การใช้คลอรีนกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา

CHLORINE TREATMENT OF IRON AND MANGANESE IN FRESH WATER FOR WATER SUPPLY

นฤมล ยืนยาว
NARUEMON YUNYAO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551

KMITL-2008-AI-M-054-027

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้คลอรีนกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา

CHLORINE TREATMENT OF IRON AND MANGANESE IN FRESH WATER FOR WATER SUPPLY

นฤมล ยืนยาว

NARUEMON YUNYAO

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 87862
วัน,เดือน,ปี 19 มี.ค. 2552

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-AI-M-054-027

CHLORINE TREATMENT OF IRON AND MANGANESE IN FRESH WATER FOR WATER SUPPLY

NARUEMON YUNYAO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-AI-M-054-027

COPYRIGHT 2008

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้คลอรีนกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา
CHLORINE TREATMENT OF IRON AND MANGANESE IN FRESH WATER FOR WATER SUPPLY

ชื่อนักศึกษา นางสาวนฤมล ยืนยาว

รหัสประจำตัว 47067704

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กิตติชัย บรรจง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติชัย บรรจง รศ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์ นายประกาย บริบูรณ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 2 ตุลาคม 2551 เวลา 13.00น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 13 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2551

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้คลอรีนกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา
นักศึกษา	นางสาว นฤมล ยืนยาว
รหัสประจำตัว	47067704
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำคลอรีนมาใช้ในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบโดยทำให้ตกตะกอนและถูกกำจัดออกไปในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อนำมาผลิตน้ำประปา ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการ โดยนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) จำนวน 64 ตัวอย่าง นำมาทำปฏิกริยาออกซิเดชั่นกับคลอรีน ที่ความเข้มข้น 5 ระดับได้แก่ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร และตกตะกอนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำน้ำใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) แล้วนำข้อมูลไปประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ และตรวจสอบการนำไปใช้ โดยทดสอบกับตัวอย่างน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) จำนวน 4 ครั้ง และตัวอย่างน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติของอ่างเก็บน้ำจำนวน 15 ครั้ง

ผลการวิจัยพบว่าสามารถนำแบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการมาช่วยในการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ให้เหมาะสมกับข้อมูลจะทำได้โดยหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Square Error) ของแต่ละสมการทางคณิตศาสตร์ นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกัน เพื่อเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดแล้วนำมาใช้พยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการเพื่อกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา

Thesis Title	**Chlorine Treatment of Iron and Manganese in Fresh Water for Water Supply**
Student	**Miss Naruemon Yunyao**
Student ID.	**47067704**
Degree	**Master of Science**
Program	**Food Sanitation**
Year	**2008**
Thesis Advisor	**Dr. Kittichai banjong**

ABSTRACT

The main objectives of this research were to study the chlorine treatment of iron (Fe) and Manganese (Mn) in fresh water by sedimentation and filtration for water supply. Mathematical models are developed to forecast the chlorine demand. For the experiment 64 synthesis fresh water samples which had iron (Fe) and Manganese (Mn) is test by chlorine . The concentration of chlorine is divided in 5 levels which are 0 , 8 , 12 , 16 and 20 mg/L. The sedimentation was made by jar test process in 1 hour. The result of jar test process clear water which brought to evaluation by SPSS for Windows Program to find out the equation of chlorination.

The test of the equation of chlorination was done 4 times using the synthesis of fresh water which had iron (Fe) and Manganese (Mn) and 15 times using the fresh water in reservoir

The mathematical model of chlorine can use to forecast the amount of residual chlorine that treat Iron and Manganese for stand. To select the best forecasting method for the data use to find some method error and choose the method of the least error. The best forecasting method is use to forecast the chlorine demand for remove iron and manganese in fresh water for water supply.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์จาก ดร.กิตติชัย บรรจง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ร.ศ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะและสนับสนุนอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ ร.ศ.ดร. อดิศร เสวตวิวัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะที่ดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณประกาย บริบูรณ์ ที่ให้เกียรติกรุณาเข้าร่วมเป็นคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่สั่งสอนให้วิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและดูแลห่วงใย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สาขาสุขาภิบาลอาหารที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์

ขอขอบคุณ คุณวราวิช ปานเทศ คุณสำรวม เสือคำ คุณภัทรนันท์ คงเจริญ และ เพื่อนพนักงานแผนกปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม นิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ที่คอยช่วยเหลือในการทำการทดลองและให้กำลังใจ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่สั่งสอนให้วิชาความรู้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

นฤมล ยืนยาว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.3 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธาตุเหล็กและแมงกานีสในน้ำดื่ม 3

2.1.1 แหล่งของแมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) ในน้ำดื่ม..... 3

2.1.2 การกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

โดยวิธีออกซิเดชันและการกรอง.....4

2.1.3 ความเข้มข้นของคลอรีน.....5

2.1.4 Breakpoint Chlorination (Super Chlorination).....6

2.1.5 ผลกระทบของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดื่ม.....7

2.1.6 การแก้ไขเมื่อแหล่งน้ำมีเหล็ก (Fe) และแมงกานีส(Mn) 7

2.1.7 ระบบผลิตน้ำประปา.....9

2.1. 8 แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม 11

2.1.9 การใช้คลอรีนในน้ำประปา.....12

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....18

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....22

3.1 สารเคมี และอุปกรณ์.....22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 สถานที่ดำเนินการทดลอง....23

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง....23

3.3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำนิคมฯ....23

3.3.2 หาอัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมช่วยในการตกตะกอนน้ำดิบ....24

3.3.3 ศึกษาผลของปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบต่อการเติมปริมาณคลอรีนที่ต้องการ....24

3.3.4 พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) 25

3.3.5 พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในแหล่งน้ำธรรมชาติ....26

3.3.6 เปรียบเทียบการใช้สมการคณิตศาสตร์ใดมีความเหมาะสม....26

3.3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำ....26

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์....28

4.1 คุณภาพน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ 28

4.1.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)....28

4.1.2 ค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity)....29

4.1.3 ค่าความขุ่น (Turbidity)....30

4.1.4 ค่าแมงกานีส (Mn)....32

4.1.5 เหล็ก (Fe)....33

4.1.6ปริมาณน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำดิบ....35

4.2 การออกแบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ....36

4.2.1 แบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ แบบที่ 1....37

4.2.2 แบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ แบบที่ 2....38

4.3 การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ....40

4.3.1การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในน้ำดิบสังเคราะห์เหล็กและแมงกานีส....40

4.3.2 การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในแหล่งน้ำธรรมชาติ....42

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....48

ภาคผนวก ก.....52

ภาคผนวก ข. 76

ภาคผนวก ค. 80

ภาคผนวก ง. 94

ภาคผนวก จ. 97

ภาคผนวก ฉ. 106

ประวัติผู้เขียน.....111

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปฏิกริยาระหว่างสารประกอบอนินทรีย์เหล็กและแมงกานีสเมื่อทำปฏิกริยากับคลอรีน.....4
2.2 วิธีการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดื่ม.....8
4.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.....28
4.2 ค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.....30
4.3 ค่าความขุ่น(Turbidity) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.....31
4.4 ค่าแมงกานีส (Manganese) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.....32
4.5 ค่าเหล็ก (Iron) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.....34
4.6 ปริมาณน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำดิบของนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.....35
4.7 ค่าMSEของสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการจากตัวอย่างน้ำดิบที่มีเหล็ก (Fe) และ
แมงกานีส (Mn) สังเคราะห์.....42
4.8 ค่าMSEของสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการจากตัวอย่างน้ำดิบธรรมชาติ.....44

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 กราฟของการเติมคลอรีนแบบ Breakpoint chlorination ในกรณีที่น้ำมีแอมโมเนีย และสารอื่น....6

1.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปานิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้....21

4.1 ค่า pH ของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ. 2550....29

4.2 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ. 2550....30

4.3 ค่าความขุ่นของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ. 2550....31

4.4 ค่าแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ. 2550....33

4.5 ค่าเหล็ก (Fe)ของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ. 2550....34

4.6 ค่าปริมาณน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ. 2550....35

4.7 ค่าพยากรณ์แมงกานีสในน้ำใสที่ได้จากน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)....41

4.8 ค่าพยากรณ์แมงกานีสในน้ำใสที่ได้จากน้ำดิบธรรมชาติ....43

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาน้ำประปามีสี และความขุ่น ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากแหล่งน้ำดิบมีค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในปริมาณที่สูง ซึ่งในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) จำเป็นต้องใช้สารคลอรีนเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ (oxidizing agent) เพื่อทำให้เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เกิดการตกตะกอน แล้วจึงมาผ่านการกรองเอาสารเหล่านี้ออกจากระบบผลิตน้ำประปา หากมีปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เข้ามาในระบบการผลิตน้ำประปา และไม่สามารถตกตะกอนได้หมด แร่ธาตุดังกล่าวจะหลุดผ่านการกรองด้วยทราย ปะปนไปกับน้ำประปาที่ผลิต ดังนั้นเมื่อมีการเติมสารคลอรีนในขั้นตอนสุดท้าย (Post chlorination) ก่อนปล่อยน้ำไปตามท่อ คือภายหลังกระบวนการผลิตน้ำประปา ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดตะกอนของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ติดค้างตามเส้นท่อ และบางส่วนก็ไปกับน้ำประปาไปยังผู้บริโภค และยังทำให้ปริมาณคลอรีนที่เติมลงไป เพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาเกิดการเสื่อมสลายไปกับการจับแร่ธาตุดังกล่าว ทำให้เหลือปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำไม่เพียงพอที่จะออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ นอกจากนี้น้ำที่มีตะกอนความขุ่น ก็ยังเป็นเกราะกำบังจุลินทรีย์จากการถูกทำลายด้วยคลอรีนอิสระ จึงทำให้น้ำประปานั้นไม่ปลอดภัยในการบริโภค น้ำประปาที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วควรมีปริมาณของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เหลือปะปนในปริมาณที่ต่ำ เพื่อจะไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอรีนที่เติมลงในน้ำประปาเพื่อฆ่าเชื้อโรค เพื่อไม่ให้แบคทีเรียในน้ำสามารถกลับมาเจริญได้อีก และสีของน้ำประปามีความใสสะอาดไม่เป็นที่รังเกียจ ซึ่งเป็นการควบคุมคุณภาพน้ำประปาให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาค

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการใช้คลอรีนในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ ซึ่งผลการศึกษานี้จะนำไปใช้ในการควบคุมและจัดการระบบผลิตน้ำประปาที่มีปัญหาแร่ธาตุเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในแหล่งน้ำดิบให้มีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้คลอรีน เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ (Oxidizing agent) เพื่อทำให้ธาตุเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่มีในน้ำดิบในระดับที่แตกต่างกัน เกิดการตกตะกอนแล้วถูกกำจัดออกไปเพื่อทำนายปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบสำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา

1.3 จุดประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้คลอรีนในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

1.3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ และปริมาณคลอรีนที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่น ที่มีผลต่อการตกตะกอนและทำให้เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ถูกกำจัดออกไปในน้ำภายหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

1.3.2 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธาตุเหล็กและแมงกานีสในน้ำดื่ม

เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ไม่ใช่แร่ธาตุที่เป็นพิษ แต่ก็สร้างปัญหาให้กับระบบผลิตน้ำประปา เนื่องจากทั้งเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) มีลักษณะทางเคมีเหมือนกันจึงก่อให้เกิดปัญหาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในลักษณะเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามมักพบเหล็ก (Fe) มากกว่าแมงกานีส (Mn) ในระบบผลิตน้ำประปา และโดยทั่วไปแล้วแมงกานีส (Mn) มักมาคู่กับเหล็ก (Fe) (Wilkes University Center for Environmental Quality Geo-Environmental Sciences and Engineering Department , 2005)

2.1.1 แหล่งของแมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) ในน้ำดื่ม

เหล็ก (Fe) : มักจะพบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป โดยเฉพาะน้ำใต้ดิน เหล็ก (Fe) เกิดขึ้นในธรรมชาติที่ชั้นใต้ดิน ซึ่งมีมากที่สุดแร่ธาตุหนึ่งโดยมากมักจะอยู่ในรูปของ Ferrous (Fe^{2+}) และ Ferric (Fe^{3+}) พวกเหล็ก Ferrous (Fe^{2+}) จะพบได้มากในน้ำใต้ดินโดยเฉพาะน้ำบาดาลโดยมักละลายอยู่ในรูป $Fe(HCO_3)_2$ และ $FeCl_2$ จากคุณสมบัติทางเคมีของ Ferrous ที่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้น้ำที่มี Fe^{2+} ยังคงเป็นน้ำใสอยู่ แต่เมื่อสูบขึ้นมาพวก Fe^{2+} จะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งทำให้เกิด Ferric (Fe^{3+}) ที่ตกตะกอนทำให้น้ำขุ่นขึ้นมีสีสนิมเหล็กอยู่ในน้ำประปา โดยทั่วไปเหล็ก (Fe) ที่อยู่ในน้ำประปามักจะไม่ส่งผลอันตรายต่อผู้บริโภค แต่มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าควรมีเหล็ก (Fe) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำประปาและจะยอมให้มีได้สูงสุดเท่ากับ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (เกรียงศักดิ์, 2536)

แมงกานีส (Mn) : พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป และน้ำประปา โดยมักจะพบปะปนอยู่กับเหล็กเสมอ แต่โดยทั่วไปมักพบในปริมาณที่น้อยกว่าแมงกานีส (Mn) พบได้ในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน แมงกานีสในน้ำจะอยู่ใน 2 รูป คือ Mn^{2+} และ Mn^{4+} ซึ่งแมงกานีสจะมีความคงตัว แปรเปลี่ยนรูปได้ยากกว่าเหล็ก (Fe) ทำให้การกำจัดแมงกานีส (Mn) ออกจากน้ำทำได้ยากกว่า จำเป็นต้องมีทั้งออกซิเจนและคลอรีนมาช่วยในการกำจัดออก (เกรียงศักดิ์, 2536) เนื่องจากแมงกานีส (Mn) เป็นโลหะจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์บางชนิดในร่างกายมนุษย์ ดังนั้นการรับแมงกานีส (Mn) จากอาหารในระดับ10 มิลลิกรัม/วัน จึงไม่ถือว่าเป็นอันตราย แต่ถ้าร่างกายได้รับแมงกานีส (Mn) ในปริมาณมากๆสามารถทำให้เกิดการเป็นพิษได้ แต่กว่าที่น้ำจะมีระดับของแมงกานีส (Mn) สูงจนทำให้เกิดปัญหากับผู้ใช้น้ำ จะพบว่าทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพของน้ำอย่างมาก จนทำให้ผู้ใช้น้ำไม่

สามารถนำน้ำไปใช้ได้ โดยแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร หรือความเข้มข้นที่รวมกับเหล็ก (Fe) ที่มากกว่า 0.3 - 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จะเริ่มสร้างปัญหา โดยที่แมงกานีส (Mn) จะตกตะกอนแยกตัวจากน้ำ และถ้าไปจับกับออกซิเจนหรือคลอรีน จะทำให้เกิดเป็นคราบจับติดอยู่ภายในท่อ หรือบางครั้งก็หลุดติดไปกับน้ำประปาด้วย (อุดร และจารุรัตน์, 2542) U.S.EPA ได้แนะนำค่ามาตรฐานน้ำดื่มไว้ไม่ให้มีแมงกานีส (Mn) เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร และเหล็กมีค่าไม่เกิน 0.3 มิลิกรัม/ลิตร (Department of health and the university of Rhode island and department of natural resources science, 2003) และตามมาตรฐานน้ำประปา-การประปาภูมิภาคได้กำหนดไว้ว่าควรมีแมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ข)

2.1.2 การกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) โดยวิธีออกซิเดชันและการกรอง

หลักการของวิธีนี้คือ ทำให้เหล็ก (Fe) หรือแมงกานีส (Mn) ละลายน้ำ เกิดออกซิเดชั่นและตกผลึก จากนั้นจึงทำการกรองผลึกออกจากน้ำ การตกตะกอนอาจจำเป็นหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำ Prechlorination อาจช่วยได้มากในบางครั้ง ทั้งนี้เพราะมันสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กและช่วยกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำ ปฏิกริยาระหว่างเหล็กและแมงกานีสเมื่อทำปฏิกริยากับคลอรีนแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปฏิกริยาระหว่างสารประกอบอนินทรีย์เหล็กและแมงกานีสเมื่อทำปฏิกริยากับคลอรีน

Inorganic compounds	Reaction
Iron In water supply, iron usually occurs naturally in groundwaters or can be a product of the degradation of metallic materials from the distribution system. Chlorine reaction with this species consists of the oxidation of ferrous ion (Fe^{2+}) to ferric ion (Fe^{3+}) . In general, the first one is present in water in the form of bicarbonate, which is slightly soluble and the second one, depending on the hydroxide content, may hydrolyse quickly to ferric hydroxide, which precipitates as a red solid. The reaction, which is extremely rapid in solution, proceeds over a wide range of pH (4-10), the optimum value being pH $\geq$ 7 .Both free and combined chlorine can react this way. If iron is in an organic form, the velocity is considerably lower.	Global reaction (omitting the formation of ferric ion): $2\ Fe(HCO_3)_2+Cl_2+Ca(HCO_3) \longrightarrow 2\ Fe(HO)_3+CaCl_2+6\ CO_2$

ตารางที่ 2.1(ต่อ)

Inorganic compounds	Reaction
Manganese Free Chlorine oxidizes manganese compounds that precipitate as manganese dioxides. This type of reaction is not important if the disinfectant is chloramines or other form of combined residual. The reaction, which is slow (2 to 4 hours to reach completion) , proceeds over a range of pH 7 to 10, the optimum being the higher values . If manganese is in an organic form, the velocity is even lower.	$MnSO_4 + Cl_2 + 4\,NaOH \longrightarrow MnO_2 + 2\,NaCl + Na_2SO_4 + 2\,H_2O$

ที่มา : Vieira, P. , Coelho, S.T. และ Loureiro, D. (2004)

อย่างไรก็ตามการทำ Prechlorination ต้องให้ถึงจุด Breakpoint จึงจะได้ผลดี ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในห้องปฏิบัติการก่อน จะช่วยให้แน่ใจได้ว่าการเติมคลอรีนจะถึงจุด Breakpoint อย่างแน่นอน

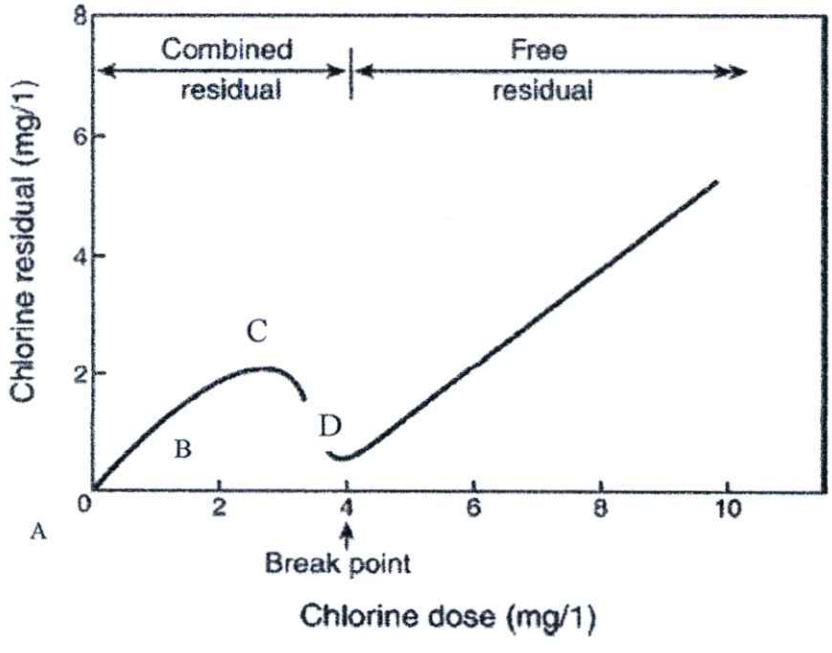
2.1.3 ความเข้มข้นของคลอรีน

ความเข้มข้นของคลอรีนที่ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine Residual) สิ่งที่สำคัญที่สุด ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณคลอรีนที่เติมลงไป ในการวัดปริมาณคลอรีนอิสระ วัดได้หลังจากเติมคลอรีนลงไปในน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เกิดการสัมผัสของคลอรีนที่เติมลงไปกับสิ่งที่อยู่ในน้ำเช่น สารแขวนลอย หรือแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำ หลังจากนั้นจึงจะเหลือเป็นปริมาณคลอรีนอิสระ

เนื่องจากคลอรีนเป็นสารออกซิไดซิงอย่างแรง ดังนั้นเมื่อเติมลงไปในน้ำ คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเติมคลอรีนน้อยเกินไป ก็จะไม่มีคลอรีนเหลือตกค้าง แต่ถ้าเติมคลอรีนให้มากพอ หลังจากทำปฏิกิริยากับสารต่างๆแล้ว ก็จะมีคลอรีนอิสระเหลือตกค้างอยู่ในน้ำ ที่เรียกว่า Free residual chlorine ที่ออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ ซึ่งปริมาณของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆที่อยู่ในน้ำเรียกว่า Chlorine Demand หรือ ความต้องการคลอรีน ด้วยเหตุนี้ ปริมาณคลอรีนที่เติมลงไปเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ จึงมีค่าเท่ากับผลบวกระหว่างความต้องการคลอรีน รวมกับปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้าง เพื่อสำรองไว้ฆ่าเชื้อโรค อนึ่งความต้องการคลอรีน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำ เช่นน้ำที่มีความขุ่นมักต้องการคลอรีนสูงเป็นต้น ส่วนระดับคลอรีนตกค้างนั้น ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของน้ำประปาที่กำหนดขึ้น(มั่นสิน, 2542)

2.1.4 Breakpoint Chlorination (Super Chlorination)

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน จะได้ผลอย่างแน่นอนก็ต่อเมื่อ มีการเติมคลอรีนจนกระทั่งมีคลอรีนอิสระตกค้าง (Free residual chlorine) ปรากฏอยู่ในน้ำ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า Breakpoint Chlorination หรือ Super Chlorination ถ้าทดลองเติมคลอรีนในปริมาณต่างๆ ลงไปในน้ำ และวัดปริมาณคลอรีนตกค้างหลังจากเวลาสัมผัส 30 นาที เราจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนที่เติมและปริมาณคลอรีนตกค้าง การเติมคลอรีนให้กับน้ำประปาที่สะอาด ย่อมมีการสูญเสียคลอรีนเกิดขึ้นเสมอ เนื่องจากในน้ำประปามักมีสารละลายรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น Fe^{2+} เป็นต้น ทำให้มีคลอรีนตกค้างน้อยกว่าคลอรีนที่เติมลงไป แต่หลังจากที่เกิดปฏิกิริยากับสารรีดิวซิงไปแล้ว คลอรีนที่เติมลงไปจะเท่ากับคลอรีนตกค้าง ในกรณีที่น้ำประปามีแอมโมเนียหรือมีมลทินอื่นๆ กราฟที่ได้มักเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กราฟของการเติมคลอรีนแบบ Breakpoint chlorination ในกรณีที่น้ำมีแอมโมเนียและสารอื่น

ที่มา : WHO (2008)

จากกราฟดังกล่าว จะเห็นว่าช่วงแรกของกราฟ (ระยะ AB) มีคลอรีนตกค้างต่ำมาก เนื่องจากคลอรีนถูกสารประกอบอินทรีย์จับไว้เกือบหมด นอกจากนี้คลอรีนยังมีปฏิกิริยากับสารรีดิวซิงที่อยู่ในน้ำ ระยะจาก B ไป C เป็นปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับแอมโมเนีย ทำให้ได้สารคลอรามีนต่างๆ ซึ่งเป็นคลอรีนรวม (Combine Chlorine) ด้วยเหตุนี้แม้ว่าคลอรีนอิสระจะลดลง แต่คลอรีนรวมมีเพิ่มมากขึ้น กราฟ BC ยังปรากฏให้เห็นการเพิ่มของคลอรีนตกค้าง เมื่อเติมคลอรีนเพิ่มขึ้นอีกจนเลยจุด C ปฏิกิริยาออกซิเดชันยังเกิดต่อไป แต่เป็นการทำลายสารประกอบคลอรามีนให้กลายเป็น

ไนโตรเจนออกไซด์ ปริมาณคลอรีนตกค้างจึงลดลง แอมโมเนียและสารประกอบคลอรามีนจะลดลงจนเหลือน้อยที่สุดที่จุด D จุดนี้เรียกว่า Breakpoint ซึ่งเป็นจุดที่สำคัญ เพราะแสดงถึงปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารในน้ำได้ถึงที่สุดแล้ว หลังจากนี้คลอรีนตกค้างจะอยู่ในรูปคลอรีนอิสระ ซึ่งออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ คลอรีนอิสระตกค้างจะเท่ากับคลอรีนที่เติมเมื่อถึงและเลยจุด D ไปแล้ว (มั่นสิน, 2542)

2.1.5 ผลกระทบของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดื่ม

2.1.5.1 ทั้งเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) สามารถรวมตัวกับสารอินทรีย์ในน้ำ มีผลทำให้น้ำมีสี และอนุภาคที่ใหญ่พอจะก่อให้เกิดตะกอนในเส้นท่อ

2.1.5.2 หากมีเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในอาหารและน้ำ จะส่งผลให้รสชาติ สีของอาหารเปลี่ยนแปลงไป โดยธาตุทั้งสองอาจจะทำปฏิกิริยากับแทนนิน (tannins) ในชาหรือกาแฟ ทำให้เกิดตะกอนดำ โดยที่แมงกานีส (Mn) มีผลต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าเหล็ก (Fe) เนื่องจากปริมาณเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลกระทบดังกล่าว

2.1.5.3 เหล็ก (Fe) เป็นสาเหตุที่ทำให้เสื้อผ้า เป็นรอยเปื้อนสีน้ำตาลค่อนข้างแดง แมงกานีส (Mn) ก็เช่นกันแต่จะทำให้เสื้อผ้าเป็นรอยเปื้อนสีน้ำตาล-ดำ การใช้ผงซักฟอกไม่สามารถกำจัดออกได้ หากน้ำมีสีเข้มมาก ควรใช้น้ำยาซักผ้าขาวที่มีคลอรีน และอัลคาไลน์ (alkaline) เช่น sodium หรือ carbonate เป็นองค์ประกอบ

2.1.5.4 สามารถเกาะกลุ่มและตกตะกอนอยู่ตามเส้นท่อ หากว่าในระบบส่ง-จ่ายมีความดันหรือแรงดันต่ำ และยังทำให้อุปกรณ์ตัวปั๊มอุดตันทำให้เสียพลังงานมากยิ่งขึ้น

2.1.5.5 ก่อให้เกิดปัญหาที่พบมากคือ iron หรือ manganese bacteria แบคทีเรียเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ว่าคุณภาพน้ำไม่ปลอดภัยหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เพราะสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดินบริเวณผิวน้ำ หากมีเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำ แบคทีเรียก็จะกินธาตุเหล่านี้ และเจริญเกาะกลุ่มเป็นฟิล์มชีวภาพ หากในน้ำมีธาตุเหล็ก (Fe) จะเป็นเกิดเป็นกลุ่มสีน้ำตาลแดง หากน้ำมีแมงกานีส (Mn) จะเป็นสีน้ำตาลดำ เกิดขึ้นภายในถังกักเก็บน้ำหรือตกตะกอนตามระบบเส้นท่อ iron หรือ manganese bacteria จะมีผลทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นสาบโคลน (Department of health and the university of Rhode island and department of natural resources science, 2003)

2.1.6 การแก้ไขเมื่อแหล่งน้ำมีเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

การพิจารณาเลือกวิธีการใดในการกำจัดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ประกอบด้วยความเข้มข้น และรูปแบบของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่มีอยู่ในน้ำดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 วิธีการการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดื่ม

INDICATION	CAUSE	TREATMENT
Water clear when drawn but red brown or black particles appear as water stands: red-brown or black stains on fixtures or laundry	Dissolved iron or manganese	-Phosphate compounds(<3mg/L iron) -Ion Exchange(<5mg/L combined concentrations of iron and manganese) -Oxidizing filter(manganese greensand or zeolite)(<15 mg/L combined concentrations of iron and manganese -Aeration (pressure)(<25mg/Lcombined concentrations of iron and manganese) -Chemical oxidation with potassium permanganate or chlorine; followed with filtration (>10 mg/L combined concentrations of iron and manganese)
Water contains red-brown particles when drawn; particles settle out as water stands	Iron particles from corrosion of iron pipes and equipment	Raise pH with neutralizing filter
Water contains red-brown or black particles when drawn; particles settle out as water stands	Oxidized iron /manganese due ot exposure of water to air prior to tap	Particle filter (if quantity of oxidized material is high use larger filter than inline; e.g. sand filter)
Red –brown or black slime appears in tolet tanks of from clogs in faucets	Iron or manganese bacteria	Kill bacteria masses by shock treatment with chlorine or potassium permanganate ,then filter;bacteria may originate in well, so it may require continuous feed of chlorine or potassium permanganate , then filter
Reddish or black color that remains longer than 24 hours	Colloidal iron/manganese; organically complexed iron/manganese	Chemical oxidation with chlorine or potassium permanganate; followed with filtration

Note: mg/L =milligrams per liter

Adapted from "Iron and Manganese in Household Water" Water Treatment Notes .Fact Sheet 6. Cornell Cooperative Extension (1989)

ที่มา: Department of health and the university of Rhode island and department of natural resources science. (2003)

