนวน 1 กรัม $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}]$ ในน้ำกลั่น จำนวน 1 ลิตร คนให้เข้ากัน ก็จะได้สารละลายสารส้มมาตรฐาน ความเข้มข้น 1,000 ppm

ขั้นตอนในการทำ มีดังนี้

1. วัดคุณภาพของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ คุณภาพน้ำทั่วไป (WHO ปี 2527), Alkalinity, สี, pH, ความขุ่น เป็นต้น
2. เตรียมน้ำตัวอย่าง 600 mL ลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 mL แต่ละใบจำนวน 6 ใบ
3. ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายสารส้มมาตรฐาน (Stock alum solution) ใสลงในแต่ละบีกเกอร์ ขนาด 6, 12, 18, 24, 30, และ 36 มิลลิลิตร ใสลงในแต่ละบีกเกอร์เรียงตามลำดับ ก็จะได้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม ในแต่ละบีกเกอร์เป็น 10, 20, 30, 40, 50, และ 60 ppm ตามลำดับ
4. นำน้ำตัวอย่างกวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วลดความเร็วลงเหลือ 30 รอบ/นาที กวนเป็นเวลา 20 นาที

5. สังเกตขนาดและปริมาณของ Floc. และเวลาที่ใช้ในแต่ละบีกเกอร์ นำตัวอย่างทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 60 สังเกตดู Floc. ที่ไม่ตกตะกอนในแต่ละบีกเกอร์
 6. รินเอาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำใสในแต่ละบีกเกอร์นำมาวัดค่า Alkalinity, สี, pH, ความขุ่น อีกครั้ง
 7. พล็อตกราฟระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณสารส้มที่ใช้ ปริมาณสารละลายสารส้มที่เหมาะสมที่ใช้ในการตกตะกอนจะได้จากการอ่านค่าจากกราฟ
- คุณภาพน้ำตัวอย่างเริ่มต้นที่นำมาทดลองในขั้นตอนที่ 1 : ภาควิชาการทดลอง : ตัวอย่างน้ำผิวดินจุดเก็บ
โรงกรองน้ำบ้านมะขามเต่าได้ผลดังตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ-1 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากตัวอย่างน้ำผิวดินจุดเก็บ โรงกรองน้ำบ้านมะขามเต่า

พารามิเตอร์ที่ตรวจสอบ	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2
สี (Color) (หน่วยแพลตตินัมโคบอลท์)	10	10
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	152	152
ความเป็นกรด-ด่าง	7.65	7.72
อุณหภูมิ (°C)	26	26
ความขุ่น (Turbidity) (NTU)	0.88	1.1
Humic acid (mg/L)	5.8	5.8
THMs (µg/L)	ND	ND
TDS (mg/L)	196	--
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	31	--
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	11	--
Cl ⁻ (mg/L)	133	--
NO ₃ (mg/L)	0.97	--
F ⁻ (mg/L)	0.15	--
COD (mg/L)	3.23	--
BOD (mg/L)	1.5	--
Fe (mg/L)	0.030	--
Mn (mg/L)	0	--
Cu (mg/L)	0.016	--

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

พารามิเตอร์ที่ตรวจสอบ		วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2
Zn	(mg/L)	0	--
Pb	(mg/L)	0	--
Cr	(mg/L)	0	--
Cd	(mg/L)	0.004	--
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	(เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร)	19	--
ฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	(เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร)	19	--

ND : lower than detection limit (0.2 µg/L), -- หมายถึง ไม่ได้ตรวจวัด

ผลการทำจาร์เทสต์ (Jar Test)

ตารางที่ จ.2 ผลการทำจาร์เทสต์จากตัวอย่างน้ำผิวดินจุดเก็บโรงกรองน้ำบ้านมะขามเต่า

ปริมาณสารส้มที่ใส่ในตัวอย่างน้ำ (mL)/(ppm)	ค่าความขุ่น (NTU) วัดด้วยเครื่อง Turbidity	pH	Temperature (°C)
6/10	0.9	8.04	25
12/20	0.87	8.14	25
18/30	1.0	7.83	25
24/40	0.72	7.83	25
30/50*	0.6	7.85	25
36/60	0.66	7.71	25

ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม คือ 50 ppm.

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มมาตรฐานที่เตรียมไว้ในที่นี้ = 1,000 ppm

V_1 = ปริมาตรของสารละลายสารส้มมาตรฐานที่ปิเปตต์มา ในที่นี้ = 50 mL

C_2 = ความเข้มข้นสารละลายสารส้มมาตรฐานที่เหมาะสม 50 ppm

V_2 = ปริมาตรของสารละลายสารส้มมาตรฐานที่ปิเปตต์มารวมกับน้ำตัวอย่างจนได้ 1,000 mL

$$\frac{1,000 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{1,000} = 50 \text{ mg/L (or ppm)}$$

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบค่าทางสถิติในการวิจัย

ผลการทดสอบค่าทางสถิติในการวิจัย

1. ส่วนที่ 1 ภาคการทดลอง : หากการก่อตัวของ THMs

1.1 ชุดที่ 1 ทำ Chlorination

ใช้สถิติ Pair Sample T-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและทดสอบความแตกต่างปริมาณ THMs ในน้ำตัวอย่างสำหรับสองกลุ่มตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง Pre-Chlorination กำจัดกับไม่กำจัด Cl_2 ก่อน และ Post-Chlorination กำจัดกับไม่กำจัด Cl_2 ก่อน ได้ข้อมูล 4 ชุด คือ

- 1) Post-Chlorination กำจัดกับไม่กำจัด Cl_2 ก่อน (POSTNDCL – POSTDCL)

