สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานการวิจัยเรื่อง

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟอร์ม ในน้ำที่ผ่านการเติมคลอรีน

Determination of Chloroform in Chlorinated Water

โดย
นางสาวชุลีพร พุฒนวล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีงบประมาณ 2533

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนเงินทุน จากงบรายได้ ของมหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี พ.ศ.2533 ทำให้งานวิจัยสำเร็จได้ดังวัตถุประสงค์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณจงดี เอี้ยวสกุล ที่ให้คำแนะนำ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 จังหวัดชลบุรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ ในการวัดความขุ่น และการทำจาร์เทสต์ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟอร์ม ซึ่งเป็นสารมลพิษที่เกิดจากการเติมคลอรีนในน้ำ โดยน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา เป็นน้ำดิบที่กรองแล้ว และน้ำที่ตกตะกอนด้วยสารส้ม จากแหล่งน้ำ 3 แหล่งคือ อ่างเก็บน้ำหนองค้อ อ่างเก็บน้ำพนัสนิคม และน้ำจากคลองท่าไข่ ในช่วงเดือน มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 การวิเคราะห์ใช้วิธี Fujiwara โดยใช้เทคนิคสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ วัดหาปริมาณคลอโรฟอร์มในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเติมคลอรีนในช่วง 1-15 พีพีเอ็ม จากผลการวิเคราะห์น้ำดิบที่กรองแล้ว พบปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิด ในช่วง 32.3-148.1 พีพีบี ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และในช่วง 10.1-182.0 พีพีบี ที่เวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง สำหรับน้ำที่ตกตะกอนด้วยสารส้มที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง พบปริมาณคลอโรฟอร์มเกิดอยู่ในช่วง 10.1-148.1 และ 10.1-142.6 พีพีบี ตามลำดับ และปริมาณการเกิดคลอโรฟอร์ม จะสัมพันธ์กับค่า BOD ของน้ำ พบว่า น้ำที่มีค่า BOD สูงจะเกิดคลอโรฟอร์มได้มาก และจากศึกษาน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัด ตามวิธีการทำน้ำประปา คือ บำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยสารส้ม แล้วเติมคลอรีน โดยให้มีปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด 2 พีพีเอ็ม ซึ่งเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรค ที่เวลาสัมผัส 1-12 ชั่วโมง จะมีปริมาณคลอโรฟอร์มอยู่ในช่วง 46-88 พีพีบี นั้น ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยตามข้อกำหนดของ USEPA ที่กำหนดให้มีคลอโรฟอร์มในน้ำประปาได้ไม่เกิน 100 พีพีบี

สารบัญ

บทคัดย่อ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี และผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเติมคลอรีน 3

2.2 คลอโรฟอร์ม 5

2.3 ความเป็นพิษ และเมตาบอลิซึมของ คลอโรฟอร์ม 8

2.4 ผลงานที่เกี่ยวข้อง 9

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ 10

3.2 สารเคมี 10

3.3 วิธีดำเนินการ 11

3.3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ 11

3.3.2 การตกตะกอนด้วยสารส้ม 11

3.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ 12

3.3.4 การหาปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดของน้ำ 13

3.3.5 การหาปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดจากการเติมคลอรีนในน้ำ 14

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ และการตกตะกอนด้วยสารส้ม 17

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง 22

4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟอร์มในน้ำตัวอย่าง 28

บทที่ 5 สรุป และอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการทดลอง 33

5.2 อภิปรายผล 36

บรรณานุกรม 39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของการวิจัย

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในร่างกายคนเราประกอบด้วยน้ำ 65% คนเราสามารถอดอาหารได้นาน 2-3 สัปดาห์ แต่อดน้ำได้เพียง 2-3 วันเท่านั้น น้ำจะผ่านไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยเป็นองค์ประกอบ และช่วยการทำงานของเซลล์ เช่น ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย เป็นตัวพาสารอาหารช่วยในระบบเผาผลาญอาหาร และระบบหมุนเวียนโลหิต ดังนั้นคุณภาพน้ำที่ดีสำหรับการอุปโภคบริโภค จึงเป็นสิ่งสำคัญเพราะมีผลต่อสุขภาพ น้ำที่ไม่บริสุทธิ์อาจทำให้เกิดโรคระบาดทางน้ำ เกิดการเจ็บป่วย และถึงแก่ความตายได้โดยเฉพาะถ้าเกิดการปนเปื้อนจากจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรค และสารพิษ

น้ำผิวดิน เช่น น้ำจากแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ และอ่างเก็บน้ำนับว่าเป็นแหล่งสำคัญในการผลิตเป็นน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคสำหรับชุมชน น้ำจากแหล่งเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนได้ง่ายจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรม น้ำทิ้งจากชุมชน และจากน้ำฝนซึ่งชะล้างโคลน ตะกอน ทราย และเศษขยะ รวมทั้งสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นต้น ปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำ เช่น สารพิษ สารอินทรีย์ จุลชีพต่างๆขึ้นกับแหล่งน้ำ ว่าใกล้กับชุมชน และแหล่งบำบัดน้ำเสียหรือไม่ ตลอดจนประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำด้วย

น้ำที่จะนำมาเป็นน้ำใช้สำหรับชุมชน จำเป็นต้องผ่านการบำบัด เพื่อลดความไม่บริสุทธิ์เสียก่อน การฆ่าเชื้อโรค (disinfection) เป็นกระบวนการหนึ่งของการบำบัดน้ำ เพื่อทำลายพวกจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรค คลอรีนเป็นสารทั่วไปที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากราคาถูก สะดวกต่อการใช้ และฆ่าเชื้อได้ระยะยาว ปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารปนเปื้อน เพื่อการเติมคลอรีนลงไป จะได้เพียงพอต่อการกำจัดสารปนเปื้อน และเหลือปริมาณคลอรีนที่เพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาพบว่าน้ำที่มีการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน จะปนเปื้อนด้วยสารประเภทไตรฮาโลมีเทน (trihalomethane)

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำที่มีมลพิษประเภทสารอินทรีย์สูง สารไตรฮาโลมีเทนที่พบในน้ำประปามากที่สุดคือ คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$) ถ้าร่างกายได้รับเข้าไป จะมีผลกระทบต่อร่างกายหลายทาง ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลาง เป็นพิษต่อตับ ทำลายระบบไต และเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenicity) (1)

ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ แล้วฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าปลอดภัยสำหรับบริโภค หรือการฆ่าเชื้อแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ อาจจะยังผลให้เกิดมลพิษชนิดใหม่ขึ้นมา แต่อย่างไรก็ตาม การฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ก็ยังเป็นวิธีการที่มีความจำเป็นทั้งกระบวนการจัดหาน้ำเพื่อบริโภค และการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้ง ฉะนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะศึกษาวิธีการที่เหมาะสม ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน คำนึงถึงปริมาณคลอรีนที่เติม และปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อให้ได้มาซึ่งน้ำที่ได้คุณภาพ และปลอดภัยในการบริโภคของประชาชน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของน้ำดิบ และน้ำที่ตกตะกอนด้วยสารส้มจากแหล่งน้ำที่นำมาใช้เพื่อการอุปโภค และบริโภค ในเขตจังหวัดชลบุรี และฉะเชิงเทรา

2. ศึกษาผลของปริมาณคลอรีนที่เติม (chlorine dose) ต่อการเกิดคลอโรฟอร์มในน้ำดิบ น้ำดิบที่ผ่านการกรอง และที่ตกตะกอนด้วยสารส้ม

3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ กับปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการเติมคลอรีน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการเลือกการบำบัดน้ำ และการหาปริมาณคลอรีน ที่เหมาะสมต่อการฆ่าเชื้อโรค และทำให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุด ในกระบวนการบำบัดน้ำ เพื่อใช้ในการบริโภค ของประชาชน ในเขตจังหวัดชลบุรี และฉะเชิงเทรา

บทที่ 2
ทฤษฎี และผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 การเติมคลอรีน

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำมีจุดมุ่งหมาย เพื่อทำลายจุลชีพที่ทำให้เกิดโรค และป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค อันอาจทำให้เกิดโรคระบาดทางน้ำ คลอรีนเป็นสารหลักที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ เนื่องจากใช้ง่าย ราคาถูก สะดวกต่อการตรวจวัด คลอรีนเป็นสารออกซิไดส์ที่แรง สามารถควบคุมกลิ่น และรสของน้ำได้ รวมทั้งยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และสาหร่ายที่จะไปรบกวนต่อการตกตะกอน การกรอง และการไหลของน้ำ ตลอดจนช่วยฟอกจางสีของน้ำด้วย

สารที่สามารถให้คลอรีนเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำ ได้แก่ แก๊สคลอรีน สารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ($Ca(OCl)_2$) สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl)ทั้งในรูปของคลอรีนผงและสารละลาย หรือ chlorinated lime ($Ca(OCl)_2.4H_2O$) การเติมคลอรีนด้วยปริมาณที่ทำให้เกิดคลอรีนตกค้างอิสระ (free residual chlorine) 0.2 ppm ถือว่าเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (2)

<u>คุณสมบัติทางเคมีของคลอรีน</u>

คลอรีนในรูปของแก๊ส และสารละลาย จะอยู่ในสมดุลกัน (3) ดังสมการที่ 1

$$Cl_2\ (g) \rightleftharpoons Cl_2\ (aq) \qquad K = 0.062 \quad \text{ที่ } 25^oC \qquad (1)$$

คลอรีนเมื่อรวมตัวกับน้ำ จะอยู่ในรูปกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid) ดังสมการที่ 2

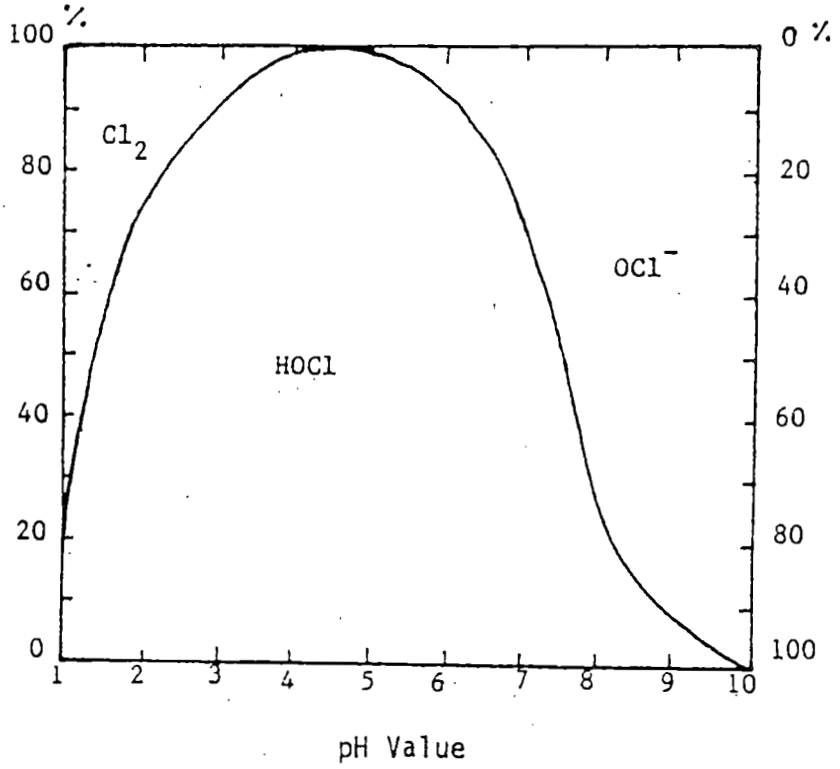
$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HOCl + H^+ + Cl^- \qquad K = 3.94 \times 10^{-4} \quad \text{ที่ } 25^oC \qquad (2)$$

กรดไฮโปคลอรัส เป็นกรดอ่อนที่ pH ต่ำกว่า 6 สามารถแตกตัวเป็นไฮโปคลอไรท์ไอออนได้น้อยมาก ดังสมการที่ 3

$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^- \qquad K = 2.88 \times 10^{-8} \text{ ที่ } 25^oC \qquad (3)$$

คลอรีนทั้งในรูป กรดไฮโปคลอรัส และไฮโปคลอไรท์ไอออน รวมเรียกว่า คลอรีนอิสระ (free available chlorine)

การแตกตัวของ กรดไฮโปคลอรัสขึ้นอยู่กับค่า pH สมดุลระหว่างกรดไฮโปคลอรัส กับไฮโปคลอไรท์ไอออน แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลของ pH ต่อสมดุลของคลอรีนในรูปต่างๆ ในน้ำที่ 25°C

คลอรีนมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารต่างๆ ได้มาก เช่น ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในน้ำ โดยแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยา กับกรดไฮโปคลอรัส เกิดเป็นสารประกอบโมโนคลอรามีน (monochloramine, NH_2Cl) ไดคลอรามีน (dichloramine, $NHCl_2$) และไตรคลอรามีน (trichloramine, NCl_3) ซึ่งรวมเรียกว่า คลอรีนผสม (combined chlorine) คลอรีนผสม คงตัวอยู่ได้นานกว่าคลอรีนอิสระ แต่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค ต่ำกว่าคลอรีนอิสระ และเนื่องจากคลอรีนเป็นสารออกซิไดส์ที่แรง เมื่อเติมคลอรีนลงในน้ำ คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้รวดเร็ว ดังนั้นถ้าเติมคลอรีนปริมาณน้อยเกินไป ก็จะทำให้ไม่มีคลอรีนเหลือตกค้าง แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากพอ จนคลอรีนทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ แล้วก็จะมีคลอรีนอิสระ หรือคลอรีนผสมเหลือตกค้างอยู่ ทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ ปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ในน้ำ เรียกว่า ความต้องการคลอรีน (chlorine demand) ดังนั้นปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ จึงเท่ากับผลบวกระหว่าง ความต้องการคลอรีน กับปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้เหลือตกค้าง เพื่อฆ่าเชื้อโรค ความต้องการคลอรีนของน้ำจึงขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางกายภาพ และเคมีของน้ำ เช่น น้ำที่มีความขุ่น หรือมีสารอินทรีย์มาก มักต้องการคลอรีนสูง (3)

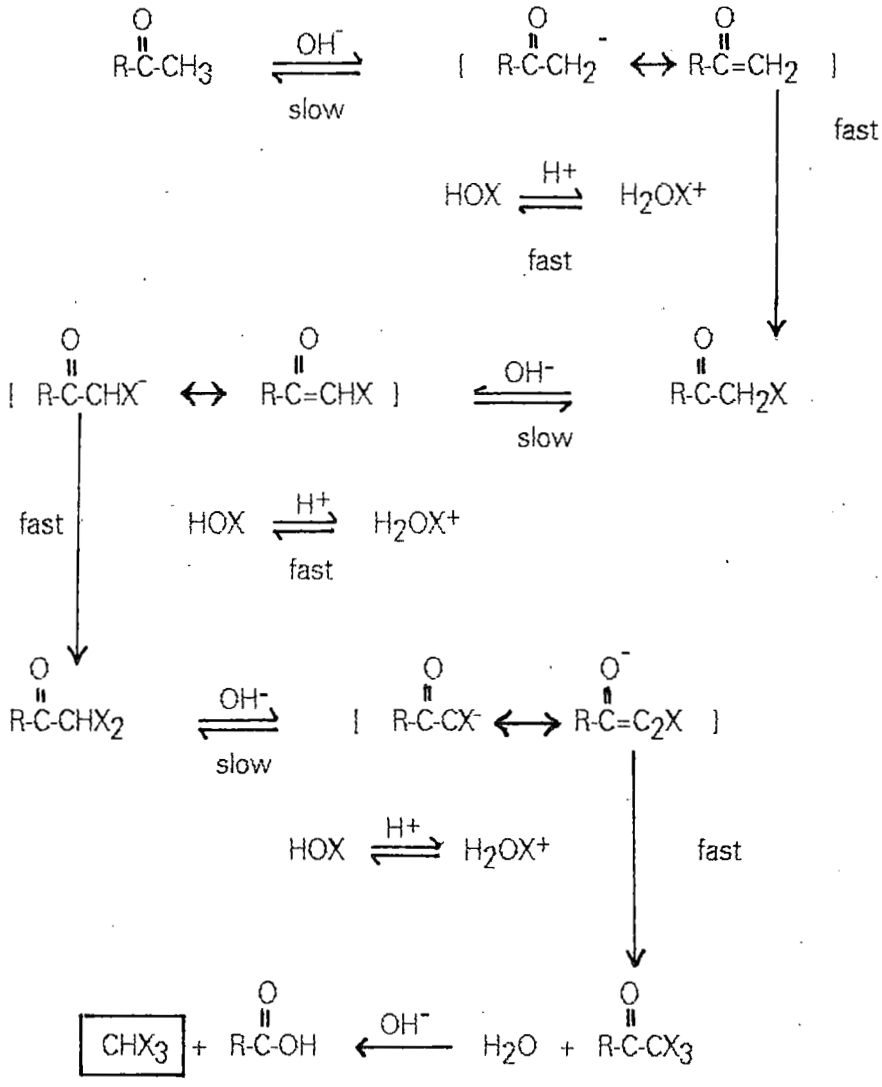
สำหรับปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด (total residual chlorine) คือ ปริมาณคลอรีนตกค้างอิสระ รวมกับปริมาณคลอรีนตกค้างผสม (คลอรีนผสม) ซึ่งน้ำที่ถือว่ามีปริมาณคลอรีน เพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรค คือ น้ำที่มีปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด 2 ppm (1)

2.1.2 คลอโรฟอร์ม (chloroform)

คลอโรฟอร์ม เป็นสารประกอบประเภท ไตรฮาโลมีเทน เป็นสารไม่มีสี ระเหยง่าย ไม่ติดไฟ มีรสหวาน และกลิ่นเฉพาะตัว คลอโรฟอร์มสามารถเตรียมได้จาก อะซีโตน (acetone) และ bleaching powder โดยมีกรดซัลฟุริกเป็นตัวคะตะลิสต์ (1) ปฏิกิริยาจะเกิดตามสมการ

$$2\ CH_3COCH_3 + 6\ Ca(OCl)_2.H_2O \longrightarrow 2\ CHCl_3 + (CH_3COO)_2Ca + 2\ Ca(OH)_2 + 3\ CaCl_2 + 6\ H_2O$$

ในระบบบำบัดน้ำที่มีการเติมคลอรีน สามารถทำให้เกิดคลอโรฟอร์ม ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไฮโปคลอรัส กับสารประกอบพวกเมทิลคีโตน (methyl ketone) ปฏิกิริยาจะเกิดเป็นขั้นตามสมการ ดังแผนภาพที่ 2.1

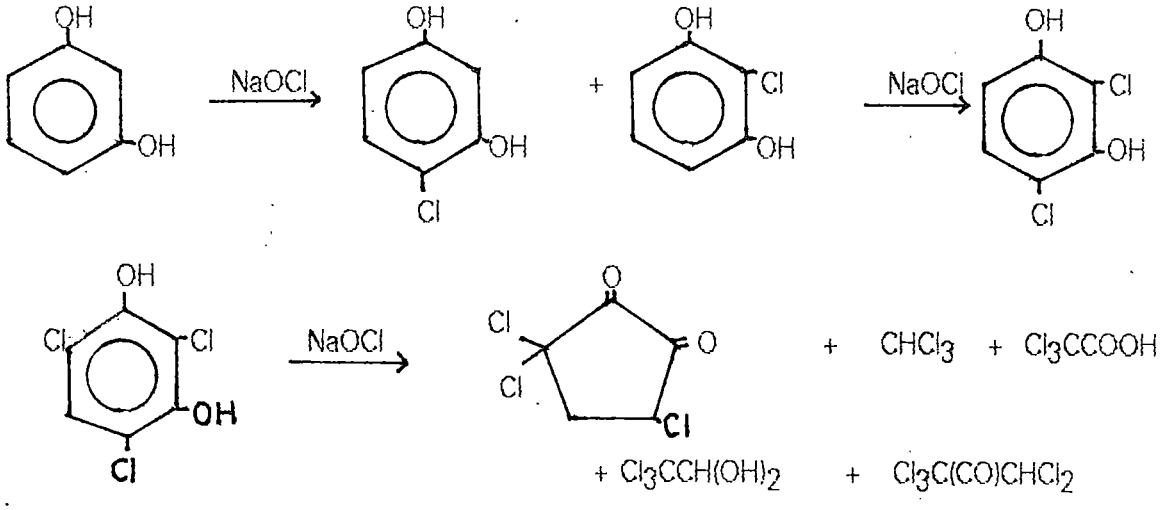


แผนภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเกิดคลอโรฟอร์ม จากสารประกอบพวกเมทิลคีโตน

สารประกอบที่มี acetyl group ($-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$) บางตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็ว จนก่อให้เกิดปัญหา สำหรับ acetone ,$CHCOCH_3$ ในระดับความเข้มข้นที่พบในน้ำ พบว่าปฏิกิริยาจะเกิดได้น้อยมาก และช้ามาก

อย่างไรก็ตาม ในน้ำธรรมชาติ และน้ำทิ้งก็ยังคงมีสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีน แล้วทำให้เกิดคลอโรฟอร์มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว อันเป็นปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำ (4)

แผนภาพที่ 2.2 แสดงวิธีการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง resorcinol ซึ่งเป็น humic substance ที่พบในน้ำดิบ กับคลอรีน ภายใต้สภาวะที่ใช้ในการบำบัดน้ำ ปฏิกิริยาขั้นแรกจะเกิดขึ้นเร็ว โดยเกิดแทนที่ของคลอรีนได้ chlorinated resorcinol ปฏิกิริยาขั้นที่เกิดช้า คือการ degradation ของวงแหวนอะโรมาติกในรูปของ chlorinted intermediate ไปเป็นคลอโรฟอร์ม เพราะปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีในสภาวะที่มีไอออน OH^- ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่ pH มากกว่าที่ pH ต่ำ (1)

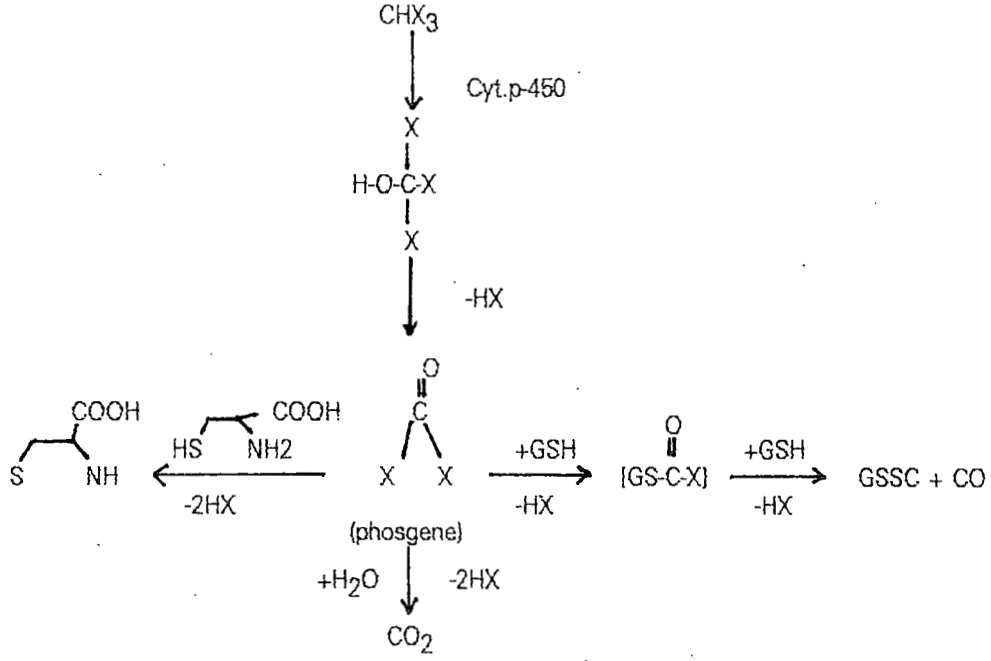


แผนภาพที่ 2.2 วิถีการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง คลอรีนกับ resorcinol ให้คลอโรฟอร์มเป็นผลิตผล

2.1.3 ความเป็นพิษ และเมตาบอลิซึมของคลอโรฟอร์ม

ผลกระทบเบื้องต้นต่อสุขภาพ ในการได้รับคลอโรฟอร์ม คือ มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ส่งผลให้เกิดอาการมึนงง สลบและหมดสติ ผลกระทบถัดไป คือ เป็นพิษต่อตับ ระบบไต เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง และเกิดความผิดปกติของทารกในครรภ์

แผนภาพที่2.3 แสดงวิถีทางขบวนการเมตาบอลิซึมของคลอโรฟอร์มในสัตว์ คลอโรฟอร์มเป็นสารสามัญในกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ซึ่งถูกดูดซับเข้าทางปาก และช่องท้องได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นจะถูกเมตาบอไลส์เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ คลอไรด์ไอออน และฟอสจีน (phosgene) เป็นต้น (1) ขบวนการเมตาบอไลซ์ของคลอโรฟอร์ม จะเริ่มจากเมื่อคลอโรฟอร์มเข้าสู่ร่างกาย จะถูกออกซิไดส์โดยไซโตโครม p-450 (Cyt-450) ในตับให้ผลิตผลในรูปที่ถูกออกซิไดส์แล้ว คือ ไตรฮาโลเมทานอล (trihalomethanol) จากนั้นจะถูก dehalogenated เป็นฟอสจีน และฟอสจีนจะถูก dehalogenate ต่อไปได้คาร์บอนไดออกไซด์ โดยรวมกับโปรตีน และกลูตาไทออน (glutathion) ผลิตผลที่มีความเป็นพิษมากที่สุดจากขบวนการเมตาบอไลซ์ของคลอโรฟอร์ม คือ ฟอสจีน



แผนภาพที่ 2.3 วิถีทางของขบวนการเมตาบอลิซึม ของคลอโรฟอร์ม ในหนูทดลอง

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

Rook,J.J, (1979) รายงานการเกิดกลุ่ม trihalomethanes ในการเติมคลอรีนในน้ำ และน้ำเสีย สาเหตุเนื่องจากสารฮิวมิค (humic) ที่มีอยู่ในน้ำ สารฮิวมิคเป็นแหล่งสำคัญของสารอินทรีย์ (4)

Jolly,R.L และคณะ (1979,1980,1983) ได้ศึกษาบทบาทของสารฮิวมิคต่อการเกิด trihalomethane ในการเติมคลอรีนในน้ำอุปโภค บริโภค และน้ำทิ้ง (5-8)