2.1.7 ระบบผลิตน้ำประปา

ปัญหาขบวนการผลิตน้ำประปาที่เกิดขึ้นเสมอ คือ ปัญหาความขุ่นหรือสารแขวนลอย ที่จำเป็นต้องกำจัดออก เพื่อให้ลักษณะน้ำเหมาะสมแก่การนำมาใช้งาน ความขุ่นเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวมันเองในเวลาจำกัด และเครื่องกรองก็ไม่อาจจะกำจัดได้หมดนั้นจึงมีความจำเป็นในการทำให้เกิดการจับกลุ่มของอนุภาคคอลลอยด์หลายๆอนุภาคจับตัวกันเป็นฟล้อค เรียกว่าโคแอกกูเลชั่น แล้วจึงกำจัดฟล้อคออกจากน้ำ โดยใช้ถังตกตะกอนและถังกรองขบวนการนี้สามารถกำจัดสารดังต่อไปนี้ ได้อนุภาคคอลลอยด์ที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ดิน ทราย สาหร่าย แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ สารอินทรีย์บางประเภท เช่น กรดฮิวมัด ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาแสดงดังรูปที่ 1.2

ขบวนการโคแอกกูเลชั่นที่จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างรวมตัวและจับกันเป็นฟล้อคมี 2 ขั้นตอนดังนี้ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ เช่น การลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่งโดยการใช้สารเคมีบางประเภทที่เรียกว่า Coagulant ที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ สารส้ม หรือสารประกอบเหล็ก เช่น Ferric Chloride ($FeCl_3$) ปูนขาว โซดาแอช เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะจับตัวกับอนุภาคความขุ่นเป็นการทำลายเสถียรภาพของความขุ่นขั้นตอนนี้เรียกว่า Coagulation

การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วสัมผัสกัน และเกาะติดแน่นเป็นผลให้ฟล้อคมีน้ำหนัก และตกตะกอนได้ง่าย สารเหล่านี้เรียกว่า Cogulation Aid ซึ่งได้แก่ สารอินทรีย์ประเภท Polymer หรือ Polyelectrolize ต่างๆ ซึ่งขบวนการนี้เรียกว่า Flocculation

2.1.7.1 ส่วนประกอบของขบวนการโคแอกกูเลชั่น

ในขบวนการนี้จะมีส่วนประกอบ 2 อย่างคือ

2.1.7.1.1 การกวนเร็ว

ในจังหวะทีมีการเติมสาร Coagulation เพื่อให้การกระจายตัวของสารเคมีเป็นไปอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ขึ้น ในระบบน้ำที่ใช้อยู่จะใช้การกวนเร็วในเส้นท่อ โดยอาศัยแรงดันน้ำ และการไหลของน้ำเป็นการกวน

2.1.7.1.2 การกวนช้า

มีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเพื่อให้รวมตัวเป็นฟล้อค ในระบบที่ใช้อยู่ การกวนช้า จะเกิดในจังหวะที่น้ำเข้าช่วงกลางถังตะกอนซึ่งมีใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วต่ำเป็นตัวกวน แม้ว่าการกวนเร็ว และกวนช้า ทำให้เกิดการรวมตัวของคอลลอยด์ จนมีขนาดใหญ่แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นในขบวนทั้งสอง การกำจัดความขุ่น จะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอน และถังกรองทราย ตะกอนที่ถูกกำจัดออกไปจะเป็นอนุภาคคอลลอยด์รวมกับสารเคมี ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากระบบทางก้นถังตกตะกอน โดยตะกอนจะตกลงสู่ก้นถัง

ตกตะกอน และสะสมตัวมีลักษณะคล้ายโคลน หรือ เลน เรียกว่า Sludge จนกระทั่งมีการระบายทิ้ง นอกจากนี้จะมีฟล้อคบางส่วนที่มีน้ำหนักเบาหรือการเกาะตัวไม่แน่น ไม่ตกตะกอนจะไหลออกไปเข้าถังกรองและถูกกรองด้วยชั้นกรองทราย

2.1.7.2 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการตกตะกอน

การเลือกใช้สารเคมีมักขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำดิบเป็นสำคัญ โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้สารส้ม เนื่องจากสามารถใช้ได้กับน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่ ประกอบกับราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย นอกจากนี้การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยการละลายกรดหรือด่างก็เป็นเรื่องจำเป็นมิฉะนั้นแล้วโคแอกกูเลชั่น ก็อาจจะเกิดไม่สมบูรณ์ ยิ่งกว่านั้นอาจจำเป็นต้องเติม Coagulation Aid บางอย่าง เพื่อให้ฟล้อคมีขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้ง่าย สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนได้แก่

1) สารส้ม เป็นสารที่เติมลงไป เพื่อทำลายเสถียรภาพของความขุ่น ดังนั้นปริมาณการเติมต้องควบคุม เพื่อให้การทำลายเสถียรภาพเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ในกรณีน้ำที่มีความขุ่นมากก็ต้องใช้ปริมาณสารส้มมากขึ้นด้วย การตกตะกอนด้วยสารส้มจะให้ผลดีเมื่อ pH อยู่ในช่วง 6-7 แต่ในกรณีน้ำมีค่าความเป็นด่างต่ำ การเติมสารส้มจะทำให้ pH น้ำลดต่ำลงเนื่องจากสารบัฟเฟอร์ในน้ำมีปริมาณน้อย จึงต้องมีการปรับ pH ด้วยสารละลายด่าง เพื่อป้องกันมิให้ pH ของน้ำลดต่ำลงจนขบวนการโคแอกกูเลชั่นเกิดไม่สมบูรณ์

2) ปูนขาว เป็นสารที่เติมเพื่อเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับน้ำ โดยปริมาณการเติมต้องเหมาะสมเพื่อควบคุม pH ให้อยู่ในช่วง 6-7 การเติมมากเกินไป จะทำให้เกิดผลเสีย คือความกระด้างถาวร ($CaSO_4$) เพิ่มมากขึ้น และทำให้สมดุลของขบวนการโคแอกกูเลชั่นเปลี่ยนแปลง

3) คลอรีน เป็นสารที่เติมเพื่อจุดประสงค์ ทำลายสนิมเหล็กในน้ำ และยังมีส่วนช่วยในการฆ่าเชื้อด้วย

4) สารประกอบโพลิเมอร์ เพื่อช่วยให้ตะกอนใหญ่มีน้ำหนัก และตกตะกอนง่ายการใช้สารตัวนี้ เพื่อเป็นตัวช่วยสนับสนุนสารส้มหรือสารอื่น ในขบวนการ Coagulation ปริมาณการใช้ขึ้นกับปริมาณความขุ่น ในระบบน้ำประปาทั่วๆไปจะใช้ประมาณ 0.1- 1 มิลลิกรัม/ลิตร สารเคมีประเภทนี้มีหลายชนิด ขึ้นกับประจุของน้ำ ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมจึงจะเสริมการตกตะกอน และช่วยประหยัดด้วย ในกรณีที่ใช้สารส้มเป็น โคแอกกูแลนท์ ที่ pH เป็นกลางนั้นฟล้อคสารส้มจะมีประจุบวกดังนั้น Polymer ที่ใช้ต้องเป็น Anionic Polymer

นอกจากนี้การเติมโพลิเมอร์ต้องควบคุมไม่ให้มากจนเกินไป เพราะจะทำให้เสถียรภาพของอนุภาคกลับคืนมา ซึ่งจะเป็นผลให้ตะกอนลอยได้

2.1.7.3 การควบคุมขบวนการโคแอกกูเลชั่น

การควบคุมขบวนการโคแอกกูเลชั่นให้ได้ผลดีต้องควบคุมสภาวะต่างๆ ให้เหมาะสมดังนี้ ชนิดและปริมาณของสาร Coagulant ระดับ pH ความเร็วของการกวน ระยะเวลากวน

การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมสามารถจะกระทำได้โดยวิธีการจาร์เทสต์ (Jar Test) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบใน Beaker โดยกำหนดปริมาตรน้ำที่จะใช้ทดลอง ความเร็วรอบ และระยะเวลาการกวน ชนิดของสารเคมี ระยะเวลาตกตะกอน จากนั้นทดลองเติมสารเคมีในปริมาณที่ต่างกันลงใน Beaker โดยรักษาระดับ pH และดูผลการตกตะกอน และลักษณะความขุ่นใสของน้ำ

- การตกตะกอน เป็นการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว ด้วยแรงดึงดูดของโลกผลการตกตะกอนจะทำให้ได้น้ำใส และตะกอนเหลว จุดมุ่งหมายในการตกตะกอนในขบวนการผลิตน้ำประปาเป็นไปเพื่อให้ได้น้ำใส การตกตะกอนขึ้นกับคุณสมบัติหลายประการของน้ำดิบ และความขุ่นที่ต้องการกำจัด เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความถ่วงจำเพาะ ขนาด และรูปร่างของความขุ่น

-อุณหภูมิ จะมีอิทธิพลต่อการตกตะกอนของอนุภาค ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอนุภาคจะตกตะกอนได้เร็วขึ้น

-ความถ่วงจำเพาะของอนุภาค อนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะตกตะกอนได้เร็ว ดังนั้นในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง จะมีองค์ประกอบของอนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงเช่น ดิน ทราย มากกว่าการรวมตัวเป็นฟล้อคจะได้ฟล้อคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงและมีน้ำหนักมากกว่า การตกตะกอนจะดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความขุ่นต่ำ

-ระดับความขุ่น ขนาด และการกระจายขนาดของอนุภาคความขุ่น
จะมีผลต่อการรวมตัวของตะกอน ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะ และขนาดของอนุภาค ถ้าความขุ่นต่ำ โอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคก็จะน้อยลง การรวมตัวของตะกอนจะยากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการตกตะกอน

-ปริมาณสารละลาย (TDS) จะมีอิทธิพลต่อตะกอนแขวนลอย
จากสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวจะเป็นผลให้ตะกอนฟุ้งกระจายตัว และไหลล้นจากถังตกตะกอนได้ โดยเฉพาะน้ำผิวดิน ดังนั้นการควบคุมการตกตะกอนเพื่อไม่ให้มีตะกอนฟุ้งในถังตกตะกอน โดยใช้ถังตกตะกอนธรรมดาที่ใช้อยู่ จะไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำดิบ โดยเฉพาะในช่วงที่น้ำความขุ่นต่ำๆ ดังนั้นในระบบการผลิตจึงต้องมีถังกรองทราย เพื่อดักตะกอนที่หลุดลอยออกมา (บริษัท เอ็ม คอนโซลิเดท จำกัด, 2539)

2.1.8 แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม

แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม มักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้สุขลักษณะในแหล่งน้ำ อาหาร รวมถึงกระบวนการผลิต เนื่องจากพบได้ในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต และสามารถดำรงอยู่ในสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น ดิน และแหล่งน้ำได้ดี ซึ่งถ้าพบในอาหารหรือน้ำ ก็แสดงถึงโอกาสของการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตฯลฯ ส่วนฟีคัลโคลิฟอร์ม มักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้โอกาสของการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ เนื่องจากพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่นทั่วไป โดยแบคทีเรียที่สำคัญและถูกกำหนดให้เป็นตัวบ่งชี้อยู่เสมอๆ ได้แก่ *E .coli*

ซึ่งถ้าพบในอาหารหรือน้ำ แสดงให้เห็นถึงโอกาสการปนเปื้อนจากอุจาระของมนุษย์ โดยอาจเกิดจากการขาดการควบคุมระบบสุขลักษณะที่ดี หรือกระบวนการผลิตที่ไม่ถูกต้อง โดยการบ่งชี้ดังกล่าวนอกจากจะบอกถึงความสะอาดแล้ว ยังบอกถึงอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคจากแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่พบในระบบทางเดินอาหาร เช่น *Salmonella* spp. *Shigella* spp. *Vibrio* spp. เป็นต้น นอกจากนี้ *E. coli* บางสายพันธ์ยังถูกจัดไว้ในกลุ่ม enterovirulent *E. coli* ซึ่งก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินอาหารที่สำคัญอีกด้วย (สุพรรณี , 2547)

2.1.9 การใช้คลอรีนในน้ำประปา

น้ำประปาที่สะอาดจนถึงสามารถดื่มได้ด้วยการยึดหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- ต้องไม่ให้มีเชื้อจุลชีพใดๆ หลงเหลืออยู่ในน้ำประปาตั้งแต่โรงผลิตน้ำประปาส่งน้ำประปาไปตามท่อจนกระทั่งถึงก๊อกน้ำตามอาคารต่างๆ
- ต้องไม่มีพวกสารอินทรีย์ใดๆ ทั้งที่แขวนลอยและละลายอยู่ในน้ำหลงเหลืออยู่ในน้ำประปา
- ต้องกำจัดก๊าซต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกจากน้ำประปา
-ต้องกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่ไม่พึงปรารถนาทั้งที่เป็นสารแขวนลอยและสารที่ละลายอยู่ในน้ำประปา เช่น กำจัดเหล็ก (Fe) ออกจากน้ำให้เหลือน้อยที่สุดที่มาตรฐานกำหนดไว้ หรือกำจัดเหล็กออกจากน้ำประปาให้หมด และต้องควบคุมสารฟลูออไรด์ในน้ำประปาให้เหลือประมาณไม่เกิน1.0 มิลลิกรัม แต่ไม่ต้องกำจัดออกให้หมด
- ต้องกำจัดสารพิษอันตรายต่างๆ ออกจากน้ำประปาให้หมด ทั้งที่เป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ ในลักษณะเรื้อรัง และลักษณะฉับพลัน เช่นสารแคดเมียม สารตะกั่ว สารฟีนอล และสารไซยาไนด์ เป็นต้น
- ต้องกำจัดสีต่างๆ ออกจากน้ำให้หมดหรืออย่างน้อยไม่เกินมาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดไว้
-ต้องกำจัดกลิ่นและรสของน้ำประปาให้ได้มากที่สุด โดยไม่ให้น้ำประปามีกลิ่นและรสเป็นที่น่ารังเกียจต่อผู้บริโภค
-ต้องทำให้น้ำประปาเป็นที่พอใจแก่ผู้ใช้ตลอดเวลาทั้งสำหรับดื่ม ปรุงอาหารชะล้างต่างๆ และกิจกรรมทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม

ระบบการผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่ในประเทศไทย มักจะใช้คลอรีนเป็นสารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) คลอรีน (Chlorine) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคลอรีนสามารถทำลายเชื้อโรคได้มากกว่า 99% รวมทั้ง *E. coli* และเชื้อไวรัสนอกจากนี้ที่สำคัญคือคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ในชั่วระยะเวลาหนึ่งที่ทำการเติมคลอรีนลงไปแล้ว ยังให้ผลในระยะยาวอีกด้วยโดยคลอรีนที่เติมลงไปจะละลายน้ำอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ (Residual Chlorine) ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในภายหลัง

การใช้คลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อให้น้ำประปาที่ผลิตได้มีความสะอาดปลอดภัย เหมาะสมที่จะใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค

ข้อดีของการใช้คลอรีนในน้ำประปา

- ราคาถูก
- มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูง
- สามารถจัดหาได้ง่าย
- ไม่มีพิษอันตรายต่อมนุษย์ และสัตว์ขนาดใหญ่ เมื่อมีปริมาณไม่มาก
- คลอรีนสามารถมีหลงเหลือค้างอยู่ในน้ำประปา

ข้อเสียของการใช้คลอรีนในน้ำประปา

- จะเกิดสภาพกรด ได้แก่ HCl
- มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น (Total Dissolved Salts)
- เกิดสารพวก Carcinogenic ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งได้
- ต้องระมัดระวังในความปลอดภัย เกี่ยวกับปริมาณที่เติมลงในน้ำประปาและระบบคลอรีนที่ใช้ก๊าซคลอรีน

2.1.9.1 ประสิทธิภาพของคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค

ในการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคพบว่ามีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค ดังนี้

1) ความขุ่นของน้ำ (Turbidity)

อนุภาพของความขุ่นในน้ำอาจเป็นเกราะกำบังให้เชื้อโรค ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสและฆ่าเชื้อโรคได้ ดังนั้น ถ้าต้องการให้คลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีจึงต้องทำให้น้ำมีความใสสูง คือ ต้องมีความขุ่นน้อยกว่า 10 NTU (Nephelometric Turbidity Units) โดยการเติมสารส้ม เพื่อให้อนุภาคของความขุ่นจับตัวรวมกันตกเป็นตะกอน และผ่านถังกรอง

2) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน โดยอุณหภูมิจะเป็นปฏิภาคผกผันกับประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน กล่าวคือถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคจะลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิน้ำต่ำ (ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส) ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนก็จะเพิ่มขึ้น

3) สภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ (pH)

สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ มีผลต่อการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน เนื่องจากคลอรีนจะแตกตัวเป็นกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorus : HOCl) ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเมื่อน้ำมีสภาพความเป็นกรดเล็กน้อย (ความเป็นกรด- ด่างของน้ำ (pH) อยู่ระหว่าง 5 - 7.5) หากค่าความเป็นกรด-ด่างของ

น้ำ (pH) สูงเกินกว่า 7.5 จะทำให้เกิด OCl^- มากขึ้น ซึ่ง OCl^- นี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคด้อยกว่า HOCl จะทำให้ต้องสิ้นเปลืองคลอรีนมากขึ้น และหากค่าความเป็นกรด –ด่างของน้ำ (pH) สูงถึง 9.5 จะเกิด OCl^- ถึง 100%

4) ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ(Free chlorine residual)

ความเข้มข้นและปริมาณของคลอรีนที่เติมลงในน้ำไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่สุดในการฆ่าเชื้อโรค หากแต่เป็นปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงเวลาสัมผัสอันหนึ่ง แต่การเติมคลอรีนน้อยเกินไป จะไม่ทำให้เกิดคลอรีนอิสระขึ้น และอาจทำลายเชื้อโรคในน้ำได้ไม่ทั้งหมด แต่การเติมคลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้น้ำมีกลิ่นฉุนของคลอรีนและทำให้รสชาติของน้ำเสียไปด้วย ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองคลอรีนโดยใช่เหตุ นอกจากนี้ คลอรีนยังมีฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เสียได้ ดังนั้น ในการเติมคลอรีนจึงต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม คือสามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด รวมทั้งก่อให้เกิดคลอรีนอิสระเพื่อสำรองไว้ฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในภายหลัง โดยปริมาณคลอรีอิสระที่แนะนำ คือ ระหว่าง 0.2 - 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร (0.2 - 0.5 ppm) ณ เวลาสัมผัส 30 นาที กล่าวคือ ภายหลังจากที่ทำการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ต้องสามารถวัดปริมาณคลอรีนอิสระได้ระหว่าง 0.2 - 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร

5) ระยะเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรค(Duration of contact)

ระยะเวลาสัมผัส คือระยะเวลาที่เติมคลอรีนลงไปในน้ำจนถึงเวลาที่ผู้ใช้น้ำคนแรกเริ่มเปิดใช้น้ำ ซึ่งระยะเวลาสัมผัสของคลอรีนในน้ำไม่ควรน้อยกว่า 30 นาที เพื่อผลการทำปฏิกริยาและฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนในน้ำ (ศิริวัฒนา และคณะ, 2544)

แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่แล้วน้ำประปาที่ส่งจ่ายมาถึงท่อส่งน้ำประปาเข้าภายในโรงงาน หรือ ก๊อกน้ำตามบ้านเรือน จะถูกควบคุมให้มีค่า คลอรีนคงค้างที่ประมาณ 0.2 - 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักมีถังสำรองน้ำ เมื่อน้ำที่ถูกส่งจ่ายมาแล้วจะถูกกักเก็บเพื่อรอการใช้ ปกติแล้วคลอรีนเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวสามารถเสื่อมสลายด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณการไหลของน้ำ แรงดัน อุณหภูมิ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เป็นต้น จึงทำให้น้ำที่นำเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารจริง มีค่าคลอรีนคงค้างน้อยหรือไม่มี ทำให้ไม่สามารถฆ่าเชื้อก่อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในภายหลัง โรงงานอุตสาหกรรมอาหารจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดค่าคลอรีนและคำนวณปริมาณการเติมคลอรีนให้มีความเหมาะสม ในวัตถุประสงค์ที่ต้องการเช่น

2.1.9.2 น้ำใช้สำหรับทำความสะอาดในบริเวณส่วนการผลิต

ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบเรื่องการควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับโรงงานผลิตอาหาร ต้องทำการตรวจสอบ คุณภาพน้ำว่าควรมีค่า Free residual chlorine เท่าใดจึงมั่นใจได้ว่าน้ำที่นำมาใช้นั้นปราศจากเชื้อก่อโรคที่มีน้ำเป็นสื่อ *Salmonellae* spp. *Shigella* spp. *E.Coli* *Vibrio cholerae*

Campylobacter spp. *Yersinia enterocolitica* และ *Staphylococcus aureus* การคิดคำนวณว่าต้องเติมคลอรีนเท่าใด เพื่อให้มีค่าคลอรีนอิสระตกค้างอยู่ในปริมาณที่ต้องการ จะต้องทราบว่าความเข้มข้นของคลอรีน สิ่งที่สำคัญที่สุดไม่ใช่ปริมาณของคลอรีนที่เติมลงไปในน้ำหากแต่เป็นปริมาณของคลอรีนที่ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine Residual) ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงเวลาสัมผัสอันหนึ่ง (การบอกปริมาณคลอรีนตกค้างจะต้องบอกด้วยว่าวัดที่เวลาสัมผัสเท่าใด เนื่องจากคลอรีนสลายตัวได้ไม่หมดภายในระยะเวลาสั้น) คลอรีนเป็นสารออกซิไดซิงอย่างแรง ดังนั้นเมื่อเติมลงไปในน้ำคลอรีนจะทำปฏิกริยากับสารต่างๆได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเติมคลอรีนน้อยเกินไปก็จะไม่มีคลอรีนเหลือตกค้าง แต่ถ้าเติมคลอรีนให้มากพอ หลังจากทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ แล้ว ก็จะมีคลอรีนอิสระหรือคลอรีนรวมเหลือตกค้างอยู่ในน้ำทำให้สามารถใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ ปริมาณของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารในน้ำเรียกว่า Chlorine Demand หรือความต้องการคลอรีน ด้วยเหตุนี้ปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำจึงเท่ากับผลบวกระหว่าง "ความต้องการคลอรีน" รวมกับปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้างเพื่อสำรองไว้ฆ่าเชื้อโรค

ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ

เมื่อมีการเติมกาซคลอรีนลงไปในน้ำ จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนี้

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + Cl^- + HOCl$$

Hypochlorous acid

กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ จึงกลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อน จึงแตกตัวได้เพียงบางส่วน

$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^-$$

Hypochlorite ion

ดังนั้น ในน้ำจึงมีคลอรีนที่อยู่ในรูปของกรดเกลือที่แตกตัว HOCl OCl^- และมีกาซคลอรีนที่เหลืออยู่ในรูปอิสระบ้างเล็กน้อย กรดที่เกิดขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) ของน้ำลดลงแต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง HOCl และ OCl^- รวมกันเรียกว่า คลอรีนอิสระ(Free Available Chlorine) ซึ่งเป็นส่วนที่รับผิดชอบในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ระดับการแตกตัวเป็นไอออนของกรดไฮโปคลอรัส ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดย pH ต่ำน้ำจะมี HOCl มากในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมี pH สูงจะมี OCl^- มาก แต่เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- หลายเท่า ดังนั้นการเติมคลอรีนลงในน้ำเพื่อการฆ่าเชื้อโรค (Chlorination) ที่ pH ต่ำจึงได้ผลมากกว่าที่ pH สูงสำหรับเหตุผลที่ HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- เพราะว่า HOCl มีอำนาจออกซิไดซิงสูงกว่า นอกจากนี้ OCl^- มีประจุลบทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของเซลล์ซึ่งมีประจุลบ

เหมือนกัน กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ไม่มีประจุจึงสามารถสัมผัสกับเซลล์ได้ง่ายกว่าเพราะไม่ถูกผลัก (ศิริวัฒนา และคณะ, 2544)

ในกรณีน้ำประปามีแอมโมเนียหรือมลทินอื่นๆ คลอรีนจะทำปฏิกิริยาด้วยทำให้ได้สารประกอบคลอรามีนต่างๆ ได้แก่ monochloramine dichloramine และ trichloramine โดยพวกคลอรามีนนี้จะมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาน้อยมาก

จุดเริ่มเกิด Free residual chlorine (Breakpoint Chlorination) คลอรีนจะเติมลงไปในน้ำประปาด้วยปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจะเกิดปฏิกริยาเคมีระหว่างคลอรีนกับ แอมโมเนีย ซึ่งทำให้เกิดคลอรีนรวมที่เหลือค้าง (Combine residual chlorine) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งเมื่อแอมโมเนียถูกทำปฏิกิริยา กับคลอรีนจนหมดสิ้นได้เป็นพวกคลอรามีนต่างๆ ซึ่งได้ทำปฏิกิริยาต่อไปจนได้พวก N_2O และกาซไนโตรเจน ทำให้ค่า Residual Chlorine ลดลงด้วยจุดนี้เองเรียกว่า Breakpoint chlorine จากจุดนี้ไปเมื่อมีการเติมคลอรีนเพิ่มขึ้นอีก จะทำให้เกิดค่าคลอรีนอิสระที่เหลือค้าง (Free residual chlorine) ด้วยอัตราเพิ่มขึ้นเท่าๆกับปริมาณคลอรีนที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (อุดร และจารุรันต์, 2542)

2.1.9.3 ชนิดของคลอรีน

คลอรีน (Chlorine) เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคลอรีนสามารถทำลายเชื้อโรคได้มากกว่า 99 % รวมทั้ง อี. โคไล (*E. coli*) และเชื้อไวรัส นอกจากนี้ที่สำคัญคือคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ในชั่วระยะเวลาหนึ่งที่ทำการเติมคลอรีนลงไปแล้ว ยังให้ผลในระยะยาวอีกด้วย โดยคลอรีนที่เติมลงไปจะละลายน้ำอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ (Residual Chlorine) ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในภายหลัง

การใช้คลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อให้น้ำประปาที่ผลิตได้มีความสะอาดปลอดภัย เหมาะสมที่จะใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค ในปัจจุบันมีใช้อยู่ 3 ชนิดด้วยกันคือ

1) คลอรีนก๊าซ มีสีเหลืองแกมเขียว มีความหนาแน่นประมาณ 2.5 เท่าของอากาศและเมื่อเป็นของเหลว (คลอรีนเหลว 99%) จะมีสีเหลืองอำพัน มีความหนาแน่นเป็น 1.44 เท่าของน้ำเป็นอันตรายต่อปอดและเนื้อเยื่อต่างๆ โดยจะทำให้ระคายเคืองต่อระบบหายใจ เยื่อบุจมูกและผิวหนัง โดยผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสกับคลอรีนก๊าซที่จะเริ่มเห็นได้ชัดเจน คือที่ความเข้มข้นประมาณ 5 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไป และที่ความเข้มข้น 5-10 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้การหายใจติดขัด น้ำตาไหล ระคายเคืองผิวหนัง และระคายเคืองปอด และเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น หากได้รับคลอรีนก๊าซในปริมาณ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นต้องให้ความระมัดระวังและต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและควบคุมการทำงาน คลอรีนไม่ไหม้ไฟ แต่ช่วยในการสันดาปเหมือนออกซิเจน (O_2) และพบว่า คลอรีนก๊าซทำปฏิกริยารุนแรงกับไขมัน แอมโมเนีย

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(Ammonia) เทอร์เพนไทน์ และ ไฮโดรคาร์บอน ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน (Corrosive) เมื่อแห้ง

2) คลอรีนผง หรือที่รู้จักกันในนาม " ผงปูนคลอรีน" มีอยู่หลายชนิดคือ

- แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium hypochlorite) เป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดีมีสูตรทางเคมีคือ $Ca(OCl)_2$ มักจะผลิตให้มีความเข้มข้นระหว่าง 60-70 % โดยน้ำหนัก คลอรีนผลชนิดนี้หาได้ง่าย ราคาไม่แพง ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยงอย่างรุนแรง ไม่ทำให้น้ำเสียรสชาติ ฆ่าเชื้อโรคในเวลาไม่นานเกินไป และยังคงมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคต่อไปได้อีก สะดวกต่อการใช้งาน และสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพง่าย ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด

- โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorine) เป็นสารละลายใส สีเหลืองอมเขียวมีสูตรทางเคมีคือ NaOCl ความเข้มข้นประมาณ 16 % โดยน้ำหนัก มีความเสถียรน้อยกว่าแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ทำให้เสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว จึงควรเก็บไว้ในที่มืด และอุณหภูมิไม่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เพื่อชะลออัตราการเสื่อมคุณภาพและอายุในการเก็บไม่ควรเกิน 60-90 วัน สำหรับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เมื่ออยู่ในสภาวะ pH ต่ำ จะระเหยเป็นหมอกคลอรีน สามารถระเบิดได้

- ปูนคลอไรด์ (Chlorinated Lime or Chloride of lime or Bleaching powder) หรือบางทีเรียกว่า " ผงฟอกสี " มีสูตรทางเคมรคือ $CaOCl_2$ ผลิตได้จากปฏิกริยาเคมีระหว่างคลอรีนและปูนขาว มีความเข้มข้นประมาณ 35 % โดยน้ำหนัก

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 \longrightarrow CaOCl_2 + H_2O$$

3) ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide : ClO_2) เตรียมได้จากปฏิกริยาของการผสมสารละลายโซเดียมคลอไรต์ (Sodium chloride : $NaClO_2$) กับกรดเกลือ (Hydrochloric acid : HCl) หรือก๊าซคลอรีนดังสมการ

$$5\,NaClO_2 + 4\,HCl \longrightarrow 4\,ClO_2 + 5\,NaCl + 2\,H_2O$$

$$2\,NaCl_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\,ClO_2 + 2\,NaCl$$

แต่เมื่อเติมก๊าซคลอรีนไดออกไซด์แล้ว ต้องนำไปใช้ทันที มิฉะนั้นก๊าซนี้จะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์สามารถฆ่าแบคทีเรียได้ แม้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) จะอยู่ในช่วง 6-10 ขณะที่คลอรีนมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) อยู่ในช่วง 4- 6 (pH ไม่มีผลกระทบต่อการฆ่าเชื้อโรคของก๊าซคลอรีนไดออกไซด์) นอกจากนี้ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ยังไม่รวมกับแอมโมเนีย ทำให้ลดความสิ้นเปลืองในการฆ่าเชื้อโรคแต่ก๊าซนี้มี

