



ปริมาณสารโคแอกกูแลนทที่เหมาะสมของน้ำในแม่น้ำน่านและยมด้วยจาร์เทสต์
(The Optimum Coagulant Dose of Water from Nan and Yom River by Jar Test)

| | | |
|--------------|-----------|---------------|
| นายกฤษดา | โลกา | รหัส 50381765 |
| นายวีระชัย | ต๋วยดี | รหัส 50382939 |
| นายสุทธิพงษ์ | วงศ์ดวงใส | รหัส 50383950 |

| |
|-----------------------------|
| ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| วันที่รับ..... 28 ส.ย. 2554 |
| เลขทะเบียน..... 155/1860 |
| เลขเรียกหนังสือ..... TD |
| มหาวิทยาลัยนเรศวร 370 |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2553

ฟง.
ก 284 284 2553



หัวข้อ โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม : ปริมาณสาร โคเอกกูเลนที่ที่เหมาะสมของ
น้ำในแม่น้ำน่านและยมด้วยจาร์เทสต์

ผู้ดำเนินงาน : นายกฤษดา โลกา รหัส 50381765
: นายวีระชัย ตูย์ดี รหัส 50382939
: นายสุทธิพงษ์ วงศ์ดวงใส รหัส 50383950

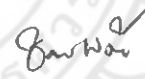
ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง

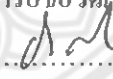
สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง)


.....กรรมการ
(อาจารย์อำพล เตโชวานิชย์)


.....กรรมการ
(อาจารย์วงศ์ลักษณ์ ช่อนกลิ่น)

หัวข้อโครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม : ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของ
น้ำในแม่น้ำน่านและยมด้วยจาร์เทสต์

ผู้ดำเนินงาน : นายกฤษดา โลกา รหัส 50381765
: นายวีระชัย ต้อยดี รหัส 50382939
: นายสุทธิพงษ์ วงศ์ดวงใส รหัส 50383950

ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ชัยวัฒน์ โห้ทอง

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 2553

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของน้ำในแม่น้ำน่านและแม่น้ำยม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 3 ครั้ง จากแม่น้ำน่านบริเวณ ตำบลท่าโพธิ์ และน้ำจากแม่น้ำยมบริเวณ ตำบลบางระกำ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือนกันยายน 2553 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2554 สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ประกอบด้วย สารส้ม, พีเอซี และเฟอริกซัลเฟต วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ประกอบด้วย ความขุ่น, ความเป็นด่าง, พีเอช และอุณหภูมิ ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

จากผลการทดสอบสมบัติของน้ำดิบ พบว่า สมบัติของน้ำจากแม่น้ำน่านและยมนมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยเฉพาะความขุ่นมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูฝน ขณะที่ความเป็นด่าง, พีเอช และอุณหภูมิ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

จากผลการทดสอบจาร์เทสต์ โดยใช้สารส้ม, พีเอซี และเฟอริกซัลเฟต เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่า ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมแปรผันตามความขุ่นของน้ำดิบ นอกจากนี้ยังพบว่า ความเป็นด่างของน้ำดิบจะมีค่าลดลงตามปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้

Project Title : **The Optimum Coagulant Dose of Water
from Nan and Yom River by Jar Test**

Name : **Mr. Kridsada Loka Code 50381765**
: **Mr. weerachai Tuidee Code 50382939**
: **Mr. Sutthipong Whongduongsai Code 50383950**

Project Adviser : **Mr. Chaiwat Phothong**

Major : **Environmental Engineering**

Department : **Civil Engineering**

Academic Year : **2011**

Abstract

The objective of this study are to investigate the optimum coagulant dose of water from Nan and Yom river. The water samples of Nan and Yom were collected 3 times at Thapho district and Bangrakam district Muang Phisanulok between September 2010 to February 2011. Alum, PAC and ferric sulfate were used as coagulants. The physical and chemical properties include turbidity, alkalinity, pH and temperature were determined in environmental engineering laboratory.

The results from the study of raw water properties showed that the water properties change according to seasons. Especially turbidity was highest during the rainy season. As the alkalinity, pH and temperature change little.

The results from jar test showed that the optimum of coagulant dose of alum, PAC and ferric sulfate varies according to the raw water turbidity. It was also found that the raw water alkalinity was decreased by the amount of coagulant.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำและดำเนินการต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ ตรวจสอบแก้ไขโครงการจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเตรียมตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ผู้จัดทำสำนึกในความกรุณาและขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายประชาสัมพันธ์ของมหาวิทยาลัยนเรศวรและการประชาสัมพันธ์ส่วนส่วนภูมิภาค ที่ได้ให้ข้อมูล และคำแนะนำตลอดการดำเนินงาน ขอขอบคุณนางประทีป ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ จุดเก็บน้ำ ตลอดการทดลอง และดำเนินการ

สุดท้าย ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การอุปการะคุณทางการเงินและได้ให้กำลังใจจนกระทั่งโครงการเสร็จสมบูรณ์



สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ (ไทย) | ก |
| บทคัดย่อ (อังกฤษ) | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญรูป | ญ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 1 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 1 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 3 |
| 1.6 แผนการดำเนินงาน | 4 |
| 1.7 งบประมาณที่ใช้ในการทดลอง | 4 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 แอ่น้ำน่านและแม่น้ำยม | 5 |
| 2.2 องค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปา และมาตรฐานน้ำประปา | 10 |
| 2.3 กระบวนการผลิตน้ำประปา | 15 |
| | |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย | 59 |
| 3.1 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ | 59 |
| 3.2 การทดสอบคุณภาพน้ำ | 60 |
| 3.3 การทดลองจาร์เทสต์ | 60 |
| 3.4 แผนการดำเนินการทดลอง | 62 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล | 63 |
| 4.1 ผลการทดสอบน้ำดิบ | 63 |
| 4.2 ผลการทดสอบจาร์เทศของแม่น้ำน่าน | 67 |
| 4.3 ผลการทดสอบจาร์เทศของแม่น้ำยม | 79 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของน้ำดิบและสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม | 91 |
| 4.5 ผลของปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ต่อความเป็นต่างของน้ำ | 92 |
| | |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 95 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 95 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 95 |
| | |
| บรรณานุกรม | 96 |
| ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง | 97 |
| ภาคผนวก ข ภาพถ่ายการทดลอง | 116 |
| ประวัติผู้ดำเนินโครงการ | 122 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.6 แผนการดำเนินงาน | 4 |
| 2.1 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอัด โนมัตติของแม่ น้ำน่าน | 6 |
| 2.2 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอัด โนมัตติของแม่ น้ำยม | 7 |
| 2.3 มาตรฐานน้ำประปาตามมาตรฐานน้ำประปานครหลวง | 13 |
| 2.4 สมบัติของสารส้มอุตสาหกรรมตาม มอก. 165-2542 | 24 |
| 2.5 คุณสมบัติของ PAC ตามมาตรฐาน JIS K 1475 :1996 | 26 |
| 2.6 เปรียบเทียบสมบัติของสารส้มและ PAC | 27 |
| 2.7 คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคมีที่ใช้ในระบบน้ำประปา | 28 |
| 2.8 สาร โคแอกกูเลนต์ที่ใช้ทั่วไปในการผลิตน้ำประปา | 31 |
| 2.9 ลักษณะของสารกรองที่ใช้ออกแบบ | 45 |
| 2.10 สมบัติของสารฆ่าเชื้อโรคต่างๆ | 50 |
| 2.11 แสดงค่าคงที่การแตกตัวของ HOCl ที่อุณหภูมิต่างๆ | 52 |
| 2.12 แสดงค่าคงที่การแตกตัวของ HOCl ที่อุณหภูมิต่างๆ | 55 |
| 2.13 ค่า Actual และ Available chlorine | 56 |
| 2.14 ความต้องการคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค | 56 |
| 3.1 การทดสอบสมบัติของน้ำ | 59 |
| 4.1 การทดสอบน้ำดิบจากแม่ น้ำน่าน | 62 |
| 4.2 การทดสอบน้ำดิบจากแม่ น้ำยม | 64 |
| 4.3 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 66 |
| 4.4 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 68 |
| 4.5 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 70 |
| 4.6 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 72 |
| 4.7 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 74 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.8 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 76 |
| 4.9 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 78 |
| 4.10 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 80 |
| 4.11 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 82 |
| 4.12 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 84 |
| 4.13 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 86 |
| 4.14 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 88 |
| 4.15 สป.ส.การลดลงของความเป็นค่าเทียบกับสารเคมีที่เดิมของน้ำจากแม่น้ำน่านและยม | 91 |
| ก.1 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 11 กันยายน 2553 | 97 |
| ก.2 การทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 11/09/53 รอบที่ 1 | 97 |
| ก.3 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 11/09/53 รอบที่ 2 | 97 |
| ก.4 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 11/09/53 รอบที่ 1 | 98 |
| ก.5 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 11/09/53 รอบที่ 2 | 98 |
| ก.6 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 12 กันยายน 2553 | 98 |
| ก.7 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 12/09/53 รอบที่ 1 | 99 |
| ก.8 การทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 12/09/53 รอบที่ 2 | 99 |
| ก.9 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 12 กันยายน 2553 | 99 |
| ก.10 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 12/09/53 รอบที่ 1 | 100 |
| ก.11 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 12/09/53 รอบที่ 2 | 100 |
| ก.12 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 18 กันยายน 2553 | 100 |
| ก.13 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 18/09/53 รอบที่ 1 | 101 |
| ก.14 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC รอบที่ 2 วันที่ 18/09/53 | 101 |
| ก.15 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 18/09/53 รอบที่ 1 | 102 |
| ก.16 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 18/09/53 รอบที่ 2 | 102 |
| ก.17 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 19 พฤศจิกายน 2553 | 103 |
| ก.18 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 19/11/53 รอบที่ 1 | 103 |
| ก.19 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 19/11/53 รอบที่ 2 | 103 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ก.20 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 19/11/53 รอบที่ 1 | 104 |
| ก.21 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 19/11/53 รอบที่ 2 | 104 |
| ก.22 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 20 พฤศจิกายน 2553 | 105 |
| ก.23 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 20/11/53 รอบที่ 1 | 105 |
| ก.24 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 20/11/53 รอบที่ 2 | 105 |
| ก.25 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 26 พฤศจิกายน 2553 | 106 |
| ก.26 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 26/11/53 รอบที่ 1 | 106 |
| ก.27 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 26/11/53 รอบที่ 2 | 106 |
| ก.28 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 3 ธันวาคม 2553 | 107 |
| ก.29 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 03/09/53 รอบที่ 1 | 107 |
| ก.30 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 03/09/53 รอบที่ 2 | 107 |
| ก.31 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 03/09/53 รอบที่ 1 | 108 |
| ก.32 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 03/09/53 รอบที่ 2 | 108 |
| ก.33 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 25 มกราคม 2554 | 109 |
| ก.34 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 25/01/54 รอบที่ 1 | 109 |
| ก.35 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 25/01/54 รอบที่ 2 | 109 |
| ก.36 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 25/01/54 รอบที่ 1 | 110 |
| ก.37 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ วันที่ 25/01/54 รอบที่ 2 | 110 |
| ก.38 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 09 กุมภาพันธ์ 2554 | 111 |
| ก.39 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/54 รอบที่ 1 | 111 |
| ก.40 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/54 รอบที่ 2 | 111 |
| ก.41 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 09 กุมภาพันธ์ 2554 | 112 |
| ก.42 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/2554 รอบที่ 1 | 112 |
| ก.43 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/2554 รอบที่ 2 | 112 |
| ก.44 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2554 | 113 |
| ก.45 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 17/02/54 รอบที่ 1 | 113 |
| ก.46 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 17/02/54 รอบที่ 2 | 113 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ก.47 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำขมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 17/02/54 รอบที่ 1 | 114 |
| ก.48 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำขมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 17/02/54 รอบที่ 2 | 114 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำน่าน | 2 |
| 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมจุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำน่าน | 2 |
| 1.3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำยม | 3 |
| 1.4 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ | 3 |
| 2.1 ลุ่มแม่น้ำน่าน | 8 |
| 2.2 ลุ่มแม่น้ำยม | 9 |
| 2.3 Flow Diagram ของระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินแบบทั่วไป | 11 |
| 2.4 โมเดลของอนุภาคคอลลอยด์และ Double Layer | 16 |
| 2.5 แรงที่กระทำระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ | 17 |
| 2.6 ลักษณะการเกิดฟล็อก | 18 |
| 2.7 สมดุลการละลายน้ำของ | 19 |
| 2.8 แรงที่กระทำระหว่างคอลลอยด์จากการบีบอัดของ Double Layer | 20 |
| 2.9 Destabilization และ Restabilization ของคอลลอยด์ด้วย โพลีเมอร์ | 22 |
| 2.10 ช่วงค่าการเติมสารส้มโดยทั่วไปของกระบวนการกวนเร็ว | 23 |
| 2.11 การตกตะกอนของ Discrete | 34 |
| 2.12 ลักษณะดังตกตะกอนแบบวงกลม | 37 |
| 2.13 ลักษณะดังตกตะกอนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 38 |
| 2.14 กลไกการกรองของถังทรายกรอง | 40 |
| 2.15 ถังทรายกรองช้า | 41 |
| 2.16 ชนิดของถังกรอง | 42 |
| 2.17 ชนิดของระบบ Underdrain | 42 |
| 2.18 การทดสอบ Sieve Analysis ของทรายและแอนทราไซด์ | 44 |
| 2.19 การกระจายขนาดและความถี่ของสารกรอง | 45 |
| 2.20 ถังกรอง | 47 |
| 2.21 กราฟกลอรีนตกค้าง | 53 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ | 58 |
| 3.2 เครื่องจาร์เทสต์ชนิด 6 ใบพัด | 59 |
| 3.3 แผนการดำเนินการทดลอง | 61 |
| 4.1 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่าน | 63 |
| 4.2 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยม | 65 |
| 4.3 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 67 |
| 4.4 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 67 |
| 4.5 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 67 |
| 4.6 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 69 |
| 4.7 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 69 |
| 4.8 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 69 |
| 4.9 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 71 |
| 4.10 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 71 |
| 4.11 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 71 |
| 4.12 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 73 |
| 4.13 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 73 |
| 4.14 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 73 |
| 4.15 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 75 |
| 4.16 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 75 |
| 4.17 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 75 |
| 4.18 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 77 |
| 4.19 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 77 |
| 4.20 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 77 |
| 4.21 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 79 |
| 4.22 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 79 |
| 4.23 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 | 79 |
| 4.24 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 81 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.25 พิเศษจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 81 |
| 4.26 ความเป็นค่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 | 81 |
| 4.27 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 83 |
| 4.28 พิเศษจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 83 |
| 4.29 ความเป็นค่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 | 83 |
| 4.30 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 85 |
| 4.31 พิเศษจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 85 |
| 4.32 ความเป็นค่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 | 85 |
| 4.33 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 87 |
| 4.34 พิเศษจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 87 |
| 4.35 ความเป็นค่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 1 | 87 |
| 4.36 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 89 |
| 4.37 พิเศษจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 89 |
| 4.38 ความเป็นค่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2553 รอบที่ 2 | 89 |
| 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณการใช้สารเคมีของน้ำในแม่น้ำน่าน | 90 |
| 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณการใช้สารเคมีของน้ำในแม่น้ำยม | 90 |
| 4.41 ผลของปริมาณสารเคมีต่อความเป็นค่างของน้ำจากแม่น้ำน่าน | 92 |
| 4.42 ผลของปริมาณสารเคมีต่อความเป็นค่างของน้ำจากแม่น้ำยม | 93 |
| ข.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำน่าน | 116 |
| ข.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำยม | 116 |
| ข.3 กระบวนการกวนช้า กวนเร็ว และการตกตะกอน | 117 |
| ข.4 เครื่องจาร์เทสต์ | 118 |
| ข.5 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ | 118 |
| ข.6 เครื่องวัดความเป็นกรด- ค่าง | 119 |
| ข.7 สารส้ม | 119 |
| ข.8 พีเอซี | 120 |
| ข.9 เฟอริกซัลเฟต | 120 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ในเขตจังหวัดพิจิตร โลกมีแหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญเพื่อการอุปโภคและบริโภค ได้แก่ แม่น้ำน่านและแม่น้ำยม แหล่งน้ำสำคัญดังกล่าวถูกใช้เพื่อกิจกรรมในหลายๆด้าน ได้แก่ การผลิตน้ำประปา การคมนาคม การเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ขณะที่คุณสมบัติของน้ำผิวดินดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล คุณสมบัติของน้ำผิวดินในฤดูแล้งจะมีความแตกต่างจากฤดูฝนรวมทั้งปริมาณน้ำในทั้ง 2 ฤดูก็มีความแตกต่างกันมากเช่นเดียวกัน การที่เปลี่ยนแปลงของสารเคมีส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยตรง โดยเฉพาะโรงผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินแบบธรรมดาที่ใช้สารเคมีเป็นสาร โคแอกกูแลนต์ การเก็บสารเคมีที่ไม่เหมาะสมกับสมบัติของน้ำดิบจะส่งผลโดยตรงกับคุณภาพน้ำประปาที่ผลิตได้ กล่าวคือ อาจจะทำให้ไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้ตามมาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดไว้ อีกทั้งยังอาจเสี่ยงต่อการได้รับเชื้อโรคที่เป็นอันตราย และอาจเกิดโรคที่มึ้น้ำเป็นพาหะแก่ผู้บริโภครได้

ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเป็น โครงการศึกษาปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน และแม่น้ำยมสายละ 1 จุด โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่แม่น้ำน่านที่วัดคู่งวารี ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร โลก และแม่น้ำยมที่บ้านเลขที่ 31/5 ตำบลบางระกำ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร โลกนำมาทดสอบปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมโดยใช้สารเคมี 3 สารคือ สารส้ม พีเอซี และเฟอริกซัลเฟต ทำการทดลองในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2553 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนถึงฤดูหนาวจน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตน้ำประปา

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำผิวดินต่อปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

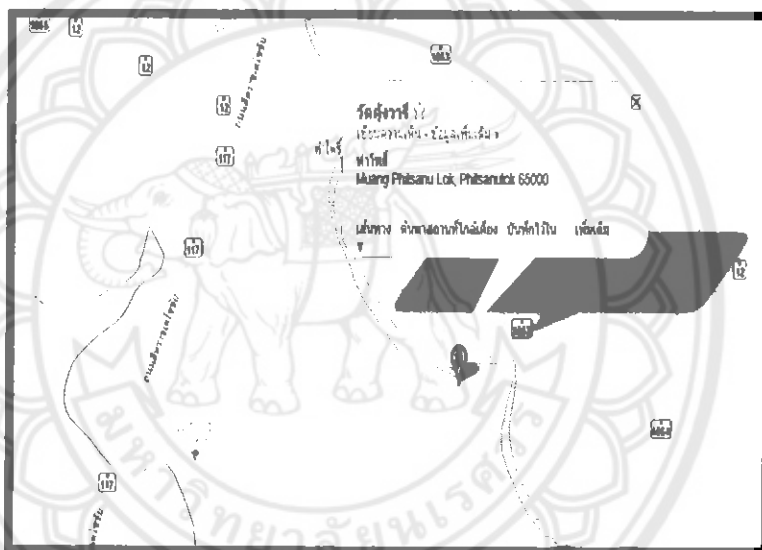
1.3.1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินของแม่น้ำน่านและแม่น้ำยม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาคุณภาพดิน 2 แหล่งได้แก่น้ำในแม่น้ำน่านและแม่น้ำยม ในจังหวัดพิษณุโลก โดยเลือกเก็บตัวอย่างน้ำสายละ 1 จุด แม่น้ำน่านเก็บบริเวณ วัดคู้งวารี ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก แม่น้ำยมเก็บบริเวณ บ้านเลขที่ 31/5 ต.บางระกำ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงเดือนกันยายน 2553 - กุมภาพันธ์ 2554

1.4.2 สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ประกอบด้วย สารส้ม พีเอชที่เป็น Commercial grade และ เฟอร์ริกซัลเฟต ที่เป็น Lab grade

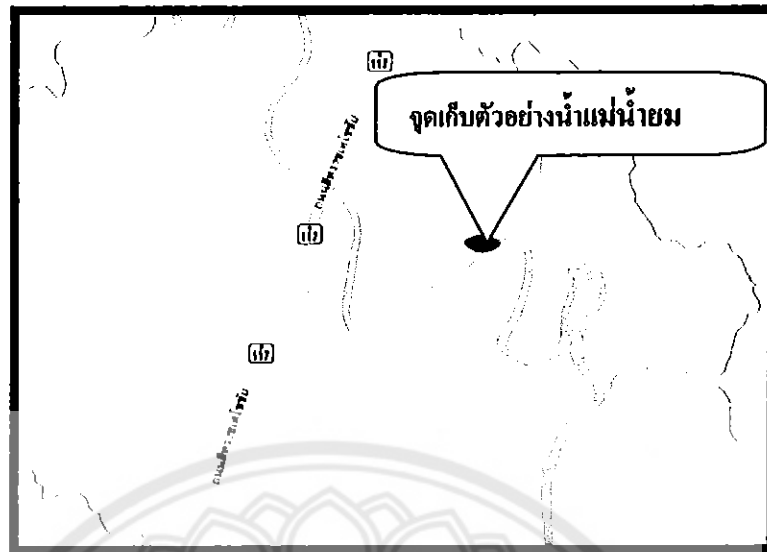
1.4.3 ศึกษาสมบัติของน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิ พีเอช ความเป็นด่าง และความขุ่น



รูปที่ 1.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำน่าน



รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำน่าน



รูปที่ 1.3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำยม



รูปที่ 1.4 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำยม

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ทฤษฎี หลักการ และกำหนดจุดเก็บน้ำตัวอย่างในแหล่งน้ำดิบ
- 1.5.2 เก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำตามเวลาที่กำหนด
- 1.5.3 วิเคราะห์ และสรุปผล
- 1.5.4 จัดทำรูปเล่มรายงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

| กิจกรรม | เดือน/ปี | พ.ศ. 2553 | | | | | พ.ศ. 2554 | | | |
|---|----------|-----------|------|------|------|------|-----------|------|------|-------|
| | | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |
| 1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 2. เก็บตัวอย่างน้ำ และ วิเคราะห์สมบัติของน้ำ และทำจาร์เทสต์ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| 3. วิเคราะห์ข้อมูล และ สรุปผล | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 4. ทำรายงาน | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |

1.7 งบประมาณที่ใช้ในการทดลอง

| | | |
|------------------------------------|-------|-----|
| 1.7.1 ค่าวัสดุสำนักงาน | 500 | บาท |
| 1.7.2 ค่าถ่ายเอกสาร และจัดทำรายงาน | 3,000 | บาท |
| 1.7.3 วัสดุอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ | 500 | บาท |
| รวม ค่าใช้จ่าย | 4,000 | บาท |

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 แม่น้ำน่านและแม่น้ำยม

แม่น้ำน่าน มีต้นกำเนิดอยู่ที่ ดอยภูแว ในเทือกเขาหลวงพระบาง จังหวัดน่าน มีความยาวตลอดลำน้ำ 770 กิโลเมตร เป็นแม่น้ำสายหลักในภาคเหนือและภาคกลางของไทย โดยไหลร่วมกับแม่น้ำปิง กลายเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำน่าน ไหลจากอำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอทุ่งช้าง อำเภอเชียงกลาง อำเภอปัว อำเภอท่าวังผา อำเภอเมืองน่าน อำเภอภูเพียง อำเภอเวียงสา อำเภอนาน้อย ผ่านมาทางอำเภอนาหมื่น จังหวัดน่านและถูกกั้นด้วยเขื่อนสิริกิติ์ ที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ จากนั้นไหลผ่านอำเภอเมืองอุตรดิตถ์ อำเภอดรอน อำเภอพิชัย ลงมายังอำเภอบรรพตพิสัย อำเภอเมืองพิจิตร โลก แล้วไหลผ่านอำเภอเมืองพิจิตร อำเภอตะพานหิน อำเภอบางมูลนาก รวมกับแม่น้ำยม ที่ตำบลเกษไชย อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ แล้วไหลไปรวมกับแม่น้ำปิง ที่ตำบลแควใหญ่ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ เป็นแม่น้ำเจ้าพระยา ดังรูปที่ 2.1

ปัจจุบันมีสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติที่ขึ้นกับกรมควบคุมมลพิษทั้งหมด 16 จุด ตามความยาวตลอดลำน้ำ ดังตารางที่ 2.1

แม่น้ำยม เป็นแม่น้ำที่มีต้นกำเนิดอยู่ในป่าดงดิบสูงชันสลับซับซ้อนบนเทือกเขาผีปันน้ำ และเทือกเขาแดนลาว ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดเชียงราย พะเยา และแพร่ มีความยาวประมาณ 735 กิโลเมตร ไหลผ่านจังหวัดแพร่ สุโขทัย พิจิตร โลก และพิจิตร ไปบรรจบกับแม่น้ำน่านที่อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ก่อนแม่น้ำน่านจะไปรวมกับแม่น้ำปิง ที่ปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ เกิดเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำสายสำคัญของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ดังรูปที่ 2.1

ปัจจุบันมีสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติที่ขึ้นกับกรมควบคุมมลพิษทั้งหมด 17 จุด ตามความยาวตลอดลำน้ำ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติของแม่น้ำน่าน

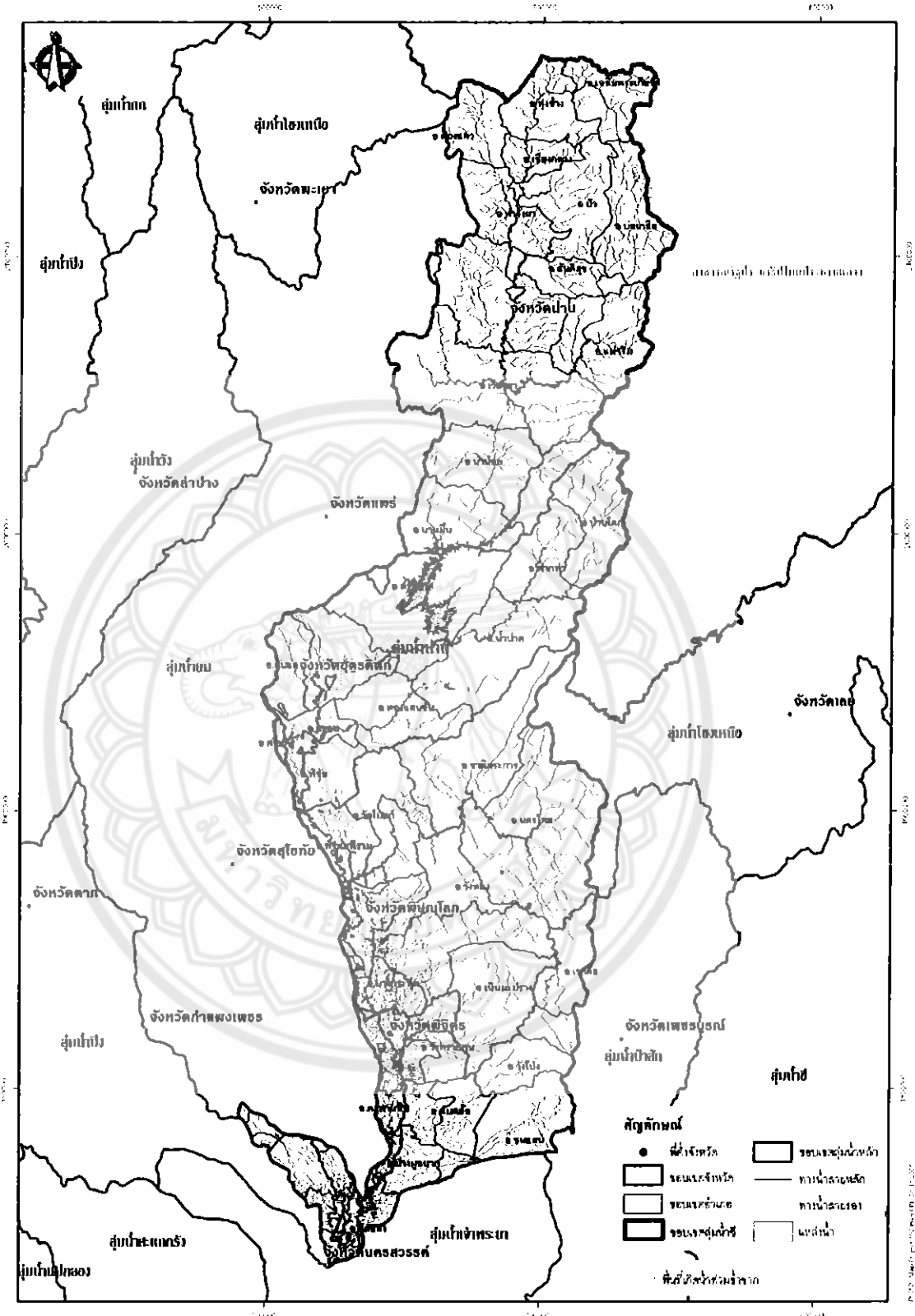
| ลำดับ | รหัส | ระยะจากปากแหล่งน้ำ (กม.) | ที่ตั้ง | รายละเอียด | ตำบล | อำเภอ | จังหวัด |
|-------|-------|--------------------------|---|------------|-----------|----------------|-----------|
| 1 | NA01 | 6 | หน้าวัดเกรียงไกรใต้ | | | เมืองนครสวรรค์ | นครสวรรค์ |
| 2 | NA0.1 | | ศาลเจ้าพ่อเทพารักษ์เจ้าแม่ทับทิม | | ปากน้ำโพ | เมืองนครสวรรค์ | นครสวรรค์ |
| 3 | NA02 | 69 | สะพาน ต.บางมูลนาก | | บางมูลนาก | บางมูลนาก | พิจิตร |
| 4 | NA03 | 97 | สะพานรัฐราษฎร์รังสรรค์ | | ห้วยเกตุ | ตะพานหิน | พิจิตร |
| 5 | NA04 | 134 | วัดท่าหลวง | | ท่าหลวง | เมืองพิจิตร | พิจิตร |
| 6 | NA05 | 136 | สะพาน ต.ในเมือง | | ในเมือง | เมืองพิจิตร | พิจิตร |
| 7 | NA06 | 217 | สะพานวัดสว่างอารมณ์ | | ท่าทอง | เมืองพิษณุโลก | พิษณุโลก |
| 8 | NA07 | 226 | วัดโพธิญาณ | | ในเมือง | เมืองพิษณุโลก | พิษณุโลก |
| 9 | NA08 | 272 | สะพานเขื่อนนครสวรรค์ | | | พรหมพิราม | พิษณุโลก |
| 10 | NA09 | 321 | สะพาน บ.หน่อวัด | | ในเมือง | พิจัย | อุตรดิตถ์ |
| 11 | NA10 | 381 | สะพานพัฒนาภาคเหนือ 13 | | | เมืองอุตรดิตถ์ | อุตรดิตถ์ |
| 12 | NA11 | 391 | สะพาน บ.วังทอง | | จวังม | เมืองอุตรดิตถ์ | อุตรดิตถ์ |
| 13 | NA1.1 | | สะพานข้ามแม่น้ำน่านด้านเหนือของเขตเทศบาลเมืองชุมแสง | | | ชุมแสง | นครสวรรค์ |
| 14 | NA12 | 584 | บ.คอนศรีเสริม | | ในเวียง | เมืองน่าน | น่าน |
| 15 | NA13 | 590 | จุดสูบน้ำของการประปาภูมิภาค | | | เมืองน่าน | น่าน |
| 16 | NA14 | 645 | จุดสูบน้ำการประปาท่าวังผา | | ท่าวังผา | ท่าวังผา | น่าน |

ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (n.d.)

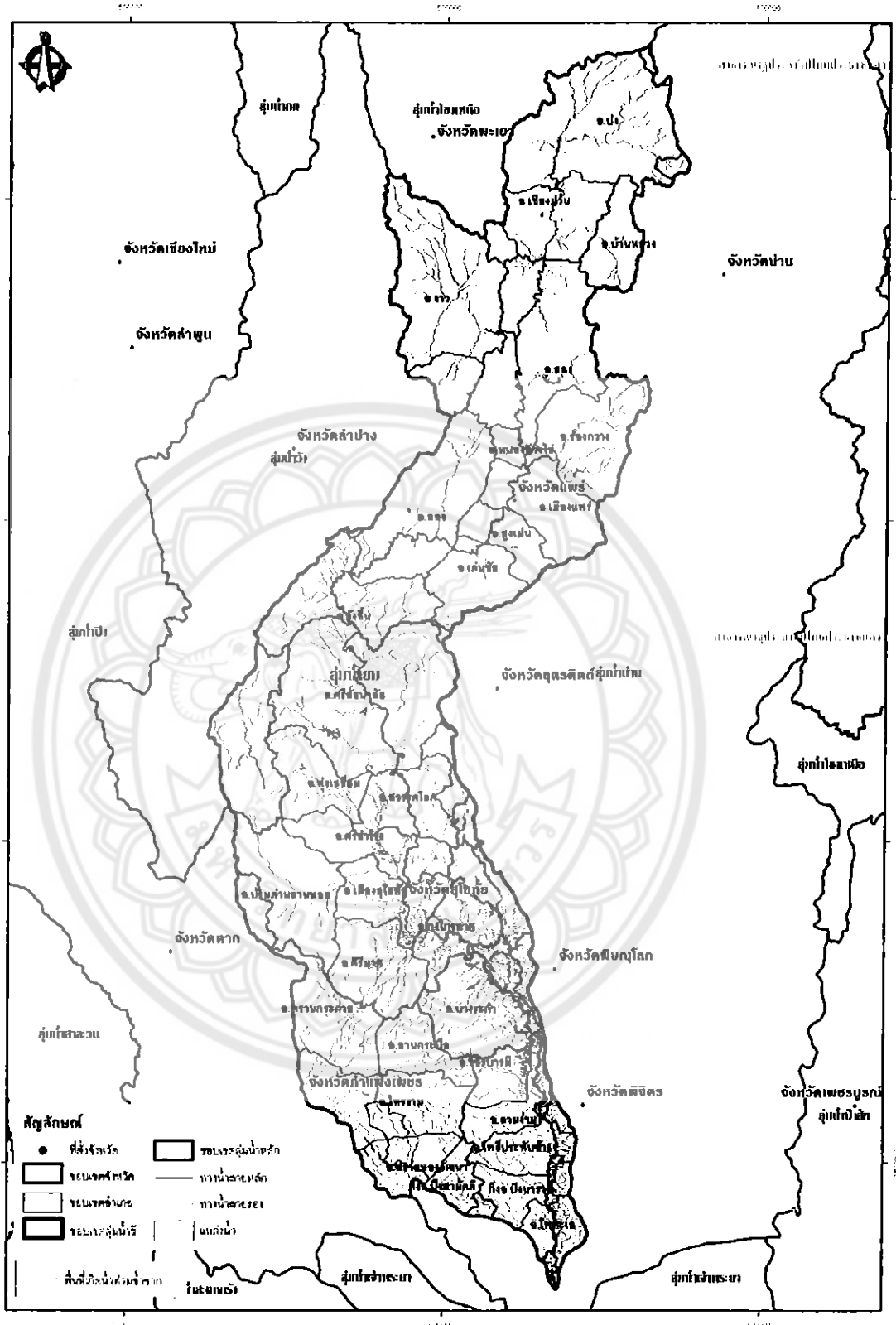
ตารางที่ 2.2 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติของแม่น้ำยม

| ลำดับ | รหัส | ระยะจากปาก แหล่งน้ำ (กม.) | ที่ตั้ง | ตำบล | อำเภอ | จังหวัด |
|-------|-------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| 1 | YO01 | 56 | สะพานโพทะเล | | โพทะเล | พิจิตร |
| 2 | YO02 | 94 | บ.วังจักร | | โพธิ์ประทับช้าง | พิจิตร |
| 3 | YO03 | 130 | สะพานบ.สามง่าม | สามง่าม | สามง่าม | พิจิตร |
| 4 | YO04 | 176 | สะพานบางระกำ | | บางระกำ | พิจิตร |
| 5 | YO05 | 263 | สะพานพระร่วง | ธานี | เมืองสุโขทัย | สุโขทัย |
| 6 | YO0.5 | | สะพานทางหลวงชนบท | ท่าไม้ | ขุนแสวง | นครสวรรค์ |
| 7 | YO06 | 265 | สะพานบ.วังหินพัฒนา | ปากแคว | เมืองสุโขทัย | สุโขทัย |
| 8 | YO07 | 313 | จุดสูบน้ำดิบใกล้สะพานแขวน | | สวรรคโลก | สุโขทัย |
| 9 | YO08 | 344 | สะพานศรีรัตนาลัย | หาดเสี้ยว | ศรีรัตนาลัย | สุโขทัย |
| 10 | YO09 | 418 | สะพานวังจั่น | วังจั่น | วังจั่น | แพร่ |
| 11 | YO10 | 529 | สะพานพัฒนาภาคเหนือ8 | ป่าเมต | เมืองแพร่ | แพร่ |
| 12 | YO11 | 532 | สะพานคลองโพธิ์-บ.คลองโพธิ์ | | เมืองแพร่ | แพร่ |
| 13 | YO12 | 610 | ฝายแม่ยม | | สอง | แพร่ |
| 14 | YO13 | 693 | สะพานข้ามห้วยดกการทางเข็งม่วน | | เข็งม่วน | พะเยา |
| 15 | YO14 | | สะพานแม่น้ำยม | | ปง | พะเยา |
| 16 | YO8.1 | | สะพานห้วยแม่สิน | แม่สิน | ศรีรัตนาลัย | สุโขทัย |
| 17 | YO9.1 | | สะพานแม่ต้า | ต้าผามอก | สอง | แพร่ |

ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (n.d.)



รูปที่ 2.1 ลุ่มแม่น้ำนาน
ที่มา: ศูนย์ป้องกันวิฤตน้ำ (n.d.)



รูปที่ 2.2 ลุ่มแม่น้ำขม
ที่มา: ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ (n.d.)