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	POSTNDCL	13.26567	30	11.50762	2.10099
1	POSTDCL	9.72467	30	10.79784	1.97141

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
Pair		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	POSTNDCL-POSTDCL	3.54100	2.98656	.54527	2.4258	4.65620	6.494	29	.000

- 2) Pre-Chlorination กำจัดกับไม่กำจัด Cl_2 ก่อน (PRENOCL2 – PREDECL2)

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	PRENOCL2	44.33333	30	32.30623	5.89828
1	PREDECL2	27.15900	30	24.14655	4.40854

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	PRENDCL2- PREDECL2	17.17433	16.57047	3.02534	10.98682	23.36185	5.677	29	.000

3) Post-Chlorination กำจัด Cl_2 ก่อน กับ Pre-Chlorination กำจัด Cl_2 ก่อน (POSTDCL – PREDECL2)

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	POSTDCL	9.72467	30	10.79784	1.97141
	PREDECL2	27.15900	30	24.14655	4.40854

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	PPOSTDCL- PREDECL2	-17.43433	30.16312	5.50701	-28.69743	-6.17124	-3.166	29	.004

4) Pre-Chlorination ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน กับ Post-Chlorination ไม่กำจัด Cl_2 ก่อน (PRENOCL2 – POSTNDCL)

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	PRENOCL2	44.33333	30	32.30623	5.89828
1	POSTNDCL	13.26567	30	11.50762	2.10099

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig.(2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair	PRENOCL2 - POSTNDCL	31.06767	39.44897	7.20236	16.33718	45.79815	4.314	29	.000

1.2 ชุดที่ 2 เปรียบเทียบค่าปริมาณ THMs ในน้ำ 3 ประเภท

ใช้ Linear Regression วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับปริมาณ THMs ในแต่ละประเภทของตัวอย่างน้ำที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เติม ที่ความเข้มข้น 2, 4, 1, 5, 20 ppm แยกตามระยะเวลาสัมผัส 1 และ 3 ชั่วโมง ได้ข้อมูล 6 ชุด คือ

1.2.1 Humic acid & THMs at 1 hr. (Raw water)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMS _{r1}	104.92600	191.24009	5
HUMIC _{r1}	8.4380	2.14145	5

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.975 ^a	.951	.934	49.08691	3.136

^a. Predictors : (Constant), HUMIC_{r1}

^b. Dependent Variable : THMS_{r1}

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	139062.514	1	139062.514	57.714	.005 ^a
	Residual	7228.573	3	2409.524		
	Total	146291.087	4			

^a. Predictors: (Constant), HUMIC_{r1}

^b. Dependent Variable : THMS_{r1}

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-629.799	99.173		-6.350	.008	-945.408	-314.190
	HUMIC _{r1}	87.073	11.462	.975	7.597	.005	50.598	123.549

^a. Dependent Variable : THMS_{r1}

1.2.2 Humic acid & THMs at 3 hr. (Raw water)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMS _{r3}	93.89200	133.53768	5
HUMIC _{r3}	6.42800	.47230	5

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.853 ^a	.728	.638	80.36429	2.961

^a Predictors : (Constant), HUMIC_{r3}

^b Dependent Variable : THMS_{r3}

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	51953.984	1	51953.984	8.044	.066 ^a
	Residual	19375.259	3	6458.420		
	Total	71329.243	4			

^a Predictors: (Constant), HUMIC_{r3}

^b Dependent Variable : THMS_{r3}

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-1457.190	548.055		-2.659	.076	-3201.321	-286.941
	HUMIC _{r3}	241.301	85.077	.853	2.836	.066	-29.448	512.050

^a Dependent Variable: THMS_{r3}

1.2.3 Humic acid & THMs at 1 hr. (Filtered water)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMS _{f1}	19.93000	27.09941	5
HUMIC _{f1}	11.74800	3.78538	5

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.922 ^a	.850	.800	12.10504	2.812

^a Predictors : (Constant), HUMIC_{f1}

^b Dependent Variable : THMS_{f1}

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2497.916	1	2497.916	17.047	.026 ^a
	Residual	439.596	3	146.532		
	Total	2937.512	4			

^a Predictors : (Constant), HUMIC_{f1}

^b Dependent Variable : THMS_{f1}

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-57.626	19.549		-2.948	.060	-119.837	4.586
	HUMIC _{f1}	6.602	1.599	.922	4.129	.026	1.513	11.690

^a Dependent Variable: THMS_{f1}

1.2.4 Humic acid & THMs at 3 hr. (Filtered water)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMS _{f3}	18.00000	22.08534	5
HUMIC _{f3}	7.26000	1.54112	5

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.754 ^a	.568	.424	16.76271	2.558

^a. Predictors : (Constant), HUMIC_{f3}

^b. Dependent Variable : THMS_{f3}

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1108.085	1	1108.085	3.944	.141 ^a
	Residual	842.965	3	280.988		
	Total	1951.050	4			

^a. Predictors : (Constant), HUMIC_{f3}

^b. Dependent Variable : THMS_{f3}

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-60.407	40.189		-1.503	.230	-188.304	67.489
	HUMIC _{f3}	10.800	5.438	.754	1.986	.141	-6.508	28.107

^a. Dependent Variable : THMS_{f3}

1.2.5 Humic acid & THMs at 1 hr. (Coagulated water or Basic Water supply)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMS _{a1}	.00000	.00000	5
HUMIC _{a1}	8.92200	.86274	5

Warnings

The dependent variable THMS_{a1} has been deleted.
Statistics cannot be computed.