87862

ข้อด้อยคือ มีราคาแพง และยังไม่มีวิธีวัดปริมาณตกค้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศิริวัฒนา และคณะ 2544)

สำหรับคลอรีนที่ใช้ในระบบประปาของนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้เป็นคลอรีนก๊าซ

2.1.9.4 น้ำใช้สำหรับการล้างวัตถุดิบที่เป็นเนื้อสัตว์

โดยต้องคำนึงถึงปริมาณสารความเข้มข้นของสารประกอบคลอรีนที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมกับปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ล้าง รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการล้าง หากใช้สารประเภทนี้ในปริมาณความเข้มข้น หรือเวลาที่ไม่เหมาะสม เช่นใช้ในระดับความเข้มข้นน้อยเกินไปอาจทำให้มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะทำลายเชื้อที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบได้หมด หรือถ้าใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดกลิ่นคลอรีนขึ้นในวัตถุดิบได้ นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค รุ่งทิวาได้ทำการทดลองผลของการเพิ่มประสิทธิภาพ ของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในการลดปริมาณเชื้อ *Salmonella typhimurium* ซึ่งพบในผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ เพื่อหาแนวทางควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรท์ในสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 3 ระดับคือ 10 20 และ 30 ppm พบว่าสามารถทำลายเชื้อ 10^2CFU/mL ได้หมดภายในเวลา 20 2 และ 30 วินาที ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 20 และ 30 ppm สามารถทำลายเชื้อ 10^3CFU/mL ภายในเวลา 4 และ 1 นาที ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำลายเชื้อของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10 30 และ 50 ppm ร่วมกับบัฟเฟอร์กรดซิตริก ที่มีส่วนผสมของกรดซิตริกเข้มข้น 2 ระดับ คือ 0.03 และ 0.1 M พบว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ทุกระดับความเข้มข้นในสารละลายบัฟเฟอร์กรดซิตริกที่มีส่วนผสมของกรดซิตริกเข้มข้น 0.1 M ให้ผลในการทำลายเชื้อได้ดี โดยสามารถทำลายเชื้อ 10^3 CFU/mL ได้หมดภายในเวลา 2 1 นาที และ 30 วินาที ตามลำดับ (รุ่งทิวา, 2543)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรพล บุญมาสม (2543) ได้ศึกษาการกำจัดแมงกานีสออกจากน้ำโดยใช้วิธีโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต เพื่อหาปริมาณโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตและ ค่าพีเอชภายหลังการเติมโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีสที่ละลายอยู่ในน้ำ สำหรับน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีปริมาณของแมงกานีสเริ่มต้นเท่ากับ 4 6.5 8 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในการทดลองได้ใช้เครื่องมือจาร์เทสต์ และได้ปรับให้น้ำมีพีเอชภายหลังการเติมโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้มีค่าต่างๆ กันคือ 6.8 8 9 10 และ 11 ในส่วนของการวิเคราะห์หาปริมาณของแมงกานีสที่เหลืออยู่ในน้ำนั้น ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสรวมและแมงกานีสละลายในน้ำใสที่ได้ภายหลังจากการกวนด้วยความเร็ว 150 รอบ/ นาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยตกตะกอน

เป็นเวลา 30 นาที จากผลการทดลองพบว่าปริมาณโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการกำจัดแมงกานีสที่ละลายอยู่ในน้ำ มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี และมีค่าลดลงเมื่อพีเอชของน้ำภายหลังการเติมโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยปริมาณของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีสที่ละลายอยู่ในน้ำ 1 มิลลิกรัมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.84 1.46 1.08 0.63 และ 0.53 มิลลิกรัม ที่พีเอชของน้ำภายหลังการเติมโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีค่าเท่ากับ 6.8 8 9 10 และ 11 ตามลำดับ พีเอชของน้ำภายหลังการเติมโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ให้ผลคุ้มค่าที่สุด ในการใช้โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตกำจัดแมงกานีสละลายในน้ำ คือ พีเอชประมาณ 10 นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตกำจัดแมงกานีสออกจากน้ำแล้วตามด้วยการตกตะกอนนั้นให้น้ำภายหลังการบำบัดมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับใช้เป็นน้ำดื่มของกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดไว้ว่าต้องมีแมงกานีสอยู่ในน้ำได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร จึงควรต้องมีการกรอง หรือมีการใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนร่วมด้วย

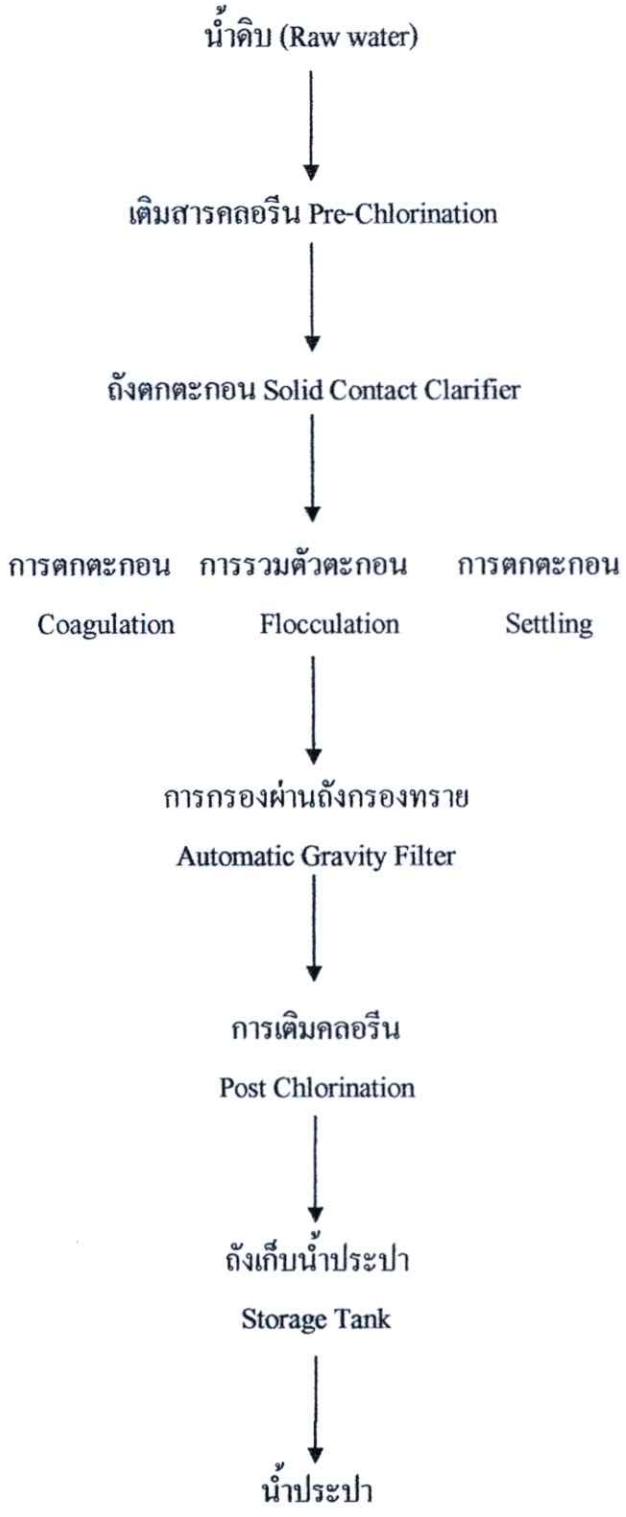
ประภาส ตันติพันธ์พัฒน์ และ ภารดร ศีละวงษ์เสรี (2542) ได้ศึกษาอิทธิพลของเหล็กที่มีต่อการกำจัดแมงกานีสออกจากน้ำด้วยการกรอง โดยใช้ถ่านแกลบและทรายเป็นสารกรอง โดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีปริมาณความเข้มข้นแมงกานีสต่อเหล็ก เท่ากับ 3 : 0 2 : 1 1.5 : 1.5 และ 1: 2 มิลลิกรัม/ลิตร. ใช้อัตราการกรองเท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตรม.-ชม. และใช้แบบจำลองการกรองที่สร้างขึ้น จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ถ่านแกลบเป็นสารกรอง ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในน้ำออกในช่วงอายุของสารกรอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.24- 0.31 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับอายุการใช้งานของถ่านแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสต่อเหล็กในน้ำเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มจาก 12 ชั่วโมงเป็น 52 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนเพิ่มจาก 1 : 2 เป็น 3 : 0 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ใช้ทรายเป็นสารกรอง ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในน้ำออกในช่วงอายุของสารกรอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.21-0.56 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับอายุของการใช้งานของทรายมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่ออัตราส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสต่อเหล็กในน้ำเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับถ่านแกลบ โดยมีค่าลดลงจาก 12 ชั่วโมง เป็น 0 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนเพิ่มจาก 1 : 2 เป็น 3 : 0 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังพบอีกว่าช่วงอายุของถ่ายแกลบของระบบที่มีสภาวะการเดินระบบเหมือนกันมีค่ามากกว่าทรายอีกด้วย

เอ็ดวาร์ด นีกสัน ปักปาฮาน (2550) ได้ศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยใช้กระบวนการขจัดธาตุเหล็กและธาตุแมงกานีสในน้ำบาดาล ณ หมู่บ้านลวงเหนือ ตำบลสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ น้ำบาดาลที่หมู่บ้านลวงเหนือมีคุณสมบัติทางเคมีที่ประกอบไปด้วยธาตุเหล็ก และธาตุแมงกานีส มากถึง 19.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้วิธีการเติมอากาศและการกรองโดยปราศจากการใช้สารเคมี การดัดแปลงวิธีการเติมอากาศสามารถทำได้โดยการอัดอากาศเข้าถังกรองในระดับ 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว = (0.07 กิโลกรัม/

ตารางเซนติเมตร) คุณภาพน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้ว พบว่าธาตุเหล็กละลายได้โดยรวมมีประมาณ 0.29 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.00-0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ของธาตุแมงกานีส ปัจจัยตัวอื่นที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย อุณหภูมิ (14.0-14.2 องศาเซลเซียส) ค่าพีเอช (7.96-8.04) ค่านำไฟฟ้า (177-240 ไมโครซีเมน/เซนติเมตร) TDS (112-127 มิลลิกรัม/ลิตร) ออกซิเจนละลายน้ำ (6.2-6.7 มิลลิกรัม/ลิตร) ความขุ่น (4.4-7.9 เอ็นทียู) ความเป็นกรด (11.67-13.61 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) ความเป็นด่าง (88.69-92.60 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) คลอไรด์ (3.66-5.33 มิลลิกรัม/ลิตร) และฟลูออไรด์ (0.10-0.39 มิลลิกรัม/ลิตร)

Choo et.al. (2005) ได้ศึกษาวิธีการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาโดยใช้วิธี UF (Ultrafiltration) ร่วมด้วยกับการใช้คลอรีนที่กระบวนการ Pre Chlorine ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนแล้วเหล่าอนุภาคตะกอนก็จะจับตัวค้างอยู่บนชั้นกรอง ในน้ำที่มีเหล็ก (Fe) 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และหรือ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร แมงกานีส (Mn) หากไม่มีการเติมคลอรีนมีเพียงการใช้ออกซิเจนเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ สามารถกำจัดเหล็กเฟรัสเป็นเหล็กเฟอริกได้ แต่แมงกานีสยังคงมีอยู่หากไม่มีการเติมคลอรีน การกำจัดแมงกานีสให้ได้ผล 80 % คือ แมงกานีส 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องการใช้คลอรีน 3 มิลลิกรัม/ลิตร การใช้คลอรีนที่มีความเข้มข้นสูงๆเช่น 5 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่มีผลต่อการกำจัดธาตุโลหะหนักเพิ่มขึ้นแต่จะมีผลต่อตัวกรอง การกำจัดแมงกานีสต้องอาศัยคลอรีนจากนั้นจึงผ่านการกรอง เมื่อมีชั้นตะกอนหนาก็ทำการล้างชั้นกรอง (backwash) เพราะการสะสมของตะกอนความขุ่น และสารอินทรีย์ จะอยู่บนผิวหน้าสุด

WIOA (2003) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำดิบที่ Mulwala ในเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน 2002 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนต่ำ ทำให้แหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาของ Yarrawonga และ Springhurst มีผลกระทบซึ่งระดับแหล่งน้ำดิบที่ลดลงทำให้มีความเข้มข้นของแมงกานีสปริมาณที่สูงเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกำจัดใช้วิธีการออกซิเดชั่น แมงกานีส ด้วย Sodium Hypochlorite พร้อมระยะเวลาสัมผัสรวมถึงการเติม Powder Activated Carbon ในระหว่างการจับตัวตกตะกอนที่เหมาะสม แหล่งน้ำดิบที่ Yarrawonga มีค่าแมงกานีส 0.42 มิลลิกรัม/ลิตร และ Springhurst มีค่าแมงกานีส 1.2 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องกำจัดให้มีค่าแมงกานีสที่อยู่ในระดับต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร การตกตะกอนที่ไวและมีประสิทธิภาพจะทำให้แมงกานีสถูกกำจัดออกไปจากระบบการผลิตน้ำ



รูปที่1.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปานิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

ที่มา : บริษัท เอ็ม คอน โซลิเดท จำกัด (2539)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี และอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมีในการวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH)

(1) Buffer Solution pH 4.0 (Fisher Scientific , Quality Reagent Chemical)

(2) Buffer Solution pH 7.0 (Fisher Scientific , Quality Reagent Chemical)

(3) Buffer Solution pH 10 (Fisher Scientific , Quality Reagent Chemical)

3.1.2 สารเคมีในการวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity)

Standard Solution Conductivity 1,413 µS@25 C^{o} (EUTECH , Laboratory Grade)

3.1.3 สารเคมีในการวัดปริมาณแมงกานีส (Manganese)

(1) Sulfuric acid ($H_2 SO_4$) (JT.Baker , ACS)

(2) Nitric acid (HNO_3) (JT.Baker , ACS)

(3) O-Phosphoric acid 85 % (Merck , ACS , ISO , Reag , Ph Eur)

(4) Silver nitrate($Ag No_3$) (Fisher Scientific , Quality Reagent Chemical)

(5) Ammonium Persulphate (($NH_4)_2.S_2.O_8$) (Merck , ACS , ISO , Reag , Ph Eur)

(6) Standard Mn Solution 1,000 mg/L as Mn (Ajax Finechem , ACS)

(7) Hydrogenperoxide Solution 35% (Ajax Finechem , ACS)

(8) Mercury Sulphate ($HgSO_4$) (Carlo ERBA , Analyte)

3.1.4 สารเคมีในการวัดปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Iron)

(1) Hydrochloric acid (HCl) ((Merck , ACS , ISO , Reag , Ph Eur)

(2) Hydroxylammonium Chloride (NH_2OH .HCl) (Ajax Finechem , ACS)

(3) Ammonium Acetate ($CH_3 COONH_4$) (Ajax Finechem , ACS)

(4) Acetic acid ($CH_3 COOH$) (Mallinckrods Chemicals , AR ACS)

(5) 1,10 - Phenanthroline Monohydrate ($C_{12}H_8N_2 H_2O$) (Ajax Finechem , ACS)

(6) Iron Standard Solution 1,000 mg/L as Fe (Ajax Finechem , ACS)

3.1.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คลอรีน

(1) di-Sodium Hydrogen Phosphate anhydrous (Na_2HPO_4) (Panreac , ACS)

(2) Potassium dihydrogen phosphate anhydrous (KH_2PO_4) (Carlo ERBA , ACS)

(3) Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (Carlo ERBA , ACS)

(4) Mercury(II) Chloride ($HgCl_2$) (Poch , ACS)

(5) N,N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD) Oxalate หรือ DPD Sulfate pentahydrate หรือ anhydrous DPD Sulfate (Fluka , ACS)

(6) Sulfuric acid (H_2SO_4) (JT.Baker , ACS)

(7) Ammonium Iron (II) Sulphate ($Fe(NH_4)_2SO_4.6H_2O$) (Ajax Finechem , Laboratory reagent)

3.1.6 คลอรีน

(1) Sodium Hypochlorite solution 10-13 % available (Ajax Finechem , ACS)

(2) Cl_2

3.1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมี-กายภาพ

(1) pH Meter ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น DELTA 320 ประเทศผู้ผลิต CHAINA

(2) Spectrophotometer ยี่ห้อ HACH รุ่น DR 5000 ประเทศผู้ผลิต GERMANY

(3) Turbidity meter ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100 P ประเทศผู้ผลิต U.S.A.

(4) Conductivity Meter ยี่ห้อ EUTECH รุ่น CON 100 ประเทศผู้ผลิต SINGAPORE

(5) Hot Air Oven ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น ULM500 ประเทศผู้ผลิต GERMANY

(6) Refrigerator ยี่ห้อ BT METROLOGY รุ่น Ref-1000L ประเทศผู้ผลิต THAILAND

(7) Hot plate ยี่ห้อ THERMOLYNE ประเทศผู้ผลิต CHAINA

(8) Balance ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น BP110S ประเทศผู้ผลิต GERMANY

(9) Jar Test ยี่ห้อ Phipps & Bird รุ่น 7790-402 ประเทศผู้ผลิต U.S.A

3.2 สถานที่ดำเนินการทดลอง

- ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ตำบล หัวสำโรง อำเภอแปลงยาว จังหวัด ฉะเชิงเทรา 24190

- ห้องปฏิบัติการ สุขาภิบาลอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ. ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ซิตี้

โดยการตรวจวิเคราะห์น้ำดิบตลอดปี พ.ศ.2548 -2550 ดังนี้

ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH -meter)

ตรวจค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) โดยใช้เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)

ตรวจวัดค่าความขุ่น (Turbidity) โดยใช้เครื่องวัดความขุ่น

ตรวจวัดค่าแมงกานีส (Mn) โดยวิธีเปอร์ซัลเฟต

ตรวจวัดค่า เหล็ก (Fe) โดยวิธี ฟีแนนโทรลีน

ปริมาณน้ำในอ่างเก็บนำดิบโดยอ่างเก็บน้ำในนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้มีความจุของอ่าง 6.3 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ขนาดพื้นที่อ่างเก็บน้ำ 450 ไร่

3.3.2 ศึกษาอัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมช่วยในการตกตะกอนน้ำดิบ

โดยการทำจาร์เทสต์ในการศึกษาหาสารเคมีที่เหมาะสมในการตกตะกอนเพื่อให้ได้น้ำที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน สารเคมีที่ใช้ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว และโพลิเมอร์

3.3.2.1นำตัวอย่างน้ำดิบที่เก็บจากสถานีสูบน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ใส่ในถังพลาสติกคุณภาพดีขนาด 20 ลิตร ปราศจากการปนเปื้อนใดๆ จำนวน 1 ถัง วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

3.3.2.2 ตวงตัวอย่างน้ำดิบ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 6 บีกเกอร์

3.3.2.3 เติมสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 5 ระดับดังนี้ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 ให้คลอรีนมีความเข้มข้น 0 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดการทดลองที่ 2 ให้คลอรีนมีความเข้มข้น 8 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดการทดลองที่ 3 ให้คลอรีนมีความเข้มข้น 12 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดการทดลองที่ 4 ให้คลอรีนมีความเข้มข้น 16 มิลลิกรัม/ลิตรและชุดการทดลองที่ 5 ให้คลอรีนมีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร จากนั้นนำไปทดสอบการใส่สารส้ม ปูนขาว และโพลิเมอร์ เลือกอัตราการใส่สารเคมีที่ให้ตะกอนมีการรวมตัวดีที่สุดในการตกตะกอน

3.3.3 ศึกษาผลของปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบต่อการเติมปริมาณคลอรีนที่ต้องการ

3.3.3.1 นำน้ำดิบที่เก็บจากสถานีสูบน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ใส่ในถังพลาสติกคุณภาพดีขนาด 20 ลิตร ปราศจากการปนเปื้อนใดๆ จำนวน 5 ถัง/ ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างน้ำดิบเดือนละ 2 ครั้ง ตั้งแต่พฤศจิกายน พ.ศ.2549 - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550

3.3.3.2 ตวงตัวอย่างน้ำดิบปริมาตร1,000 มิลลิลิตรใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ชุดการทดลองละ 8 บีกเกอร์ จำนวน 8 ชุดการทดลอง

3.3.3.3 เติมสารละลายเหล็ก (Fe) ซึ่งเตรียมจาก Iron Standard Solution 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และเติมสารละลายแมงกานีส (Mn) ซึ่งเตรียมจากจาก Standard Manganese Solution 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อให้ได้สารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันจำนวน 64 ตัวอย่าง

3.3.3.4 จากนั้นนำตัวอย่างน้ำจากข้อ 3.3.3.3 ที่มีการเติมสารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันมาเติมสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 5 ระดับดังนี้ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร

3.3.3.5 นำตัวอย่างน้ำในข้อที่ 3.3.3.4 มาเข้าเครื่องจาร์เทสต์ (Jar test) ความเร็วรอบ 180-200 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และเติมสารเคมีเพื่อเร่งการรวมตะกอน และตกตะกอน ซึ่งประกอบด้วย สารส้ม ปูนขาว โพลิเมอร์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการตกตะกอน รอระยะเวลาที่คลอรีนทำปฏิกริยาระยะเวลาสัมผัส 1 2 และ 3 ชั่วโมง (วิธีการทำจาร์เทสต์ แสดงในภาคผนวก ง)

3.3.3.6 นำตัวอย่างน้ำใสหลังผ่านกระบวนการตกตะกอนจากข้อ 3.3.3.5 มาวิเคราะห์ค่า เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

3.3.3.7นำข้อมูลผลการทดลองไปประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เพื่อหาสมการคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

3.3.4 พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

3.3.4.1 เก็บตัวอย่างน้ำดิบที่สถานีสูบน้ำดิบ นำมาตรวจวัดค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

3.3.4.2 เติมเหล็ก (Fe) จากสารละลาย Iron Standard Solution 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และเติมสารละลายแมงกานีส (Mn) ซึ่งเตรียมจากจาก Standard Manganese Solution 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อให้ได้สารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่ต้องการโดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีปริมาณความเข้มข้นแมงกานีสต่อเหล็ก เท่ากับ 0.3 : 0.25 0.6 : 0.55 0.7 : 0.65 และ 0.8 : 0.45 มิลลิกรัม/ลิตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณในแบบจำลองที่หาได้ในข้อ 3.3.3.7 โดยกำหนดค่าแมงกานีส (Mn) ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าที่ 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้ค่าแมงกานีส (Mn) ในน้ำประปามีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร และกำหนดค่าเหล็ก (Fe) ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าที่ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้ค่าเหล็ก (Fe) ในน้ำประปามีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร การที่กำหนดค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบเพื่อนำมาทดลองจำนวน 4 ครั้ง

3.3.4.3 นำค่าคลอรีนที่คำนวณได้จากสมการคณิตศาสตร์ มาใส่ลงในตัวอย่างน้ำดิบที่นำมาทดสอบ นำเข้าเครื่องจาร์เทสต์ (Jar test) กวนด้วยความเร็วรอบ 180-200 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และเติมสารเคมีเพื่อเร่งการรวมตะกอน และตกตะกอน ซึ่งประกอบด้วย สารส้ม ปูนขาว และโพลิเมอร์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการตกตะกอน รอระยะเวลาที่คลอรีนทำปฏิกริยาระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง แล้วนำน้ำใสมาวัดปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่อยู่ในน้ำใสที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

3.3.5 พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในแหล่งน้ำธรรมชาติ

3.3.5.1 เก็บตัวอย่างน้ำดิบที่สถานีสูบน้ำดิบ ตรวจวัดค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส Mn) นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ตามสมการคณิตศาสตร์ ทำเหมือนข้อ 3.2.4 แต่ไม่มีการเติมสารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) สังเคราะห์ลงไปเพราะต้องการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่มีค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) อยู่ในแหล่งน้ำดิบในธรรมชาติ แต่กำหนดให้ค่าแมงกานีส (Mn) ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าที่ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้ค่าแมงกานีส (Mn) ในน้ำประปามีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร และกำหนดค่าเหล็ก (Fe) ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าที่ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้ค่าเหล็ก (Fe) ในน้ำประปามีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร การที่กำหนดค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบเพื่อนำมาทดลองจำนวน 15 ครั้ง

3.3.6 เปรียบเทียบการใช้สมการคณิตศาสตร์ใดมีความเหมาะสม

เพื่อนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการปริมาณคลอรีนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่มีเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เมื่อทราบปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ

3.3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำ

3.3.7.1 ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ

ภาชนะพลาสติกอย่างดีขนาดบรรจุ 20 ลิตร ที่ผ่านการล้างทำความสะอาด

3.3.7.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

ผู้เก็บตัวอย่างน้ำต้องสวมถุงมือยางชนิดไม่มีแป้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากมือสู่น้ำตัวอย่างขณะอยู่ในภาคสนามเมื่อเริ่มทำการเก็บตัวอย่างน้ำควรล้างอุปกรณ์ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 20 ลิตรด้วยน้ำตัวอย่าง อย่างน้อย 1 ครั้ง จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้การเปิดก๊อกน้ำดิบ ซึ่งมีการเดินระบบปั๊มสูบเข้าเพื่อผลิตน้ำประปาโดยจะเปิดน้ำค้างไว้ 5 นาทีแล้วจึงนำใส่ลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาด 20 ลิตร

3.3.7.3 การรักษาสภาพตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำที่เก็บใส่ภาชนะบรรจุพลาสติกขนาด 20 ลิตรต้องทำการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำในกล่องน้ำแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส พร้อมส่งไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทันที

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

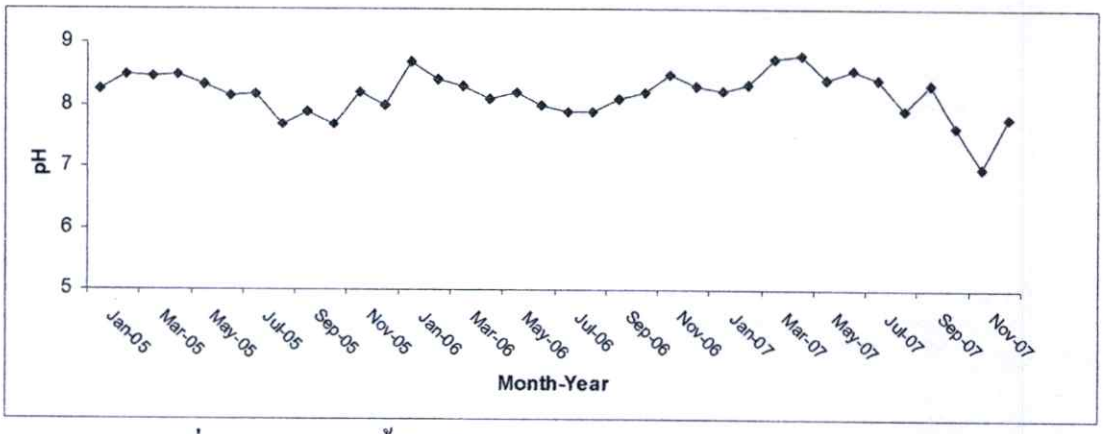
4.1 คุณภาพน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

อ่างเก็บน้ำเป็นแบบแหล่งน้ำผิวดินซึ่งมีพื้นที่ขนาด 450 ไร่ และมีความจุของปริมาณน้ำในอ่างได้ 6.3 ล้านลูกบาศก์เมตร ได้ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำแห่งนี้ในปี พ.ศ.2548-2550 เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำดิบในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา การออกแบบจำลองเพื่อหาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา รายการทดสอบประกอบด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (ตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1) ค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) (ตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.2) ค่าความขุ่น (Turbidity) (ตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.3) ค่าแมงกานีส (Mn) (ตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.4) ค่าเหล็ก (Fe) (ตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.5) และปริมาณน้ำดิบ (ตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.6) ผลการทดลองพบว่ารายการที่ทำการทดสอบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดิบขององค์การอนามัยโลกโดยค่าเหล็ก (Fe) กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร และ แมงกานีส (Mn) กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งคุณภาพน้ำในอ่างน้ำดิบที่เก็บตัวอย่างนำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ยของเหล็ก (Fe) ตั้งแต่ มกราคม–ธันวาคม พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2549 และ พ.ศ. 2550 มีค่าเท่ากับ 0.13 0.15 และ 0.15 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ ส่วนแมงกานีส (Mn) มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ มกราคม–ธันวาคม ปีพ.ศ. 2548 2549 และ พ.ศ. 2550 มีค่าเท่ากับ 0.16 0.17 และ 0.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความนำไฟฟ้า และ ค่าความขุ่นไม่ได้ถูกกำหนดไว้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำดิบขององค์การอนามัยโลก (ภาคผนวก ข)

4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือการวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน หรือการวัดถึงความสามารถของด่างที่มีปฏิกริยากับน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออนได้มากน้อยเท่าใด น้ำที่บริสุทธิ์จะมีค่าความเป็นกรด–ด่าง เป็น 7 คือมีไฮโดรเจนอิออน (H^+) เท่ากับ - log 10^7 เท่ากับไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) แต่น้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมีค่าความเป็นกรด–ด่าง ประมาณ 6.0-8.5 (สุกิตี์ และคณะ, 2543)

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย±SD
2548	8.3	8.5	8.5	8.5	8.3	8.2	8.2	7.7	7.9	7.7	8.2	8	8.5	7.7	-	8.2±0.279
2549	8.7	8.4	8.3	8.1	8.2	8	7.9	7.9	8.1	8.2	8.5	8.3	8.7	7.9	-	8.2±0.241
2550	8.2	8.3	8.7	8.8	8.4	8.6	8.4	7.9	8.3	7.7	7	7.8	8.8	7	-	8.2±0.519