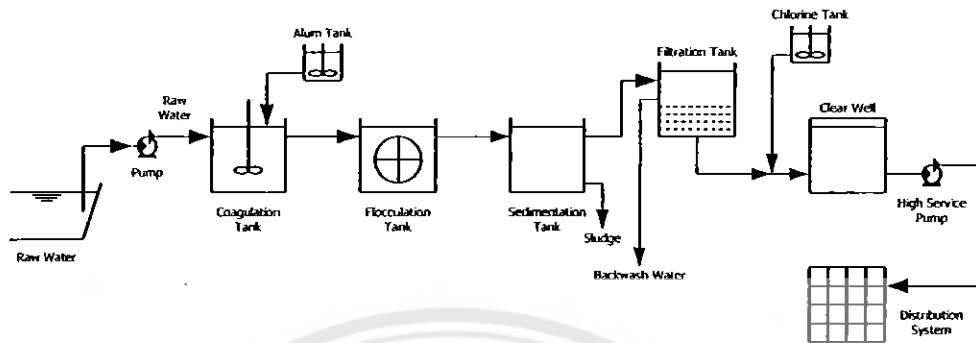
2.2 องค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปา และมาตรฐานน้ำประปา

2.2.1 องค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน

โดยทั่วไประบบประปาชุมชน จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ แหล่งน้ำดิบ ระบบลำเลียงน้ำดิบ ระบบผลิตน้ำประปา และระบบแจกจ่ายน้ำประปา ดังรูปที่ 2.3 แสดง Flow Diagram ของระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไปจากน้ำผิวดิน

- แหล่งน้ำดิบ (Raw Water) ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำประปาเป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นอันดับแรก เนื่องจากจะต้องเป็นแหล่งน้ำที่มีปริมาณที่เพียงพอแก่ความต้องการ และมีสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำมาผลิตเป็นน้ำประปาได้ จำเป็นต้องเลือกแหล่งน้ำที่สะอาดและอยู่ไม่ไกลมากนัก เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำและค่าใช้จ่ายในการส่งน้ำดิบมายังระบบผลิตน้ำประปา แหล่งน้ำดิบที่สะอาดที่สุดและใกล้ที่สุดจะทำให้สามารถผลิตน้ำประปาได้ในราคาที่ประหยัดที่สุดเสมอ
- ระบบลำเลียงน้ำดิบ (Raw Water Conveyance System) เป็นระบบการลำเลียงน้ำดิบเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาหรือโรงประปา ระบบสามารถออกแบบให้ไหลเองด้วยแรงโน้มถ่วงหรือใช้เครื่องสูบน้ำ เป็นลักษณะของรางเปิดหรือท่อภายใต้แรงดัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและโอกาสการปนเปื้อน ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ระยะทางในการลำเลียงน้ำ เป็นต้น การออกแบบเป็นรางเปิดมักประหยัดค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำแต่มีโอกาสปนเปื้อนมาก ขณะที่การใช้เครื่องสูบน้ำมักมีค่าใช้จ่ายสูงแต่โอกาสการปนเปื้อนน้อยกว่ามาก
- ระบบผลิตน้ำประปา (Water Treatment Systems) ขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำดิบ โดยทั่วไปน้ำได้ดินมักมีความสะอาดมากกว่าน้ำผิวดิน จึงต้องการขั้นตอนในการทำมาสะอาดหรือมีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำน้อยกว่าน้ำผิวดิน แหล่งน้ำบางแห่งที่เป็นต้นน้ำลำธารอาจต้องการเพียงแค่การฆ่าเชื้อโรคซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำสุดเท่านั้นก็สามารถส่งจ่ายไปยังผู้ใช้น้ำได้เลย ในอนาคตหากแหล่งน้ำดิบมีการปนเปื้อนจากสิ่งต่างๆ มากขึ้น ก็ส่งผลให้ระบบการทำมาสะอาดน้ำต้องมีความซับซ้อนและขั้นตอนที่มากขึ้น ไปด้วยจึงจะสามารถผลิตน้ำที่สะอาดออกมาได้
- ระบบแจกจ่ายน้ำ (Water Distribution Systems) เป็นระบบท่อที่ประกอบด้วยท่อหลัก และท่อสาขาขนาดต่างๆ ทำหน้าที่ขนส่งน้ำไปยังชุมชนในพื้นที่บริการ มักออกแบบให้ไหลภายใต้แรงดันด้วยเครื่องสูบน้ำ ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดของท่อ ได้แก่ ปริมาณความต้องการน้ำในด้านต่างๆ รวมทั้งการสำรองเพื่อการดับเพลิง ท่อจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะแจกจ่ายน้ำได้อย่าง

ทั่วถึงแม้ในยามที่มีการใช้น้ำพร้อมๆ กัน ความดันและความเร็วการไหลของน้ำในเส้นท่อเป็นปัจจัยที่ผู้ออกแบบจะต้องให้ความสำคัญเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.3 Flow Diagram ของระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินแบบทั่วไป

จากรูปน้ำดิบจะถูกลำเลียงโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา หากพิจารณาจากรูปลักษณะภายนอกโดยมากระบบมักประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 5 ส่วน ได้แก่ ดังความเร็ว ดังความช้า ดังตกตะกอน ดังกรอง และดังเก็บน้ำใส ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินจะเริ่มขึ้นด้วยกระบวนการกวนเร็ว (Coagulation Process) ที่มีการเติมสารเคมี เช่น สารส้ม (Alum), เฟอร์ริกซัลเฟต หรือเฟอร์ริกคลอไรด์ ลงในถังกวนเร็วเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ หลังจากนั้นน้ำจะไหลเข้าสู่กระบวนการกวนช้า (Flocculation Process) เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วรวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นพร้อมที่จะตกตะกอนสู่ก้นถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) น้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอนจะผ่านการกรอง (Filtration) อีกครั้งเพื่อทำให้น้ำใสมยิ่งขึ้น แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) ด้วยคลอรีน หรือสารอื่นๆ ก่อนที่จะถูกเก็บสำรองไว้ในถังน้ำใส (Clear Well) และถูกส่งจ่ายด้วยเครื่องสูบน้ำบริการสูง (High Service Pump) นำไปยังผู้ใช้ต่อไป

2.2.2 มาตรฐานน้ำประปา การประปานครหลวงเป็นรัฐวิสาหกิจ มีหน้าที่สำรวจ จัดหาแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปา และจัดส่งน้ำประปาในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และควบคุมมาตรฐานเกี่ยวข้องกับระบบประปาเอกชนในท้องที่ดังกล่าว การประปานครหลวงได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งแบ่งออกเป็น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สารพิษ และจุลชีววิทยา ดังตารางที่ 2.3



ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

| คุณภาพน้ำ | หน่วย (units) | คำแนะนำ WHO 2006 |
|--|-----------------|--------------------|
| สมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological Quality) | | |
| แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli) | พบ-ไม่พบ/100 ml | ไม่พบ/100 ml |
| สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Quality) | | |
| สี ปรากฏ (Appearance color) # | True color unit | 15 |
| ความขุ่น (Turbidity) # * | NTU | 5 |
| รส และ กลิ่น (Taste and odor) # | - | ไม่เป็นที่รังเกียจ |
| สารหนู (Arsenic) | mg/l | 0.01 |
| แคดเมียม (Cadmium) | mg/l | 0.003 |
| โครเมียม (Chromium) | mg/l | 0.05 |
| ไซยาไนด์ (Cyanide) | mg/l | 0.07 |
| ตะกั่ว (Lead) | mg/l | 0.01 |
| ปรอท (Inorganic Mercury) | mg/l | 0.006 |
| เทลลูเรียม (Selenium) | mg/l | 0.01 |
| ฟลูออไรด์ (Fluoride) | mg/l | 1.5 |
| คลอไรด์ (Chloride) # | mg/l | 250 |
| ทองแดง (Copper) # | mg/l | 2 |
| เหล็ก (Iron) # | mg/l | 0.3 |
| แมงกานีส (Manganese) # | mg/l | 0.4 |
| โซเดียม (Sodium) # | mg/l | 200 |
| ซัลเฟต (Sulfate) # | mg/l | 250 |
| สังกะสี (Zinc) # | mg/l | 3 |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) # | mg/l | 0.05 |
| ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved | mg/l | 1,000 |
| ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO ₃) | mg/l | 50 |
| ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (Nitrite as NO ₂) | mg/l | 3 |
| ไตรคลอโรเอทีน (Trichloroethene) | mg/l | 0.02 |
| เตตราคลอโรเอทีน (Tetrachloroethene) | mg/l | 0.04 |
| ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR) | mg/l | 0.001 |

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ต่อ)

| พารามิเตอร์ | หน่วย (units) | คำแนะนำ WHO 2006 |
|---|---------------|------------------|
| สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides) | | |
| อัลดรินและดีลดริน (Aldrin/Dieldrin) | µg/l ** | 0.03 |
| คลอเดน (Chlordane) | µg/l | 0.2 |
| ดีดีที (DDT) | µg/l | 1 |
| สอง,สี่-ดี (2,4-D) | µg/l | 30 |
| เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlor and Heptachlor epoxide) | µg/l | 0.03 |
| เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene) | µg/l | 1 |
| ลินเดน (Lindane) | µg/l | 2 |
| เมททอกซีคลอ (Methoxychlor) | µg/l | 20 |
| เพนตาคลอโรฟีโนล (Pentachlorophenol) | µg/l | 9 |
| ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) sum of the ratio | | 1 |
| คลอโรฟอร์ม (Chloroform , CHCl ₃) | mg/l | 0.3 |
| โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , | mg/l | 0.06 |
| ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , | mg/l | 0.1 |
| โบรโมฟอร์ม (Bromoform , CHBr ₃) | mg/l | 0.1 |
| กัมมันตภาพรังสี (Radioactive) | | |
| ความเข้มรังสีแอลฟา (Gross alpha activity) | Bq/l | 0.5 |
| ความเข้มรังสีเบต้า (Gross beta activity) | Bq/l | 1 |

หมายเหตุ # การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้

* ความขุ่น ไม่มีผลต่อสุขภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการนำเชื้อ

ที่มา: การประปานครหลวง

2.3 กระบวนการผลิตน้ำประปา

วัตถุประสงค์หลักของโรงผลิตน้ำประปา คือ ผลิตน้ำที่สะอาดผ่านมาตรฐานน้ำดื่มได้ในราคาที่เหมาะสมแก่ผู้ใช้น้ำ โรงผลิตน้ำประปาประกอบด้วยกระบวนการย่อยสลายส่วนเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ได้คุณภาพน้ำตามที่ต้องการสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ ปฏิบัติการหน่วย (Unit Operation) ซึ่งเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนด้วยวิธีทางชีวภาพ และกระบวนการหน่วย (Unit Process) ซึ่งเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ

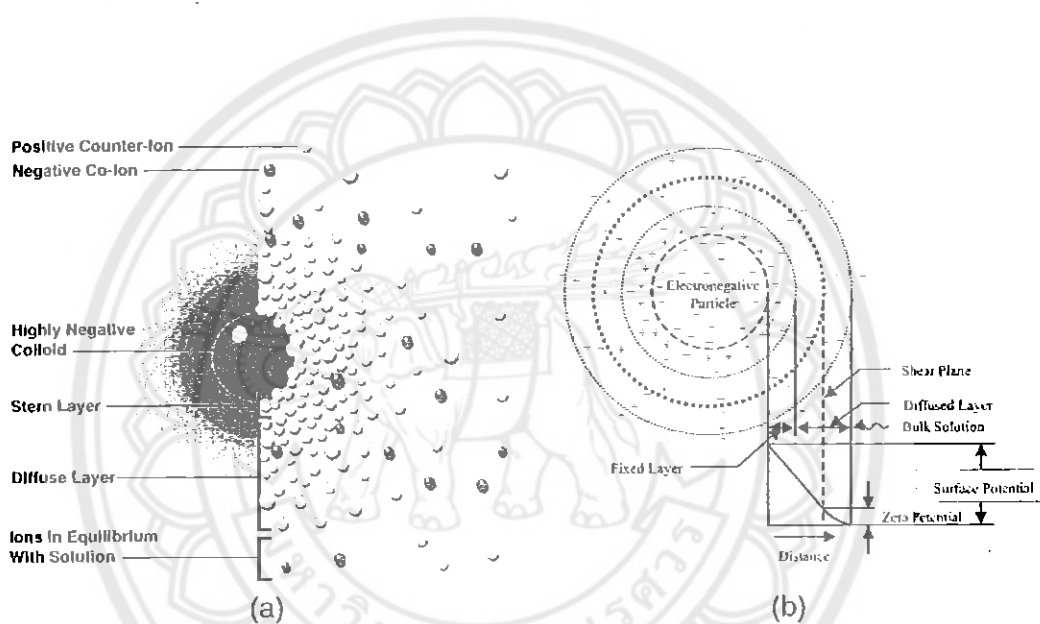
2.3.1 กระบวนการกวนเร็ว (Coagulation Process) ในระบบกวนเร็วนี้จะมีการเติมสารเคมีหลักในการผลิตน้ำประปาให้แก่ น้ำดิบประกอบด้วย สารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ และ โพลีเมอร์ เพื่อให้เกิดกระบวนการสร้าง (Coagulation) และรวมตัวของเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (Flocculation)

2.3.1.1 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ของแข็งแขวนลอยในน้ำประกอบด้วย ทราย อนุภาคดิน สารอินทรีย์ แบคทีเรีย ไวรัส และอื่นๆ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะตกตะกอนได้เร็วขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กไม่สามารถตกตะกอนได้ทันทีจึงเป็นคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพ

ก. ลักษณะของคอลลอยด์ (Colloids Characteristics) โดยทั่วไปคอลลอยด์จะมีขนาด 0.001-1 ไมครอน ได้แก่ (1) อนุภาคของสารอินทรีย์ เช่น โยหิน ดินเหนียว และซิลท์ (2) ตะกอนของสาร โคแอลลูแลนต์ และ (3) สารอินทรีย์ เช่น ฮิวมิก ไวรัส แบคทีเรีย และแพลงก์ตอน คอลลอยด์จะกระจายตัวในน้ำและบดบังการส่องผ่านของแสง วังมักวัดในรูปของค่าความขุ่น อาจแบ่งตามลักษณะการชอบน้ำ (Hydrophilic) หรือไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) พฤติกรรมของคอลลอยด์เป็นผลจากพื้นที่ผิวจำนวนมาก สัดส่วนพื้นที่ผิวต่อมวลที่มีค่ามากทำให้อิทธิพลเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีน้อย สิ่งที่ควบคุมพฤติกรรมของคอลลอยด์ ได้แก่ แรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Forces), Van der Waals และการเคลื่อนที่แบบ Brownian

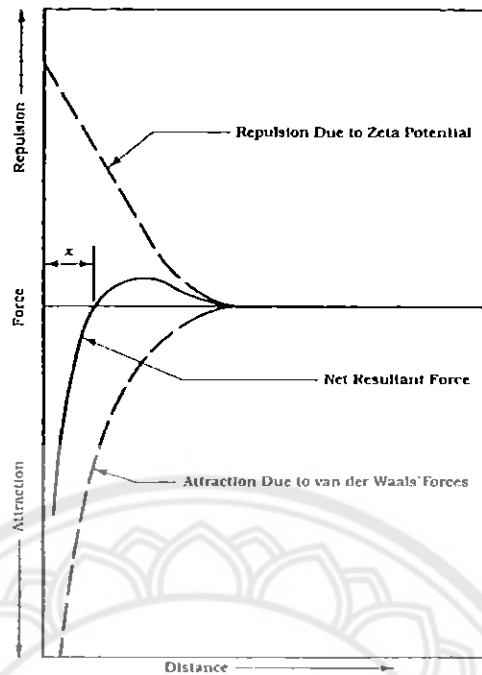
- Electrostatic Forces คือ แรงทางไฟฟ้าสถิตส่วนมากคอลลอยด์จะมีประจุขึ้นกับธรรมชาติของคอลลอยด์ โลหะออกไซด์มีประจุบวก ขณะที่สารไม่ใช่โลหะออกไซด์และโลหะซัลไฟด์จะมีประจุลบ ส่วนใหญ่คอลลอยด์ในน้ำทั่วไปจะมีประจุลบ คอลลอยด์ที่มีประจุเหมือนกันจะผลักกันทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพอยู่ พื้นที่ผิวที่มีประจุของคอลลอยด์จะดึงดูดอิออนที่มีประจุตรงข้าม ซึ่งเรียกว่า Counterions ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนและอิออนบวกอื่นๆ กลายเป็นชั้นของอนุภาคที่หนาแน่นติดอยู่กับอนุภาคคอลลอยด์ เรียกว่า Stern Layer หรือ Fixed Layer โมเลกุลของน้ำที่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์เป็นผลจากประจุทางไฟฟ้าของโมเลกุลน้ำที่ไม่สมมาตร ชั้นที่สองเรียกว่า Diffused Layer เป็นชั้นที่อยู่ถัดออกมา ประกอบด้วยอิออนบวกและอิออนลบ แต่จะมี Counterions เป็นหลัก ชั้นที่สองที่ติดกันเรียกรวมว่า Double Layer ดังรูปที่ 2.4 ใน Diffused Layer โมเลกุลของน้ำจะเกิดเป็น Shear Surface โดยมีโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายใน Shear

Surface จะติดอยู่กับคอลลอยด์ ส่วน โมเลกุลของน้ำนอก Shear Surface จะเป็นอิสระจากคอลลอยด์ ศักย์ทางไฟฟ้าที่บริเวณ Shear Surface นี้เรียกว่า Zeta Potential เป็นค่าที่แสดงถึงเสถียรภาพของ คอลลอยด์ หมายความว่า คอลลอยด์มี Zeta Potential สูงจะมีเสถียรภาพมากและมีความหนาแน่นของ Diffused Layer มากกว่าคอลลอยด์ที่มีศักย์ทางไฟฟ้าต่ำกว่า ซึ่งอาจจำเป็นต้องเติม Counterions จำนวนที่มากกว่าจึงจะสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์นี้ได้ โดยมาตรการวัด Zeta Potential มักใช้ในงานควบคุมและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพน้ำหรือใช้ประเมินประสิทธิภาพของ กระบวนการความเร็ว



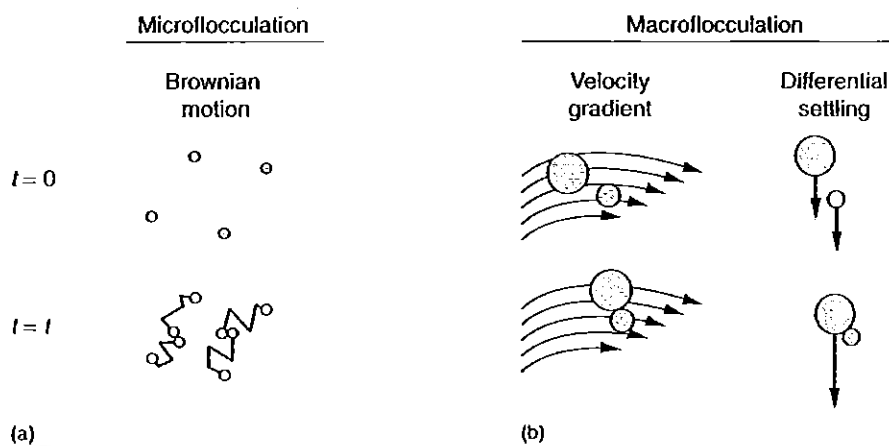
รูปที่ 2.4 โมเดลของอนุภาคคอลลอยด์และ Double Layer (Qasim et al., 2000)

- Van der Waals Forces เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล ขนาดของแรงดึงดูดขึ้นกับมวลของวัตถุทั้งสองและระยะห่างระหว่างมวล แรง van der Waals เป็นแรงตรงกันข้ามกับแรงไฟฟ้าสถิต ดังรูปที่ 2.5 แรงผลักรันเนื่องจากแรงทางไฟฟ้าเป็นแรงที่เกิดขึ้นก่อน ก่อนที่อนุภาคจะเคลื่อนตัวเข้ามาใกล้กันมากพอที่แรง van der Waals จะมีผลอย่างมีนัยสำคัญ หากสามารถลดแรงผลักรันเนื่องจากแรงทางไฟฟ้าสถิตได้ อนุภาคจะเคลื่อนเข้าใกล้กันเนื่องจากแรง van der Waals เป็นหลัก



รูปที่ 2.5 แรงที่กระทำระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Qasim et al., 2000)

• **Brownian Motion** เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้คอลลอยด์เกิดการเสถียรภาพ การเคลื่อนที่ของคอลลอยด์ในน้ำเป็นผลจากการชนกันของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ส่วน โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ในลักษณะคงที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ การเคลื่อนที่ดังกล่าวเป็นสาเหตุให้เกิดการชนกันของคอลลอยด์ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่ม เรียกว่า Brownian Motion การเคลื่อนที่แบบ Brownian Motion สามารถทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากพอที่จะทำให้แรง van der Waals มีอิทธิพลเหนือกว่าแรงทางไฟฟ้าสถิต อนุภาคก็จะสามารถรวมกันเป็นกลุ่มได้ เรียกว่า Microflocculation หรือ Perikinetic Flocculation สำหรับอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.001-1 ไมครอน ส่วน Microflocculation หรือ Orthokinetic Flocculation เป็นการรวมตัวเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ เป็นผลมาจากการปั่นป่วนของของเหลวหรือการตกตะกอนแบบโคตของแต่ละอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1-2 ไมโครเมตร



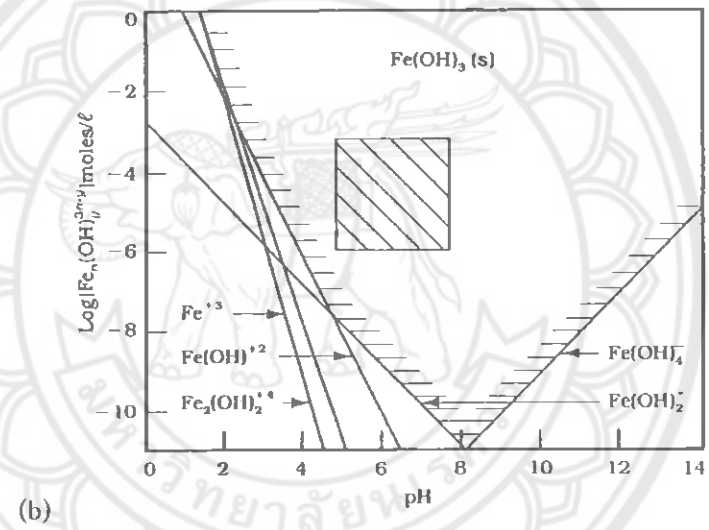
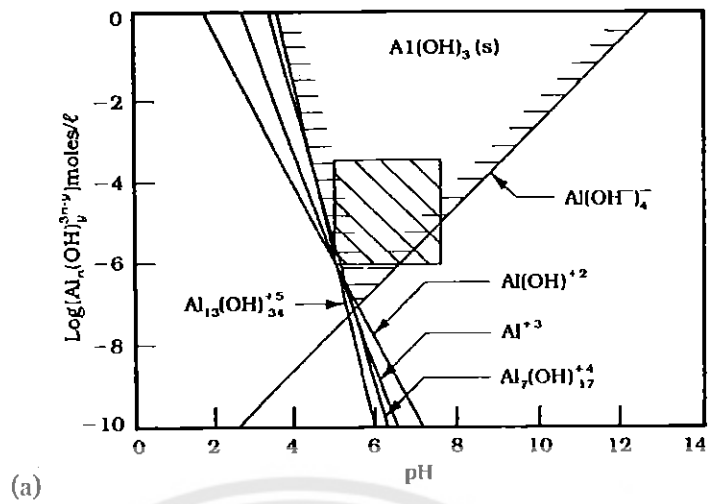
รูปที่ 2.6 ลักษณะการเกิดฟล็อก (a) Microfloculation (b) Macrofloculation

(Metcalf and Eddy, 2003)

ข. โคนอกเกลชันของคอลลอยด์ (Coagulation of Colloidal Suspension) เป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ สาร Coagulant จะถูกเติมเข้าไปในน้ำเพื่อทำลายแรงที่ทำให้เกิดเสถียรภาพ ซึ่งมักใช้เกลือของโลหะ เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต (Alum), เฟอริกซัลเฟต, เฟอริกคลอไรด์ และเฟอรัสซัลเฟต อย่างไรก็ตาม สารโพลิเมอร์ (สารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเป็นโซ่ยาว) ก็สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพหรือใช้แทนเกลือของโลหะดังกล่าวได้ด้วย

เนื่องจากการเติมสาร Coagulant ลงในน้ำเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายด้วยกลไกต่างๆ ดังนี้ (1) การลดลงของ Zeta Potential ให้อยู่ในระดับที่อนุภาคจะเกิดการดึงดูดกันจากอิทธิพลของแรง van der Waals (2) การกวนส่งผลให้เกิดการยึดติดกันระหว่าง Reactive Group ของอนุภาคคอลลอยด์ และ (3) เกิดการกักของอนุภาคในฟล็อก รูปที่ 2.5 แรงผลักรังเกิดจากแรงท่งไฟฟ้าของ Zeta Potential ส่วนแรงดูดกันเป็นผลจากแรง van der Waals ระหว่างอนุภาค หากอนุภาคที่อยู่ห่างกันน้อยกว่าระยะ X ผลรวมของแรงจะเป็นแรงที่ดูดติดกัน

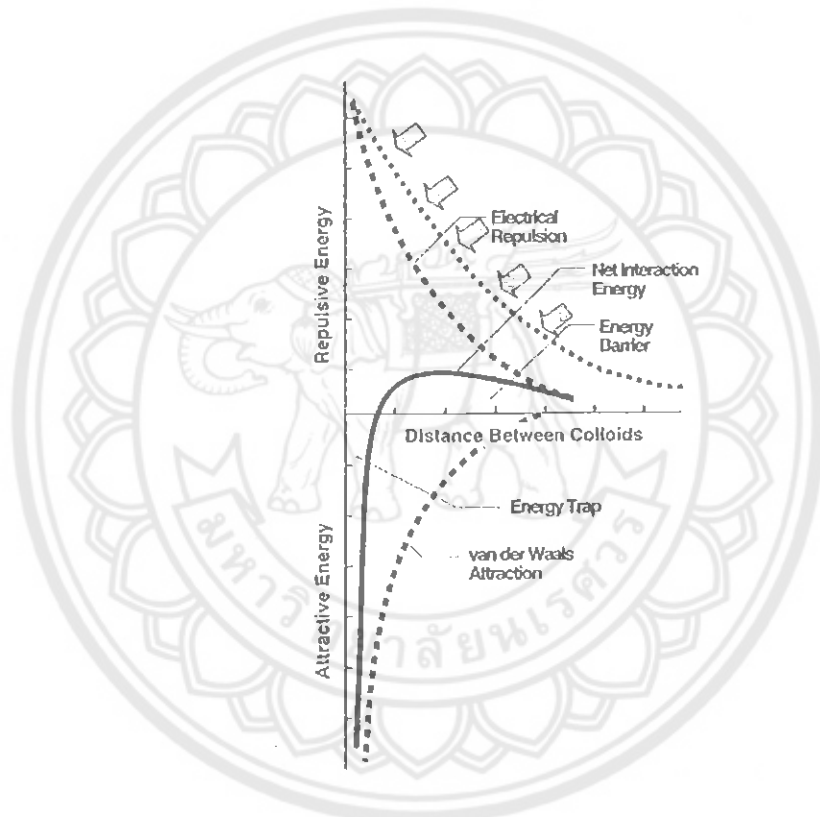
เมื่อเติมเกลือของโลหะลงในน้ำที่มีความเป็นด่างที่เพียงพอ จะเกิดการแตกตัวอยู่ในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์เชิงซ้อนในรูปของ $M_c(OH)_p$ (เมื่อ M คือ อีออนของโลหะ) รูปที่แท้จริงของโลหะไฮดรอกไซด์ขึ้นกับสมบัติทางเคมีของน้ำ โดยเฉพาะพีเอชและปริมาณ Coagulant ที่เติมลงไป รูปที่ 2.7 Equilibrium Diagram ของเหล็กและอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ และพื้นที่ส่วนที่แรงเงา คือ พื้นที่ที่เป็นอัตราการผลิตสารเคมีและพีเอชของการกวนเร็วโดยทั่วไปเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำประปา



รูปที่ 2.7 สมดุลการละลายน้ำของ (a) อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ และ (b) เฟอริก ไฮดรอกไซด์
(คัดแปลงจาก Reynolds and Richards, 1996)

2.3.1.2 การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (Destabilization of Colloid)

ก. Compression of Double Layer เกิดจากอิออนบวกของสารโคแอลลิวแลนต์ ที่เติมลงไปเมื่อปริมาณ Counterions ในสารละลายเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประจุสุทธิใน Diffused Layer เข้าสู่การเป็นกลางทำให้ความหนาของ Diffused Layer ลดลง ทำให้คอลลอยด์มีโอกาสเข้าใกล้กัน ดังรูปที่ 2.8 Schulze-Hardy กล่าวว่าอำนาจของอิออนในการทำลายเสถียรภาพขึ้นอยู่กับวาเลนซ์ (Valence State) ของอิออนบวก พบว่า วาเลนซ์สอง (Divalent Ions) และวาเลนซ์สาม (Trivalent Ions) มีประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สูงกว่าวาเลนซ์หนึ่ง (Monovalent Ions) 50-70 เท่า และ 600-700 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 แรงที่กระทำระหว่างคอลลอยด์จากการบีบอัดของ Double Layer

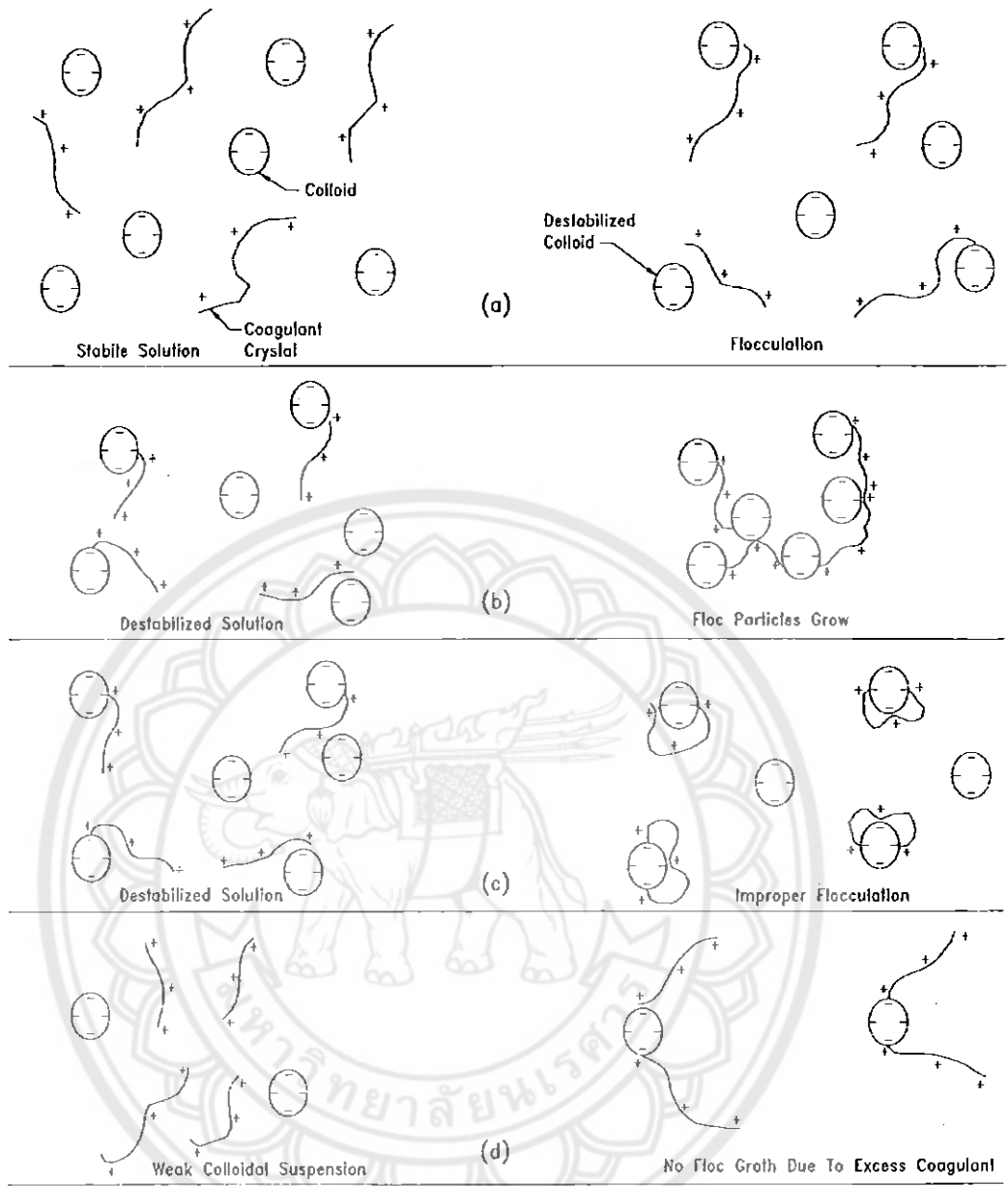
(ดัดแปลงจาก Qasim et al. (2000))

ข. Counterions Adsorption and Charge Neutralization อิออนบวกที่เติมลงในสารละลายสามารถถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งในกรณีนี้แรงผลักดันเนื่องจากประจุบนผิวอนุภาคจะถูกทำให้เป็นกลางด้วย Counterions อย่างไรก็ตามหากเติม Counterions มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการกลับมาเสถียรภาพใหม่ของคอลลอยด์เนื่องจากการกลับขั้วของประจุจากการดูดซับประจุบวกมากเกินไป

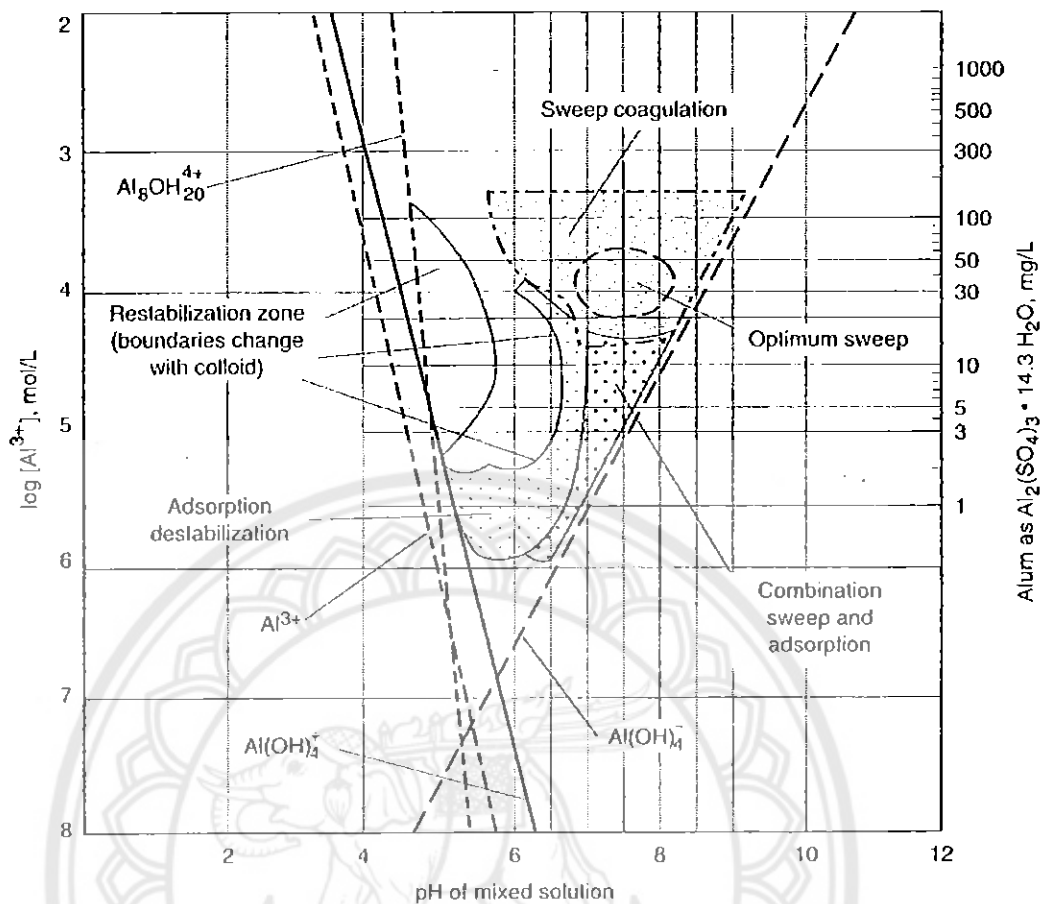
ก. Interparticle Bridging หากมีการใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์เป็น Coagulant Aid หรือ Flocculant Aid การเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคเริ่มจากการดูดซับของโพลิเมอร์บนพื้นผิวเฉพาะของคอลลอยด์ หรืออนุภาคของสาร Coagulant สาร โพลิเมอร์ที่เติมลงไป ในปริมาณที่เหมาะสมจะ ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานเชื่อมทำให้คอลลอยด์ถูกทำลายเสถียรภาพ ดังรูปที่ 2.9(a) เมื่อสายของ โพลิเมอร์ดูดติดอนุภาคคอลลอยด์มากกว่าหนึ่งอนุภาคจะทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 2.9(b) ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการกวนเร็วและกวนช้าแบบทั่วไป หากทำการกวนช้าที่ไม่เหมาะสม ก็จะส่งผลให้ไม่เกิดการพัฒนาก้อนฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 2.9(c) และหากเติมสาร โพลิเมอร์มากเกินไปเมื่อเทียบกับคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำจะทำให้ไม่เกิดเป็นฟล็อกเนื่องจากคอลลอยด์จะ จับกับสาร โพลิเมอร์มากเกินไป ดังรูปที่ 2.9(d)

ง. Enmeshment in a Precipitate การเติมเกลือของโลหะหนักในกระบวนการ กวนเร็วมักจะเติมให้เกินความต้องการในการลดค่า Zeta Potential เล็กน้อย การแตกตัวของเกลือ โลหะหนักส่วนเกินในรูปของ $M_2(OH)_2$ ซึ่งเป็นรูปที่ละลายน้ำได้น้อย ในระหว่างที่เกิดการ ตกตะกอนและเกิดการสะสมทำให้อนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กถูกกักไว้ภายในโครงสร้างโลหะไฮดรอกไซด์ดังกล่าว ปรากฏการณ์ดังกล่าวมักเรียกว่า Sweep-Floc Coagulation

จ. Heterocoagulation เป็นกลไกที่เป็นผลมาจากประจุบนผิวของอนุภาคตามธรรมชาติอาจมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ ประจุตรงข้ามอาจปรากฏอยู่บนผิวของอนุภาคเดียวกัน การ พัฒนาเป็นฟล็อกของอนุภาคอาจเกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างประจุที่ต่างกันบนอนุภาค คอลลอยด์อื่นๆและอาจเป็นกลไกที่มีบทบาทที่สำคัญร่วมกับ Sweep-Floc Coagulation



รูปที่ 2.9 Destabilization และ Restabilization ของกอลลอยด์ด้วยโพลิเมอร์ (a) การดูดซับที่จุด Optimum Dose (b) การเกิดฟล็อก (c) การดูดซับรอง (d) การดูดซับกับโพลิเมอร์ที่มากเกินไป (Qasim et al., 2000)



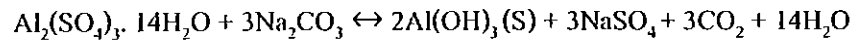
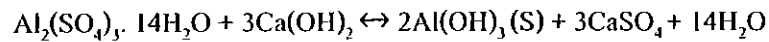
รูปที่ 2.10 ช่วงค่าการเติมสารส้มโดยทั่วไปของกระบวนการกวนเร็ว (Metcalf and Eddy, 2003)

2.3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการกวนเร็ว (Chemicals Used in Coagulation)

ก. สาร โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) สารส้มหรืออลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุด รองลงมา คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) หรือเฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) เมื่อเติมสารเคมีดังกล่าวลงในน้ำ สารเคมีดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำ เกิดการแตกตัวของโลหะไอออนบวกและทำปฏิกิริยากับ OH^- ในน้ำเกิดเป็นคอลลอยด์ของโลหะไฮดรอกไซด์ซึ่งมีประจุบวก สารประกอบนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคความขุ่นซึ่งมีประจุลบทำให้ความขุ่นเป็นกลาง ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของความขุ่นนั่นเอง