1.2.6 Humic acid & THMs at 3 hr. (Coagulated water or Basic Water supply)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMS _{a3}	3.24200	1.85011	5
HUMIC _{a3}	7.59200	1.56490	5

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.130 ^a	.017	-.311	2.11823	2.883

^a. Predictors : (Constant), HUMIC_{a3}

^b. Dependent Variable : THMS_{a3}

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.231	1	.231	.051	.835 ^a
	Residual	13.461	3	4.487		
	Total	13.692	4			

^a. Predictors : (Constant), HUMIC_{a3}

^b. Dependent Variable : THMS_{a3}

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	4.408	5.225		.844	.461	-12.220	21.035
	HUMIC _{a3}	-.154	.677	-.130	-.227	.835	-2.307	2.000

^a. Dependent Variable : THMS_{a3}

1.3 ชุดที่ 2 หอทธิพลระหว่างปัจจัยเวลาสัมผัส และระดับความเข้มข้นคลอรีนในการทดลองที่มีต่อปริมาณ THMs ในน้ำ 3 ประเภท

1.3.1 ใช้ Linear Regression ทดสอบความเป็นอิสระต่อกันระหว่างความเข้มข้นคลอรีนที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อปริมาณ THMs ในน้ำ 3 ประเภท

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.991 ^a	.983	.975	1.16706	.983	116.059	3	6	.000	2.352

^a. Predictors : (Constant), RAW, COAG, FILTER

^b. Dependent Variable : Cl₂

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	474.228	3	158.076	116.059	.000 ^a
	Residual	8.172	6	1.362		
	Total	482.400	9			

^a. Predictors : (Constant), RAW, COAG, FILTER

^b. Dependent Variable : Cl_2

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-.832	.903		-.922	.392	-3.041	1.377
	FILTER	.536	.179	1.709	3.002	.024	.099	.974
	COAG	.320	.186	.092	1.720	.136	-.135	.775
	RAW	-3.480E-02	.027	-.740	-1.299	.242	-.100	.031

1.3.2 ใช้ Linear Regression ทดสอบความเป็นอิสระต่อกันระหว่างระยะเวลาสัมผัสที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อปริมาณ THMs ในน้ำ 3 ประเภท

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.827 ^a	.684	.526	.72594	.684	4.325	3	6	.060	1.914

^a Predictors : (Constant), RAW, COAG, FILTER

^b Dependent Variable : TIME

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6.838	3	2.279	4.325	.060 ^a
	Residual	3.162	6	.527		
	Total	10.000	9			

^a. Predictors : (Constant), RAW, COAG, FILTER

^b. Dependent Variable : TIME

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1.558	.562		2.774	.032	.183	2.932
	FILTER	-3.171E-02	.111	-.702	-.285	.785	-.304	.240
	COAG	.415	.116	.831	3.586	.012	.132	.698
	RAW	3.722E-03	.017	.549	.223	.831	-.037	.045

1.3.3 ใช้ Stepwise Regression หาคืออิทธิพลระหว่างความเข้มข้นคลอรีนที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อปริมาณ THMs ในน้ำ 3 ประเภท

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Cl ₂	6.40000	7.32120	10
RAW	99.40900	155.60802	10
FILTER	18.96500	23.32827	10
COAG	1.62300	2.10965	10

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.985 ^a	.970	.966	1.34173	2.343

^a Predictors : (Constant), FILTER

^b Dependent Variable : Cl₂

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	467.998	1	467.998	259.966	.000 ^a
	Residual	14.402	8	1.800		
	Total	482.400	9			

^a Predictors : (Constant), FILTER

^b Dependent Variable : Cl₂

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	.538	.559		.962	.364	-.751	1.826
	FILTER	.309	.019	.985	16.123	.000	.265	.353

^a Dependent Variable : Cl₂

1.3.4 ใช้ Stepwise Regression หาอิทธิพลระหว่างปัจจัยเวลาสัมผัสในการทดลอง ที่มีต่อปริมาณ THMs ในน้ำ 3 ประเภท

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
TIME	2.00000	1.05409	10
RAW	99.40900	155.60802	10
FILTER	18.96500	23.32827	10
COAG	1.62300	2.10965	10

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.811 ^a	.658	.615	.65420	1.665

^a Predictors : (Constant), COAG

^b Dependent Variable : TIME

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6.576	1	6.576	15.366	.004 ^a
	Residual	3.424	8	.428		
	Total	10.000	9			

^a Predictors : (Constant), COAG

^b Dependent Variable : TIME

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1.342	.266		5.040	.001	.728	1.957
	COAG	.405	.103	.811	3.920	.004	.167	.644

^a Dependent Variable : TIME

1.3.5 ใช้ One-way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และทดสอบความแตกต่าง สำหรับน้ำตัวอย่าง 3 กลุ่ม ที่มาจากแหล่งเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กับการเกิด THMs โดยใช้ ปริมาณความเข้มข้นคลอรีนที่เติมกับเวลาสัมผัสเป็นตัวควบคุม

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
RAW	1.000	2	14.30500	4.80126	3.39500	-28.83257	57.44257	10.910	17.700
	2.000	2	13.83000	7.83474	5.54000	-56.56237	84.22237	8.290	19.370
	3.000	2	36.08500	20.07476	14.19500	-144.27958	216.44958	21.890	50.280
	4.000	2	44.44000	20.40710	14.43000	-138.91053	227.79053	30.010	58.870
	5.000	2	388.38500	82.52643	58.35500	-353.08558	1129.85558	330.030	446.740
	Total	10	99.40900	155.60802	49.20758	-11.90627	210.72427	8.290	446.740
FILTER	1.000	2	5.38000	.18385	.13000	3.72819	7.03181	5.250	5.510
	2.000	2	7.03500	.41719	.29500	3.28667	10.78333	6.740	7.330
	3.000	2	9.92000	.62225	.44000	4.32927	15.51073	9.480	10.360
	4.000	2	9.67000	.55154	.39000	4.71458	14.62542	9.280	10.060
	5.000	2	62.82000	7.76403	5.49000	6.93706	132.57706	57.330	68.310
	Total	10	18.96500	23.32827	7.37705	2.27696	35.65304	5.250	68.310
COAG	1.000	2	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.000	.000
	2.000	2	1.80000	2.54558	1.80000	-21.07117	24.67117	.000	3.600
	3.000	2	1.91000	2.70115	1.91000	-22.35885	26.17885	.000	3.820
	4.000	2	2.13500	3.01935	2.13500	-24.99275	29.26275	.000	4.270
	5.000	2	2.27000	3.21026	2.27000	-26.57308	31.11308	.000	4.540
	Total	10	1.62300	2.10965	.66713	.11385	3.13215	.000	4.540