รูปที่ 4.1 ค่าpHของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ. 2548-ธันวาคม พ.ศ. 2550

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า

ปี พ.ศ. 2548 ค่า pH ต่ำสุดอยู่ในเดือน สิงหาคม และ ตุลาคม มีค่า 7.7

ค่า pH สูงสุดอยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 8.5

ค่าเฉลี่ย pHในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2548 มีค่า 8.2

ปี พ.ศ. 2549 ค่า pH ต่ำสุดอยู่ในเดือน กรกฎาคม และ สิงหาคม มีค่า 7.9

ค่า pH สูงสุดอยู่ในเดือน มกราคม มีค่า 8.7

ค่าเฉลี่ย pHในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2549 มีค่า 8.2

ปี พ.ศ. 2550 ค่า pH ต่ำสุดอยู่ในเดือนพฤศจิกายน มีค่า 7.0

ค่า pH สูงสุดอยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 8.8

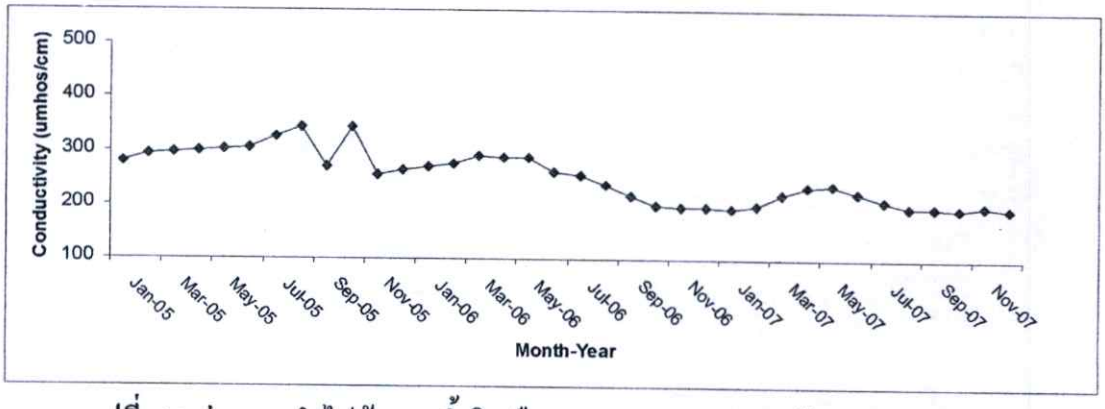
ค่าเฉลี่ย pHในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2550 มีค่า 8.2

4.1.2 ค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity)

สภาพนำไฟฟ้า เป็นการวัดความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของอิออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิขณะที่ทำการวัด สารละลายอินทรีย์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ส่วนสารอินทรีย์ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้าสภาพนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็น ไมโครโมห์/เซนติเมตร (Micromhos/cm) หรือ ไมโครซีเมนซ์/เซนติเมตร (Microsiemen/cm) และเป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm) ค่าสภาพนำไฟฟ้านำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างเช่น ใช้ตรวจความบริสุทธิ์ของน้ำกลั่นและน้ำปราศจากอิออน ใช้เป็นดัชนีชี้นำว่าจะใช้ปริมาณตัวอย่างมากน้อยเท่าใดในการวิเคราะห์สารต่างๆทางเคมี นอกจากนี้ยังทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารที่ละลายในน้ำดิบ และน้ำเสียอย่างรวดเร็ว (มั่นสิน, 2543)

ตารางที่ 4.2 ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย±SD
2548	279	294	297	301	304	307	327	343	271	343	255	265	343	255	µmhos/cm	299±28.69
2549	270	276	291	289	289	263	255	239	219	200	198	196	291	196	µmhos/cm	249±37.14
2550	195	201	221	236	238	222	208	198	198	195	201	194	238	194	µmhos/cm	209±16.25



รูปที่ 4.2 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ. 2548-ธันวาคม พ.ศ. 2550

ค่าความนำไฟฟ้าที่ตรวจวัดเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ.2550 แสดงดังตารางที่ 4.2และรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงอาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ในปี พ.ศ.2549-2550 มีค่าสูงกว่าปี พ.ศ. 2548 โดย

ปี พ.ศ. 2548 ค่าความนำไฟฟ้า ต่ำสุดอยู่ในเดือน พฤศจิกายน มีค่า 255 ไมโครโมห์/เซนติเมตร
ค่าความนำไฟฟ้า สูงสุด อยู่ในเดือน สิงหาคม และ ตุลาคม มีค่า 343 ไมโครโมห์/เซนติเมตร
ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2548 มีค่า 209 ไมโครโมห์/เซนติเมตร

ปี พ.ศ. 2549 ค่าความนำไฟฟ้า ต่ำสุดอยู่ในเดือน ธันวาคม มีค่า 196 ไมโครโมห์/ เซนติเมตร
ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุด อยู่ในเดือน มีนาคมมีค่า 291 ไมโครโมห์/ เซนติเมตร
ค่าเฉลี่ย ความนำไฟฟ้า ในน้ำดิบตลอดปี พ.ศ.2549 มีค่า 249ไมโครโมห์/เซนติเมตร

ปี พ.ศ. 2550 ค่าความนำไฟฟ้า ต่ำสุดอยู่ในเดือน ธันวาคม มีค่า 194 ไมโครโมห์/เซนติเมตร
ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุด อยู่ในเดือนพฤษภาคมมีค่า 291 ไมโครโมห์/เซนติเมตร
ค่าเฉลี่ย ความนำไฟฟ้า ในน้ำดิบตลอดปี พ.ศ.2550 มีค่า 249ไมโครโมห์/เซนติเมตร

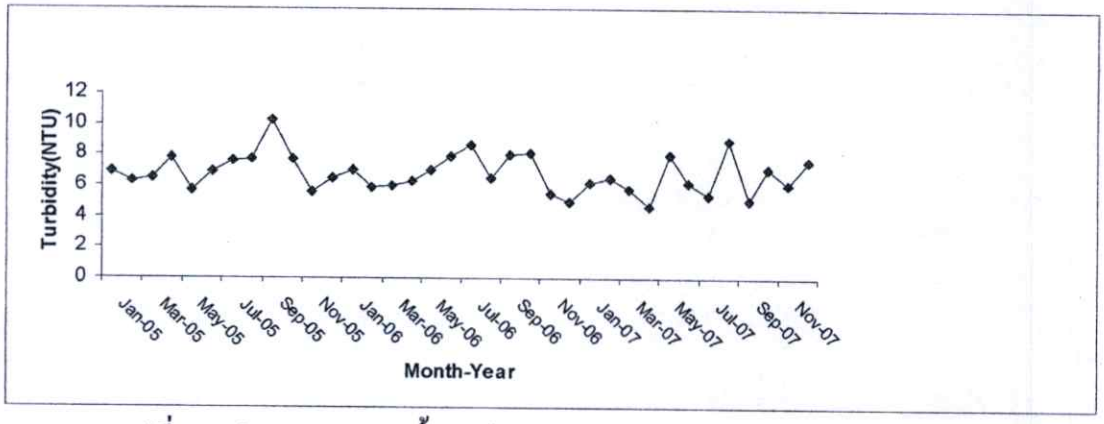
4.1.3 ค่าความขุ่น (Turbidity)

ค่าความขุ่นเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ความขุ่นของน้ำดิบเกิดขึ้นเนื่องมาจากสารพวกลอยแขวนในน้ำเช่น ดินโคลน ทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แพลง

ตอน และไดอะตอม สารดังกล่าวสามารถทำให้แสงเกิดหักเห และอาจดูดแสงเอาไว้มิให้ผ่านทะลุไปจึงทำให้มองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น ในมาตรฐานแหล่งน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปา ไม่ได้กำหนดค่าความขุ่นแต่น้ำประปาที่ใช้ในการบริโภคกำหนดให้มีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 หน่วย ซิลิกา เพื่อมิให้เป็นที่รังเกียจและเพื่อความปลอดภัย (มั่นสิน, 2543)

ตารางที่ 4.3 ค่าความขุ่น (Turbidity) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย±SD
2548	6.9	6.3	6.5	7.8	5.7	6.9	7.6	7.7	10.3	7.7	5.6	6.5	10.3	5.6	NTU	7.1±1.258
2549	7	5.9	6	6.3	7	7.9	8.6	6.5	8	8.1	5.5	5	8.6	5	NTU	6.8±1.143
2550	6.2	6.5	6.8	4.7	8.1	6.2	5.4	8.9	5.1	7.2	6.1	7.6	8.9	4.7	NTU	6.5±1.252



รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ. 2548-ธันวาคม พ.ศ. 2550

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ซิตี้ มีค่าความขุ่นค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 5-10 เอ็น ที ยู (NTU : Nephelometric Turbidity Units)

ปี พ.ศ. 2548 ค่าความขุ่น ต่ำสุดอยู่ในเดือน พฤศจิกายน มีค่า 5.6 เอ็น ที ยู
ค่าความขุ่น สูงสุด อยู่ในเดือน กันยายน มีค่า 10.3 เอ็น ที ยู
ค่าเฉลี่ย ความขุ่นในน้ำดิบตลอดปี พ.ศ. 2548 มีค่า 7.1 เอ็น ที ยู

ปี พ.ศ. 2549ค่าความขุ่น ต่ำสุดอยู่ในเดือน ธันวาคม มีค่า 5 .0 เอ็น ที ยู
ค่าความขุ่น สูงสุด อยู่ในเดือน กรกฎาคม มีค่า 8.6 เอ็น ที ยู
ค่าเฉลี่ย ความขุ่นในน้ำดิบตลอดปี พ.ศ. 2549 มีค่า 6.8 เอ็น ที ยู

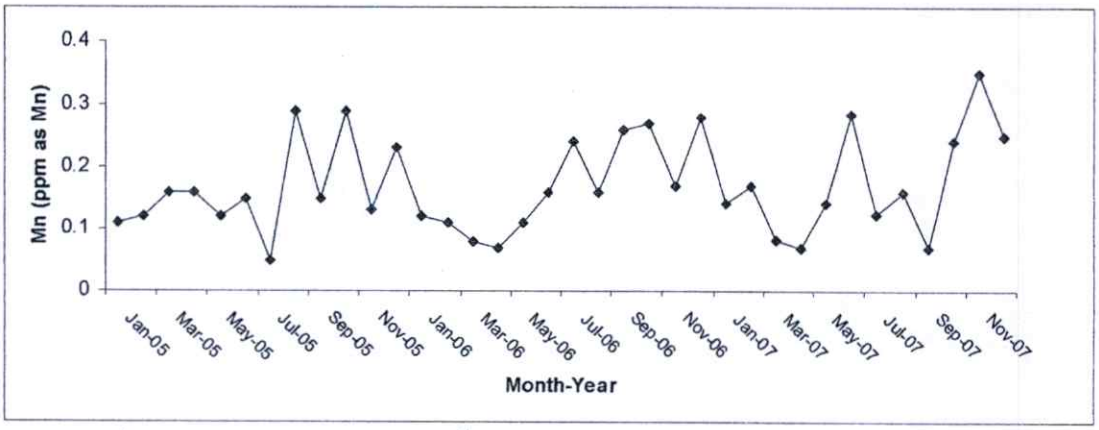
ปี พ.ศ. 2550 ค่าความขุ่น ต่ำสุดอยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 4.7 เอ็น ที ยู
ค่าความขุ่น สูงสุด อยู่ในเดือนสิงหาคม มีค่า 8.9 เอ็น ที ยู
ค่าเฉลี่ย ความขุ่นในน้ำดิบตลอดปี พ.ศ. 2550 มีค่า 6.5 เอ็น ที ยู

4.1.4 ค่าแมงกานีส (Mn)

แมงกานีส (Mn) พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป และน้ำประปา โดยมักจะพบปะปนอยู่กับเหล็กเสมอ แต่โดยทั่วไปมักพบในปริมาณที่น้อยกว่า แมงกานีส (Mn) พบได้ในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน แมงกานีสในน้ำจะอยู่ใน 2 รูป คือ Mn^{2+} และ Mn^{4+} ซึ่งแมงกานีสจะมีความคงตัว แปรเปลี่ยนรูปได้ยากกว่าเหล็ก ทำให้การกำจัดแมงกานีส (Mn) ออกจากน้ำทำได้ยากกว่า จำเป็นต้องมีทั้งออกซิเจนและคลอรีนมาช่วยในการกำจัดออก (เกรียงศักดิ์, 2536) เนื่องจากแมงกานีส (Mn) เป็นโลหะจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์บางชนิดในร่างกายมนุษย์ ดังนั้นการรับแมงกานีส (Mn) จากอาหารในระดับ10 มิลลิกรัม/วัน จึงไม่ถือว่าเป็นอันตราย แต่ถ้าร่างกายได้รับแมงกานีส (Mn) ในปริมาณมากๆสามารถทำให้เกิดการเป็นพิษได้ แต่กว่าที่น้ำจะมีระดับของแมงกานีส (Mn) สูงจนทำให้เกิดปัญหากับผู้ใช้น้ำ จะพบว่าทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพของน้ำอย่างมาก จนทำให้ผู้ใช้น้ำไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้ โดยแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร หรือความเข้มข้นที่รวมกับเหล็กที่มากกว่า 0.3 - 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จะเริ่มสร้างปัญหา โดยที่แมงกานีสจะตกตะกอนแยกตัวจากน้ำ และถ้าไปจับกับออกซิเจนหรือคลอรีน จะทำให้เกิดเป็นคราบจับติดอยู่ภายในท่อ หรือบางครั้งก็หลุดติดไปกับน้ำประปาด้วย (อุดร และ จารุรัตน์, 2542) U.S.EPA ได้แนะนำค่ามาตรฐานน้ำดื่มไว้ไม่ให้มีแมงกานีส (Mn) เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร และเหล็กมีค่าไม่เกิน 0.3 มิลิกรัม/ลิตร (Department of health and the university of Rhode island and department of natural resources science, 2003) และตามมาตรฐานน้ำประปา-การประปาภูมิภาคได้กำหนดไว้ว่าควรมีแมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.4 ค่าแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย± SD
2548	0.11	0.12	0.16	0.16	0.12	0.15	0.05	0.29	0.15	0.29	0.13	0.23	0.29	0.05	mg/L	0.16±0.072
2549	0.12	0.11	0.08	0.07	0.11	0.16	0.24	0.16	0.26	0.27	0.17	0.28	0.28	0.07	mg/L	0.17±0.076
2550	0.14	0.17	0.08	0.07	0.14	0.29	0.12	0.16	0.07	0.24	0.35	0.25	0.35	0.07	mg/L	0.17±0.09



รูปที่ 4.4 ค่าแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ. 2548-ธันวาคม พ.ศ. 2550

ค่าแมงกานีส (Mn) ที่ตรวจวัดในเดือนมกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ.2550 แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่าค่าแมงกานีสมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดิบขององค์การอนามัยโลก ซึ่งกำหนดให้น้ำดิบมีค่าแมงกานีสไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร จากข้อมูลของค่าแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบทั้งปีพ.ศ. 2548 - 2550 พบว่าค่าแมงกานีส (Mn) ในช่วงครึ่งปีหลังคือ กรกฎาคม – ธันวาคม จะมีค่าสูงกว่าในช่วงต้นปี มกราคม- มิถุนายน โดย

ปี พ.ศ. 2548 ค่าแมงกานีส (Mn) ต่ำสุดอยู่ในเดือน กรกฎาคม มีค่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าแมงกานีส (Mn) สูงสุด อยู่ในเดือน สิงหาคม และ ตุลาคม มีค่า 0.29 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเฉลี่ยแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2548 มีค่า 0.16 มิลลิกรัม/ลิตร

ปี พ.ศ. 2549 ค่าแมงกานีส (Mn) ต่ำสุดอยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 0.07 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าแมงกานีส (Mn) สูงสุด อยู่ในเดือน ธันวาคม มีค่า 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเฉลี่ยแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2549 มีค่า 0.17 มิลลิกรัม/ลิตร

ปี พ.ศ. 2550 ค่าแมงกานีส (Mn) ต่ำสุดอยู่ในเดือน เมษายน และ กันยายน มีค่า 0.07 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าแมงกานีส (Mn) สูงสุด อยู่ในเดือน พฤศจิกายน มีค่า 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเฉลี่ยแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2550 มีค่า 0.17 มิลลิกรัม/ลิตร

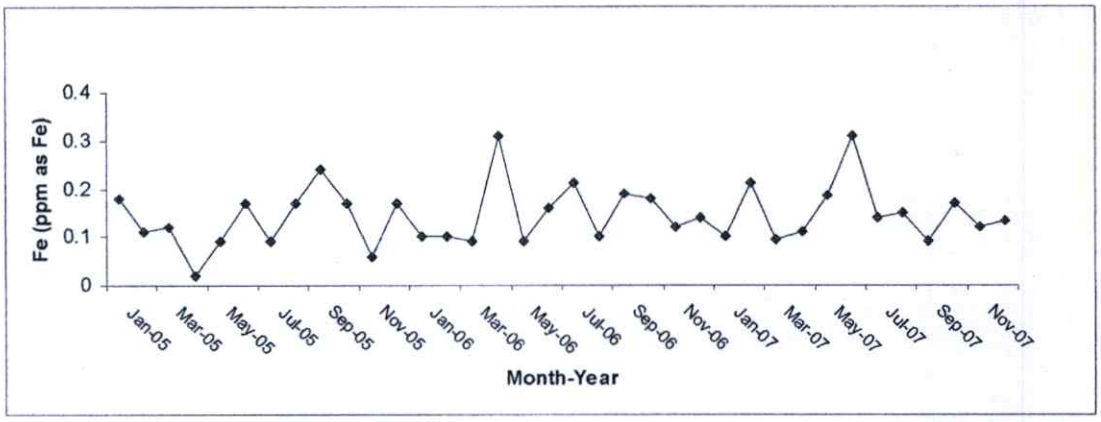
4.1.5 เหล็ก (Fe)

เหล็ก (Fe) มักจะพบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป โดยเฉพาะน้ำใต้ดิน เหล็ก (Fe) เกิดขึ้นในธรรมชาติที่ชั้นใต้ดิน ซึ่งมีมากที่สุดแร่ธาตุหนึ่ง โดยมากมักจะอยู่ในรูปของ Ferrous (Fe^{2+}) และ Ferric (Fe^{3+}) พวกเหล็ก Ferrous (Fe^{2+}) จะพบได้มากในน้ำใต้ดินโดยเฉพาะน้ำบาดาล โดยมักละลายอยู่ในรูป $Fe(HCO_3)_2$ และ $FeCl_2$ จากคุณสมบัติทางเคมีของ Ferrous ที่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้น้ำที่มี Fe^{2+} ยังคงเป็นน้ำใสอยู่ แต่เมื่อสูบขึ้นมาพวก Fe^{2+} จะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งทำให้เกิด Ferric (Fe^{3+}) ที่ตกตะกอน ทำให้น้ำขุ่นขึ้น มีสีสนิมเหล็กอยู่ในน้ำประปา

โดยทั่วไปเหล็กที่อยู่ในน้ำประปามักจะไม่ส่งผลอันตรายต่อผู้บริโภค แต่มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่า ควรมีเหล็ก (Fe) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำประปาและจะยอมให้มีเหล็ก (Fe) ได้สูงสุดเท่ากับ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (เกรียงศักดิ์, 2536)

ตารางที่ 4.5 ค่าเหล็ก (Fe) ของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย± SD
2548	0.18	0.11	0.12	0.02	0.09	0.17	0.09	0.17	0.24	0.17	0.06	0.17	0.24	0.02	mg/L	0.13±0.062
2549	0.10	0.10	0.09	0.31	0.09	0.16	0.21	0.10	0.19	0.18	0.12	0.14	0.31	0.09	mg/L	0.15±0.066
2550	0.10	0.21	0.09	0.11	0.19	0.31	0.14	0.15	0.09	0.17	0.12	0.13	0.31	0.10	mg/L	0.15±0.062



รูปที่ 4.5 ค่าเหล็ก (Fe) ของน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ. 2548-ธันวาคม พ.ศ. 2550

ค่าเหล็ก (Fe) ที่ตรวจวัดในเดือน มกราคม พ.ศ.2548- ธันวาคม พ.ศ.2550 แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่ามีค่าเหล็กอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดิบขององค์การอนามัยโลก จากข้อมูลของค่าเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบทั้งปีพ.ศ. 2548- 2550 พบว่า

ปี พ.ศ. 2548 ค่าเหล็ก (Fe) ต่ำสุดอยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเหล็ก (Fe) สูงสุด อยู่ในเดือน กันยายน มีค่า 0.24 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเฉลี่ยเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2548 มีค่า 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร

ปี พ.ศ. 2549 ค่าเหล็ก (Fe) ต่ำสุดอยู่ในเดือน พฤษภาคม มีค่า 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเหล็ก (Fe) สูงสุด อยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 0.31 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเฉลี่ยเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2549 มีค่า 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร

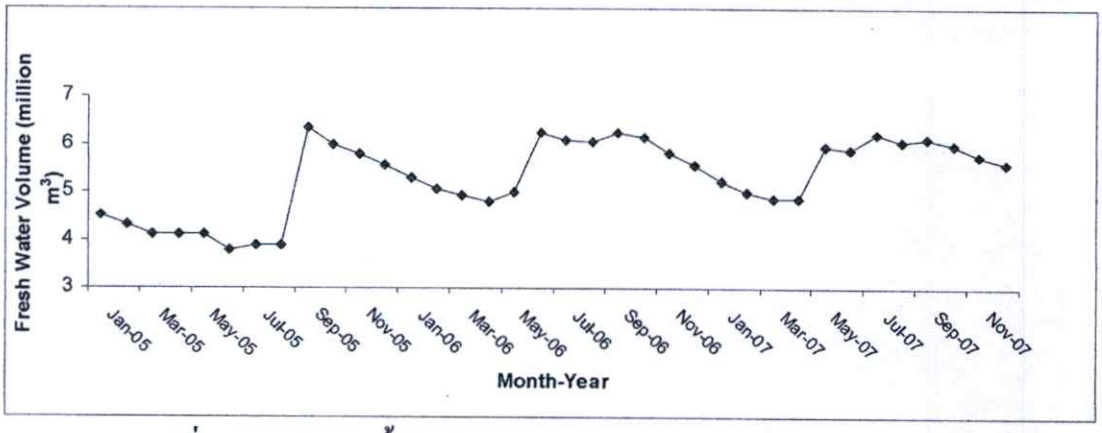
ปี พ.ศ. 2550 ค่าเหล็ก (Fe) ต่ำสุดอยู่ในเดือน มกราคม มีค่า 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเหล็ก (Fe) สูงสุด อยู่ในเดือน มิถุนายน มีค่า 0.31 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าเฉลี่ยเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2550 มีค่า 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร

4.1.6 ปริมาณน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำดิบ

อ่างเก็บน้ำเป็นแบบแหล่งน้ำผิวดินซึ่งมีพื้นที่ขนาด 450 ไร่ และมีความจุของปริมาณน้ำในอ่างได้ 6.3 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำดิบของน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย±SD
2548	4.5	4.3	4.1	4.1	4.1	3.8	3.9	3.9	6.3	6	5.8	5.6	6.3	3.8	ล้าน m^3	4.7±0.935
2549	5.3	5.1	4.9	4.8	5.0	6.2	6.1	6.0	6.2	6.1	5.8	5.6	6.2	4.8	ล้าน m^3	5.6±0.557
2550	5.2	5.0	4.9	4.9	5.9	5.8	6.2	6.0	6.1	5.9	5.8	5.6	6.2	4.9	ล้าน m^3	5.6±0.498



รูปที่ 4.6 ค่าปริมาณน้ำดิบเดือนมกราคม พ.ศ. 2548-ธันวาคม พ.ศ. 2550

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 พบว่า

ปีพ.ศ.2548 ปริมาณน้ำดิบมีค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนมิถุนายน มีค่า 3.8 ล้านลูกบาศก์เมตร
ปริมาณน้ำดิบมีค่าสูงสุด อยู่ในเดือน กันยายน มีค่า 6.3 ล้าน ลูกบาศก์เมตร
ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2548 มีค่า 4.7 ล้าน ลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ. 2549 ปริมาณน้ำดิบมีค่าต่ำสุดอยู่ในเดือน เมษายน มีค่า 4.8 ล้าน ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณน้ำดิบมีค่าสูงสุด อยู่ในเดือน มิถุนายนและกันยายนมีค่า 6.2 ล้าน ลูกบาศก์เมตร
ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2549 มีค่า 5.6 ล้าน ลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ. 2550 ปริมาณน้ำดิบมีค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนมีนาคมและ เมษายน มีค่า 4.9 ล้าน ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณน้ำดิบมีค่าสูงสุด อยู่ในเดือน กรกฎาคม มีค่า 6.2 ล้าน ลูกบาศก์เมตร
ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำดิบตลอดปีพ.ศ. 2550 มีค่า 5.6 ล้าน ลูกบาศก์เมตร

4.2 การออกแบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ

เป็นการออกแบบจำลองเพื่อหาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ ตัวอย่างน้ำดิบที่นำมาทดลองเมื่อทราบค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) จำนวน 64 ตัวอย่าง ซึ่งได้จากน้ำดิบที่เก็บจากสถานีสูบน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ซิตี้โดยการเติมสารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) สังเคราะห์ที่ต้องการให้มีความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ครอบคลุมปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่พบในแหล่งน้ำดิบธรรมชาติของอ่างเก็บน้ำแห่งนี้ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.0 - 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร นำคลอรีนมาทำปฏิกริยาออกซิเดชั่นเพื่อให้เกิดการตกตะกอนและทำให้เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ถูกกำจัดออกไป โดยเติมคลอรีนที่ระดับความเข้นข้นต่างๆ 5 ระดับได้แก่ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเลือกใช้อัตราการเติมสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนที่เหมาะสมจากการทำจาร์เทสต์(ภาคผนวก ง.3) เมื่อวิเคราะห์ผลน้ำใสที่ได้ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำหลังจากปล่อยให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง แสดงผลวิเคราะห์ค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) (ภาคผนวก ก.1)

จากผลการทดลองพบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีสในน้ำใส (Manganese residual ; Mn_r) ที่ได้ภายหลังจากการกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ ความเร็วรอบ 180- 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยตกตะกอนเป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงนั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเหล็กในน้ำใสระยะเวลาในการตกตะกอนใน 1 2 และ 3 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันและมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาทุกผลการทดสอบโดยไม่จำเป็นต้องมีการเติมคลอรีนเพียงแต่มีการเติมสารช่วยตกตะกอนก็สามารถกำจัดค่าเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ (มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคกำหนดค่าเหล็กมีได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร) สำหรับแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบหากไม่มีคลอรีนช่วยในการออกซิไดส์จะไม่สามารถตกตะกอนให้คุณภาพน้ำใสผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้ค่าแมงกานีสมีไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าแมงกานีสในน้ำใส (Manganese residual ; Mn_r) ระยะเวลาในการตกตะกอนใน 1 2 และ 3 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าการใช้เวลาการตกตะกอนเพียงพอใน 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงนำผลการทดลองในส่วนของน้ำใสที่ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงไปวิเคราะห์ค่าแมงกานีส (Mn_r) นำผลวิเคราะห์ค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ และแมงกานีสในน้ำใส (Mn_r) ไปประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เพื่อหาสมการคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ ซึ่งได้มีการออกแบบจำลองไว้ 2 ชนิด และมีสมการคณิตศาสตร์ 4 สมการดังนี้

4.2.1 แบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ แบบที่ 1

เป็นแบบจำลองการถดถอยแบบพหุคูณ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังตกตะกอน (Mn_r) กับค่าแมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) เหล็กในน้ำดิบ (Fe) และปริมาณคลอรีนที่ต้องการ(Cl_2) แบบจำลองนี้ได้นำค่าเหล็กในน้ำดิบ (Fe) มาเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยเนื่องจากการมีเหล็กในน้ำดิบอาจมีผลต่อปริมาณคลอรีนที่ต้องการเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \beta_3 X_3$$

โดยที่ Y คือ ค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังตกตะกอน (Mn_r)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือค่าคงที่ซึ่งได้จากการทดลอง

X_1 คือ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn)

X_2 คือ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2)

X_3 คือ เหล็กในน้ำดิบ (Fe)

จากการทดลองเมื่อนำน้ำดิบจำนวน 64 ตัวอย่างที่ทราบค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่ได้จากการสังเคราะห์ นำคลอรีนที่มีความเข้มข้น 5 ระดับคือ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร มาออกซิไดซ์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนและกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ออกไป วิเคราะห์ค่าแมงกานีสในส่วนน้ำใสที่ได้หลังจากการตกตะกอน (Mn_r) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำข้อมูลไปประมวลผลตามแบบจำลองที่ 1 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows ได้สมการถดถอยดังนี้

4.2.1.1 การหาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เมื่อให้ Y เป็นสัดส่วนของแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) กับ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) ได้ค่าคงที่ต่างๆเขียนลงในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Y = 0.484 + 0.177 X_1 - 0.028 X_2 - 0.039 X_3$$

$$Mn_r / Mn = 0.484 + 0.177\ Mn - 0.028\ Cl_2 - 0.039 Fe$$

หรือจัดรูปใหม่ของสมการได้ดังนี้

$$Mn_r = 0.484\ Mn + 0.177\ Mn^2 - 0.028\ Cl_2\ Mn - 0.039\ FeMn \quad \text{.....(4.1)}$$

$$R^2 = 0.764$$

กำหนดให้ Y คือ สัดส่วนของแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) กับ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn)

X_1 คือ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

X_2 คือ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

X_3 คือ เหล็กในน้ำดิบ (Fe) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

จากสมการที่ 4.1 นำไปใช้คำนวณปริมาณ Cl_2 ที่ต้องการ เมื่อกำหนดปริมาณแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) เป้าหมาย และทราบค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบโดยแทนค่าลงในสมการข้างล่างนี้

$$Cl_2 = [(0.484 \times Mn) + (0.177 \times Mn^2) - (0.039 \times Fe \times Mn) - Mn_r] / 0.028 \times Mn$$