กรณีที่น้ำตามธรรมชาติมีปริมาณความเป็นด่างไม่เพียงพอ อาจทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะต่อการพัฒนาของฟล็อก หากพีเอชของน้ำที่ผ่านการกวนเร็วแล้วไม่อยู่ในช่วงที่ทำให้โลหะไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำน้อยที่สุด จำเป็นต้องเพิ่มพีเอชหรือความเป็นด่างให้แก่ น้ำ เพื่อให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแก่การเกิดฟล็อก สารเคมีที่ใช้เพิ่มความเป็นด่าง ได้แก่ ปูนขาวผง ปูนสุก หรือโซดาแอส การเติมสาร โคแอกกูแลนต์ร่วมกับปูนขาว แสดง ได้ดี

● Aluminium Sulfate

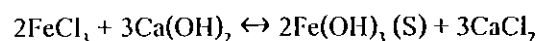
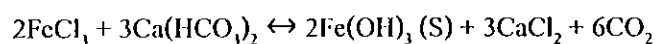


จากสมการพบว่า 1 มก. ของสารส้ม (Alum) จะก่อให้เกิดผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 0.26 มก. และต้องการความเป็นด่างเท่ากับ 0.51 มก/ล. ของ CaCO_3 หรือต้องการปูนขาวเท่ากับ 0.28 มก/ล. ของ CaO ขณะที่การใช้โซดาแอชแทนปูนขาวก็จะมีข้อดีที่ไม่ก่อให้เกิดความกระด้างถาวรในรูปของแคลเซียมซัลเฟต เนื่องจากโซเดียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นไม่ใช่ว่าความกระด้าง

ตารางที่ 2.4 สมบัติของสารส้มอุตสาหกรรม ตาม มอก. 165-2542

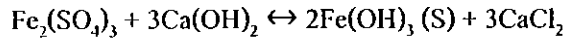
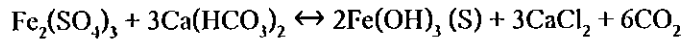
| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด |
|-----------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 | สารที่ไม่ละลายน้ำ | $\leq 0.15 \%$ |
| 2 | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | ≥ 2.8 |
| 3 | อะลูมินา (As_2SO_4) | $\leq 8.0 \%$ |
| 4 | เกลือแอมโมเนียม | $\leq 0.01 \%$ |
| 5 | เหล็ก (Fe) | $\leq 0.05 \%$ |
| 6 | ตะกั่ว (Pb) | ≤ 20 มก./กก. |
| 7 | สารหนู (As_2O_3) | ≤ 2.5 มก./กก. |
| 8 | แมงกานีส (Mn) | ≤ 25 มก./กก. |

● Ferric Chloride



จากสมการพบว่า 1 มก. ของเฟอร์ริกคลอไรด์ จะก่อให้เกิดผลึกของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 0.66 มก. และต้องการความเป็นด่างเท่ากับ 0.92 มก/ล. ของ CaCO_3 หรือต้องการปูนขาวเท่ากับ 0.52 มก/ล. ของ CaO

• Ferric Sulfate



จากสมการพบว่า 1 มก. ของเฟอร์ริกซัลเฟต จะก่อให้เกิดผลึกของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 0.54 มก. และ ต้องการความเป็นด่างเท่ากับ 0.75 มก/ล. ของ CaCO_3 หรือต้องการปูนขาวเท่ากับ 0.42 มก/ล. ของ CaO

เฟอร์ริกซัลเฟต เป็นของแข็งสีน้ำตาลแดง มีสูตรโครงสร้างเป็น $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ละลายน้ำได้ มีองค์ประกอบเป็น Fe ร้อยละ 17.9-18.7

สารส้ม มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว มีสูตรโครงสร้างเป็น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ละลายน้ำได้ดี มีองค์ประกอบเป็น Al_2O_3 ร้อยละ 8-16 มีราคาประมาณ 10 บาท/กก.เมื่อปี 2551 ขณะที่สารส้มอุตสาหกรรม ชั้นคุณภาพที่ 1 ตาม มอก. 165-2542 มีคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีไว้ 8 ประการ ดังตารางที่ 2.4

ข. สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant Aids or Flocculant Aids) ฟล็อกที่เกิดจากการควนเร็ว อาจมีน้ำหนักเบาทำให้ตกตะกอนจมลงได้ยาก สารฟล็อกกูแลนต์เอ็ดสามารถช่วยให้การเกิดฟล็อกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดเป็นฟล็อกเร็วขึ้น มีความหนาแน่นสูงขึ้น และเพื่อให้เหมาะสมต่อการตกตะกอนได้ง่ายขึ้น ได้แก่ สารโพลีอิเล็กโตรไลต์ หรืออนุภาคความขุ่นเพิ่มเติม (Turbidity Addition) เป็นต้น ซึ่งจัดเป็นสารที่ใช้เพียงลำพังไม่ได้แต่ต้องใช้ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์

สารเคมีประเภท โพลีอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยโคแอกกูแลนต์เอ็ดทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค หรือฟล็อก ให้เกิดเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้ง่าย สารโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูแลชัน อยู่ 3 ประเภท ได้แก่

- ข.1 โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer)
- ข.2 โพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer)
- ข.3 โพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ (Non Ionic Polymer)

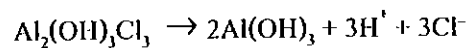
15511860

MS

17284

2552

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ((Poly Aluminium Chloride) หรือ PAC หรือ PACI เป็นเกลืออะลูมิเนียมที่มีสูตรเคมี มีโครงสร้างทางเคมีเป็น $Al_2(OH)_3Cl$, ลักษณะทั่วไปอาจอยู่ในรูปของผงละเอียดสีเหลือง โดยทั่วไปมีคุณลักษณะความจำเพาะประมาณ 1.1-1.4 มีองค์ประกอบโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 5-25 ซึ่งอยู่ระหว่างการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมีราคาประมาณ 22 บาท/กก. เมื่อปี 2551 สมการด้านล่างเป็นตัวอย่างสมการการละลายของ PAC ในน้ำ



ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของ PAC ตามมาตรฐาน JIS K 1475 :1996

| | | |
|-------------------------------|--------|---|
| Appearance | | Colorless to clear light yellowish brown liquid |
| Specific gravity [20 °C] | | 1.19 min. |
| Aluminium oxide [Al_2O_3] | wt % | 10.0 to 11.0 |
| Basicity | wt % | 45 to 65 |
| pH value [10 g/l solution] | | 3.5 to 5.0 |
| Sulfate ion [SO_4^{2-}] | wt % | 35 max. |
| Ammoniacal nitrogen [N] | wt ppm | 100 max. |
| Arsenic [As] | wt ppm | 1.0 max. |
| Iron [Fe] | wt ppm | 100 max. |
| Manganese [Mn] | wt ppm | 15 max. |
| Cadmium [Cd] | wt ppm | 1.0 max. |
| Lead [Pb] | wt ppm | 5 max. |
| Mercury [Hg] | wt ppm | 0.1 max. |
| Chromium [Cr] | wt ppm | 5 max. |

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบสมบัติของสารส้มและ PAC

| คุณลักษณะ | สารส้ม | PAC |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|
| ลักษณะทั่วไป | ก้อนสีขาว/สารละลาย | ผงสีเหลือง/สารละลาย |
| สูตรโครงสร้าง | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ | $Al_2(OH)_3Cl_3$ |
| ค่า Al_2O_3 | ~8-16% / 5-8% | ~29-31% / 10-11% |
| ค่าซัลเฟต | สูง | น้อยมาก |
| pH ที่ใช้งาน | 6.5-8.0 | 5.0-10.0 |
| การละลายน้ำ | ละลายช้า | ละลายน้ำได้ดี |
| ความเร็วในการจับตะกอน | เร็ว | เร็ว |
| ลักษณะของตะกอนที่ได้ | ขนาดใหญ่และหลวมกว่า | ขนาดเล็กและแน่น |
| การตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง | ตกตะกอนยาก | ตกตะกอนได้ดี |
| ค่า pH ของน้ำหลังตกตะกอน | เปลี่ยนตามปริมาณสารที่เติม | เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย |
| ความต้องการสารช่วยตกตะกอน | มากกว่า | น้อยกว่า |
| ความคงตัวในรูปสารละลาย | เกิดตะกอนเล็กน้อย | เกิดตะกอนเล็กน้อย |
| ราคาโดยประมาณ (ปี 2551) | 10 บาท/กก. | 22 บาท/กก. |

ที่มา : กองควบคุมคุณภาพน้ำ (n.d.)

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคมีที่ใช้ในระบบน้ำประปา

| Properties of Water Treating Chemicals | | | | | |
|--|------------------|------------------|--|-------------------|---|
| Chemical | Molecular Weight | Apparent Density | Approx. Max. solubility in Water at 75 °F. by Weight | pH of 1% Solution | Typical Analysis Or Composition of Commercial Product |
| Aluminum Sulfate | 594 | 38-71 | 50% | 3.4 | 17% Al_2O_3 , $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ |
| Sodium Aluminate | | 50-66 | 45% | 11.5 | 45% Al_2O_3 |
| Soda Ash | 106 | 30-60 | 22% | 11.0 | 58% Na_2O or 99% Na_2CO_3 |
| Calcium Carbonate (200 mesh) | | 45-70 | Not Soluble | | 17% $CaCO_3$ or $CaCO_2 + MgCO_2$ |
| Activated Carbon | | 10-25 | Not Soluble | | Carbon plus variable % of Ash |
| Hydrated Lime | 74 | 30-50 | 0.15% | 12.2 | 90% Available Hydrate |
| Pulverized Quicklime | 56 | 50-70 | 0.1% | 12.2 | 90% Available CaO |
| Diatomite | | 8-10 | Not Soluble | | Essentially SiO_2 |
| Copper Sulfate | 250 | 87 | 18% | 4.5 | $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ |
| Disodium Phosphate | 142 | 50-82 | 11% | 8.9 | Na_2HPO_4 , 49% P_2O_5 |
| Disodium Phosphate | 178 | 73 | 13% | 8.9 | $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$, 40% P_2O_5 |
| Trisodium Phosphate | 164 | 58-66 | 12% | 11.4 | Na_2PO_4 , 42% P_2O_5 |
| Trisodium Phosphate | 182 | 45 | 13% | 11.4 | $Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$, 19% P_2O_5 |
| Trisodium Phosphate | 380 | 55-60 | 27% | 11.4 | $Na_2P_2O_7$, 58% P_2O_5 |
| Sodium Tripolyphosphate | 368 | 49-70 | 14% | 9.7 | $Na_3P_3O_{10}$, 53% P_2O_5 |

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคมีที่ใช้ในระบบน้ำประปา (ต่อ)

| | | | | | |
|---------------------------|------|-------|-------------|------|---|
| Tetrasodium Pyrophosphate | 266 | 45-65 | 5% | 10.2 | $\text{Na}_4\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 40% P_2O_5 |
| Hemisodium Phosphate | 218 | 50 | 80% | 2.2 | $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$, 64% P_2O_5 |
| Monosodium Phosphate | 120 | 50-60 | 48% | 4.5 | NaH_2PO_4 , 59% P_2O_5 |
| Monosodium Phosphate | 138 | 62 | 48% | 4.5 | $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 53% P_2O_5 |
| Sodium Bicarbonate | 84 | 71 | 9% | 8.1 | NaHCO_3 |
| Clay | | 65 | Not Soluble | | Aluminum Silicates |
| Magnesium Oxide | 40 | 5-60 | Not Soluble | | 97% MgO |
| Ferric Sulfate | 400 | 70-80 | > 30% | 2.0 | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| Ferrous Sulfate | 278 | 65-70 | 23% | 3.8 | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |
| Sodium Fluoride | 42 | 50-86 | 4% | 9.5 | NaF |
| Sodium Silicofluoride | 188 | 70-95 | 0.7% | | Na_2SiF_6 |
| Ammonium Sulfate | 132 | 47 | 40 | 5.6 | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ |
| Ammonium Chloride | 53.5 | 50 | 28% | 5.4 | NH_4Cl |

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (n.d.)

2.3.1.4 การเติมสารเคมี (Chemical Feed) เครื่องเติมสารเคมีมี 2 แบบ ได้แก่ แบบแห้ง และแบบละลาย จำเป็นที่ต้องเลือกให้สอดคล้องกับรูปแบบสารเคมีที่ใช้ การออกแบบจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการเติมสารเคมีที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่ายในกรณีที่ต้องเปลี่ยนชนิดหรือรูปแบบสารเคมีที่ใช้ในระบบ เครื่องป้อนแบบแห้ง (Dry Feeders) เป็นที่นิยมมากกว่า

ก. เครื่องป้อนแบบแห้ง (Dry Feeder) เป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากอาศัยเครื่องมือและแรงงานน้อยกว่า การวัดปริมาณสารเคมีอาจทำได้โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method) หรือการวัดปริมาตร (Volumetric Method) สารเคมีจะถูกผสมในถัง (Slurry Tank) แยกต่างหากก่อนแล้วจึงจะถูกสูบเข้าสู่ถังกวนเร็ว อุปกรณ์ประกอบด้วย Hopper, อุปกรณ์ตวงวัด (Proportional Mechanism), ถังเตรียมสารละลายและระบบท่อสูบจ่ายสู่ถังกวนเร็ว

ข. เครื่องป้อนแบบสารละลาย (Solution Feeder) เป็นเครื่องป้อนในรูปแบบของเหลวโดยตรงจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นที่ต้องเตรียมเก็บไว้ในถังหลังจากนั้นจึงทำการสูบจ่ายด้วยเครื่องสูบจากสารเคมีโดยมากมักเป็น Meter Pump เข้าสู่ถังกวนเร็ว

2.3.1.5 การควบคุมการกวนเร็ว (Coagulation Control) เนื่องจากสมบัติของน้ำดิบเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ของกระบวนการกวนเร็ว จึงจำเป็นต้องมีวิธีการกวนเร็ว เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ สามารถทำการทดสอบได้ 2 แบบ ได้แก่ การควบคุมด้วยจาร์เทส (Jar Test) และการควบคุมด้วย Zeta Meter

การควบคุมด้วยจาร์เทส (Jar Test) เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งส่วนใหญ่ทำเพื่อหาชนิดและปริมาณ Coagulant และ/หรือ Coagulant Aids ที่เหมาะสมหากจำเป็นต้องใช้ผลิตน้ำประปา โดยใส่น้ำดิบเพื่อทดสอบลงในภาชนะหรือบีกเกอร์ขนาดเท่าๆกัน ทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีที่จะเติมลงในบีกเกอร์ต่างๆ หลังจากนั้นทำการกวนน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อจำลองกระบวนการกวนเร็ว แล้วจึงกวนช้าๆ ภายในระยะเวลาที่กำหนด ทำการบันทึกเวลาที่เริ่มเกิดฟล็อก ขนาดของฟล็อกรวมทั้งลักษณะของการตกตะกอน และเก็บน้ำใสไปวิเคราะห์หาค่าความขุ่น สี และพีเอช

การควบคุมด้วย Zeta Meter การเติมสารสารเคมีทำให้ค่า Zeta Potential ของคอลลอยด์เกิดการเปลี่ยนแปลง คอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะมีค่า Zeta Potential เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นการวัด Zeta Potential จึงอาจนำมาใช้ติดตามและควบคุมกระบวนการกวนเร็วได้ อุปกรณ์วัดค่าดังกล่าว เรียกว่า Zeta Meter เป็นอุปกรณ์ที่วัดอัตราเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ในสนามไฟฟ้า แล้วแสดงตัวเลขออกมาเป็นค่า Zeta Potential สาร โคแอกกูแลนต์จะถูกเติมลงไปในระดับที่ต้องการ แต่มักไม่ได้รับความนิยมมากนักเนื่องจากมีราคาแพงและจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญมาก

ตารางที่ 2.8 สารโคแอดกูเมนต์ที่ใช้ทั่วไปในการผลิตน้ำประปา (Qasim *et al.*, 2000)

| Commercial-Grade Qualities | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|---|------------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|--|------------------------|---------------------|----------------|
| Chemical Name | Synonyms | Chemical Formula | Molecular Weight | Appearance | Bulk Density, kg/m ³ | Specific Gravity | Solubility in Water, kg/m ³ | Chemical Content % w/w | Water Content % w/w | pH of Solution |
| Aluminum sulfate | Alum | Al ₂ (SO ₄) ₃ •14.3H ₂ O | 599.77 | White to light-tan solid | 1000-1096 | 1.25-1.36 | Approx. 872 | Al: 9.0-9.3 | - | approx. 3.5 |
| | liquid alum | Al ₂ (SO ₄) ₃ •49.6H ₂ O | 1235.71 | White or light-gray to yellow liquid | - | 1.30-1.34 | Very soluble | Al: 4.0-4.5 | 71.2-74.5 | - |
| Ferric chloride | Iron (III) chloride, Iron trichloride | FeCl ₃ | 162.21 | Green-black powder | 721-962 | - | Approx. 719 | Fe: approx. 34 | - | - |
| | Liquid ferric chloride | FeCl ₃ •6H ₂ O | 270.30 | Yellow-brown lump | 962-1026 | - | Approx. 814 | Fe: 20.3-21.0 | - | - |
| | | FeCl ₃ •13.1H ₂ O | 398.21 | Reddish-brown syrupy liquid | - | 1.20-1.48 | Very soluble | Fe: 12.7-14.5 | 56.5-62.0 | 0.1-1.5 |
| Ferric sulfate | Iron (III) sulfate, Iron persulfate | Fe ₂ (SO ₄) ₃ •9H ₂ O | 562.02 | Red-brown powder | 1122-1154 | - | - | Fe: 17.9-18.7 | - | - |
| | Liquid ferric sulfate | Fe ₂ (SO ₄) ₃ •36.9H ₂ O | 1064.64 | Reddish-brown syrupy liquid | - | 1.40-1.57 | Very soluble | Fe: 10.1-12.0 | 56.5-64.0 | 0.1-1.5 |
| Ferrous sulfate | Copperas | FeSO ₄ •7H ₂ O | 278.02 | Green crystalline lump | 1010-1058 | - | - | Fe: approx. 20 | - | - |
| Calcium oxide | Lime, Quick lime | CaO | 74.09 | Off-white powder or lump | 561-801 | - | Approx. 1.3 | CaO: approx. 95 | - | 12.6 |
| Calcium hydroxide | Hydrated lime | Ca(OH) ₂ | 56.08 | Off-white (faintly) powder | - | - | Approx. 1.8 | CaO: approx. 71 | approx. 24 | 12.6 |

Note: kg/m³ ≈ 0.00835 = lb/gal

2.3.2 กระบวนการกวนช้า เป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้คอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจากขั้นตอนการกวนเร็ว เกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหนักมากขึ้น และพร้อมที่จะตกตะกอนลงสู่ด้านล่างซึ่งจะต้องไปตกตะกอนในถังตกตะกอน การพัฒนาของฟล็อกจำเป็นต้องอาศัยการกวนช้าๆ เพื่อสร้างโอกาสให้คอลลอยด์ได้เข้ามาใกล้กันมากพอที่จะเกิดแรง van der Waals หรือจากกลไกอื่นร่วมด้วย โดยทั่วไปการกวนช้ามักต้องการความเร็วเรเดียนรัประมาณ 20-70 วินาที¹ ใช้ระยะกักน้ำประมาณ 10-30 นาที

2.3.3 การตกตะกอน (Sedimentation) การตกตะกอนเป็นปฏิบัติการหน่วยหรือกระบวนการทางกายภาพที่อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ เป็นกระบวนการที่มักใช้เพื่อตกตะกอนของแข็งหลังจากที่ผ่านกระบวนการกวนเร็วและกวนช้ามาแล้ว นอกจากนั้นยังถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ ในงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เช่น เพื่อนำน้ำทิ้งจากการล้างถังกรองกลับมาใช้ใหม่ หรือเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของของแข็งในสลัดจ์ ในกระบวนการบำบัดสลัดจ์ที่เกิดจากถังตกตะกอน เป็นต้น

2.3.3.1 ทฤษฎีการตกตะกอน (Sedimentation Theory) การออกแบบถังตกตะกอนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้น ขนาด พฤติกรรมของของแข็งในน้ำ โดยทั่วไปสามารถแบ่งรูปแบบการตกตะกอน ได้แก่

- Discrete Settling พฤติกรรมการตกตะกอน (Settling Behavior) การตกตะกอนแบบนี้ อนุภาคจะเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งด้วยความเร็วคงที่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงฉุด (Drag Force) อนุภาคจะเริ่มตกตะกอนด้วยความเร่งจนกระทั่งถึงจุดที่มีความเร็วคงที่ ซึ่งที่จุดนี้แรงฉุดและแรงโน้มถ่วงจะมีค่าเท่ากัน ค่า Terminal Velocity คำนวณได้จากสมการซึ่งรู้จักกันดี คือ สมการของ Newton's Law

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{dg(\rho_s - \rho)}{C_D \rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{dg}{C_D} (S_g - 1)}$$

เมื่อ

| | | |
|----------|---|--|
| V_s | = | ความเร็วการตกตะกอน (ม./วินาที) |
| d | = | เส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาค (ม.) |
| g | = | ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ม./วินาที ²) |
| C_D | = | สัมประสิทธิ์การฉุดลาก |
| S_g | = | ความถ่วงจำเพาะของอนุภาค |
| ρ_s | = | ความหนาแน่นของอนุภาค (กก./ลบ.ม.) |

ρ = ความหนาแน่นของอนุภาค (กก./ลบ.ม.)

สมการนี้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับอนุภาคทรงรีที่ตกในของไหล หากอนุภาคไม่เป็นทรงรี ค่า C_D จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วดังกล่าวมีค่าลดลง สมการที่ใช้ปรับแก้ค่า C_D ของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับลักษณะของรูปทรง และ Reynolds Number ดังสมการ

$$C_D = \frac{24 \phi}{N_R}$$

เมื่อ

ϕ = Shape Factor (Coal = 2.0, Sand = 2.25)

N_R = Reynolds Number

$$N = \frac{V_s}{\nu} \quad d = \frac{V_s}{\mu} \rho d$$

เมื่อ

ν = Kinematic viscosity (m^2/s)

μ = Reynolds Number ($N \cdot s/m^2$)

หากเป็นการไหลราบเรียบ ($N_R < 1$) และในสภาวะการไหลช่วงแปรผัน ($N_R 1 - 10^4$) สามารถนำค่า C_D ได้จากสมการด้านล่าง ซึ่งค่า C_D มีค่าประมาณ 0.4 สำหรับอนุภาคทรงรีที่อยู่ในสภาวะปั่นป่วน ($N_R > 10^4$)

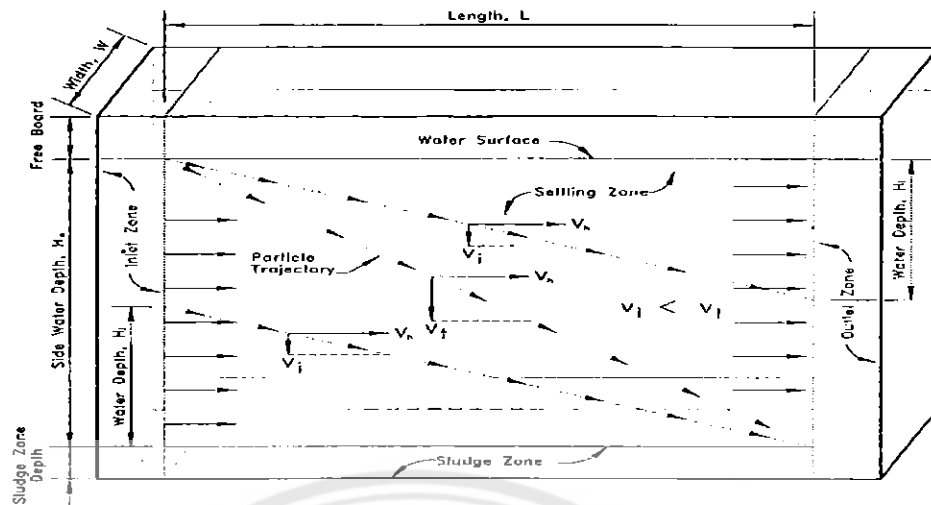
$$C_D = \frac{24 \phi}{N_R} \text{ (Laminar range)}$$

$$C_D = \frac{24 \phi}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 \text{ (Transition range)}$$

สำหรับอนุภาคขนาดเล็กที่เป็นทรงรี ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ค่า Terminal Velocity จะหาได้จากสมการของ Stokes Law ดังสมการ

$$V_s = \frac{gd^2}{18\mu} (\rho_s - \rho)$$

ถังตกตะกอนแบบอุดมคติ (Ideal Sedimentation Basin) ถังตกตะกอนแบบอุดมคติที่ไหลในแนวราบ ถูกใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมตกตะกอนแบบของ Discrete Particles โดยที่ (1) น้ำไหลเข้าสู่ถังมีการกระจายที่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดของถัง (2) อนุภาคกระจายตัวในน้ำอย่างสม่ำเสมอ (3) การตกตะกอนแบบ Discrete Settling เป็นหลักถึงตกตะกอนดังกล่าวแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่



รูปที่ 2.11 การตกตะกอนของ Discrete Particles (Qasim et al., 2000)

Inlet Zone ส่วนที่น้ำไหลเข้าถังในแนวอนอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดของถัง

Settling Zone จะเกิดการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำ

Sludge Zone เป็นส่วนล่างของถังที่เกิดการสะสมของสลัดจ์

Outlet Zone เป็นส่วนที่น้ำใสไหลออกจากถังอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด

ส่วนของอนุภาคที่ถูกกำจัด (Fraction of Particle Removed) ในการออกแบบจะต้องเลือกความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากที่สุด จากสมการด้านล่าง ถึงที่ถูกออกแบบจะสามารถกำจัดอนุภาคที่มีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าอนุภาคดังกล่าวได้หมด ส่วนอนุภาคที่มีความเร็วตกตะกอนน้อยกว่าจะถูกกำจัดได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

$$V_i = \frac{Q}{WH_0}$$

$$V_i = \frac{H_0}{t_0}$$

$$V_i = \frac{H_i}{t_0}$$

เมื่อ

V_i = ความเร็วการตกตะกอนของอนุภาคที่เล็กที่สุด (ม./วินาที)

V_i = ความเร็วการตกตะกอนของอนุภาค (ม./วินาที)

Q = อัตราการไหลเข้าถัง (ม.³/วินาที)

W = ความกว้างของถังตกตะกอน (ม.)

H_0 = ความลึกด้านข้างของน้ำ (ม.)

H_i = ความลึกที่ตกลงของอนุภาค (ม.)

t_0 = เวลาที่น้ำทางทฤษฎี (วินาที)

น้ำในแม่น้ำตามธรรมชาติจะมีการกระจายตัวของอนุภาคมาก ในการคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดระยะเวลาที่กำหนด จำเป็นต้องพิจารณาช่วงของความเร็วจุดที่ถูกลำตัว ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดรวมสามารถคำนวณได้จาก (1) การทดสอบการตกตะกอนแบบเบต (Batch) และ (2) การทดสอบด้วย Sieve Analysis

Batch Setting Test ประกอบด้วยคอลัมน์ ตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบจะถูกเติมลงคอลัมน์ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลาที่กำหนดทุกๆ 30-60 วินาที ในช่วงเวลา 5 นาทีแรกและเก็บทุกๆ 1-2 นาที เป็นเวลา 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ต่อเนื่องกันขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคในน้ำ ทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยในตัวอย่างที่เก็บ

Sieve Analysis เป็นวิธีทดสอบแบบหนึ่ง โดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน เพื่อหาการกระจายขนาดของอนุภาค หลังจากนั้นจะนำมาคำนวณความเร็วในการตกตะกอนจากสมการข้างต้น จากวิธีดังกล่าวสามารถสร้างกราฟการตกตะกอนได้ ประสิทธิภาพในการกำจัดรวม หาได้จากกราฟอินทิเกรต หาพื้นที่เหนือกราฟ ส่วนของอนุภาคที่ถูกลำตัวได้ด้วยดังตกตะกอนที่มีค่า Terminal Velocity (V_t) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = (1 - X_c) + \int_0^{X_c} \frac{V_i}{V_t} dx$$

เมื่อ

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| F | = | ส่วนของอนุภาคที่ถูกลำตัวได้ |
| X_c | = | ส่วนของอนุภาคที่ความเร็ว V_i น้อยกว่า V_t |
| $(1 - X_c)$ | = | ส่วนของอนุภาคที่ความเร็ว V_i มากกว่า V_t |
| $\int_0^{X_c} \frac{V_i}{V_t} dx$ | = | ส่วนของอนุภาคที่ความเร็ว V_i น้อยกว่า V_t |

Overflow Rate หรือ Surface Loading Rate (SLR) อัตราน้ำล้นผิวเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการออกแบบถังตกตะกอนและประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอย ในการออกแบบผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกอัตราน้ำล้นผิว เช่นเดียวกับเวลาพักน้ำ ซึ่งถังตกตะกอนแบบอุดมคติจะต้องตั้งเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงตามเวลากักที่กำหนด เนื่องจากอนุภาคจะมีระยะตกตะกอนเข้าสู่ชั้นสลัดจ์ที่สั้นซึ่งมีอัตราน้ำล้นผิวน้อย แต่ในสภาพจริงรูปแบบการตกตะกอนมีความแตกต่างจากเชิงอุดมคติมาก ปัจจัยอื่นๆ ที่เข้ามามีอิทธิพล ได้แก่ กระแสความแน่น กระแสอุณหภูมิกว้างขวาง มีผลต่อลักษณะการไหลของน้ำ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจริงมักมีค่าต่ำกว่าในทางอุดมคติ

- Flocculants Setting เป็นการตกตะกอนที่ต่างจากแบบ Discrete Setting เนื่องจากอนุภาคมีการรวมตัวกันมีลักษณะเป็นฟล็อก เริ่มจากการที่อนุภาคตกตะกอนแบบ Discrete

หากปริมาณอนุภาคมีปริมาณมากพอ จะเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้น จึงตกตะกอนได้เร็วขึ้นกว่าอนุภาคเดี่ยวๆ ทำให้ความเร็วการตกตะกอนมีค่ามากขึ้นและมีเส้นทางการตกตะกอน ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดและความเร็วของการตกตะกอน จึงมีความซับซ้อนมากกว่าการตกตะกอนแบบ Discrete Setting ทำให้ไม่สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ความลึกด้านข้างของน้ำเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการตกตะกอนแบบฟล็อก การเลือกใช้ความลึกของน้ำและตัวแปรอื่นๆ เช่น อัตราน้ำล้นและเวลากักน้ำในการออกแบบ จำเป็นต้องเริ่มจากการทดสอบ Batch Setting Test หรือ จากการประสบการณ์ที่เคยใช้ใน โรงผลิตน้ำประปาจากน้ำดิบที่มีลักษณะคล้ายกัน

การทดสอบแบบ Batch Setting Test จะทดสอบด้วยคอลัมน์ในห้องปฏิบัติการ โดยการผสมตัวอย่างน้ำให้เข้ากันแล้วเทใส่ในคอลัมน์ที่มีความลึกที่ต้องการ (h_0) ทำการเก็บตัวอย่างที่พอร์ตต่างๆที่ห่างกันประมาณ 0.5 ม. ทุกๆ 5-10 นาทีต่อเนื่องกัน แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาตรของแข็งแขวนลอย ในตัวอย่างซึ่งใช้ระยะเวลาในการทดสอบประมาณ 1-3 ชั่วโมง

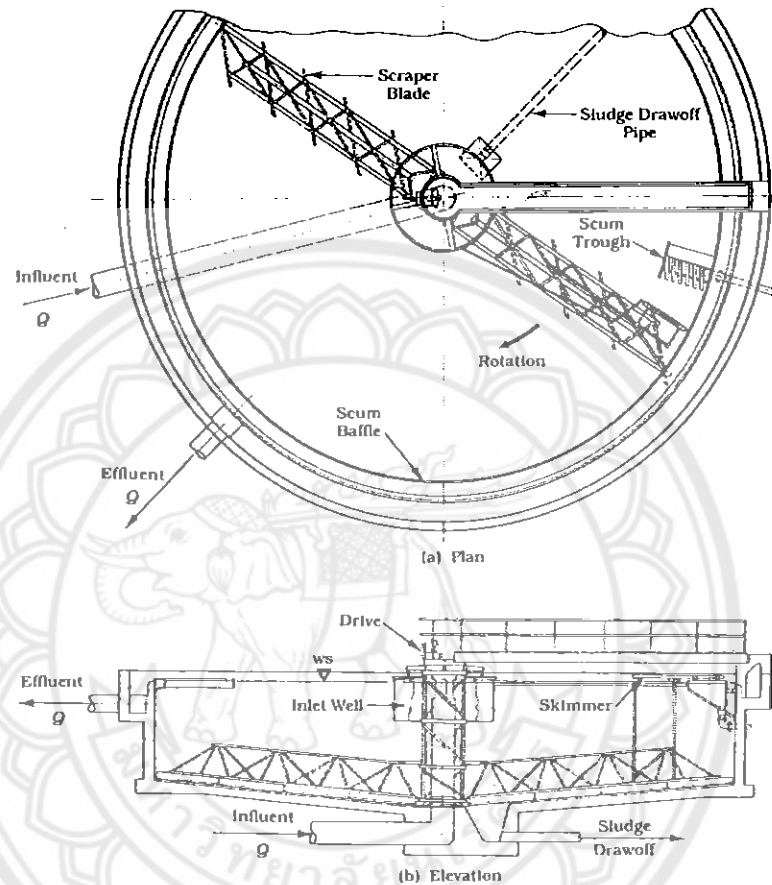
- Hindered Setting และ Compaction Setting เป็นรูปแบบการตกตะกอนในถัง Sludge Thickener ซึ่งเป็นชั้นสลัดจ์ส่วนบนจะมีลักษณะเหมือน Hindered Setting สลัดจ์ที่ด้านล่างจะตกตะกอนในแบบ Compaction Setting พฤติกรรมการตกตะกอนดังกล่าวเป็นการอย่างที่จะอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ตัวแปรต่างๆที่ใช้สำหรับออกแบบจำเป็นทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและอาจอาศัยประสบการณ์ที่ใช้กับสลัดจ์ที่มีลักษณะคล้ายกันมาก่อน ตัวอย่างทฤษฎีที่ใช้อธิบาย เช่น Zone Setting Analysis หรือ Solid Flux Analysis เป็นต้น

2.3.3.2 ลักษณะของถังตกตะกอน (Sedimentation Basin Geometry) ลักษณะของถังตกตะกอนในงานผลิตน้ำประปา สามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบวงกลม และแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ก. ถังตกตะกอนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Basins) โดยทั่วไปมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างประมาณ 2:1 ถึง 3:1 ขณะที่นักวิจัยบางท่านเสนอว่าที่สัดส่วน 6:1 ถึง 7:1 เป็นสัดส่วนที่สามารถควบคุมการไหลลัดทางได้ดี นอกจากนั้นการออกแบบทางน้ำเข้าและทางน้ำออกให้เหมาะสมจะทำให้ลักษณะการไหลใกล้เคียงกับแบบอุดมคติ สามารถทำให้ระยะเวลาที่กักน้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากขึ้น

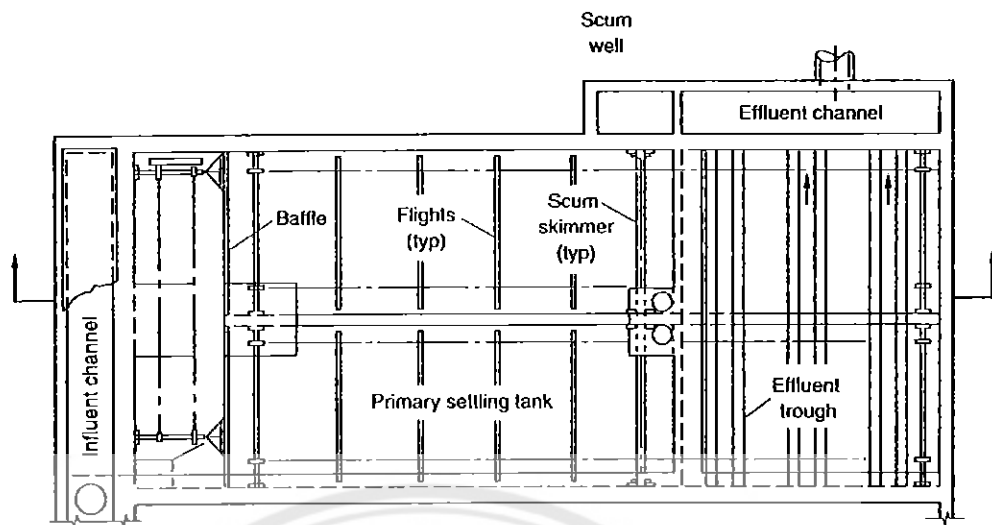
ข. ถังตกตะกอนแบบกลม (Circular Basins) สามารถออกแบบให้น้ำไหลเข้าตรงกลาง (Center-Feed) หรือ ไหลเข้าด้านข้าง (Peripheral-Feed) ซึ่งจากการทดสอบ Slug-Dose ของถังตกตะกอนพบว่า ถังวงกลมแบบไหลด้านข้างจะเกิดการไหลลัดทางน้อยกว่าถังตกตะกอน

แบบน้ำไหลเข้าตรงกลาง แต่แบบไหลเข้าตรงกลางเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบ อุปกรณ์รวบรวมสลัดจ์

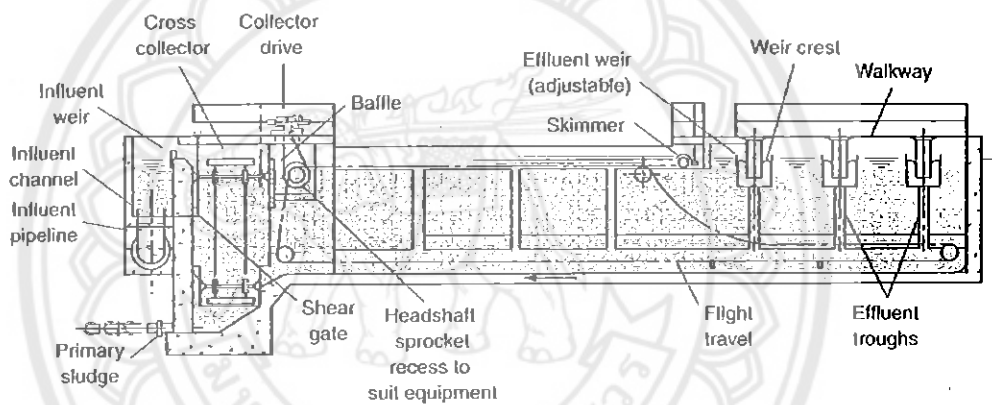


รูปที่ 2.12 ลักษณะถังตกตะกอนแบบวงกลม (Reynolds and Richards, 1996)

ค. Square Basins มักออกแบบให้ไหลเข้าตรงกลาง ถูกออกแบบมาเพื่อให้ชนผนังร่วมกับถังอื่นได้ง่าย และง่ายต่อการรวบรวมสลัดจ์ แต่มีโอกาสเกิดการไหลลัดทางได้มาก จำเป็นต้องพิจารณาจุดอับบริเวณมุมถัง และอาจต้องอาศัยอุปกรณ์กวาดสลัดจ์ที่สามารถเข้าถึงจุดอับบริเวณมุมถังได้ เพื่อป้องกันการสะสมของสลัดจ์



(a)



(b)

รูปที่ 2.13 ลักษณะถังตกตะกอนแบบตีเหล็กมีพื้นค้ำ (Metcalf and Eddy, 2003)