Test of Homogeneity of Variances^a

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
RAW	5198393706450240.000	4	5	.000
COAG	4482743946773581.000	4	5	.000

^a. Test of homogeneity of variances be performed for FILTER

because the sum of caseweight is less than the number of groups.

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RAW	Between Groups	210210.209	4	52552.552	34.061	.001
	Within Groups	7714.493	5	1542.899		
	Total	217924.702	9			
FILTER	Between Groups	4836.694	4	1209.174	98.822	.000
	Within Groups	61.179	5	12.236		
	Total	4897.874	9			
COAG	Between Groups	6.857	4	1.714	.258	.893
	Within Groups	33.198	5	6.640		
	Total	40.056	9			

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
					RAW	1.000			5
	3.000	5	93.89200	133.53768	59.71986	-71.91692	259.70092	10.910	330.030
	Total	10	99.40900	155.60802	49.20758	-11.90627	210.72427	8.290	446.740
FILTER	1.000	5	19.93000	27.09941	12.11922	-13.71836	53.57836	5.250	68.310
	3.000	5	18.00000	22.08534	9.87687	-9.42258	45.42258	5.510	57.330
	Total	10	18.96500	23.32827	7.37705	2.27696	35.65304	5.250	68.310
COAG	1.000	5	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.000	.000
	3.000	5	3.24600	1.85164	.82808	.94688	5.54512	.000	4.540
	Total	10	1.62300	2.10965	.66713	.11385	3.13215	.000	4.540

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
RAW	.449	1	8	.522
FILTER	.147	1	8	.711
COAG	6.380	1	8	.035

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RAW	Between Groups	304.373	1	304.373	.011	.918
	Within Groups	217620.329	8	27202.541		
	Total	217924.702	9			
FILTER	Between Groups	9.312	1	9.312	.015	.905
	Within Groups	4888.562	8	611.070		
	Total	4897.874	9			
COAG	Between Groups	26.341	1	26.341	15.366	.004
	Within Groups	13.714	8	1.714		
	Total	40.056	9			

1.3.6 ใช้ Two-way ANOVA ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิด THMs ในตัวอย่างน้ำ 3 ประเภท คือ น้ำดิบ, น้ำผ่านการกรองอย่างง่าย, น้ำที่ผ่านระบบประปาเบื้องต้น ได้ ข้อมูล 3 ชุด คือ

1.) น้ำดิบ

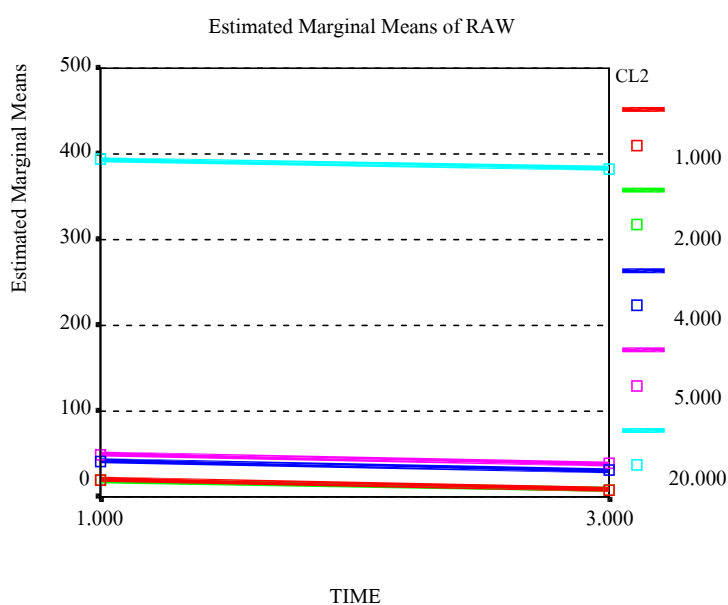
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: RAW

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	210514.582 ^b	5	42102.916	22.727	.005	113.636	.992
Intercept	98821.493	1	98821.493	53.344	.002	53.344	.999
TIME	304.373	1	304.373	.164	.706	.164	.062
Cl ₂	210210.209	4	52552.552	28.368	.003	113.472	.997
Error	7410.120	4	1852.530				
Total	316746.195	10					
Corrected Total	217924.702	9					

^a Computed using alpha = .05

^b R Squared = .966 (Adjusted R Squared = .923)