Olive,B.G.และ Lowrence,J,.(1981) ได้รายงานว่า การตกตะกอน (coagulation) สารอินทรีย์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำด้วย Alum (Aluminium Sulfate) สามารถขจัดสารอินทรีย์สีประเภทอินทรีย์ได้ 40-60% ขจัดสารอนุภาค (particular matter) และลดการเกิดคลอโรฟอร์มระหว่าง การเติมคลอรีน (9)

Keith,L.H.(1976,1981) ได้รายงานว่า chlorinated hydrocarbons ที่เนื่องจากผลผลิตของมนุษย์ หรือจากการเติมคลอรีน มีทั่วไปในน้ำผิวดิน มีทั้งที่เป็น aliphatic และ aromatic hydrocarbons และเป็นสารก่อมะเร็ง จัดเป็นมลพิษที่มีลำดับสำคัญตอนต้นๆ ของ EPA สารประกอบดังกล่าวพบในน้ำดื่มแหล่งต่าง ๆกัน (10,11)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. เครื่องจาร์เทสต์ (Type wt-16 ISUZU SEIEAXUSHO LTD.)	5. เครื่องสเปกโตรนิก 21 (Spectronic ; BAUSCH & LOMB)
2. เครื่องวัดความขุ่น (Type 12 Turbidimeter Chemtrix)	6. เครื่องวัด pH
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (HETOFRIG MAMMERT)	7. ชุดเครื่องกลั่นแอมโมเนีย
4. เครื่องชั่งชนิดละเอียด	8. ขวด BOD

3.2 สารเคมี

A.R grade	Lab. grade
กรดซัลฟุริก	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
โพแตสเซียมไดโครเมต	กรดซาลิไซลิก
อลูมิเนียมซัลเฟต	กรดบอริก
ซิลเวอร์ไนเตรท	โทลูอีน
แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต	แคลเซียมไฮเปอร์คลอไรท์
โซเดียมเอไซด์	โซเดียมคลอไรด์
โมโนโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	กรดไฮโดรคลอริก
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	โซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตาไฮดรอกไซด์
เมอร์คิวรี (II)ไอโอไดด์	โซเดียมคาร์บอเนต
แอมโมเนียมคลอไรด์	แคลเซียมไฮเปอร์คลอไรท์
โพแทสเซียมเตตราไฮเดรต	โซเดียมไฮดรอกไซด์
ออโธโทลิดีนไดคลอไรด์	
โซเดียมอาร์ซีไนต์	
เพนเทน	
คลอโรฟอร์ม	
เมทานอล	
ไพริดีน	

3.3 วิธีดำเนินการ

1. การเก็บตัวอย่างน้ำ
2. การตกตะกอนน้ำด้วยสารส้ม (alum dose)
3. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำ
4. การหาค่าคลอรีนตกค้างทั้งหมดของน้ำโดยวิธี orthotolidine arsenite
5. การหาปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดจากการเติมคลอรีนในน้ำ โดยวิธี Fujiwara reaction

3.3.1. การเก็บตัวอย่างน้ำ

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จะเก็บใส่ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร พร้อมฝาปิด จากแหล่งน้ำ 4 แหล่ง คือ

1. อ่างเก็บน้ำบางพระ ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี
2. อ่างเก็บน้ำหนองค้อ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี
3. อ่างเก็บน้ำพนัสนิคม ต.ท่าโพธิ์ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี
4. อ่างเก็บน้ำดิบคลองท่าไข่ จ. ฉะเชิงเทรา

โดยจัดการเก็บในช่วงเดือน มกราคม และกุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 น้ำตัวอย่างที่ใช้ในศึกษาแบ่งเป็น 3 ประเภท

1. น้ำดิบ คือ น้ำธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด
2. น้ำกรอง คือ น้ำดิบที่กรองผ่าน กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1
3. น้ำตกตะกอน คือ น้ำที่ตกตะกอนด้วยสารส้ม

3.3.2. การตกตะกอนน้ำด้วยสารส้ม (12)

โดยนำน้ำดิบจากทั้ง 4 แหล่ง มาเติมสารส้ม (aluminium sulfate) ในปริมาณที่เหมาะสม (alum dose) เพื่อลดความขุ่นของน้ำให้เหลือ 5 NTU และมีค่า pH อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ (6.5-8.5) โดยกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์นาน 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที รินเอาส่วนใสมาทดลอง

3.3.3 วิเคราะห์คุณภาพของน้ำ

3.3.3.1 การวัดค่า pH นำน้ำดิบ น้ำกรอง และน้ำตกตะกอน มาวัดค่า pH โดย pH-meter

3.3.3.2 การวัดค่าความขุ่น ของน้ำดิบ และน้ำตกตะกอน โดยใช้หลักของ nephelometric เทียบกับ สารละลายความขุ่นมาตรฐาน (12)

3.3.3.3 การวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง (2) ของน้ำดิบ และน้ำตกตะกอน โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริก ค่าความเป็นด่างคิดอยู่ในรูปของ $CaCO_3$ ตามสมการที่ 3.1

$$\text{alkalinity (mg/L } CaCO_3) = \frac{A \times N \times 50000}{\text{จำนวนมิลลิลิตร ของน้ำตัวอย่าง}} \qquad 3.1$$

A = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดซัลฟุริกที่ใช้

N = นอร์มาลิตี ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริก

3.3.3.4 การวิเคราะห์หาคลอไรด์ (2) ของน้ำดิบ และน้ำตกตะกอนโดยทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท การคำนวณดังสมการที่ 3.2

$$Cl\ (mg/L) = \frac{(A-B) \times N \times 35450}{\text{จำนวนมิลลิลิตรของน้ำตัวอย่าง}} \qquad 3.2$$

A = ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรท ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง

B = ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรท ที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์

N = นอร์มาลิตีของซิลเวอร์ไนเตรท

3.3.3.5 การหาค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand,BOD) (2) ของน้ำกรอง และน้ำตกตะกอน อาศัยหลักการหาปริมาณ DO (dissolved oxygen) โดยหาค่าผลต่างระหว่างค่า DO_0 ในวันเริ่มต้น กับค่า DO_5 ของน้ำ ภายหลังการ incubate นาน 5 วันที่อุณหภูมิ 20^oC ซึ่งจะได้ค่า

$$BOD_5\ (mg/L) = DO_0 - DO_5 \qquad 3.3$$

3.3.3.6 การหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (2) ของน้ำกรอง และน้ำตกตะกอน โดยทำการกลั่นตัวอย่างน้ำ จะได้แก๊สแอมโมเนียออกมากับไอน้ำ เมื่อไอน้ำ condense แอมโมเนียจะรวมตัวกับหยดน้ำ แล้วใช้สารละลายบอริก เป็นตัวจับแอมโมเนีย แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับน้ำยาเนสสเลอร์ เกิดเป็นสารละลายสีเหลือง ซึ่งนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร นำไปเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสง ของสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอน ก็สามารถคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียได้

3.3.4 การหาปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดของน้ำ

การหาค่าคลอรีนตกค้างทั้งหมดของน้ำ โดยวิธี orthotolidine arsenite (13) โดยทำการทดลองดังนี้

3.3.4.1 การทำกราฟมาตรฐานคลอรีน

3.3.4.1.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอรีนที่เตรียมได้มา 0.5,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0, 6.0,8.0,10.0,12.0 และ 14 มิลลิลิตร ตามลำดับใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานคลอรีนที่มีความเข้มข้น 0.46, 0.93, 1.86, 2.79, 3.72, 4.65, 5.58, 7.43, 9.29, 11.15 และ 13.94 ppm

3.3.4.1.2 ปิเปตสารละลายในข้อ 3.3.4.1.1 แต่ละความเข้มข้นมา 10 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาดเล็ก และปิเปตน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เพื่อทำแบลงค์เปรียบเทียบ

3.3.4.1.3 เติมสารละลายออโธโทลิดีน บีกเกอร์ละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายสีเหลือง

3.3.4.1.4 นำสารละลายจากข้อ 3.3.4.1.3 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ใช้เซลกว้าง 1 เซนติเมตร

3.3.4.1.5 เขียนกราฟ ระหว่างความเข้มข้น กับค่าการดูดกลืนแสง จะได้กราฟมาตรฐานเชิงเส้นตรง เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นคลอรีนในน้ำตัวอย่าง

3.3.4.2 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

3.3.4.2.1 ปิเปตน้ำตัวอย่าง (น้ำกรอง และน้ำตกตะกอน) ใส่ขวดรูปชมพู่ 10 ใบๆ ละ 100 มิลลิลิตร

3.3.4.2.2 เติมสารละลายมาตรฐานคลอรีนด้วยปริมาตร 1,3,5,10 และ 15 มิลลิลิตร ตามลำดับ 2 ชุด ลงในน้ำตัวอย่างในข้อ 3.3.4.2.1 เขย่าตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 1 ชั่วโมง สำหรับชุดแรก และ 12 ชั่วโมง สำหรับชุดที่สอง

3.3.4.2.3 วัดปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด (Total residual chlorine) ในแต่ละขวด โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร โดย

- ปิเปตน้ำตัวอย่างจากข้อ 2 มา 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายออโธโทลิดีน 0.5 มิลลิลิตร เขย่า แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (A)

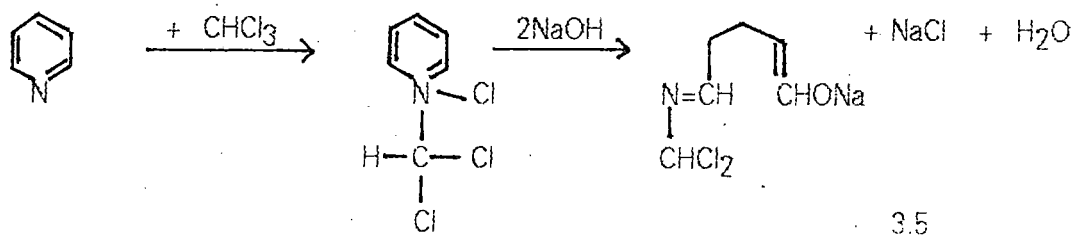
- ปิเปตน้ำตัวอย่างจากข้อ 2 มา 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียม อาร์ซีไนต์ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายออโธโทลิดีน 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (B)

3.3.4.2.4 คำนวณค่าคลอรีนตกค้างทั้งหมดของน้ำตัวอย่าง โดยหาค่าการดูดกลืนตามสมการที่ 3.4 แล้วนำไปเปรียบเทียบเป็นความเข้มข้น จากกราฟมาตรฐานคลอรีน

$$\text{ปริมาณคลอรีนทั้งหมด} = A - B \qquad 3.4$$

3.3.5 การหาปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการเติมคลอรีนในน้ำ

การหาปริมาณคลอโรฟอร์มในน้ำ ด้วยวิธี สเปกโตรโฟโตเมตริก โดยอาศัยปฏิกิริยา Fujiwara (14,15) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$) ไพรีดีน (C_5H_5N) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ขั้นตอนปฏิกิริยาจะเกิดตามสมการที่ 3.5 ได้สารเชิงซ้อนสีแดง ของ คลอโรฟอร์ม-ไพรีดีน



3.5

ซึ่งสามารถหาปริมาณ โดยการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 526 นาโนเมตร โดยขั้นตอนการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

3.3.5.1 การทำกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

3.3.5.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม โดยละลายคลอโรฟอร์ม 100 ไมโครลิตร ในเมทานอล 100 มิลลิลิตร แล้วดูดสารละลายคลอโรฟอร์ม-เมทานอล ปริมาตร 25, 50, 75, 100, 125, 150, และ 250 ไมโครลิตร ตามลำดับ แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม ที่มีความเข้มข้น 37.1, 74, 111.2, 148.3, 185, และ 296 ppb ตามลำดับ

3.3.5.1.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.5.1.1 ความเข้มข้นละ 100 มิลลิลิตร ใส่กรวยแยก

3.3.5.1.3 เติมเพนเทน 10 มิลลิลิตร เขย่านาน 3 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์

3.3.5.1.4 ไขสารละลายชั้นล่าง (น้ำ) ทิ้ง เทสารละลายชั้นบน (เพนเทน) ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% 2 มิลลิลิตร และเติมไพริดีน 3 มิลลิลิตร เขย่า

3.3.5.1.5 นำสารละลายทุกหลอด ไปให้ความร้อนโดย waterbat ด้วยการตั้งอุณหภูมิดังนี้ 45°C นาน 30 นาที แล้วค่อยๆ ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 55°C คงที่ไว้นาน 45 นาที แล้วค่อยๆ ปรับเพิ่มเป็น 95°C คงที่ไว้นาน 45 นาที

3.3.5.1.6 เมื่อให้ความร้อนเสร็จแล้ว จะได้สารละลายสีชมพูใส ซึ่งเกิดจาก chloroform-pyridine complex นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงขณะร้อน ที่ความยาวคลื่น 526 นาโนเมตร

3.3.5.1.7 เขียนกราฟ ระหว่างความเข้มข้น กับค่าการดูดกลืนแสง ของแต่ละหลอด จะได้กราฟเชิงเส้นตรง ที่ใช้เป็นกราฟมาตรฐาน ในการหาความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มในน้ำ