2.3.4 การกรอง (Filtration) การกรองมักเป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำที่เหลือหลังจากผ่านกระบวนการตกตะกอนมาแล้วก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อโรคต่อไป ซึ่งโดยปกติถังตกตะกอนจะสามารถกำจัดอนุภาคความขุ่นของน้ำดิบและของแข็งทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการกวนเร็วและกวนช้าได้ประมาณร้อยละ 80-95

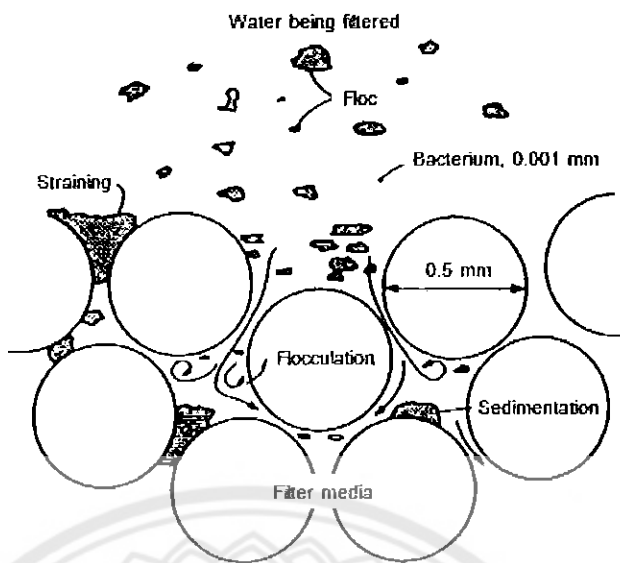
การกรองเป็นกระบวนการที่เก่าแก่ที่สุดแบบหนึ่งในปรับปรุงคุณภาพน้ำ อาศัยกลไกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติอยู่แล้ว เช่น การที่น้ำไหลผ่านชั้นหินต่างๆ ที่ความพรุนบนผิวโลกจนเกิดเป็นน้ำที่ใสสะอาด การกรองที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นขั้นตอนที่ทำให้น้ำไหลผ่านชั้นกรอง เช่น ทราย แอนทราไซด์ หรือคาร์บอน ขณะที่น้ำไหลผ่านชั้นกรอง ของแข็งแขวนลอยที่ปนมากับน้ำจะติดค้างอยู่ในช่องว่างของชั้นกรอง น้ำใสก็จะไหลผ่านออกมาด้านล่างของถังกรอง นั่นก็หมายความว่า หากน้ำดิบมีความขุ่นหรือคอลลอยด์น้อยมากก็อาจไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกวน

เร็วและกวนช้าได้ อาจจะมีผ่านเข้าสู่ชั้นตอนการกรองเลยก็ได้ เรียกว่า การกรองตรง (Directed Filtration)

2.3.4.1 ทฤษฎีการกรอง (Theory of Filtration) กลไกที่เกิดขึ้นของการกรองเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อน ทฤษฎีทั่วไปที่อธิบายกลไกที่กำจัดของแข็งออกจากน้ำได้แก่ (1) Staining (2) Sedimentation (3) Impaction และ (4) Interception ดังรูปที่ 2.14

คอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปที่จะผ่านช่องว่างรูพรุนของชั้นกรองจะถูกกักเอาไว้บนผิวหน้าของชั้นกรอง กลไกนี้เรียกว่า Straining จัดเป็นกลไกหลักของการกรองโดยตรง (Directed Filtration) ซึ่งเป็นระบบที่ฟล็อกที่เกิดขึ้นจากการกวนช้าจะถูกส่งเข้าสู่ถังกรองโดยไม่มีถึงตกตะกอน การไหลของน้ำผ่านชั้นกรองเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow) แต่เนื่องจากการกีดขวางของสารกรอง ทำให้ความเร็วและทิศทางการไหลเปลี่ยนแปลง ช่วงที่มีความเร็วต่ำจะเกิดการตกตะกอนของอนุภาค (Sedimentation) ในชั้นกรอง ความเฉื่อยจะทำให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่หลุดออกจากเส้นทางการไหล ทำให้เกิดการปะทะกับสารกรองและถูกกักไว้ด้วยกลไกแบบ Interception

สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของสารกรองและอนุภาคคอลลอยด์มีส่วนสนับสนุนกลไกพื้นฐานดังกล่าว เนื่องจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งประกอบด้วยพันธะเคมีและดูดติดกันทางกายภาพระหว่างตัวกลางและคอลลอยด์ อาจเกิดจากการดูดกันด้วยแรงทางไฟฟ้าหรือแรง van der waal และการดูดกันด้วยพันธะเคมีหรือทางกายภาพระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเองทำให้เกิดเป็นฟล็อก ขณะที่คอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านสารกรองก่อให้เกิด Orthogenetic Flocculation การเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านตัวกลางเป็นการเพิ่มโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคทำให้อนุภาคพัฒนาเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกลไกพื้นฐานทั้ง 4 ดังกล่าว แม้ว่ากลไกที่เกิดขึ้นจะทำให้อนุภาคถูกกักไว้ในชั้นกรอง แต่ขนาดเดียวกันแรงเฉื่อยของของเหลวก็สามารถทำให้อนุภาคหลุดออกมาได้ด้วย



รูปที่ 2.14 กลไกการกรองของถังทรายกรองเร็ว (มันส์นิน, 2538)

ขณะที่การกรองดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง คอลลอยด์จะถูกกักไว้ในสารกรองทำให้ช่องว่างของสารกรองลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งจะก่อให้เกิด 1 การติดค้างมากขึ้น 2 ความเร็วการไหลของน้ำผ่านช่องว่างมีค่าสูงขึ้น 3 แรงเฉือนของน้ำผ่านตัวกลางสูงขึ้น และ 4 การสูญเสียเฮดของน้ำมีค่ามากขึ้น ส่งผลโดยรวมทำให้อัตราการกรองและประสิทธิภาพการกรองลดลง เกิดการอุดตันของสารกรอง แรงเฉือนเนื่องจากการไหลของน้ำที่มีค่ามากขึ้นอาจทำให้อนุภาคเกิดการหลุดออกจากสารกรองทำให้น้ำออกมีความขุ่นมากขึ้น (Turbidity Breakthrough) เมื่อใดที่การสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นจากการอุดตันมีค่ามากกว่าค่าเฮดที่มีอยู่เดิม ก็จะถึงเวลาที่จะต้องทำการล้างถังกรองเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ติดค้างในชั้นกรองออกไป ก่อนที่ชั้นกรองจะกลับเข้าสู่กระบวนการกรองต่อไปอีกครั้ง

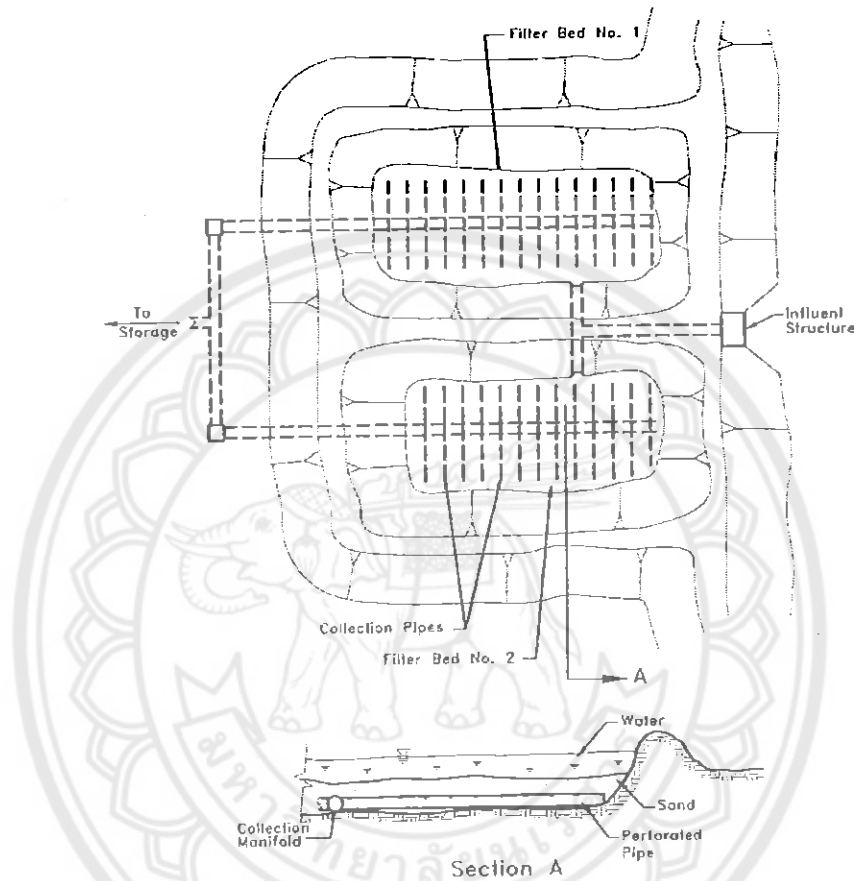
2.3.4.2 ชนิดของสารกรอง (Type of Filters) การกรองในระบบผลิตน้ำประปา สามารถแบ่งได้หลายลักษณะ ได้แก่ แบ่งตามอัตราการกรอง แรงขับเคลื่อน (Driving Force) และทิศทางการไหล ได้ดังนี้

ก. อัตราการกรอง สามารถแบ่งถังกรองออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ ถังทรายกรองช้า (Slow Sand Filter) ถังทรายกรองเร็ว (Rapid Sand Filter) และถังกรองอัตราสูง (High Rate Filter)

ถังทรายกรองช้า อัตราการกรองมีค่าน้อยกว่า 10 ลบ.ม./วัน เป็นแบบที่ใช้มากในยุโรปและประเทศกำลังพัฒนาที่สามารถหาทรายตามธรรมชาติเป็นชั้นกรองได้ เป็นระบบกรองน้ำที่มักใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นน้อยที่ไม่ต้องมีกระบวนการเร็ว กระบวนการกรองเกิดจากกิจกรรมทางชีวภาพบนผิวของชั้นกรองชั้นจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น เรียกว่า "Schmutzdecke" ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของอินทรีย์ อนินทรีย์ ของแข็ง แขวนลอย บนชั้นดังกล่าว และเชื่อว่ากลไกในการกำจัดอนุภาคเกิดจากการดูดซับทางชีวะ (Bioadsorption) ถังทรายกรองช้าดังกล่าวจะมีระบบ Underdrain

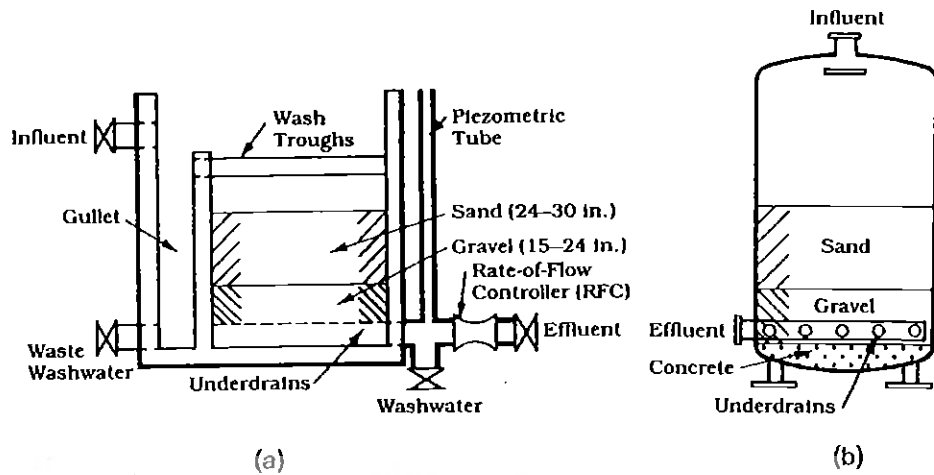
อยู่ด้านล่างของชั้นกรองทำหน้าที่รับน้ำที่กรองออกไป เมื่อสารกรองเกิดการอุดตัน น้ำในถังจะถูกระบายออกและทรายชั้นบนจะถูกนำออกไปล้างข้างนอกและนำกลับมาใส่เข้าไปในถังใหม่ ดังรูปที่

2.14

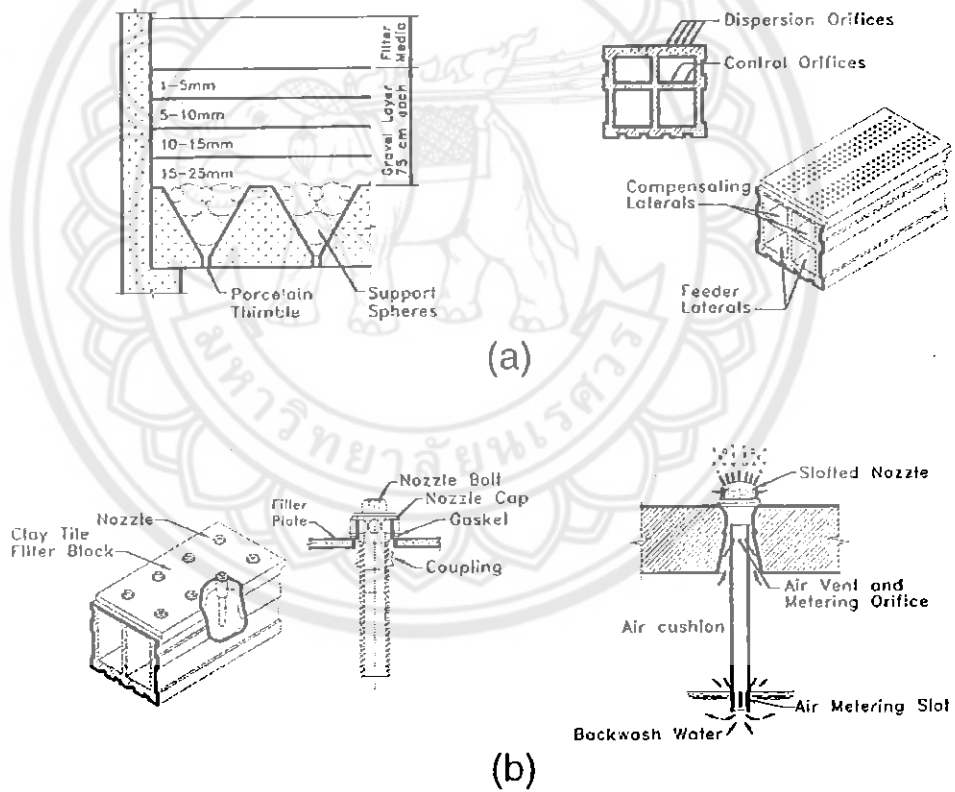


รูปที่ 2.15 ถังทรายกรองช้า (Qasim et al., 2000)

ถังทรายกรองเร็ว มีอัตราการกรองประมาณ 120 ลบ.ม./วัน และถังกรองอัตราสูง มีอัตราการกรองที่สูงกว่า 240 ลบ.ม./วัน ถังกรองทั้งสองแบบใช้กันมากในอเมริกา ดังรูปที่ 2.16(a) มีลักษณะการก่อสร้างที่คล้ายกันส่วนมากเป็นถังคอนกรีตหรือถังเหล็ก สารกรองในถังจะถูกรองรับด้วยชั้นกรวดและระบบ Underdrain รูปที่ 2.17 ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว และกระจายน้ำที่ใช้ในการล้างย้อนเพื่อทำความสะอาดสารกรอง



รูปที่ 2.16 ชนิดของถังกรอง (a) ถังทรายกรองเร็ว (b) ถังกรองความดัน
(คัดแปลงจาก Reynolds and Richards (1996))



รูปที่ 2.17 ชนิดของระบบ Underdrain (a) แบบมีชั้นกรวด (b) แบบไม่มีชั้นกรวด

(Qasim et al., 2000)

ข. แรงขับเคลื่อน แบ่งถังกรองออกเป็น 2 แบบ คือ การไหลจากแรงโน้มถ่วงของไหลและภายใต้แรงดัน ซึ่งแตกต่างกันตามเหตุที่ใช้ผลักดันให้ไหลผ่านชั้นกรวด ถังกรองแบบ

แบบไหลด้วยแรงโน้มถ่วงโดยทั่วไปจะต้องการเฮด 2-3 ม. ในถังเหล็กหรือคอนกรีต ใช้กับระบบประปาขนาดเล็กและใหญ่ ส่วนถังกรองภายใต้แรงดันต้องการเฮดที่สูงมากกว่า มักเป็นถังเหล็กแบบปิด ใช้กับระบบประปาขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2.16(b)

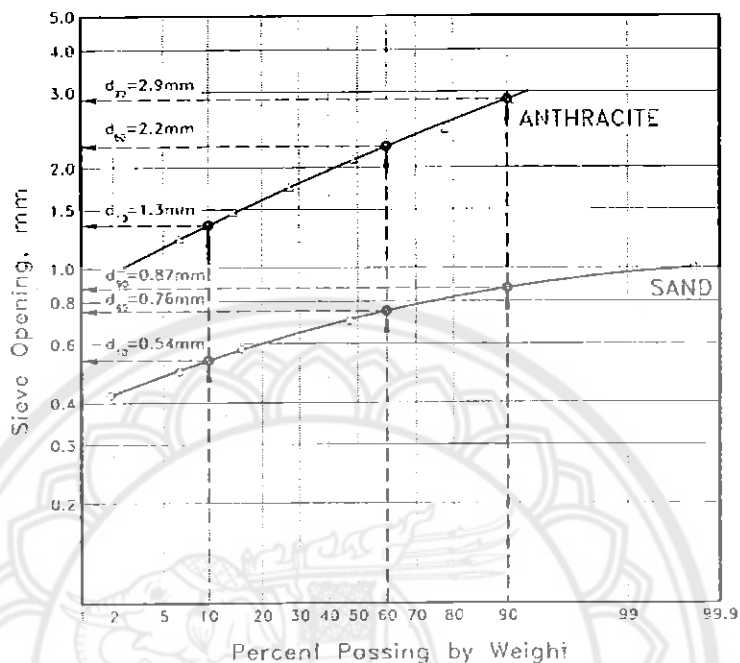
ค. ทิศทางการไหล แบ่งถังกรองออกเป็น 2 แบบ คือ แบบไหลลงและแบบไหลขึ้น ในระบบประปาส่วนมากเป็นแบบไหลลง ซึ่งจะถูกรองผ่านชั้นกรองจากจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ส่วนแบบไหลขึ้นมีใช้บ้างกับถังกรองที่ใช้ถ่านเป็นสารกรอง

2.3.4.3 สารกรอง (Filter Media) การเลือกสารกรองที่เหมาะสมที่สิ่งที่สำคัญในการออกแบบถังกรอง เพื่อใช้ในการควบคุม (1) ความสามารถในการกักของแข็ง (Solid - Holding Capacity) ของชั้นกรอง (2) อัตราบรรจุทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate) ของถังกรอง และ (3) คุณภาพของน้ำที่กรองแล้ว ถังกรองสามารถแบ่งตามจำนวนของชั้นกรองออกเป็น สารกรองชนิดเดียว (Single - Medium) สารกรอง 2 ชนิด (Dual - Medium) และสารกรองมากกว่า 2 ชนิด (Mixed - Medium) นอกจากนั้นปัจจัยต่างๆ ที่ควรพิจารณา ได้แก่ ขนาดประสิทธิผล (Effective Size, d_{10}) สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) และความลึกชั้นกรอง

ขนาดประสิทธิผล (d_{10}) เป็นขนาดช่องเปิดของตะแกรงมาตรฐานที่สารกรองผ่านได้ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ส่วนสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (U_c) คือ สัดส่วนของขนาดช่องเปิดของตะแกรงมาตรฐานที่สารกรองผ่านได้ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักต่อขนาดประสิทธิผล (d_{60}/d_{10}) รูปที่ 2.18 เป็นการหาค่า d_{60} และ d_{10} ของทรายและแอนทราไซต์ พาราเมเตอร์อื่นๆ ที่ควรพิจารณา ได้แก่ ความแข็งของเม็ดสารกรอง ความต้านทานต่อสภาพกรด เป็นต้น

ก. Single - Medium Filter ใช้สารกรองชนิดเดียว ส่วนมาก คือ ทรายที่การกระจายขนาดผลที่ดีที่สุด ค่าขนาดประสิทธิผล สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ และความลึกของสารกรองแสดงในตารางที่ 2.10 ขณะที่ทำการล้างย้อน สารกรองที่มีขนาดใหญ่จะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าขนาดเล็ก ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ โดยทรายขนาดใหญ่มีความเร็วในการตกตะกอนสูงจะอยู่ด้านล่าง ทรายที่มีขนาดเล็กกว่าจะอยู่ทางด้านบน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Stratification หรือ Reverse Gradation ดังรูปที่ 2.19(a) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นข้อเสียของระบบที่ใช้สารกรองชั้นเดียว เนื่องจากสารกรองเม็ดเล็กที่เรียงตัวอยู่ด้านบนเพียง 4-5 ซม. แรกเท่านั้นที่จะทำหน้าที่กรองกักอนุภาคคอลลอยด์เกือบทั้งหมดในน้ำไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ด อนุภาคที่สามารถหลุดรอดจากชั้นนี้ไปได้ อาจจะทะลุผ่านช่องว่างของชั้นกรองที่มีขนาดใหญ่ด้านล่างออกไปได้ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำที่ออกจากถังกรอง นอกจากนั้นเนื่องจากการกรองเกิดขึ้นที่ความลึกเพียง 4-5 ซม. แรกเท่านั้น ทำให้ความสามารถในการกักของแข็ง (Solid - Holding Capacity) มีค่าต่ำจึงมีระยะเวลาทำงานสั้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจจะลดลงได้ หากเลือกใช้สารกรองที่ใหญ่ขึ้น มีสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอน้อยกว่า 1.4 (ขนาดใกล้เคียงกัน) และความลึกที่สูงขึ้น ซึ่งเรียกว่า Deep

– Bed Monomedium Filter เช่น โรงประปาใน California และ Texas ประสบความสำเร็จในการใช้แอนทราไซต์เป็นสารกรองชนิดเดียว สามารถใช้อัตราการกรองที่สูงกว่า 550 ลบ.ม/ตร.ม.วัน



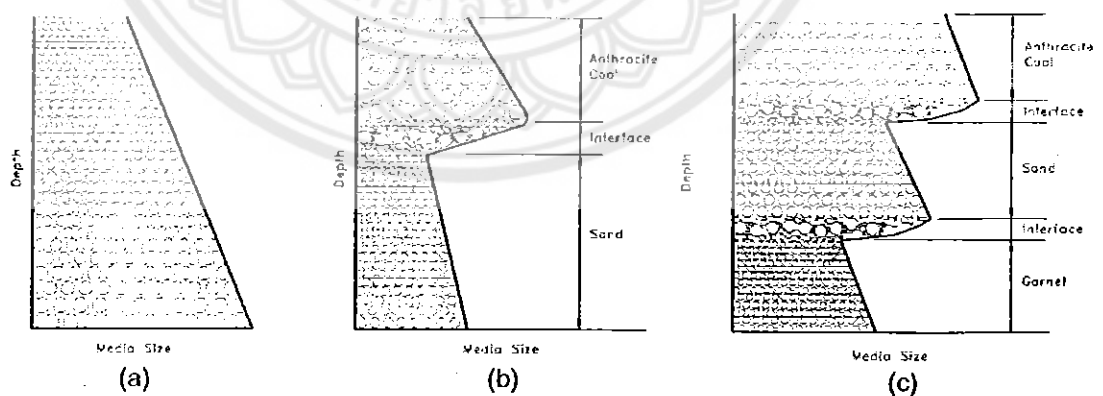
รูปที่ 2.18 การทดสอบ Sieve Analysis ของทรายและแอนทราไซต์ (Qasim et al., 2000)

ข. Dual - Medium Filter การใช้สารกรองสองชนิด เช่น การใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซต์ ซึ่งแอนทราไซต์มีความถ่วงจำเพาะ 1.55 ซึ่งน้อยกว่าทรายที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.65 นั้นหมายความว่า แอนทราไซต์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีความเร็วในการตกตะกอนเท่ากับทรายที่มีขนาดเล็กกว่า จากลักษณะดังกล่าวทำให้ สามารถนำแอนทราไซต์ใส่ไว้ทางด้านบนของทรายที่มีขนาดเล็กกว่าได้ ดังรูปที่ 2.19(b) ตารางที่ 2.10 เป็นค่าแนะนำในการออกแบบ สามารถแก้ปัญหาการทะลุของความขุ่นที่เกิดจากการ Reverse Gradation ในระหว่างที่ทำการล้างย้อนได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบ ที่เหนือกว่าการใช้สารกรองชนิดเดียว เป็นเหมือนการอนุกรมสารกรองทั้งสองที่มีขนาดต่างกันเข้าด้วยกัน ชั้นแอนทราไซด์้านบนจะทำหน้าที่กักจับอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่เช่นเดียวกับทรายที่อยู่ด้านล่างทำหน้าที่กักจับอนุภาค ที่มีขนาดเล็กที่รอดผ่านลงไปถึงชั้นทราย ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ตลอดความลึกของสารกรองดีกว่าการใช้สารกรองชนิดเดียว

ตารางที่ 2.9 ลักษณะของสารกรองที่ใช้ออกแบบ (Qasim et al., 2000)

| Parameter | Single-medium Filters | Dual-media Filters | Mixed-media Filters |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Anthracite layer | | | |
| Effective size, mm | 0.50–1.5 | 0.70–2.0 | 1.0–2.0 |
| Uniformity coefficient | 1.2–1.7 | 1.3–1.8 | 1.4–1.8 |
| Depth, cm | 50–150 | 30–60 | 50–130 |
| Sand layer | | | |
| Effective size, mm | 0.45–1.0 | 0.45–0.60 | 0.40–0.80 |
| Uniformity coefficient | 1.2–1.7 | 1.2–1.7 | 1.2–1.7 |
| Depth, cm | 50–150 | 20–40 | 20–40 |
| Garnet layer | | | |
| Effective size, mm | | | 0.20–0.80 |
| Uniformity coefficient | | | 1.5–1.8 |
| Depth, cm | | | 5–15 |

ค. Mixed – Medium Filter มีลักษณะคล้ายกับ Dual – Medium Filter แต่ใช้สารกรอง 3 ชนิด เช่น แอนทราไซต์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.5 ทราซที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.65 และคาร์เนตที่มีความถ่วงจำเพาะ 4.05 โดยคาร์เนตที่มีขนาดเล็กและความถ่วงจำเพาะสูงอยู่ทางด้านล่าง ถัดขึ้นมาเป็นทราซและแอนทราไซต์ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าและความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า ดังรูปที่ 2.19(c) ค่าแนะนำในการออกแบบแสดงดังตารางที่ 2.10 การใช้สารกรองแบบ Mixed – Medium เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองและเพิ่มระยะเวลาทำงานของแบบสารกรองแบบ Dual – Medium แต่เนื่องจากคาร์เนตมีราคาแพง จึงพบเห็นได้น้อยกว่าแบบ Dual – Medium



รูปที่ 2.19 การกระจายขนาดและความลึกของสารกรอง (a) Single-Medium

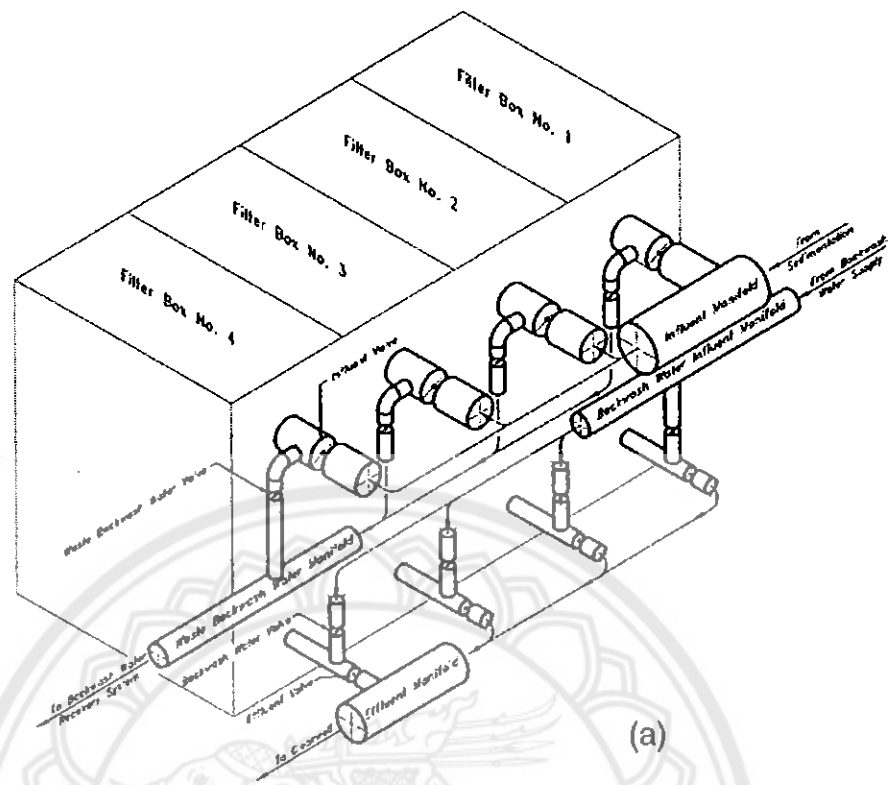
(b) Dual-Medium (c) Mixed-Medium (ดัดแปลงจาก Qasim et al., (2000))

2.3.4.4 องค์ประกอบของถังกรอง (Filter Components) ระบบการกรองที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา มีตั้งแต่ระบบที่เรียบง่ายจนถึงระดับที่ซับซ้อนมาก ซึ่งมีออกแบบให้มีถังกรองต่อขนานกันอย่างน้อยสองถัง จนถึงระบบที่ใหญ่มากอาจมีถังกรองมากถึง 30 ใบต่อขนานกัน รูปที่ 2.20(a) แสดงถังกรอง 4 ใบ ที่ต่อขนานกัน ประกอบด้วยตัวถัง (Filter Box) ระบบท่อและวาล์ว ที่ควบคุมการทำงานของถังกรอง

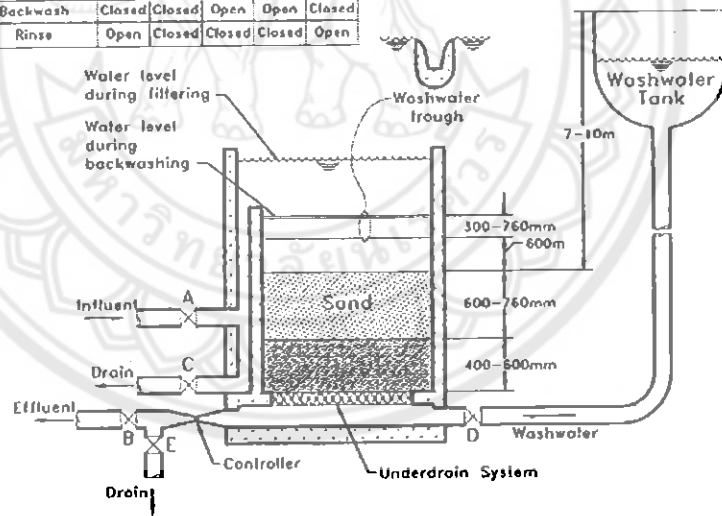
ก. Filter Box ถังกรอง แสดงดังรูปที่ 2.20(a) นำจากถังตกตะกอนจะไหลเข้าถังกรองทางด้านบนของถัง และกรองจากบนลงล่างผ่านชั้นกรองและชั้นกรวดที่รองรับอยู่ด้านล่างของสารกรอง ผ่านระบบ Underdrain ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมน้ำใสเข้าสู่รางรับน้ำที่เรียก Gullet น้ำจะไหลออกจาก Gullet เข้าสู่ท่อระบายน้ำออกอีกที

หลังจากที่ทำการกรองไประยะหนึ่ง สารกรองจะเริ่มอุดตันจากการสะสมของของแข็งแขวนลอย ในชั้นของสารกรอง ถังกรองจะถูกทำความสะอาดด้วยขั้นตอนที่เรียกว่า การล้างย้อน (Backwash) เพื่อกำจัดของแข็งที่ถูกกักอยู่ในชั้นกรองดังกล่าว รูปที่ 2.20(b) แสดงการควบคุมถังกรอง ในการล้างย้อน วาล์วน้ำเข้า (Influent Valves) และวาล์วน้ำออก (Effluent Valves) จะถูกปิด ส่วนวาล์วน้ำล้าง (Wash Water Valves) และ วาล์วน้ำทิ้ง (Waste Washwater Valves) จะถูกเปิดออก ส่งผลให้น้ำล้างไหลเข้าสู่ Gullet ผ่าน Underdrain และชั้นกรวดที่รองรับและไหลผ่านชั้นกรอง ทำให้ชั้นกรองเกิดการขยายตัวและเกิดการขัดสีกันทำให้ของแข็งแขวนลอยที่ถูกกักในชั้นกรองหลุดออกมาและไหลออกทางท่อน้ำทิ้ง หากมีการจัดการที่ดี น้ำล้างดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมทั้งจำเป็นต้องคำนึงถึงการจัดการสลัดจ์ที่เกิดขึ้นต่อไป

ข. Influent Piping คือท่อน้ำเข้า ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากถังตกตะกอนเข้าสู่ถังกรองแต่ละใบแต่ละถังจะมีวาล์วน้ำเข้าเป็นตัวควบคุมการเปิด/ปิดของน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังกรอง ส่วนมากท่อน้ำเข้าจะถูกติดตั้งอยู่ทางตอนบนของถังกรองและต่ำกว่าผิวน้ำเล็กน้อย



| Operation cycle | Valve | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | B | C | D | E |
| Normal filtration | Open | Open | Closed | Closed | Closed |
| Backwash | Closed | Closed | Open | Open | Closed |
| Rinse | Open | Closed | Closed | Closed | Open |



(b)

รูปที่ 2.20 ถังกรอง (a) ระบบท่อ (b) การควบคุมถังกรอง (Qasim et al., 2000)

ค. Effluent Piping คือท่อปล่อยน้ำออก ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจาก ถังกรองเข้าสู่ถังอื่นต่อไป ถังกรองแต่ละใบจะมีวาล์วน้ำออกทำหน้าที่ควบคุมการ เปิด/ปิด น้ำที่ไหล ออกจากถัง ท่อปล่อยน้ำจะต่อเข้ากับ Gullet ที่ก้นของถังกรอง

ทันทีที่ทำการล้างย้อนเสร็จ กลับเข้าสู่การกรองตามปกติอีกครั้ง น้ำที่ผ่านการกรองช่วงแรกนี้มักจะ มีความขุ่นที่สูง ซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีในการควบคุมความขุ่นที่เกิดขึ้นในช่วงแรก หลังจากทำการล้าง ย้อนเสร็จใหม่ๆ ดังกล่าว ซึ่งวิธีหนึ่งที่ใช้กันมาก คือ การติดตั้ง Waste-to-Drain Connection น้ำส่วน แรกที่ขุ่นจะถูกระบายทิ้งไปก่อน เรียกขั้นตอนนี้ว่า Rinse Cycle จึงจะปล่อยให้น้ำใสไหลเข้าสู่ถังน้ำ ใสต่อไป

ง. Washwater Piping คือ ท่อน้ำล้าง ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำสะอาดเข้าสู่ถังกรอง สำหรับการล้างย้อน น้ำจะไหลจาก Washwater Piping เข้าสู่ Gullet ผ่านระบบ Underdrain และชั้น กรอง จะมีวาล์วทำหน้าที่ควบคุม เปิด/ปิด น้ำสะอาดที่ไหลเข้าสู่ถัง

จ. Waste Washwater Piping คือท่อรับน้ำสกปรก ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำสกปรกที่ เกิดจากการล้างย้อนทางตอนบนของถังกรองให้ไหลเข้าสู่ Waste Backwash Water Pipe ซึ่งจะมี วาล์วควบคุมการไหลเข้าสู่ท่อน้ำทิ้งอีกที

2.3.5 กระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection Process) กระบวนการฆ่าเชื้อโรค หมายถึง กระบวนการฆ่าหรือทำลายจุลินทรีย์ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำสะอาดและ ปลอดภัยแก่ผู้บริโภค วิธีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้สารเคมี วิธีทางกายภาพ และวิธีทางรังสี

สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในงานประปา ประกอบด้วย คลอรีนและสารประกอบ คลอรีนในรูปต่างๆ เช่น เทลโลไฮโปคลอไรต์ คลอรีนไดออกไซด์ รวมทั้งโอโซน สารออกซิไดซ์ที่ใช้ กันมากที่สุด คือ คลอรีน ลักษณะสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบควร พิจารณา ได้แก่ ปริมาณและราคา ความยากง่ายในการจัดหาสมบัติด้านการกักคร่อนและการเกิด ตะกอน ความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ความสามารถในการทะลุทะลวงเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ ความ ปลอดภัยต่อการใช้งาน ความสามารถในการละลายได้ เสถียรภาพของสารเคมี เป็นต้น คลอรีนเป็น สารที่มีราคาค่อนข้างถูก เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูง ละลายน้ำได้ดีปานกลาง และกักคร่อนได้สูงเมื่อเทียบกับสารประกอบไฮโปคลอไรต์ ต้องให้ความระมัดระวังเพื่อความ ปลอดภัยเช่นเดียวกับคลอรีนไดออกไซด์

2.3.5.1 กลไกการฆ่าเชื้อโรค (Mechanisms of Disinfection) กลไกพื้นฐานที่ถูกระบุเพื่ออธิบายกลไกการทำงานของสารฆ่าเชื้อโรค ประกอบด้วย (1) การทำลายผนังเซลล์ 2 การเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเซลล์ 3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะคอลลอยด์ของโปรตีนโพลีเมอไรซ์ 4 การเปลี่ยนแปลงของ DNA และ RNA และ 5 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Metcalf and Eddy, 2003) ตาราง 10.1 เป็นกลไกในการทำลายเชื้อโรคของคลอรีน โอโซน และยูวี

การทำลายเซลล์ผนังเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการแตกสลาย สารบางชนิด เช่น เพนนิซิลลิน สามารถยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย

สารบางชนิด เช่น สารประกอบฟีนอล และสารซักล้าง (Surfactant) ส่งผลต่อการซึมผ่านของเซลล์เมมเบรน ทำลายคุณสมบัติในการเลือกผ่านของเซลล์เมมเบรน ทำให้ธาตุอาหารในโตรเจนและฟอสฟอรัสหลุดออกจากเซลล์

ความร้อน รังสี หรือความเป็นกรดและด่างที่สูง จะส่งผลต่อลักษณะคอลลอยด์ของโปรตีนโพลีเมอไรซ์ภายในเซลล์ ความร้อนจะทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน กรดและด่างทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปผิดไปจากธรรมชาติ

รังสียูวี ก่อให้เกิดพันธะซ้อนในจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดการเสียหายต่อ DNA โดยที่โปรตอนของยูวีที่ถูกดูดซับโดย DNA ของแบคทีเรียและ โปรโตซัว หรือโดย DNA และ RNA ของไวรัส การเกิดพันธะดังกล่าวส่งผลต่อกระบวนการ Replication ทำให้ไม่สามารถสืบพันธุ์ต่อได้

สารที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์ เช่น คลอรีน สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ มีผลต่อลักษณะทางเคมีของเอนไซม์ ทำให้การทำงานเสียไป