2.) นำผ่านการกรองอย่างง่าย

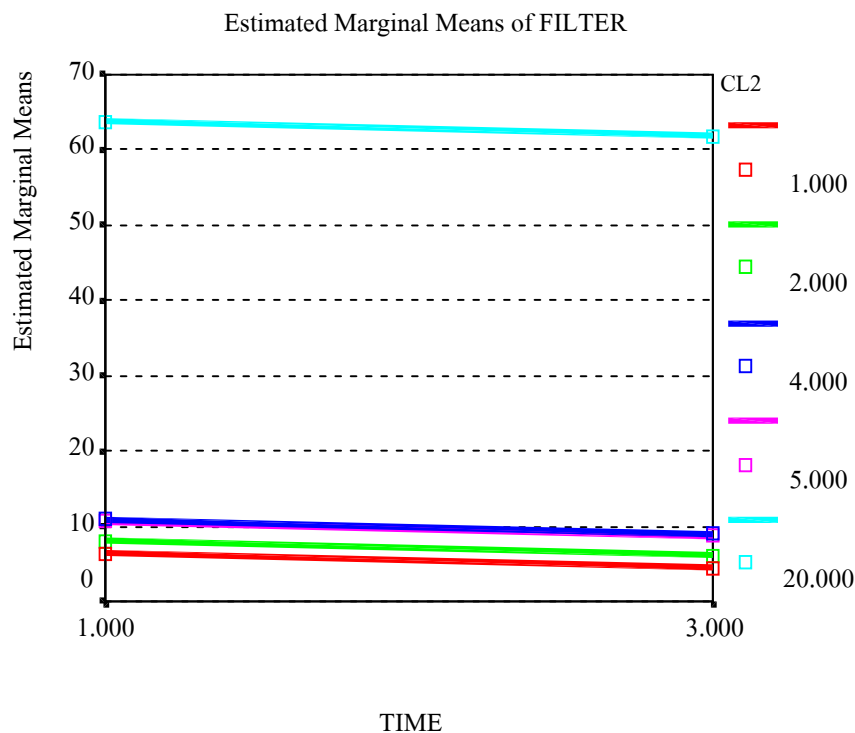
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FILTER

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	4846.007 ^b	5	969.201	74.745	.000	373.724	1.000
Intercept	3596.712	1	3596.712	277.379	.000	277.379	1.000
TIME	9.312	1	9.312	.718	.444	.718	.102
CL ₂	4836.694	4	1209.174	93.252	.000	373.006	1.000
Error	51.867	4	12.967				
Total	8494.586	10					
Corrected Total	4897.874	9					

^a. Computed using alpha = .05

^b. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .976)



3.) น้ำผ่านระบบประปาเบื้องต้น

Tests of Between-Subjects Effects

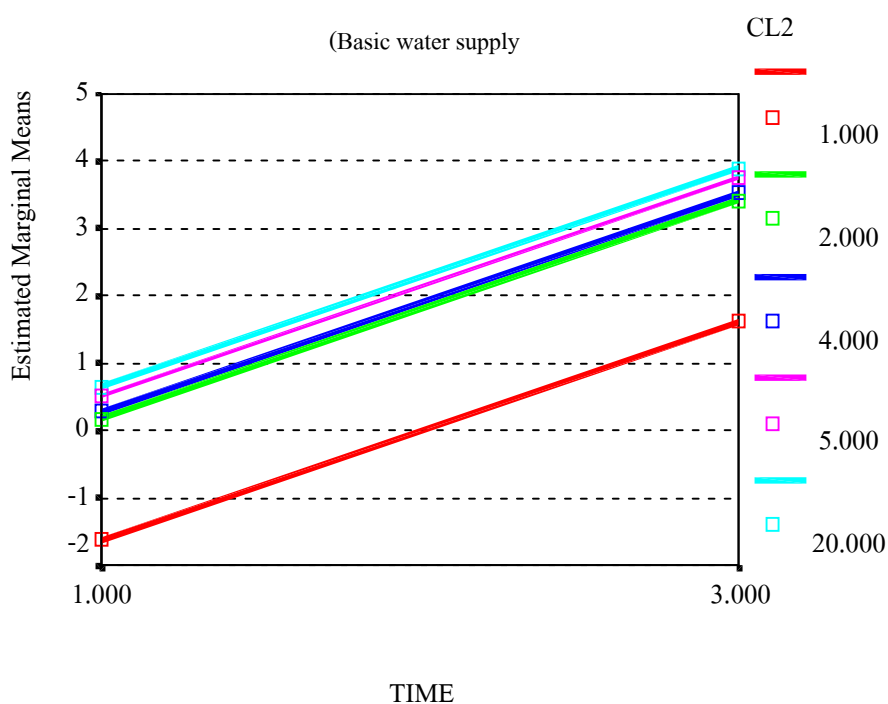
Dependent Variable: COAG

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	33.198 ^b	5	6.640	3.873	.107	19.366	.443
Intercept	26.341	1	26.341	15.366	.017	15.366	.830
TIME	26.341	1	26.341	15.366	.017	15.366	.830
CL ₂	6.857	4	1.714	1.000	.500	4.000	.142
Error	6.857	4	1.714				
Total	66.397	10					
Corrected Total	40.056	9					

^a. Computed using alpha = .05

^b. R Squared = .829 (Adjusted R Squared = .615)

Estimated Marginal Means of COAG



2. ส่วนที่ 2 ตำรวจหา THMs

2.1 ใช้ Linear Regression วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับปริมาณ THMs ในระบบประปา 9 แห่ง ได้ข้อมูล 9 ชุด คือ

2.1.1 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 1 บ้านดอนพวม. 5 ต.ลำคองษ์ อ.โนนสูง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	113.19500	100.33047	8
ความขุ่น	1.0125	.3227	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.849 ^a	.721	.675	57.20611	1.735

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	50828.191	1	50828.191	15.532	.008 ^a
	Residual	19635.235	6	3272.539		
	Total	70463.426	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-154.203	70.800		-2.178	.072	-327.444	19.038
	ความขุ่น	264.097	67.012	.849	3.941	.008	100.125	428.069

^a Dependent Variable : THMs

2.1.2 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 2 บ้านหินตั้ง ม. 5 ต.เสมา อ.สูงเนิน