4.2.1.2 การหาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เมื่อให้ Y เป็นแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน(Mn_r) ได้ค่าคงที่ต่างๆเขียนลงในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Y = 0.166 + 0.435X_1 - 0.020X_2 - 0.075X_3$$

$$Mn_r = 0.166 + 0.435\,Mn - 0.020\,Cl_2 - 0.075Fe \quad \text{.....(4.2)}$$

$$R^2 = 0.719$$

กำหนดให้ Y คือ ค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r)

X_1 คือ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

X_2 คือ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

X_3 คือ เหล็กในน้ำดิบ (Fe) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

จากสมการที่ 4.2 นำไปใช้คำนวณปริมาณ Cl_2 ที่ต้องการ เมื่อกำหนดปริมาณแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) เป้าหมาย และทราบค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบโดยแทนค่าลงในสมการข้างล่างนี้

$$Cl_2 = [(0.166+0.435 \times Mn) - (0.075 \times Fe) - Mn_r] / 0.020$$

4.2.2 แบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ แบบที่ 2

เป็นแบบจำลองการถดถอยแบบพหุคูณ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังตกตะกอน (Mn_r) กับค่าแมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) และปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2) แบบจำลองนี้ไม่ได้นำเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบมาเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำในขั้นตอนหลังการตกตะกอนจากการทดสอบน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็กและแมงกานีส 64 ตัวอย่าง น้ำใสที่ได้มีค่าเหล็กผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาโดยไม่จำเป็นต้องมีคลอรีนมาช่วยทำปฏิกริยา มีเพียงสารช่วยตกตะกอนได้แก่ สารส้ม ปูนขาว และโพลิเมอร์ ก็สามารถกำจัดเหล็กให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2$$

โดยที่ Y คือ ค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังตกตะกอน (Mn_r)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ คือค่าคงที่ซึ่งได้จากการทดลอง

X_1 คือ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn)

X_2 คือ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2)

จากการทดลองเมื่อนำน้ำดิบจำนวน 64 ตัวอย่างที่ทราบค่าแมงกานีส (Mn)ที่ได้จากการสังเคราะห์ นำคลอรีนที่มีความเข้มข้น 5 ระดับคือ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร มาออกซิไดซ์เพื่อให้เกิดการตกตะกอนและกำจัดแมงกานีส (Mn) ออกไป วิเคราะห์ค่าแมงกานีสในส่วนน้ำใสที่ได้หลังจากการตกตะกอน (Mn_r) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำข้อมูลไปประมวลผลตามแบบจำลองที่ 2 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows ได้สมการถดถอยดังนี้

4.2.2.1 การหาสมการทางคณิตศาสตร์

เพื่อพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เมื่อให้ Y เป็นสัดส่วนของแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) กับ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn)ได้ค่าคงที่ต่างๆเขียนลงในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Y = 0.483 + 0.148X_1 - 0.028\ X_2$$

$$Mn_r/Mn = 0.483 + 0.148\ Mn - 0.028\ Cl_2$$

หรือจัดรูปใหม่ของสมการได้ดังนี้

$$Mn_r = 0.483Mn + 0.148\ Mn^2 - 0.028\ Cl_2 Mn \quad \text{.....(4.3)}$$

$$R^2 = 0.763$$

กำหนดให้ Y คือ สัดส่วนของแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) กับ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn)

X_1 คือ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

X_2 คือ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

จากสมการที่ 4.3 นำไปใช้คำนวณปริมาณ Cl_2 ที่ต้องการ เมื่อกำหนดปริมาณแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) เป้าหมาย และทราบค่าแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบโดยแทนค่าลงในสมการข้างล่างนี้

$$Cl_2 = [(0.483 \times Mn) + (0.148 \times Mn^2) - Mn_r] / 0.028 \times Mn$$

4.2.2.2 การหาสมการทางคณิตศาสตร์

เพื่อคำนวณหาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เมื่อให้ Y เป็นแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) ได้ค่าคงที่ต่างๆเขียนลงในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Y = 0.164 + 0.378X_1 - 0.020X_2$$

$$Mn_r = 0.164 + 0.378\ Mn - 0.020\ Cl_2 \quad \text{.....(4.4)}$$

$R^2 = 0.716$

กำหนดให้ Y คือ แมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r)

X_1 คือ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

X_2 คือ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ (Cl_2) มีหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

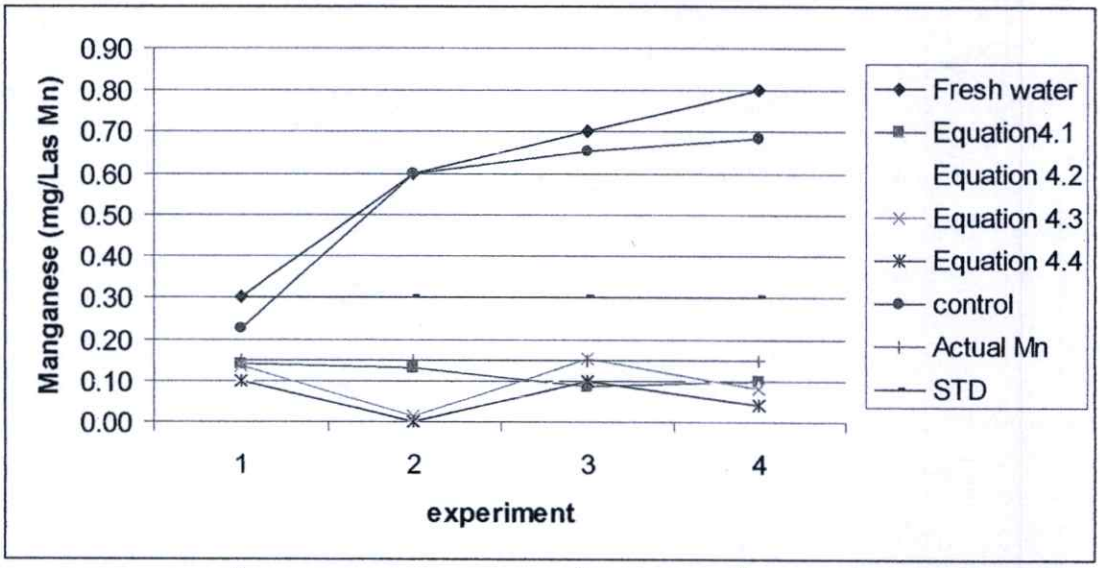
จากสมการที่ 4.4 นำไปใช้คำนวณปริมาณ Cl_2 ที่ต้องการ เมื่อกำหนดปริมาณแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) เป้าหมาย และทราบค่าแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบโดยแทนค่าลงในสมการข้างล่างนี้

$Cl_2 = [0.164 + (0.378 \times Mn) - Mn_r] / 0.020$

4.3 การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ

4.3.1 การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในน้ำดิบสังเคราะห์เหล็กและแมงกานีส

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้นสังเคราะห์ที่ใช้นี้ครอบคลุมค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ซึ่งเคยตรวจพบได้ในธรรมชาติของแหล่งน้ำแห่งนี้โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบมาทดลอง 4 ครั้ง เพื่อให้ได้สารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่ต้องการโดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีปริมาณความเข้มข้นแมงกานีสต่อเหล็ก เท่ากับ 0.3 : 0.25 0.6 : 0.55 0.7 : 0.65 และ 0.8 : 0.45 มิลลิกรัม/ลิตร นำค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบสังเคราะห์ที่ทราบค่านี้ไปพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการ โดยการแทนค่าลงในสมการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการ ทั้งนี้จะกำหนดความต้องการให้มีค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) มีค่า 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำประปากำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ ลิตร และกำหนดความต้องการกำจัดเหล็ก (Fe) ในน้ำใสหลังการตกตะกอนมีค่ามีค่า 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำประปากำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาค) การที่กำหนดค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา แสดงผลการทดลองใน (ภาคผนวก ก.2) รูปที่4.7



รูปที่4.7 ค่าพยากรณ์แมงกานีสในน้ำใสที่ได้จากน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn)

หมายเหตุ : น้ำตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นน้ำดิบที่เก็บมาจากอ่างเก็บนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้โดยมีการเติมสารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) สังเคราะห์ลงไป ทำการทดลอง 4 ครั้ง

พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการ โดยการนำข้อมูลเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบสังเคราะห์ มาแทนค่าในสมการทางคณิตศาสตร์ กำหนดให้มีค่าแมงกานีสเป้าหมายที่ต้องการในน้ำประปามีค่า 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร (มาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้น้ำประปามีค่าแมงกานีสไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อนำข้อมูลการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการจากสมการทางคณิตศาสตร์ พบว่าสามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ได้ทั้ง 4 สมการในการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในกำจัดแมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) เพื่อผลิตน้ำประปาให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

จากผลการพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จากข้อมูลการพยากรณ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการ เพื่อให้ทราบว่าจะใช้สมการคณิตศาสตร์ใดวัดค่าความแม่นยำของค่าพยากรณ์ โดยการหาค่า Mean Square Error (MSE) หรือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง ค่า MSE ที่ใช้วัดความแปรปรวนระหว่างค่าพยากรณ์ และค่าที่เกิดขึ้นจริง จากสูตร(นฤมล ซิ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จิริวิภากร, 2545)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n}$$

e = ค่าจริง- ค่าพยากรณ์

n = จำนวนข้อมูล

จากการนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีการเติมเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) สังเคราะห์มาทดลองจำนวน 4 ครั้ง (n = 4) กำหนดค่า แมงกานีสจริง (Mn) คือค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังจากการตกตะกอน (Mn_t) ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้น้ำประปาที่มีความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) เท่ากับ

0.15 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำประปาเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา ซึ่งมาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้น้ำประปามีค่าแมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพยากรณ์คือค่าแมงกานีสที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) ทำการทดลองโดยการนำค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์ และค่าแมงกานีสเป้าหมายที่กำหนดขึ้น (Mn = 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร) เพื่อต้องการให้น้ำประปามีค่าแมงกานีสหลังผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการเพื่อพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการ ผลการหาค่า MSE ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า MSE ของสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการจากตัวอย่างน้ำดิบมีเหล็ก(Fe)และแมงกานีส(Mn)สังเคราะห์

สมการ	จำนวน (n)	Mn เป้าหมาย	มาตรฐาน	MSE	Mn น้ำดิบ(mg/L)			Mnในน้ำใสที่ผ่านการตกตะกอน(mg/L)			Mnชุดควบคุม(mg/L)		
					ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
4.1	4	0.15	≤0.3	0.00188	0.3	0.8	0.6	0.085	0.140	0.133	0.225	0.685	0.544
4.2	4	0.15	≤0.3	0.00748	0.3	0.8	0.6	0.000	0.120	0.076	0.225	0.685	0.544
4.3	4	0.15	≤0.3	0.00583	0.3	0.8	0.6	0.014	0.152	0.096	0.225	0.685	0.544
4.4	4	0.15	≤0.3	0.00987	0.3	0.8	0.6	0.000	0.100	0.060	0.225	0.685	0.544

หมายเหตุ : Mn ชุดควบคุม หมายถึง ตัวอย่างน้ำดิบสังเคราะห์ที่นำมาทดลองใส่สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (สารส้ม ปูนขาว โพลิเมอร์)ทำให้มีการตกตะกอนเหมือนตัวอย่างทดสอบทุกประการ แต่ไม่มีการเติมคลอรีนแล้วนำผลน้ำใสหลังการตกตะกอนมาวิเคราะห์ค่าแมงกานีส (Mn_r) เพื่อใช้เปรียบเทียบผลของคลอรีนมีผลต่อการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบหรือไม่

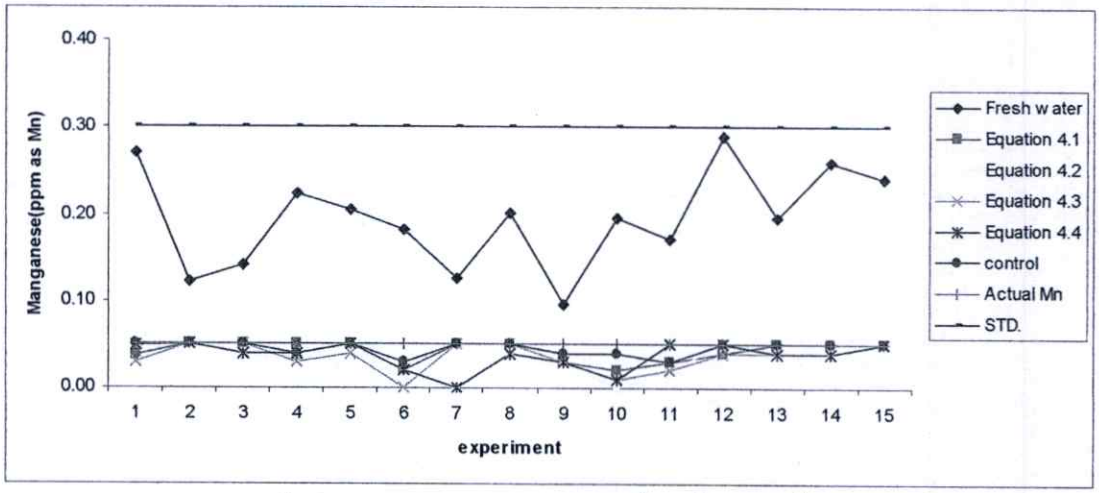
มาตรฐาน หมายถึง มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

จากผลการทดลองนี้การพยากรณ์เพื่อให้น้ำดิบสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นน้ำประปามีค่าแมงกานีส (Mn_r) เท่ากับ 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร เลือกใช้การพยากรณ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ MSE น้อยที่สุดในกลุ่มข้อมูลและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุดคือ สมการ 4.1 ให้ค่า MSE เท่ากับ 0.00188

4.3.2 การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในแหล่งน้ำธรรมชาติ

โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ มาทดลอง 15 ครั้ง วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในตัวอย่างน้ำดิบ จากนั้นนำข้อมูลที่ทราบค่านี้ไปพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยทั้งนี้กำหนดความต้องการให้มีค่าแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นน้ำประปามีค่า

แมงกานีสเป้าหมายที่ต้องการมีค่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดที่น้ำประปานี้จะไม่ส่งผลกระทบใดๆต่อผู้ใช้น้ำ ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำประปากำหนดให้มีค่า Mn ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ ลิตร และกำหนดความต้องการกำจัดเหล็ก (Fe) ในน้ำประปา 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำประปากำหนดให้มีค่าเหล็ก (Fe) ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาค) การที่กำหนดค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา แสดงผลการทดลองใน (ภาคผนวก ก.3) รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าพยากรณ์แมงกานีสในน้ำใสที่ได้จากน้ำดิบธรรมชาติ

หมายเหตุ : น้ำตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นน้ำดิบธรรมชาติที่เก็บมาจากอ่างเก็บนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ทำการทดลอง 15 ครั้ง พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการโดยการนำข้อมูลเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบมาแทนค่าในสมการทางคณิตศาสตร์ กำหนดให้มีค่าแมงกานีสที่ต้องการในน้ำประปามีค่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร (มาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้น้ำประปามีค่าแมงกานีสไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อนำข้อมูลการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการจากสมการทางคณิตศาสตร์ พบว่าสามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ได้ทั้ง 4 สมการในการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการในกำจัดแมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) เพื่อผลิตน้ำประปาให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

จากผลการพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จากข้อมูลการพยากรณ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการ เพื่อให้ทราบว่าจะใช้สมการคณิตศาสตร์ใดวัดค่าความแม่นยำของค่าพยากรณ์ โดยการหาค่า Mean Square Error (MSE) หรือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง ค่าMSE ที่ใช้วัดความแปรปรวนระหว่างค่าพยากรณ์ และค่าที่เกิดขึ้นจริง จากสูตร

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n}$$

e = ค่าจริง- ค่าพยากรณ์

n = จำนวนข้อมูล

จากการเก็บน้ำดิบในแหล่งน้ำธรรมชาติ 15 ครั้ง (n = 15) กำหนดค่า แมงกานีสจริง (Mn) คือค่าแมงกานีสในน้ำใสหลังจากการตกตะกอน (Mn_r) ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้น้ำประปาที่มีความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำประปาเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา ซึ่งมาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้น้ำประปามีค่าแมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าพยากรณ์คือค่าแมงกานีสที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) ทำการทดลองโดยการนำค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ และค่าแมงกานีสเป้าหมายที่กำหนดขึ้น Mn = 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อต้องการให้น้ำประปามีค่าแมงกานีสหลังผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการเพื่อพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการ ผลการหาค่า MSE ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า MSE ของสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการจากตัวอย่างน้ำดิบธรรมชาติ

สมการ	จำนวน (n)	Mn เป้าหมาย	มาตรฐาน	MSE	Mn น้ำดิบ(mg/L)			Mnในน้ำใสที่ผ่านการตกตะกอน (mg/L)			Mnชุดควบคุม(mg/L)		
					ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
4.1	15	0.05	≤ 0.3	0.000191	0.096	0.29	0.1946	0.02	0.04	0.0418	0.03	0.05	0.04533
4.2	15	0.05	≤ 0.3	0.000580	0.096	0.29	0.1946	0.00	0.05	0.0333	0.03	0.05	0.04533
4.3	15	0.05	≤ 0.3	0.000440	0.096	0.29	0.1946	0.00	0.05	0.0533	0.03	0.05	0.04533
4.4	15	0.05	≤ 0.3	0.000394	0.096	0.29	0.1946	0.00	0.05	0.04533	0.03	0.05	0.04533

หมายเหตุ : Mn ชุดควบคุม หมายถึง ตัวอย่างน้ำดิบสังเคราะห์ที่นำมาทดลองใส่สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (สารส้ม ปูนขาว โพลิเมอร์)ทำให้มีการตกตะกอนเหมือนตัวอย่างทดสอบทุกประการ แต่ไม่มีการเติมคลอรีนแล้วนำผลน้ำใสหลังการตกตะกอนมาวิเคราะห์ค่าแมงกานีส (Mn) เพื่อใช้เปรียบเทียบผลของคลอรีนมีผลต่อการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบหรือไม่

มาตรฐาน หมายถึง มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

จากผลการทดลองนี้การพยากรณ์เพื่อให้น้ำดิบสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นน้ำประปามีค่าแมงกานีส (Mn_r) เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร เลือกใช้การพยากรณ์สมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ MSE น้อยที่สุดในกลุ่มข้อมูลและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุดคือ สมการ 4.1 ให้ค่า MSE เท่ากับ 0.000191

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลทั้งน้ำดิบสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) และน้ำดิบธรรมชาติ ไปพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการด้วยสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 แบบสมการ พบว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองกลุ่มใช้สมการทางคณิตศาสตร์สมการที่ 4.1 โดยเมื่อให้ Y เป็นสัดส่วนของแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) กับ แมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) ดังนี้

$$Mn_r = 0.484\ Mn + 0.177\ Mn^2 - 0.028\ Cl_2\ Mn - 0.039\ FeMn$$

ดังนั้นจะเลือกสมการที่ 4.1 เพื่อพยากรณ์เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และนำไปใช้คำนวณปริมาณ Cl_2 ที่ต้องการ เมื่อกำหนดปริมาณแมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_t) เป้าหมาย และทราบค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ของน้ำดิบโดยแทนค่าลงในสมการข้างล่างนี้

$$Cl_2 = [(0.484 \times Mn) + (0.177 \times Mn^2) - (0.039 \times Fe \times Mn) - Mn_t] / 0.028 \times Mn$$

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบเพื่อนำมาผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อนำส่งน้ำประปาไปยังผู้บริโภคให้ได้รับน้ำที่มีคุณภาพดี ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและน้ำใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ โดยใช้คลอรีนเป็นออกซิไดซิงค์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนแล้วจึงกำจัดออกไปพร้อมตะกอน จากการทดลองได้ออกแบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการ 2 แบบ ซึ่งมีความแตกต่างกันที่แบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการแบบที่ 1 โดยนำค่าเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบมาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคลอรีนที่ต้องการ ซึ่งสามารถหาสมการคณิตศาสตร์ในแบบจำลองนี้ได้ 2 สมการคือสมการ 4.1 และ สมการ 4.2

ส่วนแบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการแบบที่ 2 ไม่นำค่าเหล็ก (Fe) ในน้ำดิบมาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคลอรีนที่ต้องการ เนื่องจากเมื่อทำการทดลองน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ จำนวน 64 ตัวอย่าง พบว่าการใช้สารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนประกอบด้วย สารส้ม ปูนขาว และ โพลิเมอร์ ก็สามารถตกตะกอนและกำจัดเหล็กในน้ำดิบให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาได้โดยไม่ต้องใช้คลอรีนเป็นตัวช่วยออกซิไดส์ ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้สมการทางคณิตศาสตร์ 2 สมการ คือ สมการ 4.3 และ สมการ 4.4

จากการตรวจสอบการพยากรณ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการนี้เพื่อหาปริมาณคลอรีนที่ต้องการใช้ในการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบทั้งที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) และน้ำดิบจากแหล่งธรรมชาติ พบว่าปริมาณคลอรีนที่ต้องการซึ่งพยากรณ์ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สามารถลดค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำประปาให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีคือมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในค่ามาตรฐานน้ำประปา และเพื่อต้องการเลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์ใดวัดค่าความแม่นยำของค่าพยากรณ์ ปริมาณคลอรีนที่ต้องการที่ดีที่สุดสำหรับกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนด

จากการทดลองสรุปได้ว่า ไม่ว่าการทดสอบตัวอย่างน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ และการทดสอบน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบธรรมชาติ ตามสมการ 4.1 ให้ค่าพยากรณ์ที่ดีเพราะให้ค่า Mean Square Error (MSE) น้อยที่สุดในกลุ่ม ซึ่งได้จากการนำข้อมูลการพยากรณ์ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ต้องการให้มีการกำจัดแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบให้อยู่ในเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นการเลือกวิธีการพยากรณ์จะพิจารณาจากวิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MSE ที่น้อยที่สุดมาใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปริมาณคลอรีนที่ต้องการระดับขีดความเข้มข้นสูงสุดเท่าไร สามารถกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่ระดับขีดความเข้มข้นสูงสุดได้เท่าไร และยังให้คุณภาพน้ำประปามีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2. ตรวจติดตามวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำดิบของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ในรายการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าความขุ่น (Turbidity) ค่าแมงกานีส (Mn) ค่าเหล็ก (Fe) ต่อไปเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำของอ่างเก็บน้ำดิบนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้

เอกสารอ้างอิง

กัลยา วาณิชย์บัญชา. 2545. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2536. **วิศวกรรมประปา.** กรุงเทพ : มิตรนราการพิมพ์.

ธีรพล บุญมาสม และ ปกรณ์ คันธวัจนะ. 2543. **การกำจัดแมงกานีสออกจากน้ำโดยใช้เปอร์แมงกาเนต.** (cited 2006 Jan. 10). (Online). Available : http://www.ist.cmu.ac.th/riseat/teenet/eng/research_details.php?id=203.

นฤมล ซิ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จิรัวิภากร. **การพยากรณ์โดยเทคนิคการเฉลี่ยน้ำหนักของข้อมูลแต่ละค่าเท่าๆกันและเทคนิคการทำให้เรียบแบบเอกโพแนนเชียล.** วิศวสารลาดกระบัง มีนาคม 2545; 19(1)

บริษัท เคมเม็กอุตสาหกรรม จำกัด. **ความปลอดภัยในการใช้สารเคมี คลอรีน (Cl_2) .**2551.

บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992 จำกัด. **รายงานผลการตรวจติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำประปาและน้ำดิบ นิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.** 2551.

บริษัท เอ็ม คอนโซลิเดท จำกัด. **คู่มือการฝึกอบรมระบบผลิตน้ำส่วนขยาย A นิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้.** 2539

ประภาส ตันติพันธุ์พิพัฒน์ และ ภราดร ศีละวงษ์เสรี. 2542. **การศึกษาอิทธิพลของเหล็กที่มีต่อการกำจัดแมงกานีสออกจากน้ำด้วยการกรอง.**(cited 2006 Jan. 10). (Online). Available : http://www.ist.cmu .ac.th/riseat/teenet/eng/research_details.php?id=203.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **วิศวกรรมการประปา.** เล่มที่2. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพ : แซนอี 68 แลบจำกัด.

รุ่งทิวา อิศรางพร. 2543. **การเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในการลดปริมาณเชื้อ *Salmonella typhimurium*** สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปางราชมงคลวิชาการ

ศิริวัฒนา ตอวิวัฒน์, พีระพล เอี่ยมสะอาด, ธีรศักดิ์ วิศวะวาทิน และ บุญชู กองสุข 2544. **ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในระบบประปาหมู่บ้าน.** กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

สุกิตติ์ เภตราจินดารัตน์, เทวารักษา เครือคล้าย, ชนกานต์ ด่านวนกิจเจริญ และ สุญาณี สุทธิพงศ์ 2543. **ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในระบบประปาหมู่บ้านของกรมอนามัย.** กองประปาชนบท กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

สุพรรณี เทพอรุณรัตน์ 2547. **คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำบริโภค.** โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สำนักงานประปาเขต 10. 2543. **มาตรฐานน้ำดิบ.** (cited 2007 Oct. 10). (Online). Available : http://www.reg 10.pwa.co.th/pwa10/knowledge/Stand Water Use.php.

อุดร จารุรัตน์ และ จารุรัตน์ วรนิสรากุล. 2542. **วิศวกรรมประปาและสุขาภิบาล.** เล่มที่1. กรุงเทพ. : เรือนแก้วการพิมพ์.

เอ็ดวาร์ด นิกสัน ปักปาฮาน. 2550. **การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล โดยกระบวนการขจัดเหล็กและแมงกานีส ที่บ้านลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่.** (cited 2006 Jan. 10). (Online). Available : http://www.science.cmu.ac.th/study_abstract/4625802.pdf.

Department of health and the university of Rhode island and department of natural resources science. 2003. **Healthy Drinking Waters for Rhode Islanders Iron and Manganese in Private Drinking Water Wells.** (cited 2005 Dec 20).(Online) . Available : http://www.uri.edu/ce/wq/ has/html/Iron_manganese.pdf.

Choo,K.H. , Lee, H. and Choi S.J. 2005. **Iron and Manganese Removal and Membrane Fouling During UF in conjuction with Prechlorination for Drinking Water Treatment.** (cited 2005 Jan. 25).(Online) . Available : http://www.sciencedirect. com/science?_ob=Article URL&_udi=B6TGK-4GG8VW-4&.

Eaton, A.D. Clesceri, L.S. and Greenbery, A.E. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 19th edition.** United States America.

Vieira, P. , Coelho, S.T. and Loureiro, D. **Accounting for the Influence of Initial Chlorine Concentration, TOC,iron and Temperature when Modeling Chlorine Dacay in Water Supply.** Journal of Water Supply : Research and Technology AQUA 2004 ; 53 (7) : 453-467.

Water Industry Operators Association(WIOA) . 2003. **Manganese Removal using Chlorine Oxidation and Powdered Activated Carbon.** (cited 2008 Jan. 1).(Online) Available : http://www.wioa.org.au/conf_papers/03/paper12.htm.

WHO. **Seminar Pack for Drinking-Water Quality Disinfection.** (cited 2008 Jan 10) (Online). Available : http : www.who.int/water_sanitation_health/dwq/s13.pdf.

Wilkes University center for environmental quality geo-environmental sciences and engineering department **Water Testing Iron and Manganese Rusty Water Red Water Black**

Staining Drinking Water. (cited 2005 Dec. 23) (Online) . Available : http://www. water-research.net /shockwelldisinfection.htm.