2.3.5.2 การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination) การใช้คลอรีนเพื่อการกำจัดรสและกลิ่นของน้ำ เริ่มมีมาตั้งแต่ราวปี 1830 ซึ่งเป็นสมัยที่เข้าใจว่าเชื้อโรคสามารถติดต่อกันผ่านทางกลิ่น ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ผิด ปัจจุบันคลอรีนถูกใช้เพื่อฆ่าเชื้อโรคให้กับน้ำประปาเป็นหลักและเพื่อวัตถุประสงค์อื่น เช่น การควบคุมรส กลิ่น สาหร่าย การปรับสภาพสารกรอง การกำจัดเหล็กและแมงกานีส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และกำจัดสี เป็นต้น คลอรีนมีหลายรูป เช่น ของเหลว ก๊าซ ของแข็ง ที่อยู่ในรูปสารประกอบแคลเซียมหรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และก๊าซคลอรีนไดออกไซด์

ก. เคมีของคลอรีน (Chlorine Chemistry) คลอรีนตกค้างอิสระ (Free Chlorine Residual) เนื่องจากคลอรีนมีสมบัติที่เหมาะสมหลายประการจึงนิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรค เช่น ความสามารถละลายน้ำสูง ง่ายต่อการใช้งาน ง่ายต่อการตรวจวัดและควบคุม เป็นรูปที่มีความคงตัว และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับสารฆ่าเชื้อโรคอื่นๆ เมื่อคลอรีนละลายน้ำ จะแตกตัวเป็น Hydrochloric Acid (HOCl) ดังสมการ ซึ่งเป็นคลอรีนอิสระ (Free Chlorine Residual) และเป็นกรดอ่อนที่พร้อมจะแตกตัวต่อไป

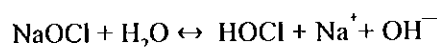
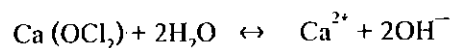


ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ HOCl และ OCl⁻ จะแปรผันกับพีเอชและอุณหภูมิและความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำ

$$K_i = \frac{[\text{H}][\text{OCl}^-]}{\text{HOCl}}$$

HOCl มีอำนาจในการออกซิไดซ์ได้ดีกว่า OCl⁻ ขณะที่ HOCl จะมีความเข้มข้นโคคเค้นที่พีเอชต่ำกว่า 6.0 ส่วน OCl⁻ จะมีความเข้มข้นโคคเค้นที่พีเอชสูงกว่า 7.5 ตามลำดับ นั้นหมายความว่า อำนาจในการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนจะมีค่าลดลงเมื่อพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจาก HOCl มีความเข้มข้นลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ที่พีเอชประมาณ 9.0 คลอรีนตกค้างจะมีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคน้อยมาก เนื่องจากอิออนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ OCl⁻

การเติมคลอรีนอิสระในน้ำ สามารถเติมได้ในรูปของสารประกอบแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ หรือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ซึ่งจะเกิดการแตกตัว ดังสมการ

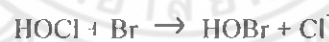


ตารางที่ 2.11 แสดงค่าคงที่การแตกตัวของ HOCl ที่อุณหภูมิต่างๆ (Metcalf and Eddy, 2003)

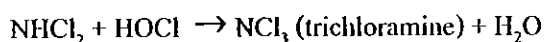
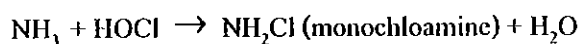
| Temperature, °C | $K_a \times 10^8, \text{mole/L}$ |
|-----------------|----------------------------------|
| 0 | 1.5 |
| 5 | 1.7 |
| 10 | 2.0 |
| 15 | 2.3 |
| 20 | 2.6 |
| 25 | 2.9 |

จากสมการจะสังเกตได้ว่า การเติมก๊าซคลอรีนจะทำให้พีเอชลดลงเนื่องจากมี H^+ เกิดขึ้น แต่การเติมสารประกอบไฮโปคลอไรต์จะส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้นเนื่องจากมี OH^- เกิดขึ้น นั่นหมายความว่า ถ้าน้ำที่มีความเป็นด่างหรือบัฟเฟอร์ต่ำ การฆ่าเชื้อโรคให้มีประสิทธิภาพพลวจะเติมคลอรีนในรูปแบบของก๊าซคลอรีนมากกว่าสารประกอบไฮโปคลอไรต์ ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการใช้คลอรีนและสารออกซิไดซ์อื่นๆ ได้แก่ สมบัติของสาร ความเข้มข้น ระยะเวลาสัมผัส อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของจุลินทรีย์และพีเอชของน้ำ

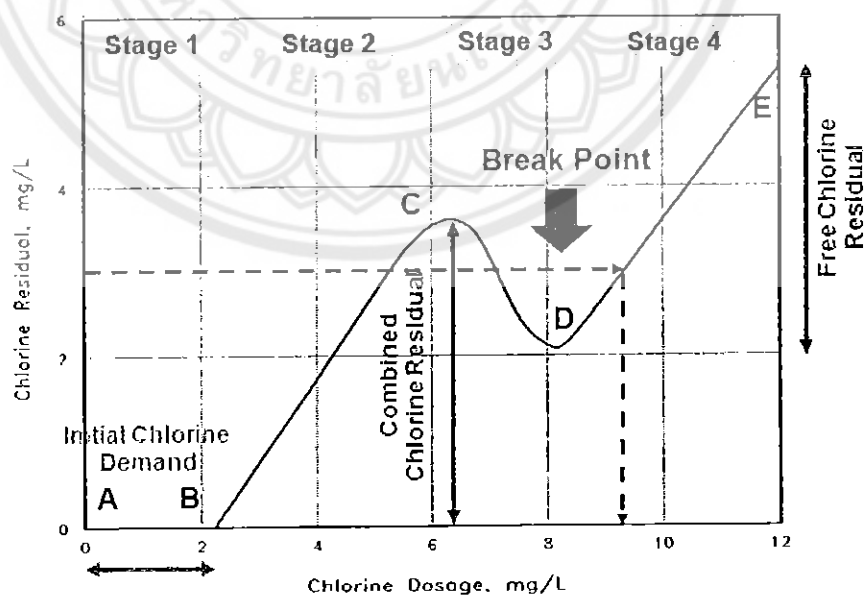
ปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (Natural Organic Matters, NOMs) HOCl มีสารที่มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูง เนื่องจากเป็นสารที่สามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ง่าย เข้าไปทำลายการทำงานต่างๆในเซลล์ ทั้ง HOCl และ OCl^- สามารถทำปฏิกิริยากับ NOMs ดังสมการ



คลอรีนตกค้างรวม (Combine Chlorine Residual) กระบวนการ Chloramination หมายถึง กระบวนการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้สารประกอบคลอรามิน คลอรีนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย เกิดเป็นสารประกอบคลอรามินขึ้น 3 ตัว คลอรีนตกค้างรวมเป็นรูปที่มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคน้อยกว่าคลอรีนอิสระ ทำให้ต้องใช้ในปริมาณที่สูงกว่าและต้องมีระยะเวลาสัมผัสที่นานกว่า กระบวนการ Post-disinfection ในระบบส่งจ่ายน้ำ (Distribution System) ที่มีความยาวมากนอกเหนือจากกระบวนการฆ่าเชื้อโรคเดิมที่มีอยู่แล้ว แต่ข้อได้เปรียบที่สำคัญอีกประการคือ ไม่ก่อให้เกิด THMs

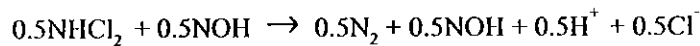
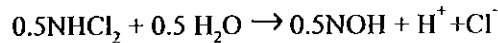
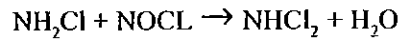
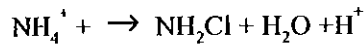


Breakpoint Chlorination เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นช่วง AB เป็นช่วงที่คลอรีนจะออกซิไดซ์สารประกอบต่างๆที่อยู่ในน้ำ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ช่วงแรกจะตรวจไม่พบคลอรีนจนกว่าจะสิ้นสุดความต้องการคลอรีนที่จุด B ช่วง BC เป็นช่วงที่คลอรีนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นคลอรีนตกค้างรวมในรูปของคลอรามีน ซึ่งคลอรีนตกค้างรวมจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนถึงระดับสูงสุดตามปริมาณคลอรีนที่เติมลงไป สำหรับสัดส่วนจำนวนโมลของคลอรีนต่อแอมโมเนียที่น้อยกว่า 1 จะเกิด Monochloramine และ Dichloramine ขึ้นอยู่กับพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ หากเติมคลอรีนเพิ่มเข้าไปอีกคลอรีนจะตกค้างรวมจะมีค่าลดลงจนถึงจุด D เรียกว่า Breakpoint Chlorination ซึ่งเป็นจุดคลอรามีนถูกออกซิไดซ์เป็นออกไซด์ของไนโตรเจนหรือก๊าซอื่นๆ เช่น N_2O และ N_2 เกือบทั้งหมด ขณะที่คลอรีนก็จะถูกรีดิวซ์เป็นคลอไรด์ไอออนและถ้าเติมคลอรีนต่อเนื่องเพิ่มเข้าไปอีก จากจุดนี้ไปคลอรีนตกค้างอิสระจะเกิดขึ้นในอัตราเดียวกับอัตราการเติมคลอรีนต่อเนื่องเพิ่มเข้าไปอีก จากจุดนี้ไปคลอรีนตกค้างอิสระจะเกิดขึ้นในอัตราเดียวกับอัตราการเติมคลอรีนลงไปในน้ำ ซึ่งในทฤษฎีพบว่า สัดส่วนคลอรีนต่อแอมโมเนียในโตรเจนที่จุด D มีค่าประมาณ 7.6:1 และมีค่าประมาณ 5.0:1 ที่จุด C รูปกราฟทั่วไปของการทำ Breakpoint Chlorination แสดงดังรูปที่ 2.2

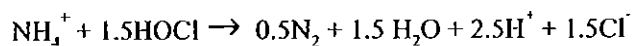


รูปที่ 2.21 กราฟคลอรีนตกค้าง (ดัดแปลงจาก Qasim et al., 2000)

ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ในการถูกออกซิไดซ์ของคลอรามินเป็น N_2O และ N_2 ในช่วง CD สมการ
ทำ Breakpoint Chlorination แสดงดังสมการ



สามารถเขียนเป็นสมการรวม ได้ดังนี้



ปัญหาเรื่อง กลิ่นจากกระบวนการ Breakpoint Chlorination อาจเกิดได้จากไนโตรเจนไตร
คลอไรด์และสารอื่นๆ สารอินทรีย์ในโตรเจนที่อยู่ในน้ำส่งผลต่อลักษณะของเส้นโค้งของการทำ
Breakpoint Chlorination

การเติมคลอรีนลงในน้ำ จะเกิดคลอไฮโดรคลอริกขึ้นระหว่างกระบวนการ Chlorination ซึ่งจะ
ทำปฏิกิริยากับความเป็นด่าง (Alkalinity) ในน้ำ ในทางทฤษฎีมีความต้องการความเป็นด่าง 14.3 มก./ล.
ของ $CaCO_3$ ต่อ 1.0 มก./ล. ของแอมโมเนียในโตรเจนที่ถูกออกซิไดซ์ในการทำ Breakpoint
Chlorination

ข. คลอรีนที่เติมและตกค้าง (Chlorine Doseage and Residuals) ปริมาณคลอรีนที่
เติมลงไปให้น้ำเพื่อให้เหลือตกค้างตามที่ต้องการ ณ จุดสิ้นสุดของเวลาสัมผัส เรียกว่า Chlorine
Doseage ซึ่งคลอรีนส่วนที่ตกค้าง หมายถึง ปริมาณที่เติมลงไปหักลบด้วยความต้องการคลอรีนที่เกิด
จากสารประกอบและสารอินทรีย์ที่ปรากฏในน้ำ การทดสอบ Chlorine Doseage ที่จำเป็นต้องใช้ใน
โรงผลิตน้ำประปาอาจจำเป็นต้องทำการทดสอบในระดับ Bench Scale หรือ Point Plant

Chlorine Doseage มีค่าแปรผันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำดิบ อุณหภูมิ และสภาพอากาศใน
แต่ละพื้นที่โดยปกติควรมีปริมาณคลอรีนตกค้างรวมประมาณ 0.5 – 1.0 มก./ล. ที่จุดปลายของระบบ
แจกจ่ายน้ำประปา ระบบจะต้องรักษาระดับปริมาณคลอรีนตกค้างในช่วงเวลาสัมผัสที่เกิดขึ้นในโรง
ผลิตน้ำประปา เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจุลินทรีย์จะไม่กลับมาเจริญเติบโตขึ้นมาได้อีกครั้ง

ก. Actual and Available Chlorine เป็นค่าร้อยละที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ
ของสารที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ คำนวณได้จากสมการ ค่า Available Chlorine เป็นค่าที่ใช้
เปรียบเทียบอำนาจในการออกซิไดซ์ของสารประกอบคลอรีน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของวาเลนซ์ของคลอรีน
ในสารประกอบที่ถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นวาเลนซ์เท่ากับ 1 ซึ่งอาศัยครึ่งปฏิกิริยาจากตารางที่ 2.15

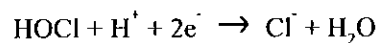
ตารางที่ 2.12 แสดงค่าคงที่การแตกตัวของ HOCl ที่อุณหภูมิต่างๆ (Metcalf and Eddy, 2003)

| Disinfectant | Half reaction | Oxidation potential, ^b V |
|-------------------|---|-------------------------------------|
| Ozone | $O_3 + 2e^- \leftrightarrow O_2 + H_2O$ | +2.07 |
| Hydrogen peroxide | $H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$ | +1.78 |
| Permanganate | $MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \leftrightarrow MnO_2 + 2H_2O$ | +1.67 |
| Chlorine dioxide | $ClO_2 + e^- \leftrightarrow ClO_2^-$ | +1.50 |
| Hypochlorous acid | $HOCl + H^+ + 2e^- \leftrightarrow Cl^- + H_2O$ | +1.49 |
| Hypoiodous acid | $HOI + H^+ + e^- \leftrightarrow 1/2I_2 + H_2O$ | +1.45 |
| Chlorine gas | $Cl_2 + 2e^- \leftrightarrow 2Cl^-$ | +1.36 |
| Oxygen | $O_2 + 4H^+ + 4e^- \leftrightarrow 2H_2O$ | +1.23 |
| Bromine | $Br_2 + 2e^- \leftrightarrow 2Br^-$ | +1.09 |
| Hypochlorite | $OCl^- + H_2O + 2e^- \leftrightarrow Cl^- + 2OH^-$ | +0.90 |
| Chlorite | $ClO_2^- + 2H_2O + 4e^- \leftrightarrow Cl^- + 4OH^-$ | +0.76 |
| Iodine | $I_2 + 2e^- \leftrightarrow 2I^-$ | +0.54 |

$$\% (Cl_2)_{\text{actual}} = \frac{(\text{weight of chlorine in compound})}{(\text{molecular weight of compound})} \times 100$$

$$\% (Cl_2)_{\text{available}} = [Cl \text{ equivalent}] [\% (Cl_2)_{\text{actual}}]$$

เช่น HOCl มีครึ่งปฏิกิริยาดังตารางที่ 2.13 ค่า Actual Chlorine เท่ากับ 67.7 % [(35.5/52.5)*100] และ Chlorine Equivalent เท่ากับ 2 เนื่องจากมีอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2 ดังนั้น Actual Chlorine จึงมีค่า 135.4 % (2*67.7) ตารางที่ 2.14 ค่า Actual และ Actual Chlorine ของสารประกอบต่างๆ



ตารางที่ 2.13 ค่า Actual และ Available chlorine (Metcalf and Eddy, 2003)

| Compound | Molecular weight | Chlorine equivalent | Actual chlorine% | Available chlorine% |
|----------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| Cl ₂ | 71 | 1 | 100 | 100 |
| Cl ₂ O | 87 | 2 | 81.7 | 163.4 |
| ClO ₂ | 67.5 | 5 | 52.5 | 260 |
| CaClOCl | 127 | 1 | 56 | 56 |
| Ca(OCl) ₂ | 143 | 2 | 49.6 | 99.2 |
| HOCl | 52.5 | 2 | 67.7 | 135.4 |
| NaClO ₂ | 90.5 | 4 | 39.2 | 157 |
| NaOCl | 74.5 | 2 | 47.7 | 95.4 |
| NHCl ₂ | 86 | 2 | 82.5 | 165 |
| NH ₂ Cl | 51.5 | 2 | 69 | 138 |

Valence change to obtain reduced form of chloride (Cl⁻)

ตารางที่ 2.14 ความต้องการคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Qasim et al., 2000)

| Treatment Objective | Chlorin Dosage, mg/L | Contact Time, min | pH Range |
|--|--|-------------------|-------------------------|
| Combined chlorine residual | 1-5 | a | 7-8 |
| Free chlorine residual | 0.5-4 | b | 7-8 |
| Breakpoint reaction | 6-8 times NH ₃ ^b | 30 | 6.5- 8.5(7.5optimum) |
| Monochloramine formation (Some dichloramine will form if pH drops below 7.) | 3-4 times NH ₃ ^b | 20 | 7-8 |
| Free chlorine residual formation | 6-8 times NH ₃ ^b | 20 | 6.5-8.5 |

a As needed for CT requirement.

b Expressed in mg/L as NH₃

ง. การออกแบบระบบคลอรีน (Design of Chlorine Systems) ระบบฆ่าเชื้อโรค ด้วยคลอรีนประกอบด้วย 1 แหล่งคลอรีน 2 การเก็บรักษา 3 มาตรการด้านความปลอดภัย 4 ระบบ ป้อนคลอรีน 5 หัวจ่ายและการผสม และ 6 ระบบควบคุม

คลอรีนในรูปก๊าซ มักบรรจุมาในรูปของเหลวภายใต้ความดัน ในภาชนะทรงกระบอกขนาด ต่างกันตั้งแต่ 45.4 ,68 กก. และ 907 กก. หรือเรียกว่า Ton - Container หากเป็นปริมาณมากจะใช้ ภาชนะขนาดใหญ่ที่ลำเลียงทางรถไฟ ถึงขนาด 55-90 ตัน หรือขนาด 15-22 ตัน สำหรับการลำเลียง ทางรถยนต์ การเลือกขนาดบรรจุ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณที่ต้องใช้เทคโนโลยีที่ต้องใช้ในระบบ ถึง ทรงกระบอกมักเหมาะกับโรงงานขนาดเล็ก ขณะที่ขนาด 907 กก.เหมาะกับ โรงงานขนาดกลาง

การเก็บกักและการหยิบจับ จะต้องพิจารณาความปลอดภัย เนื่องจากคลอรีนมีความเป็นพิษ และการกักคร่อนสูง ถึงทรงกระบอกหรือ Ton - Container จะต้องอยู่ภายในอาคาร ควรออกแบบให้มี องค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ (1) Auxiliary Valve, Flexible Copper Tube, Fitting Valve, Shut-Off Valve, (2) เครื่องชั่ง (3) เครื่องขนาด 4 ตัน สำหรับ Ton - Container (4) ตัวกรองก๊าซ (5) Pressure Reducing Valve (6) Pressure Gauge (7) ระบบตรวจวัดการรั่วไหล และ (8) ชุดซ่อมฉุกเฉิน เป็นต้น

การขนส่ง การกักเก็บ การหยิบจับ และการใช้สารวัตถุพิษต่างๆ เช่น คลอรีน แอม โมเนีย คลอรีนออกไซด์ จะต้องปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อป้องกันอันตรายแก่ผู้ใช้งานและ สิ่งแวดล้อม โดยรอบเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ขอพิจารณาเพื่อความปลอดภัยของระบบ ได้แก่ ถ้าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ การระบายอากาศ การป้องกันภัยใหม่ การขนย้ายและการจก เก็บ ระบบการป้อนและการติดตาม วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องให้ความสำคัญโดยอาศัยคำแนะนำจาก สถาบันที่เกี่ยวข้อง เพื่อความปลอดภัย

ระบบการจ่ายคลอรีน ประกอบด้วย Chlorine Withdrawal, Evaporater, Autometric Swichover, Regularator, Chlorinator, Injector Systems, Diffusion, Mixing, Control Systems เป็นต้น

จ. การฆ่าเชื้อโรค ด้วยสารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Diffusion Hypochlorine Compounds) จากความเป็นพิษ การขนส่ง การเก็บกัก และการหยิบจับคลอรีน เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ โรงประปาเลือกใช้สารประกอบไฮโปคลอไรต์ แทนคลอรีนในรูปก๊าซ แม้ว่าสารประกอบไฮโป คลอไรต์ จะมีราคาสูงกว่าแต่ไม่ต้องมีมาตรการที่เข้มงวดเท่ากับการใช้คลอรีนในรูปก๊าซ โดยเฉพาะใน แห่งของการป้องกันอุบัติเหตุ จึงเป็นเหตุผลให้โรงประปาหลายแห่งเปลี่ยนมาใช้สารประกอบไฮโปคลอ ไรต์แทนคลอรีนในรูปก๊าซ

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอรีนร้อยละ 1.5-15 ในถังบรรจุ ขนาด 4.9 และ 7.6 ลบ.ม. แต่สารละลายดังกล่าวจะเสื่อมได้อย่างรวดเร็วหากสัมผัสกับแสงแดดและ ความร้อน ขณะที่แคลเซียมไฮโปคลอไรต์เกรดสูงที่มีความเข้มข้นคลอรีนกว่าร้อยละ 70 ในรูปแบบผง แบบเกล็ด และแบบเม็ดบรรจุขนาด 45-360 กก. การใช้สารประกอบไฮโปคลอไรต์ ควรเก็บไว้ในที่ แห้งและเย็นเพื่อยืดอายุการใช้งาน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาปริมาณสาร โคแอกกูแลท์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำประปาของน้ำใน
แม่น้ำน่านและแม่น้ำยม มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ทำการทดลองโดยเก็บตัวอย่างน้ำที่แม่น้ำ 2 สายละ 1 จุด โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่แม่น้ำน่านที่วัด
กู่จวารี ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และแม่น้ำยมที่บ้านเลขที่ 31/5 ตำบลบางระกำ
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้สารเคมี 3 สารคือ สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต มาทำการ
ทดสอบจาร์เทสต์และหาค่าความขุ่น พีเอช และความเป็นด่างตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 ถึงเดือน
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยมีรายละเอียดและวิธีการดังนี้

3.1 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำผิวน้ำ โดยใช้ถังพลาสติกขนาด 6 ลิตร เก็บแบบจ้วงตัก (Gab sampling) เพื่อ
นำไปทดสอบ



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

3.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำ

ตารางที่ 3.1 การทดสอบสมบัติของน้ำ

| สมบัติ | วิธีการทดลอง | หมายเหตุ |
|--|--|------------------------|
| อุณหภูมิ pH ความเป็นด่าง ความขุ่น | เทอร์โมมิเตอร์ pH Meter (Denver Instrument) การไตเตรท สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Beothal Bangkok Equipment) | เครื่องวัดความขุ่นขาวค |

3.3 การทดลองจาร์เทสต์



รูปที่ 3.2 เครื่องจาร์เทสต์ชนิด 6 ไบพัต (Phipps&Bird Model 7790-902B)

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจาร์เทสต์

- ก. เครื่องจาร์เทสต์ ชนิด 6 ไบพัต
- ข. บีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร 6 ใบ
- ค. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร 6 ใบ
- ง. ปีเปตขนาด 1 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร อย่างละ 1 อัน
- จ. เครื่องมือสำหรับหาค่า pH , อัลคาไลน์ดี , ความขุ่น และอุณหภูมิ

ก. กระบอกตวงขนาด 1000 และ 50 มิลลิลิตร

การทดสอบจาร์เทสในที่นี้เลือกใช้สารประกอบด้วย สารส้ม สารฟิเอซี และสารเฟอร์ริก ซัลเฟ เป็นสารเคมีระดับ Commercial grade หรือ Lab grade ปริมาณสารเคมีที่ใช้เป็นสารที่ได้จากการ ชั่งน้ำหนักเนื่องจากไม่ทราบร้อยละความบริสุทธิ์ของสาร

3.3.2 ขั้นตอนการทดลองจาร์เทสต์

1. วัดค่าความขุ่น ,พีเอช และความปั่นด่างของตัวอย่างน้ำดิบที่จะนำมาทดลอง
2. ตวง น้ำดิบด้วยกระบอกตวงเทใส่ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร
3. กดให้ใบพัดของเครื่องจาร์เทสต์จุ่มลงใบบีกเกอร์จนเกือบถึงก้นบีกเกอร์ทุกใบ
4. เปิดสวิตซ์ให้ใบพัดของเครื่องจาร์เทสต์หมุนให้มีความเร็ว 100 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 1 นาที ตามการกวนเร็วที่กำหนดไว้
5. ในกรณีที่ต้องมีการเติมปูนขาวลงในน้ำดิบเพื่อปรับ pH ให้เหมาะสมต่อการตกตะกอน ให้มีการจัดเตรียมดวงปริมาตรสารละลายปูนขาวที่เหมาะสมลงในชุดเทสารเคมีไว้เท่ากันทั้ง 6 หลอด
6. เทสารละลายปูนขาวลงในตัวอย่างน้ำพร้อมๆกันทั้ง 6 บีกเกอร์รอเวลาประมาณ 10-15 วินาทีจากนั้นเทสารละลายสารส้มที่จัดเตรียมไว้แล้วในชุดเทสารเคมีโดยในหลอด ที่ 1 ไม่มีการตวง สารละลายสารส้มใส่ไว้ โดยหลอดที่ 2-6 ปริมาตรสารละลายสารส้มจะเพิ่มขึ้นในแต่ละหลอดเรียง ตามลำดับจวบจนที่ปริมาตรสารส้มที่ใช้ไว้ในตารางผลการทดลอง
7. เมื่อครบกำหนดเวลาการกวนเร็วตามที่ระบุไว้ในตารางผลการทดลองให้ปรับความเร็ว รอบของเครื่องจาร์เทสต์ลดลงเป็น 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที เป็นความเร็วการกวนช้า
8. หลังจากครบกำหนดการกวนช้าขั้นที่ 3 แล้วหยุดการทำงานของมอเตอร์กวนแล้วดึง ใบพัดขึ้นจากบีกเกอร์ทั้งหมด แล้วปล่อยให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที
9. เมื่อครบกำหนดเวลาในการตกตะกอนแล้ว ค่อยๆเทน้ำส่วนใสส่วนบนประมาณ 200 มิลลิลิตร ไปทำการวิเคราะห์หาค่า ความขุ่น พีเอช และความปั่นด่าง

3.4 แผนการดำเนินการทดลอง



รูปที่ 3.5 แผนการดำเนินการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

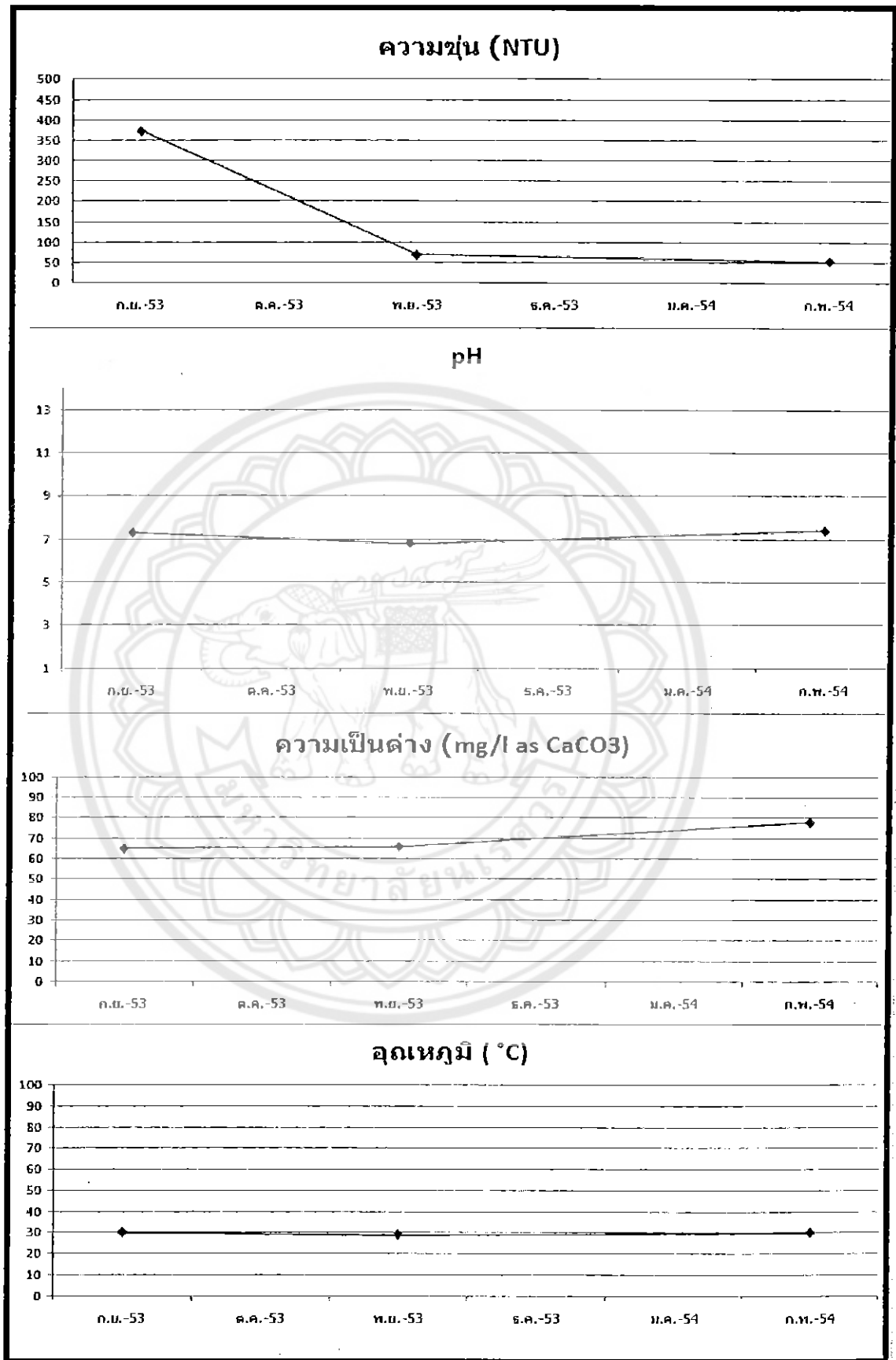
การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาปริมาณการใช้สาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต น้ำประปา ของแม่ น้ำน่าน และแม่ น้ำยม ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2553 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 แม่ น้ำละ 1 จุดแม่ น้ำน่านเก็บตัวอย่างน้ำที่ วัดคุ้มวารี ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และแม่ น้ำยมเก็บตัวอย่างน้ำที่บ้านเลขที่ 31/5 ตำบลบางระกำ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โค ย ใช้ สาร โคแอกกูแลนต์ 3 ชนิดคือ สารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต โดยที่สารส้มและพีเอซีเป็นสาร ระดับ Comercial grade ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตใช้สารเคมีระดับ Lab grade ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือการทดสอบสมบัติของน้ำดิบ และการทดสอบจาร์เทสต์ การทดลองนี้มีการทดสอบน้ำ สายละ 3 รอบ รอบที่ 1 ในเดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2553 รอบที่ 2 ในเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 และรอบที่ 3 ในเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2554

4.1 ผลการทดสอบน้ำดิบ

4.1.1 การทดสอบน้ำดิบจากแม่ น้ำน่านตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 โดยทำการเก็บน้ำจากแม่ น้ำน่าน 3 รอบแล้วนำมาทดสอบหาความขุ่น พีเอช ความเป็น ด่าง และอุณหภูมิ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดสอบน้ำดิบจากแม่ น้ำน่าน

| พารามิเตอร์ | ก.ย.-53 | พ.ย.-53 | ก.พ.-54 |
|---|---------|---------|---------|
| ความขุ่น (NTU) | 373.0 | 69.0 | 53.0 |
| pH | 7.30 | 6.80 | 7.40 |
| ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 65 | 66 | 78 |
| อุณหภูมิ (°C) | 30.0 | 29.0 | 30.0 |



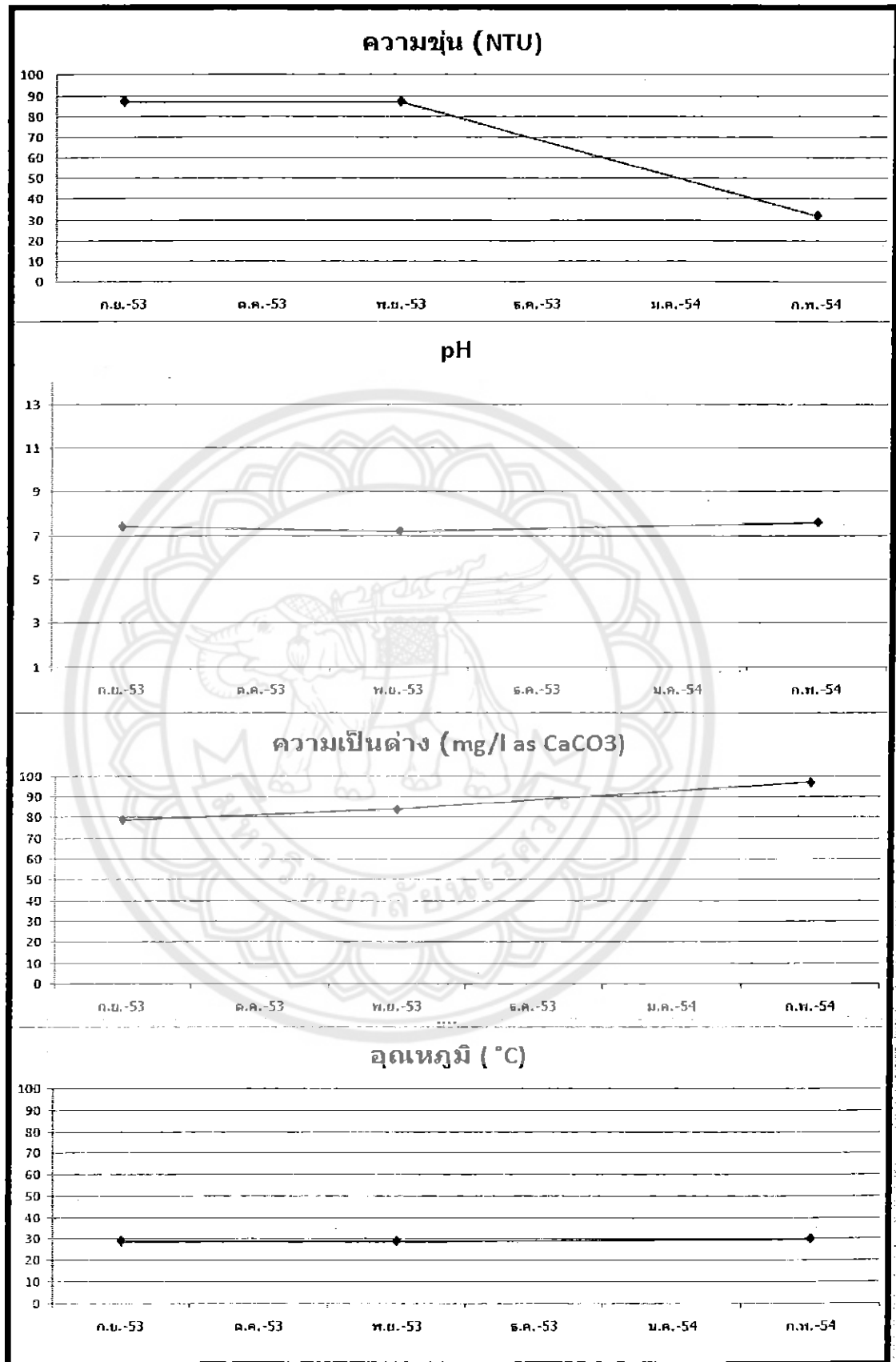
รูปที่ 4.1 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำท่าจีน

จากผลการทดสอบมีลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของแม่น้ำน่านในช่วงเดือนกันยายน พบว่าแม่น้ำน่านมีความขุ่นประมาณ 373 NTU ค่าพีเอชประมาณ 7.3 ค่าความเป็นด่างประมาณ 65 mg/l as CaCO₃ อุณหภูมิเท่ากับ 30 °C ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พบว่าแม่น้ำน่านมีความขุ่นประมาณ 69 NTU ค่าพีเอชประมาณ 6.8 ค่าความเป็นด่างประมาณ 67 mg/l as CaCO₃ อุณหภูมิเท่ากับ 29 °C ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าแม่น้ำน่านมีความขุ่นประมาณ 53 NTU ค่าพีเอชประมาณ 7.3 ค่าความเป็นด่างประมาณ 78 mg/l as CaCO₃ อุณหภูมิเท่ากับ 30 °C ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลพบว่าแม่น้ำน่านมีความขุ่นสูงสุดในฤดูฝนและลดลงอย่างมากในช่วงฤดูแล้งขณะที่ค่าความเป็นด่างและพีเอชมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

4.1.2 การทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยม ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นด่าง

ตารางที่ 4.2 การทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยม

| พารามิเตอร์ | ก.ย.-53 | พ.ย.-53 | ก.พ.-54 |
|---|---------|---------|---------|
| ความขุ่น (NTU) | 650.5 | 87.0 | 32.0 |
| pH | 7.40 | 7.20 | 7.60 |
| ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 79 | 84 | 97 |
| อุณหภูมิ (°C) | 29.0 | 29.0 | 30.0 |



รูปที่ 4.2 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยม

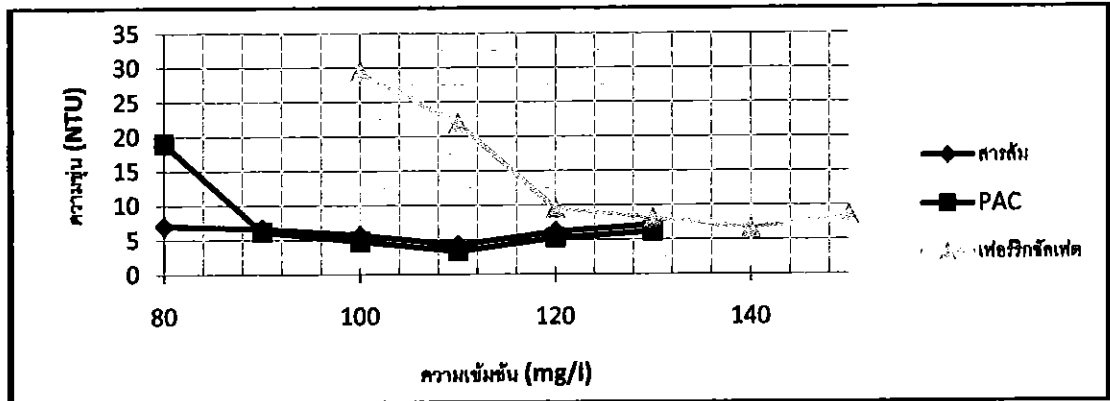
จากผลการทดสอบมีลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของแม่น้ำยมในช่วงเดือนกันยายน พบว่าแม่น้ำยมมีความขุ่นประมาณ 650.5 NTU ค่าพีเอชประมาณ 7.4 ค่าความเป็นด่างประมาณ 79 mg/l as CaCO₃ อุณหภูมิเท่ากับ 29 °C ในช่วงเดือนพฤศจิกายนพบว่าแม่น้ำยมมีความขุ่นประมาณ 87 NTU ค่าพีเอชประมาณ 7.2 ค่าความเป็นด่างประมาณ 84 mg/l as CaCO₃ อุณหภูมิเท่ากับ 29 °C ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์พบว่าแม่น้ำยมมีความขุ่นประมาณ 31 NTU ค่าพีเอชประมาณ 7.6 ค่าความเป็นด่างประมาณ 99 mg/l as CaCO₃ อุณหภูมิเท่ากับ 30 °C ซึ่งจากข้อมูลพบว่าแม่น้ำยมมีความขุ่นสูงสุดในฤดูฝนและลดลงอย่างมากในช่วงฤดูแล้ง ขณะที่ค่าความเป็นด่างและพีเอชมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