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	27.63125	32.36514	8
ความขุ่น	1.56250	.63231	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.742 ^a	.550	.475	23.44404	1.730

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น^b Dependent Variable : THMSANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4034.776	1	4034.776	7.341	.035 ^a
	Residual	3297.738	6	549.623		
	Total	7332.514	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น^b Dependent Variable : THMsCoefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-31.695	23.413		-1.354	.225	-88.983	25.593
	ความขุ่น	37.969	14.014	.742	2.709	.035	3679	72.259

^a Dependent Variable : THMs

2.1.3 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 3 บ้านศรีละกอ ม. 3, 4 ต.ศรีละกอ อ.จักราช

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	86.64750	102.69584	8
ความขุ่น	1.83750	.74630	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.766 ^a	.586	.517	71.34900	1.124

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	43280.961	1	43280.961	8.502	.027 ^a
	Residual	30544.082	6	5090.680		
	Total	73825.043	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-106.956	71.028		-1.506	.183	-280.734	66.842
	ความขุ่น	105.362	36.135	.766	2.916	.027	16.944	193.781

^a Dependent Variable : THMs

2.1.4 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 4 บ้านโปรงแดง ม. 3 ต. โปรงแดง อ.ขามทะเลสอ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	4.64375	3.62071	8
ความขุ่น	3.11250	1.87116	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.763 ^a	.582	.513	2.52740	.638

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	53.441	1	53.441	8.366	.028 ^a
	Residual	38.326	6	6.388		
	Total	91.757	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	4.770E-02	1.823		.026	.980	-4.413	4.508
	ความขุ่น	1.477	.511	.763	2.892	.028	.227	2.726

^a Dependent Variable : THMs

2.1.5 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 5 บ้านโคกสะอาด-ป่าโจด ม.1, 7,11 ต.สุขเกษม อ.ป่ากรังชัย

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	15.87625	13.48238	8
ความขุ่น	1.72500	1.14611	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.858 ^a	.737	.693	7.46880	2.061

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMS

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	937.724	1	937.724	16.810	.006 ^a
	Residual	334.698	6	55.783		
	Total	1272.422	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-1.544	5.002		-.309	.768	-13.784	10.697
	ความขุ่น	10.099	2.463	.858	4.100	.006	4.072	16.125

^a Dependent Variable : THMs

2.1.6 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 6 บ้านดอนแขวน ม. 2, 1 ต.สุขไพบูลย์ อ.เลิงสา

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	3.15375	.48682	8
ความขุ่น	1.30000	.27255	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.932 ^a	.869	.848	.19007	2.793

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.442	1	1.442	39.920	.001 ^a
	Residual	.217	6	3.613E-02		
	Total	1.659	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	.989	.349		2.832	.030	.134	1.843
	ความขุ่น	1.665	.264	.932	6.318	.001	1.020	2.310

^a Dependent Variable : THMs

2.1.7 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 7 บ้านหนองเข้ตุ้ม ม. 1 ต.สุขไพบูรณ์ อ.เสิงสาง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	3.46250	.63155	8
ความขุ่น	1.06250	.13025	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.873 ^a	.762	.723	.33253	1.838

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.128	1	2.128	19.249	.005 ^a
	Residual	.663	6	.111		
	Total	2.792	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-1.036	1.032		-1.004	.354	-3.561	1.489
	ความขุ่น	4.234	.965	.873	4.387	.005	1.873	6.595

^a Dependent Variable : THMs

2.1.8 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 8 บ้านเจดียงโคก ม. 4 ต.เจดียงโคก อ.ครบุรี

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	25.71000	43.80539	8
ความขุ่น	1.15000	.62792	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.845 ^a	.714	.666	25.31428	.558

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น^b Dependent Variable : THMsANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9587.510	1	9587.510	14.961	.008 ^a
	Residual	3844.877	6	640.813		
	Total	13432.388	7			

^a Predictors : (Constant), ความขุ่น^b Dependent Variable : THMsCoefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-42.069	19.676		-2.138	.076	-90.215	6.077
	ความขุ่น	58.938	15.237	.845	3.868	.008	21.654	96.223

^a Dependent Variable : THMs

2.1.9 ระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา (SUT)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	57.74750	23.06190	8
ความชุ่ม	.71250	.29490	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.828 ^a	.686	.634	13.96115	1.059

^a Predictors : (Constant), ความชุ่ม^b Dependent Variable : THMsANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2553.477	1	2553.477	13.101	.011 ^a
	Residual	1169.482	6	194.914		
	Total	3722.960	7			

^a Predictors : (Constant), ความชุ่ม^b Dependent Variable : THMsCoefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	11.602	13.671		.849	.429	-21.851	45.054
	ความชุ่ม	64.766	17.894	.828	3.619	.011	20.982	108.550

^a Dependent Variable : THMs

2.2 ใช้ Linear Regression วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกกับปริมาณ THMs ในระบบประปา 9 แห่ง ได้ข้อมูล 9 ชุด คือ

2.2.1 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 1 บ้านดอนผวา ม. 5 ต.ลำคองงษ์ อ.โนนสูง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	113.19500	100.33047	8
กรดฮิวมิก	16.7500	5.49706	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.877 ^a	.770	.731	52.02257	1.609

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	54225.341	1	54225.341	20.036	.004 ^a
	Residual	16238.085	6	2706.347		
	Total	70463.426	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-154.991	62.673		-2.473	.048	-308.346	-1.636
	กรดฮิวมิก	16.011	3.577	.877	4.476	.004	7.259	24.764

^a Dependent Variable : THMs

2.2.2 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 2 บ้านหินตั้ง ม. 5 ต.เสมา อ.สูงเนิน

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	27.63125	32.36514	8
กรดฮิวมิก	30.40250	4.95160	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.865 ^a	.748	.706	17.54629	1.839