3.3.5.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟอร์ม ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเติมคลอรีนในปริมาณต่างๆ กัน

3.3.5.2.1 เติมสารละลายมาตรฐานคลอรีนลงในน้ำตัวอย่าง ด้วยปริมาตร 3,15,30 และ 40 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ 2 ชุด เขย่า ตั้งทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมง สำหรับชุดแรก และชุดที่สอง 12 ชั่วโมง

3.3.5.2.2 ปิเปตน้ำที่ตั้งทิ้งไว้จนครบกำหนดเวลาในข้อ 3.3.5.2.1 ใส่กรวยแยกใบละ 100 มิลลิลิตร

3.3.5.2.3 สกัดและวัดค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับวิธีการทำกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

3.3.5.2.4 นำค่าการดูดกลืนแสง ไปเทียบหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ และการตกตะกอนด้วยสารส้ม

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ความขุ่น ความเป็นด่าง ปริมาณคลอไรด์ และปริมาณ สารส้มที่ใช้ จากตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำบางพระ อ่างเก็บน้ำพนัสนิคม อ่างเก็บน้ำหนองค้อ และคลองท่าไข่ ระหว่างเดือน มกราคม ถึง กุมภาพันธ์ 2534 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 และ รูปที่ 4.1-4.6

ตารางที่ 4.1 ผลการทำจาร์เทสต์ และคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ของน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง

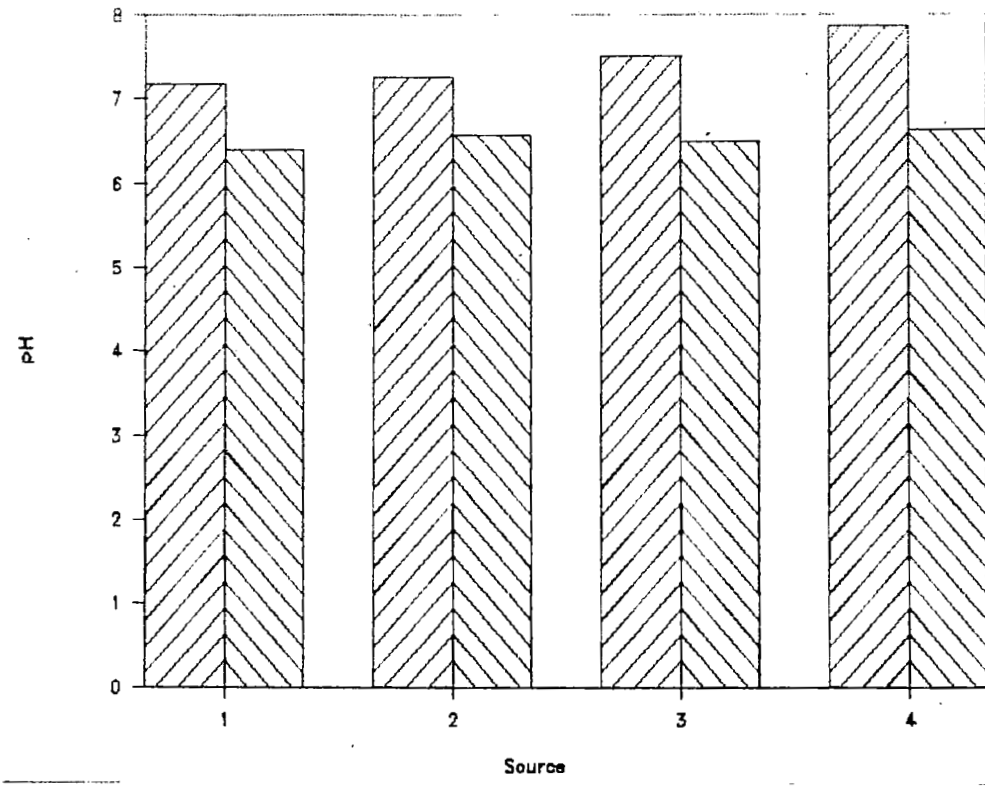
แหล่งน้ำ	ลักษณะน้ำที่ใช้	ค่า pH	ค่าความขุ่น (NTU)	ความเป็นด่าง(ppm)	คลอไรด์ (ppm)
อ่างเก็บน้ำบางพระ	น้ำดิบ	7.19	4.5	52	13.0
	น้ำตกตะกอน	6.41	2.6	38	14.0
อ่างเก็บน้ำหนองค้อ	น้ำดิบ	7.26	66.5	46	11.0
	น้ำตกตะกอน	6.58	4.2	26	14.0
อ่างเก็บน้ำพนัสนิคม	น้ำดิบ	7.52	81.5	94	24.0
	น้ำตกตะกอน	6.50	4.5	50	25.0
คลองท่าไข่	น้ำดิบ	7.88	18.8	68	80.0
	น้ำตกตะกอน	6.64	4.2	52	76.0

ปริมาณสารส้มที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำดิบเพื่อให้มีความขุ่นประมาณ 5 NTU เป็นดังนี้

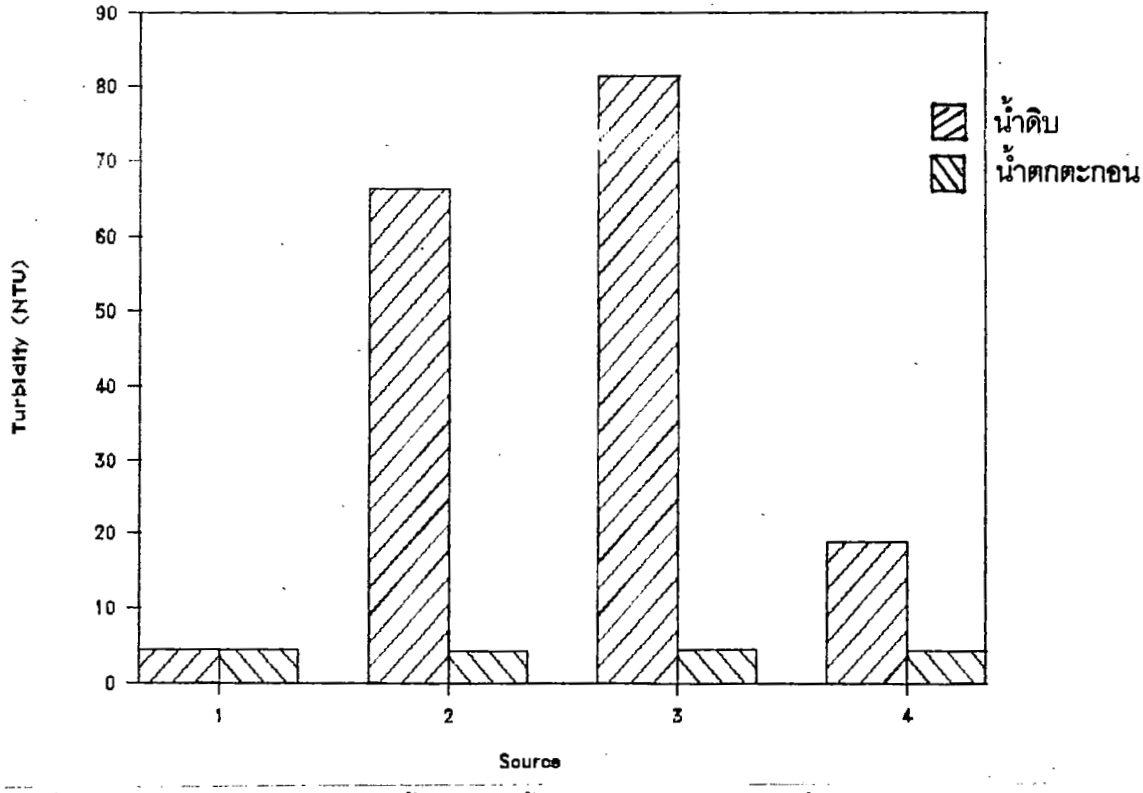
อ่างเก็บน้ำบางพระ	35 ppm
อ่างเก็บน้ำหนองค้อ	60 ppm
อ่างเก็บน้ำพนัสนิคม	70 ppm
คลองท่าไข่	40 ppm

ตารางที่ 4.2 ค่า BOD และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของตัวอย่างน้ำทั้ง 4 แหล่ง

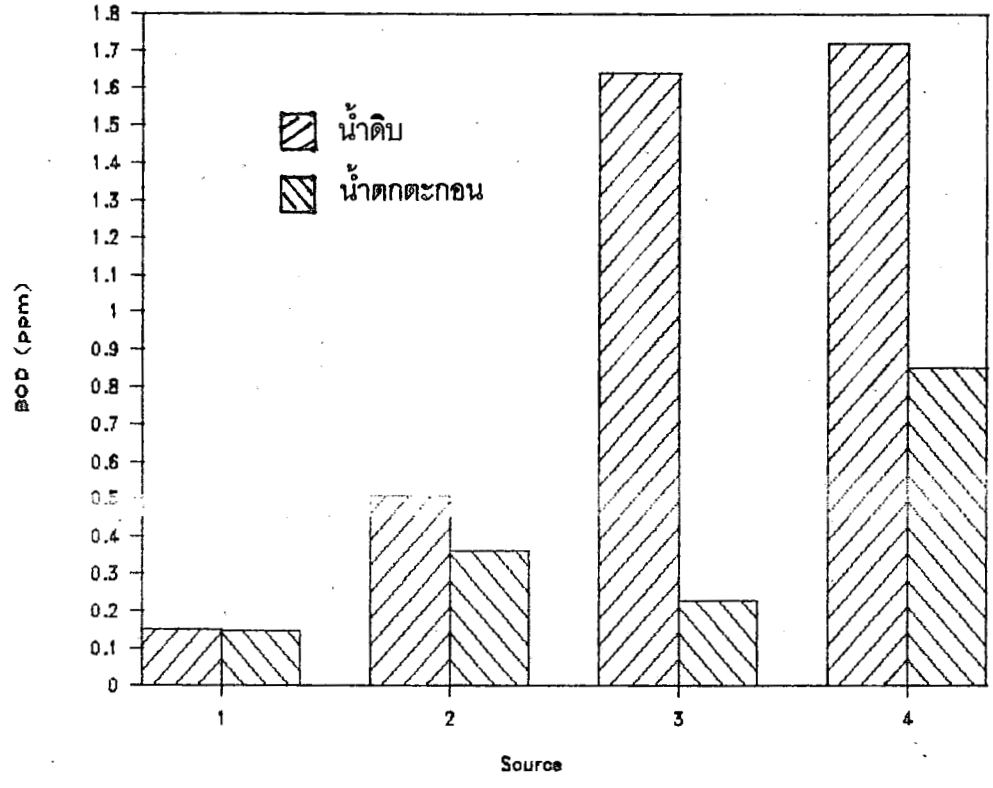
แหล่งน้ำ	ลักษณะน้ำ	BOD_5 (ppm)	แอมโมเนีย(ppm)
อ่างเก็บน้ำบางพระ	น้ำกรอง	0.150	0.094
	น้ำตกตะกอน	0.146	0.156
อ่างเก็บน้ำหนองค้อ	น้ำกรอง	0.51	0.157
	น้ำตกตะกอน	0.36	0.172
อ่างเก็บน้ำพนัสนิคม	น้ำกรอง	1.64	0.148
	น้ำตกตะกอน	0.23	0.176
คลองท่าไข่	น้ำกรอง	1.72	0.083
	น้ำตกตะกอน	0.85	0.056



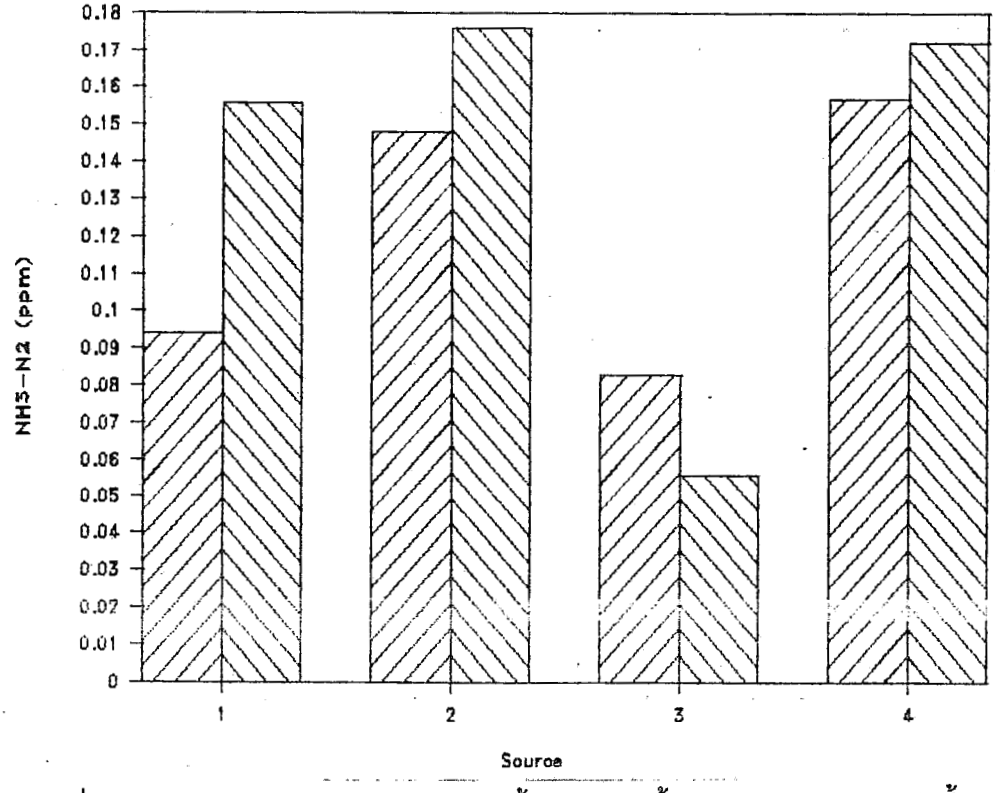
รูปที่ 4.1 ค่า pH ของน้ำดิบ และน้ำตกตะกอน จากอ่างเก็บน้ำ (1) บางพระ (2) หนองค้อ (3) พนัสนิคม และ (4) คลองท่าไข่