4.2 ผลการทดสอบจาร์เทสของแม่น้ำน่าน

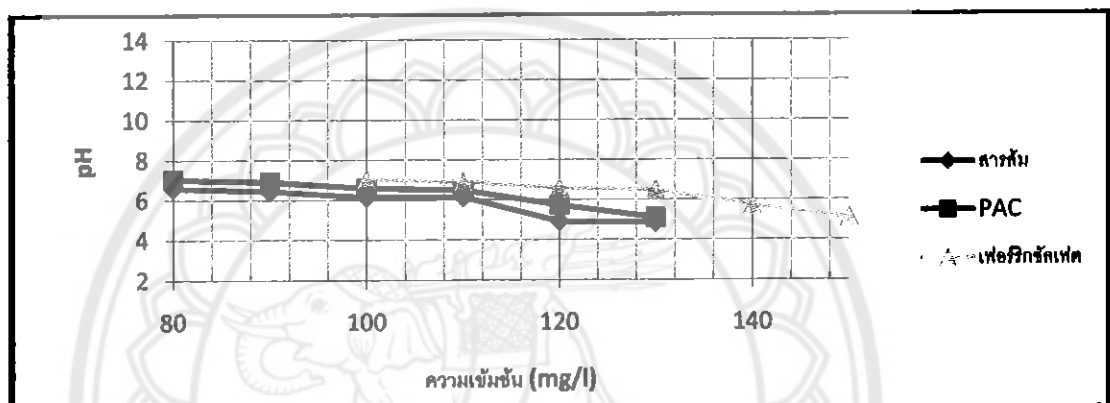
4.2.1 ผลการทดสอบจาร์เทสคือน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นด่าง โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งรอบที่ 1 จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีคร่าวๆ ที่ละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมคร่าวๆ ก่อนดังตารางที่ 4.3 แล้วซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีแบบละเอียดอีกครั้งในรอบที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบจาร์เทสคือน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1

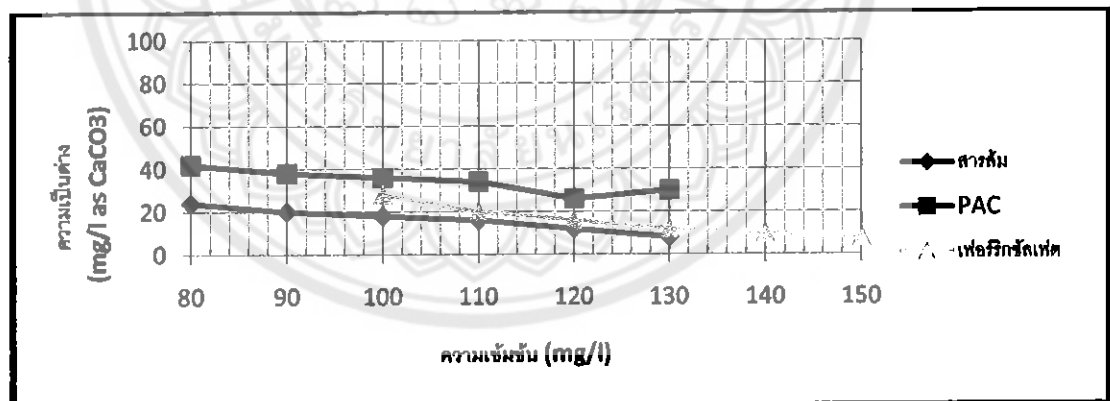
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| | ความขุ่น (NTU) | 7.0 | 6.6 | 5.7 | 4.2 | 6.1 | 7. |
| | pH | 6.60 | 6.45 | 6.15 | 6.15 | 4.92 | 4.86 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 24 | 20 | 18 | 16 | 12 | 8 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| | ความขุ่น (NTU) | 19.0 | 6.1 | 4.7 | 3.3 | 5.2 | 6.1 |
| | pH | 7.05 | 6.91 | 6.60 | 6.50 | 5.73 | 5.11 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 42 | 38 | 36 | 34 | 26 | 30 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| | ความขุ่น (NTU) | 29.4 | 21.9 | 9.5 | 8.1 | 6.6 | 8.5 |
| | pH | 7.05 | 6.91 | 6.60 | 6.50 | 5.73 | 5.11 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 28 | 20 | 16 | 12 | 10 | 8 |



รูปที่ 4.3 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1



รูปที่ 4.4 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1



รูปที่ 4.5 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1

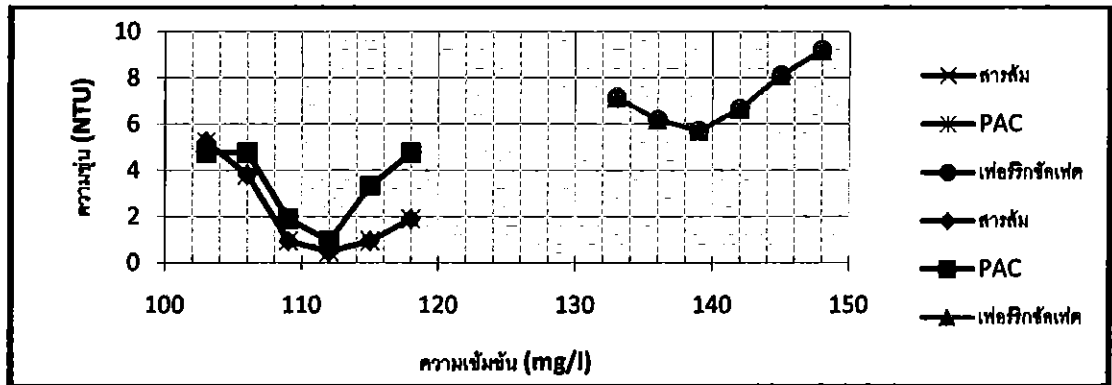
ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน รอบที่ 1 ในช่วงเดือนกันยายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าฝนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 373 NTU ซึ่งจากการทดสอบในรอบแรก พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 110-120 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชที่มีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 110-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-150 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นด่างและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-150 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นค่าและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

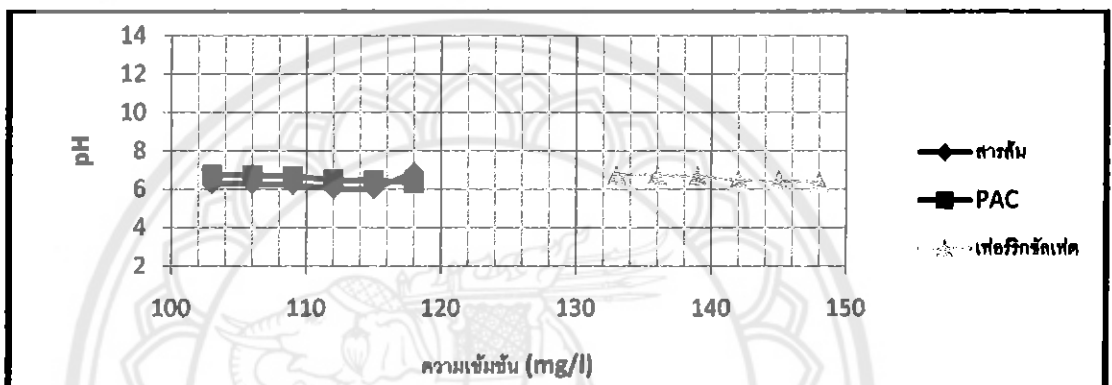
4.2.2 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นค่า โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งการทดสอบในรอบที่ 2 นี้จะทำการแปรเปลี่ยนสารเคมีทั้งสามชนิดให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2

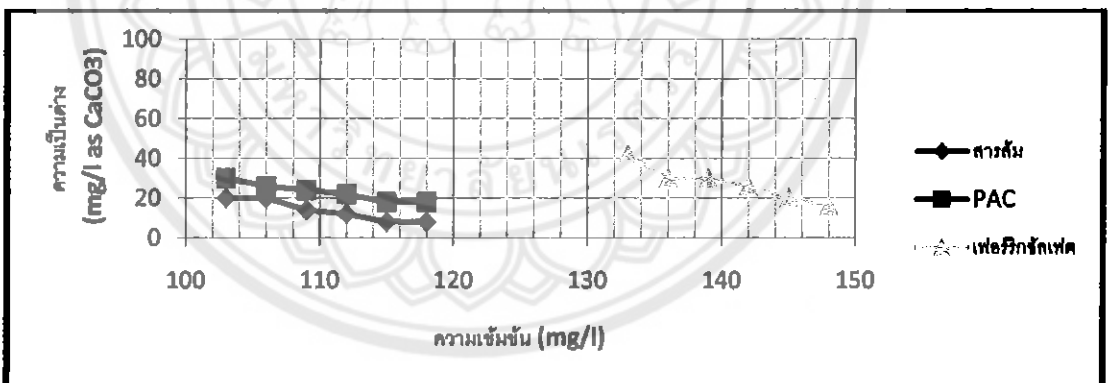
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|--|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 103 | 106 | 109 | 112 | 115 | 118 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.2 | 3.8 | 0.9 | 0.4 | 0.9 | 1.9 |
| | pH | 6.30 | 6.28 | 6.23 | 6.03 | 6.01 | 6.89 |
| | ความเป็นค่า (mg/l as CaCO ₃) | 20 | 20 | 14 | 12 | 8 | 8 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 103 | 106 | 109 | 112 | 115 | 118 |
| | ความขุ่น (NTU) | 4.7 | 4.7 | 1.9 | 0.9 | 3.3 | 4.7 |
| | pH | 6.75 | 6.73 | 6.68 | 6.48 | 6.46 | 6.34 |
| | ความเป็นค่า (mg/l as CaCO ₃) | 30 | 26 | 24 | 22 | 18 | 18 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 133 | 136 | 139 | 142 | 145 | 148 |
| | ความขุ่น (NTU) | 7.1 | 6.1 | 5.7 | 6.6 | 8.1 | 9.1 |
| | pH | 6.75 | 6.73 | 6.68 | 6.48 | 6.46 | 6.34 |
| | ความเป็นค่า (mg/l as CaCO ₃) | 42 | 30 | 30 | 26 | 20 | 16 |



รูปที่ 4.6 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่ให้น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2



รูปที่ 4.7 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่ให้น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2



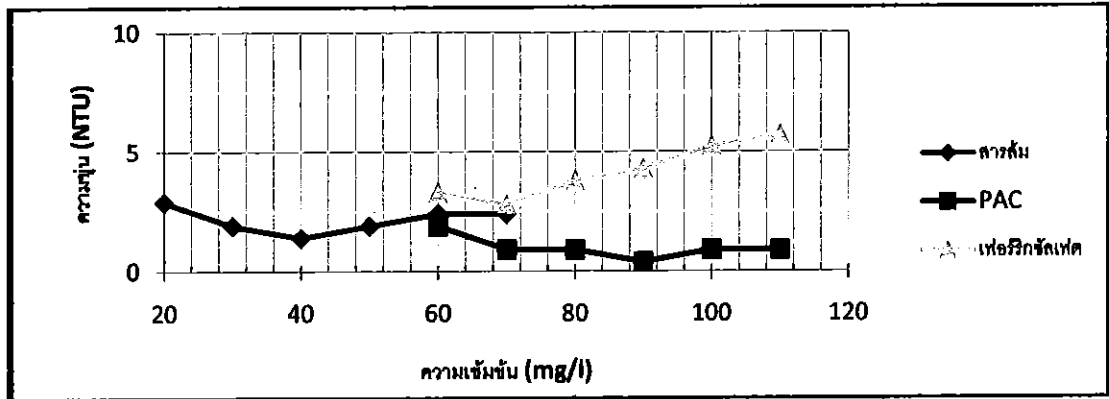
รูปที่ 4.8 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่ให้น้ำน่านเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่ให้น้ำน่าน รอบที่ 2 ในช่วงเดือนกันยายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าฝนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 373 NTU จากการทดสอบในรอบที่ 2 พบว่าปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 112, 112 และ 139 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

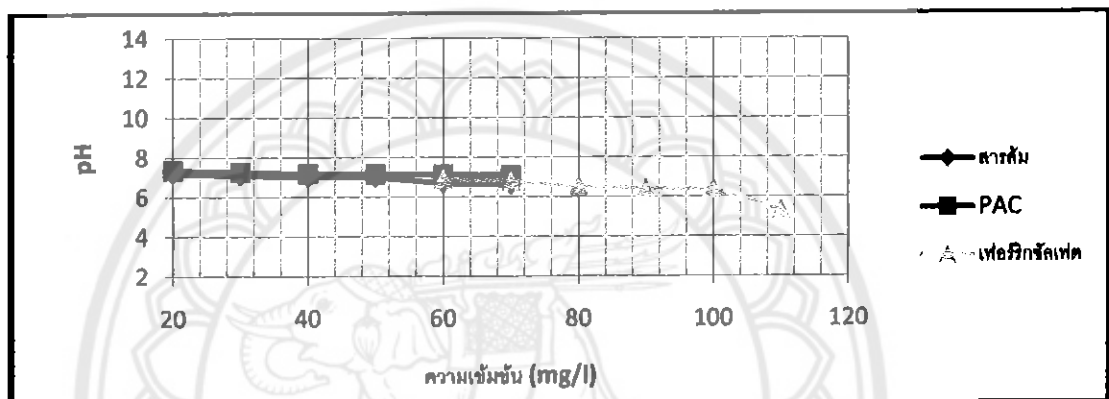
4.2.3 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 โดยทำการทดสอบความขุ่น ทีเอช และความป็นค่า่ง โดยใช้สารส้ม ทีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งรอบที่ 1 จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีคร่าวๆ ทีละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมคร่าวๆ ก่อนดังตารางที่ 4.5 แล้วซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีแบบละเอียดอีกครั้งในรอบที่ 2

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1

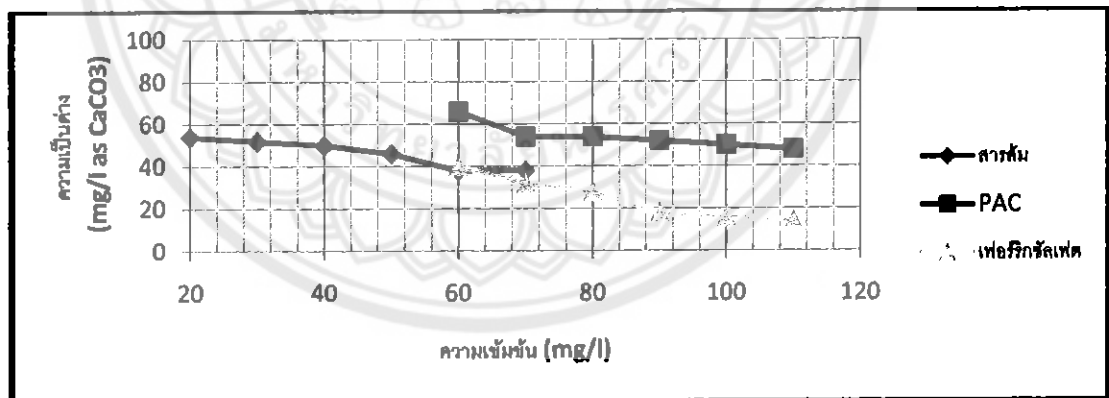
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|--|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| | ความขุ่น (NTU) | 3.8 | 2.3 | 1.9 | 1.4 | 0.9 | 1.9 |
| | pH | 7.03 | 6.94 | 6.47 | 6.64 | 6.45 | 6.36 |
| | ความเป็นค่า่ง (mg/l as CaCO ₃) | 34 | 34 | 34 | 28 | 28 | 26 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| | ความขุ่น (NTU) | 19.5 | 1.4 | 1.4 | 0.9 | 1.4 | 1.4 |
| | pH | 7.39 | 7.26 | 7.18 | 7.08 | 7.00 | 7.66 |
| | ความเป็นค่า่ง (mg/l as CaCO ₃) | 54 | 54 | 52 | 50 | 50 | 44 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| | ความขุ่น (NTU) | 4.2 | 3.3 | 1.9 | 1.4 | 2.3 | 2.3 |
| | pH | 6.91 | 6.85 | 6.60 | 6.59 | 6.44 | 6.17 |
| | ความเป็นค่า่ง (mg/l as CaCO ₃) | 44 | 38 | 36 | 32 | 28 | 24 |



รูปที่ 4.9 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1



รูปที่ 4.10 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1



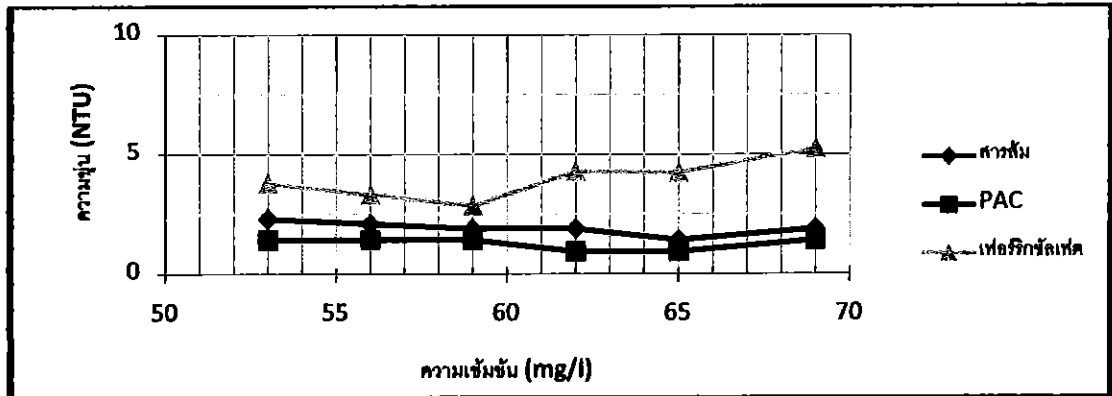
รูปที่ 4.11 ความเป็นค่าจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน รอบที่ 1 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2553 ถึง ธันวาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าหนาวน้ำดิบมีความขุ่นที่ 69 NTU ซึ่งจากการทดสอบในรอบแรก พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นค่าและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

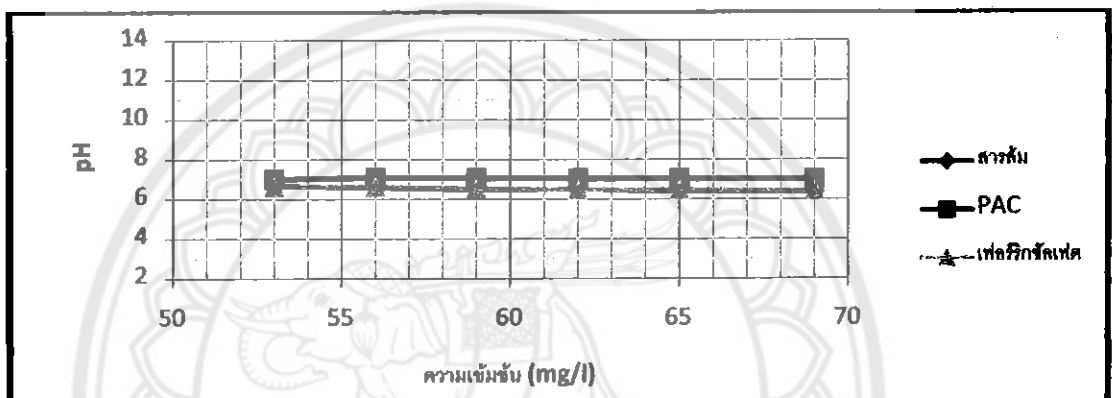
4.2.4 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำท่าจีนเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นด่างโดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งการทดสอบในรอบที่ 2 นี้จะทำการแปรเปลี่ยนสารเคมีทั้งสามชนิดให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1 ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำท่าจีนเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2

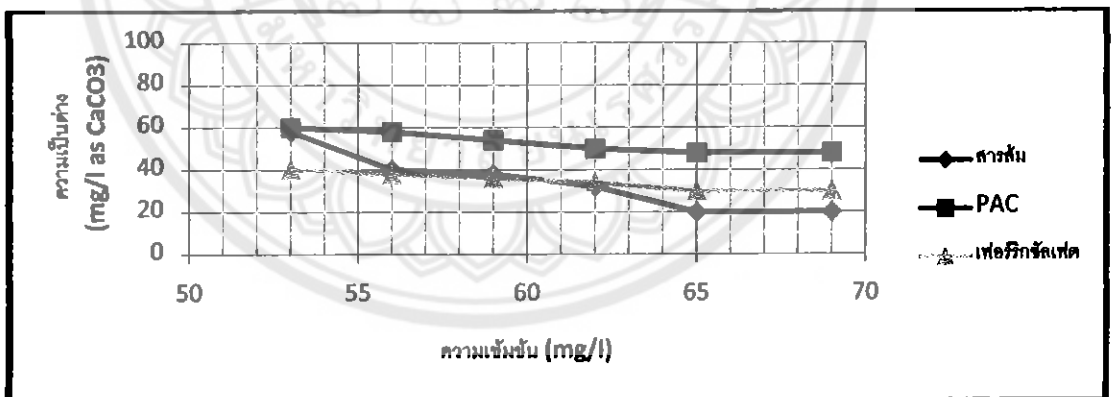
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|-------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 53 | 56 | 59 | 62 | 65 | 69 |
| | ความขุ่น (NTU) | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 1.9 | 1.4 | 1.9 |
| | pH | 6.67 | 6.60 | 6.51 | 6.49 | 6.43 | 6.39 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 58 | 40 | 38 | 32 | 20 | 20 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 53 | 56 | 59 | 62 | 65 | 69 |
| | ความขุ่น (NTU) | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 0.9 | 0.9 | 1.4 |
| | pH | 7.02 | 7.100 | 7.07 | 7.05 | 7.04 | 7.02 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 60 | 58 | 54 | 50 | 48 | 48 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 53 | 56 | 59 | 62 | 65 | 69 |
| | ความขุ่น (NTU) | 3.8 | 3.3 | 2.8 | 4.2 | 4.2 | 5.2 |
| | pH | 6.63 | 6.63 | 6.56 | 6.48 | 6.48 | 6.42 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 40 | 38 | 36 | 34 | 30 | 30 |



รูปที่ 4.12 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์ทดสอบแม่ให้น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2



รูปที่ 4.13 พีเอชจากการทดสอบจาร์ทดสอบแม่ให้น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2



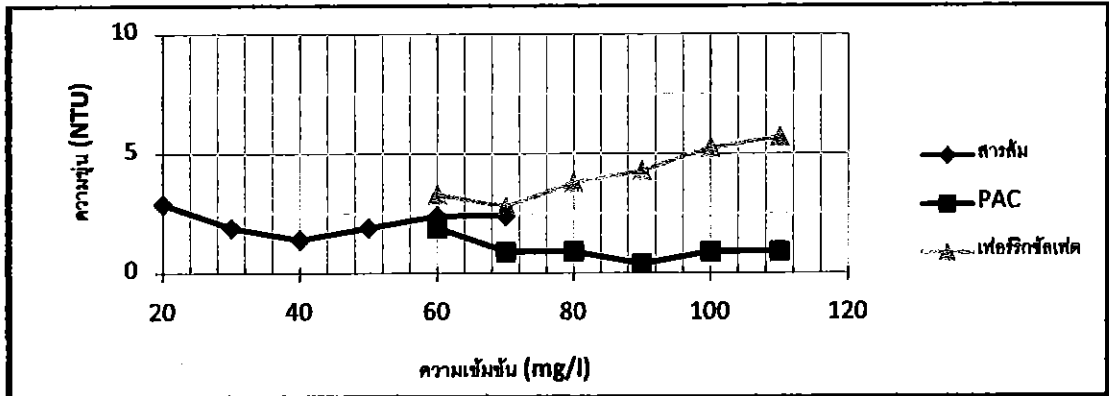
รูปที่ 4.14 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์ทดสอบแม่ให้น้ำน่านเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่ให้น้ำน่าน รอบที่ 2 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2553 ถึง ธันวาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าหนาวน้ำดิบมีความขุ่นที่ 69 NTU จากการทดสอบในรอบที่ 2 พบว่าปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 65, 62 และ 65 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

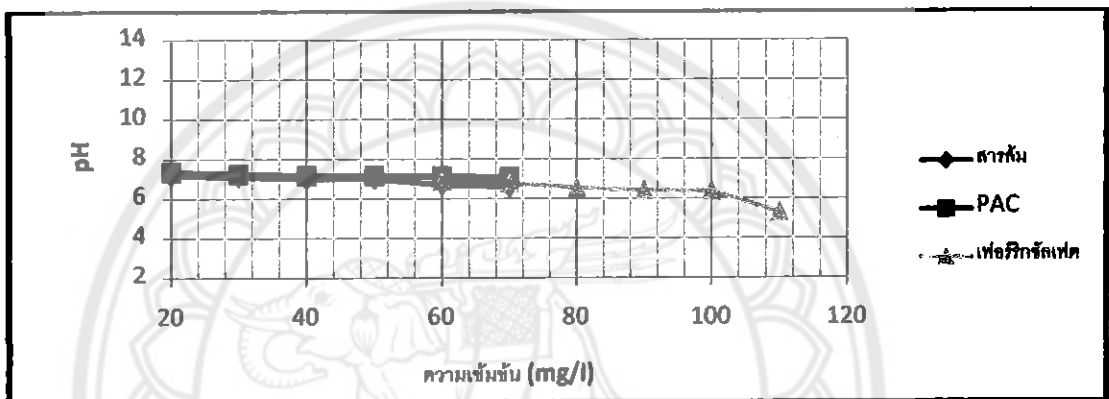
4.2.5 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1 โดยทำการทดสอบความขุ่น สีเอช และความเป็นด่าง โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งรอบที่ 1 จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีคร่าวๆ ที่ละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมคร่าวๆ ก่อนดังตารางที่ 4.7 แล้วซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีแบบละเอียดอีกครั้งในรอบที่ 2

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1

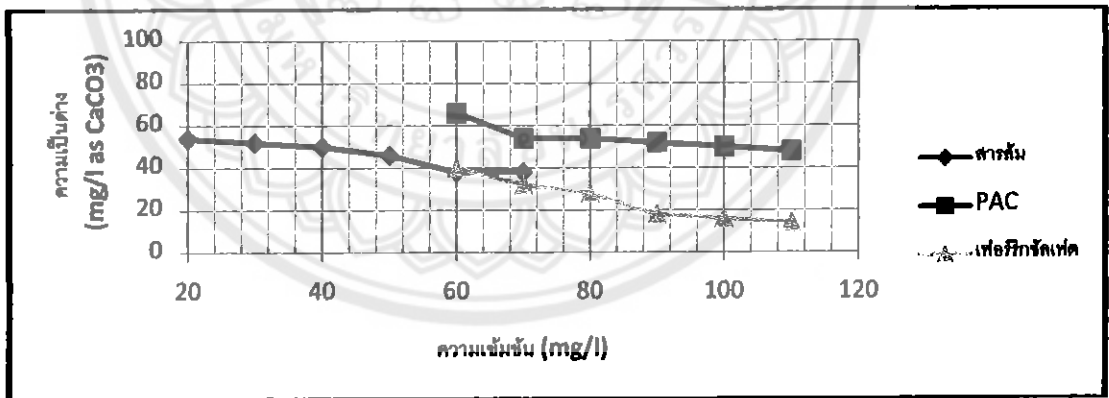
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| | ความขุ่น (NTU) | 2.9 | 1.9 | 1.4 | 1.9 | 2.4 | 2.4 |
| | pH | 7.20 | 7.10 | 7.00 | 7.00 | 6.70 | 6.60 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 54 | 52 | 50 | 46 | 38 | 38 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| | ความขุ่น (NTU) | 1.9 | 0.9 | 0.9 | 0.4 | 0.9 | 0.9 |
| | pH | 7.36 | 7.26 | 7.18 | 7.16 | 7.14 | 7.10 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 66 | 54 | 54 | 52 | 50 | 48 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| | ความขุ่น (NTU) | 3.3 | 2.8 | 3.8 | 4.2 | 5.2 | 5.7 |
| | pH | 6.90 | 6.78 | 6.56 | 6.42 | 6.4 | 5.32 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 40 | 32 | 28 | 18 | 16 | 14 |



รูปที่ 4.15 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1



รูปที่ 4.16 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1



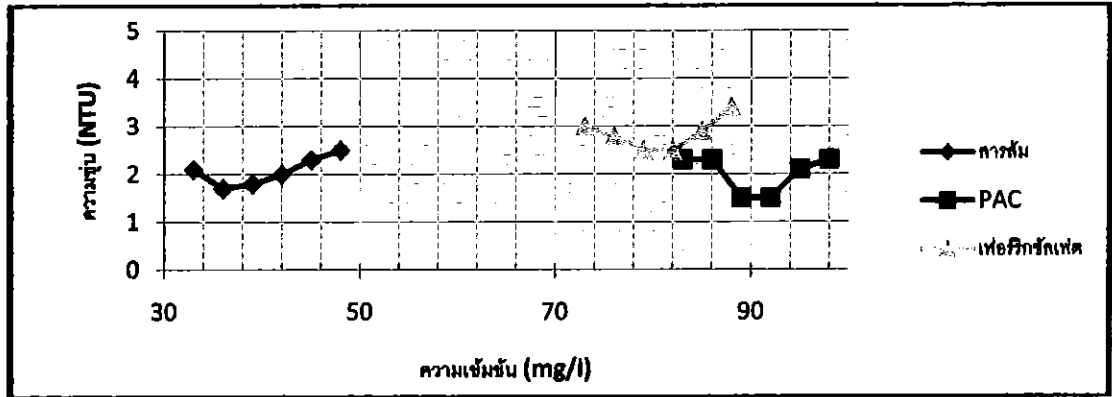
รูปที่ 4.17 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน รอบที่ 1 ในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 ซึ่งเป็นช่วงหน้าร้อนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 53 NTU ซึ่งจากการทดสอบในรอบแรก พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-50 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอซีมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 80-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 60-80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นด่างและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

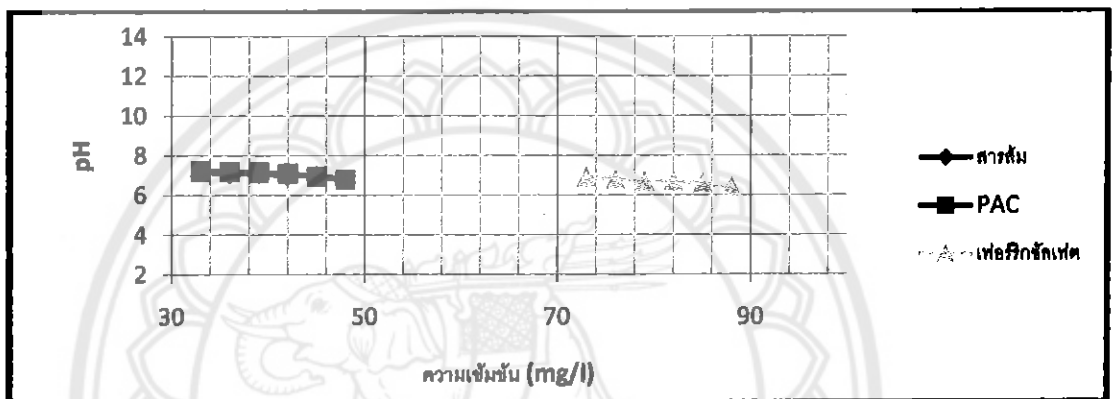
4.2.6 ผลการทดสอบจาร์เจสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2 โดยทำการทดสอบความขุ่น ทีเอช และความเป็นด่าง โดยใช้สารส้ม ทีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งการทดสอบในรอบที่ 2 นี้จะทำการแปรเปลี่ยนสารเคมีทั้งสามชนิดให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบจาร์เจสต์ของน้ำจากแม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2

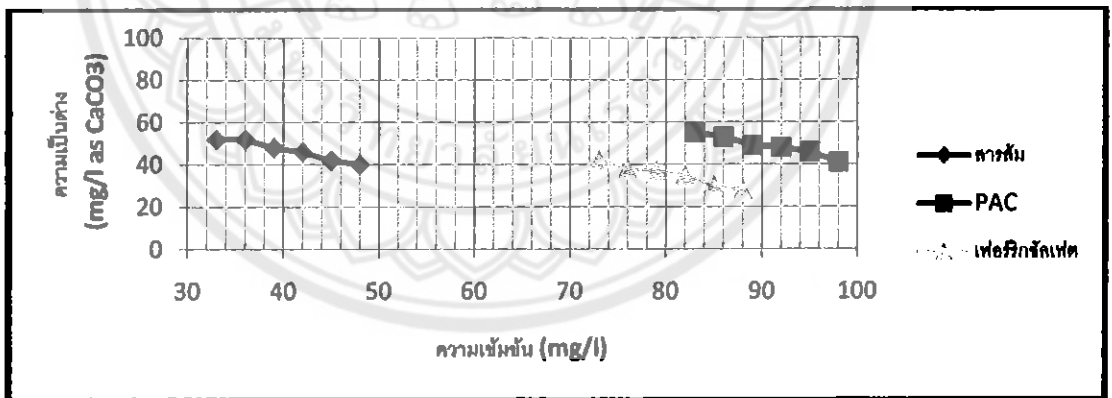
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 |
| | ความขุ่น (NTU) | 2.1 | 1.7 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.5 |
| | pH | 7.20 | 7.10 | 7.10 | 7.00 | 7.00 | 6.80 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 52 | 52 | 48 | 46 | 42 | 40 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 83 | 86 | 89 | 92 | 95 | 98 |
| | ความขุ่น (NTU) | 2.3 | 2.3 | 1.5 | 1.5 | 2.1 | 2.3 |
| | pH | 7.23 | 7.19 | 7.16 | 7.10 | 6.94 | 6.80 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 55 | 53 | 49 | 48 | 46 | 41 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 73 | 76 | 79 | 82 | 85 | 88 |
| | ความขุ่น (NTU) | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 2.5 | 2.9 | 3.4 |
| | pH | 6.90 | 6.80 | 6.70 | 6.70 | 6.60 | 6.40 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 42 | 38 | 37 | 35 | 30 | 28 |



รูปที่ 4.18 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เจสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2



รูปที่ 4.19 พีเอชจากการทดสอบจาร์เจสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2



รูปที่ 4.20 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เจสต์แม่น้ำน่านเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2

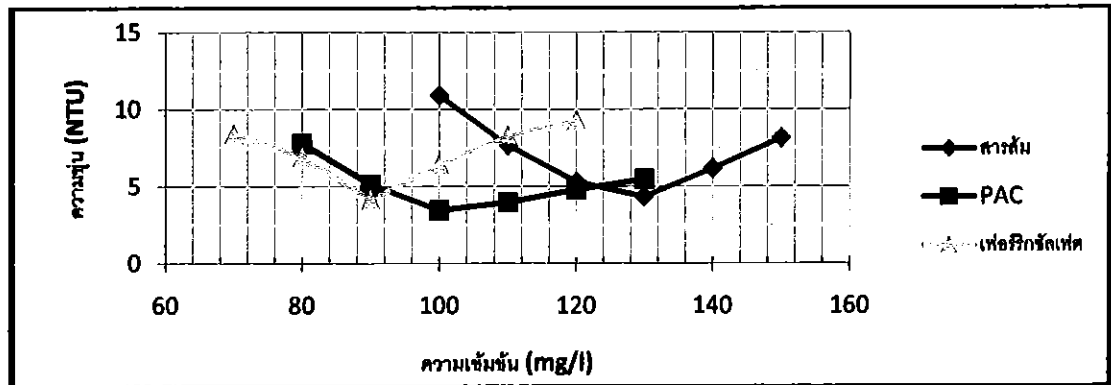
ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน รอบที่ 2 ในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 ซึ่งเป็นช่วงหน้าร้อนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 53 NTU จากการทดสอบในรอบที่ 2 พบว่าปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 36, 89 และ 79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.3 ผลการทดสอบจาร์เทสของแม่น้ำยม

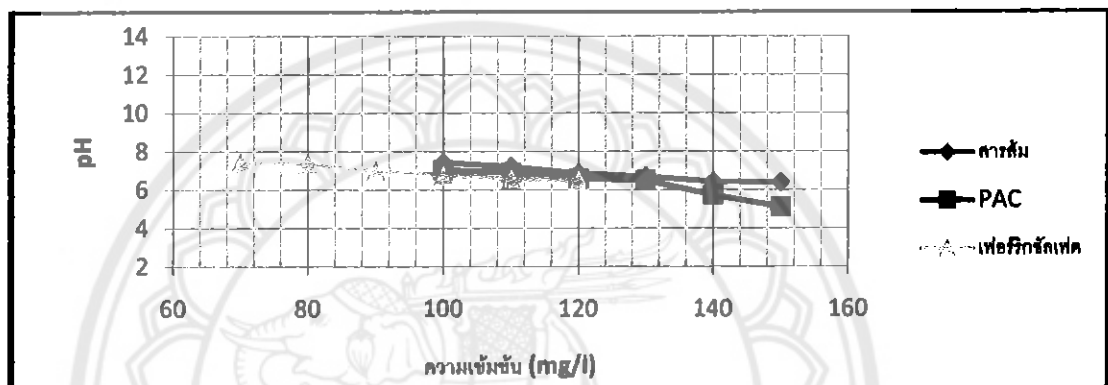
4.3.1 ผลการทดสอบจาร์เทสค่อนงน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นค่า่ง โดยใช้สารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งรอบที่ 1 จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีคร่าวๆ ที่ละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมคร่าวๆ ก่อนตั้งตารางที่ 4.9 แล้วซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีแบบละเอียดอีกครั้งในรอบที่ 2

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบจาร์เทสค่อนงน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1

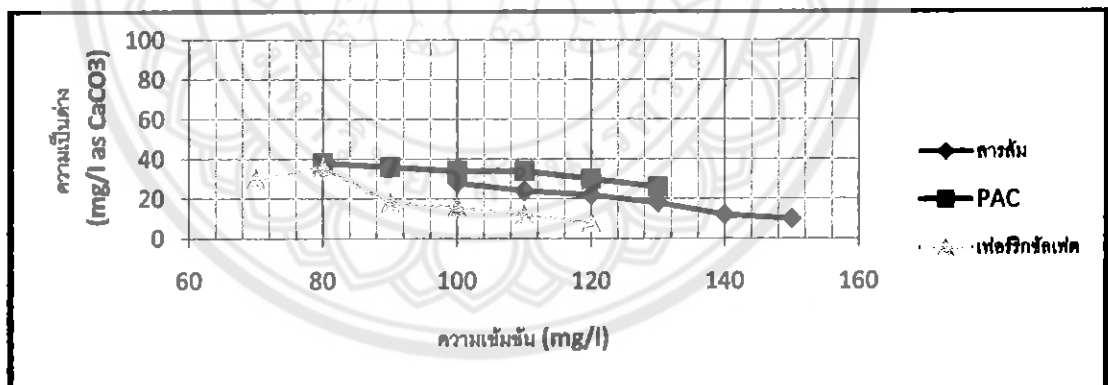
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|--|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| | ความขุ่น (NTU) | 10.9 | 7.6 | 5.2 | 4.3 | 6.1 | 8.1 |
| | pH | 7.43 | 7.21 | 6.86 | 6.69 | 6.43 | 6.40 |
| | ความเป็นค่า่ง (mg/l as CaCO ₃) | 28 | 24 | 22 | 18 | 12 | 10 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| | ความขุ่น (NTU) | 7.7 | 5.1 | 3.4 | 3.9 | 4.7 | 5.4 |
| | pH | 7.05 | 6.91 | 6.60 | 6.50 | 5.73 | 5.11 |
| | ความเป็นค่า่ง (mg/l as CaCO ₃) | 38 | 36 | 34 | 34 | 30 | 26 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| | ความขุ่น (NTU) | 8.4 | 6.9 | 4.1 | 6.4 | 8.2 | 9.2 |
| | pH | 7.40 | 7.37 | 6.98 | 6.76 | 6.58 | 6.50 |
| | ความเป็นค่า่ง (mg/l as CaCO ₃) | 30 | 36 | 18 | 16 | 12 | 8 |