Wilkes University center for environmental quality geo-environmental sciences and gienneering department . **Drinking Water Testing and Information for Water Well Homeowners, Private Water Well Owners , Realtors. Plumbing Contractors, Water Well Drillers** . (cited 2005 Dec. 23) (Online). Available : http://www.water-research.net.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก.1 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำใสหลังจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้คลอรีนที่ระดับความเข้มข้น 5 ระดับคือ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตรในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่มีสารละลายเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันจำนวน 64 ตัวอย่าง

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.2	0.2	0.24	0.2	0.22	0.2	0.2	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.3	0.34	0.31	0.32	0.31	0.3	0.3	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.06	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.05	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.05	0.03	0.01	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.05	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.05	0.03	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.05	0.03	0.01	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.02	0.05	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.05	0.00	0.00	0.02	0.05	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.04	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.04	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.04	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.05	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.05	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.03	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.09	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.08	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.08	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.08	0.02	0.00	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.05	0.02	0.00	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.05	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.04	0.02	0.00	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.06	0.05	0.08	0.06	0.05	0.02	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.02	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.06	0.05	0.06	0.06	0.03	0.02	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.06	0.02	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.06	0.00	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.06	0.00	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.06	0.02	0.08	0.04	0.05	0.04	0.03	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.06	0.02	0.08	0.04	0.05	0.04	0.03	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.06	0.02	0.08	0.04	0.05	0.04	0.03	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.05	0.02	0.05	0.04	0.05	0.02	0.03	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.05	0.02	0.05	0.04	0.05	0.02	0.03	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.05	0.02	0.05	0.04	0.05	0.02	0.03	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.05	0.04	0.03	0.04	0.10	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.04	0.04	0.03	0.04	0.10	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.04	0.04	0.03	0.04	0.10	0.03	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.05	0.03	0.02	0.03	0.08	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.03	0.02	0.03	0.08	0.03	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.03	0.02	0.03	0.08	0.03	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.04	0.08	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.07	0.08	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.08	0.15	0.06	0.04	0.08	0.09	0.05	0.06	mg/L
ชั่วโมง 2	0.08	0.15	0.06	0.04	0.08	0.09	0.05	0.06	mg/L
ชั่วโมง 3	0.08	0.14	0.06	0.03	0.08	0.09	0.05	0.06	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.05	0.10	0.03	0.04	0.07	0.08	0.05	0.06	mg/L
ชั่วโมง 2	0.04	0.10	0.03	0.04	0.07	0.08	0.05	0.06	mg/L
ชั่วโมง 3	0.04	0.10	0.03	0.04	0.07	0.08	0.05	0.06	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.05	0.06	0.06	0.02	0.04	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.05	0.06	0.06	0.02	0.04	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.05	0.06	0.06	0.02	0.04	0.03	0.05	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.01	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Fe	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	mg/L

Cl2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.14	0.13	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	mg/L
ชั่วโมง 2	0.14	0.13	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	mg/L
ชั่วโมง 3	0.14	0.13	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	mg/L

Cl2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.07	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.07	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.07	0.07	0.02	0.01	0.02	0.02	mg/L

Cl2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.06	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.05	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.00	0.05	0.07	0.01	0.01	0.01	0.02	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.05	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.25	0.20	0.20	0.24	0.20	0.22	0.20	0.20	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.02	0.03	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.33	0.33	0.30	0.36	0.33	0.33	0.34	0.33	mg/L
ชั่วโมง 2	0.33	0.26	0.30	0.35	0.33	0.33	0.34	0.33	mg/L
ชั่วโมง 3	0.33	0.26	0.30	0.35	0.33	0.33	0.34	0.33	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.06	0.14	0.15	0.15	0.05	0.10	0.10	0.14	mg/L
ชั่วโมง 2	0.05	0.13	0.13	0.15	0.05	0.10	0.10	0.14	mg/L
ชั่วโมง 3	0.04	0.10	0.13	0.14	0.04	0.09	0.09	0.13	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.05	0.13	0.10	0.13	0.05	0.05	0.06	0.06	mg/L
ชั่วโมง 2	0.05	0.13	0.10	0.13	0.05	0.05	0.06	0.06	mg/L
ชั่วโมง 3	0.05	0.12	0.10	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.05	0.12	0.10	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.12	0.10	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.11	0.10	0.11	0.03	0.04	0.04	0.04	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.11	0.10	0.11	0.02	0.05	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.09	0.10	0.10	0.02	0.05	0.03	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.09	0.09	0.08	0.01	0.03	0.03	0.03	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.50	0.52	0.51	0.56	0.50	0.52	0.50	0.52	mg/L
ชั่วโมง 2	0.50	0.52	0.50	0.55	0.50	0.52	0.50	0.52	mg/L
ชั่วโมง 3	0.50	0.52	0.50	0.55	0.50	0.51	0.50	0.51	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.20	0.16	0.23	0.27	0.21	0.23	0.23	0.21	mg/L
ชั่วโมง 2	0.20	0.14	0.20	0.26	0.20	0.20	0.23	0.21	mg/L
ชั่วโมง 3	0.20	0.12	0.20	0.26	0.20	0.20	0.20	0.22	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.09	0.15	0.09	0.15	0.09	0.10	0.12	0.09	mg/L
ชั่วโมง 2	0.07	0.14	0.09	0.15	0.09	0.10	0.12	0.09	mg/L
ชั่วโมง 3	0.07	0.14	0.08	0.14	0.08	0.09	0.10	0.08	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.06	0.14	0.05	0.12	0.05	0.08	0.12	0.09	mg/L
ชั่วโมง 2	0.05	0.14	0.05	0.11	0.05	0.08	0.12	0.09	mg/L
ชั่วโมง 3	0.05	0.13	0.05	0.10	0.05	0.06	0.10	0.08	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.45	0.40	0.40	0.44	0.40	0.42	0.40	0.40	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.01	0.06	0.05	0.12	0.01	0.08	0.09	0.08	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.06	0.05	0.12	0.01	0.08	0.09	0.08	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.06	0.05	0.11	0.01	0.06	0.08	0.06	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.87	0.85	0.85	0.99	0.87	0.85	0.85	0.84	mg/L
ชั่วโมง 2	0.86	0.85	0.80	0.99	0.87	0.85	0.80	0.84	mg/L
ชั่วโมง 3	0.86	0.85	0.80	0.99	0.86	0.85	0.80	0.80	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.34	0.51	0.33	0.56	0.40	0.45	0.40	0.50	mg/L
ชั่วโมง 2	0.35	0.48	0.30	0.55	0.40	0.45	0.40	0.50	mg/L
ชั่วโมง 3	0.35	0.43	0.30	0.50	0.37	0.43	0.37	0.48	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.28	0.48	0.17	0.44	0.29	0.35	0.36	0.48	mg/L
ชั่วโมง 2	0.28	0.48	0.17	0.40	0.29	0.35	0.36	0.48	mg/L
ชั่วโมง 3	0.28	0.43	0.16	0.40	0.29	0.32	0.35	0.45	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.23	0.42	0.16	0.37	0.25	0.28	0.22	0.25	mg/L
ชั่วโมง 2	0.23	0.42	0.16	0.36	0.25	0.28	0.22	0.25	mg/L
ชั่วโมง 3	0.23	0.41	0.15	0.35	0.23	0.27	0.20	0.23	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.65	0.60	0.60	0.64	0.60	0.62	0.60	0.60	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.14	0.15	0.14	0.05	0.14	0.14	0.08	0.15	mg/L
ชั่วโมง 2	0.14	0.15	0.14	0.04	0.14	0.14	0.08	0.15	mg/L
ชั่วโมง 3	0.13	0.13	0.13	0.04	0.13	0.13	0.05	0.13	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	mg/L
ชั่วโมง 2	0.12	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16	0.15	mg/L
ชั่วโมง 3	0.12	0.16	0.05	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.08	0.11	0.03	0.08	0.05	0.07	0.11	0.08	mg/L
ชั่วโมง 2	0.06	0.11	0.02	0.07	0.05	0.07	0.11	0.08	mg/L
ชั่วโมง 3	0.06	0.09	0.02	0.06	0.05	0.05	0.09	0.07	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.05	0.04	0.05	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.35	0.30	0.30	0.34	0.30	0.32	0.30	0.30	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.35	0.30	0.34	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	mg/L
ชั่วโมง 1	0.02	0.07	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.07	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.33	0.33	0.34	0.36	0.33	0.34	0.36	0.35	mg/L
ชั่วโมง 2	0.33	0.33	0.33	0.35	0.33	0.34	0.36	0.35	mg/L
ชั่วโมง 3	0.33	0.33	0.33	0.35	0.33	0.34	0.35	0.35	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.18	0.19	0.16	0.16	0.16	0.18	0.16	0.16	mg/L
ชั่วโมง 2	0.18	0.19	0.15	0.15	0.16	0.18	0.16	0.16	mg/L
ชั่วโมง 3	0.16	0.19	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.08	0.09	0.09	0.13	0.09	0.13	0.12	0.15	mg/L
ชั่วโมง 2	0.04	0.09	0.05	0.13	0.09	0.13	0.12	0.15	mg/L
ชั่วโมง 3	0.04	0.09	0.05	0.13	0.08	0.11	0.10	0.14	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.04	0.09	0.09	0.12	0.09	0.09	0.08	0.10	mg/L
ชั่วโมง 2	0.02	0.09	0.05	0.12	0.09	0.09	0.08	0.10	mg/L
ชั่วโมง 3	0.02	0.08	0.05	0.11	0.08	0.07	0.07	0.10	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.55	0.50	0.50	0.54	0.50	0.52	0.50	0.50	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.55	0.50	0.54	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	mg/L
ชั่วโมง 1	0.22	0.10	0.05	0.10	0.05	0.07	0.06	0.08	mg/L
ชั่วโมง 2	0.01	0.08	0.04	0.10	0.05	0.07	0.06	0.08	mg/L
ชั่วโมง 3	0.01	0.07	0.04	0.09	0.04	0.05	0.06	0.07	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.50	0.58	0.53	0.55	0.55	0.55	0.53	0.54	mg/L
ชั่วโมง 2	0.50	0.55	0.52	0.50	0.50	0.55	0.53	0.54	mg/L
ชั่วโมง 3	0.50	0.55	0.50	0.50	0.50	0.53	0.52	0.53	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.16	0.28	0.16	0.20	0.17	0.18	0.25	0.25	mg/L
ชั่วโมง 2	0.14	0.19	0.16	0.20	0.17	0.18	0.25	0.25	mg/L
ชั่วโมง 3	0.13	0.19	0.15	0.20	0.16	0.15	0.22	0.22	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.09	0.15	0.09	0.15	0.10	0.12	0.14	0.09	mg/L
ชั่วโมง 2	0.09	0.13	0.09	0.15	0.10	0.12	0.14	0.09	mg/L
ชั่วโมง 3	0.08	0.13	0.09	0.14	0.09	0.10	0.12	0.09	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.70	0.70	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.08	0.13	0.09	0.14	0.10	0.12	0.10	0.09	mg/L
ชั่วโมง 2	0.08	0.10	0.08	0.12	0.10	0.12	0.09	0.09	mg/L
ชั่วโมง 3	0.07	0.10	0.08	0.12	0.08	0.10	0.09	0.08	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	0.75	0.7	0.7	0.74	0.70	0.72	0.70	0.70	mg/L
Mn ตั้งต้น	0.75	0.70	0.74	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	mg/L
ชั่วโมง 1	0.07	0.08	0.05	0.08	0.07	0.08	0.08	0.05	mg/L
ชั่วโมง 2	0.07	0.08	0.04	0.05	0.07	0.08	0.08	0.05	mg/L
ชั่วโมง 3	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	mg/L

Cl_2 = 0 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.90	0.94	0.88	0.90	0.90	0.88	0.95	0.92	mg/L
ชั่วโมง 2	0.90	0.93	0.85	0.90	0.90	0.88	0.95	0.92	mg/L
ชั่วโมง 3	0.90	0.85	0.85	0.90	0.90	0.85	0.92	0.90	mg/L

Cl_2 = 8 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.30	0.18	0.17	0.32	0.25	0.17	0.25	0.28	mg/L
ชั่วโมง 2	0.29	0.18	0.15	0.30	0.25	0.17	0.25	0.28	mg/L
ชั่วโมง 3	0.29	0.17	0.15	0.30	0.22	0.15	0.22	0.27	mg/L

Cl_2 = 12 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.17	0.17	0.17	0.20	0.17	0.20	0.21	0.18	mg/L
ชั่วโมง 2	0.16	0.17	0.15	0.20	0.17	0.20	0.21	0.18	mg/L
ชั่วโมง 3	0.16	0.16	0.15	0.18	0.16	0.18	0.20	0.15	mg/L

Cl_2 = 16 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.16	0.16	0.18	0.16	0.16	0.16	0.25	0.18	mg/L
ชั่วโมง 2	0.16	0.16	0.15	0.16	0.16	0.16	0.25	0.18	mg/L
ชั่วโมง 3	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.23	0.17	mg/L

Cl_2 = 20 ppm

ทดสอบ Mn	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	หน่วย
Fe ตั้งต้น	1.15	1.10	1.10	1.14	1.10	1.12	1.10	1.10	mg/L
Mn ตั้งต้น	1.15	1.10	1.14	1.11	1.12	1.11	1.10	1.10	mg/L
ชั่วโมง 1	0.12	0.12	0.11	0.15	0.12	0.12	0.15	0.14	mg/L
ชั่วโมง 2	0.12	0.12	0.11	0.15	0.12	0.12	0.15	0.14	mg/L
ชั่วโมง 3	0.12	0.12	0.08	0.14	0.11	0.12	0.14	0.13	mg/L

หมายเหตุ เก็บตัวอย่าง ครั้งที่1 วันที่ 11/11/49 pH น้ำดิบ 8.15

ครั้งที่ 2 วันที่ 20/11/49 pH น้ำดิบ 9.24

ครั้งที่ 3วันที่ 08/12/49 pH น้ำดิบ 7.80

ครั้งที่ 4วันที่ 23/12/49 pH น้ำดิบ 7.60

ครั้งที่ 5วันที่ 05/01/50 pH น้ำดิบ 9.19

ครั้งที่ 6วันที่ 20/01/50 pH น้ำดิบ 8.50

ครั้งที่ 7วันที่ 05/02/50 pH น้ำดิบ 8.21

ครั้งที่ 8วันที่ 20/02/50 pH น้ำดิบ 8.63

ภาคผนวก ก.2 พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์ เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการเพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) นำสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการมาทำนายปริมาณคลอรีนที่ต้องการ ด้วยการแทนค่าแมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) และหรือ ค่าเหล็กในน้ำดิบ (Fe) แมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน Mn_r = 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร การที่กำหนดค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา แทนค่าลงในสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการ (เกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา กำหนดให้ค่าแมงกานีส (Mn) มีได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร)

ครั้งที่	รายการทดสอบ	หน่วย	น้ำดิบ	สมการ 4.1	สมการ 4.2	สมการ 4.3	สมการ 4.4	ชุดควบคุม	เป้าหมาย	มาตรฐาน
1	Mn	mg/L	0.3	0.140	0.102	0.136	0.100	0.225	0.15	0.3
02/09/50	Fe		0.25	0.015	0.037	0.075	0.033	0.031	0.25	0.5
	Cl_2			0.977	6.39	0.978	6.37	0		
2	Mn	mg/L	0.6	0.130	0.00	0.014	0.000	0.610	0.15	0.3
16/09/50	Fe		0.55	0.098	0.018	0.036	0.007	0.049	0.25	0.5
	Cl_2		-	11.384	11.78	11.493	12.04	0		
3	Mn	mg/L	0.7	0.085	0.120	0.152	0.099	0.654	0.15	0.3
23/09/50	Fe		0.65	0.051	0.014	0.029	0.019	0.057	0.25	0.5
	Cl_2			13.152	13.58	13.297	13.96	0		
4	Mn	mg/L	0.8	0.097	0.085	0.082	0.041	0.685	0.15	0.3
30/09/50	Fe		0.45	0.024	0.021	0.044	0.061	0.062	0.25	0.5
	Cl_2			15.012	16.51	14.78	15.82	0		

หมายเหตุ ชุดควบคุม หมายถึง ตัวอย่างน้ำดิบที่นำมาทดลองใส่สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (สารส้ม ปูนขาว โพลิเมอร์) ทำให้มีการตกตะกอน แต่ไม่มีการเติมคลอรีนเพื่อใช้เปรียบเทียบผลของคลอรีนมีผลต่อการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบหรือไม่

มาตรฐาน หมายถึง มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

ภาคผนวก ก.3 พยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในแหล่งน้ำดิบธรรมชาติ

การพยากรณ์ปริมาณคลอรีนที่ต้องการเพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติของอ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ นำข้อมูลมาพยากรณ์ด้วยสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการเพื่อหาปริมาณคลอรีนที่ต้องการ ด้วยการแทนค่าแมงกานีสในน้ำดิบ (Mn) และหรือค่าเหล็กในน้ำดิบ (Fe) แมงกานีสในน้ำใสหลังการตกตะกอน Mn_r = 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร การที่กำหนดค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัยในการผลิตน้ำประปา แทนค่าลงในสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สมการ

ครั้งที่	รายการทดสอบ	หน่วย	น้ำดิบ	สมการ 4.1	สมการ 4.2	สมการ 4.3	สมการ 4.4	ชุดควบคุม	เป้าหมาย	มาตรฐาน
1	Mn	mg/L	0.27	0.037	0.05	0.03	0.048	0.05	0.05	0.3
19/01/51	Fe		0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			12.170	11.110	12.063	10.803			
2	Mn	mg/L	0.123	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3
25/01/51	Fe		0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			3.336	7.913	3.382	8.025			
3	Mn	mg/L	0.14	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.3
26/01/51	Fe		0.06	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.25	0.5
	Cl_2			5.332	8.620	5.235	8.346			
4	Mn	mg/L	0.224	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.3
29/01/51	Fe		0.084	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			10.613	10.357	10.462	9.934			
5	Mn	mg/L	0.205	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.3
01/02/51	Fe		0.084	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			9.754	9.944	9.623	9.575			
6	Mn	mg/L	0.183	0.02	0.01	0.00	0.02	0.03	0.05	0.3
02/02/51	Fe		0.104	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.25	0.5
	Cl_2			8.540	9.390	8.459	9.159			
7	Mn	mg/L	0.125	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	0.05	0.3
09/02/51	Fe		0.082	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			3.676	8.211	3.625	8.063			

ครั้งที่	รายการทดสอบ	หน่วย	น้ำดิบ	สมการ 4.1	สมการ 4.2	สมการ 4.3	สมการ 4.4	ชุดควบคุม	เป้าหมาย	มาตรฐาน
8	Mn	mg/L	0.201	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.3
10/02/51	Fe		0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			9.672	10.172	9.428	9.499			
9	Mn	mg/L	0.096	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.3
16/02/51	Fe		0.092	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			0	7.543	0	7.514			
10	Mn	mg/L	0.196	0.02	0.00	0.01	0.01	0.04	0.05	0.3
17/02/51	Fe		0.14	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			9.219	9.538	9.175	9.404			
11	Mn	mg/L	0.171	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	0.05	0.3
23/02/51	Fe		0.135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			7.736	9.013	7.711	8.932			
12	Mn	mg/L	0.29	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.3
24/02/51	Fe		0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			12.780	11.620	12.625	11.181			
13	Mn	mg/L	0.195	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.3
01/03/51	Fe		0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			9.152	9.479	9.123	9.386			
14	Mn	mg/L	0.26	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.3
02/03/51	Fe		0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			11.838	10.855	11.756	10.614			
15	Mn	mg/L	0.24	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3
08/03/51	Fe		0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.5
	Cl_2			11.307	10.870	11.078	10.236			

หมายเหตุ ชุดควบคุม หมายถึง ตัวอย่างน้ำดิบที่นำมาทดลองใส่สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (สารส้ม ปูนขาว โพลิเมอร์) ทำให้มีการตกตะกอน แต่ไม่มีการเติมคลอรีนเพื่อใช้เปรียบเทียบผลของคลอรีนมีผลต่อการกำจัดเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) หรือไม่

มาตรฐาน หมายถึง มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

(เกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา กำหนดให้ค่าแมงกานีส (Mn) มีได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร)

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข.1 มาตรฐานน้ำดิบ

มาตรฐานน้ำดิบขององค์การอนามัยโลก

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด
1. คุณลักษณะทางกายภาพ	
สี (Colour) ,Pt-Co unit	300
2. คุณลักษณะทางเคมี(มิลลิกรัม/ลิตร)	
ปริมาณสารละลายทั้งหมด(Total Dissolved Solids)	1,500
เหล็ก (Fe)	50
มังกานีส (Mn)	5
ทองแดง (Cu)	1.5
สังกะสี (Zn)	1.5
มักเนเซี่ยม+โซเดียมซัลเฟต (MgSO4+NaSO4)	1,000
อัลคิล เบนซิล ซัลโฟเนต (Alkyl Benzyl Sulfonates)	0.5
ไนเตรต (NO_3)asNO_3	45
ฟลูออไรด์ (F)	1.5
3. คุณลักษณะทางสารเป็นพิษ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
ฟีโนลิก ซับแสตนซ์	0.002
อาร์เซนิก (As)	0.05
คัดเมี่ยม (Cd)	0.01
โครเมี่ยม (Cr hexavalent)	0.05
ไซยาไนด์ (CN)	0.2
ตะกั่ว (Pb)	0.05
เซเลเนี่ยม (Se)	0.01
เรดิโอนิวไคลด์ (gross beta activity)	1,000
4. คุณลักษณะทางด้านมลภาวะ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
ซี โอ ดี (C O D)	10
บี โอ ดี (B O D)	6
ไนโตรเจนทั้งหมด (NO_3)	1
แอมโมเนีย (NH_3)	0.5
ซี ซี อี (Carbon Chloroform Extract)	0.5

กรีซ (Grease) 1

มาตรฐานคุณภาพน้ำด้านแบคทีเรีย

การแบ่งชั้น	**MPN/100 ml. coliform bacteria**
ชั้นที่ 1 แหล่งน้ำมีคุณลักษณะเพียงผ่านกรรมวิธี ฆ่าเชื้อโรค จึงใช้เป็นน้ำประปาได้	0 – 50
ชั้นที่ 2 แหล่งน้ำมีคุณลักษณะทางบักเตรีที่ต้องผ่านกรรมวิธี การตกตะกอน การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค จึงใช้เป็นน้ำประปาได้	50 – 5000
ชั้นที่ 3 แหล่งน้ำมีปริมาณมลพิษเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องใช้กรรมวิธีเพิ่มเติมจากที่ได้ระบุไว้ในชั้นที่ 2 จึงใช้เป็นน้ำประปาได้	5000 – 50000
ชั้นที่ 4 แหล่งน้ำมีปริมาณมลพิษมากไม่อาจใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อการประปาได้ เว้นไว้แต่ว่าได้ผ่านกรรมวิธีพิเศษ ซึ่งได้ออกแบบไว้เป็นการเฉพาะแห่งให้ใช้แหล่งน้ำนั้นเมื่อไม่อาจหลีกเลี่ยงได้	> 50000

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าพบว่า 40% ของจำนวน coliform bacteria ที่แสดงในค่า pH เป็น Faecal coliform ในแหล่งน้ำใดให้จัดแหล่งน้ำนั้นอยู่ในชั้นที่สูงขึ้นไป (คือ มีความสกปรกมากขึ้น)

(สำนักงานประปาเขต10, 2543)

ภาคผนวก ข.2 มาตรฐานน้ำประปา-การประปาภูมิภาค

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี

รายการ	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (Maximum acceptaple concentration)
1. คุณลักษณะทางกายภาพ	
สี (COLOUR)	5
หน่วยปลาตินัม-โคบอลค์	
รส (TASTE)	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น (ODOR)	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความขุ่น (TURBIDITY)	ไม่เกิน 5
หน่วยซิลิกา	
ความเป็นกรด-ด่าง (pH RANGE)	6.5-8.5
2. คุณลักษณะทางเคมี (มก./ลบ.คม.)	
ปริมาณสารทั้งหมด (TOTAL SOLIDS)	500
เหล็ก (Fe)	0.5
แมงกานีส (Mn)	0.3
เหล็ก และ แมงกานีส	0.5
ทองแดง(Cu)	1.0
สังกะสี (Zn)	5
คัลเซียม (Ca)	75
มักเนเซียม (Mg)	50
ซัลเฟต (SO_4)	200
คลอไรด์ (Cl)	250
ฟลูออไรด์ (F)	0.7
ไนเตรท (NO_3)	45
อัลคิลเบนซิลซัลโฟเนต (ALKYLBENZYL SULFONATES,APS)	0.5
ฟีโนลิกซับสแตนท์ (PHENOLIC SUBSTANCES , AS PHENOL)	0.001

ตารางที่ 2 สารเป็นพิษ

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
ปรอท (Hg)	0.001
ตะกั่ว (Pb)	0.05
อาร์เซนิก (As)	0.05
เซเลเนียม (Se)	0.01
โครเมียม (Cr Hexavalent)	0.05
ไซอะไนด์ (CN)	0.2
แคดเมียม (Cd)	0.01
บาเลียม (Ba)	1.0

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา

รายการ	เกณฑ์ที่สูงสุด
แสตนดาร์ดเพลเคานด์	500
โคโลนีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	
เอ็มพีเอ็น	น้อยกว่า 2.2
โคลิฟอร์มออร์แกนิสซัม ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร	
อีโคไล (*E. coli*)	ไม่มี

ตารางที่ 4 สารตกค้างจากยาปราบศัตรูพืช

รายการ	เกณฑ์สูงสุด(ไมโครกรัม/ลิตร)
ดีลดริน (DIEKDRIN)	0.02
ออลดริน (ALDRIN)	0.03
เฮบตาดลอร์ (HEPTACHLOR)	0.1
เฮบตาคลอร์ อีป็อกไซด์ (HEBTACHLOR EPOXIDE)	0.1
ลินเดน (LINDANE)	3
ดีดีที (o,p-DDT)	1
ดีดีที (p,p-DDT)	1
เมธอกซีคลอร์ (METHOXYCHLOR)	30
คลอร์เดน (CHLORDANE)	0.3
เฮกซาคลอโรเบนซิน (HEXACHLOROBENZENE)	0.01

(บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992 จำกัด, 2551)

ภาคผนวก ค

วิธีทดสอบ

ภาคผนวก ค.1 วิธีการหาค่าเหล็กทั้งหมด (TOTAL IRON) ใช้Phenanthroline Method

หลักการ

เหล็กเฟรัส (Fe^{2+}) จะทำปฏิกริยารวมกับ 1 10 ฟีแนนโทรลีน ที่พีเอชประมาณ 3.2-3.3 เกิดเป็นอิอออนเชิงซ้อน (Complex Ion) ที่มีสีส้มแดง ความเข้มของสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กเฟรัสที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) สีที่เกิดจะอยู่ตัวได้นานประมาณ 6 เดือน ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาเหล็กทั้งหมด (เหล็กเฟริคและเหล็กเฟรัส) ที่อยู่ในน้ำจำเป็นต้องเปลี่ยนเหล็กเฟริคให้เป็นเฟรัสก่อน เหล็กเฟริคจะอยู่ในรูปตะกอนของ $Fe(OH)_3$ ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงต้องเติมกรดไฮโดรคลอริคเพื่อละลายตะกอนเฟริคไฮดรอกไซด์ให้เป็นอิอออนเหล็กเฟริคก่อน ดัง

สมการที่ ค.1

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ \longrightarrow Fe^{+3} + 3H_2O \qquad \text{(ค.1)}$$

และเปลี่ยนอิอออนของเหล็กเฟริคให้เป็นอิอออนของเหล็กเฟรัสโดยใช้ไฮดรอกซีลามีน(Hydroxylamine) เป็นตัวรีดิวส์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

สมการที่ ค.2

$$4\,Fe^{+3} + 2NH_2OH \longrightarrow 4\,Fe^{+2} + N_2O + H_2O + 4H^+ \qquad \text{(ค.2)}$$

ปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 3.2-3.3 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ แล้วเติม 1 10 ฟีแนนโทรลีน โดย 3 โมเลกุลของฟีแนนโทรลีนจะรวมกับเหล็กเฟรัส 1 ตัวเกิดเป็นอิออนเชิงซ้อนขึ้นดังนี้

$$3(\text{1,10 –Phenanthroline}) + Fe^{+2} \longrightarrow \text{อิออนเชิงซ้อนสีส้มแดง}$$

โดยอาศัยแนวความคิดดังกล่างข้างต้นอาจปรับปรุงวิธีเพื่อใช้วิเคราะห์เหล็กในรูปละลายน้ำหรือรูปตะกอนแขวนลอย รวมทั้งเหล็กเฟรัสและเหล็กเฟริคได้

สิ่งที่รบกวนการวิเคราะห์

สิ่งรบกวนการวิเคราะห์สำหรับวิธีการนี้ได้แก่ ออกซิไดซิงเอเจ้นต์ ไซยาไนด์ ไนไตรต์ และฟอสเฟต (โพลีฟอสเฟตจะรบกวนการวิเคระห์มากกว่าออโธฟอสเฟต) นอกจากนี้ฟีแนนโทรลีนจะตกตะกอนเนื่องจากโลหะหนักต่างๆ เช่น โครเมียม สังกะสี (ถ้ามีมากเป็น 10 เท่า ของเหล็ก) โคบอลท์และทองแดง (ถ้ามีมากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร) นิเกิล (ถ้ามีมากกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร) บิสมัท

แคดเมียม ปรอท โมลิบเดตและเงิน การต้มตัวอย่างน้ำกับกรดจะเปลี่ยน โพลีฟอสเฟตให้เป็นออโธฟอสเฟตและยังกำจัดไซยาไนด์และไนไตรต์ได้ การเติมไฮดรอกซีลามีนให้มากพอสามารถกำจัดความผิดพลาดที่เกิดจากออกซิไดซิงเอเจ้นต์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ในกรณีที่มีการรบกวนเนื่องจากโลหะหนัก ต้องเติมฟีแนนโทรลีนให้เกินพอเพื่อให้ไปทดแทนส่วนที่สูญเสียเนื่องจากเกิดปฏิกริยากับโลหะหนักดังกล่าวข้างต้น แต่ถ้ามีโลหะหนักปริมาณมากๆ ต้องสกัดด้วยไดไอโซโพรพิลอีเธอร์ (Diisopropyl Ether) ก่อนที่จะเติมฟีแนนโทรลีน ถ้าตัวอย่างน้ำมีสีหรือสารอินทรีย์อยู่ให้ระเหยตัวอย่างให้แห้ง เผาให้เป็นเถ้าแล้วทำให้ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริค (1+1) ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible) เป็นเวลาหลายๆ ชั่วโมง ถ้ามีสารอินทรีย์จำนวนมากต้องย่อยก่อนนำมาสกัด วิธีนี้สามารถวัดเหล็กได้ละเอียด 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้วิถีแสง (Light Path) ยาว 5 เซนติเมตร

การเก็บและรักษาตัวอย่าง

ควรวางแผนการเก็บและรักษาตัวอย่างล่วงหน้า ภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างควรล้างด้วยกรดและฉีดล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด ถ้าต้องการวิเคราะห์หาเหล็กทั้งหมดให้เก็บน้ำและรักษาตัวอย่างด้วยกรดเพื่อให้เหล็กอยู่ในรูปละลายน้ำและไม่ถูกดูดซับติดกับผนังของภาชนะ แต่ถ้าต้องการหาเหล็กในรูปละลายน้ำ ให้เตรียมเครื่องมือสำหรับกรองตัวอย่างน้ำโดยกรองตัวอย่างน้ำที่เก็บทันทีผ่านแผ่นกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ลงในขวดสุญญากาศ ซึ่งใส่กรดเกลือเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร เพื่อเอาไว้วิเคราะห์หาเหล็กละลายน้ำทั้งหมดหรือเหล็กละลายน้ำในรูปเฟรัส ถ้าผู้วิเคราะห์ต้องการหาเหล็กในรูปเฟรัส ถ้าเป็นไปได้ควรจะวิเคราะห์ที่แหล่งเก็บน้ำทันทีเลย เพื่อป้องกันการเกิดการออกซิเดชันของเหล็กเฟรัสเป็นเหล็กเฟริค แต่ถ้าไม่สามารถทำได้จริงๆ ให้เติมกรดเกลือเข้มข้น 2 มิลลิลิตร ลงในขวดตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมตัวอย่างน้ำให้เต็มขวด รีบนำไปวิเคราะห์ต่อทันที

สารเคมีและวิธีการเตรียมสารละลายเคมี

(1) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)

(2) สารละลายไฮดรอกซิลลามีน ($NH_2OH.HCl$)

- ชั่งไฮดรอกซิลลามีน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

(3) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทบัฟเฟอร์

- ชั่งแอมโมเนียมอะซิเตท (CH_3COONH_4) 250 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร เติมเกลเซียลอะซิติกเอซิด (CH_3COOH) ลงไป 700 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

(4) สารละลายฟีแนนโทรลีน

- ชั่งสาร 1, 10 - Phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 . H_2O$) 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

อุ่นที่ 80°C ระวังอย่าให้สารละลายเดือดเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 หยด คนให้เข้ากัน (ถ้าสารละลายมี สีเข้มต้องเตรียมใหม่)

(5) สารละลายสต็อคเหล็ก (Stock Iron Solution)

1) ตวงน้ำกลั่นใส่บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร ค่อยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) ลงไป 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน(สารละลายที่เตรียมจะมีความร้อน)

2) ชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) 1.404 กรัม ละลายในสารละลายกรดจากข้อ 1)

3) ค่อยๆ เติมโปตัสเซียมเปอร์มังการ์เนต 0.1 นอร์มัล ($KMnO_4$ 3.2 กรัม/น้ำ 1 ลิตร) ทีละหยดจนกระทั่งได้สี ชมพูอ่อนๆ

4) ถ่ายสารละลายลงสู่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตรเขย่าให้เข้ากัน

สารละลายนี้ 1.00 มิลลิลิตร = 200 ไมโครกรัมเหล็ก

การเตรียมกราฟมาตรฐาน (Standard curve)

(1) ปิเปต 50.00 มิลลิลิตร สารละลายสต็อคเหล็กโดยใช้ Volumetric pipette ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน (สารละลายนี้ 1.00 มิลลิลิตร = 10.00 ไมโครกรัมเหล็ก)

(2) ปิเปต 25.00 มิลลิลิตร สารละลายสต็อคเหล็ก 10.00 ไมโครกรัม โดยใช้ Volumetric pipette ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน (สารละลายนี้ 1.0 มิลลิลิตร = 1.00 ไมโครกรัมเหล็ก)

(3) ปิเปตสารละลายในข้อ 2 ปริมาณ 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรและเติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร สารละลายนี้จะมีความเข้มข้น ของเหล็ก = 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 และ 1.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

(4) ถ่ายสารละลายทั้งหมดลงสู่ขวดเออร์เลนเมเยอร์ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร

(5) เติมสารละลายไฮดรอกซิลลามีน 1 มิลลิลิตร ใส่ Glass bead 3-4 เม็ด

(6) นำไปต้มให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 15-20 มิลลิลิตรทิ้งให้เย็น

(7) ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมแอมโมเนียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร

(8) เติมสารละลายฟีแนนโทรลีน 4 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีส้ม

(9) เติมน้ำกลั่น ให้ถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

(10) นำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 510 นาโมเมตร นำค่าที่วัดไปเขียนกราฟระหว่างค่า absorbance (แกน Y) กับความเข้มข้น Fe (ppm) (แกน X) และหาค่า 1/slope

วิธีการวิเคราะห์

(1) ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร

(2) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร

(3) เติมสารละลายไฮดรอกซิลลามีน 1 มิลลิลิตร ใส่ Glass bead 3-4 เม็ด

(4) นำไปต้มน้ำให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น

(5) เติมแอมโมเนียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร

(6) เติมสารละลายฟีแนนโทรลีน 4 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีส้ม

(7) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

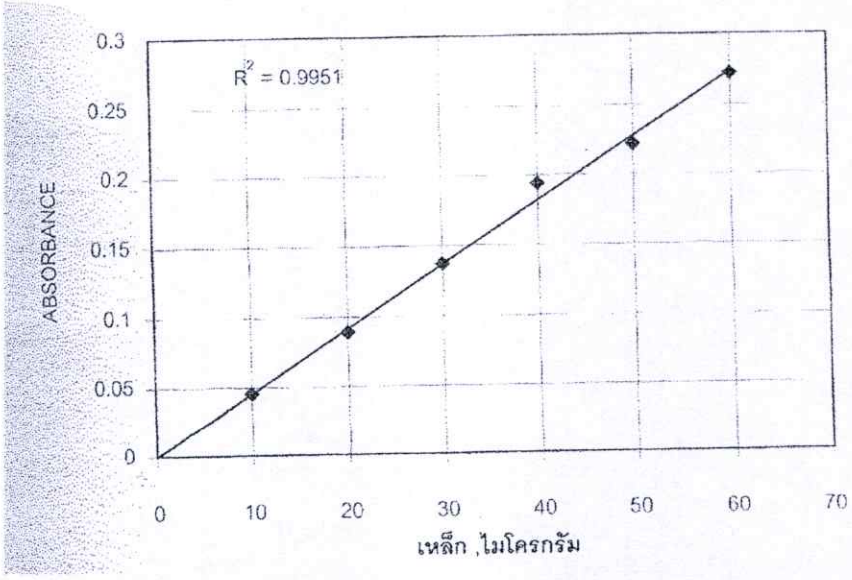
(8) นำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

การคำนวณ

$$\text{Fe (ppm)} = A \times \frac{1}{\text{Slope}}$$

A = ค่า absorbance ที่วัดได้

หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างมีสีหรือความขุ่นให้ใช้ตัวอย่างอีกชุดหนึ่ง และทำทุกอย่างเหมือนในวิธีทำแต่ไม่ต้องเติมฟีแนนโทรลีนและให้ใช้ blank ที่เตรียมนี้ ในการปรับเครื่องแทนน้ำกลั่น(มั่นสิน, 2543 และ Eaton, A.D. et.al. 1995)



ภาคผนวค ค.1.1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน

ภาคผนวก ค.2 วิธีวิเคราะห์แมงกานีส โดยวิธี Persulfate

หลักการ

แมงกานีสในน้ำมักละลายอยู่ในรูป Mn^{2+} เมื่อถูกออกซิไดส์ด้วยแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต โดยมีอิออนของเงิน (Ag^{+}) เป็นตัวเร่งปฏิกริยา อิออนแมงกานีสจะกลายเป็นเปอร์แมงกาเนต (MnO_4^-) ซึ่งมีสีม่วงดังสมการที่ค. 3

สมการที่ ค. 3

$$2\,Mn^{2+} + 5S_2O_8^{2-} + 8H_2O \xrightarrow{Ag^{2+}} 2MnO_4^- + 10SO_4^{2-} + 16H^+ \qquad \text{(ค.3)}$$

ความเข้มสีแปรโดยตรงกับความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำ ถ้าใช้เปอร์ซัลเฟตให้มากเกินพอแล้ว และไม่มีสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ สีที่เกิดขึ้นจะคงทนอยู่ได้อย่างน้อย 24 ชั่วโมงวิธีเปอร์ซัลเฟต สามารถวัดแมงกานีสได้ละเอียดถึง 0.21 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้วิถีแสง (Light Path) ยาว 1 เซนติเมตร หรือ 0.042 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้วิถีแสง 5 เซนติเมตร

สิ่งรบกวนการวิเคราห์

คลอไรด์และสารอินทรีย์ อาจรบกวนการวิเคราะห์แมงกานีสได้ เนื่องจากคลอไรด์ทำให้เกิดตะกอนขุ่นและสารอินทรีย์ทำให้สีของเปอร์แมงกาเนตผิดปกติและไม่คงตัว การแก้ปัญหาการรบกวนของคลอไรด์สามารถกระทำได้โดยเติมปรอทซัลเฟต ($HgSO_4$) คลอไรด์จะจับกับปรอทอยู่ในรูปปรอทคลอไรด์ ($HgCl_2$) ซึ่งแตกตัวเป็นอิออนน้อยมาก ถ้ามีคลอไรด์ 0.1 กรัมในปริมาตรตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร กำจัดได้โดยเติมปรอทซัลเฟต 1 กรัม แต่ถ้าในตัวอย่างน้ำมีคลอไรด์ปริมาณน้อย ปรอทซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำยาพิเศษก็เพียงพอที่จะกำจัดการรบกวนได้แล้ว ถ้าน้ำตัวอย่างมีคลอไรด์สูงๆ ต้องกำจัดคลอไรด์โดยการต้มตัวอย่างน้ำกับกรดไนตริก สำหรับวิธีป้องกันการรบกวนของสารอินทรีย์ที่มีปริมาณต่ำ เช่น ในน้ำธรรมชาติกระทำโดยเ พิ่มปริมาณ เปอร์ซัลเฟต และเพิ่มระยะเวลาต้มตัวอย่างน้ำ ถ้ามีปริมาณสูง เช่น ในน้ำเสียต้องใช้วิธีย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟุริค

ตัวอย่างน้ำที่สัมผัสอากาศอาจจะเกิดการตกตะกอนของแมงกานีสในรูป MnO_2 ซึ่งอาจจะให้ผลวิเคราะห์ต่ำกว่าจริงได้ การแก้ไขโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30 % 1 หยด ลงในตัวอย่างหลังจากเติมน้ำยาพิเศษ เพื่อจะละลายตะกอนแมงกานีส

การเก็บและรักษาตัวอย่าง

หลังจากเก็บตัวอย่างควรจะวิเคระห์ทันที เพราะแมงกานีสที่อยู่ในรูปละลายน้ำอาจจะถูกออกซิไดส์ทำให้เกิดเป็นตะกอนและอาจถูกดูดซับติดอยู่ที่ข้างภาชนะ แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ ต้องเก็บรักษาตัวอย่างให้เป็นกรด มีพีเอชน้อยกว่า 2 ด้วยกรดไนตริก

สารเคมีและวิธีการเตรียมสารละลายเคมี

(1) น้ำยาพิเศษ

ละลายปรอทซัลเฟต ($HgSO_4$) กรัมในกรดไนตริกเข้มข้น 400 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เติมกรดฟอสฟอริค (Phosphoric Acid) เข้มข้น 85 % จำนวน 200 มิลลิลิตร และซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) 35 มิลลิกรัม ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

(2) ผงแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ($(NH_4)_2S_2O_8$

(3.) สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตประมาณ 0.1 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) 3.2 กรัม ในน้ำกลั่นและทำให้เป็น 1 ลิตร ต้มให้ร้อนจนใกล้จุดเดือดเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงนำมากรองผ่านถ้วยกรองอย่างละเอียด (Fine Fritted-Glass Filter Crucible) เทียบหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยโซเดียมออกซาเลต (Sodium Oxalate, $Na_2C_2O_4$) ดังนี้

ชั่งโซเดียมออกซาเลต 100-200 มิลลิกรัม (ชั่งให้ละเอียดถึง 0.1มิลลิกรัม) หลายๆตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แต่ละบีกเกอร์เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้ละลาย แล้วเติมกรดซัลฟุริค (1+1) 10 มิลลิลิตร ทำให้ร้อนมีอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส อย่างเร็ว ไตเตรตด้วยสารละลายเปอร์แมงกาเนตที่จะเทียบหาความเข้มข้นทันทีจนได้สีชมพูเกิดขึ้นนานไม่น้อยกว่า 1 นาที แสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว ระวังอย่าให้อุณหภูมิต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียสถ้าจำเป็นก็ควรอุ่นบีกเกอร์ในระหว่างการไตเตรตด้วย ถ้าชั่งโซเดียมออกซาเลต 100 มิลลิกรัม จะใช้สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 15 มิลลิลิตร ทำแบลงค์โดยทำเหมือนข้างต้นทุกอย่าง ยกเว้นเติม $Na_2C_2O_4$ ความเข้มข้นของสารละลายเปอร์แมงกาเนตคำนวณได้ดังนี้

$$\text{นอร์มัลลิตี้ของสารละลายเปอร์แมงกาเนต} = \frac{Na_2C_2O_4 \text{ (กรัม)}}{\text{(A-B)}\times 0.06701}$$

โดยที่ A = ปริมาตรเป็น มิลลิลิตร ที่ได้จากการไตเตรตตัวอย่างสารละลายโซเดียมออกซาเลต

B = ปริมาตรเป็น มิลลิลิตร ที่ได้จากการไตเตรตแบลงค์

คำนวณค่าเฉลี่ยนอร์มัลลิตี้ของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต

(4) สารละลายสต๊อกแมงกานีส (Stock Manganese Solution)

คำนวณหาปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ต้องใช้ในการเตรียมสารละลายสต๊อกแมงกานีสที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เท่ากับแมงกานีส 50 ไมโครกรัม โดยใช้สูตรดังนี้

ปริมาตร $KMnO_4$ ที่ต้องใช้ มิลลิลิตร = 4.55/ นอร์มัลลิตี้ของ $KMnO_4$

ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตตามปริมาตรที่คำนวณได้ ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 2-3 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไบซับไฟต์ (NaHSO3)

ทีละหยดในขณะที่คนจนกระทั่งสีชมพูของเปอร์แมงกาเนตหายไป นำไปต้มไล่ SO_2 ที่เกินพอออกไปปล่อยให้เย็นแล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ฉีดล้างข้างๆ บีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นจนหมดเทรวมลงในขวดวัดปริมาตรแล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

(5) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 %

(6) กรดไนตริกเข้มข้น

(7) กรดซัลฟุริกเข้มข้น

(8) สารละลายโซเดียมไนไตรต์ (Sodium Nitrite Solution)

ละลายโซเดียมไนไตรต์ ($NaNO_2$) 5 กรัมในน้ำกลั่น 95 มิลลิลิตร

(9) โซเดียมออกซาเลต ใช้เป็นสารมาตรฐานขั้นแรก

(10) โซเดียมไบซัลไฟต์

ละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

(1) เตรียมสารละลายมาตรฐานแมงกานีสให้มีความเข้มข้น 0 100 200 300 400 500 และ 600 ไมโครกรัม โดยปิเปตสารละลายสต๊อกแมงกานีสมา 0 2 4 6 8 10 และ 12 มิลลิลิตร ใส่หลอดเนสเลอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร

(2) เทสารละลายมาตรฐานแมงกานีสลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยาพิเศษ 5 มิลลิลิตร ไปต้มให้เดือดบนเตาแผ่นจนเหลือปริมาตรประมาณ 90 มิลลิลิตร

(3) เติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ($(NH_4)_2S_2O_8$ 1 กรัม ในขณะที่เดือดต้มต่ออีก 1 นาที

(4) ยกลงตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาทีแล้วทำให้เย็นโดยใช้น้ำก๊อก

(5) ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นนำไปวัด Absorbance ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ พล็อตกราฟมาตรฐานแมงกานีสระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมและ Absorbance

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

(1) ตวงตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร หรือใช้น้อยกว่าแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยาพิเศษ 5 มิลลิลิตร แล้วทำเหมือนสารละลายมาตรฐาน นำไปวัด Absorbance อ่านค่าไมโครกรัมจากกราฟมาตรฐาน

(2) ถ้าตัวอย่างน้ำขุ่นหรือมีสี ให้ใช้น้ำตัวอย่างที่ไม่ได้เติม $(NH_4)_2S_2O_8$ เป็นแบลงค์

(3) ถ้าเป็นน้ำเสียหรือน้ำที่มีสารอินทรีย์สูงต้องย่อยด้วยกรดไนตริกและซัลฟุริคก่อน

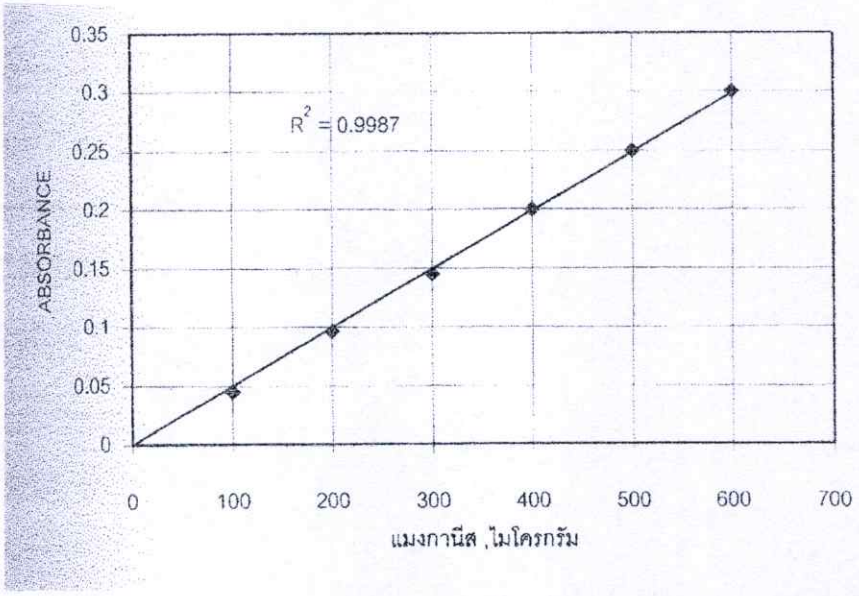
การคำนวณ

$$\text{แมงกานีส (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{ไมโครกรัม Mn ที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

(1) หลังเติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต อย่าต้มนานเกิน 1 นาที และควรทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเพราะไม่อย่างนั้นจะทำให้สีของเปอร์แมงกาเนตหายไป

(2) แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเสื่อมง่าย ควรเก็บในตู้เย็น เมื่อเก็บไว้นานๆ ควรตรวจสอบกับตัวอย่างมาตรฐานเป็นครั้งคราวถ้าไม่ได้วิเคราะห์เป็นประจำ(มั่นสิน, 2543 และ Eaton, A.D. et.al. 1995)



ภาคผนวค ค.2.1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานแมงกานีส

ภาคผนวก ค.3 วิธีวิเคราะห์คลอรีน (Chlorine)โดยไตเตรทแบบดีพีดี

ก. หลักการ

ใช้หลักการให้คลอรีนออกซิไดส์เหล็ก (II) แอมโมเนียซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate,FAS) โดยมีดีพีดี (N,N-diethyl-p-phenylenediamine, DPD) เป็นอินดิเคเตอร์ในกรณีที่ไม่มีไอโอไดด์ คลอรีนจะทำปฏิกริยาทันทีกับดีพีดีได้เป็นสารสีแดง ถ้าเติมไอโอไดด์ลงไปเล็กน้อยจะกระตุ้นให้โมโนคลอรามีนผลิตสีขึ้นมา แต่ถ้าเติมไอโอไดด์ลงไปมากเกินพอ จะทำให้ไดคลอรามีนมีปฏิกริยาตอบสนองออกมาอย่างรวดเร็ว

ข. สิ่งแทรกสอดหรือรบกวนปฏิกริยา

ที่พบมากคือแมงกานีสในรูปออกซิไดส์ มีวิธีแก้คือ

1. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์ 0.5 มิลลิลิตร ลงในขวดสำหรับไตเตรต
2. เติมน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายดีพีดี 5 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน
4. ไตเตรตด้วยสารละลาย FAS จนสีแดงหายไปบันทึกค่าที่อ่านได้
5. ลบค่าที่อ่านได้จากข้อ 4 จากคลอรีนอิสระหรือคลอรีนทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์

การรบกวนจากทองแดง ถ้าไม่เกิน 10 มิลลิลิตร สามารถแก้ไขได้โดยใช้ EDTA มราผสมอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์อยู่แล้ว

การรบกวนจากโครเมต ถ้ามีเกิน 2 มิลลิกรัม/ลิตร แก้โดยเติมแบเรียมคลอไรด์ 0.2 กรัม ต่อตัวอย่าง 100 มล. ผสมให้เข้ากันก่อนเติมสารเคมีตัวอื่นๆ ที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป

ค. สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์

ละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส (Na_2HPO_4) 24 กรัม และโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส (KH_2PO_4) 46 กรัม ในน้ำกลั่น ละลาย EDTA 800 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งสองมารวมกันแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เติม $HgCl_2$ 20 มิลลิกรัม เพื่อกันราและการรบกวนจากไอโอไดด์ ระวัง $HgCl_2$ เป็นพิษอย่าให้เข้าปาก

2. สารละลายดีพีดี

ละลาย N,N-diethyl-p-phenylenediamine, (DPD) Oxalate 1 กรัม หรือ DPD Sulfate pentahydrate 1.5 กรัม หรือ anhydrous DPD Sulfate 1.1 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดกำมะถัน (1+3) จำนวน 8 มิลลิลิตร และ EDTA จำนวน 200 มิลลิกรัม ผสมกันเจือจางให้เป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดโดยใช้ขวดสีชาและจุกแก้ว

3. สารละลายมาตรฐานเอฟเอเอส

ละลาย $Fe(NH_4)_2SO_4.6H_2O$ จำนวน 1.106 กรัม ลงในน้ำกลั่นที่มีกรดกำมะถันเข้มข้น (1+3) จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมอยู่ เติมน้ำกลั่นที่เพิ่งต้มเดือดและปล่อยให้เย็นมาใหม่ๆ จนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ใช้ได้ไม่เกิน 1 เดือน

สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร = คลอรีน 100 ไมโครกรัมในรูป Cl_2

4. ผลึกโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)

5. สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์

ละลาย KI 500 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร น้ำกลั่นที่ใช้ต้องเป็นน้ำที่เพิ่งต้มให้เดือดและปล่อยให้เย็นลงใหม่ๆ เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชาในตู้เย็น ถ้าสีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองให้เททิ้ง

6. สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์

ละลาย $NaAsO_2$ 5.0 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

7. น้ำปราศจากความต้องการคลอรีน (Chlorine –demand-Free Water)

เติมคลอรีนลงในน้ำกลั่นจนได้คลอรีนอิสระ 5 มิลลิกรัม/ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน น้ำนี้ควรมีคลอรีนอิสระเหลืออยู่ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร กำจัดคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ด้วยการตั้งตากแดดหรือผ่านแสงยูวีเป็นเวลาหลายชั่วโมง อย่าใช้น้ำนี้จนกว่าจะกำจัดคลอรีนออกไปจนหมดแล้ว

8. ผลึกแบเรียมคลอไรด์ $BaC_2.2H_2O$

ง. วิธีวิเคราะห์

วิธีไตเตรทแบบดีพีดีนี้เหมาะสำหรับความเข้มข้นของคลอรีนรวมทั้งหมดไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าเกินกว่านี้ ให้ใช้ตัวอย่างน้อยลงและเจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร

สำหรับสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลาย DPD ต้องเติมลงในขวดไตเตรตก่อนเติมตัวอย่างน้ำลงไป (ถ้าเติมตัวอย่างก่อนเติมบัฟเฟอร์การทดลองจะล้มเหลว)

ง.1 วิธีวิเคราะห์คลอรีนอิสระ

1 เติมสารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และสารละลาย DPD อินดิเคเตอร์อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดไตเตรต เขย่าให้เข้ากัน

2. เติมน้ำตัวอย่างปริมาณ 100 มิลลิลิตร (อาจผ่านการเจือจางมาแล้วหรือไม่ก็ได้) ผสมให้เข้ากัน

3.ไตเตรตอย่างรวดเร็วกับสารละลายมาตรฐาน FAS จนสีแดงหายไปบันทึกค่าที่อ่านได้ = A เป็นค่าคลอรีนอิสระ

ง.2 วิธีวิเคราะห์คลอรามีน ทำต่อจาก ง.1

4. เติมผลึก KI เกร็ดเล็กๆ (ประมาณ 0.5 มิลลิกรัม) หรือสารละลาย KI 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายสีแดง ไตเตรตต่อด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนสีแดงหายไป ให้อ่านค่าที่ได้ = B (นับรวมค่า A ด้วย) คำนวณค่าโมโนคลอรามีน แต่ถ้าไม่ได้สารละลายสีแดง แสดงว่าไม่มีโมโนคลอรามีน ถ้าต้องการหาไดคลอรามีนให้ทำข้อ 5 ต่อไป

5. เติมผลึก KI ประมาณ 1 กรัม ผสมให้ละลายตั้งทิ้งไว้ 2 นาที จะได้สารละลายสีแดงไตเตรตจนสีแดงหายไป ให้อ่านค่าที่ได้ = C (นับรวมค่า A และ B ด้วย) ค่าไดคลอรามีนคำนวณได้จากตารางที่ค1 แต่ถ้าไม่ได้สารละลายสีแดง แสดงว่าไม่มีไดคลอรามีน ถ้าต้องการได้ค่าคลอรีนทั้งหมดโดยการอ่านค่าครั้งเดียวให้เติม ผลึก KI ประมาณ 1.5 กรัม ตั้งแต่ข้อ 4 จะได้ค่า C ซึ่งเป็นค่าคลอรีนทั้งหมดทั้งนี้ต้องมีบัฟเฟอร์ ดีพีดี และปล่อยตั้งทิ้งไว้ 2 นาทีครบตามกำหนด วิธีนี้เป็นวิธีอย่างง่าย คลอรีนรวมจะเท่ากับ C-A ส่วนคลอรีนอิสระจะเท่ากับ A

ง.3 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนไตรคลอไรด์

1. ใส่ผลึก KI เกร็ดเล็กๆ (0.5 มิลลิกรัม) ในขวดไตเตรต

2. เติมตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3. เติมผลึก DPD 500 มิลลิกรัม ลงในขวดไตเตรต หรือ เติมสารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และสารละลาย DPD อินดิเคเตอร์อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดไตเตรตเขย่าให้เข้ากัน

4. ไตเตรตอย่างเร็วกับ FAS จนสีแดงหายไป บันทึกค่าที่ได้ = N

จ. การคำนวณ

สำหรับตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร

FAS 1 มิลลิลิตร = คลอรีน 1 มิลลิกรัม Cl_2/ลิตร

ตารางที่ ค1 วิธีคำนวณค่าคลอรีนและสารประกอบคลอรีนในรูปแบบต่างๆ

ค่าที่อ่านได้	เมื่อมี NCl_3	เมื่อไม่มี NCl_3
A	Free Cl_2	Free Cl_2
B-A	NH_2Cl	NH_2Cl
C-B	$NHCl_2$	$NHCl_2$+ 0.5 NCl_3
N	-	Free Cl_2 + 0.5 NCl_3
2(N-A)	-	NCl_3
C-N	-	$NHCl_2$

ค่าคลอรีนต่างๆคำนวณได้จากตารางที่ ค.1 อย่างไรก็ตาม อาจประมาณได้อย่างง่ายโดยไม่ต้องคำนึงถึง NCl_3 ดังนี้

คลอรีนทั้งหมด (Total Chlorine) = C มิลลิกรัม Cl_2/ ลิตร

คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) = A มิลลิกรัม Cl_2/ ลิตร

คลอรีนรวม (Combined Chlorine) = C-A มิลลิกรัม Cl_2/ ลิตร

(มั่นสิน, 2543)

ภาคผนวก ค.4 การเตรียมสารละลายคลอรีนเพื่อใช้ในระบบผลิตน้ำประปา

ในการเติมคลอรีนเพื่อให้ทำปฏิกริยาออกซิเดชั่นกับอนุทินต่างๆในน้ำดิบซึ่งหมายรวมถึงธาตุเหล็กและแมงกานีสด้วย ทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการ เติมสารคลอรีน Pre-Chlorination สำหรับการเตรียมสารละลายคลอรีนเพื่อใช้ในระบบการผลิตน้ำประปาของนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ใช้ก๊าซคลอรีน (Cl_2) ซึ่งเตรียมในการใช้งานดังนี้

ก๊าซคลอรีนถังขนาดบรรจุ 1,000 กิโลกรัม การใช้งานจะจ่ายคลอรีนได้ทั้ง ก๊าซ และของเหลวโดยวางภาชนะบรรจุในแนวนอน ให้ตำแหน่งวาล์วทั้ง 2 อยู่ในแนวดิ่งเท่านั้น

-ถ้าต้องการใช้คลอรีนในสถานะที่เป็นก๊าซต้องเปิดวาล์วบน

-ถ้าต้องการคลอรีนในสถานะที่เป็นของเหลวต้องเปิดวาล์วล่าง

-ไม่ควรวางภาชนะที่ตำแหน่งวาล์วทั้ง 2 อยู่ในแนวนอน (บริษัทเคมเม็กอุตสาหกรรม จำกัด , 2549)

ปั๊มสูบน้ำดิบ ความสามารถในการสูบน้ำ 265 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จำนวน 2 เครื่อง แบ่งจ่ายน้ำออกเป็น 3 ส่วนการผลิต

ซึ่งหมายถึง ใน 1 ส่วนการผลิตมีน้ำดิบสูบเข้า 170.66 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง หรือ 170,660 ลิตร/ชั่วโมง

สมมติให้ค่าคำนวนอัตราการใช้คลอรีนสำหรับกำจัดเหล็กและแมงกานีสในการทำ Pre-Chlorination ได้ 7 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบบัญญัติไตรยางค์ ดังนี้

น้ำ 1 ลิตร ใช้คลอรีน 7 มิลลิกรัม

ดังนั้น น้ำ 170,660 ลิตร จะใช้คลอรีน $\frac{170,660 \times 7}{1}$ มิลลิกรัม

$= 1,194,620$ มิลลิกรัม

$= 1194.620$ กรัม

$= 1.19462$ กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นหากต้องการจ่ายคลอรีนก๊าซที่ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อัตราสูบน้ำดิบเข้าระบบ 170.66 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ต้องจ่ายคลอรีนก๊าซ 1.19462 กิโลกรัม/ชั่วโมง

สำหรับชนิดคลอรีนที่มีการนำมาใช้ในระบบผลิตน้ำประปา อาจใช้คลอรีนชนิดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคลอรีน ซึ่งมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของการเตรียมสารละลายคลอรีนจากผลคลอรีน 60 % ของกองประปาชนบท กรมอนามัย แนะนำให้เตรียมสารละลายคลอรีนที่ระดับความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยวิธีการเตรียมดังนี้

1) นำถังที่จะใช้เตรียมสารละลายคลอรีน ใส่น้ำประมาณ 2 ลิตร

2) นำผงปูนชนิดความเข้มข้น 60 % ผสมกับน้ำในถังตามสัดส่วนที่เตรียมไว้แล้วคนให้เข้ากัน
3) ตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งผงปูนตกตะกอน ได้น้ำใสส่วนบน
4) รินเอาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำใส ใส่ในถังจ่ายคลอรีน ส่วนตะกอนของผงปูนทิ้งไว้
5) เติมน้ำให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการเตรียม เช่น ต้องการเตรียมสารละลายคลอรีน 10 ลิตร เมื่อรินส่วนน้ำใส (ข้อ4) ใส่ในถังจ่ายคลอรีนแล้ว ให้เติมน้ำลงไปอีก 8 ลิตร เพื่อให้ได้สารละลายที่ระดับความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

หมายเหตุ ในการรินส่วนที่เป็นน้ำใสใส่ถังจ่ายคลอรีน ระวังอย่าให้ตะกอนผงปูนคลอรีนลงไปในถังจ่ายคลอรีน เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบจ่ายคลอรีนได้

การเตรียมสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากผงปูนคลอรีนความเข้มข้น 60 % สามารถคำนวณได้ดังนี้

ผงปูนคลอรีน ความเข้มข้น 60 % หมายความว่า

ผงปูนคลอรีน 100 ส่วน (กรัม) มีเนื้อคลอรีน = 60 ส่วน (กรัม)

ดังนั้น ผงปูนคลอรีน 1 ส่วน (กรัม) จะมีเนื้อคลอรีน $= \frac{60 \times 1}{1000}$

$= 0.6$ ส่วน (กรัม)

1 กรัม = 1,000 มิลลิกรัม

ดังนั้น เนื้อคลอรีน 0.6 กรัม $= 0.6 \times 1{,}000$

$= 600$ มิลลิกรัม

สารละลายคลอรีน ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร จะต้องใช้ปูนคลอรีนเท่ากับ

เนื้อคลอรีน 600 มิลลิกรัม ต้องใช้ผงปูนคลอรีน = 1,000 มิลลิกรัม

ดังนั้น เนื้อคลอรีน 5,000 มิลลิกรัม จะต้องใช้ผงปูนคลอรีน $= \frac{1{,}000 \times 5{,}000}{600}$

$= 8{,}333.33$ มิลลิกรัม

$= 8.33$ กรัม

นั้นคือ ถ้าต้องการเตรียมสารละลายคลอรีนให้ได้ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร จะต้องใช้ผงปูนคลอรีน ความเข้มข้น 60 % จำนวน 8.33 กรัม (หรือประมาณ 8 กรัม) มาละลายน้ำ 1 ลิตร

หากต้องการ สารละลายคลอรีน ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 10 ลิตร จะต้องใช้ผงปูนคลอรีนเท่ากับ

ต้องการเนื้อคลอรีน 5,000 มิลลิกรัม ในน้ำ 1 ลิตร จะใช้ผงปูนคลอรีน = 8 กรัม

ถ้าต้องการเนื้อคลอรีน 5,000 มิลลิกรัมในน้ำ 10 ลิตร ต้องใช้ผงปูนคลอรีน = 8 × 10

= 80 กรัม

นั่นคือ ถ้าต้องการเตรียมสารละลายคลอรีนให้ได้ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 10 ลิตร จะต้องใช้ผงปูนคลอรีน ความเข้มข้น 60 % จำนวน 80 กรัม

<u>ข้อควรจำ</u> การเตรียมสารละลายคลอรีนแต่ละครั้งควรใช้ให้หมดภายใน 1-2 วัน เพราะถ้าเก็บไว้นาน คลอรีนจะระเหยตัวออก ทำให้ปริมาณคลอรีนที่อยู่ในสารละลายลดลง ส่งผลให้ปริมาณคลอรีนที่ทำปฏิกริยา และเหลือเป็นคลอรีนอิสระตกค้างลดน้อยลง ทำให้ต้องใช้สารละลายคลอรีนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น (ศิริวัฒนาและคณะ , 2544)

สำหรับอัตราส่วนในการเติมสารละลายคลอรีนนั้น ขึ้นกับอัตราการผลิตของระบบผลิตน้ำประปาและคุณภาพน้ำ สมมติให้ค่าคำนวนอัตราการใช้คลอรีนสำหรับกำจัดเหล็กและแมงกานีสในการทำ Pre-Chlorination ได้ 7 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบบัญญัติไตรยางค์ ดังนี้

เนื้อคลอรีน 5,000 มิลลิกรัม อยู่ในสารละลาย = 1 ลิตร

ดังนั้น เนื้อคลอรีน 7 มิลลิกรัม จะอยู่ในสารละลาย = $\frac{7}{5,000}$ ลิตร

กรณีที่เป็นนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ที่มีอัตราการผลิต 170.66 ลูกบาศก์เมตร /ชั่วโมง

น้ำ 1 ลิตร ต้องการคลอรีน 7 มิลลิกรัม ต้องใช้สารละลาย = $\frac{7}{5,000}$ ลิตร

1 ลูกบาศก์เมตร = 1,000 ลิตร
1 ลิตร = 1,000 มิลลิลิตร

น้ำ 170,660 ลิตร ต้องการคลอรีน = 170,660 × $\frac{7}{5,000}$ ลิตร

= 238.9 ลิตร

= 0.2389 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

เพราะฉะนั้นหากต้องการจ่ายผงคลอรีน 60 % ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องจ่ายสารละลายคลอรีนที่มีเตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร นี้ 0.2389 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง.1 วิธีทำ JAR TEST

1) ตารางเปรียบเทียบปริมาณสารละลายสารส้มที่เติมลงไปในการทำ Jar Test ในน้ำ 1000 มิลลิลิตรกับความเข้มข้นของสารส้มมิลลิกรัม/ลิตร (ppm) โดยค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่เตรียม = 5 %

ปริมาณสารละลายที่เติม (ml / น้ำ 1000ml)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม (ppm)
0.2	10
0.4	20
0.6	30
0.8	40
1.0	50
1.2	60
1.4	70
1.6	80
1.8	90
2.0	100

2) ตารางเปรียบเทียบปริมาณสารละลายปูนขาวที่เติมลงไปในการทำ Jar Test ในน้ำ 1000 มิลลิลิตรกับความเข้มข้นของปูนขาว (ppm) โดยค่าความเข้มข้นของสารละลายปูนขาวที่เตรียม = 1 %

ปริมาณสารละลายที่เติม (ml / น้ำ 1000ml)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม (ppm)
0.1	1
0.2	2
0.3	3
0.4	4
0.5	5
0.6	6
0.7	7
0.8	8
0.9	9
1.0	10

ขั้นตอนในการทำ Jar Test

1. นำตัวอย่างน้ำดิบ มาวัดค่าเหล็ก แมงกานีส
2. ตวงตัวอย่างน้ำดิบใส่ Beaker 1000 ml. จำนวน 6 ใบ
3. นำ Beaker วางในเครื่อง Jar Test
4. เปิดใบกวนที่ 180-200 rpm. 1 นาที
5. เติมคลอรีนตามความเข้มข้นที่ได้กำหนดไว้
6. เติมสารละลายสารส้ม 5 % (ค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้มดูได้จากตารางที่ 1) และกวนที่ความเร็ว 180-200 rpm 1 นาที
7. เติมสารละลายปูนขาวความเข้มข้น 1 % (ค่าความเข้มข้นของสารละลาย ปูนขาวดูได้จากตารางที่ 2) และกวนต่อที่ความเร็ว 180-200 rpm 1 นาที
8. เติมสารละลายโพลิเมอร์ความเข้มข้น 0.1 % (ค่าความเข้มข้นของสารละลาย โพลิเมอร์จะเท่ากับ 0.4 ppm) และกวนที่ความเร็ว 180-200 rpm 1 นาที
8. ปรับความเร็วลงเหลือ 60-70 rpm และกวนต่ออีก 4 นาที
9. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 2 และ 3 ชั่วโมง
10. ให้บันทึกลักษณะตะกอน และนำน้ำใส มาวิเคราะห์ ค่าเหล็ก และแมงกานีส

(บริษัทเอ็ม คอนโซลิเดท จำกัด, 2539)

ภาคผนวก ง.2 หาอัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมช่วยในการตกตะกอนน้ำดิบโดยกระบวนการทำจาร์เทสต์

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย สารส้ม ปูนขาว และโพลิเมอร์ เมื่อเติมคลอรีนในตัวอย่างน้ำดิบเพื่อให้คลอรีนทำปฏิกริยาออกซิเดชั่นกับเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) แล้วอยู่ในรูปตะกอน เกิดการรวมตัวกับตะกอนของน้ำดิบ เพื่อให้แยกส่วนจากน้ำใสเมื่อมีการเติมคลอรีนที่ความเข้มข้นต่างระดับกันนั้นมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำดิบเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลต่ออัตราส่วนของสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนไม่เท่ากัน จากการทดลองการใช้คลอรีนที่ระดับความเข้มข้นต่างกันจะต้องการสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนดังความเข้มข้น

1) อัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมช่วยในการตกตะกอนน้ำดิบโดยขั้นตอนการทำจาร์เทสต์

วัน/เดือน/ปี	pH น้ำดิบ	pH น้ำใส	โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) (mg/L)	ปูนขาว 1%(mg/L)	สารส้ม10 % (mg/L)	โพลิเมอร์ 0.1%(mg/L)
20/10/49	8.62	8.50	0	8	40	0.4
	8.62	8.00	8	20	40	0.4
24/10/49	8.86	7.58	12	20	50	0.4
	8.86	8.33	16	22	50	0.4
	8.86	7.66	20	26	50	0.4

จากตาราง ภาคผนวก ง.2 จะได้อัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบที่มีการเติมคลอรีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆดังนี้ 0 8 12 16 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อมีการทดลองการใช้คลอรีนที่ระดับเดียวกัน จะใช้สารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอน คือ ปูนขาว สารส้ม และโพลิเมอร์ ในอัตตราเดียวกัน

ภาคผนวก จ

SPSS for Windows

MODEL 1 (Enter)

Mnr/Mn = 0.484 - 0.028 Cl + 0.177 Mn – 0.039 Fe

Or

Mnr = 0.484 Mn – 0.028 Cl Mn + 0.177 Mn^2 – 0.039 Fe Mn

Rsq = 0.764

Regression

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	chlorine, mn, fe[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: mnr_mn

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.874[a]	.764	.762	.10914

a. Predictors: (Constant), chlorine, mn, fe

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12.172	3	4.057	340.630	.000[a]
	Residual	3.764	316	.012		
	Total	15.936	319			

a. Predictors: (Constant), chlorine, mn, fe

b. Dependent Variable: mnr_mn

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.484	.018		26.823	.000
	fe	-.039	.039	-.047	-.994	.321
	mn	.177	.036	.235	4.970	.000
	chlorine	-.028	.001	-.851	-31.131	.000

a. Dependent Variable: mnr_mn

MODEL 2 (Linear Regression)

Mn residual = 0.166 + 0.435 Mn - 0.075 Fe - 0.020 Cl_2

R^2 = 0.719 n = 320 Method : Linear Regression

Regression

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CHLORIN[a] E, FE, MN	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: MNRESI

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.848[a]	.719	.717	.11115

a. Predictors: (Constant), CHLORINE, FE, MN

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9.999	3	3.333	269.774	.000[a]
	Residual	3.904	316	.012		
	Total	13.903	319			

a. Predictors: (Constant), CHLORINE, FE, MN

b. Dependent Variable: MNRESI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.166	.018		9.050	.000
	MN	.435	.036	.618	11.982	.000
	FE	-.075	.040	-.098	-1.909	.057
	CHLORINE	-.020	.001	-.653	-21.921	.000

a. Dependent Variable: MNRESI

Mn residual = 0.166 + 0.435 Mn - 0.075 Fe - 0.020 Cl_2

R^2 = 0.719 n = 320 Method : Linear Regression

MODEL 3 (Stepwise)

Mnr/Mn = 0.483 - 0.028 Cl + 0.148 Mn

Or

$Mnr = 0.483\ Mn - 0.028\ Cl\ Mn + 0.148\ Mn^2$

Rsq = 0.763

Regression

Variables Entered/Removed[a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	chlorine	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	mn	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: mnr_mn

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.851[a]	.724	.724	.11753
2	.874[b]	.763	.762	.10914

a. Predictors: (Constant), chlorine

b. Predictors: (Constant), chlorine, mn

ANOVA[c]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11.544	1	11.544	835.737	.000[a]
	Residual	4.392	318	.014		
	Total	15.936	319			
2	Regression	12.160	2	6.080	510.471	.000[b]
	Residual	3.776	317	.012		
	Total	15.936	319			

a. Predictors: (Constant), chlorine

b. Predictors: (Constant), chlorine, mn

c. Dependent Variable: mnr_mn

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.581	.013		46.321	.000
	chlorine	-.028	.001	-.851	-28.909	.000
2	(Constant)	.483	.018		26.812	.000
	chlorine	-.028	.001	-.851	-31.132	.000
	mn	.148	.021	.197	7.195	.000

a. Dependent Variable: mnr_mn

Excluded Variables[c]

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	fe	.145[a]	5.109	.000	.276	1.000
	mn	.197[a]	7.195	.000	.375	1.000
2	fe	-.047[b]	-.994	.321	-.056	.334

a. Predictors in the Model: (Constant), chlorine

b. Predictors in the Model: (Constant), chlorine, mn

c. Dependent Variable: mnr_mn

MODEL 4 (Linear Regression)

Mn residual = 0.164 + 0.378 Mn - 0.020 Cl_2

R^2 = 0.716 n = 320 Method : Linear Regression

Regression

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CHLORINE, MN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: MNRESI

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.846[a]	.716	.714	.11161

a. Predictors: (Constant), CHLORINE, MN

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9.954	2	4.977	399.506	.000[a]
	Residual	3.949	317	.012		
	Total	13.903	319			

a. Predictors: (Constant), CHLORINE, MN

b. Dependent Variable: MNRESI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	.164	.018		8.917	.000
	MN	.378	.021	.538	17.957	.000
	CHLORINE	-.020	.001	-.653	-21.830	.000

a. Dependent Variable: MNRESI

Mn residual = 0.164 + 0.378 Mn - 0.020 Cl_2

R^2 = 0.716 n = 320 Method : Linear Regression

Correlations

Correlations

		MN	MNRESI
MN	Pearson Correlation	1	.538**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	320	320
MNRESI	Pearson Correlation	.538**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	320	320

**. Correlation is significant at the 0.01 level

Correlations

Correlations

		CHLORINE	MNRESI
CHLORINE	Pearson Correlation	1	-.653**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	320	320
MNRESI	Pearson Correlation	-.653**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	320	320

**. Correlation is significant at the 0.01 level

Correlations

Correlations

		FE	MNRESI
FE	Pearson Correlation	1	.406**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	320	320
MNRESI	Pearson Correlation	.406**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	320	320

**. Correlation is significant at the 0.01 level

การคำนวณค่า Mean Square Error (MSE) หรือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง

1) เมื่อตัวอย่างน้ำทดสอบเป็นน้ำดิบสังเคราะห์เหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn)

จากสูตร (นฤมล ซิ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จิรัวิภากร, 2545)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n}$$

e = ค่าจริง- ค่าพยากรณ์

n = จำนวนข้อมูล

จำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง (n = 4)

ค่าพยากรณ์คือค่าแมงกานีสที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_r) ทำการทดลองโดยการนำค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ และค่าจริงหรือแมงกานีสเป้าหมายที่กำหนดขึ้น Mn = 0.15 มิลลิกรัม/ลิตรเพื่อต้องการให้น้ำประปามีค่าแมงกานีสหลังผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้น้ำประปามีค่าแมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร

สมการที่ 1

MSE = ((0.15-0.14)*(0.15-0.14)+ (0.15-0.13) *(0.15-0.13) +(0.15- 0.085)*(0.15-0.085)+ (0.15- 0.097) * (0.15- 0.097))/ 4

= 0.00188

สมการที่ 2

MSE = ((0.15-0.102) *(0.15-0.102) + (0.15- 0) * (0.15-0) + (0.15-0.12) * (0.15-0.12)+ (0.15-0.085)*(0.15-0.085))/4

= 0.00748

สมการที่ 3

MSE = ((0.15- 0.136)*(0.15-0.136) + (0.15- 0.014) * (0.15-0.014)+ (0.15- 0.152) * (0.15- 0.152) + (0.15- 0.082) * (0.15-0.082))/4

= 0.00583

สมการที่ 4

MSE = ((0.15- 0.1)*(0.15- 0.1)+(0.15- 0) * (0.15-0)+ (0.15-0.099)*(0.15-0.099)+ (0.15- 0.041) * (0.15- 0.041))/4

= 0.00987

2) เมื่อตัวอย่างน้ำทดสอบเป็นน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

จากสูตร (นฤมล ซึ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จิริวิภากร, 2545)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n}$$

e = ค่าจริง- ค่าพยากรณ์

n = จำนวนข้อมูล

จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง (n = 15)

ค่าพยากรณ์คือค่าแมงกานีสที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนน้ำใสหลังการตกตะกอน (Mn_t) ทำการทดลองโดยการนำค่าเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในน้ำดิบ และค่าจริงหรือแมงกานีสเป้าหมายที่กำหนดขึ้น Mn = 0.05 มิลลิกรัม/ลิตรเพื่อต้องการให้น้ำประปามีค่าแมงกานีสหลังผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้น้ำประปามีค่าแมงกานีส (Mn) ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร

สมการที่ 1

MSE = ((0.05-0.037)*(0.05-0.037)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.02)*(0.05-0.02)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0.02)*(0.05-0.02)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)*(0.05-0.05)*(0.05-0.05))/15

= 0.000191

สมการที่ 2

MSE = ((0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.01)*(0.05-0.01)+(0.05-0)*(0.05-0)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0)*(0.05-0)+(0.05-0.02)*(0.05-0.02)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05))/15

= 0.000580

สมการที่ 3

MSE = ((0.05-0.03-)*(0.05-0.03)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0)*(0.05-0)+(0.05-0.05)+(0.05-0.05)+(0.05-0.05)+(0.05-0.05)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0.01)*(0.05-0.01)+(0.05-

0.02)*(0.05-0.02)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.05)+(0.05-0.05))/15

= 0.000440

สมการที่ 4

MSE = ((0.05-0.048)*(0.05-0.048)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.02)*(0.05-0.02)+(0.05-0)*(0.05-0)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.03)*(0.05-0.03)+(0.05-0.01)*(0.05-0.01)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.04)*(0.05-0.04)+(0.05-0.05)*(0.05-0.05))/15

= 0.000394

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) (กัลยา วาณิชย์บัญชา, 2545)

$$S = \sqrt{\frac{n\sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}}$$

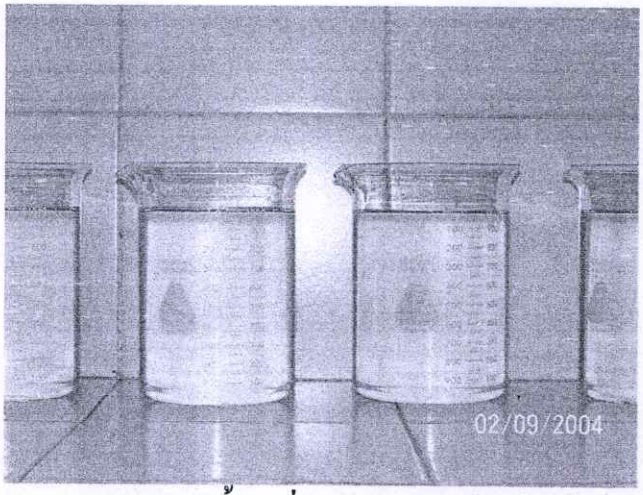
เมื่อ S แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนกลุ่มตัวอย่าง

$(\sum X)^2$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

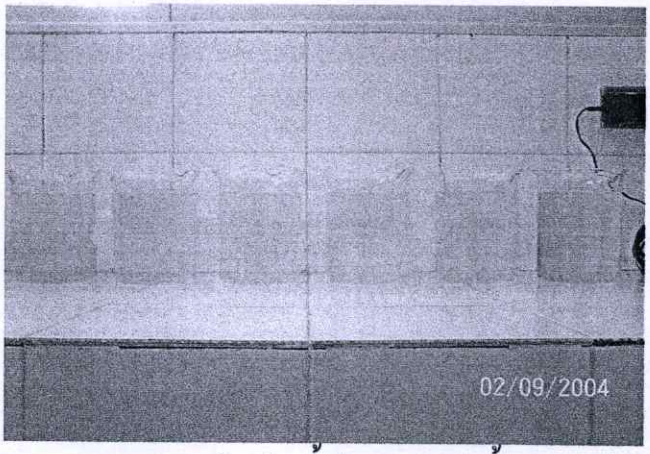
$\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวอย่างยกกำลังสอง

n แทน จำนวนสมาชิกในกลุ่มตัวอย่าง

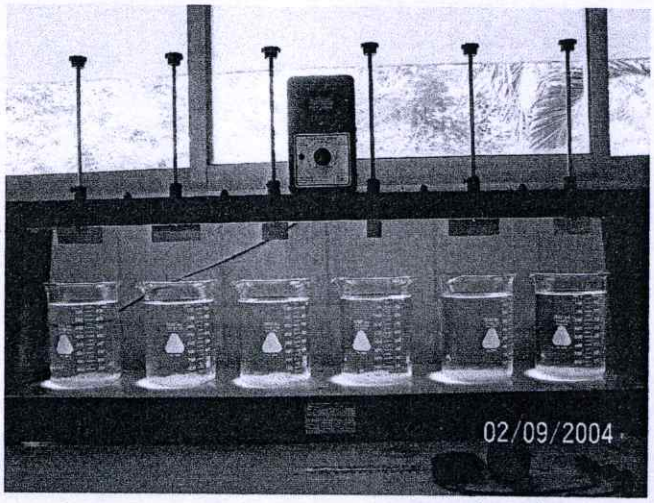
ภาคผนวก ฉ



ภาคผนวก ฉ.1 : ตัวอย่างน้ำดิบที่มีการสังเคราะห์เหล็กและแมงกานีส



ภาคผนวก ฉ.2 : ตัวอย่างน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

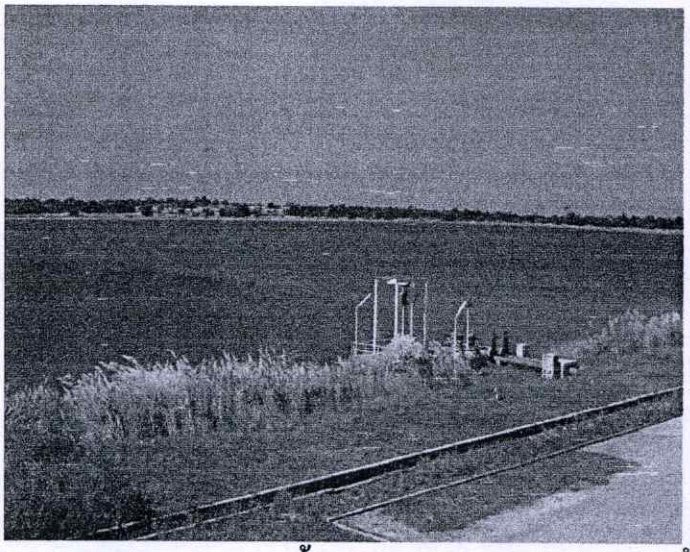


ภาคผนวก ฉ.3 : แสดงการทำจาร์เทสต์

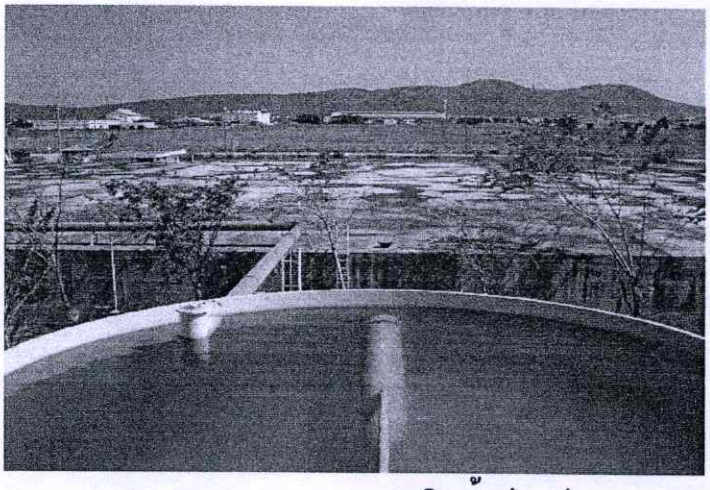
ภาคผนวก ฉ.4 : แสดง เครื่องวัด pH และเครื่องวัดความนำไฟฟ้า

ภาคผนวก ฉ.5 : แสดงเครื่องวัดความขุ่น

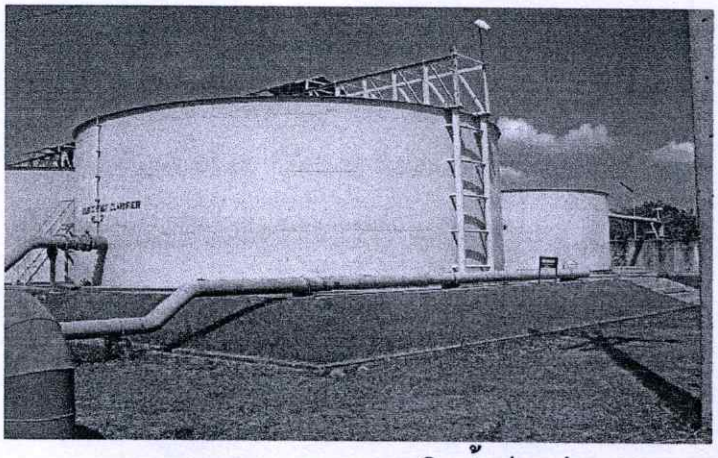
ภาคผนวก ฉ.6 : แสดงเครื่องSpectrophotometer



ภาคผนวก ฉ.7 อ่างเก็บน้ำนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้



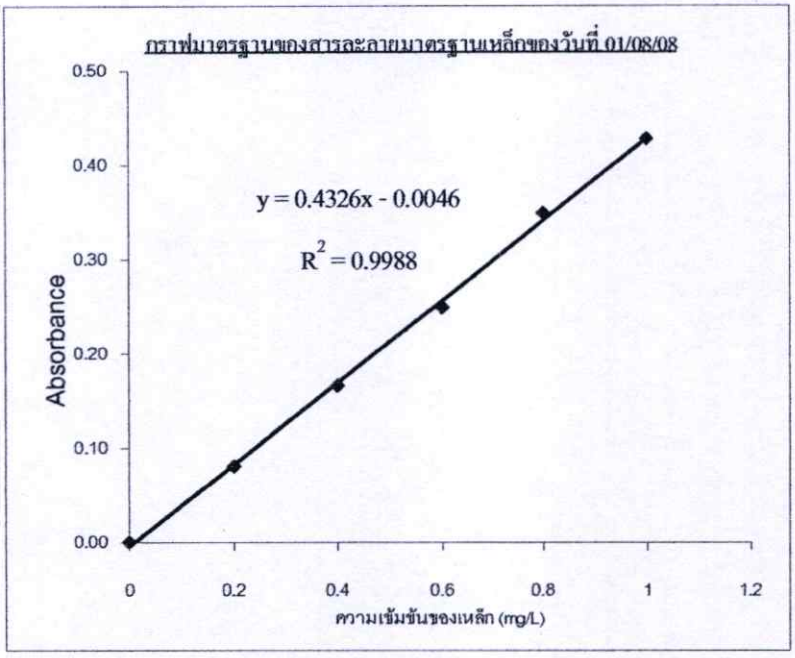
ภาคผนวก ฉ. 8 ระบบผลิตน้ำประปา



ภาคผนวก ฉ.9 ระบบผลิตน้ำประปา

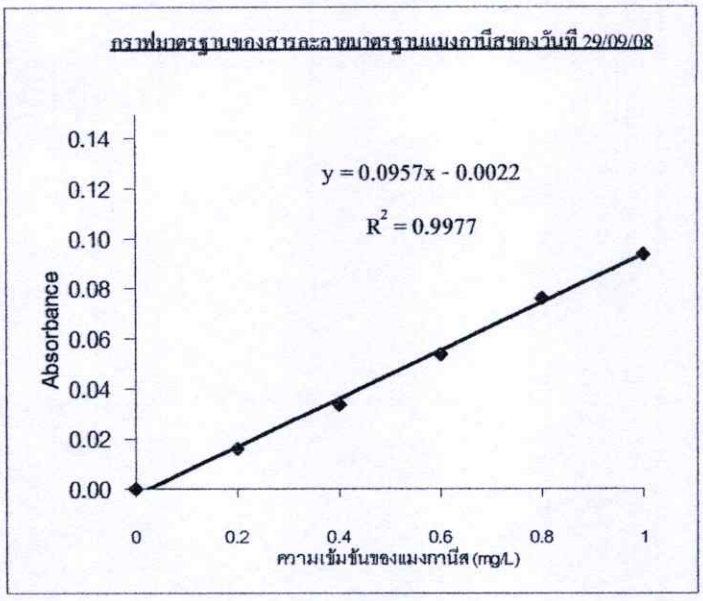
กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเหล็ก

ความเข้มข้น (mg/L)	Absorbance ที่ 510 nm.
0	0.000
0.2	0.080
0.4	0.165
0.6	0.248
0.8	0.350
1	0.427



กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส

ความเข้มข้น (mg/L)	Absorbance ที่ 525 nm.
0	0.000
0.2	0.016
0.4	0.034
0.6	0.054
0.8	0.076
1	0.094



ประวัติผู้เขียน

นางสาวนฤมล ยืนยาว เกิดเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดสระแก้ว สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา จากมหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2542

ปี พ.ศ. 2543-ปัจจุบัน ทำงานที่แผนกปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม นิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้ ตำบลหัวสำโรง อำเภอแปลงยาว จังหวัดฉะเชิงเทรา