รูปที่ 4.2 ค่าความขุ่น (turbidity) ของน้ำดิบ และน้ำตกตะกอน จากอ่างเก็บน้ำ (1) บางพระ (2) หนองค้อ (3) พนัสนิคม และ (4) คลองท่าไข่



รูปที่ 4.5 ค่า BOD ของน้ำกรอง และน้ำตกตะกอน จากอ่างเก็บน้ำ (1) บางพระ (2)หนองค้อ (3) พนัสนิคม และ (4) คลองท่าไข่



รูปที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของน้ำกรอง และน้ำตกตะกอน จากอ่างเก็บน้ำ (1) บางพระ (2)หนองค้อ (3) พนัสนิคม และ (4) คลองท่าไข่

4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง

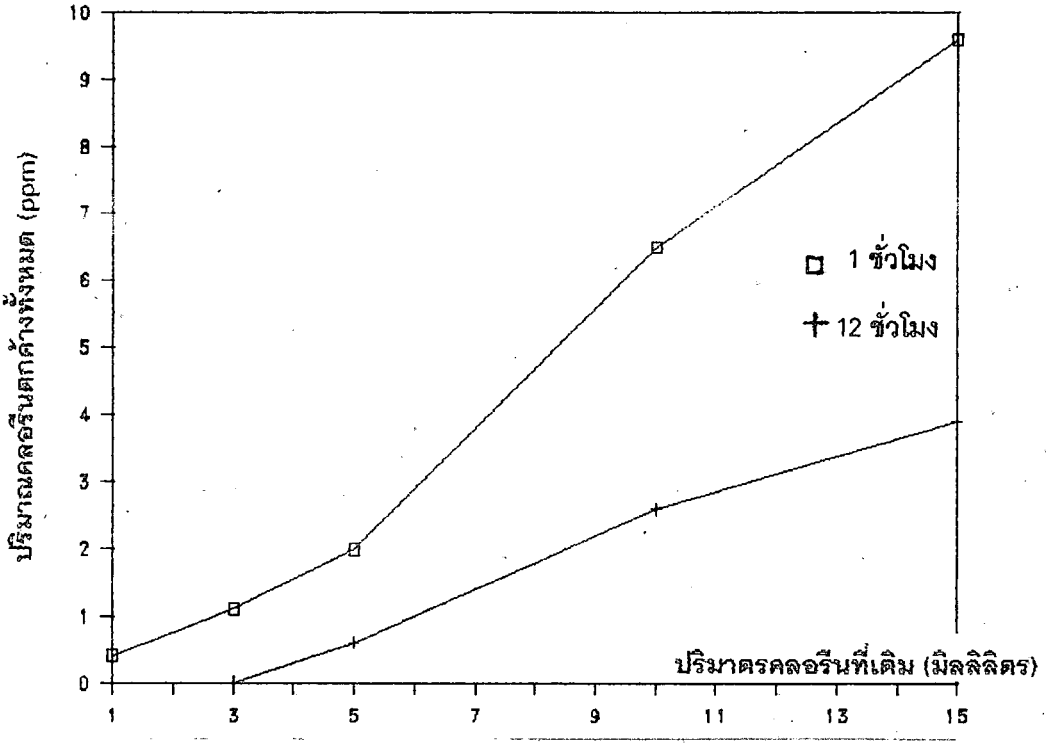
ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด จากการเติมคลอรีนในปริมาณ และที่เวลาสัมผัสต่างๆ จากตัวอย่างน้ำทั้ง 4 แหล่ง แสดงดังตารางที่ 4.3 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด กับปริมาณคลอรีนที่เติมลงในน้ำตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.7 - 4.14

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

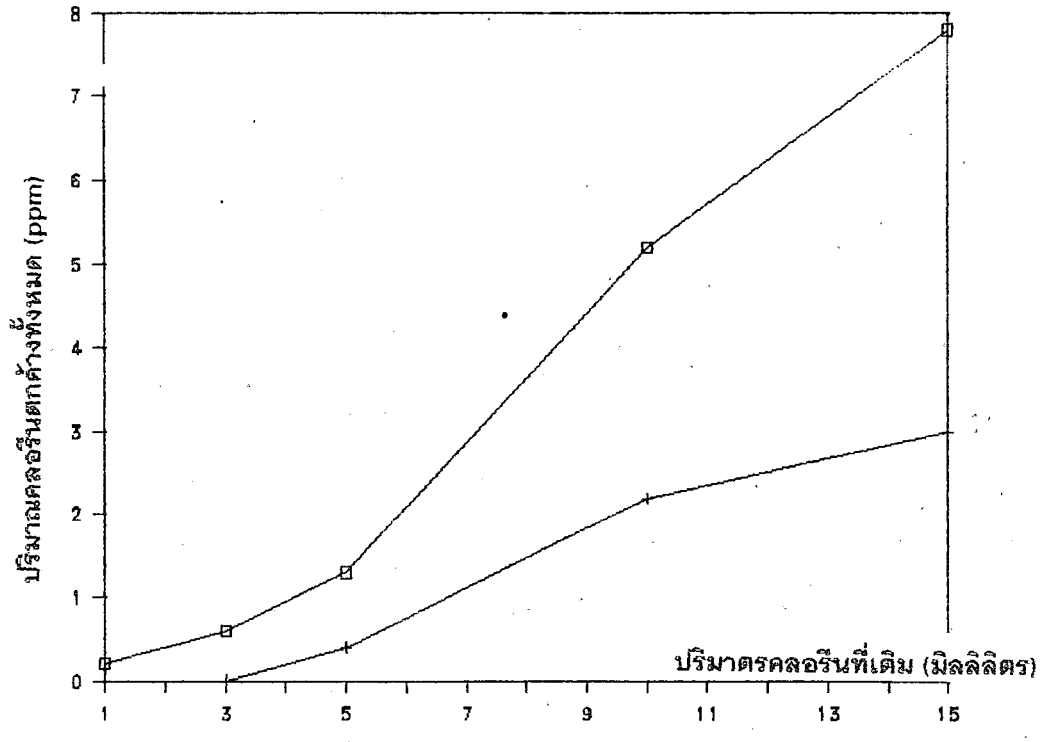
ตารางที่ 4.3 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดจากน้ำตัวอย่างทั้ง 4 แหล่ง ที่ผ่านการเติมคลอรีนด้วยปริมาณ และที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง

อ่างเก็บน้ำ	น้ำตัวอย่าง	เวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด (ppm) จากการเติมคลอรีนเข้มข้น 104 ppm จำนวน				
			1 mL	3 mL	5 mL	10 mL	15 mL
บางพระ	น้ำกรอง	1	0.2	0.6	1.3	5.2	7.8
		12	0	0	0.4	2.2	3.0
	น้ำตกตะกอน	1	0.4	1.1	2.0	6.5	9.6
		12	0	0	0.6	2.6	3.9
หนองค้อ	น้ำกรอง	1	0.44	2.89	4.93	7.96	10.11
		12	0.26	0.48	3.48	6.22	6.66
	น้ำตกตะกอน	1	0.55	3.48	5.19	9.07	11.29
		12	0	0.93	2.77	6.48	8.70
พนัสนิคม	น้ำกรอง	1	0.74	1.37	4.63	9.51	11.85
		12	0.74	1.18	1.22	4.07	8.41
	น้ำตกตะกอน	1	0.30	2.41	4.19	7.15	9.22
		12	0	0.37	2.22	5.59	7.77
คลองท่าไข่	น้ำกรอง	1	0.18	0.63	2.59	5.52	8.04
		12	0.11	0.33	0.48	2.70	5.74
	น้ำตกตะกอน	1	0.26	0.92	3.52	6.59	8.74
		12	0	0.26	0.52	3.88	5.85

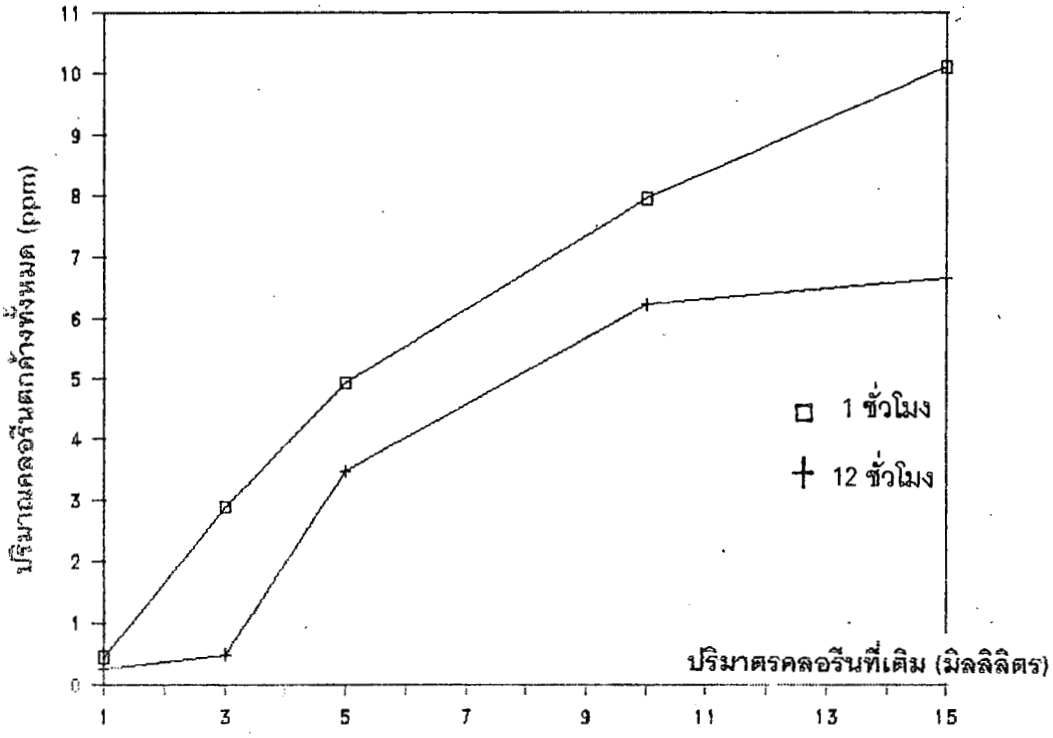
116472
ร43
ป6388
ฉ. 2



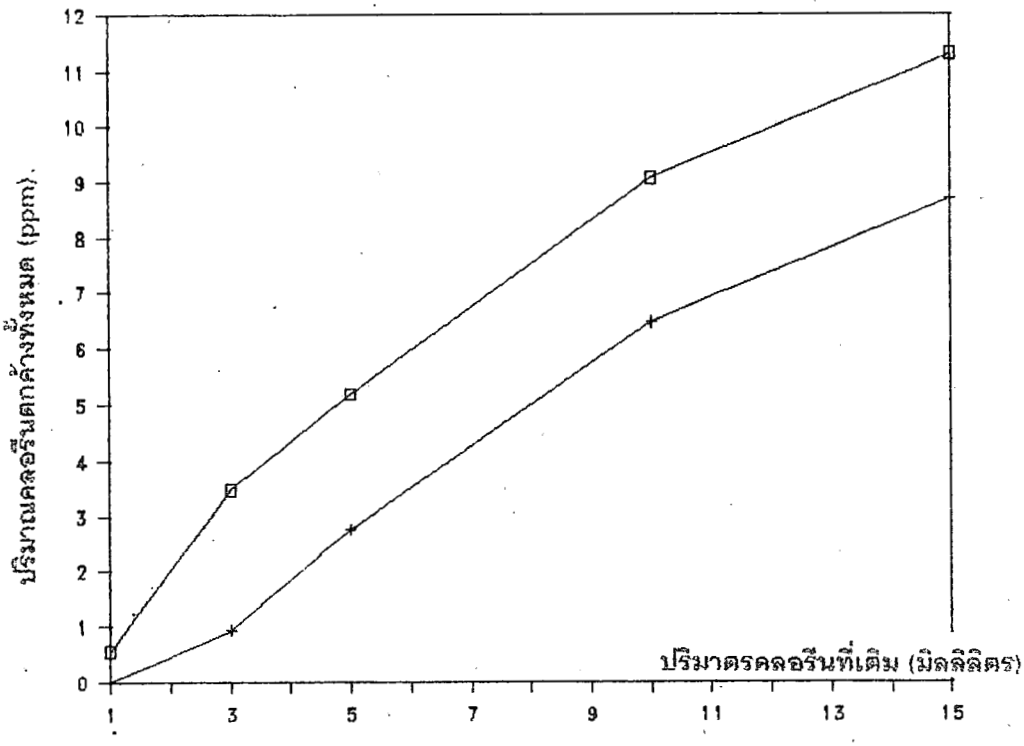
รูปที่ 4.7 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรองอ่างเก็บน้ำบางพระ



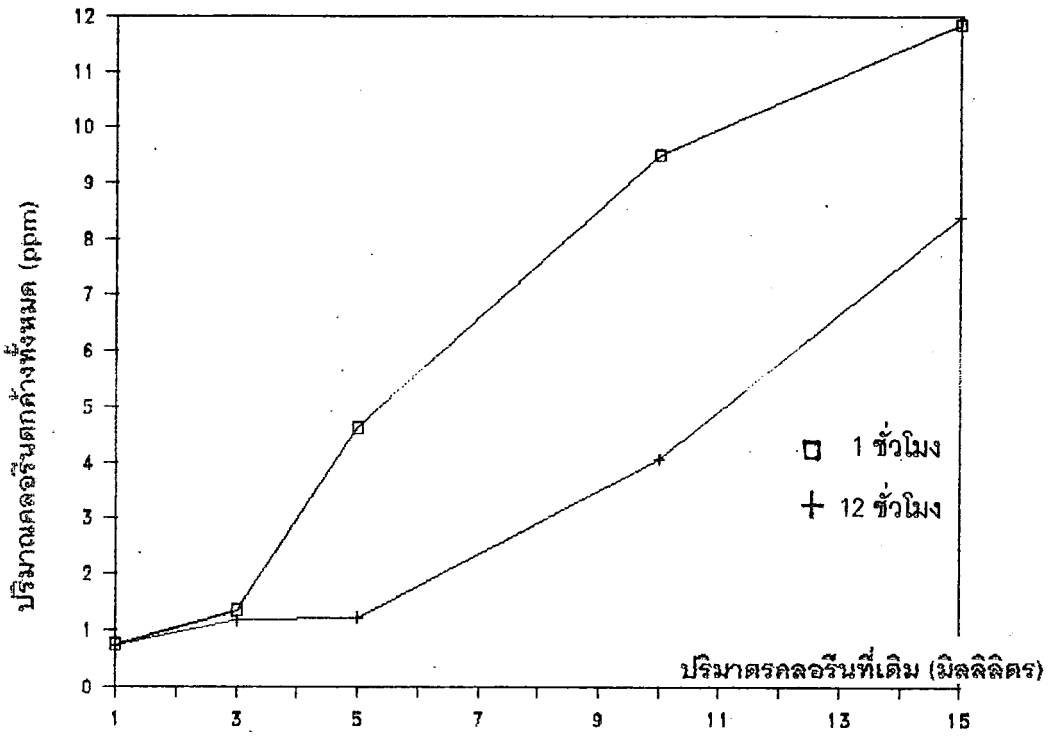
รูปที่ 4.8 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอนอ่างเก็บน้ำบางพระ



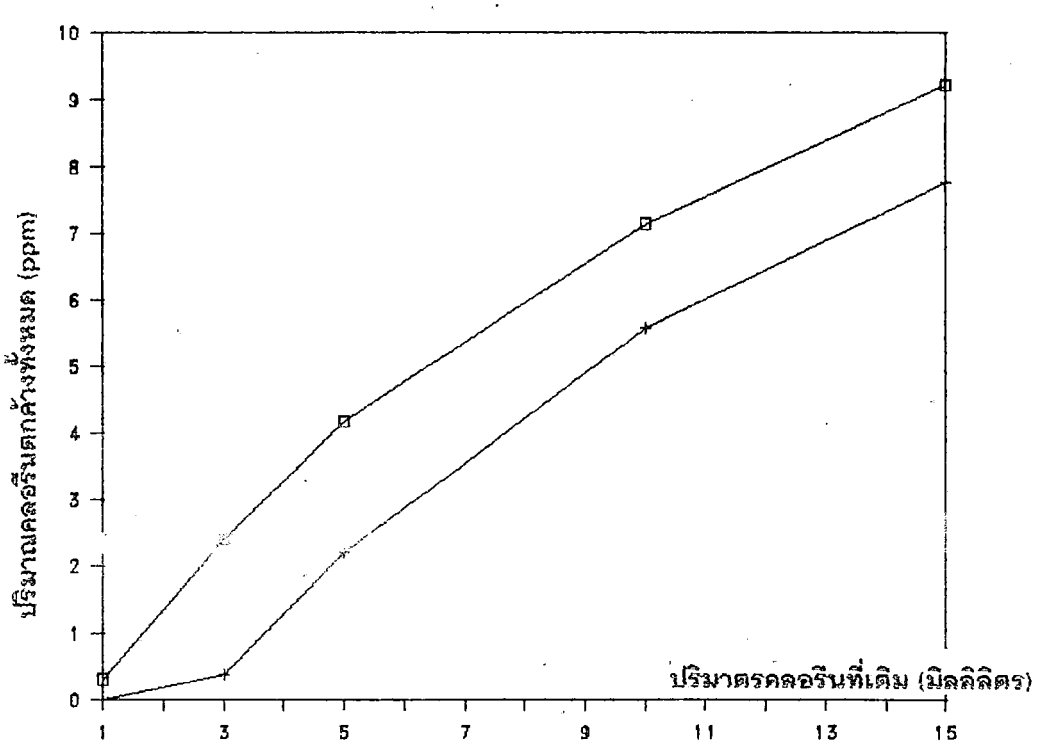
รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรองอ่างเก็บน้ำหนองค้อ



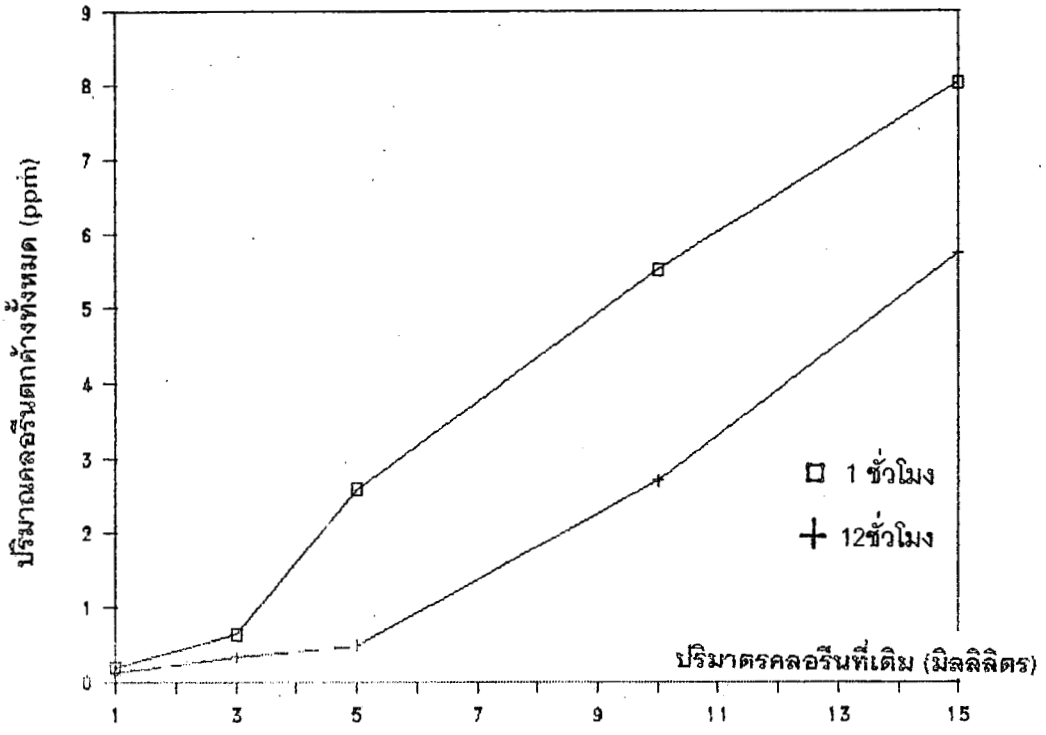
รูปที่ 4.10 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอนอ่างเก็บน้ำหนองค้อ



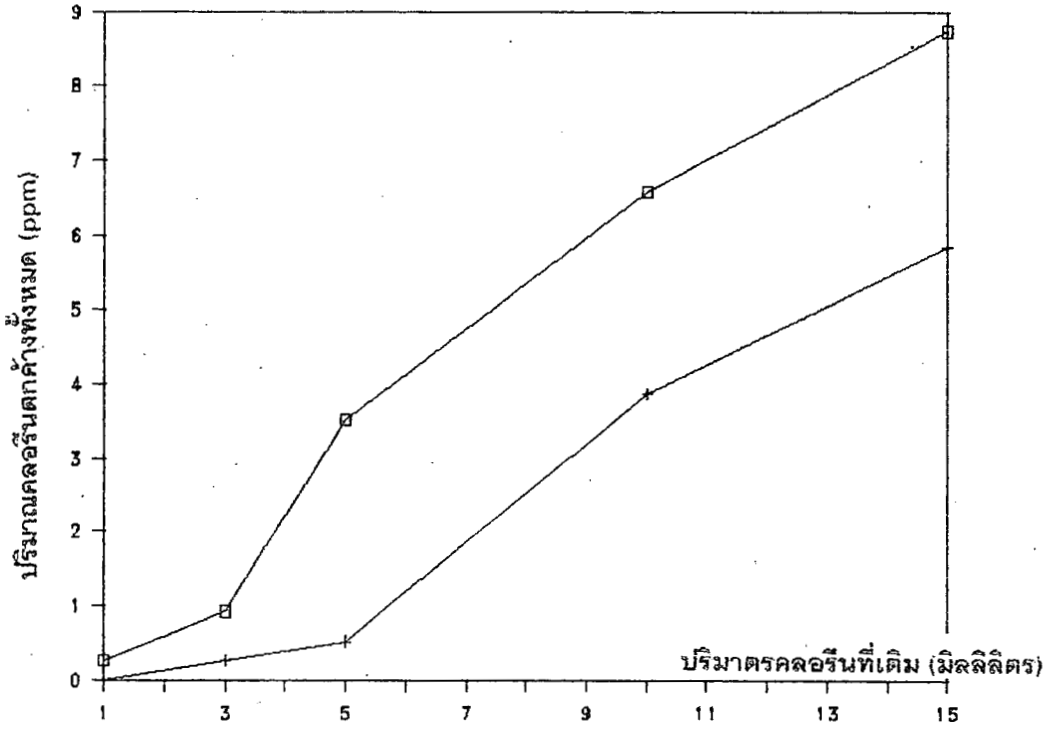
รูปที่ 4.11 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรองอ่างเก็บน้ำพนัสนิคม



รูปที่ 4.12 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอนอ่างเก็บน้ำพนัสนิคม



รูปที่ 4.13 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรองจากน้ำคลองท่าไข่



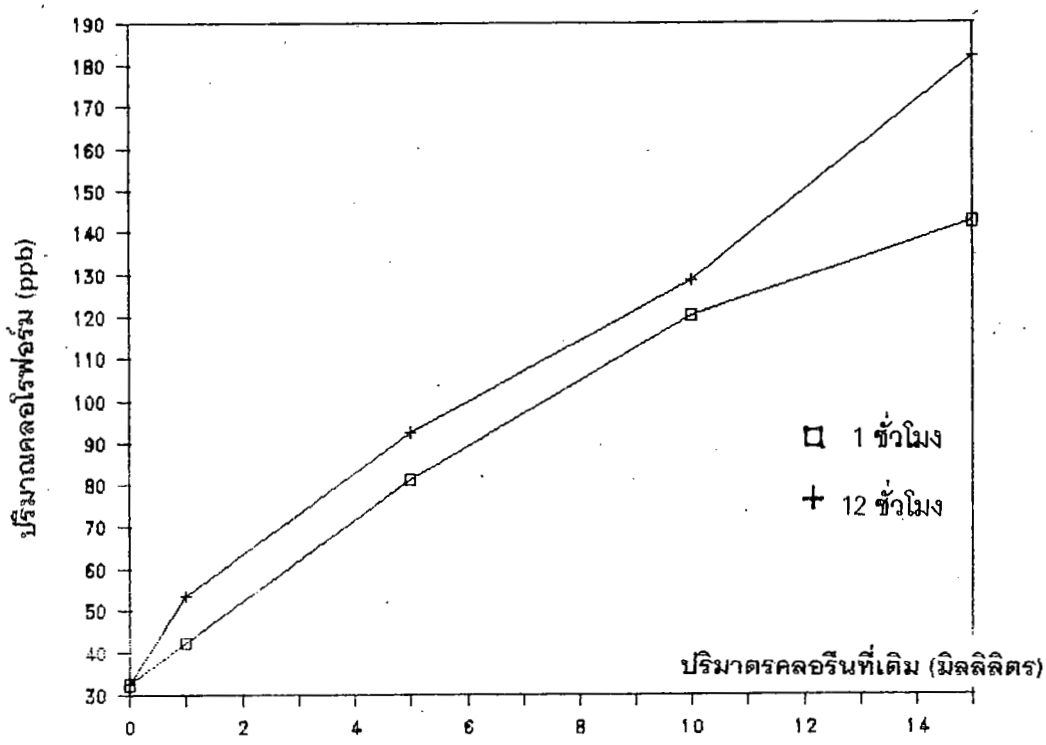
รูปที่ 4.14 ปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอนจากน้ำคลองท่าไข่

4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟอร์มในน้ำตัวอย่าง

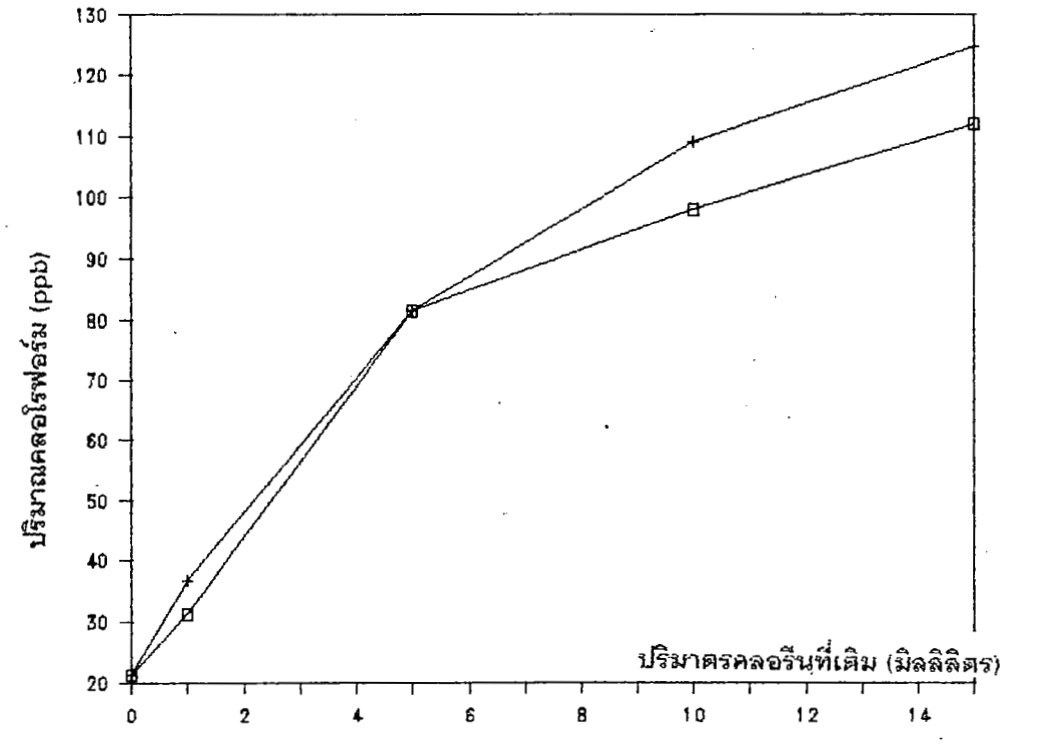
ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟอร์ม จากการเติมคลอรีนในตัวอย่างน้ำ ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.4 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดขึ้น กับปริมาณที่เติม ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่งโมง แสดงดังรูปที่ 4.15-4.20

ตารางที่ 4.4 ปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่พบในน้ำตัวอย่างจาก อ่างเก็บน้ำ หนองค้อ พนัสนิคม และคลองท่าไข่ หลังจากเติมคลอรีนในปริมาณต่างๆ กัน ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง

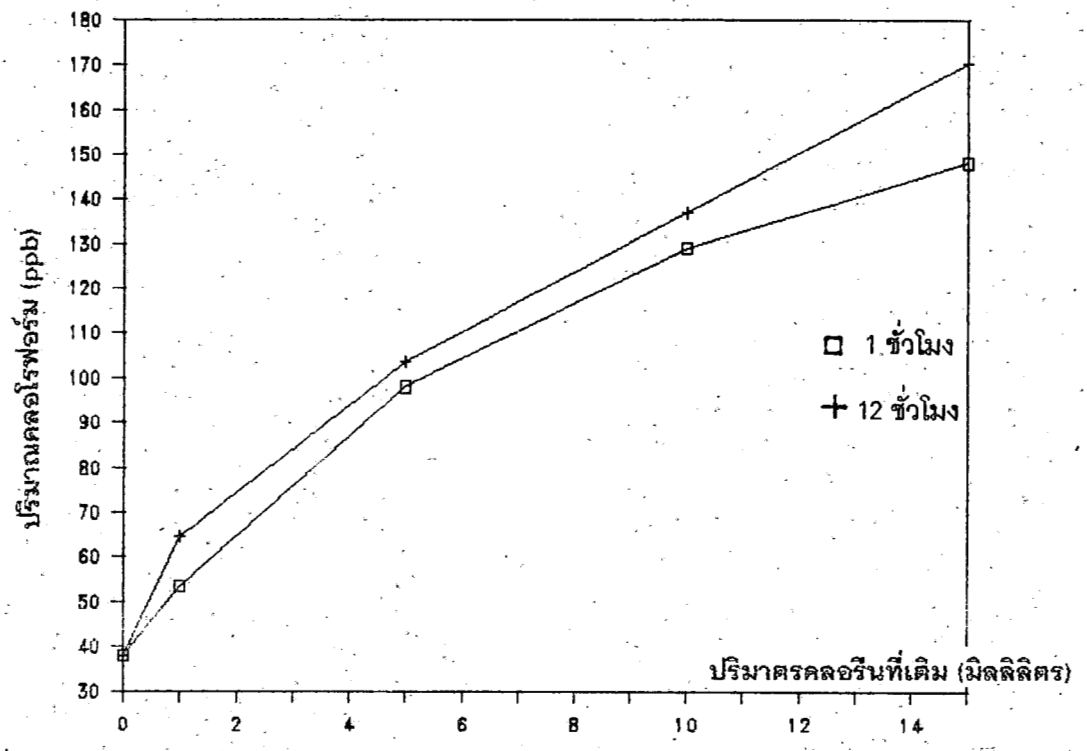
อ่างเก็บน้ำ	น้ำตัวอย่าง	เวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอโรฟอร์ม (ppb) ที่เติมคลอรีนเข้มข้น 104 ppm จำนวน				
			0 mL	1 mL	5 mL	10 mL	15 mL
หนองค้อ	น้ำกรอง	1	32.33	42.40	81.35	120.23	142.53
		12	32.33	53.53	92.49	128.66	182.00
	น้ำตกตะกอน	1	21.20	31.27	81.36	98.06	111.97
		12	21.20	36.83	81.36	109.19	104.68
พนัสนิคม	น้ำกรอง	1	37.89	53.52	98.05	128.99	148.14
		12	37.89	64.66	103.65	137.01	170.41
	น้ำตกตะกอน	1	21.20	34.05	70.23	73.01	75.79
		12	21.20	31.27	34.14	109.19	120.32
คลองท่าไข่	น้ำกรอง	1	10.07	20.14	95.28	120.27	131.45
		12	10.07	36.84	103.57	131.45	148.15
	น้ำตกตะกอน	1	10.07	20.14	76.80	98.00	111.97
		12	10.07	20.14	75.80	103.63	142.59



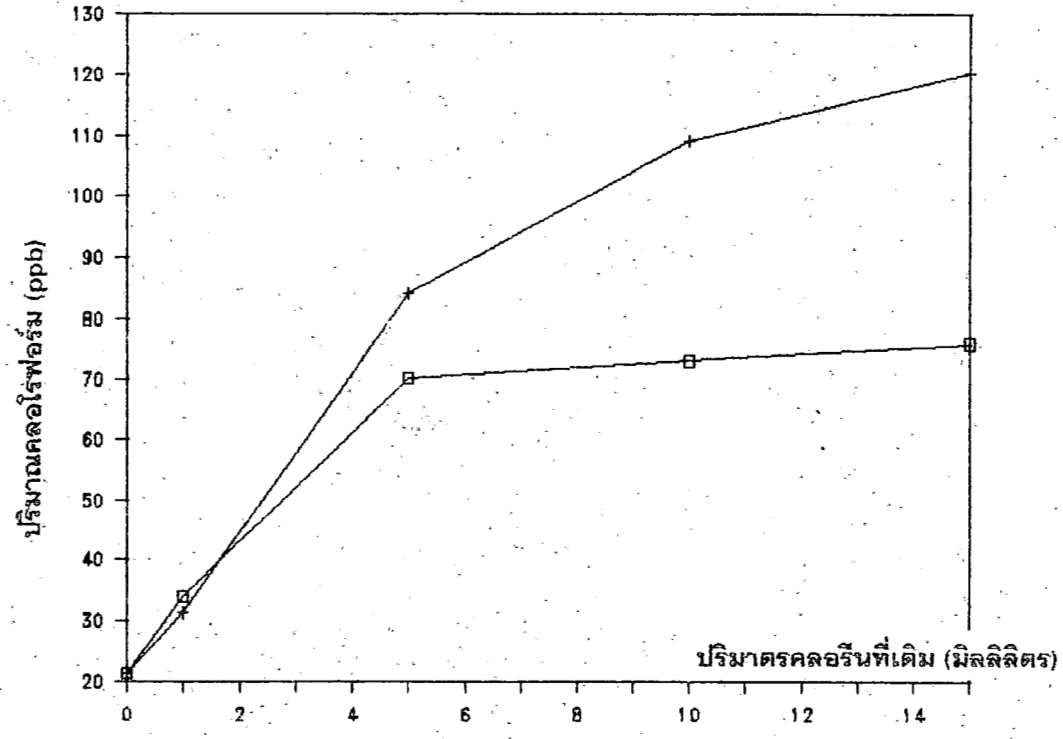
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนที่เติม และปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรอง จากอ่างเก็บน้ำหนองค้อ



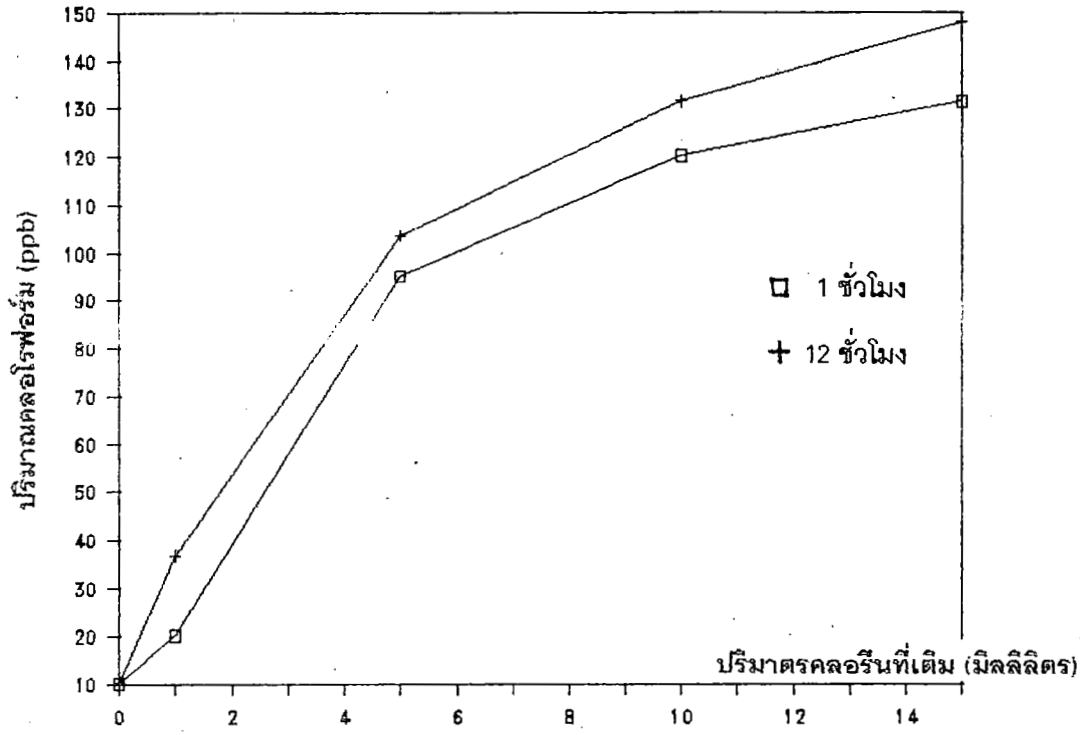
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนที่เติม และปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอน จากอ่างเก็บน้ำหนองค้อ



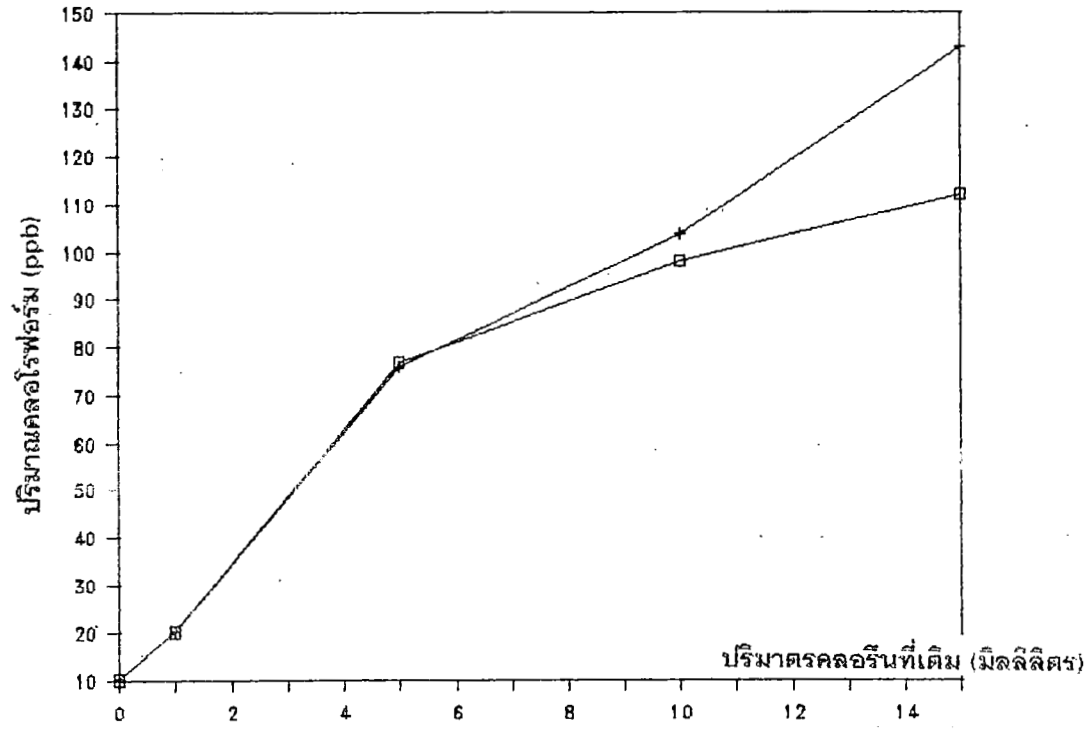
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่ลอรีนที่เติม และปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรอง จากอ่างเก็บน้ำพนัสนิคม



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนที่เติม และปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอน จากอ่างเก็บน้ำพนัสนิคม



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนที่เติม และปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำกรอง จากคลองท่าไข่



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนที่เติม และปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่เกิดที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ของน้ำตกตะกอน จากคลองท่าไข่

บทที่ 5
สรุป และอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ สรุปได้ว่า ปริมาณคลอรีนที่เติม และเวลาสัมผัส มีผลต่อการเกิดคลอโรฟอร์ม โดยถ้าปริมาณคลอรีนที่เติม และเวลาสัมผัสมีค่ามาก จะทำให้เกิดคลอโรฟอร์มได้มาก พบว่าน้ำที่ตกตะกอนแล้ว จะเกิดคลอโรฟอร์ม ได้น้อยกว่าน้ำที่ผ่านการกรอง ปริมาณการเติมคลอรีน เวลาสัมผัส และการตกตะกอน ที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟอร์ม แสดงดังตารางที่ 5.1

ปริมาณคลอโรฟอร์ม จะสัมพันธ์กับค่า BOD ของน้ำแต่ละแหล่ง ผลของการเกิดคลอโรฟอร์ม จากการเติมคลอรีนด้วยปริมาณ และที่เวลาสัมผัสต่างกัน แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟอร์ม จากการเติมคลอรีนด้วยปริมาณและเวลาสัมผัสต่างๆกัน

อ่างเก็บน้ำ	น้ำตัวอย่าง	เวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอโรฟอร์ม (ppb) จากการเติมคลอรีนเข้มข้น 104 ppm จำนวน				
			0 mL	1 mL	5 mL	10 mL	15 mL
หนองค้อ	น้ำกรอง	1	32.33	42.40	81.35	120.23	142.53
		12	32.33	53.53	92.49	128.66	182.00
	น้ำตกตะกอน	1	21.20	31.27	81.36	98.06	111.97
		12	21.20	36.83	81.36	109.19	125.88
พนัสนิคม	น้ำกรอง	1	37.89	53.52	98.05	128.99	148.14
		12	37.89	64.66	103.65	137.01	170.41
	น้ำตกตะกอน	1	21.20	43.05	70.23	73.01	75.79
		12	21.20	31.27	84.14	109.19	102.23
คลองท่าไข่	น้ำกรอง	1	10.06	20.14	95.28	120.27	131.45
		12	10.06	36.84	103.57	131.45	148.15
	น้ำตกตะกอน	1	10.06	20.14	76.80	98.00	111.97
		12	10.06	20.14	75.80	103.63	142.59

ตารางที่ 5.2 สรุปผลค่า BOD และการเกิดคลอโรฟอร์ม จากการเติมคลอรีนด้วยปริมาณและเวลาสัมผัสต่างๆ กัน

อ่างเก็บน้ำ	น้ำตัวอย่าง	ค่า BOD (ppm)	เวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอโรฟอร์ม (ppb) ที่เกิดจากการเติมคลอรีนเข้มข้น 104 ppm จำนวน			
				1 mL	5 mL	10 mL	15 mL
หนองค้อ	น้ำกรอง	0.51	1	10.07	49.02	87.90	110.20
			12	21.20	60.16	96.33	149.67
	น้ำตกตะกอน	0.36	1	10.07	60.16	76.86	90.77
			12	15.63	60.16	87.99	104
พนัสนิคม	น้ำกรอง	1.64	1	15.63	71.30	91.10	110.25
			12	26.77	60.16	99.12	132.55
	น้ำตกตะกอน	0.23	1	12.85	49.03	51.81	54.59
			12	10.07	62.94	87.99	99.12
คลองท่าไข่	น้ำกรอง	1.72	1	10.07	85.21	110.20	121.38
			12	26.77	93.50	104.69	138.08
	น้ำตกตะกอน	0.85	1	10.07	66.73	87.93	101.90
			12	10.07	65.79	93.53	132.52

5.2 อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณคลอรีนที่เติม เมื่อมากขึ้น จะมีผลทำให้เกิดคลอโรฟอร์มในน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากการเติมคลอรีนด้วยปริมาณมาก จะทำให้มีปริมาณคลอรีนส่วนที่เหลือ เกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำ แล้วให้คลอโรฟอร์มเป็นผลิตผล นอกเหนือจากปริมาณคลอรีนที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ในน้ำ ซึ่งไม่ใช่สารที่ทำให้เกิดคลอโรฟอร์ม

เวลาในการสัมผัสที่นานขึ้น มีผลทำให้เกิดคลอโรฟอร์มได้มาก เพราะในขั้นของปฏิกิริยาการเกิดคลอโรฟอร์มบางขั้นเกิดได้ช้า (slow step) ดังนั้นถ้าเพิ่มเวลาสัมผัสให้นานขึ้น จะทำให้เกิดคลอโรฟอร์มได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จากค่า BOD ของน้ำ พบว่า ที่การเติมคลอรีนความเข้มข้น 104 ppm จำนวน 5,10 และ 15 mL แนวโน้มของการเกิดคลอโรฟอร์ม เป็นไปตามค่า BOD แต่ที่การเติมคลอรีนจำนวน 1 mL พบว่าปริมาณการเกิดคลอโรฟอร์มมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เป็นไปตามแนวโน้มของค่า BOD เนื่องจากมีปริมาณคลอรีนจำกัดในการทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดคลอโรฟอร์ม การที่ค่า BOD บอกได้ถึงแนวโน้มการเกิดคลอโรฟอร์ม เพราะว่า BOD นั้นหมายถึง ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ ถ้าค่า BOD มีค่ามาก แสดงว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมาก ก็จะมีโอกาสเกิดคลอโรฟอร์มได้มาก

จากการทดลองถึงผลการตกตะกอนของน้ำตัวอย่าง พบว่า น้ำที่ตกตะกอนแล้วจะเกิดคลอโรฟอร์มได้น้อยกว่าน้ำกรอง เพราะการตกตะกอนจะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ และสารที่ก่อให้เกิดอันตรายได้มากกว่าการกรอง และยังเป็นการแสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ และสารที่ก่อให้เกิดคลอโรฟอร์มนั้น จะอยู่ในรูปของสารละลายมากกว่าสารแขวนลอย ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยวิธีการกรองแบบธรรมดาได้ ดังตัวอย่างน้ำจากคลองท่าไข่ ถึงแม้จะมีอนุภาคแขวนลอยอยู่น้อย (ความขุ่นน้อย) แต่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำมาก ถึงแม้ว่าจะผ่านการตกตะกอนแล้ว ก็ยังคงทำให้เกิดคลอโรฟอร์มได้มาก

การหาปริมาณคลอรีนที่ต้องเติมลงไปใน น้ำกรอง และน้ำตกตะกอน เพื่อให้มีปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด 2 ppm สามารถหาได้จากกราฟรูปที่ 4.1-4.8 และสรุปผลได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ปริมาณคลอโรฟอร์ม ที่พบในน้ำกรอง น้ำตกตะกอน จากแหล่งน้ำที่ศึกษา หลังจากการเติมคลอรีนในปริมาณ ที่ทำให้มีปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด 2 ppm ที่เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง

แหล่งน้ำ	ลักษณะน้ำ	เวลาสัมผัส ชั่วโมง	ปริมาณคลอรีน ที่เติม (ppm)	ปริมาณ คลอโรฟอร์ม (ppb)
บางพระ	น้ำกรอง	1	5.8	*
		12	9.4	*
	น้ำตกตะกอน	1	5.1	*
		12	8.8	*
หนองค้อ	น้ำกรอง	1	2.3	56
		12	4	83
	น้ำตกตะกอน	1	2	46
		12	4	74
พนัสนิคม	น้ำกรอง	1	2.3	82
		1	2.3	99
	น้ำตกตะกอน	1	2.6	49
		12	4.8	81
คลองท่าไข่	น้ำกรอง	1	4.3	85
		12	8.3	123
	น้ำตกตะกอน	1	2.6	56
		12	7.2	88

* ไม่ได้ทำการทดลอง

ตามข้อกำหนดของ USEPA (US Environmental Protection Agency) ที่กำหนดให้มีคลอโรฟอร์มในน้ำประปาได้ไม่เกิน 100 ppb จากผลสรุปในตารางที่ 5.3 น้ำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม จากแหล่งน้ำหนองค้อ พนัสนิคม และ คลองท่าไข่ จะมีปริมาณคลอโรฟอร์มอยู่ใน เกณฑ์ที่กำหนด ส่วนน้ำที่ผ่านการกรอง ที่เวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง จากอ่างเก็บน้ำพนัสนิคม และ คลองท่าไข่ มีปริมาณคลอโรฟอร์ม สูงเกินกว่าค่าที่กำหนด เนื่องจาก มีปริมาณของสารอินทรีย์สูงนั้นเอง จากความสัมพันธ์ของ ค่า BOD กับปริมาณคลอโรฟอร์มที่เกิดขึ้น อาจประมาณได้ว่า น้ำตกตะกอนจากอ่างเก็บน้ำบางพระ ซึ่งมีค่า BOD น้อยที่สุด ปริมาณคลอโรฟอร์มที่จะเกิดขึ้น หลังจากการเติมคลอรีนนั้น ควรจะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของ USEPA

จากแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง ที่เป็นแหล่งน้ำที่ใช้ในการทำน้ำประปา เพื่อการอุปโภคบริโภค ของประชาชนในเขตจังหวัด ชลบุรี และฉะเชิงเทรา ในช่วงเดือนที่ทำการศึกษานั้น ถ้าทำการบำบัดน้ำ โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม และฆ่าเชื้อโรค ด้วยปริมาณคลอรีนที่เหมาะสมที่ทำให้มีปริมาณคลอรีนตกค้างทั้งหมด 2 ppm จะมีปริมาณคลอโรฟอร์ม ซึ่งเป็นสารมลพิษปนเปื้อน อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

บรรณานุกรม

1. NEB, **Seminar on THM in Drinking Water in Bangkok Metropolitan Area.** Laboratory and Research Section Environmental Quality Standard Division, Office of the National Environment Board, Thailand,July,10,1984

2. ธงชัย พรรณสวัสดิ์. **คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง.** สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ,2525,336 หน้า

3. มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 2.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ,2527,433 หน้า

4. Rook,J.J., 'Chlorination Reactions of Fulvic acid in Natural Waters', **Environment Science and Technology** , 11(5) : 478,1977.

5. Jolly,R.L, 'Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects', **Ann Arbor Science** ,v.1,1978.

6. Jolly,R.L.,Gorchev,H. and Hamilton,D.H.Jr, 'Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects', **Ann Arbor Science**, v.2,1978.

7. Jolly,R.L.,Brungs,W.A. and Cumming,R.B, 'Water Chlorination Environmental Impact and Helth Effects',**Ann Arbor Science**,v.3,1980.

8. Jolly,R.L.,Cotruvo,J.A.,Cumming,R.B.,Mattice,J.S.,and Jacobs,V.A., 'Chemistry and Water Treatment', **Ann Arbor Science**,v.4,1983.

9. Olive,B.G and Lawrence,J., 'Haloform in Drinking Water: A Study of Precursors and Precursor Removal',in **Anlyzing Organics in Drinking Water**, An AWWA, Technical Resource Book,USA,1981.

10. Kieth,L.H.,'Identification and Analysis of Organic Pollutants in Water', **Ann Arbor Science**, v.1,1976.

11. Kieth,L.H.,"Advances in the Identification and Analysis of Organic Pollutants in Water", **Ann Arbor Science**,v.3-4,1981.

12. สุนันทา บัวสีม่วง. **เคมีของน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 ชลบุรี : ฝ่ายค้นคว้าวิเคราะห์วิจัย กองประปาชนบท กรมอนามัย ,2522.

13. กรรณิการ์ สิริสิงห์. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : บริษัทประยูรวงศ์ จำกัด ,2525.

14. Huang,J.Y.C. and Smith,G.C.,"Spectrophotometric Determination of Total Trihalometanes in Finished Waters."**J.AWWA**,76(4) : 168,1984.

15. Mariana Mantel,Masda Molco,and Marianna Stiller."Improved Spectrophotometric Method for the Determination of Small Amounts of Chloroform." **AnlyticalChemistry**,35:1737,1963.