รูปที่ 4.21 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์เมื่อน้ำขมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1



รูปที่ 4.22 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์เมื่อน้ำขมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1



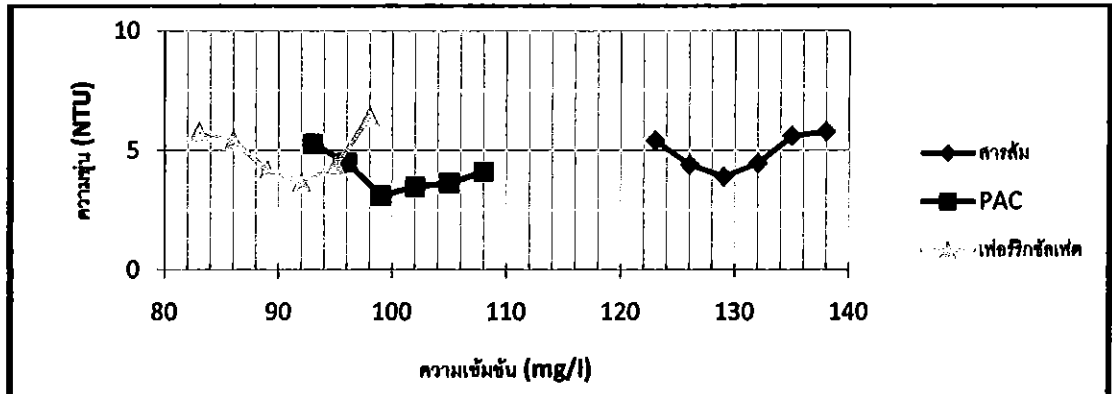
รูปที่ 4.23 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์เมื่อน้ำขมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 1

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของเมื่อน้ำขมรอบที่ 1 ในช่วงเดือนกันยายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าฝนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 87 NTU ซึ่งจากการทดสอบในรอบแรก พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 120-140 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชที่มีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 90-110 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 80-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นด่างและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

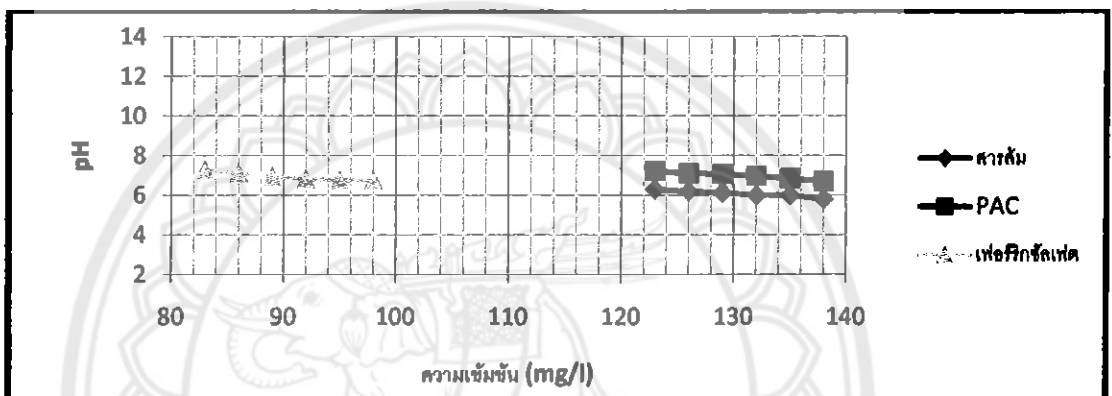
4.3.2 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเบี่ยงค่า โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งการทดสอบในรอบที่ 2 นี้จะทำการปรับเปลี่ยนสารเคมีทั้งสามชนิดให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1 ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2

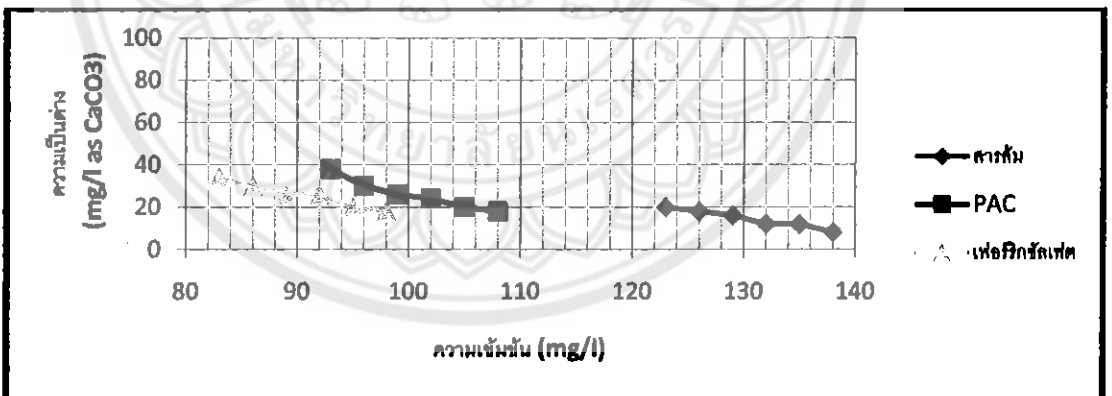
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 123 | 126 | 129 | 132 | 135 | 138 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.4 | 4.4 | 3.9 | 4.4 | 5.6 | 5.7 |
| | pH | 6.3 | 6.2 | 6.13 | 6 | 6 | 8.8 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 20 | 18 | 16 | 12 | 12 | 8 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 93 | 96 | 99 | 102 | 105 | 108 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.2 | 4.4 | 3.1 | 3.4 | 3.6 | 4.1 |
| | pH | 7.23 | 7.11 | 7.07 | 6.98 | 6.85 | 6.71 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 38 | 30 | 26 | 24 | 20 | 18 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 83 | 86 | 89 | 92 | 95 | 98 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.7 | 5.4 | 4.1 | 3.6 | 4.3 | 6.4 |
| | pH | 7.28 | 7.13 | 6.95 | 6.82 | 6.78 | 6.77 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 34 | 30 | 26 | 26 | 20 | 18 |



รูปที่ 4.24 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2



รูปที่ 4.25 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2



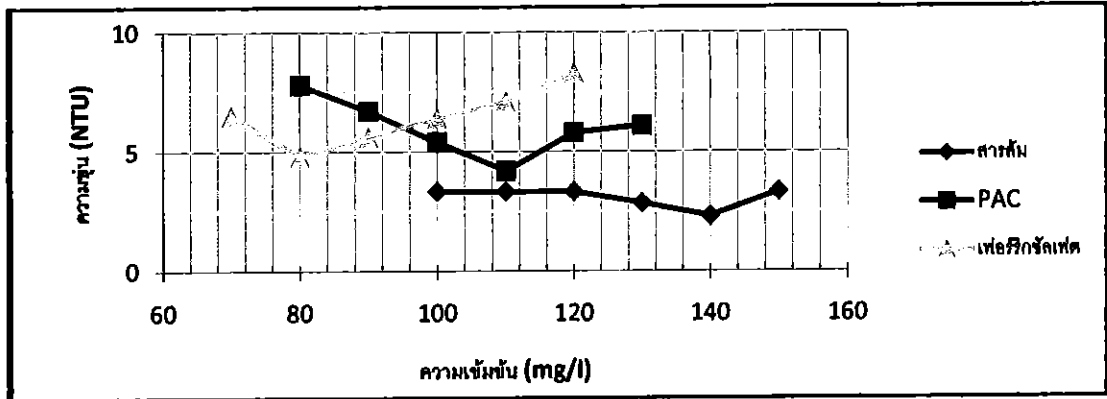
รูปที่ 4.26 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกันยายน 2553 รอบที่ 2

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน รอบที่ 2 ในช่วงเดือนกันยายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าฝนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 87 NTU จากการทดสอบในรอบที่ 2 พบว่าปริมาณสารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 129, 99 และ 92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

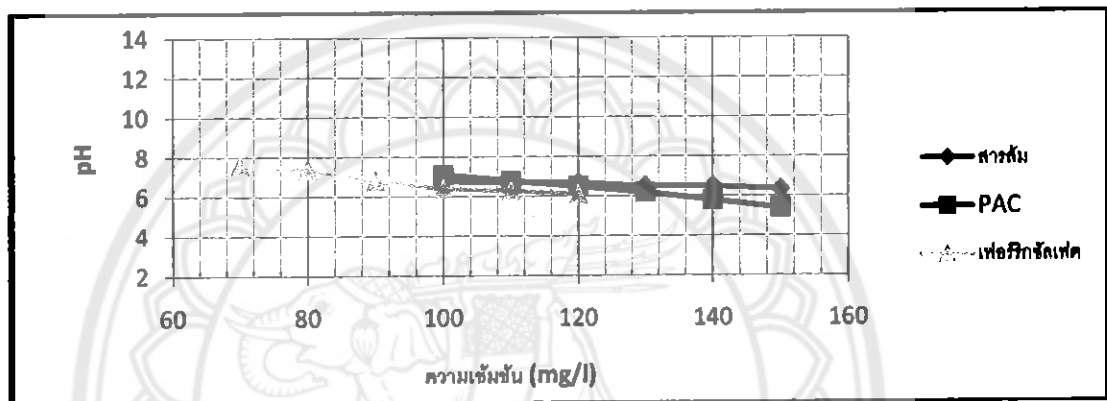
4.3.3 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1 โดยทำการทดสอบความขุ่น ทีเอช และความเป็นด่าง โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งรอบที่ 1 จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีคร่าวๆ ที่ละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมคร่าวๆ ก่อนดังตารางที่ 4.11 แล้วซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีแบบละเอียดอีกครั้งในรอบที่ 2

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1

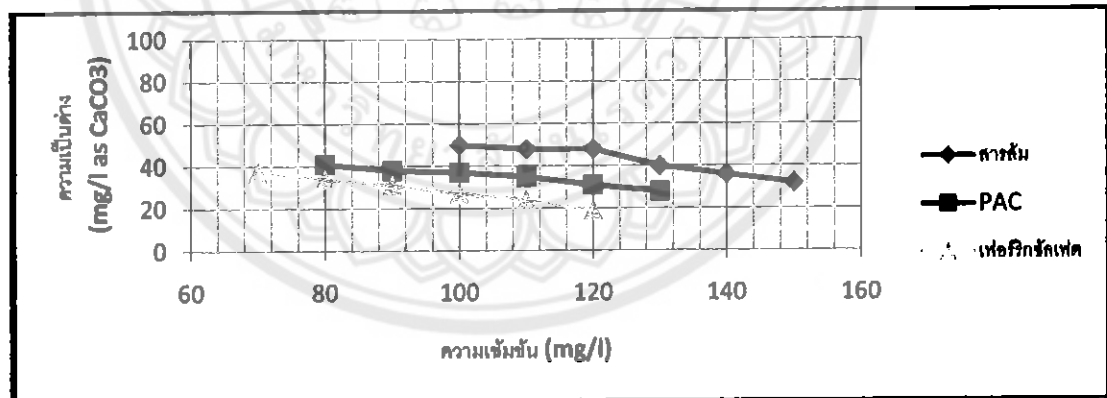
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|-----|------|-----|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| | ความขุ่น (NTU) | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 2.8 | 2.3 | 3.3 |
| | pH | 6.78 | 6.72 | 6.7 | 6.51 | 6.5 | 6.34 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 50 | 48 | 48 | 40 | 36 | 32 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| | ความขุ่น (NTU) | 7.8 | 6.7 | 5.4 | 4.2 | 5.8 | 6.1 |
| | pH | 7.1 | 6.8 | 6.5 | 6.2 | 5.8 | 5.4 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 41 | 38 | 37 | 35 | 31 | 28 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| | ความขุ่น (NTU) | 6.5 | 4.8 | 5.6 | 6.4 | 7.1 | 8.3 |
| | pH | 7.6 | 7.4 | 6.8 | 6.4 | 6.3 | 6.1 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 37 | 34 | 31 | 27 | 24 | 19 |



รูปที่ 4.27 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1



รูปที่ 4.28 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1



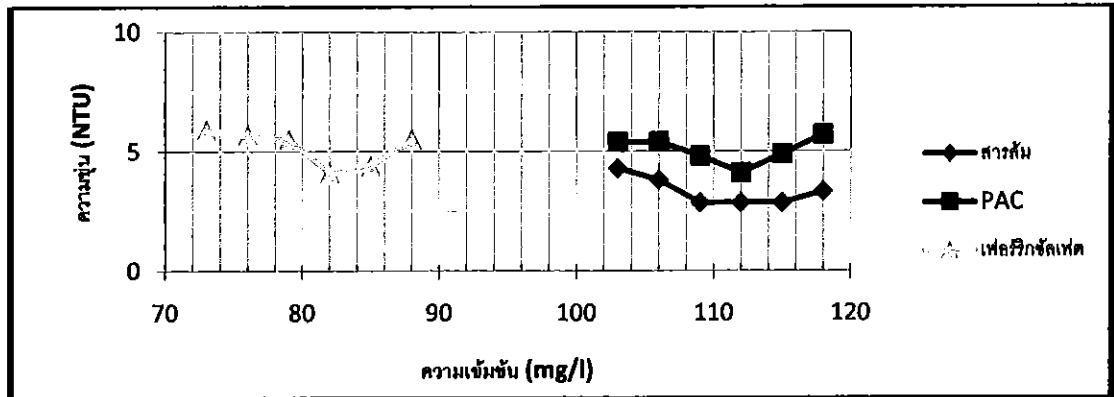
รูปที่ 4.29 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 1

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำยมรอบที่ 1 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2553 ถึง ธันวาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าหนาวน้ำดิบมีความขุ่นที่ 87 NTU ซึ่งจากการทดสอบในรอบแรก พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 130-150 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชที่มีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 70-90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นด่างและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

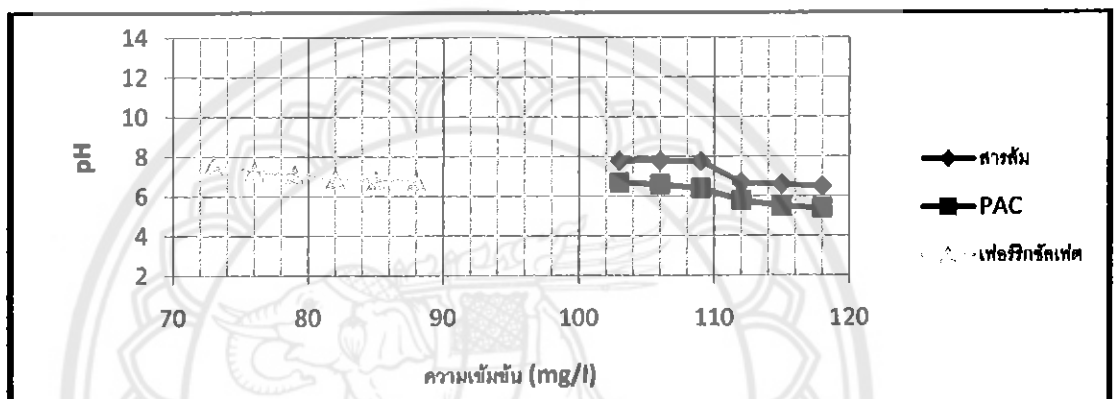
4.3.4 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นด่าง โดยใช้สารส้ม พีเอชซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งการทดสอบในรอบที่ 2 นี้จะทำการปรับเปลี่ยนสารเคมีทั้งสามชนิดให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1 ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2

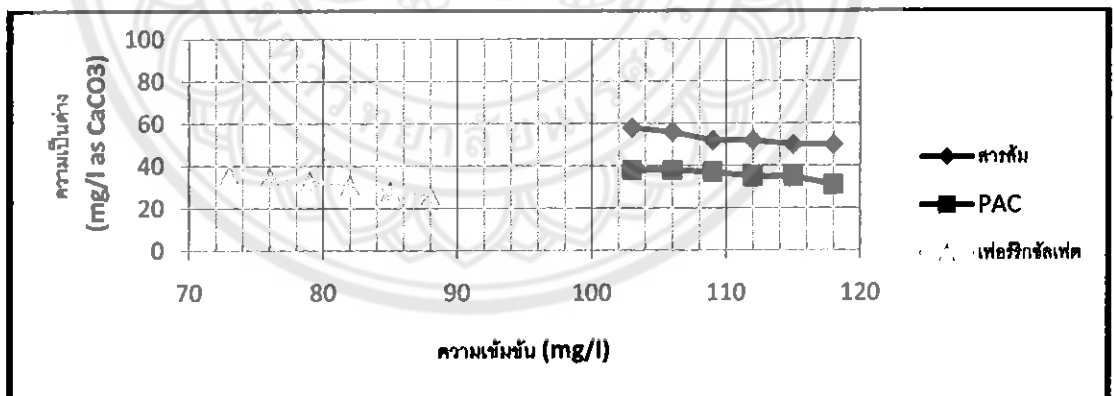
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 103 | 106 | 109 | 112 | 115 | 118 |
| | ความขุ่น (NTU) | 4.2 | 3.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 3.3 |
| | pH | 7.80 | 7.79 | 7.77 | 6.68 | 6.61 | 6.51 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 58 | 56 | 52 | 52 | 50 | 50 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 103 | 106 | 109 | 112 | 115 | 118 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.4 | 5.4 | 4.8 | 4.1 | 4.9 | 5.7 |
| | pH | 6.70 | 6.60 | 6.40 | 5.80 | 5.50 | 5.40 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 38 | 38 | 37 | 35 | 35 | 31 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 73 | 76 | 79 | 82 | 85 | 88 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.9 | 5.7 | 5.5 | 4.1 | 4.4 | 5.5 |
| | pH | 7.60 | 7.3 | 7.10 | 6.90 | 6.80 | 6.80 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 36 | 35 | 33 | 31 | 28 | 26 |



รูปที่ 4.30 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่ น้ำยวมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2



รูปที่ 4.31 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่ น้ำยวมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2



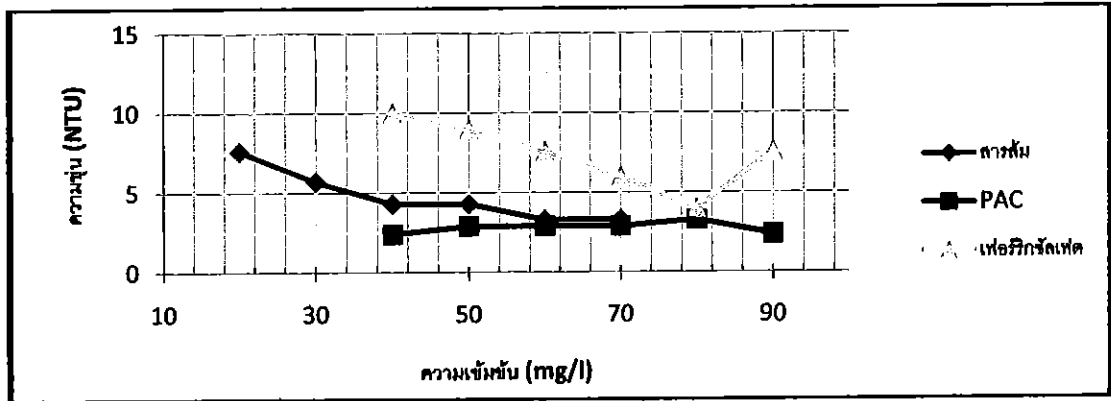
รูปที่ 4.32 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่ น้ำยวมเดือนพฤศจิกายน 2553 รอบที่ 2

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่ น้ำยวมรอบที่ 2 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2553 ถึง ธันวาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงหน้าหนาวน้ำดิบมีความขุ่นที่ 87 NTU จากการทดสอบปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพในการผสมานคอลลอยด์ให้ตกตะกอนซึ่งพบว่าค่าอยู่ที่ประมาณ 109, 112 และ 82 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

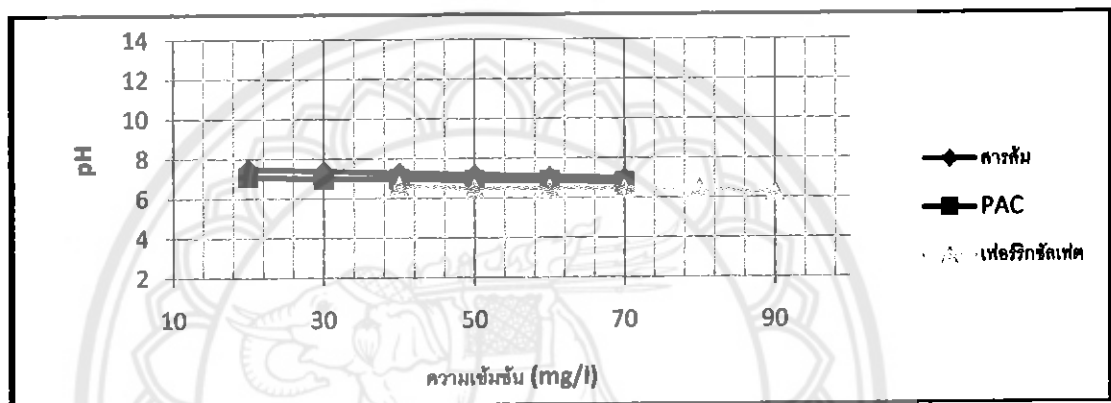
4.3.5 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ข่ายมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความเป็นด่าง โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟตซึ่งรอบที่ 1 จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีคร่าวๆ ที่ละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมคร่าวๆ ก่อนดังตารางที่ 4.13 แล้วซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคมีแบบละเอียดอีกครั้งในรอบที่ 2

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่ข่ายมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1

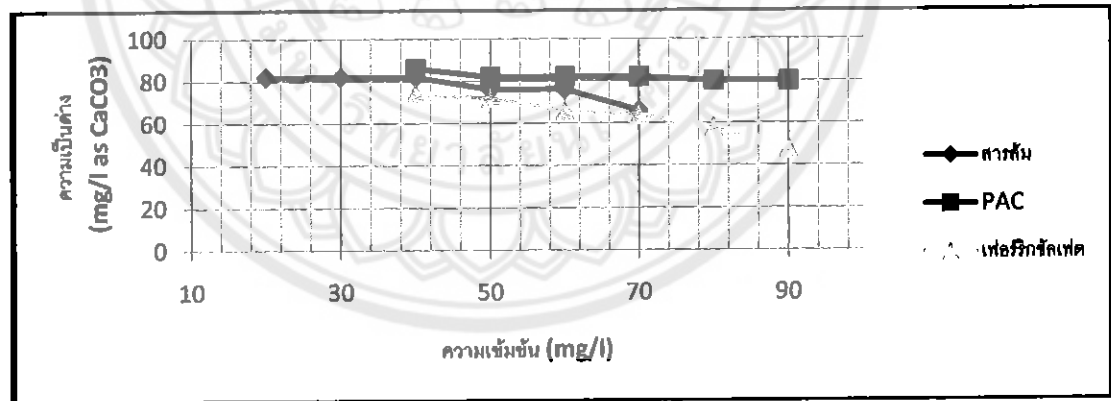
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| | ความขุ่น (NTU) | 7.6 | 5.7 | 4.3 | 4.3 | 3.3 | 3.3 |
| | pH | 7.50 | 7.40 | 7.30 | 7.20 | 7.10 | 7.00 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 82 | 82 | 82 | 76 | 76 | 66 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| | ความขุ่น (NTU) | 2.9 | 2.9 | 2.4 | 2.4 | 3.3 | 2.9 |
| | pH | 7.10 | 7.00 | 7.00 | 6.90 | 6.90 | 6.80 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 86 | 82 | 82 | 82 | 80 | 80 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| | ความขุ่น (NTU) | 10.0 | 9.0 | 7.6 | 6.0 | 4.0 | 7.6 |
| | pH | 6.65 | 6.50 | 6.50 | 6.47 | 6.46 | 6.30 |
| | ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃) | 74 | 72 | 66 | 64 | 58 | 48 |



รูปที่ 4.33 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1



รูปที่ 4.34 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1



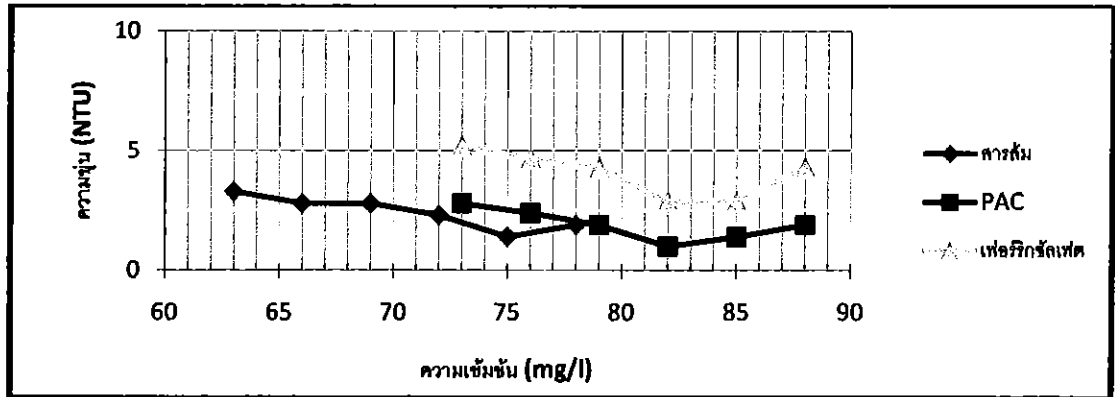
รูปที่ 4.35 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 1

ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำยมรอบที่ 1 ในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 ซึ่งเป็นช่วงหน้าร้อนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 32 NTU ซึ่งจากการทดสอบในรอบแรก พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 70-90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าความเป็นด่างและพีเอชของน้ำมีค่าลดลงปริมาณสารเคมีที่ใช้

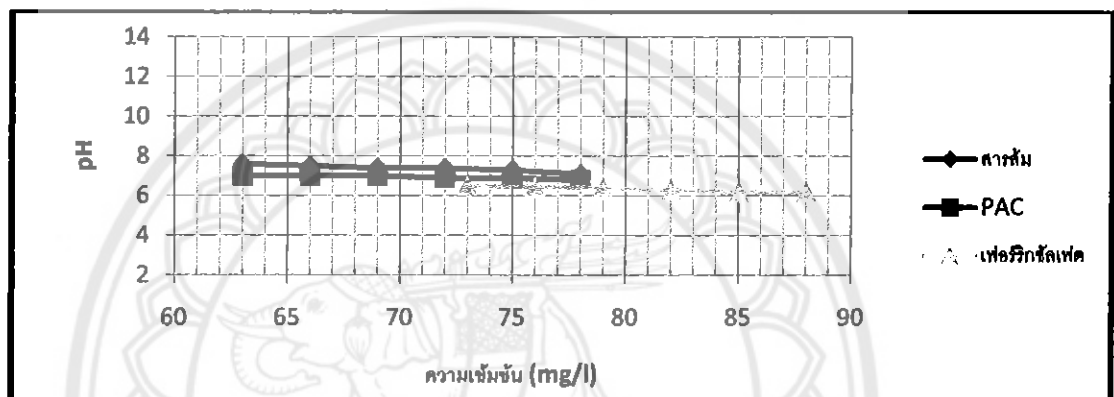
4.3.6 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2 โดยทำการทดสอบความขุ่น พีเอช และความป็นค่าง โดยใช้สารส้ม พีเอช และเฟอริกซัลเฟต ซึ่งการทดสอบในรอบที่ 2 นี้จะทำการแปรเปลี่ยนสารเคมีทั้งสามชนิดให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1 ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบจาร์เทสต์ของน้ำจากแม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2

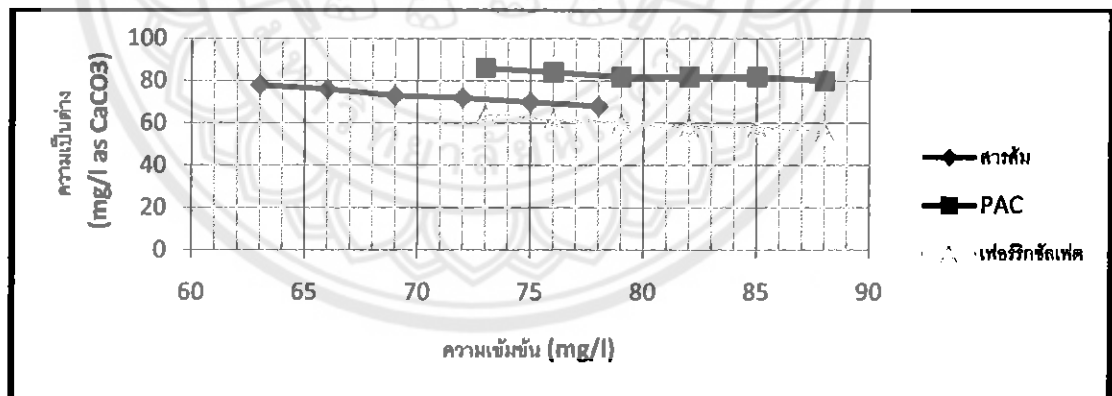
| สารเคมี | พารามิเตอร์ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|---|------|------|------|------|------|------|
| สารส้ม | ความเข้มข้น (mg/l) | 63 | 66 | 69 | 72 | 75 | 78 |
| | ความขุ่น (NTU) | 3.3 | 2.8 | 2.8 | 2.3 | 1.4 | 1.9 |
| | pH | 7.60 | 7.50 | 7.40 | 7.40 | 7.30 | 7.10 |
| | ความเป็นค่าง (mg/l as CaCO ₃) | 78 | 76 | 73 | 72 | 70 | 68 |
| PAC | ความเข้มข้น (mg/l) | 73 | 76 | 79 | 82 | 85 | 88 |
| | ความขุ่น (NTU) | 2.8 | 2.4 | 1.9 | 1.0 | 1.4 | 1.9 |
| | pH | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 6.90 | 6.90 | 6.80 |
| | ความเป็นค่าง (mg/l as CaCO ₃) | 86 | 84 | 82 | 82 | 82 | 80 |
| เฟอริกซัลเฟต | ความเข้มข้น (mg/l) | 73 | 76 | 79 | 82 | 85 | 88 |
| | ความขุ่น (NTU) | 5.2 | 4.7 | 4.3 | 2.9 | 2.9 | 4.3 |
| | pH | 6.50 | 6.45 | 6.40 | 6.30 | 6.20 | 6.20 |
| | ความเป็นค่าง (mg/l as CaCO ₃) | 64 | 62 | 60 | 58 | 58 | 56 |



รูปที่ 4.36 ความขุ่นจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2



รูปที่ 4.37 พีเอชจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2

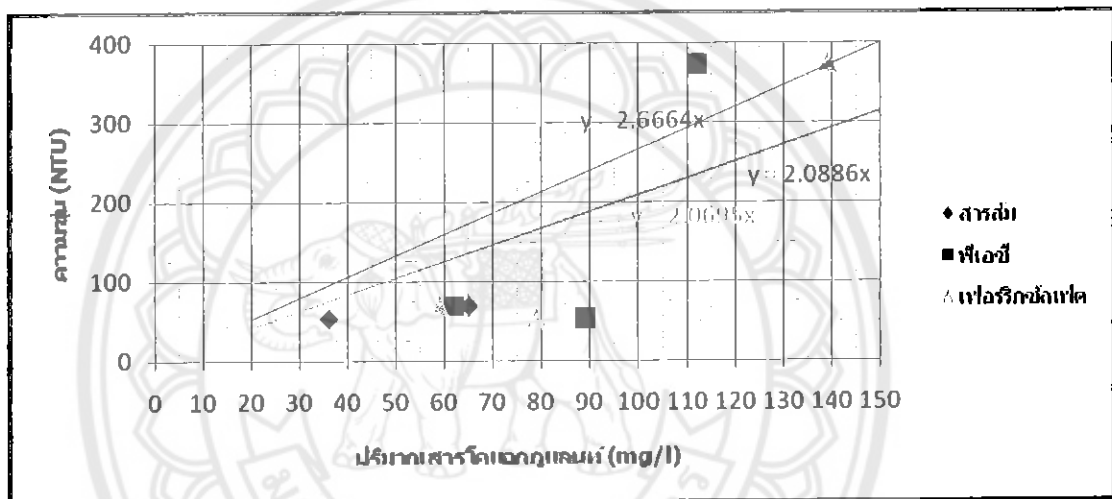


รูปที่ 4.38 ความเป็นด่างจากการทดสอบจาร์เทสต์แม่น้ำยมเดือนกุมภาพันธ์ 2554 รอบที่ 2

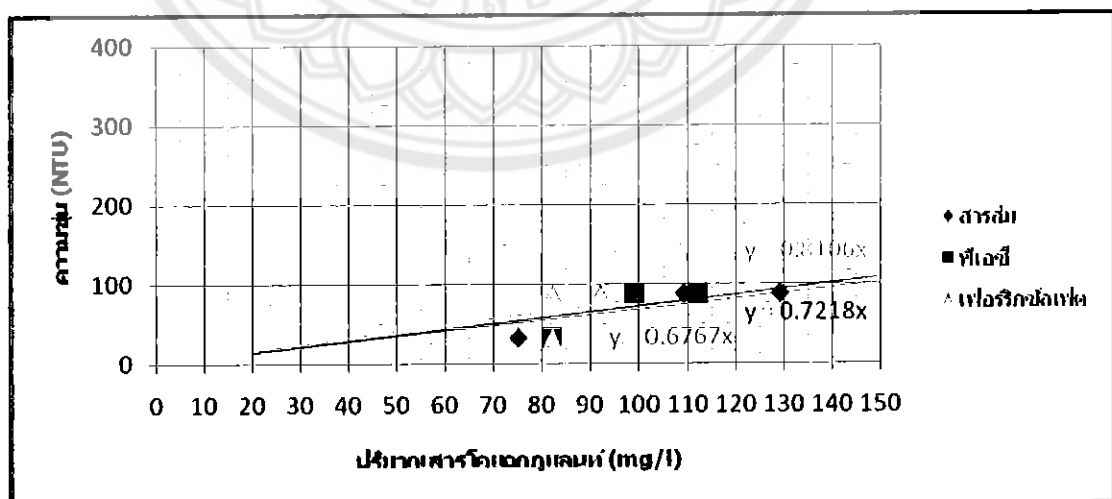
ศึกษาปริมาณสารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของแม่น้ำน่าน รอบที่ 2 ในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 ซึ่งเป็นช่วงหน้าร้อนน้ำดิบมีความขุ่นที่ 32 NTU จากการทดสอบปริมาณสารส้ม พีเอซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพในการ ผสานคอลลอยล์ให้ตกตะกอนซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 75, 75 และ 82 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของน้ำดิบและสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม

จากผลการทดสอบปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของน้ำจากแม่น้ำน่าน และแม่น้ำยม เมื่อนำมาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของน้ำดิบและปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ทั้ง 3 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.39 พบว่า ปริมาณสารส้ม, พีเอชซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมสำหรับแม่น้ำน่านมีค่าประมาณ 2.67, 2.09 และ 2.07 เท่าของค่าความขุ่น ขณะที่รูปที่ 4.40พบว่า ปริมาณสารส้ม, พีเอชซี และเฟอร์ริกซัลเฟต ที่เหมาะสมสำหรับแม่น้ำยมมีค่าประมาณ 0.68, 0.72 และ 0.81 เท่าของค่าความขุ่น ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา ค่าความขุ่นที่สูงขึ้นของน้ำดิบจะส่งผลให้ต้องใช้สาร โคแอกกูแลนต์เพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของน้ำในแม่น้ำน่าน



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของน้ำในแม่น้ำยม

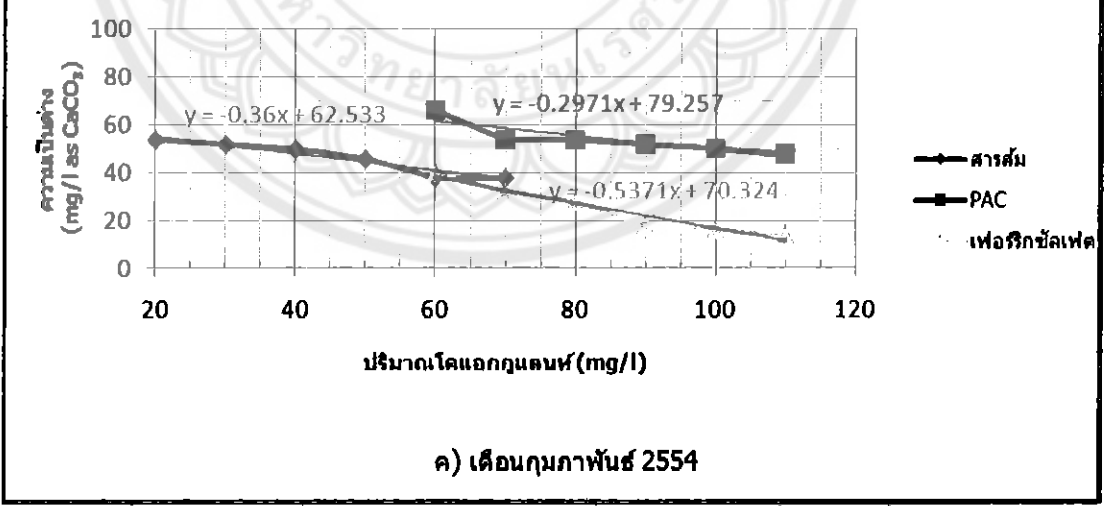
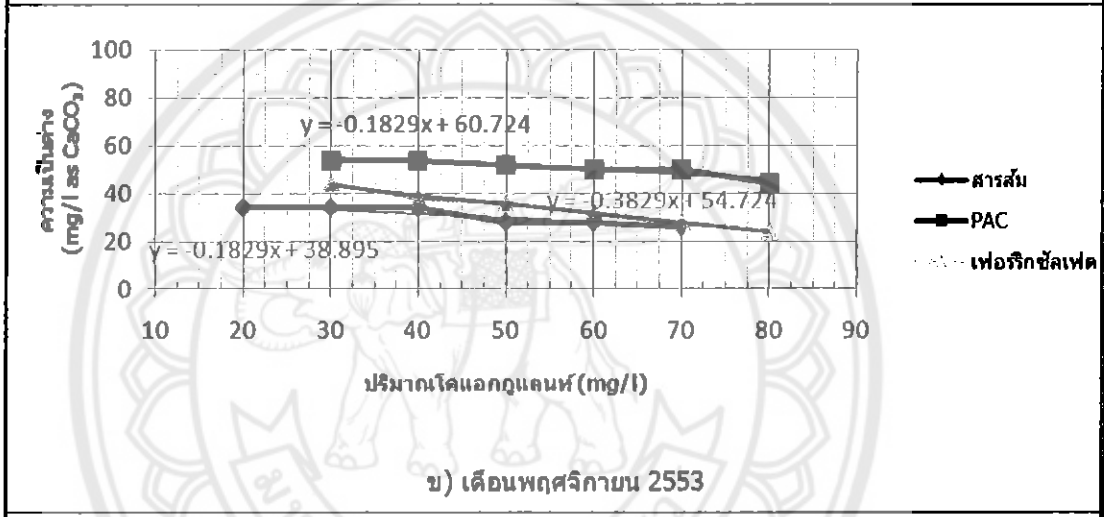
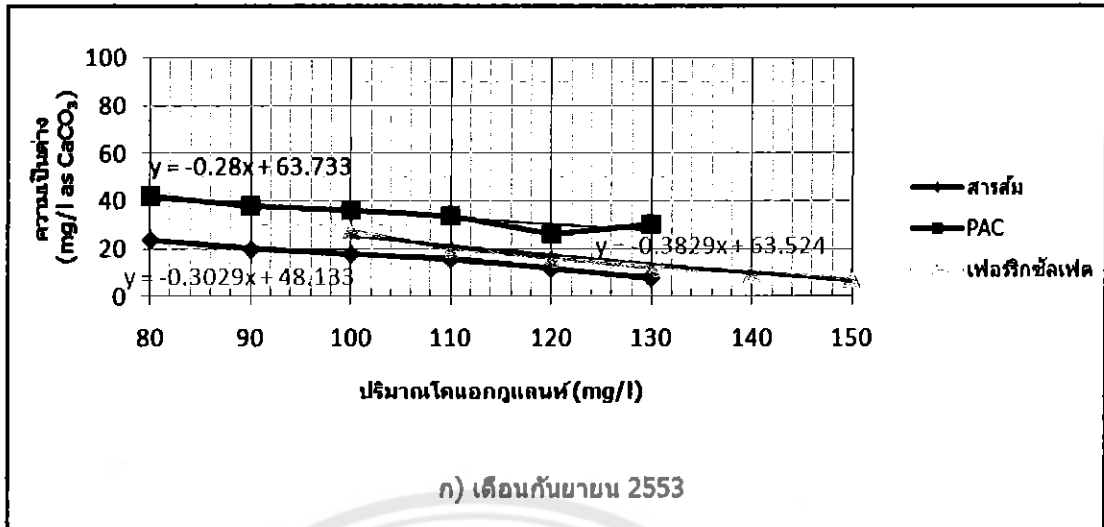
4.5 ผลของปริมาณสารโคแอกกูแลนต่อความเป็นด่างของน้ำ