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก^b Dependent Variable : THMsANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5485.281	1	5485.281	17.817	.006 ^a
	Residual	1847.234	6	307.872		
	Total	7332.514	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก^b Dependent Variable : THMsCoefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-144.244	41.189		-3.502	.013	-245.030	-43.459
	กรดฮิวมิก	5.653	1.339	.865	4.221	.006	2.376	8.931

^a Dependent Variable : THMs

2.2.3 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 3 บ้านศรีละกอ ม. 3, 4 ต.ศรีละกอ อ.จักราช

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	86.64750	102.69584	8
กรดฮิวมิก	30.41125	22.38854	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.925 ^a	.856	.832	42.09811	2.361

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	63191.536	1	63191.536	35.656	.001 ^a
	Residual	10633.507	6	1772.251		
	Total	73825.043	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-42.412	26.242		-1.616	.157	-106.624	21.801
	กรดฮิวมิก	4.244	.711	.925	5.971	.001	2.505	5.983

^a Dependent Variable : THMs

2.2.4 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 4 บ้านโปรงแดง ม. 3 ต.โปรงแดง อ.ขามทะเลสอ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	4.64375	3.62071	8
กรดฮิวมิก	21.21250	2.99380	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.805 ^a	.648	.590	2.31869	1.521

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	59.509	1	59.509	11.069	.016 ^a
	Residual	32.258	6	5.376		
	Total	91.767	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-16.015	6.263		-2.557	.043	-31.341	-.689
	กรดฮิวมิก	.974	.293	.805	3.327	.016	.258	1.690

^a Dependent Variable : THMs

2.2.5 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 5 บ้านโคกสะอาด-ป่าโจด ม.1, 7, 11 ต.สุขเกษม อ.ปักธงชัย

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	15.87625	13.48238	8
กรดฮิวมิก	20.71750	4.05930	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.857 ^a	.734	.690	7.50365	2.061

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	934.593	1	934.593	16.599	.007 ^a
	Residual	337.829	6	56.305		
	Total	1272.422	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-43.096	14.716		-2.929	.026	-79.104	-7.088
	กรดฮิวมิก	2.847	.699	.857	4.074	.007	1.137	4.556

^a Dependent Variable : THMs

2.2.6 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 6 บ้านคอนแขวน ม. 2, 1 ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	3.15375	.48682	8
กรดฮิวมิก	18.4700	3.6266	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.950 ^a	.902	.886	.16453	2.683

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.497	1	1.497	35.287	.000 ^a
	Residual	.162	6	2.707E-02		
	Total	1.659	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	.799	.322		2.481	.048	.011	1.587
	กรดฮิวมิก	.127	.017	.950	7.436	.000	.086	.169

^a Dependent Variable : THMs

2.2.7 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 7 บ้านหนองเข้ตุ้ม ม. 1 ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	3.46250	.63155	8
กรดฮิวมิก	18.5550	4.5251	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.870 ^a	.757	.716	.33633	2.326

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก^b Dependent Variable : THMsANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.113	1	2.113	18.682	.005 ^a
	Residual	.679	6	.113		
	Total	2.792	7			

^a Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก^b Dependent Variable : THMsCoefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1.209	.535		2.262	.064	-.099	2.518
	กรดฮิวมิก	.121	.028	.870	4.322	.005	.053	.190

^a Dependent Variable : THMs

2.2.8 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 8 บ้านเจดีย์วงโคก ม. 4 ต.เจดีย์วงโคก อ.ครบุรี

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	21.96000	37.50407	8
กรดฮิวมิก	16.3863	2.3906	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.893 ^a	.797	.763	18.24583	.399

^a. Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7848.427	1	7848.427	23.575	.003 ^a
	Residual	1997.461	6	332.910		
	Total	9845.888	7			

^a. Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-207.560	47.709		-4.351	.005	-324.299	-90.821
	กรดฮิวมิก	14.007	2.885	.893	4.855	.003	6.948	21.066

^a. Dependent Variable : THMs

2.2.9 ระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา (SUT)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	57.74750	23.06190	8
กรดฮิวมิก	14.3613	3.9662	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.946 ^a	.895	.878	8.06882	1.410

^a. Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3332.324	1	3332.324	51.183	.000 ^a
	Residual	390.636	6	65.106		
	Total	3722.960	7			

^a. Predictors : (Constant), กรดฮิวมิก

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-21.255	11.405		-1.864	.112	-49.162	6.653
	กรดฮิวมิก	5.501	.769	.946	7.154	.000	3.620	7.383

^a. Dependent Variable : THMs

2.3 ใช้ Linear Regression วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างกับปริมาณ THMs ในระบบประปา 9 แห่ง ได้ข้อมูล 9 ชุด คือ

2.3.1 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 1 บ้านดอนผวา ม. 5 ต.ลำคองงษ์ อ.โนนสูง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	113.19500	100.33047	8
คลอรีนตกค้าง	.36625	.33028	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.863 ^a	.744	.701	54.82043	.851

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	52431.749	1	52431.749	17.447	.006 ^a
	Residual	18031.677	6	3005.279		
	Total	70463.426	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	17.223	30.060		.573	.587	-56.331	90.776
	คลอรีนตกค้าง	262.040	62.735	.863	4.177	.006	108.533	415.547

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.2 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 2 บ้านหินตั้ง ม. 5 ต.เสมา อ.สูงเนิน

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	27.63125	32.36514	8
คลอรีนตกค้าง	.10500	.14223	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.847 ^a	.717	.670	18.60578	1.752

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5255.465	1	5255.465	15.182	.008 ^a
	Residual	2077.049	6	346.175		
	Total	7332.514	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	คลอรีนตกค้าง	192.652	49.444	.847	3.896	.008	71.667	313.637