จากผลการทดสอบจาร์เทสต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีที่เดิม ทั้ง สารส้ม, พีเอช และเฟอร์ริกซัลเฟต กับค่าการลดลงของความเป็นด่างน้ำจากแม่ให้น้ำนมและนมตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา คือ เดือนกันยายน 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 โดยเขียนในรูปของสมการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.41 และ 4.42 และตารางที่ 4.15 พบว่า สารส้มที่ใช้จะส่งผลทำให้ค่าความเป็นด่างลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.354 mg/l as CaCO₃/mg/l ของสารส้มที่ใช้ ขณะที่พีเอชจะส่งผลทำให้ค่าความเป็นด่างลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.263 mg/l as CaCO₃/mg/l ของพีเอชที่ใช้ และเฟอร์ริกซัลเฟตจะส่งผลทำให้ค่าความเป็นด่างลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.632 mg/l as CaCO₃/mg/l ของเฟอร์ริกซัลเฟตที่ใช้ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าทางทฤษฎี อาจมาจากหลายเหตุผล ได้แก่ สารเคมีที่ใช้บางชนิดเป็น Commercial grade ซึ่งไม่ทราบความบริสุทธิ์ที่แน่นอน ส่วนเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกับทางทฤษฎี คือ 0.75 mg/l as CaCO₃/mg/l ของเฟอร์ริกซัลเฟตที่ใช้

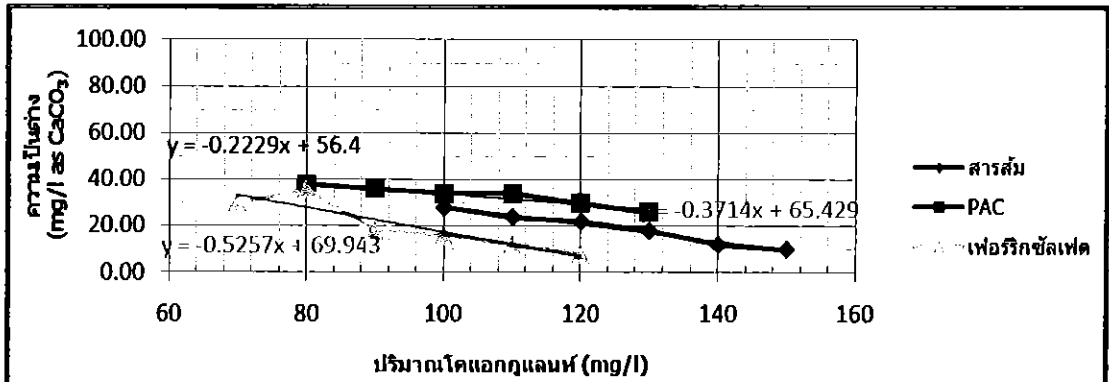
ตารางที่ 4.15 สปส. การลดลงของความเป็นด่างเทียบกับสารเคมีที่เดิมของน้ำจากแม่ให้น้ำนมและนม

| สารเคมี | แม่ น้ำ | ก.ย.-53 | พ.ย.-53 | ก.พ.-54 | เฉลี่ย |
|----------------|------------|---------|---------|---------|--------|
| สารส้ม | แม่ น้ำ นม | -0.302 | -0.182* | -0.360 | |
| | แม่ น้ำ ยม | -0.371 | -0.382 | -0.297* | -0.354 |
| พีเอช | แม่ น้ำ นม | -0.280 | -0.182* | -0.297 | |
| | แม่ น้ำ ยม | -0.222 | -0.251 | -0.102* | -0.263 |
| เฟอร์ริกซัลเฟต | แม่ น้ำ นม | -0.382* | -0.382* | -0.537 | |
| | แม่ น้ำ ยม | -0.525 | -0.354* | -0.834 | -0.632 |

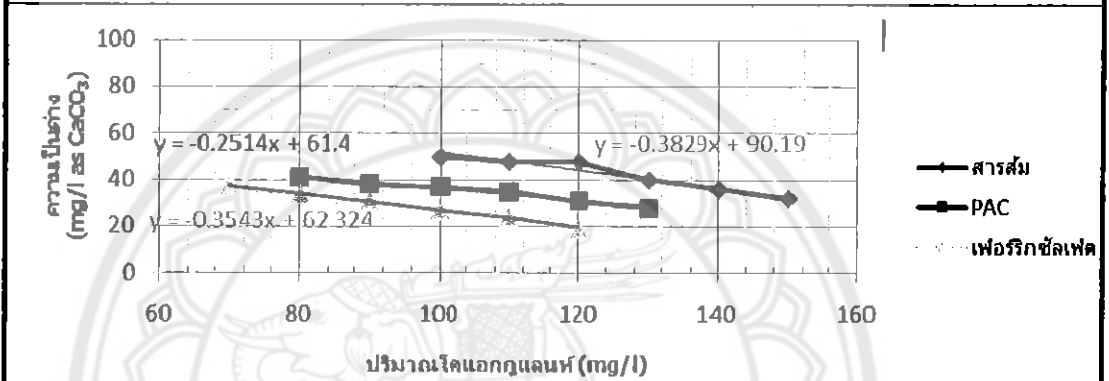
หมายเหตุ: * ตัดข้อมูลออกไม่นำมาคิดค่าเฉลี่ย



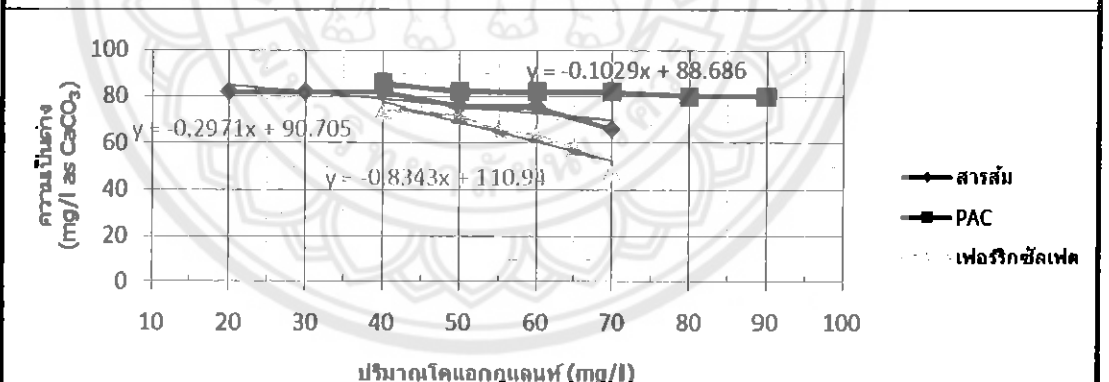
รูปที่ 4.41 ผลของปริมาณสารเคมีต่อความเป็นด่างของน้ำจากแม่น้ำน่าน



ก) เดือนกันยายน 2553



ข) เดือนพฤศจิกายน 2553



ค) เดือนกุมภาพันธ์ 2554

รูปที่ 4.42 ผลของปริมาณสารเคมีต่อความเป็นด่างของน้ำจากแม่ข่าย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของน้ำในแม่ให้น้ำน่าน และแม่ให้น้ำนมด้วยการทดสอบจาร์เทสต์ ทำการวิจัยตัวอย่างน้ำจากแม่ให้น้ำน่านบริเวณวัดคู้งวารี ตำบลท่าโพธิ์ อ.เมือง จ. พิจิตรโลก และน้ำจากแม่ให้น้ำนม บริเวณ ตำบลบางระกำ อ.เมือง จ.พิจิตรโลก โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือน กันยายน 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 จำนวน 3 ครั้ง สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สมบัติของน้ำดิบมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยเฉพาะค่าความขุ่นของน้ำดิบซึ่งมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูฝน และมีค่าความเป็นด่าง, พีเอช และอุณหภูมิ มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

5.1.2 จากผลการทดสอบจาร์เทสต์พบว่า ปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมทั้งสารส้ม, พีเอซี และเฟอร์ริคัลเฟต แปรผันตามค่าความขุ่นของน้ำดิบ

5.1.3 น้ำจากแม่ให้น้ำน่านมีแนวโน้มที่จะต้องใช้สาร โคแอกกูแลนต์ที่มากกว่าน้ำจากแม่ให้น้ำนม

5.1.4 ความเป็นด่างมีค่าลดลง ตามปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่ใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการติดตามผลของคุณภาพน้ำในแม่ให้น้ำอย่างต่อเนื่อง

5.2.2 การศึกษาปริมาณปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของน้ำในแม่ให้น้ำน่านและแม่ให้น้ำนมควรทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ ฤดู

5.2.3 ควรมีการเติมปูนขาว เพื่อประสิทธิภาพในการผสมานคอลลอยด์

บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (ม.ป.ป.). คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคมีที่ใช้ในระบบน้ำประปา. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2554, จาก http://www2.diw.go.th/iwti/files/2_1/std%20น้ำประปา.doc
- กองเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ. (ม.ป.ป.). มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2554, จาก http://www.mwa.co.th/2010/ewt/mwa_internet/download/file_upload/who2006.pdf
- การประปานครหลวง. (ม.ป.ป.). มาตรฐานคุณภาพน้ำการประปานครหลวง. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2554, จาก http://www.mwa.co.th/ewt/mwa_inter/download/prd01/wqa/who2006.pdf
- มันสิน ตัดชุดเวศม์. 2538. วิศวกรรมประปา เล่ม 1. (พิมพ์ครั้งที่ 1). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตัดชุดเวศม์. 2538. วิศวกรรมประปา เล่ม 2. (พิมพ์ครั้งที่ 1). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ. (กุมภาพันธ์ 2553). คู่มือฯ. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2554, จาก <http://mekhala.dwr.go.th/main/index.php/2010-04-07-02-53-13/2010-04-07-03-09-02/27-2010-02-26-06-50-38>
- ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ. (กุมภาพันธ์ 2553). คู่มือฯ. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2554, จาก <http://mekhala.dwr.go.th/main/index.php/2010-04-07-02-53-13/2010-04-07-03-09-02/26-2010-02-26-06-49-30>
- Metcalf and Eddy, Inc 2003. **Waste Water Engineering: Treatment and Reuse**. 4th ed. Mc Graw Hill.
- Qasim Syed R., Motley Edward M and Zhu Guang. 2000: **Water Works Engineering: Planning Design and Operation**. Prentice Hall.
- Reynolds T.D. and Richards P.A. 1996. **Unit Operation and Processes in Environmental Engineering**. 2nd ed. PWS Publishing Company.



1.การทดสอบการใช้สาร โคลแอกลูเลชันกับตัวอย่างน้ำในแม่น้ำน่านครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.1 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 11 กันยายน 2553

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.39 | |
| ความขุ่น | = | 350 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 62 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 30 | °C |

ตารางที่ ก.2 การทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 11/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 80 | 7 | 6.6 | 24 |
| 90 | 6.66 | 6.45 | 20 |
| 100 | 5.714 | 6.15 | 18 |
| 110 | 4.28 | 6.15 | 16 |
| 120 | 6.19 | 4.92 | 12 |
| 130 | 7.142 | 4.86 | 8 |

ตารางที่ ก.3 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 11/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 103 | 5.24 | 6.3 | 20 |
| 106 | 3.81 | 6.28 | 20 |
| 109 | 0.95 | 6.23 | 14 |
| 112 | 0.48 | 6.03 | 12 |
| 115 | 0.95 | 6.01 | 8 |
| 118 | 1.9 | 5.89 | 8 |

ตารางที่ ก.4 แสดงการทดลอง Jar Test เมื่อน้ำน่านด้วย PAC วันที่ 11/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่า |
|-------------------|----------------|------|-------------|
| 80 | 190.48 | 7.05 | 42 |
| 90 | 6.19 | 6.91 | 38 |
| 100 | 4.76 | 6.6 | 36 |
| 110 | 3.33 | 6.5 | 34 |
| 120 | 5.24 | 5.73 | 26 |
| 130 | 6.19 | 5.11 | 30 |

ตารางที่ ก.5 แสดงการทดลอง Jar Test เมื่อน้ำน่านด้วย PAC วันที่ 11/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่า |
|-------------------|----------------|------|-------------|
| 103 | 4.76 | 6.75 | 30 |
| 106 | 4.76 | 6.73 | 26 |
| 109 | 1.9 | 6.68 | 24 |
| 112 | 0.95 | 6.48 | 22 |
| 115 | 3.33 | 6.46 | 18 |
| 118 | 4.76 | 6.34 | 18 |

ตารางที่ ก.6 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 12 กันยายน 2553

| | | | |
|-------------|---|--------|---------------------------|
| pH | = | 7.38 | |
| ความขุ่น | = | 397.14 | NTU |
| ความเป็นค่า | = | 68 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 29 | °C |

ตารางที่ ก.7 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 12/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค้าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 100 | 290.48 | 7.05 | 28 |
| 110 | 219.05 | 6.91 | 20 |
| 120 | 9.52 | 6.6 | 16 |
| 130 | 8.1 | 6.5 | 12 |
| 140 | 6.66 | 5.73 | 10 |
| 150 | 8.57 | 5.11 | 8 |

ตารางที่ ก.8 การทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 12/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค้าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 133 | 7.14 | 6.75 | 42 |
| 136 | 6.19 | 6.73 | 30 |
| 139 | 5.71 | 6.68 | 30 |
| 142 | 6.66 | 6.48 | 26 |
| 145 | 8.1 | 6.46 | 20 |
| 148 | 9.19 | 6.34 | 16 |

2. การทดสอบการใช้สาร โคลแอกลูเลชั่นกับตัวอย่างน้ำในแม่น้ำยมครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.9 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 12 กันยายน 2553

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.46 | |
| ความขุ่น | = | 87 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 80 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 29 | °C |

ตารางที่ ก.10 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้มวันที่ 12/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 100 | 109 | 7.43 | 28 |
| 110 | 7.66 | 7.21 | 22 |
| 120 | 5.28 | 6.86 | 18 |
| 130 | 4.34 | 6.69 | 24 |
| 140 | 6.17 | 6.43 | 12 |
| 150 | 8.142 | 6.4 | 10 |

ตารางที่ ก.11 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้มวันที่ 12/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 123 | 5.41 | 6.3 | 20 |
| 126 | 4.4 | 6.28 | 18 |
| 129 | 3.9 | 6.13 | 16 |
| 132 | 4.46 | 6.03 | 12 |
| 135 | 5.6 | 6.01 | 12 |
| 138 | 5.78 | 5.81 | 8 |

ตารางที่ ก.12 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 18 กันยายน 2553

| | | | |
|---------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.38 | |
| ความขุ่น | = | 87 | NTU |
| ความเป็นค่า่ง | = | 78 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 29 | °C |

ตารางที่ ก.13 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 18/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่า่ง |
|-------------------|----------------|------|---------------|
| 80 | 7.78 | 7.05 | 38 |
| 90 | 5.12 | 6.91 | 36 |
| 100 | 3.45 | 6.6 | 34 |
| 110 | 3.98 | 6.5 | 34 |
| 120 | 4.79 | 5.73 | 30 |
| 130 | 5.47 | 5.11 | 26 |

ตารางที่ ก.14 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 18/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่า่ง |
|-------------------|----------------|------|---------------|
| 93 | 5.27 | 7.23 | 38 |
| 96 | 4.49 | 7.11 | 30 |
| 99 | 3.11 | 7.07 | 26 |
| 102 | 3.48 | 6.98 | 24 |
| 105 | 3.64 | 6.85 | 20 |
| 108 | 4.1 | 6.71 | 18 |

ตารางที่ ก.15 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 18/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 70 | 8.41 | 7.4 | 30 |
| 80 | 6.92 | 7.37 | 36 |
| 90 | 4.13 | 6.98 | 18 |
| 100 | 6.45 | 6.76 | 16 |
| 110 | 8.29 | 6.58 | 12 |
| 120 | 9.29 | 6.5 | 8 |

ตารางที่ ก.16 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 18/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 83 | 5.79 | 7.28 | 34 |
| 86 | 5.41 | 7.13 | 30 |
| 89 | 4.16 | 6.95 | 26 |
| 92 | 3.68 | 6.82 | 26 |
| 95 | 4.39 | 6.78 | 20 |
| 98 | 6.41 | 6.77 | 18 |

3. การทดสอบการใช้สาร โคลโคคลูเรชั่นกับตัวอย่างน้ำในแม่น้ำน่านครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.17 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 19 พฤศจิกายน 2553

| | | | |
|--------------|---|-----|---------------------------|
| pH | = | 6.7 | |
| ความขุ่น | = | 81 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 64 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 30 | °C |

ตารางที่ ก.18 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 19/11/53 รอบที่ 1

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 20 | 3.81 | 7.03 | 34 |
| 30 | 2.38 | 6.94 | 26 |
| 40 | 1.9 | 6.74 | 34 |
| 50 | 1.43 | 6.64 | 28 |
| 60 | 0.95 | 6.45 | 28 |
| 70 | 1.9 | 6.36 | 26 |

ตารางที่ ก.19 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 19/11/53 รอบที่ 2

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 53 | 1.43 | 6.67 | 58 |
| 56 | 1.43 | 6.6 | 40 |
| 59 | 1.9 | 6.51 | 38 |
| 62 | 1.9 | 6.49 | 32 |
| 65 | 1.43 | 6.43 | 20 |
| 69 | 1.9 | 6.39 | 20 |

ตารางที่ ก.20 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 19/11/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|-------------------|----------------|------|--------------|
| 30 | 19.5 | 7.39 | 54 |
| 40 | 1.43 | 7.26 | 54 |
| 50 | 1.43 | 7.18 | 52 |
| 60 | 0.95 | 7.08 | 50 |
| 70 | 1.43 | 7 | 50 |
| 80 | 1.43 | 6.67 | 44 |

ตารางที่ ก.21 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 19/11/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ PAC(mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|------------------|----------------|------|--------------|
| 53 | 1.43 | 7.02 | 60 |
| 56 | 1.43 | 7.1 | 58 |
| 59 | 1.43 | 7.07 | 54 |
| 62 | 0.95 | 7.1 | 50 |
| 65 | 0.95 | 7.04 | 48 |
| 68 | 1.43 | 7.02 | 48 |

ตารางที่ ก.22 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 20 พฤศจิกายน 2553

| | | | |
|--------------|---|-----|---------------------------|
| pH | = | 6.9 | |
| ความขุ่น | = | 57 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 69 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 29 | °C |

ตารางที่ ก.23 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย Fe₂(SO₄)₃·H₂O วันที่ 20/11/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·H ₂ O (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 30 | 4.29 | 6.91 | 44 |
| 40 | 3.33 | 6.85 | 38 |
| 50 | 1.9 | 6.6 | 36 |
| 60 | 1.43 | 6.59 | 32 |
| 70 | 2.38 | 6.44 | 28 |
| 80 | 2.38 | 6.17 | 24 |

ตารางที่ ก.24 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย Fe₂(SO₄)₃·H₂O วันที่ 20/11/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·H ₂ O (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 53 | 3.8 | 6.63 | 40 |
| 56 | 3.33 | 6.63 | 38 |
| 59 | 2.85 | 6.56 | 36 |
| 62 | 4.29 | 6.48 | 34 |
| 65 | 4.24 | 6.48 | 30 |
| 68 | 5.24 | 6.42 | 30 |

4. การทดสอบการใช้สาร โคลแอกดูเลชั่นกับตัวอย่างน้ำในแม่น้ำยมครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.25 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 26 พฤศจิกายน 2553

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.1 | |
| ความขุ่น | = | 85.7 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 80 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 29 | °C |

ตารางที่ ก.26 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 26/11/53 รอบที่ 1

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 100 | 3.33 | 6.78 | 50 |
| 110 | 2.3 | 6.72 | 48 |
| 120 | 2.85 | 6.7 | 48 |
| 130 | 3.33 | 6.51 | 40 |
| 140 | 3.33 | 6.5 | 36 |
| 150 | 3.33 | 6.34 | 32 |

ตารางที่ ก.27 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 26/11/53 รอบที่ 2

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|------|--------------|
| 103 | 4.29 | 7.8 | 58 |
| 106 | 3.81 | 7.79 | 56 |
| 109 | 2.86 | 7.77 | 50 |
| 112 | 2.86 | 6.68 | 50 |
| 115 | 2.86 | 6.61 | 52 |
| 118 | 3.33 | 6.51 | 52 |

ตารางที่ ก.28 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 3 ธันวาคม 2553

| | | | |
|--------------|---|-----|---------------------------|
| pH | = | 7.4 | |
| ความขุ่น | = | 114 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 88 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 29 | °C |

ตารางที่ ก.29 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 03/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|-------------------|----------------|-----|--------------|
| 80 | 7.8 | 7.1 | 41 |
| 90 | 6.7 | 6.8 | 38 |
| 100 | 5.4 | 6.5 | 37 |
| 110 | 4.2 | 6.2 | 35 |
| 120 | 5.8 | 5.8 | 31 |
| 130 | 6.1 | 5.4 | 28 |

ตารางที่ ก.30 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 03/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|-------------------|----------------|-----|--------------|
| 103 | 5.4 | 6.7 | 38 |
| 106 | 5.4 | 6.6 | 38 |
| 109 | 4.8 | 6.4 | 37 |
| 112 | 4.1 | 5.8 | 35 |
| 115 | 4.9 | 5.5 | 35 |
| 118 | 5.7 | 5.4 | 31 |

ตารางที่ ก.31 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 03/09/53 รอบที่ 1

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|---|----------------|-----|--------------|
| 70 | 6.5 | 7.6 | 37 |
| 80 | 4.8 | 7.4 | 34 |
| 90 | 5.6 | 6.8 | 31 |
| 100 | 6.4 | 6.4 | 27 |
| 110 | 7.1 | 6.3 | 24 |
| 120 | 8.3 | 6.1 | 19 |

ตารางที่ ก.32 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 03/09/53 รอบที่ 2

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|---|----------------|-----|--------------|
| 73 | 5.9 | 7.6 | 36 |
| 76 | 5.7 | 7.3 | 35 |
| 79 | 5.5 | 7.1 | 33 |
| 82 | 4.1 | 6.9 | 31 |
| 85 | 4.4 | 6.8 | 28 |
| 88 | 5.5 | 6.8 | 26 |

5. การทดสอบการใช้สาร โคลแอกลูเลชันกับตัวอย่างน้ำในแม่น้ำน่านครั้งที่ 3

ตารางที่ ก.33 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 25 มกราคม 2554

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.19 | |
| ความขุ่น | = | 76.9 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 80 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 30 | °C |

ตารางที่ ก.34 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 25/01/54 รอบที่ 1

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่างรวม |
|-------------------|----------------|------|-----------------|
| 60 | 1.9 | 7.36 | 66 |
| 70 | 0.9 | 7.26 | 54 |
| 80 | 0.9 | 7.18 | 54 |
| 90 | 0.4 | 7.16 | 52 |
| 100 | 0.9 | 7.14 | 50 |
| 110 | 0.9 | 7.1 | 48 |

ตารางที่ ก.35 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย PAC วันที่ 25/01/54 รอบที่ 2

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่างรวม |
|-------------------|----------------|------|-----------------|
| 83 | 2.8 | 7.23 | 55 |
| 86 | 2.1 | 7.19 | 53 |
| 89 | 1.5 | 7.16 | 49 |
| 92 | 1.5 | 7.1 | 48 |
| 95 | 2.3 | 6.94 | 46 |
| 98 | 2.3 | 6.8 | 41 |

ตารางที่ ก.36 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 25/01/54 รอบที่ 1

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 60 | 3.3 | 6.9 | 40 |
| 70 | 2.8 | 6.78 | 32 |
| 80 | 3.8 | 6.56 | 28 |
| 90 | 4.29 | 6.42 | 18 |
| 100 | 5.24 | 6.4 | 16 |
| 110 | 5.7 | 5.32 | 14 |

ตารางที่ ก.37 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 25/01/54 รอบที่ 2

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นค่าง |
|---|----------------|-----|--------------|
| 73 | 3 | 6.9 | 42 |
| 76 | 2.8 | 6.8 | 38 |
| 79 | 2.5 | 6.7 | 37 |
| 82 | 2.5 | 6.7 | 35 |
| 85 | 2.9 | 6.6 | 30 |
| 88 | 3.4 | 6.4 | 28 |

ตารางที่ ก.38 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำน่านวันที่ 09 กุมภาพันธ์ 2554

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.6 | |
| ความขุ่น | = | 30.9 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 76 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 30 | °C |

ตารางที่ ก.39 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/54 รอบที่ 1

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|-----|--------------|
| 20 | 2.9 | 7.2 | 54 |
| 30 | 1.9 | 7.1 | 52 |
| 40 | 1.4 | 7 | 50 |
| 50 | 1.9 | 7 | 46 |
| 60 | 2.4 | 6.7 | 38 |
| 70 | 2.4 | 6.6 | 38 |

ตารางที่ ก.40 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำน่านด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/54 รอบที่ 2

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | PH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|-----|--------------|
| 33 | 2.5 | 7.2 | 52 |
| 36 | 2.3 | 7.1 | 52 |
| 39 | 2 | 7.1 | 48 |
| 42 | 1.8 | 7 | 46 |
| 45 | 1.7 | 7 | 42 |
| 48 | 2.1 | 6.8 | 40 |

6. การทดสอบการใช้สาร โคลแอกลูเลชั่นกับตัวอย่างน้ำในแม่น้ำยมครั้งที่ 3

ตารางที่ ก.41 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 09 กุมภาพันธ์ 2554

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.8 | |
| ความขุ่น | = | 32.4 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 94 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 30 | °C |

ตารางที่ ก.42 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/2554 รอบที่ 1

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|-----|--------------|
| 20 | 7.6 | 7.5 | 82 |
| 30 | 5.7 | 7.4 | 82 |
| 40 | 4.3 | 7.3 | 82 |
| 50 | 4.3 | 7.2 | 76 |
| 60 | 3.3 | 7.1 | 76 |
| 70 | 3.3 | 7 | 66 |

ตารางที่ ก.43 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วยสารส้ม วันที่ 09/02/2554 รอบที่ 2

| ปริมาณสารส้ม (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---------------------|----------------|-----|--------------|
| 63 | 3.3 | 7.6 | 78 |
| 66 | 2.8 | 7.5 | 76 |
| 69 | 2.8 | 7.4 | 73 |
| 72 | 2.3 | 7.4 | 72 |
| 75 | 1.4 | 7.3 | 70 |
| 78 | 1.9 | 7.1 | 68 |

ตารางที่ ก.44 แสดงการทดสอบน้ำดิบจากแม่น้ำยมวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2554

| | | | |
|--------------|---|------|---------------------------|
| pH | = | 7.4 | |
| ความขุ่น | = | 31.4 | NTU |
| ความเป็นด่าง | = | 104 | mg/l as CaCO ₃ |
| อุณหภูมิ | = | 30 | °C |

ตารางที่ ก.45 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 17/02/54 รอบที่ 1

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|-------------------|----------------|-----|--------------|
| 40 | 3.8 | 7.1 | 86 |
| 50 | 3.3 | 7 | 82 |
| 60 | 2.9 | 7 | 82 |
| 70 | 2.9 | 6.9 | 82 |
| 80 | 1.9 | 6.9 | 80 |
| 90 | 2.4 | 6.8 | 80 |

ตารางที่ ก.46 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย PAC วันที่ 17/02/54 รอบที่ 2

| ปริมาณ PAC (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|-------------------|----------------|-----|--------------|
| 73 | 2.8 | 7 | 86 |
| 76 | 2.4 | 7 | 84 |
| 79 | 1.9 | 7 | 82 |
| 82 | 1 | 6.9 | 82 |
| 85 | 1.4 | 6.9 | 82 |
| 88 | 1.9 | 6.8 | 80 |

ตารางที่ ก.47 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 17/02/54 รอบที่ 1

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 40 | 10 | 6.65 | 74 |
| 50 | 9 | 6.5 | 72 |
| 60 | 7.6 | 6.5 | 66 |
| 70 | 6 | 6.47 | 64 |
| 80 | 4 | 6.46 | 58 |
| 90 | 7.6 | 6.3 | 48 |

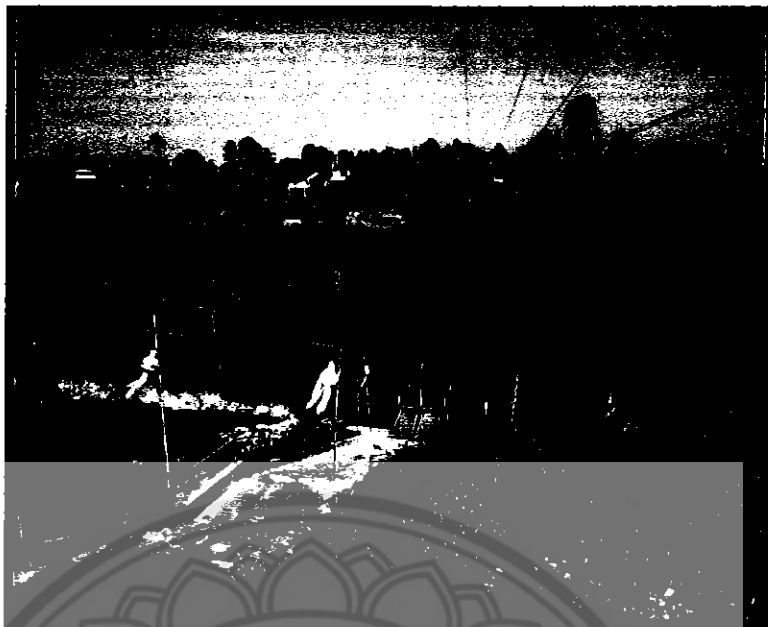
ตารางที่ ก.48 แสดงการทดลอง Jar Test แม่น้ำยมด้วย $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ วันที่ 17/02/54 รอบที่ 2

| ปริมาณ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mg/l) | ความขุ่น (NTU) | pH | ความเป็นด่าง |
|---|----------------|------|--------------|
| 73 | 5.2 | 6.5 | 64 |
| 76 | 4.7 | 6.45 | 62 |
| 79 | 4.3 | 6.4 | 60 |
| 82 | 2.9 | 6.3 | 58 |
| 85 | 2.9 | 6.2 | 58 |
| 88 | 4.3 | 6.2 | 56 |

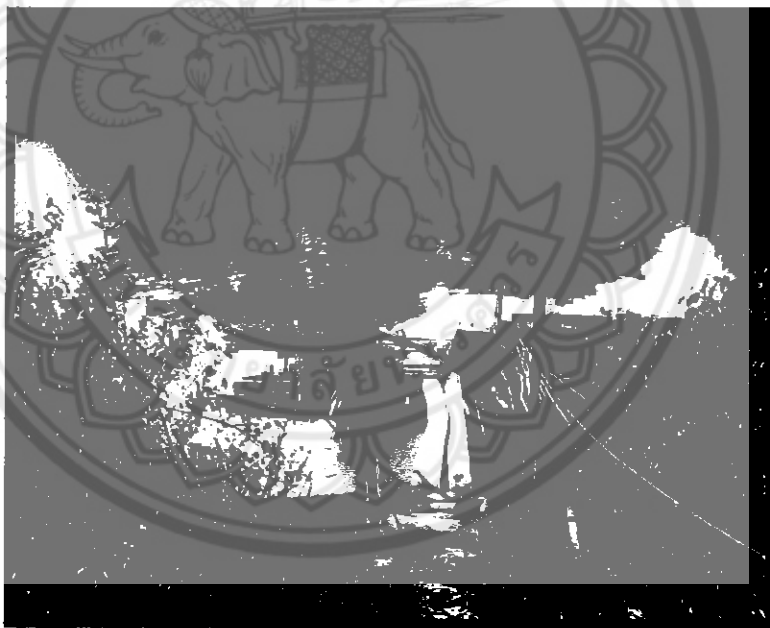


ภาคผนวก ข
ภาพถ่ายการทดลอง

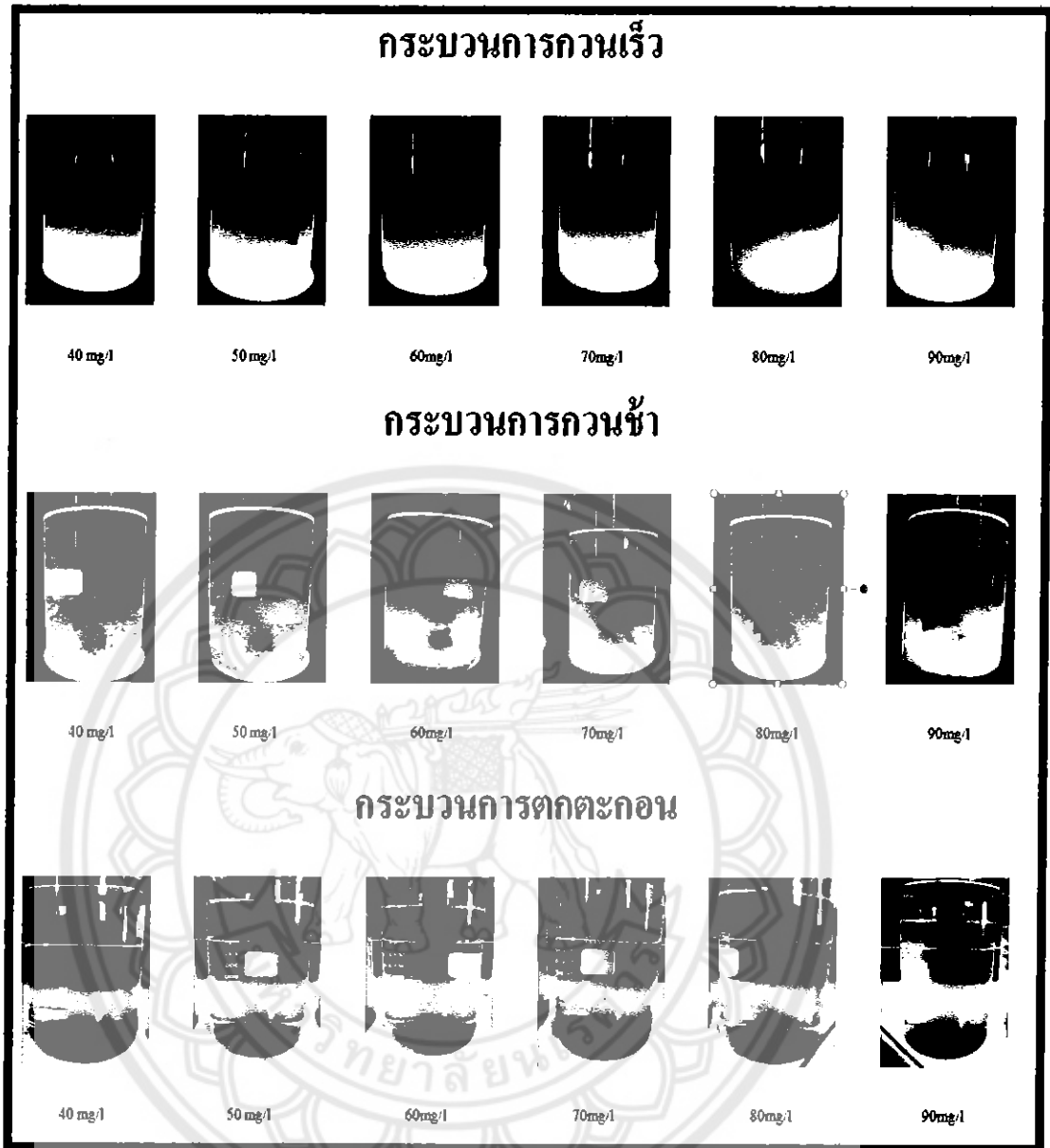
มหาวิทยาลัยบูรพา



รูปที่ ข.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำน่าน



รูปที่ ข.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำยม





รูปที่ ข.4 เครื่องจาร์ทดสอบ (Phipps&Bird Model 7790-902B)



รูปที่ ข.5 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Becthai Bangkok Equipment Model GENESY 20)



รูปที่ ข.6 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Denver Instrument Model 250)



รูปที่ ข.7 สารส้ม



รูปที่ ข.8 ทีเอซี



รูปที่ ข.9 เฟอริกซัลเฟต

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายกฤษดา โลกา
 ภูมิลำเนา 5 หมู่ 5 ต.บ่อเกลือใต้ อ.บ่อเกลือ จ.น่าน 55220
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนบ่อเกลือ
- กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kridsada_neng_envi@hotmail.com



ชื่อ นายวีระชัย คู่ยดี
 ภูมิลำเนา 90 หมู่ 4 ต.เสริมกลาง อ.เสริมงาม จ.ลำปาง 55210
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเสริมงามวิทยาคม
- กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: weerachai_envi@hotmail.com



ชื่อ นายสุทธิพงษ์ วงศ์ดวงใส
 ภูมิลำเนา 161 หมู่ 6 ต.วังเหนือ อ.วังเหนือ จ.ลำปาง 52140
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนวังเหนือวิทยา
- กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: what_sup_girl@hotmail.com