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.3 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 3 บ้านศรีละกอ ม. 3,4 ต.ศรีละกอ อ.จักราช

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	86.64750	102.69584	8
คลอรีนตกค้าง	.38625	.60237	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.968 ^a	.937	.926	27.91014	.999

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	69151.189	1	69151.189	88.772	.000 ^a
	Residual	4673.854	6	778.976		
	Total	73825.043	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	22.916	11.964		1.916	.104	-6.357	52.190
	คลอรีนตกค้าง	165.000	17.512	.968	9.422	.000	122.149	207.851

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.4 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 4 บ้านโปรงแดง ม. 3 ต. โปรงแดง อ.ขามทะเลสอ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	4.64375	3.62071	8
คลอรีนตกค้าง	1.6250E-02	2.99380	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.850 ^a	.722	.676	2.06042	1.200

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	66.295	1	66.295	15.616	.008 ^a
	Residual	25.472	6	4.245		
	Total	91.767	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1.323	1.112		1.190	.279	-1.398	4.044
	คลอรีนตกค้าง	204.354	51.716	.850	3.952	.008	77.818	330.890

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.5 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 5 บ้านโคกสะอาด-ป่าโจด ม.1, 7, 11 ต.สุขเกษม อ.ปักธงชัย

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	15.87625	13.48238	8
คลอรีนตกค้าง	5.3750E-02	4.1382E-02	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.965 ^a	.932	.921	3.79321	2.944

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1186.092	1	1186.092	82.434	.000 ^a
	Residual	86.331	6	14.388		
	Total	1272.422	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-1.031	2.295		-.449	.669	-6.646	4.584
	คลอรีนตกค้าง	314.554	34.645	.965	9.079	.000	229.781	399.327

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.6 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 6 บ้านคอนแขวน ม. 2, 1 ต.สุขไพบุลย์ อ.เลิงสา

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	3.15375	.48682	8
คลอรีนตกค้าง	1.2500E-02	7.0711E-03	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.831 ^a	.691	.639	.29248	1.266

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.146	1	1.146	13.3937	.011 ^a
	Residual	.513	6	8.555E-02		
	Total	1.659	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	คลอรีนตกค้าง	57.214	15.634	.831	3.660	.011	18.960	95.469

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.7 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 7 บ้านหนองเข้ตุม ม. 1 ต.สุขไพมูลย์ อ.เสิงสาง

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	3.46250	.63155	8
คลอรีนตกค้าง	1.5000E-02	1.8898E-03	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.961 ^a	.923	.910	.18952	2.460

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.576	1	2.576	71.734	.000 ^a
	Residual	.215	6	3.592E-02		
	Total	2.792	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	คลอรีนตกค้าง	113.500	113.500	.961	8.470	.000	80.709	146.291

^a. Dependent Variable : THMs

2.3.8 ระบบประปาหมู่บ้านแห่งที่ 8 บ้านเจดียงโคก ม. 4 ต.เจดียงโคก อ.ครบุรี

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	21.96000	37.50407	8
คลอรีนตกค้าง	.11625	.238686	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.837 ^a	.701	.652	25.85947	2.186

^a Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง^b Dependent Variable : THMsANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9420.113	1	9420.113	14.087	.009 ^a
	Residual	4012.274	6	668.712		
	Total	13432.388	7			

^a Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง^b Dependent Variable : THMsCoefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	คลอรีนตกค้าง	153.694	40.950	.837	3.753	.009	53.495	253.893

^a Dependent Variable : THMs

2.3.9 ระบบประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา (SUT)

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
THMs	57.74750	23.06190	8
คลอรีนตกค้าง	.25500	.17752	8

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.710 ^a	.505	.422	17.53096	1.405

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1878.953	1	1878.953	6.114	.048 ^a
	Residual	1844.007	6	307.334		
	Total	3722.960	7			

^a. Predictors : (Constant), คลอรีนตกค้าง

^b. Dependent Variable : THMs

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	34.214	11.358		3.012	.024	6.421	62.006
	คลอรีนตกค้าง	92.290	37.32	.710	2.473	.048	.959	183.621

^a. Dependent Variable : THMs

ภาคผนวก ข

รูปแบบระบบประปาของหน่วยงานต่าง ๆ และขั้นตอนกระบวนการผลิต

ประวัติผู้เขียน

นายราชัน วีระพิทยาตระกูล เกิดเมื่อวันที่ ๓๐ เมษายน พ.ศ. ๒๕๑๑ เริ่มเข้ารับการศึกษาระดับอนุบาล ถึง ชั้นประถมศึกษาปีที่ ๖ ที่ โรงเรียนวัดตะคร้อวันครู ๒๕๐๒ ,ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๑ - ๖ ที่โรงเรียนเมืองคง อำเภอกง จังหวัดนครราชสีมา และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาตรีที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำเร็จการศึกษาสาขาวิชาเอก วิทยาศาสตร์สุขภาพ (วท.บ.สาธารณสุขศาสตร์) เมื่อปี พ.ศ. ๒๕๓๓ ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้รับราชการที่ สำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และโรงพยาบาลพังงา สังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ปัจจุบันปฏิบัติหน้าที่อยู่ที่ กลุ่มงานสุขภาพสิ่งแวดล้อม ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต ๕ นครราชสีมา สังกัดกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และเมื่อวันที่ ๓ กันยายน พ.ศ. ๒๕๔๑ ได้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาโท ภาควิชาการศึกษาที่ ๒ ปีการศึกษา ๒๕๔๑ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งนักวิชาการสุขภาพ ๖ กลุ่มงานสุขภาพสิ่งแวดล้อม ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต ๕ นครราชสีมา กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข