



## รายงานการวิจัย

การปรับปรุงระบบการผลิตและคุณภาพอุตสาหกรรมน้ำดื่มสำหรับชุมชน

Improving Process and Quality of Drinking Water Industry

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ศุภวัฒน์ พงษ์ มัตราช

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ร่วมวิจัย

สุนนา กิริพัฒนานุกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

ISBN 974-609-236-7



## A Research Report

# Improving Process and Quality of Drinking Water Industry

### Researchers

#### Head of Project

Supatpong Mattaraj

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
Ubon Rajathanee University

#### Co-Researchers

Sumana Siripattanakul

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
Ubon Rajathanee University

This research was financially supported from Ubon Rajathanee University

In Finance Year, 2003

ISBN 974-609-236-7

รายงานการวิจัยเรื่อง	การปรับปรุงระบบการผลิตและคุณภาพอุตสาหกรรมน้ำดื่มสำหรับชุมชน
หัวหน้าโครงการ	นายสุพัฒน์พงษ์ มัตราษ
ผู้ร่วมโครงการ	นางสาวสุนนา สิริพัฒนากุล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีงบประมาณ	2546
งบประมาณที่ได้รับ	40,000.- บาท
คำสำคัญ	น้ำดื่ม สารแมงกานีส ด้านกัมมันต์ สารเรซิน

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ออกแบบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มและการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม แหล่งน้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำตัวอย่างจากชุมชนลับแล อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี สารกรองทั้งสี่ชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มประกอบด้วยสารแมงกานีส ด้านกัมมันต์ สารเรซินประจุบวกและสารเรซินประจุลบ การทดลองพบว่าสารแมงกานีสสามารถให้ค่าการกำจัดเหล็กและแมงกานีสต่ำอาจเนื่องมาจากผลของความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสที่มีค่าค่อนข้างต่ำในน้ำตัวอย่าง ด้านกัมมันต์ให้ดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ดีโดยค่าการกำจัดของคาร์บอนละลายประมาณ 74.2% ถึง 88.5% จากการเพิ่มปริมาณของด้านกัมมันต์จาก 0.5 กรัม ถึง 2.0 กรัม การทดสอบของสารเรซินพบว่าปริมาณสารเรซินประจุบวกเพิ่มจาก 3 5 และ 10 กรัมสามารถกำจัดแคลเซียม แมกนีเซียมและความกระด้างของน้ำประมาณ 35.7%-43.2%, 10.5%-13.7%, และ 25.1%-31.2% ตามลำดับ ส่วนสารเรซินประจุลบให้ค่าการกำจัดซัลเฟตและไนเตรดค่อนข้างต่ำ ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของสารนี้มีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม อย่างไรก็ตามสารเรซินประจุลบสามารถกำจัดไนเตรดได้ดีเมื่อทำความสะอาดสารเรซินด้วย 10% ของกรดไฮโดรคลอริกก่อนที่จะถูกใช้งาน ส่วนในกระบวนการผลิตน้ำดื่มสารเรซินประจุลบควรทำความสะอาดและล้างย้อนกลับอย่างระมัดระวังด้วยการใช้กรดไฮโดรคลอริกเพื่อเพิ่มการกำจัดซัลเฟตและไนเตรดให้ดีขึ้น และให้คุณภาพน้ำดื่มที่สูง รวมทั้งให้ระยะเวลาของการดำเนินระบบที่นานขึ้น

Improving Process and Quality of Drinking Water Industry

Head of Project            Mr. Supatpong Mattaraj

Co-researchers            Miss Sumana Siripattanakul

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Rajathanee University

In Finance Year            2003 for 40,000.- Baht

Keyword                    Drinking water, Manganese, Activated carbon, Ion exchange resin

**Abstract**

This research project was designed to investigate the efficiency of drinking water process and improve the quality of drinking water. Source water obtained from Lablae Community, Amphor Warinchumrab, Ubon Rajathanee, was used in this study. Four different materials, used in drinking water process, were manganese, activated carbon, cation exchange resin, and anion exchange resin. It was found that manganese resin provided low iron and manganese removal, possibly due to low concentrations of iron and manganese in source water. Activated carbon could adsorb natural organic matter effectively while the rejections of dissolved organic carbon were approximately 74.2% to 88.5% with increasing weight of carbon from 0.5 g to 2.0 g. It was observed that cation exchange resin ranging from 3 to 10 g could remove calcium, magnesium, and hardness approximately 35.7%-43.2%, 10.5%-13.7%, and 25.1%-31.2%, respectively. Anion exchange resin provided relatively low sulfate and nitrate removal, indicating higher concentrations than those of drinking water standard. However, this resin could remove nitrate effectively when it was cleaned with 10% hydrochloric acid (HCl) before used. In the drinking water process, anion exchange resin should be carefully cleaned and regenerated with hydrochloric acid in order to improve sulfate and nitrate removal and to provide high quality of drinking water and long-term period of operation.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนจากทุนวิจัยจากเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังนั้นผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัย และขอขอบพระคุณชุมชนลับแล อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างในการศึกษา รวมทั้งให้ข้อมูลในการผลิตน้ำดื่มอย่างละเอียด

นอกจากนี้แล้วในการทำงานวิจัยครั้งนี้คงจะไม่สามารถดำเนินการได้ราบรื่น หากขาดความร่วมมือจากครูปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี ซึ่งได้แก่ นางสาวยุภาพร อำนาจ และนายไชยคมน์ ใจเย็นดู นักศึกษาช่วยงานวิจัย ได้แก่ นายเปรมศักดิ์ พวงพลอย นักศึกษาภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ และนายมนตรี สามหมอ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิจัยครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำดื่มและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมน้ำดื่มสำหรับชุมชน

สุพัฒน์พงษ์ มัตราช

สุนนา สิริพัฒนากุล

เมษายน 2547

## สารบัญ

	หน้า
ปกในภาษาไทย	ii
ปกในภาษาอังกฤษ	iii
บทคัดย่อภาษาไทย	iv
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	v
กิตติกรรมประกาศ	vi
สารบัญ	vii
สารบัญตาราง	ix
สารบัญภาพ	x
<b>1. บทนำ</b>	
1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 กระบวนการและทฤษฎีที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่ม	5
2.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่ม	13
2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำดื่ม	14
<b>3. แผนการวิจัย</b>	
3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย	19
3.2 การออกแบบการทดลอง	21
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	25
<b>4. ผลการวิจัย</b>	
4.1 ผลการวิจัยศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มชุมชนตัวอย่าง	32
4.2 ผลและการวิเคราะห์การทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง	36
4.3 ผลและการวิเคราะห์การทดลองแบบต่อเนื่อง	60
4.4 ผลและการวิเคราะห์การทดลองของน้ำดื่มชุมชน	64
4.5 ข้อวิจารณ์การทดลอง	68

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	73
ประวัตินักวิจัย 1	74
ประวัตินักวิจัย 2	80

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	การจับค่อของประจุไอออนที่มีค่อเรซิ่น
ตารางที่ 2.2	ประโยชน์ของสารกรองแต่ละชนิด
ตารางที่ 2.3	ประโยชน์ของอุปกรณ์ในการกรองและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์
ตารางที่ 2.4	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค
ตารางที่ 2.5	มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท
ตารางที่ 3.1	แผนการดำเนินงานทั้งโครงการ
ตารางที่ 3.2	คุณสมบัติทางกายภาพของสารแมงกานีส
ตารางที่ 3.3	คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์
ตารางที่ 3.4	คุณสมบัติทางกายภาพของเรซิ่นประจุบวก
ตารางที่ 3.5	คุณสมบัติทางกายภาพของเรซิ่นประจุลบ
ตารางที่ 4.1	อุปกรณ์ของระบบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแล
ตารางที่ 4.2	คุณภาพของน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำดื่มในชุมชนลับแล
ตารางที่ 4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดโดยสารเรซิ่นประจุบวก
ตารางที่ 4.4	คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตสารแมงกานีส สารคาร์บอน สารเร ซิ่นประจุบวกและลบ



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 กรอบแนวทางการทำงานของโครงการ	19
ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารเหล็ก	26
ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารแมงกานีส	27
ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารไนเตรต	27
ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารซัลเฟต	28
ภาพที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน	29
ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์และค่าการนำไฟฟ้า	30
ภาพที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่วัดได้กับค่าความขุ่นที่เป็นตัวอย่างมาตรฐาน	31
ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแล	32
ภาพที่ 4.2 ความสามารถในการกำจัดเหล็กตามปริมาณของสารแมงกานีส	37
ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของเหล็กตามปริมาณของสารแมงกานีส	38
ภาพที่ 4.4 สัมประสิทธิ์การกระจายของเหล็กโดยสารแมงกานีส	39
ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการกำจัดแมงกานีสตามปริมาณของสารแมงกานีส	40
ภาพที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การกระจายของแมงกานีสโดยใช้สารแมงกานีส	41
ภาพที่ 4.7 ความสามารถในการจับตัวของไอออนโดยใช้สารแมงกานีส	42
ภาพที่ 4.8 ความเข้มข้นคาร์บอนของสารละลายอินทรีย์ตามน้ำหนักของถ่านกัมมันต์	43
ภาพที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับของสารอินทรีย์ตามระยะเวลาการทดสอบ	44
ภาพที่ 4.10 ปริมาณการดูดซับของสารอินทรีย์ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์	45
ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้นของแคลเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก	46
ภาพที่ 4.12 ความสามารถในการกำจัดแคลเซียมตามระยะเวลาการทดสอบ	47
ภาพที่ 4.13 ความสามารถในการกำจัดแคลเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก	48
ภาพที่ 4.14 สัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก	49

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.15 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก	50
ภาพที่ 4.16 ความสามารถในการกำจัดแมกนีเซียมตามระยะเวลาการทดสอบ	51
ภาพที่ 4.17 สัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก	52
ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุบวก	52
ภาพที่ 4.19 อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม	53
ภาพที่ 4.20 ความเข้มข้นของความกระด้างตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก	54
ภาพที่ 4.21 ความสามารถในการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวก	54
ภาพที่ 4.22 ความเข้มข้นของซัลเฟตตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ	56
ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการกำจัดซัลเฟตโดยสารเรซินประจุลบ	57
ภาพที่ 4.24 ความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ	58
ภาพที่ 4.25 ความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ	59
ภาพที่ 4.26 ความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุลบ	60
ภาพที่ 4.27 การปรับอัตราการไหลของปั๊ม	61
ภาพที่ 4.28 อัตราการไหลจริงที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบ	61
ภาพที่ 4.29 ประสิทธิภาพการล้างเรซินก่อนการทดสอบสารเรซินประจุลบ	62
ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบในคอลัมน์	63
ภาพที่ 4.31 อัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ	64
ภาพที่ 4.32 ความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต	67

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการ

ปัจจุบันการผลิตน้ำดื่มได้ขยายตัวมากขึ้นทั้งในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตน้ำดื่มของแต่ละระดับก็มีความแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งน้ำ ความสามารถในการลงทุนของการผลิต โดยมีคุณภาพน้ำดื่มเป็นดัชนีที่สำคัญตามที่กฎหมายได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มเพื่อผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค และมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำดื่มที่เหมาะสมตรงตามมาตรฐานที่กำหนดและลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มของแต่ละขั้นตอนเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพน้ำดื่มหลังผ่านกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำดื่มและคุณภาพน้ำที่ได้เกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด

แหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่มโดยทั่วไปอาจมาจากน้ำประปา น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (น้ำบาดาล) น้ำประปาเป็นน้ำที่มีคุณภาพน้ำค่อนข้างดีแต่ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำดื่มอาจสูงเนื่องจาก การหน่วยการลงทุนในการผลิตน้ำสูง น้ำผิวดินส่วนใหญ่จะมีปัญหาเรื่องของคุณภาพ เช่น สารแขวนลอย และมีสิ่งปนเปื้อนสูงแต่จะมีปริมาณแร่ธาตุต่ำกว่าในน้ำใต้ดิน การบำบัดน้ำจึงต้องใช้กระบวนการกรองเพื่อเพื่อลดปัญหาความขุ่นและสารแขวนลอย อย่างไรก็ตามในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนืออาจมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำใต้ดินมากกว่าน้ำผิวดิน โดยทั่วไปน้ำใต้ดินได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกน้อยเมื่อเทียบกับแหล่งน้ำผิวดิน เนื่องจากน้ำที่ไหลซึมลงใต้ดินถูกกรองด้วยชั้นดินและชั้นหินก่อน แต่ในขณะเดียวกันแหล่งน้ำใต้ดินประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่จำนวนมากหลากหลายชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ในกรดและซัลเฟต ดังนั้นในการผลิตน้ำดื่มบริสุทธิ์จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำดิบและคุณภาพของน้ำที่แตกต่างกันออกไป

กระบวนการผลิตน้ำดื่มบริสุทธิ์สามารถทำได้โดยผ่านหลายขั้นตอนการผลิต เริ่มตั้งแต่การตกตะกอนของสารแขวนลอยในเบื้องต้นก่อนผ่านเข้าสู่ระบบการบำบัดขั้นอื่น ๆ เช่น การผ่านถังกรองทรายเพื่อกำจัดสารแขวนลอย ถังกรองแมงกานีสเพื่อกำจัดเหล็กและแมงกานีส (ไพศาล 2545) ถังกรองคาร์บอนเพื่อกำจัดกลิ่นและสารอินทรีย์ การแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซินประจุบวกและลบ (มันสินและไพพรรณ 2545) โดยสารเรซินประจุบวกสามารถใช้เพื่อกำจัด

ความกระด้างของน้ำที่ประกอบด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียม นอกจากนี้สามารถกำจัดธาตุเหล็กและธาตุแมงกานีสด้วย การแลกเปลี่ยนประจุลบโดยใช้สารเรซินสามารถใช้กำจัดประจุลบเช่นคลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรตที่เจือปนมาในน้ำ การใช้น้ำผ่านการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration) เพื่อกำจัดสารแขวนลอย หรือการกรองที่มีรูกรองมีขนาดเล็กกว่าไมโครฟิลเตรชัน เช่น ระบบกรองแบบนาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration) แม้กระทั่งระบบรีเวิร์สออสโมซิสหรืออาร์โอ (reverse osmosis) เพื่อใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ (Mattaraj and Kilduff, 2003) สุดท้ายการผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยใช้แสงยูวีอัลตราไวโอเลต หรือโอโซน (ozone)

ชุมชนบ้านลับแลเป็นชุมชนขนาดใหญ่ในอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ในชุมชนมีอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่มเพื่อใช้บริโภคภายในท้องถิ่น โดยมีแหล่งน้ำดิบเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน ในกระบวนการผลิตประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ หลายขั้นตอน เช่น การแลกเปลี่ยนประจุลบ การกรอง คลอจนาการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสียูวี ซึ่งระบบดังกล่าวเป็นระบบที่สามารถผลิตน้ำดื่มที่มีคุณภาพดีได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ระบบไปเป็นเวลานานก็จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบ เช่น การเปลี่ยนวัสดุกรอง หรือการทำความสะอาดเรซิน เป็นต้น ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นปัญหาของชุมชนบ้านลับแลและชุมชนส่วนใหญ่ คือ ขาดความรู้ในการดูแลระบบที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำดิบชุมชน ทำให้ระบบมีอายุการใช้งานน้อย ไม่สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพน้ำได้ตามต้องการ รวมทั้งในการผลิตก็มีต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นในแง่ของการดูแลระบบการผลิตน้ำดื่ม การตรวจสอบคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพของระบบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้สามารถผลิตน้ำดื่มที่ได้มาตรฐาน และมีค่าใช้จ่ายในการขบวนการผลิตไม่สูงนัก

จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเป็นการวิจัยศึกษาหาประสิทธิภาพ และควบคุมคุณภาพจากขบวนการผลิต การออกแบบสำหรับขบวนการผลิตน้ำดื่ม ความคุ้มค่าในการผลิตเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการดูแลหรือเปลี่ยนวัสดุในขบวนการผลิต นอกจากนี้ขบวนการผลิตน้ำดื่มยังสามารถถ่ายทอดให้กับชุมชนท้องถิ่นอื่นที่สนใจจะทำการผลิตน้ำบริสุทธิ์ หรือถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มเพื่อให้เหมาะสมสำหรับชุมชนและอุตสาหกรรม
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพของสารทดสอบในกระบวนการผลิตน้ำดื่มและประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการดำเนินการผลิตน้ำดื่ม
- 3) ศึกษาคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการวิเคราะห์และการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่มให้เหมาะสมกับการผลิตน้ำดื่มให้ได้มาตรฐานยิ่งขึ้น

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เลือกสถานที่ที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำดื่มของชุมชน วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตัวอย่างและเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม พร้อมทั้งศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มของ โรงงานต้นแบบสำหรับชุมชน

2. ทดสอบสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มเช่น สารเมกานีส สารคาร์บอนหรือแอคติเวทเต็ดคาร์บอน สารเรซินประจุบวกและสารเรซินประจุลบ โดยการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง (batch test) ตามปริมาณสาร เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำตัวอย่าง โดยสารกรองแต่ละชนิดสามารถกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำที่แตกต่างกันไป ตามรายละเอียดของข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3. ออกแบบการทดสอบแบบต่อเนื่อง (continuous test) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่ยังมีค่าเกินมาตรฐานของคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยเน้นการทดสอบสารเรซินประจุลบเพื่อ กำจัดในเตรตที่ยังมีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม การตรวจสอบประสิทธิภาพของสารเรซินโดยไม่ได้ล้าง สารเรซินและทดสอบสารแบบล้างสารเรซิน การใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในกระบวนการผลิต น้ำดื่มของชุมชน

4. วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านสารกรองจากกระบวนการผลิตน้ำดื่ม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการ วิเคราะห์และหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่มให้เหมาะสมกับการผลิตน้ำดื่มที่ได้ มาตรฐาน

5. สรุปผลการวิจัย รวมทั้งชี้แจงปัญหาและอุปสรรคในการวิจัยและเสนอแนะแนวทางการ แก้ไขปัญหา พร้อมทั้งใช้เป็นข้อมูลเผยแพร่ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนท้องถิ่นถึง อุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตน้ำดื่ม

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจกลไกการกำจัดของสิ่งเจือปนในน้ำตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม

2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มให้เป็นมาตรฐาน สามารถผลิตน้ำ ที่สะอาด บริสุทธิ์ เหมาะสำหรับการบริโภค และเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพชีวิตของ ผู้บริโภค

2. ได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการพัฒนาและปรับปรุงระบบ รวมทั้งการดูแลรักษาระบบที่ง่าย ขึ้น และการลดค่าใช้จ่ายระหว่างดำเนินการผลิต เหมาะสำหรับการผลิตน้ำสำหรับชุมชน

3. การออกแบบระบบการผลิตน้ำดื่ม สามารถใช้เป็นการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชน เพื่อการพัฒนาชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของชุมชน

4. สามารถเสนอผลงานลงตีพิมพ์ในวารสารหรืองานประชุมวิชาการได้ ดังนั้นจึงเป็นการ  
เพิ่มงานวิจัยของประเทศ รวมทั้งเป็นการพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์ใน  
มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการและทฤษฎีที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่ม

กระบวนการในการผลิตน้ำดื่มมีหลายวิธีและในแต่ละวิธี มีขั้นตอนรายละเอียดหลายส่วน รวมทั้งในการใช้วิธีการต่าง ๆ ก็มีทฤษฎีที่ใช้ประกอบการศึกษาวิจัยต่าง ๆ กัน ดังนั้นในส่วนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มหรือน้ำสะอาดโดยทั่วไปที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตน้ำดื่ม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำดื่ม

ตัวอย่างกระบวนการผลิตน้ำดื่มที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การใช้กรองด้วยสารเมงกานีสไฮดรอกไซด์ การใช้ถ่านกัมมันต์หรือแอคทิเวตเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) ในกระบวนการดูดซับ (Adsorption) การกำจัดความกระด้างของน้ำโดยใช้การแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Resin) เพื่อกำจัดสารแคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ส่วนการกำจัดสารละลายที่มีองค์ประกอบของน้ำเป็นประจุลบ เช่น ไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) คลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) เป็นต้น สามารถทำได้โดยใช้การแลกเปลี่ยนประจุชนิดลบ (Anion Exchange Resin) การกำจัดตะกอนที่อาจหลงเหลืออยู่และการกำจัดเชื้อแบคทีเรียโดยใช้ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) และการกำจัดเชื้อแบคทีเรียอีกครั้งโดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ก่อที่น้ำที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วจะถูกรวบรวมเพื่อการบริโภคต่อไป

##### 2.2.1 การกำจัดเหล็กและแมงกานีสโดยสารเมงกานีส

การใช้การกรองแบบเมงกานีส (Manganese Greensand) สำหรับกำจัดเหล็กและแมงกานีส โดยสารประกอบด้วยทรายเขียว (Green Sand) ที่เชื่อมด้วยแมงกานีสซัลเฟต (Manganous Sulfate,  $\text{MnSO}_4$ ) และด่างทับทิม ทำให้เกิด Manganic Oxide ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) ที่ผิวขาวของทรายกรอง การผ่านน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณของเหล็กและแมงกานีสทำให้เกิดการกระบวนการออกซิเดชันโดยมีออกซิเจนเป็นตัวประกอบทำให้เกิดการเปลี่ยนสารเหล็กและแมงกานีสในรูปของการตกตะกอนเช่น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  และ  $\text{MnO}_2$  การเปลี่ยนกระบวนการของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) โดยกระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดการเปลี่ยนสารเป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต การทำความสะอาดเพื่อให้กำจัดตะกอนหรือเรียกว่า (Regeneration) สามารถทำได้เพื่อให้ได้ตะกอนของ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  และ  $\text{MnO}_2$  ออกจากระบบ การทำความสะอาดอาจใช้สารด่างทับทิม ( $\text{KMnO}_4$ ) เพื่อให้ปริมาณของ  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  มีสภาพตามเดิมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการกำจัดที่เหมือนเดิม การทำความสะอาดควรให้พอเหมาะไม่ให้



ปริมาณการล้างด้วยด่างทับทิมมีปริมาณที่น้อยไปหรือมากเกินไปเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพที่เปลี่ยนไป สารเมงกานีสสามารถกำจัดเหล็กและเมงกานีสให้พอเหมาะได้ในความเข้มข้นประมาณ 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารเหล็กและเมงกานีสที่มีมากขึ้นส่งผลต่อการอุดตันของระบบและทำให้กระบวนการล้างสารเมงกานีสบ่อยขึ้นเพื่อให้ประสิทธิภาพการกำจัดกลับคืน

### 2.2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่สารละลายน้ำสามารถดูดซับอยู่บนผิวของตัวที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) ตัวผิวสามารถแบ่งเป็นตัวผิวระหว่างเฟสของน้ำ ก๊าซของแข็งหรือเฟสของน้ำด้วยกัน สำหรับในกระบวนการผลิตน้ำดื่มจะเป็นการกำจัดสารที่อยู่ในเฟสที่เป็นของเหลวไปสู่ในเฟสที่เป็นของแข็ง เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์หรือแอคทีเวทเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) ในการกำจัดสารที่อยู่ในสารละลายโดยกระบวนการดูดซับเข้าไปอยู่ในส่วนที่เป็นของแข็ง การเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพของคาร์บอนสามารถทำได้โดยใช้การเผาให้เกิดออกซิไดส์สารอินทรีย์ และสามารถกำจัดออกจากผิวของถ่านคาร์บอน โดยทั่วไปถ่านคาร์บอนประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 จะถูกทำลายในกระบวนการฟื้นฟูประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มปริมาณของถ่านใหม่ทุกครั้ง การฟื้นฟูประสิทธิภาพของถ่านที่ใช้ไปแล้วจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าถ่านที่นำมาใช้ใหม่ นอกจากนี้การฟื้นฟูประสิทธิภาพของถ่านคาร์บอนเองไม่มีวิธีการที่แน่นอน ทำให้เป็นปัญหาสำหรับนำถ่านที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน ขั้นแรกการถ่ายเทของสารอินทรีย์ถึงผิวของของเหลวและของแข็งโดยกระบวนการแพร่กระจาย (Diffusion) และการกระจายโดยมีความเร็วเข้ามาเกี่ยวข้อง (Convection) ขั้นที่สองเกิดขึ้นจากการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ผ่านแหล่งที่เกิดการดูดซับที่รูพรุนที่เกิดของถ่านคาร์บอน ขั้นสุดท้ายเกิดการดูดซึม (Sorption) เกิดขึ้นที่ผิวของถ่านคาร์บอน การดูดซึมที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของสารอินทรีย์เกาะติดผิวของถ่านกัมมันต์ โดยที่การดูดซึมสามารถเกิดขึ้นได้จากกระบวนการดูดซับทางเคมีและกายภาพ ซึ่งจากต่อการสร้างให้เห็นความแตกต่างระหว่างทั้งสองกระบวนการ เมื่ออัตราการดูดซึมมีค่าเท่ากับการอัตราการคายตัว (Desorption) ทำให้เกิดภาวะสมดุลเกิดขึ้นและทำให้ทราบความสามารถของการดูดซึมของถ่านกัมมันต์ หรือตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนการวิเคราะห์ถึงค่าการดูดซึมสารอินทรีย์หรือสิ่งเจือปนที่สกปรกทำได้โดยการคำนวณจากค่า Adsorption Isotherm

ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับจากถ่านกัมมันต์ หรือตัวดูดซับ (Adsorbent) เป็นฟังก์ชันกับลักษณะและความเข้มข้นของสารอินทรีย์และอุณหภูมิที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยทั่วไป



ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับหาได้จากค่า Adsorption Isotherm สมการการดูดซับสามารถอธิบายถึงผลการทดสอบได้ เช่น สมการ Freundlich Isotherm และสมการ Langmuir Isotherm เป็นต้น

1) Freundlich Isotherm สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$q = \frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n}$$

โดยที่ค่า  $\frac{x}{m}$  เท่ากับปริมาณของสิ่งเจือปนที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของ  
ถ่านกัมมันต์  
 $C_e$  เท่ากับค่าความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารอินทรีย์หรือ  
สิ่งเจือปนในสารละลายที่ได้ภายหลังจากการดูดซับแล้ว  
 $K_f, n$  เท่ากับค่าคงที่ของ isotherm

ค่าคงที่ของสมการสามารถหาได้โดยการสร้างกราฟระหว่าง  $\frac{x}{m}$  และ  $C_e$  โดยวิธี  
สมการเชิงเส้นตรง สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\log(q) = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

2) Langmuir Isotherm มีสมการดังนี้คือ

$$q = \frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1+bC_e}$$

โดยที่ค่า  $\frac{x}{m}$  เท่ากับ ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของ  
ถ่านกัมมันต์  
 $a, b$  เท่ากับ ค่าคงที่  
 $C_e$  เท่ากับ ค่าความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารอินทรีย์หรือ  
สิ่งเจือปนในสารละลายที่ได้ภายหลังจากการดูดซับแล้ว

การหาค่าการดูดซับของ Langmuir isotherm สามารถทำได้โดย

- 1) ทราบจำนวนที่จำกัดของ absorbent ที่ใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์
- 2) การดูดซับเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับได้ โดยที่ ณ สภาวะสมดุลเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับของโมเลกุลเท่ากับอัตราการคายตัวของโมเลกุลจากผิว

การหาค่าคงที่ของสมการ Langmuir isotherm สามารถทำได้โดยการสร้างและหาค่าส่วนที่เป็นความชันและส่วนตัดแกนของกราฟดังนี้

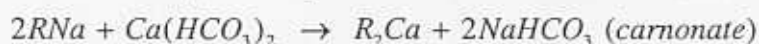
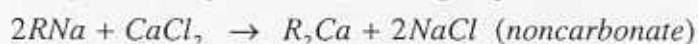
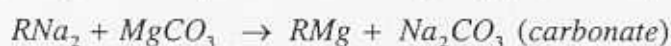
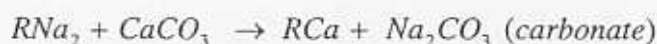
$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a}$$

### 2.2.3 การกำจัดประจุของไอออนในน้ำโดยการแลกเปลี่ยนประจุของเรซิน

รูปแบบของเรซินที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นเม็ด การใช้เรซินนี้เป็นกระบวนการที่ใช้การแลกเปลี่ยนประจุของไอออนจากไอออนที่ไม่ต้องการในน้ำ ไอออนที่เจือปนมากับน้ำจะแลกเปลี่ยนประจุกับเฟสที่เป็นของแข็งหรือเรียกว่า Adsorbent ส่วนลักษณะการใช้งานของเรซินจะอยู่ในระบบ Packed Bed Column โดยที่น้ำดิบถูกผ่านเข้าสู่ Bed Column ในทิศทางจากบนลงล่าง (Downward) หรือจากล่างขึ้นบน (Upward) ส่วนชนิดของเรซิน มีดังนี้

#### 2.1.3.1 เรซินชนิดประจุบวก

1. เรซินชนิดประจุบวกแบบโซเดียม (Sodium Cation Resin) ส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ปกติในเรซินที่มีประจุบวกจะมีกลุ่มสาร Active Group ที่เป็นสารซัลโฟนิค Sulfonic ( $\text{SO}_3^-$ ) รวมตัวกับโซเดียม ในรูปของ  $\text{SO}_3\text{Na}$  เรซินชนิดนี้สามารถใช้ในการกำจัดความกระด้างของน้ำที่อยู่ในรูปของแคลเซียม  $\text{Ca}^{2+}$  และแมกนีเซียม  $\text{Mg}^{2+}$  สามารถกำจัดได้ทั้งความกระด้างแบบคาร์บอเนต (Carbonate Hardness) และความกระด้างที่ไม่ใช่แบบคาร์บอเนต (Noncarbonated Hardness) สมการที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนประจุ เขียนได้ดังนี้

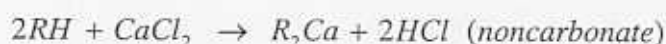


โดยที่ R เท่ากับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนเรซิน

จากสมการข้างต้น การแลกเปลี่ยนประจุระหว่างไอออนของแคลเซียม  $\text{Ca}^{2+}$  และแมกนีเซียม  $\text{Mg}^{2+}$  โดยที่เรซินทำหน้าที่จับ  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$  ไว้กับตัวเรซินในขณะที่ปล่อยตัว

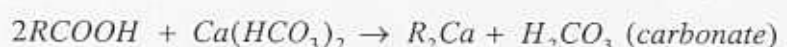
โซเดียมออกมา ( $\text{Na}^+$ ) แทนที่ ทำให้น้ำลดความกระด้างลง ส่วนสารประกอบอื่นเช่น  $\text{Fe}^{2+}$  และ  $\text{Mn}^{2+}$  ก็เกิดการแลกเปลี่ยนได้เช่นกัน

2. เรซินชนิดประจุบวกแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation) สามารถดำเนินการได้ในช่วงค่าพีเอชที่กว้าง เนื่องจากผลของสารซัลโฟนิก Sulfonic ( $\text{SO}_3^-$ ) ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดที่สามารถแตกตัวในช่วงค่าพีเอชที่กว้าง (pH 1 -14) ตัวอย่างประจุที่สามารถแลกเปลี่ยนกับเรซินชนิดนี้ได้แก่ แคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) แมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) เหล็ก ( $\text{Fe}^{2+}$ ) แบเรียม ( $\text{Ba}^{2+}$ ) สตรอนเทียม ( $\text{Sr}^{2+}$ ) หรือแมงกานีส ( $\text{Mn}^{2+}$ ) สมการที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนประจุ เขียนได้ดังนี้



การล้างประจุสามารถทำได้โดยใช้ความเข้มข้นของกรดแก่ไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 1-3 M ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนค่าไฮโดรเจนกลับไปให้เรซิน สามารถนำกลับมาใช้งานได้

3. เรซินชนิดประจุบวกแบบกรดอ่อน (Weak Acid Cation) สามารถแลกเปลี่ยนประจุในช่วงค่าพีเอชที่เป็นกลางถึงค่าพีเอชที่มีความเป็นด่าง เนื่องจากผลของค่าคาร์บอกไซด์ (Carboxylate) ( $\text{pK}_a = 4.8$ ) ไม่สามารถแตกตัวได้ที่ค่าพีเอชต่ำ เรซินชนิดนี้สามารถกำจัดความกระด้างแบบคาร์บอเนต (Carbonate Hardness) แต่ไม่สามารถกำจัดความกระด้างที่ไม่ใช่แบบคาร์บอเนต (Noncarbonated Hardness) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

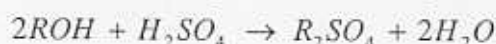


โดยสรุปเรซินชนิดประจุบวกแบบกรดแก่ สามารถกำจัดความกระด้างทั้งสองชนิดคือความกระด้างแบบคาร์บอเนต (carbonate hardness) และความกระด้างที่ไม่ใช่แบบคาร์บอเนต (noncarbonated hardness) ส่วนเรซินชนิดประจุบวกแบบกรดอ่อนกำจัดได้เฉพาะความกระด้างแบบคาร์บอเนต (carbonate hardness) อย่างไรก็ตามข้อดีของเรซินชนิดประจุบวกแบบกรดอ่อน คือ การลดลงของค่าของแข็งละลายทั้งหมด (total dissolved solid) โดยที่ไม่มีการเพิ่มของค่าโซเดียม นอกจากนี้การล้างคืนของประจุทำได้ดีกว่าเรซินชนิดประจุบวกแบบกรดแก่ เนื่องจากผลการรวมตัวของกรดคาร์บอกไซด์ (carboxylate) กับประจุไฮโดรเจนไอออน

### 2.1.3.2 เรซินชนิดประจุลบ

1. เรซินชนิดประจุลบแบบด่างแก่ (Strong Base Anion Resin) มีอยู่ 2 แบบ ดังนี้ แบบ Type I ที่มี Active Group เป็นพวก Quaternary Ammonium และ Methyl Group กำจัดซัลเฟตได้ดี แบบ Type II มี Active Group เป็นพวก Quaternary Ammonium พร้อมด้วย Methyl และ Ethanol Group กำจัดซัลเฟตได้ไม่ดีเท่า Type I ช่วงค่าพีเอชที่ใช้กำจัดอยู่ระหว่างพีเอช (pH) 1-13 เนื่องจากผลของฟังก์ชันกรุปของ Quaternary Ammonium ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสและแตกตัวได้ในช่วงพีเอชดังกล่าว

สมการที่ใช้กำจัดประจุลบทำได้ดังนี้



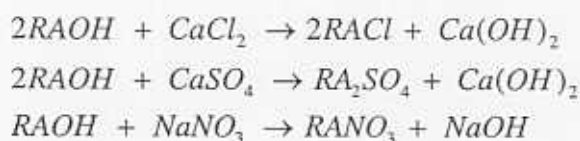
ตัวอย่างเรซินชนิดประจุลบแบบด่างแก่ ที่ใช้กำจัดไนเตรด ( $NO_3^-$ ) ที่ส่วนใหญ่พบมากในน้ำใต้ดินที่มีปริมาณของไนเตรดสูง สามารถเขียนสมการได้ดังนี้



การเกิดการแลกเปลี่ยนประจุของสมการข้างต้น เนื่องจากผลของฟังก์ชันกรุปของ Quaternary Ammonium ที่รวมตัวได้น้อยกับไฮดรอกไซด์ ( $OH^-$ ) ไอออน ทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างโซเดียมกับไฮดรอกไซด์ ( $OH^-$ ) ทำให้เกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) ส่วนสมการหลังเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุ ระหว่างไนเตรดกับเรซินที่มีฟังก์ชันกรุปของ Quaternary Ammonium เนื่องจากไนเตรดมีการรวมตัวที่สูงกว่าคลอไรด์ทำให้เกิดการรวมตัวของโซเดียมกับคลอไรด์แทน โดยที่ไม่เปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ส่วนล้างคืนของประจุโดยใช้โซดาไฟ ตัวอย่างของสมการการล้างประจุ มีดังนี้



2. เรซินชนิดประจุลบแบบด่างอ่อน (Weak Base Anion Resin) เรซินเป็นแบบ Active Group เป็นพวก Polyamide จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับประจุลบของกรด เช่น  $\text{Cl}^-$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{NO}_3^-$  แต่จะไม่แลกเปลี่ยนกับประจุกรดอ่อนเช่น  $\text{CO}_3^{2-}$   $\text{HCO}_3^-$  หรือ  $\text{SiO}_3$  การเกิดปฏิกิริยามีดังนี้



การล้างคืนด้วยโซดาไฟ ได้สมการดังนี้



### 2.1.3 ค่าแฟกเตอร์การแยก (Separation factor)

โดยทั่วไปสารเรซินไม่สามารถกำจัดไอออนทุกตัวเท่าๆ กัน สำหรับการแยกระหว่างประจุสองชนิดในตัวเรซิน ค่าที่ใช้แสดงแฟกเตอร์การแยก (Separation factor,  $\alpha$ ) เขียนสมการได้ดังนี้

$$\alpha_{i,j} = \frac{\text{distribution of ion } i \text{ between phase}}{\text{distribution of ion } j \text{ between phase}} = \frac{y_i / x_i}{y_j / x_j}$$

ตัวอย่างประจุไอออนของไนเตรดและคลอไรด์ สามารถเขียนแฟกเตอร์การแยก ได้ดังนี้

$$\alpha_{\text{N/Cl}} = \frac{y_{\text{N}} / x_{\text{N}}}{y_{\text{Cl}} / x_{\text{Cl}}} = \frac{y_{\text{N}} x_{\text{Cl}}}{y_{\text{Cl}} x_{\text{N}}} = \frac{(q_{\text{N}} / q)(C_{\text{Cl}} / C)}{(q_{\text{Cl}} / q)(C_{\text{N}} / C)} = \frac{q_{\text{N}} C_{\text{Cl}}}{q_{\text{Cl}} C_{\text{N}}}$$

โดยที่

$y_{\text{Cl}}$  = equivalent fraction of chloride in resin,  $q_{\text{Cl}} / q$

$x_{\text{Cl}}$  = equivalent fraction of chloride in water,  $C_{\text{Cl}} / C$

$q_{\text{N}}$  = concentration of nitrate on resin, eq/L

$q$  = total exchange capacity of resin, eq/L

$q_{\text{Cl}}$  = concentration of chloride on resin, eq/L

$C_{\text{N}}$  = nitrate concentration of water, eq/L

$C$  = total ionic concentration of water, eq/L

$C_{\text{Cl}}$  = chloride concentration of water, eq/L

เนื่องจากการจับตัวของไอออนต่อเรซินที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประจุของไอออน ชนิดของไอออน และชนิดของเรซิน ตารางที่ 2.1 แสดงผลการการจับตัวของประจุไอออนที่มีต่อเรซิน โดยใช้ค่าแฟกเตอร์การแยกเป็นตัวชี้วัด

ตารางที่ 2.1 การจับตัวของประจุไอออนที่มีต่อเรซิน

เรซินชนิดประจุบวก แบบกรดแก่		เรซินชนิดประจุลบ แบบเบสแก่	
ประจุบวก	$\alpha_{1/Na+}$	ประจุลบ	$\alpha_{1/Cl-}$
Ra <sup>2+</sup>	13.0	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	100.0
Ba <sup>2+</sup>	5.8	SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17.0
Pb <sup>2+</sup>	5.0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9.1
Sr <sup>2+</sup>	4.8	HSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4.1
Cu <sup>2+</sup>	2.6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.2
Ca <sup>2+</sup>	1.9	Br <sup>-</sup>	2.3
Zn <sup>2+</sup>	1.8	HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.5
Fe <sup>2+</sup>	1.7	SeO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1.3
Mg <sup>2+</sup>	1.7	HSO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	1.2
K <sup>+</sup>	1.7	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.1
Mn <sup>2+</sup>	1.6	Cl <sup>-</sup>	1.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.3	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.27
Na <sup>+</sup>	1.0	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	0.14
H <sup>+</sup>	0.7	F <sup>-</sup>	0.07

ที่มา: Clifford, D. A. (1990) "Ion Exchange and Inorganic Adsorption". In Water Quality and Treatment, American Water Works Association, Fourth Edition, McGraw Hill, New York.

หมายเหตุ เรซินชนิดบวกเป็นแบบ polystyrene divinylbenzene เชื่อมกับซัลโฟเนต (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ฟังก์ชันนัลกรุป (Sulfonate functional group)

เรซินชนิดลบเป็นแบบ polystyrene divinylbenzene เชื่อมด้วย quaternary amine ฟังก์ชันนัลกรุป (Sulfonate functional group)

จากตาราง ค่าแฟกเตอร์การแยกที่ได้สำหรับเรซินชนิดบวกเทียบกับค่าไฮเดียม ส่วนค่าแฟกเตอร์การแยกที่ได้สำหรับเรซินชนิดลบ เป็นค่าที่ได้เทียบกับคลอไรด์ ตัวอย่างเช่น ค่าแฟกเตอร์การแยกระหว่างแคลเซียมกับไฮเดียม  $\alpha_{Ca/H}$  เท่ากับ 1.9 ซึ่งมีหมายความว่าแคลเซียมมีความสามารถในการจับตัวกับเรซินมากกว่าไฮเดียมถึง 1.9 เท่า ในกรณีที่มีการใช้เรซินใน Packed Bed Column ที่มีการเคลื่อนตัวจากส่วนบนลงส่วนล่าง ประจุของไอออนที่มีค่าแฟกเตอร์มากจะปรากฏในส่วนบนของคอลัมน์โดยที่ไอออนมีการแลกเปลี่ยนประจุสูงกับเรซิน ส่วนประจุของไอออนที่มีค่าแฟกเตอร์น้อยจะปรากฏในส่วนล่างของคอลัมน์ เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนประจุค่อนข้างต่ำเพราะความสามารถในการจับตัวต่ำ ดังนั้นจึงง่ายต่อการไหลผ่านลงมาที่ส่วนล่างของคอลัมน์

## 2.2 ขั้นตอนในการผลิตน้ำดื่ม

การผลิตน้ำดื่มมีวิธีการผลิตได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้ร่วมกับสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ศึกษาและจำลองกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดในภาชนะปิดสนิทสำหรับสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก มีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การสูบน้ำดิบ โดยปกติน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่มมี 2 ประเภท คือ น้ำประปาและน้ำบาดาลบ่อลึก ในขั้นตอนนี้เป็นการสูบน้ำดิบเก็บพักไว้ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อให้ส่วนที่เป็นตะกอนตกอยู่ในบ่อพัก และยังเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอีกด้วย นอกจากนี้ในกรณีที่น้ำดิบมีปริมาณจุลินทรีย์ค่อนข้างสูง วิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์หรือเชื้อแบคทีเรีย คือการเติมคลอรีนในรูปของสารละลายเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการผลิตในขั้นตอนนี้แม้ในกรณีที่ใช้น้ำประปาก็กวรมีถึงพักน้ำ ไม่ควรปั้มน้ำจากท่อประปาโดยตรง เนื่องจากอาจเกิดปัญหาการดูดสิ่งสกปรกต่าง ๆ เข้าไปภายในท่อบริเวณที่เกิดรอยรั่ว รวมทั้งเมื่อมีถึงพักน้ำก็สามารถตรวจสอบปริมาณคลอรีนที่คงเหลือในน้ำดิบได้

2. การกรองทางกายภาพและทางเคมี ในขั้นตอนนี้เป็นการกรองแยกสิ่งที่ไม่พึงประสงค์หรือสิ่งที่เจือปนที่ต้องกำจัดออกจากน้ำ โดยการกรองทางกายภาพเป็นการแยกสารแขวนลอยและตะกอนต่าง ๆ ส่วนการกรองทางเคมีเป็นความกระด้างเช่นแคลเซียมและแมกนีเซียม ธาตุเหล็ก ธาตุแมงกานีส และธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำด้วย กลไกที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เป็นการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange resin) และการดูดซับ (adsorption) โดยสารกรองที่นิยมใช้ เช่น แอนทราไซด์ คาร์บอน เรซิน เป็นต้น สารกรองชนิดต่าง ๆ มีประโยชน์ต่าง ๆ กันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประโยชน์ของสารกรองแต่ละชนิด

ชนิดสารกรอง	ประโยชน์ของสารกรอง
แอนทราไซด์	กรองธาตุเหล็กที่มีอยู่ในน้ำ ช่วยลดกลิ่นและรสที่ผิดปกติจากการมีธาตุเหล็กปนเปื้อน
คาร์บอน	กำจัดกลิ่น สี และรสที่ไม่พึงประสงค์ และใช้กำจัดคลอรีนตกค้างในน้ำ
เรซิน	ลดความกระด้างของน้ำ

ที่มา กองควบคุมอาหาร. แนวทางการป้องกันปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในการผลิตน้ำบริโภคบรรจุขวด. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543.



สารกรองทุกชนิดเมื่อใช้งานแล้วต้องมีการล้างย้อน (backwash) ทุกครั้งก่อนการผลิต เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและจุลินทรีย์ที่สะสมและเจริญอยู่ในตัวสารกรอง และเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน จนสารกรองเริ่มเสื่อมสภาพ ก็ต้องเปลี่ยนหรือฟื้นฟูฟื้นฟูประสิทธิภาพ (regeneration)

3. การกรองและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ในขั้นตอนนี้เป็นกำจัดสารแขวนลอยและฆ่าเชื้อโรค ขั้นสุดท้ายก่อนบรรจุน้ำลงภาชนะ ซึ่งกลไกที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ คือ การกรอง (Filtration) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) โดยมีอุปกรณ์สำคัญ ได้แก่ ใยสังเคราะห์ เซรามิก และหลอดยูวี ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวประโยชน์ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประโยชน์ของอุปกรณ์ในการกรองและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

ชนิดอุปกรณ์	ประโยชน์ของอุปกรณ์
ใยสังเคราะห์	กรองเศษฝุ่น และสารแขวนลอย
เซรามิก	กรองจุลินทรีย์ขนาดใหญ่และสารแขวนลอยขนาดเล็ก
หลอดยูวี	ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

ที่มา กองควบคุมอาหาร. แนวทางการป้องกันปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในการผลิตน้ำบริโภคบรรจุขวด. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543.

4. การบรรจุขวด ในขั้นตอนนี้เป็นกำบรรจุน้ำลงภาชนะปิดและผนึกฝา โดยภาชนะทุกชิ้นต้องผ่านการทำความสะอาดแล้ว

## 2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำดื่ม

มาตรฐานน้ำดื่มที่มีใช้อยู่ในประเทศไทย ได้แก่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค และมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.4 ถึง 2.5

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ปลาตินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt)	5	15





คุณสมบัติ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโมณสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
	2.รส (Taste)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	3.กลิ่น (Odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	4.ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกา สเกล ยูนิต (Silica scale unit)	5	20
	5.ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	-	6.5-8.5	9.2
ทางเคมี	6.ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	500	1,500
	7.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.5	1.0
	8.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.3	0.5
	9.เหล็กและแมงกานีส (Fe& Mn)	มก./ล.	0.5	1.0
	10.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0	1.5
	11.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0	15.0
	12.แคลเซียม (Ca)	มก./ล.	75 <sup>b</sup>	200
	13.แมกนีเซียม (Mg)	มก./ล.	50	150
	14.ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> )	มก./ล.	200	250 <sup>c</sup>
	15.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	250	600
	16.ฟลูออไรด์ (F)	มก./ล.	0.7	1.0
	17.ไนเตรด (NO <sub>3</sub> )	มก./ล.	45	45
	18.อัลคิลเบนซิลซัลโฟเนต (Alkylbenzyl Sulfonate,ABS)	มก./ล.	0.5	1.0
	19.ฟีนอลิกซับสแตนซ์ (Phenolic substances)	มก./ล. as phenol	0.001	0.002

คุณสมบัติ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
สารเป็นพิษ	20.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.001	-
	21.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05	-
	22.อาร์เซนิก (As)	มก./ล.	0.05	-
	23.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	0.01	-
	24.โครเมียม (Cr hexavalent)	มก./ล.	0.05	-
	25.ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	0.2	-
	26.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.01	-
	27.แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0	-
ทางจุลชีววิทยา	28.แอสตนคาร์ดเพลตเคานต์ (Standard Plate Count)	โคโลนีต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร (Colonies/cm <sup>3</sup> )	500	-
	29.เอ็มพีเอ็น (MPN)	โคลิฟอร์มอร์แกนีสซึม ต่อ 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตร Coliform Organism/100 cm <sup>3</sup>	น้อยกว่า 2.2	-
	30.อีโคไล (E.coli)		ไม่มี	-

หมายเหตุ: \* เกณฑ์ที่อนุโมให้สูงสุดเป็นเกณฑ์ที่อนุญาตให้สำหรับน้ำประปาหรือน้ำบาดาลที่มีความจำเป็นต้องใช้บริโภคเป็นการชั่วคราวและน้ำที่มีคุณลักษณะอยู่ในระหว่างเกณฑ์กำหนดสูงสุด กับเกณฑ์อนุโมสูงสุดนั้นไม่ใช่น้ำที่ให้เครื่องหมายมาตรฐานได้

- ๖ หากค่าซีลีเนียมมีปริมาณสูงกว่าที่กำหนด และมักเนเซียม มีปริมาณต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน ให้พิจารณาค่าซีลีเนียมและมักเนเซียมในเทอมของความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) ถ้ารวมความกระด้างทั้งหมดเมื่อคำนวณเป็นค่าซีลีเนียมคาร์บอเนต มีปริมาณต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ถือว่าน้ำนั้นเป็นไปตามมาตรฐานการแบ่งระดับความกระด้างของน้ำดังต่อไปนี้

0 ถึง 75 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำอ่อน

75 ถึง 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้างปานกลาง

150 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้าง

300 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้างมาก

หากซีลแพ็ค มีปริมาณถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มักเนเซียม ต้องมีปริมาณ ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (มิลลิกรัมต่อลิตร = มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค สืบพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521

### ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุ โสมสูงสุด)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ฮาเซนชูนิต(Hazen)	20
	2.กลิ่น (Odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมกลิ่นคลอรีน)
	3.ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกาสเกลชูนิต (silica scale unit)	5
	4.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
ทางเคมี	5.ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	500
	6.ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) (คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	มก./ล.	100
	7.สารหนู (As)	มก./ล.	0.05
	8.เบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0
	9.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.005
	10.คลอไรด์ (Cl, คำนวณเป็นคลอรีน)	มก./ล.	250
	11.โครเมียม (Cr)	มก./ล.	0.05
	12.ทองแดง (cu)	มก./ล.	1.0
	13.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.3
	14.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05
	15.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.05
	16.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.002
	17.ไนเตรต (NO <sub>3</sub> -N, คำนวณเป็นไนโตรเจน)	มก./ล.	4.0
	18.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	0.001

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
	19.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	0.01
	20.เงิน (Ag)	มก./ล.	0.05
	21.ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> )	มก./ล.	250
	22.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0
	23.ฟลูออไรด์ (F) (คำนวณเป็นฟลูออรีน)	มก./ล.	1.5
	24.อะลูมิเนียม	มก./ล.	0.2
	25.เอบีเอส (Alkylbenzene Sulfonate)	มก./ล.	0.2
	26.ไซยาไนด์	มก./ล.	0.1
ทางแบคทีเรีย	27.โคลิฟอร์ม (Coliform)	เอ็ม.พี.เอ็ม./100 มล.	2.2
	28.อี.โคไล (E.Coli)	เอ็ม.พี.เอ็ม./100 มล.	ตรวจไม่พบ
	29.จุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค(Disease-causing bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็ม./100 มล.	ตรวจไม่พบ

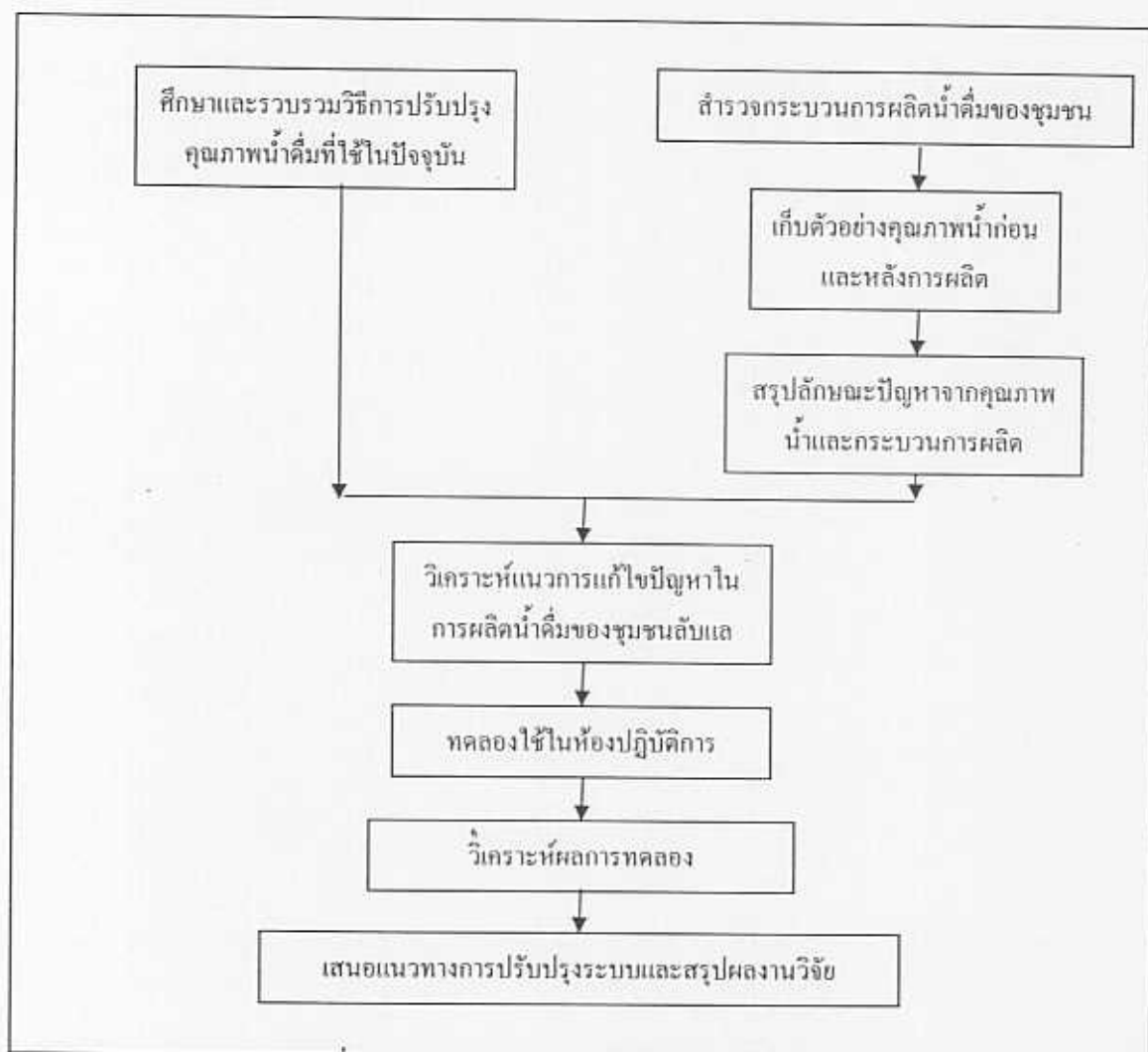
แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 24 กันยายน 2524 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 108 ตอนที่ 61 ลงวันที่ 2 เมษายน 2534

## บทที่ 3

## แผนการวิจัย

## 3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

โครงการนี้มีแนวความคิดในการวิจัย คือ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มและปรับปรุงระบบการผลิตน้ำดื่มของชุมชนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น สามารถผลิตน้ำดื่มได้คุณภาพตามมาตรฐานโดยมีหลักในการปรับปรุงสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบน้อยและเป็นระบบที่ใช้งานได้ง่ายต่อการดูแลและการจัดการกระบวนการผลิต จากการศึกษาวิจัยยังสามารถให้ข้อเสนอแนะสำหรับกระบวนการผลิตเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพน้ำดื่มและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยโครงการนี้มีแนวคิดในการวางกรอบการทำงานดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวทางการทำงานของโครงการ

จากแนวทางการทำงานในเบื้องต้น สามารถสรุปเป็นแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยได้รวบรวมเอกสารสำหรับกระบวนการผลิต น้ำดื่มและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไว้ในรายงานสรุป
- 2) การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำดื่มที่ผลิตในโรงงานตัวอย่าง รวมทั้งได้สรุปลักษณะปัญหาการผลิตเพื่อทดลองปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ถึงกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยเฉพาะดัชนีที่ไม่ได้ตามมาตรฐานน้ำดื่ม
- 3) การทดสอบในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเน้นการทดสอบสารชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม
- 4) การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ โดยเน้นการศึกษาจากโรงงานผลิตน้ำดื่มค้นแบบ
- 5) ข้อเสนอแนะการปรับปรุงกระบวนการผลิต ที่ประมวลได้จากผลการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องและการทดสอบแบบต่อเนื่อง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำดื่มให้ได้มาตรฐาน
- 6) สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและจัดส่งรายงานการวิจัย

จากแผนการดำเนินงานข้างต้นใช้เวลาในการดำเนินงานทั้งสิ้น 12 เดือน สามารถสรุปเป็นปฏิทินการดำเนินงานดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานทั้งโครงการ

แผนงาน/กิจกรรม	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←	→										
2. เก็บรวบรวมและวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง		←	→									
3. การทดลองในห้องปฏิบัติการ				←	→							
4. ประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ										←	→	
5. เสนอแนะการปรับปรุงกระบวนการผลิต											←	→
6. สรุปผลการวิจัย												←

### 3.2 การออกแบบการทดลอง

#### 3.2.1 การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี การศึกษานี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารชนิดต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนการผลิตน้ำดื่ม โดยมีรายละเอียดแสดงได้ดังต่อไปนี้

1) การทดสอบสารแมงกานีส (Manganese Sand) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก และ แมงกานีสในน้ำ โดยที่ทรายแมงกานีสหรือ Manganese Sand ที่ประกอบด้วยสารแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese Dioxide,  $MnO_2$ ) เพื่อให้เกิดสารแมงกานีสไดออกไซด์ที่ผิวของทรายทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) สามารถใช้กับตัวที่ก่อให้เกิดการออกซิเดชัน เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate) โดยทั่วไปการใช้สารแมงกานีสสามารถใช้กำจัดธาตุเหล็กและธาตุแมงกานีส การกำจัดสารแขวนลอยและค่าความขุ่น การกำจัดสารไฮโดรเจนซัลไฟด์ สี กลิ่น และรส คุณสมบัติทางกายภาพของสารแมงกานีสแสดงได้ในตารางที่

3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของสารแมงกานีส

คุณสมบัติ	สารตัวอย่าง
ลักษณะทางกายภาพ (Physical Appearance)	เม็ดสีน้ำตาลดำ
ขนาด (Effective Size)	1.0 – 1.8 มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความราบเรียบ (Uniformity Coefficient)	1.3 - 1.6
ความหนาแน่น (Bulk Density)	1,300 $kg/m^3$
ความสามารถในการออกซิเดชัน (Oxidation Capacity)	1.5 g of Fe/L หรือ 0.7 g of Mn/L

การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องหรือเป็นการทดสอบแบบ Batch Test ที่ได้ทำการทดสอบสารแมงกานีสกับน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารแมงกานีสในการกำจัดธาตุเหล็กและธาตุแมงกานีส โดยการทดลองแบ่งปริมาณสารแมงกานีสเป็น 0.5 กรัม 1.0 กรัม และ 2.0 กรัม ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประมาณ 70 มิลลิลิตร ในภาชนะที่มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้มีการเขย่าโดยเครื่อง shaker ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบกำหนดไว้ที่ 24 ชั่วโมง เนื่องจากสารที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเข้าสู่สภาวะสมดุล ส่วนเวลาที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็นเวลาการทดสอบที่หนึ่งชั่วโมง สองชั่วโมง สามชั่วโมง หกชั่วโมง สิบชั่วโมง สิบสี่ชั่วโมง สิบแปดชั่วโมงและยี่สิบสี่ชั่วโมง ตัวอย่างแต่ละช่วงเวลาถูกนำมาวิเคราะห์หา



ปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่หลงเหลือเพื่อทำการทดสอบถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของสารดังกล่าว

การทดสอบปริมาณเหล็กและแมงกานีสสามารถทำได้ตามวิธีของหนังสือ Standard Method (1995) โดยใช้แสงยูวีในการเทียบกับค่ามาตรฐานของปริมาณเหล็กและแมงกานีส โดยที่ใช้แสงยูวีที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 510 นาโนเมตรและ 525 นาโนเมตร สำหรับค่าการวัดของปริมาณเหล็กและแมงกานีสตามลำดับ การทดสอบการดูดซับแมงกานีสโดยใช้สารแมงกานีสทำได้โดยการล้างสารแมงกานีสด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ก่อน แล้วจึงนำมาอบแห้งก่อนที่จะชั่งน้ำหนักของสารแมงกานีสตามปริมาณของสารแมงกานีส เนื่องจากสารแมงกานีสที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดที่ดีพออาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแมงกานีสที่ปรากฏในปริมาณที่มากกว่าในน้ำตัวอย่าง

2) การทดสอบถ่านกัมมันต์หรือแอคติเวตเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยศึกษาการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) ที่มีค่าถ่านกัมมันต์โดยการเน้นหาความเข้มข้นของสารคาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) และการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสง หรือแสงยูวีที่ความยาวคลื่นที่ 254 นาโนเมตร ( $UV_{254\text{ nm}}$ ) และความเข้มข้นของสารคาร์บอนทั้งหมด ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นถ่านคาร์บอนที่ได้จาก Granular Activated Coconut Shell Based Carbon เกรด DEO 8/30 โดยผ่านการทดสอบจาก ASTM โดยถ่านกัมมันต์สามารถใช้ประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ (Water Purification) การกำจัดกลิ่น (Deodorization) การกำจัดสี (Decolourization) การกำจัดคลอรีน (Dechlorination) และการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ (Removal of Organic Compounds in Water) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์แสดงในตารางที่ 3.3

การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง สำหรับถ่านกัมมันต์จะทดสอบกับน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติต่อถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบ่งตามปริมาณของถ่านกัมมันต์เป็น 0.5 กรัม 1.0 กรัม และ 2.0 กรัม ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประมาณ 70 มิลลิลิตร ในภาชนะที่มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้เกิดการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้เครื่องเขย่า shaker ส่วนเวลาที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็นเวลาการทดสอบที่หนึ่งชั่วโมง สองชั่วโมง สามชั่วโมง หกชั่วโมง สิบชั่วโมง สิบสี่ชั่วโมง สิบแปดชั่วโมงและยี่สิบสี่ชั่วโมง

การทดสอบปริมาณของถ่านกัมมันต์จาก 0.2 กรัม ถึง 3 กรัม เพื่อศึกษาการดูดซับของสารอินทรีย์ที่มีผลต่อปริมาณของถ่านกัมมันต์ โดยปล่อยให้เกิดการดูดซับที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง



ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติ	สารตัวอย่าง
การกระจายของขนาด (Particle Size Distribution)	
+8 (2.36 mm)	Max. 5%
8/30 (2.36-0.60 mm)	Min. 90%
-30 (0.60 mm)	Min. 5%
ความหนาแน่น (Apparent Density)	Min. 0.50 – 0.58 g/cm <sup>3</sup>
ความชื้น (Moisture)	Max. 8 (% w/w)
ค่าพีเอช (pH)	8 - 10
พื้นที่ผิว (Surface Area)	Min. 850 m <sup>2</sup> /g
Carbon Tetrachloride Adsorption	Min. 30 (% w/w)

3) การทดสอบเรซินประจุบวก (cation exchange resin) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนของความเข้มข้นของแคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) แมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) และความกระด้างของน้ำ (hardness) เรซินที่ใช้ทดสอบเป็นเรซินชนิด polystyrene sulphonate cation exchange resin ไอออนอยู่ในรูปของ  $\text{Na}^+$  คุณสมบัติทางกายภาพของเรซินประจุบวกแสดงได้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเรซินประจุบวก

คุณสมบัติ	สารตัวอย่าง
โครงสร้างของโพลิเมอร์ (Polymer Matrix Structure)	Polystyrene Crosslinked with 7% DVB
ชนิด (Type)	Gel Strong Acid Resin
ฟังก์ชันนัลกรุป (Functional Group)	$\text{R}-(\text{SO}_3)^- \text{M}^+$
รูปร่าง (Appearance)	Clear Spherical Beads
ความชื้น (Moisture Content, %)	45 - 50
ค่าพีเอช (pH Range)	1-14
Uniformity Coefficient, UC	$\leq 1.6$
ขนาดตะแกรง (Screen Size Range)	55~16 (U.S. Standard Screen)

การทดสอบสารเรซินชนิดบวกแบบไม่ต่อเนื่องหรือวิธีการทดสอบแบบ Batch Test เพื่อศึกษาการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแคลเซียมกับแมกนีเซียมโดยใช้น้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล

การทดสอบความเข้มข้นของแคลเซียมจะแบ่งตามปริมาณของสารเรซินที่มีน้ำหนักจาก 0.5 กรัม 1.0 กรัม 2.0 กรัม 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของสารแมกนีเซียมจะทดสอบกับปริมาณสารเรซินที่มีน้ำหนักจาก 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประมาณ 70 มิลลิลิตร โดยการชั่งน้ำหนักของสารเรซินและเติมน้ำตัวอย่างลงในภาชนะที่มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร และปล่อยให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารโซเดียมที่มีอยู่ในตัวเรซินและสารที่มีประจุบวกในน้ำตัวอย่างเช่น  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$  เป็นต้น ช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็นการทดสอบที่หนึ่งชั่วโมง สองชั่วโมง สามชั่วโมง หกชั่วโมง สิบชั่วโมง สิบสี่ชั่วโมง สิบแปดชั่วโมงและยี่สิบสี่ชั่วโมง เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในช่วงเวลาดังกล่าว ระหว่างช่วงเวลาการทดสอบจะมีเครื่องเขย่าหรือ shaker คลอระยะเวลาการทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารแคลเซียม แมกนีเซียม และความกระด้างของน้ำสามารถทำได้โดยวิธีการไตเตรตชั่น (Titration) ตามมาตรฐานของวิธีในหนังสือ Standard Method (1995)

4) การทดสอบเรซินประจุลบ (Anion Exchange Resin) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนของความเข้มข้นของสารที่มีประจุลบ เช่น ไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ส่วนคุณสมบัติของสารเรซินมีฟังก์ชันนัลกรุปแบบ  $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$  ชนิด styrene divinylbenzene copolymer ความสามารถในการเก็บน้ำ (Water Retention) ประมาณ 58-64% สารไอออนที่ใช้แลกเปลี่ยนประจุสำหรับสารเรซินประจุลบอยู่ในรูปของคลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเรซินประจุลบ

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติทางกายภาพของเรซินประจุลบ

คุณสมบัติ	สารตัวอย่าง
โครงสร้าง (Polymer Matrix Structure)	Styrene divinylbenzene copolymer
ฟังก์ชันนัลกรุป (Functional Group)	$-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$
ลักษณะทางกายภาพ (Physical form)	Ivory Beads
ความสามารถจับความชื้น (Moisture holding capacity)	58 – 64 %
ไอออน (Ionic form)	Chloride
Uniformity Coefficient, UC	$\leq 1.5$
Maximum reversible swelling	$\text{Cl}^- \rightarrow \text{OH}^- : 25\%$

การทดสอบไม่ต่อเนื่องของเรซินประจุลบใช้ทดสอบที่ปริมาณ 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัม โดยใช้ตัวอย่างจากชุมชนลับแล การทดสอบแบ่งเป็นการทดสอบของสารไนเตรด ( $\text{NO}_3^-$ ) และซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) เพื่อศึกษาการกำจัดสารดังกล่าวเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ทดสอบที่หนึ่งชั่วโมง สองชั่วโมง สามชั่วโมง หกชั่วโมง สิบชั่วโมง สิบสี่ชั่วโมง สิบแปดชั่วโมงและยี่สิบสี่ชั่วโมง การวัดค่าความเข้มข้นของสารไนเตรดและซัลเฟตโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น เท่ากับ 410 นาโนเมตร และ 420 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดต่อค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV Adsorbance)

### 3.2.2 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

การทดสอบแบบต่อเนื่องทำได้ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเน้นการทดสอบของสารเรซินประจุลบที่ใช้ใน การกำจัดสารไนเตรดในน้ำตัวอย่าง เนื่องจากสารไนเตรดพบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงและเกินมาตรฐาน น้ำดื่มที่กำหนดไว้ประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดสอบโดยใช้คอลัมน์ขนาดความยาวเท่ากับ 23.5 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.45 เซนติเมตร น้ำหนักของเรซินประจุลบ ประมาณ 5 กรัม ส่วนน้ำตัวอย่างจากชุมชนลับแลถูกปั๊มเข้าสู่ระบบโดยใช้ปั๊มแบบ peristaltic pump อัตราการไหลถูกควบคุมไว้ที่ 30 มิลลิเมตรต่อนาที ( $\text{mL min}^{-1}$ ) ซึ่งปั๊มชนิดนี้ถูกปรับแก้ อัตราการไหลโดยใช้น้ำ DI ก่อนการทดสอบจริงสำหรับน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล

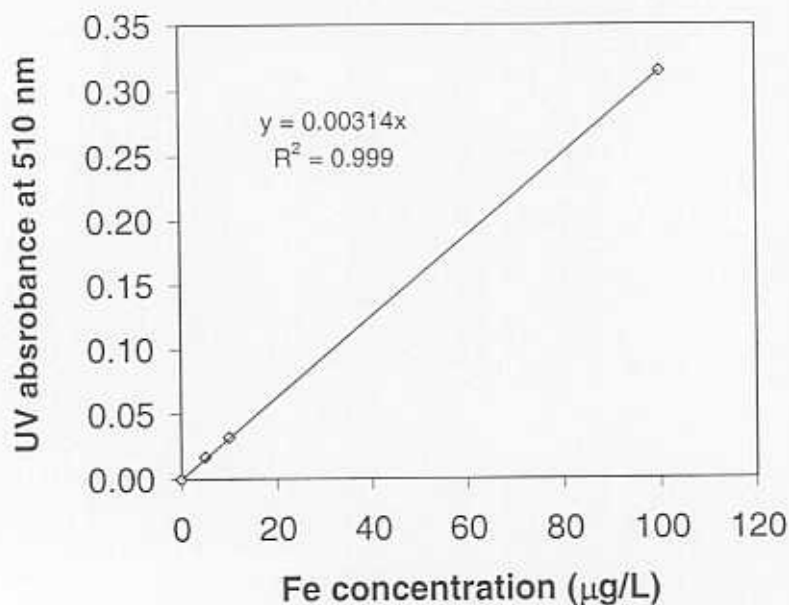
น้ำตัวอย่างถูกปั๊มผ่านสารเรซินประจุลบ เพื่อหาความเข้มข้นของสารไนเตรดที่ผ่านคอลัมน์ โดยเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ตามปริมาณของน้ำตัวอย่าง ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนประจุที่ออกมา จากคอลัมน์

## 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 3.3.1 เครื่องมือวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer)

เครื่องมือวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer) รุ่น UV mini 1240 จาก บริษัท Shimadzu corporation (Japan) เป็นเครื่องมือแบบ single beam 5 nm ที่ใช้วิเคราะห์สารหลัก แมงกานีส ไนเตรด ซัลเฟต และการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือ วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV-VIS spectrophotometer) โดยค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการ ดูดกลืนแสงจะแตกต่างกันตามมาตรฐานของ Standard Method (1995) โดยความยาวคลื่นที่ใช้ใน การวิเคราะห์สำหรับเหล็ก แมงกานีส ไนเตรด และซัลเฟต มีค่าเท่ากับ 510 นาโนเมตร 525 นาโน เมตร 410 นาโนเมตร และ 420 นาโนเมตร ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์วัดที่

ความยาวคลื่นเท่ากับ 254 นาโนเมตร ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารเหล็กแสดงได้ในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารเหล็ก

ความสัมพันธ์ทางสถิติเชิงเส้นตรงระหว่างทั้งสองค่ามีค่าสูงโดยที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.999 สมการ ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารเหล็กเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

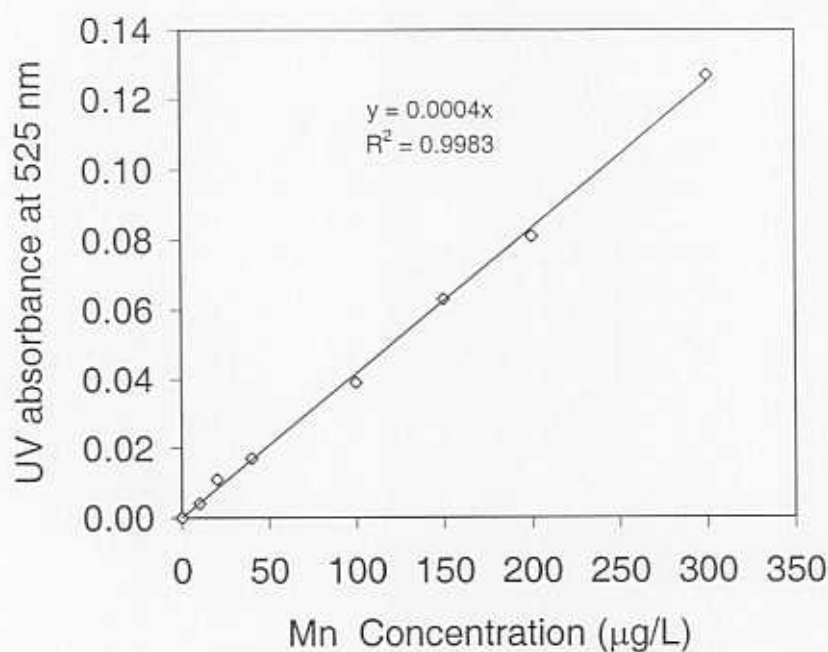
$$UV \text{ absorbance at } 510 \text{ nm} = 0.00314 \times [Fe^{2+}]; \quad r^2 = 0.999$$

โดยที่  $[Fe^{2+}]$  เท่ากับ ความเข้มข้นของสารเหล็กมีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L)

ภาพที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารแมงกานีส ความสัมพันธ์ทางสถิติเชิงเส้นตรงระหว่างทั้งสองค่ามีค่าสูงโดยที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9983 สมการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตรและความเข้มข้นของสารแมงกานีสแสดงได้ดังนี้

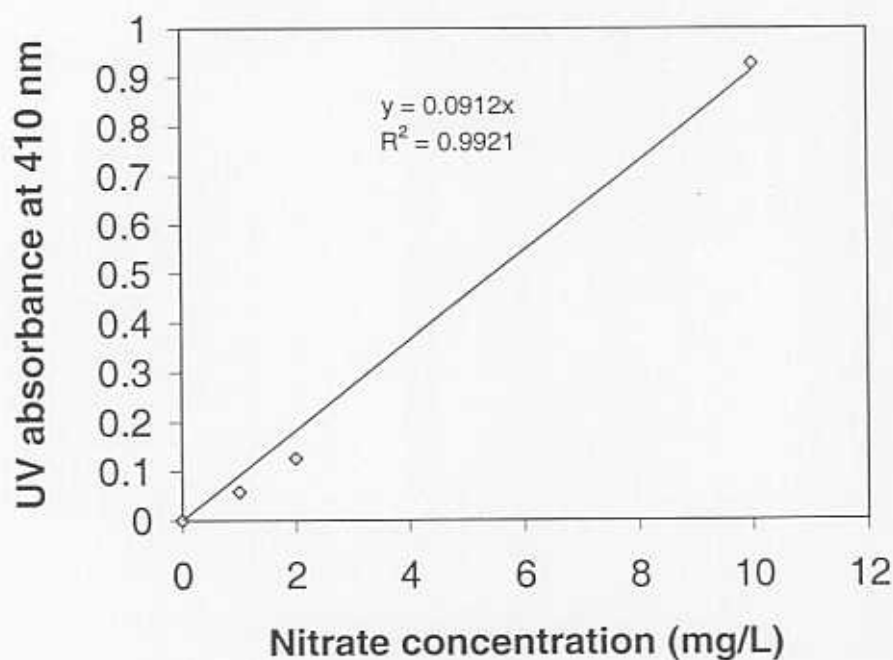
$$UV \text{ absorbance at } 525 \text{ nm} = 0.0004 \times [Mn^{2+}]; \quad r^2 = 0.9983$$

โดยที่  $[Mn^{2+}]$  เท่ากับ ความเข้มข้นของสารแมงกานีส หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L)



ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารแมงกานีส

ภาพที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารไนเตรด ความสัมพันธ์ทางสถิติเชิงเส้นตรงระหว่างทั้งสองค่ามีค่าสูงโดยที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9921 ส่วน



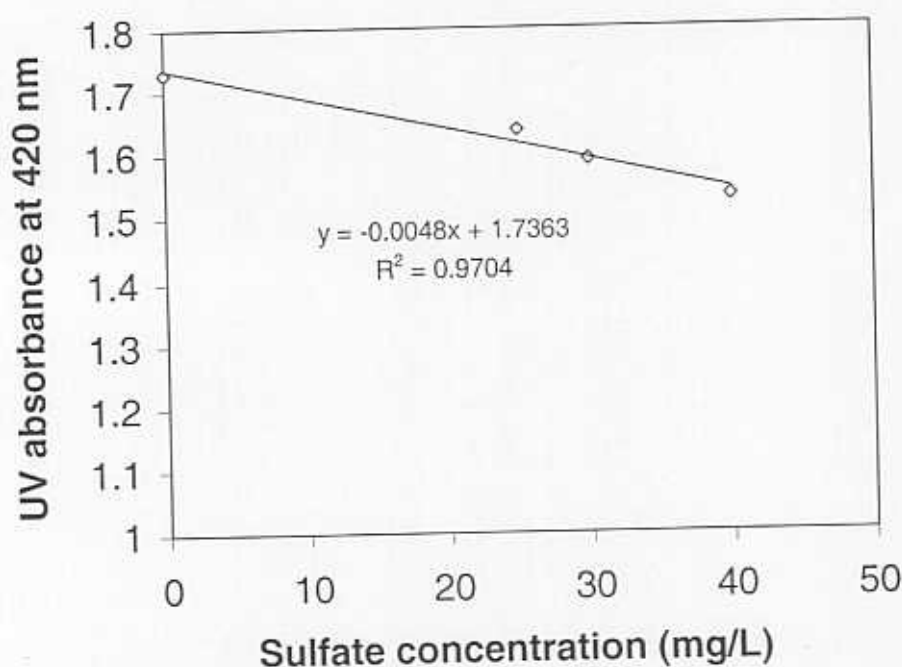
ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารไนเตรด

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 410 นาโนเมตรและความเข้มข้นของสารไนเตรดแสดงได้ดังนี้

$$UV \text{ absorbance at } 410 \text{ nm} = 0.0921 \times [NO_3^-]; \quad r^2 = 0.9921$$

โดยที่  $[NO_3^-]$  เท่ากับ ความเข้มข้นของสารไนเตรดมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

ภาพที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารซัลเฟต



ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารซัลเฟต

ความสัมพันธ์ของทั้งสองค่าให้ค่าที่ดีที่สุดที่ 60 วินาที เนื่องจากค่าความสัมพันธ์มีค่าสูง ( $r^2$  ประมาณ 0.97) จากช่วงเวลาที่ใช้ในการวัดทั้งหมดตั้งแต่ 0 ถึง 4 นาที โดยวัดทุก ๆ 30 วินาที ส่วนสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของซัลเฟต แสดงได้ดังนี้

$$UV \text{ absorbance at } 420 \text{ nm} = -0.0048 \times [SO_4^{2-}] + 1.7363; \quad r^2 = 0.9704$$

โดยที่  $[SO_4^{2-}]$  เท่ากับ ความเข้มข้นของสารซัลเฟตมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

โดยการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของซัลเฟตมีผลต่อการลดลงของค่าแสงยูวีดังแสดงในกราฟ

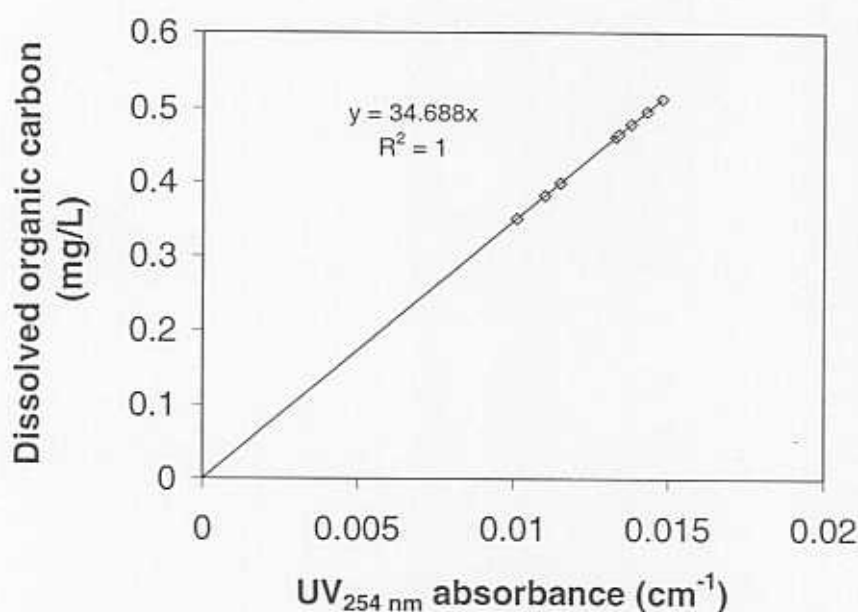
### 3.3.2 เครื่องมือวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon, TOC)

เครื่องมือวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon, TOC) รุ่น TOC-VCPH ของบริษัท Shimadzu Corporation (Japan) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารคาร์บอนของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง ภาพที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ของสารคาร์บอนทั้งหมดและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรโดยใช้น้ำตัวอย่างจากชุมชนลับแล

สมการความสัมพันธ์ระหว่างสารคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร แสดงได้ดังนี้

$$\text{Dissolved organic carbon} = 34.688 \times UV_{254\text{ nm}}; r^2 = 1$$

โดยที่  $UV_{254\text{ nm}}$  เท่ากับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 254 นาโนเมตร



ภาพที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน

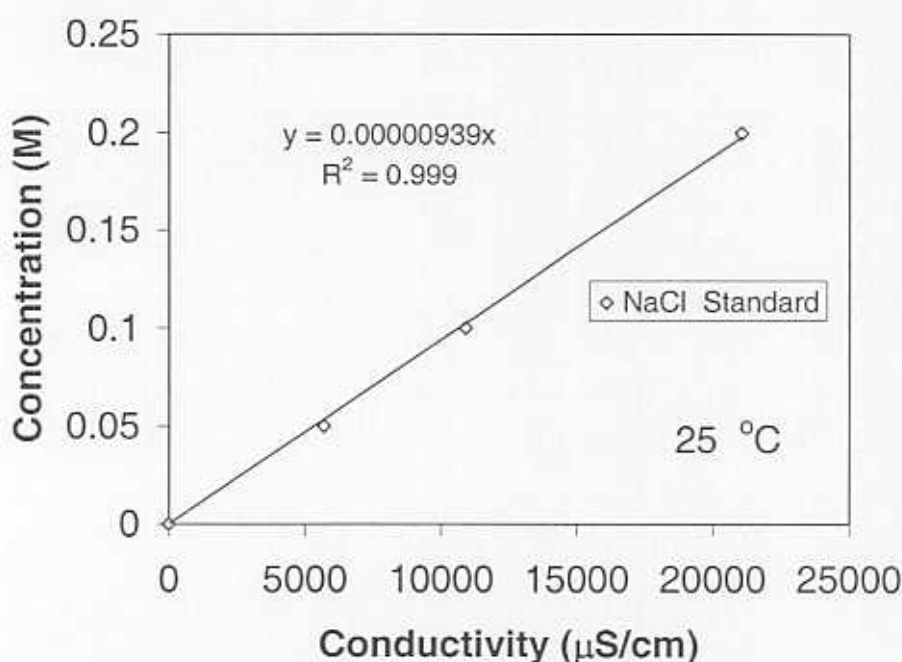
### 3.3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น inoLab Cond Level 2 จากบริษัท Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (WTW) GmbH & Co. (Weilheim, Germany) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าหรือปริมาณไอออนที่อยู่ในน้ำตัวอย่าง เช่น

ไอออนที่เป็นประจุลบและเป็นประจุบวก แสดงหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) หรือ มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร( $\text{mS}/\text{cm}$ ) ภาพที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์กับค่าการนำไฟฟ้าสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์และค่าการนำไฟฟ้า แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{NaCl concentration (M)} = 9.39 \times 10^{-6} \times (\text{conductivity, } \mu\text{S} / \text{cm}); r^2 = 0.999$$

โดยที่ ค่า conductivity มีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร



ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์และค่าการนำไฟฟ้า

### 3.3.4 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและเบส (pH meter)

เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและเบส (pH meter) รุ่น inoLab pH Level 1 จากบริษัท Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (WTW) GmbH & Co. (Weilheim, Germany) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบค่าความเป็นกรดและเบสของน้ำตัวอย่าง และใช้ปรับสภาพคุณภาพน้ำ

### 3.3.5 เครื่องมือวัดความขุ่น (Turbidity meter)

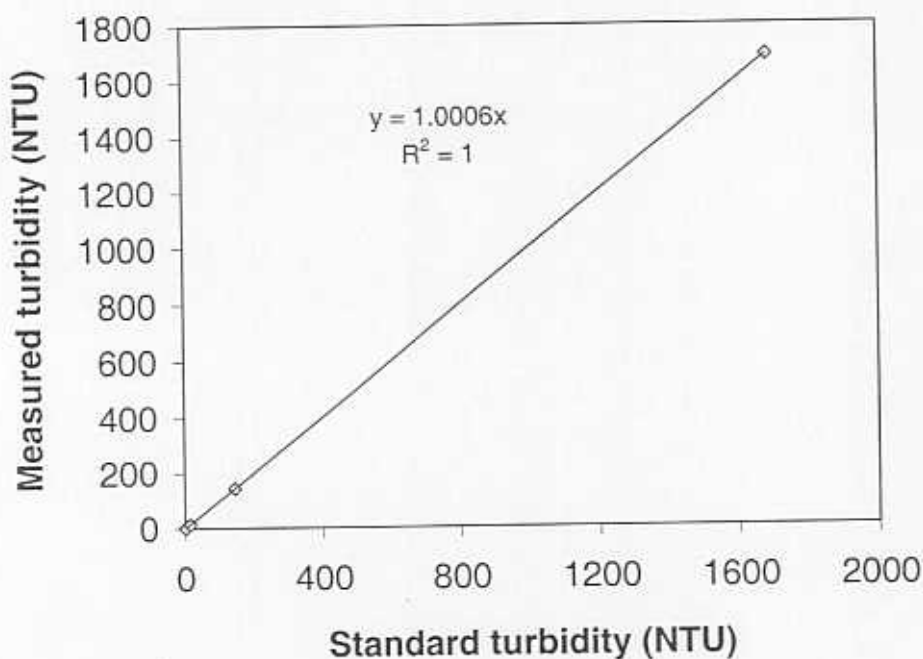
เครื่องมือวัดความขุ่น (Turbidity meter) รุ่น Hach Ratio/XRturbidimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างชุมชน ภาพที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของความขุ่นที่วัดได้กับค่าความ



ค่ามาตรฐานของตัวอย่างมาตรฐาน ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่วัดได้กับค่าความขุ่นที่เป็นตัวอย่างมาตรฐานแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Measured turbidity (NTU)} = 1.0006 \times \text{Standard turbidity (NTU)}; r^2 = 1$$

ค่ามาตรฐานของตัวอย่างความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง โดยแสดงจากค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าสูง โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 1 แสดงถึงตัวอย่างมาตรฐานสามารถให้ค่าผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับที่วัดได้จริง ดังนั้นสามารถใช้ตัวอย่างมาตรฐานมาใช้ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างจริงที่ได้จากชุมชนลับแล



ภาพที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่วัดได้กับค่าความขุ่นที่เป็นตัวอย่างมาตรฐาน

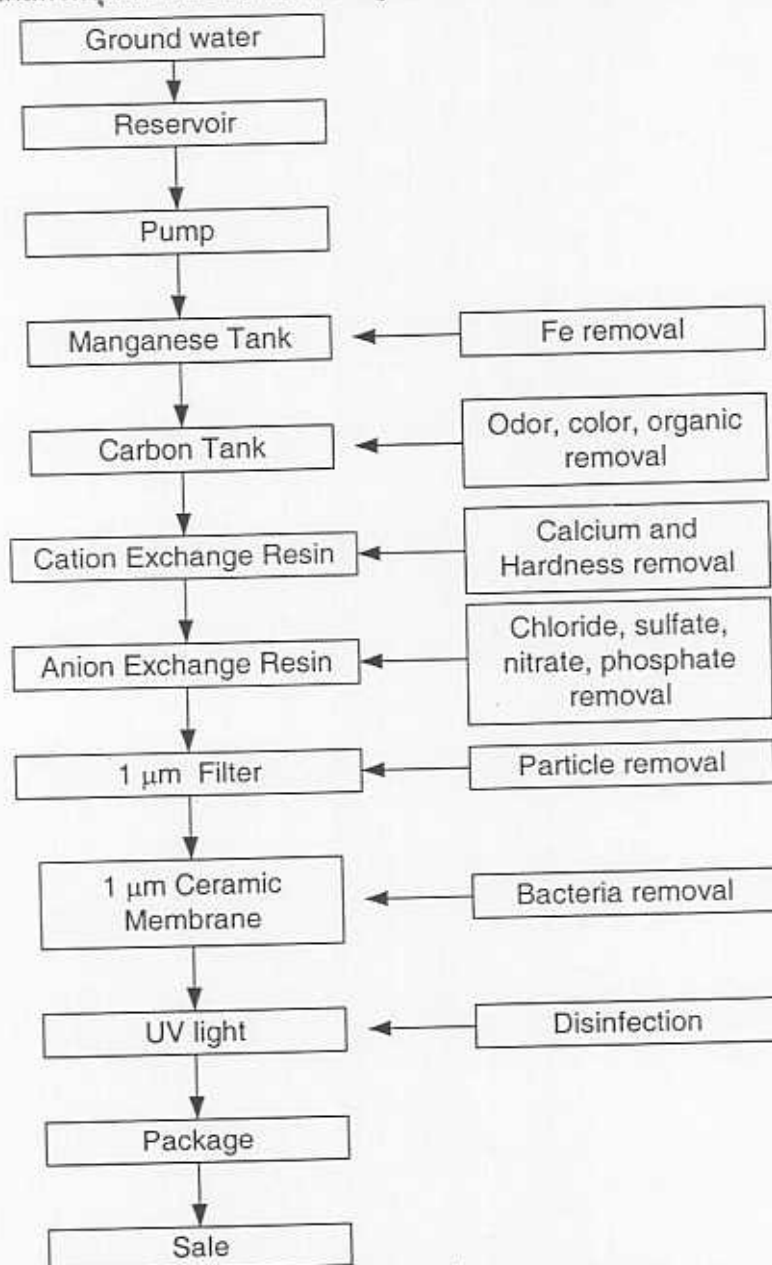
## บทที่ 4

## ผลการวิจัย

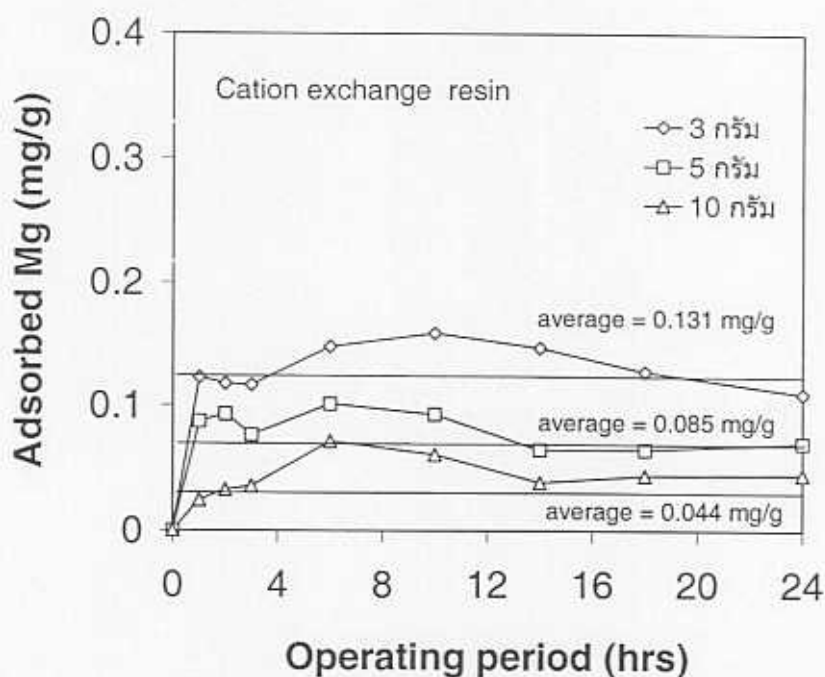
## 4.1 ผลการวิจัยศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มชุมชนตัวอย่าง

## 4.1.1 ฟังก์ชันกระบวนการผลิตและคุณลักษณะของน้ำดิบในโรงงานตัวอย่าง

น้ำดื่มที่ผลิตในชุมชนบ้านลับแลส่วนใหญ่ใช้เพื่อการบริโภคภายในท้องถิ่น โดยแหล่งน้ำ



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแล

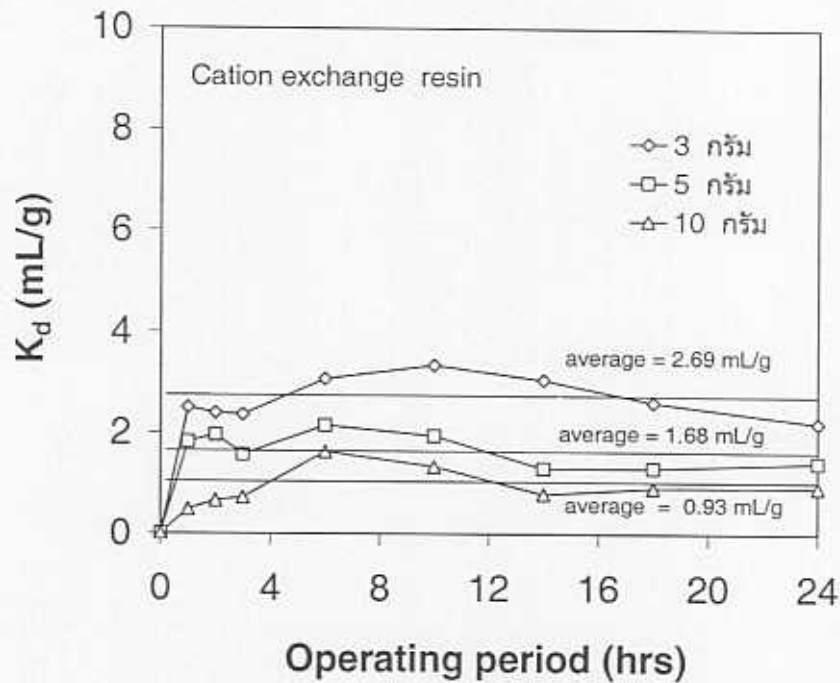


ภาพที่ 4.16 ความสามารถในการกำจัดแมกนีเซียมตามระยะเวลาการทดสอบ

ขึ้นประจุบวก ค่าความสามารถในการกำจัดแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.131 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.085 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.044 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารเรซินขึ้นประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ ค่าการจับตัวของแคลเซียมมีค่ามากในช่วงกลางของการทดสอบเนื่องจากผลของความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่วัดได้น้อยในช่วงกลางของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

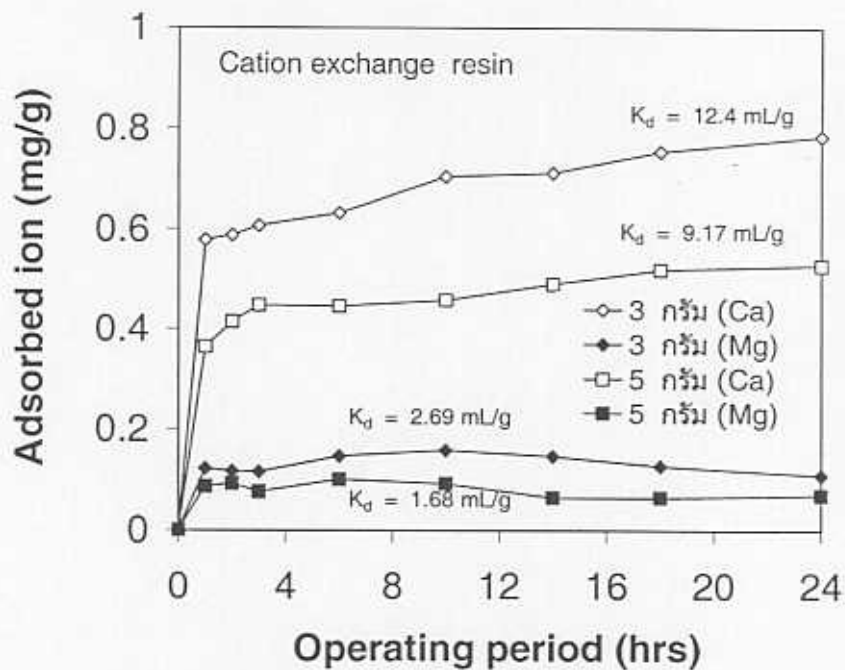
ภาพที่ 4.17 แสดงสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินขึ้นประจุบวก จากกราฟพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินขึ้นประจุบวกมีค่าน้อยลงตามปริมาณของสารเรซินขึ้นประจุบวก ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.69 มิลลิกรัมต่อกรัม 1.68 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.93 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารเรซินขึ้นประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ

ภาพที่ 4.18 แสดงความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินขึ้นประจุบวก จากกราฟพบว่าความสามารถในการกำจัดแคลเซียมมีค่าสูงกว่าแมกนีเซียมเนื่องจากความสามารถในการจับตัวของแคลเซียมที่ดีกว่าแมกนีเซียม ความสามารถในการจับตัวของแคลเซียมยังมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับความสามารถในการจับตัวของแมกนีเซียมโดยสังเกตจากผลการทดสอบหลัง 24



ภาพที่ 4.17 สัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก

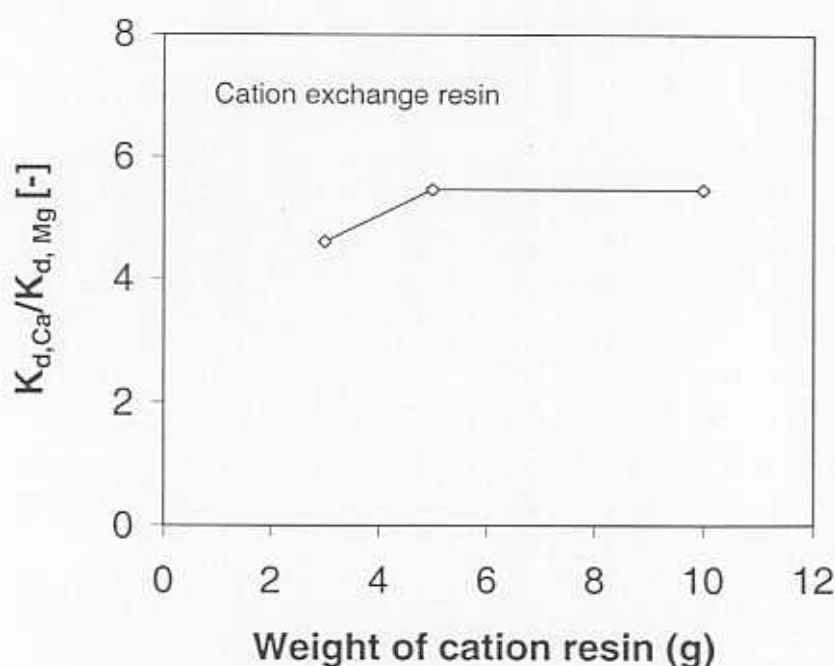
ข้อสังเกต: ค่าความสามารถในการกำจัดของแคลเซียมยังส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมที่มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก



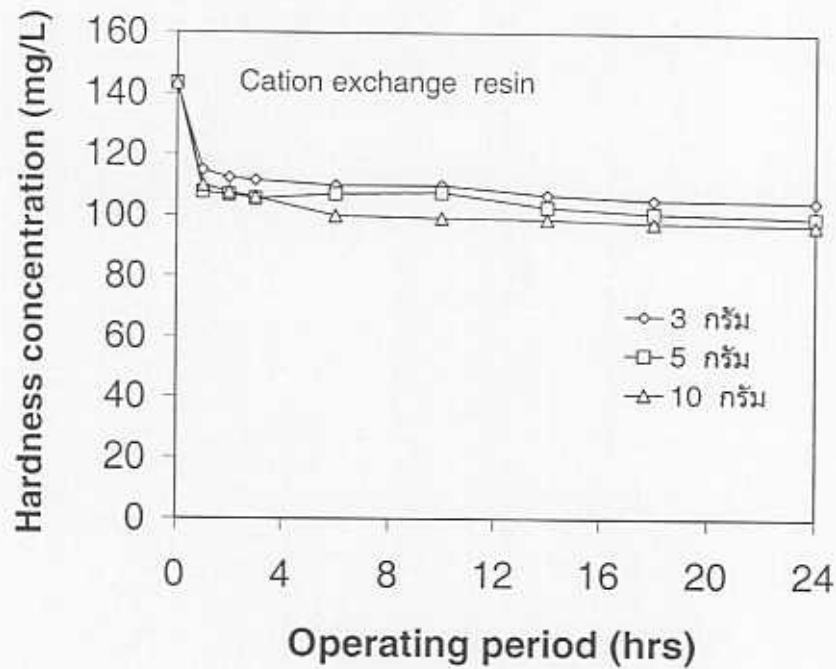
ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุบวก

ภาพที่ 4.19 แสดงอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม จากกราฟแสดงว่าค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่ามากขึ้นตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกและเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อปริมาณของสารเรซินประจุบวกมีค่าเท่ากับ 10 กรัม ค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่าเท่ากับ 4.61 5.46 และ 5.46 สำหรับปริมาณของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลกระทบของความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมควรจะถูกรวบรวมกับค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายเนื่องจากน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมและแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก

ความกระด้างของน้ำเกิดจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแคลเซียมและแมกนีเซียม การกำจัดความกระด้างของน้ำสามารถทำได้โดยใช้สารเรซินประจุบวก ภาพที่ 4.20 แสดงความเข้มข้นของความกระด้างตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของความกระด้างของน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อยตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่เพิ่มขึ้นจาก 3 กรัม ถึง 10 กรัม ความเข้มข้นของความกระด้างลดลงจาก 143.3 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงความเข้มข้นต่ำสุดประมาณ 97.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประมาณ 32.2% สำหรับการกำจัด) โดยใช้ปริมาณสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 10 กรัม

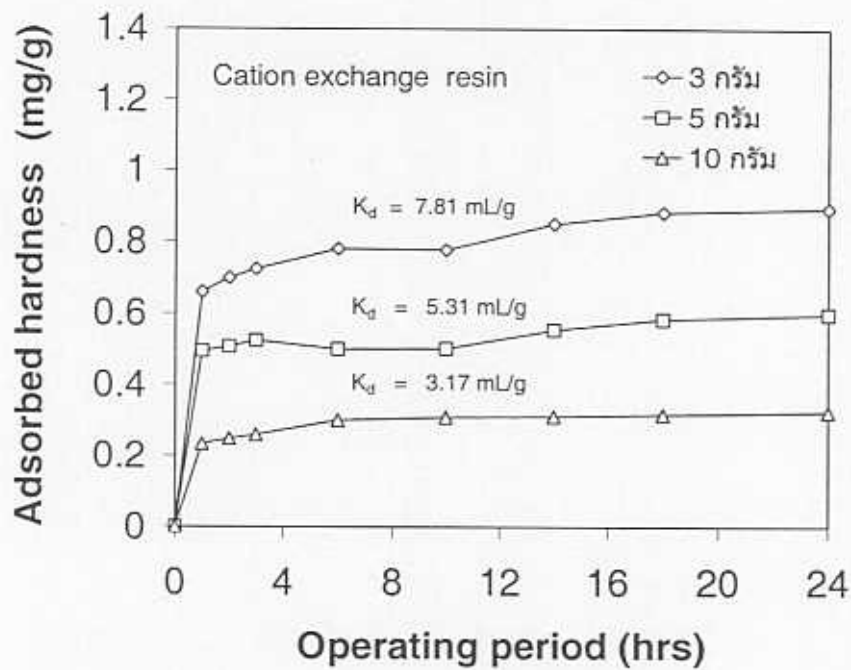


ภาพที่ 4.19 อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม



ภาพที่ 4.20 ความเข้มข้นของความกระด้างตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก

ภาพที่ 4.21 แสดงความสามารถในการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวก จากกราฟพบว่า การจับตัวของสารแคลเซียมกับแมกนีเซียมในองค์ประกอบของความกระด้างของน้ำมี



ภาพที่ 4.21 ความสามารถในการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวก

ค่าลดลงตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการกำจัดความกระด้างมีค่าเท่ากับ 0.837 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.548 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 0.313 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความสามารถในการกำจัดความกระด้างของน้ำยังมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของความกระด้าง โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของความกระด้างมีค่าเท่ากับ 7.81 มิลลิลิตรต่อกรัม 5.31 มิลลิลิตรต่อกรัมและ 3.17 มิลลิลิตรต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับ จะสังเกตว่าค่าความสามารถในการกำจัดความกระด้างและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของความกระด้างมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่ได้จากแคลเซียมและแมกนีเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่ใช้ ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยสารเรซินประจุบวก จากตารางเปอร์เซ็นต์การกำจัดของสารมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดโดยสารเรซินประจุบวก

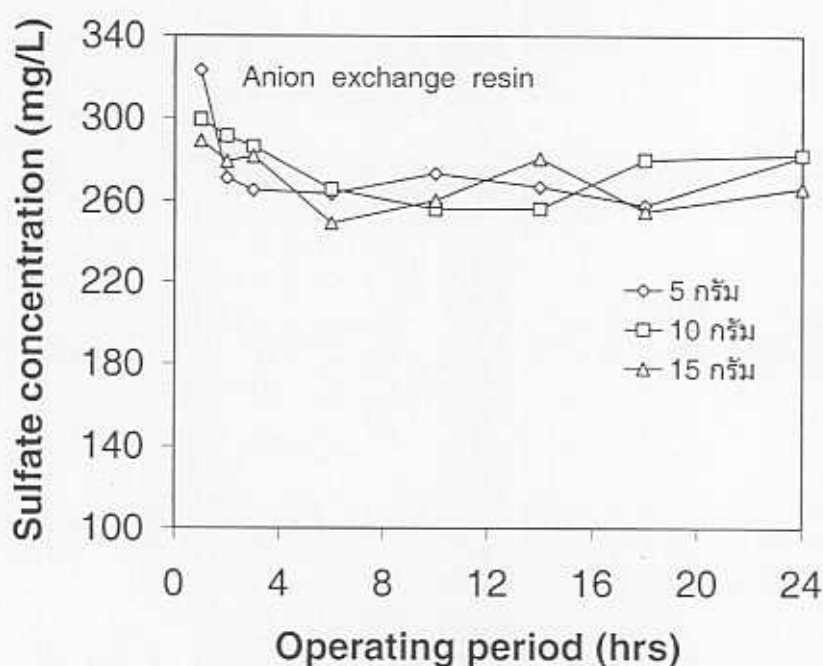
ชนิด	% กำจัด	q (mg/g)	K <sub>d</sub> (mL/g)
แคลเซียม			
3 กรัม	35.73	0.718	12.4
5 กรัม	40.67	0.489	9.17
10 กรัม	43.15	0.261	5.08
แมกนีเซียม			
3 กรัม	10.65	0.131	2.69
5 กรัม	10.46	0.081	1.68
10 กรัม	13.66	0.044	0.93
ความกระด้าง			
3 กรัม	25.08	0.837	7.81
5 กรัม	27.70	0.548	5.31
10 กรัม	31.22	0.313	3.17

ตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่ใช้ ส่วนความสามารถในการกำจัดสารและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าน้อยลงตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก เปอร์เซนต์การกำจัดแคลเซียมมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การกำจัดของความกระด้างของน้ำและแมกนีเซียม โดยที่แมกนีเซียมให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำสุด การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดนั้นมีสัดส่วนโดยตรง

กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสาร โดยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าจากมากไปน้อยตามลำดับของสารได้แก่ แคลเซียม ความกระด้างของน้ำ และแมกนีเซียม ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกันกับค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสาร ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีสัดส่วนผกผันกับปริมาณสารเรซินประจุบวก โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าน้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารเรซินประจุบวกจาก 3 กรัม 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับ

#### 4.2.4 การกำจัดซัลเฟตและไนเตรตโดยใช้สารเรซินประจุลบ

เรซินประจุลบสามารถใช้กำจัดซัลเฟตและไนเตรตที่เป็นสารที่มีประจุลบในตัว การกำจัดประจุลบเกิดขึ้นเนื่องจากการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุลบ (คลอไรด์) ในสารเรซินประจุลบกับสารที่มีประจุลบได้แก่ ซัลเฟตและไนเตรต เป็นต้น ภาพที่ 4.22 แสดงความเข้มข้นของซัลเฟตตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของซัลเฟตมีค่าลดลงตามปริมาณของ



ภาพที่ 4.22 ความเข้มข้นของซัลเฟตตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ

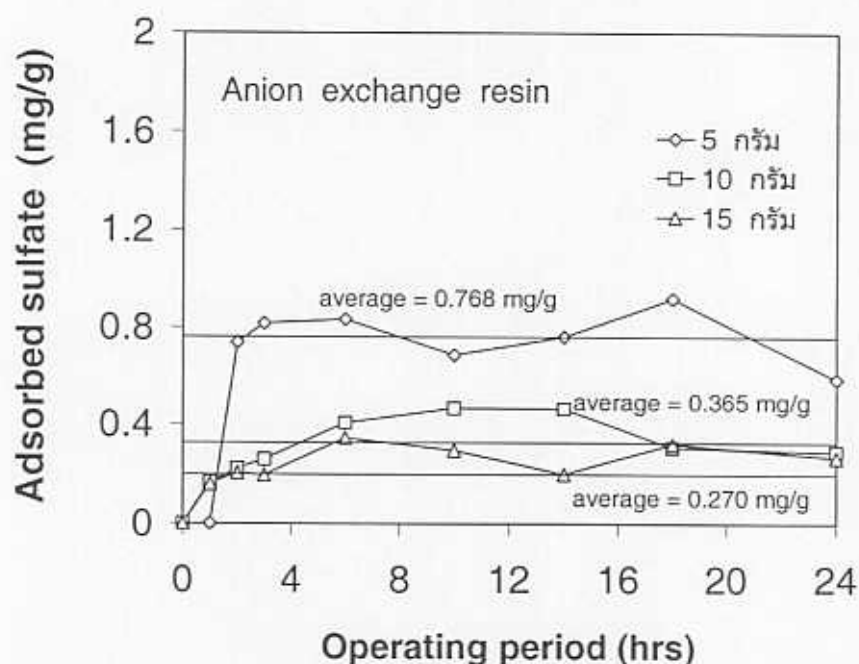
สารเรซินประจุลบ โดยเฉพาะปริมาณน้ำหนักรที่ 10 กรัม อย่างไรก็ตามค่าที่วัดได้มีค่าไม่คงที่ตามปริมาณของสารเรซินประจุลบที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของซัลเฟตหลังผ่านสารเรซินประจุลบมีค่าค่อนข้างสูง โดยค่าที่วัดได้สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดไว้ประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรตามปริมาณสารเรซินประจุลบที่ใช้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามสารเรซินประจุลบที่ควรใช้ทดสอบควรมีปริมาณน้ำหนักรที่มากกว่าที่ใช้



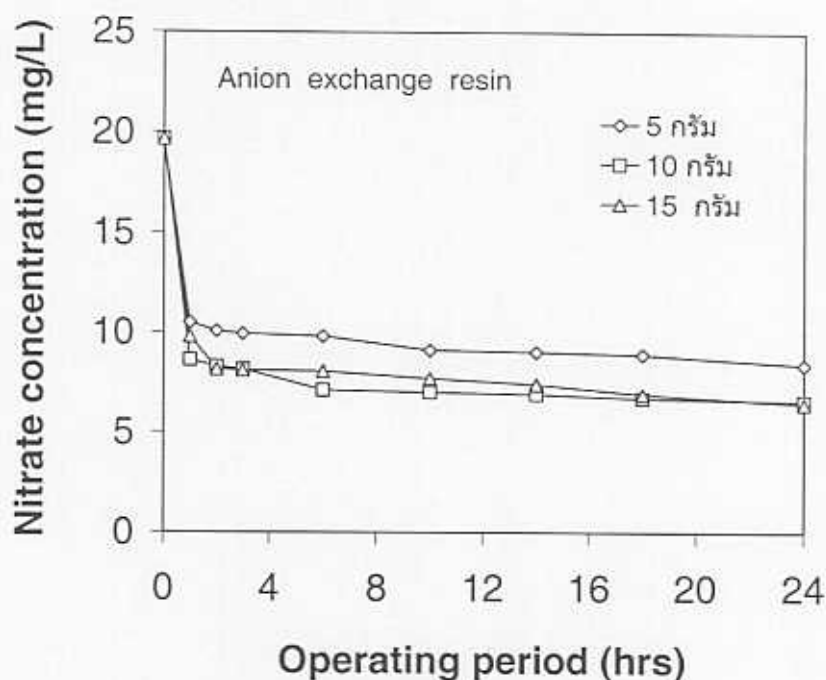
ทดสอบในการทดลองนี้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารเรซินประจุลบเพื่อใช้ในการกำจัดซัลเฟตที่มีค่าสูงสำหรับน้ำดื่มอย่างนี้ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีค่าลดลงก่อนข้างน้อยอาจเนื่องมาผลกระทบของความเข้มข้นของสารชนิดอื่นที่มีอยู่ในองค์ประกอบของน้ำเช่น ในเตรตเป็นต้น

ภาพที่ 4.23 แสดงความสามารถในการกำจัดซัลเฟตโดยสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าค่าความสามารถในการกำจัดซัลเฟตมีค่าน้อยลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารเรซินประจุลบ ค่าที่คำนวณได้มีค่าไม่คงที่เนื่องจากผลของความเข้มข้นที่มีค่าไม่คงที่ตามระยะเวลาของการทดสอบค่าความสามารถในการกำจัดซัลเฟตเนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุโดยใช้สารเรซินประจุลบมีค่าเท่ากับ 0.768 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.365 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 0.270 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัมตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 17.1% 16.1% และ 17.9% สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัมตามลำดับ

ภาพที่ 4.24 แสดงความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าน้อยลงตามปริมาณสารเรซินประจุลบ อย่างไรก็ตามความ



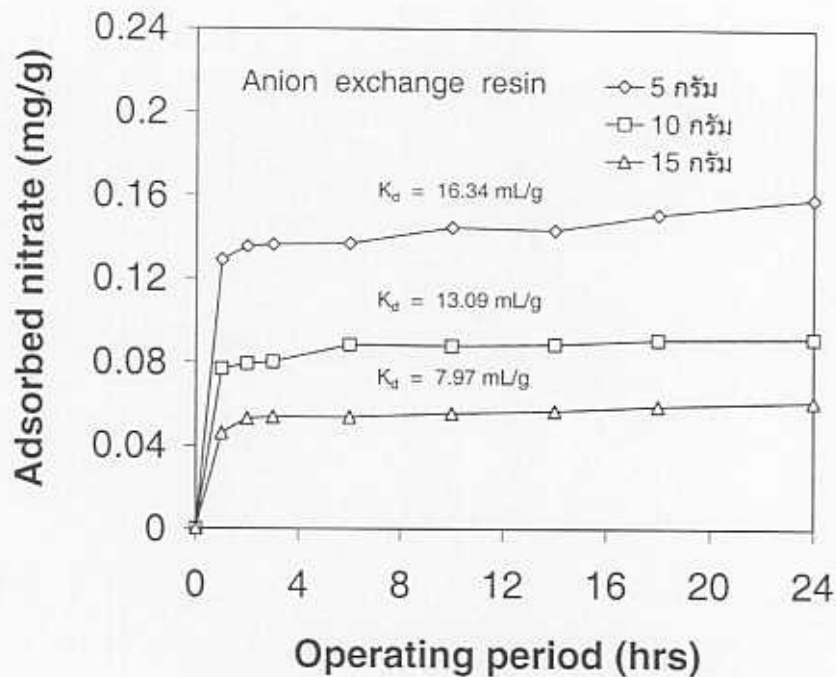
ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการกำจัดซัลเฟตโดยสารเรซินประจุลบ



ภาพที่ 4.24 ความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ

ความเข้มข้นของไนเตรดที่ปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 10 กรัมและ 15 กรัมมีค่าไม่แตกต่างกันนัก ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดเท่ากับ 54.0% 65.1% และ 62.8% (โดยความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 19.64 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของไนเตรดโดยเฉลี่ยสำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม เท่ากับ 9.04 มิลลิกรัมต่อลิตร 6.86 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 7.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดไว้เท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.25 แสดงความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ ความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบมีค่าน้อยลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารเรซินประจุลบ ความสามารถในการกำจัดไนเตรดมีค่าเท่ากับ 0.147 มิลลิกรัมต่อลิตร 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.058 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม ตามลำดับ ค่าความสามารถในการกำจัดไนเตรดมีแนวโน้มเหมือนกันกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรดมีค่าน้อยลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารเรซินประจุลบ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรดมีค่าเท่ากับ 16.34 มิลลิตรต่อกรัม 13.09 มิลลิตรต่อกรัมและ 7.97 มิลลิตรต่อกรัมสำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.25 ความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ

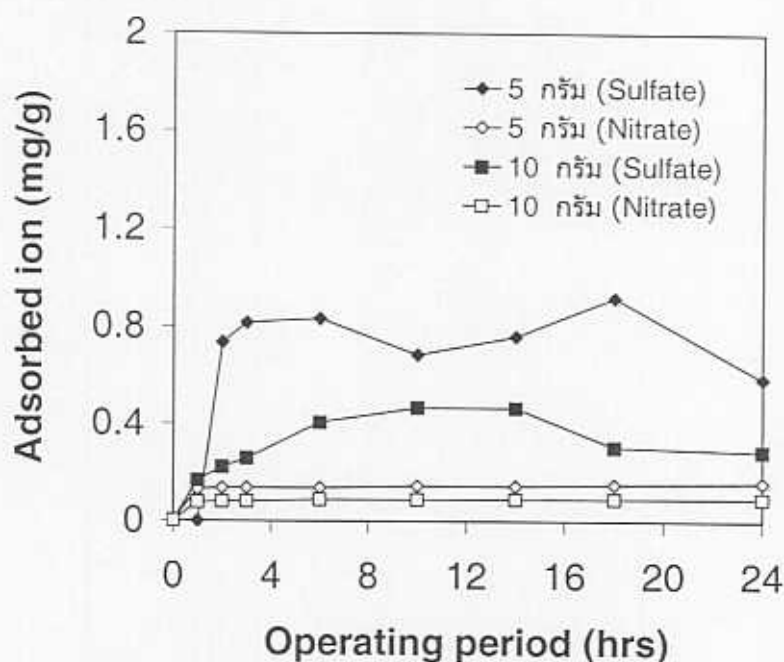
ภาพที่ 4.26 แสดงความสามารถในการกำจัดสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความสามารถในการกำจัดซิลเฟตมีค่ามากกว่าความสามารถในการกำจัดไนเตรด อาจเนื่องมาจากผลของซิลเฟตที่มีประจุสองบวกสามารถจับตัวกับสารเรซินประจุลบได้ดีกว่าไนเตรดที่มีประจุเพียงหนึ่งบวกตามลำดับความชอบในการจับตัวกับสารเรซินประจุลบ (มันสิน คัมพุลเวศน์ 2538; ไพศาล วีรกิจ 2545; Clifford, D.A., 1990) อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของซิลเฟต (ข้อมูลไม่ได้ถูกแสดง) มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรดเนื่องจากผลของความเข้มข้นที่เริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน โดยความเข้มข้นเริ่มต้นและสุดท้ายของซิลเฟตที่วัดได้หลังเวลาใด ๆ จะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของไนเตรด ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของซิลเฟตมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรด โดยสมการแสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายแสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$K_{d,ion} \left( \frac{mL}{g} \right) = \frac{q_{ion} (mg / g)}{C_{ion,e} (mg / L)} \times 1000$$

โดยที่  $K_{d,ion}$  เท่ากับสัมประสิทธิ์การกระจายของไอออน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mL/g)

$q_{ion}$  เท่ากับความสามารถในการกำจัดไอออน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)

$C_{ion,e}$  เท่ากับความเข้มข้นของไอออน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)



ภาพที่ 4.26 ความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุลบ

#### 4.3 ผลและการวิเคราะห์การทดลองแบบต่อเนื่อง

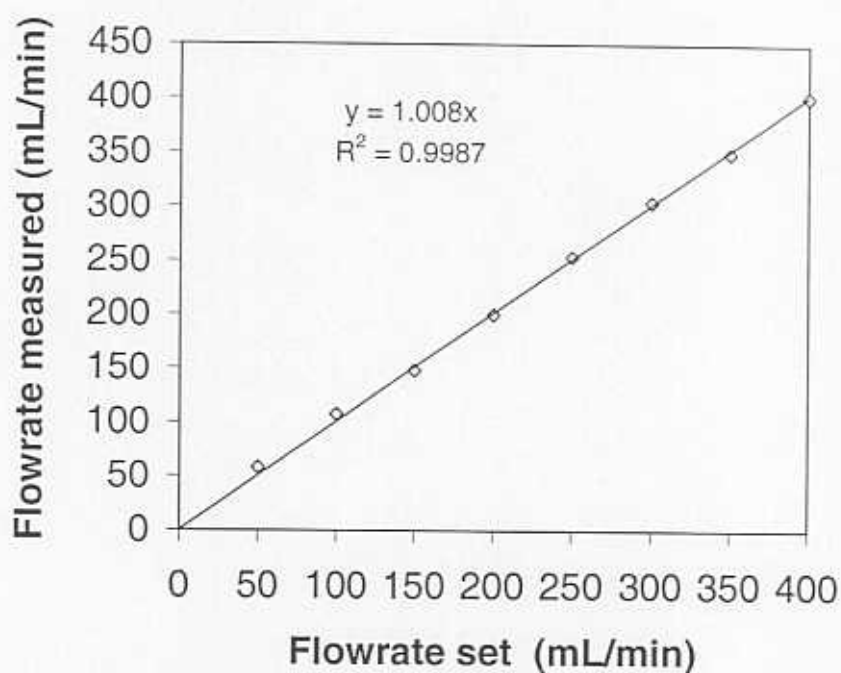
การทดสอบแบบต่อเนื่องเป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดของไนเตรดที่พบมากในน้ำใต้ดินและมีผลต่อโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์ ส่วนการทดสอบนั้นจะใช้สารเรซินประจุลบที่มีน้ำหนักประมาณ 5 กรัมโดยน้ำตัวอย่างจะถูกปั๊มเข้าสู่ทางเข้าคอลัมน์ด้านล่าง และออกจากคอลัมน์ตรงด้านล่าง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกวัดปริมาตรและเก็บตัวอย่างไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรดที่หลงเหลือ

อัตราการไหลของน้ำตัวอย่างก็มีความสำคัญต่อการกำจัดสารไนเตรดในน้ำ โดยอัตราการไหลของน้ำถูกควบคุมโดยปั๊ม peristaltic pump ภาพที่ 4.27 แสดงการปรับอัตราการไหลของปั๊ม (peristaltic pump) ในการทดสอบการกำจัดไนเตรดโดยใช้เรซินประจุลบ จากกราฟอัตราการไหลที่วัดได้ (Flowrate measured) มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลที่ตั้งไว้ในเครื่องปั๊ม (Flowrate set) ค่าความสัมพันธ์เป็นลักษณะเส้นตรงเชิงเส้นที่มีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9987 การคำนวณอัตราการไหลที่วัดได้ สามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

$$\text{Real flowrate (average)} = \frac{Q_{\text{input}} + Q_{\text{output}}}{2}$$

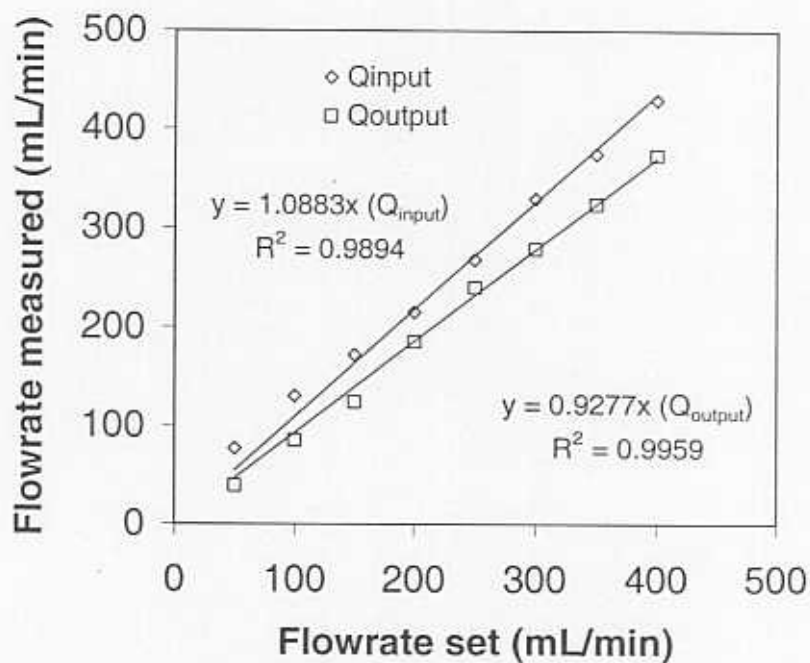
โดยที่  $Q_{\text{input}}$  เท่ากับอัตราการไหลที่เข้าสู่ระบบ (mL/min)

$Q_{\text{output}}$  เท่ากับอัตราการไหลที่ออกจากระบบ (mL/min)



ภาพที่ 4.27 การปรับอัตราการไหลของปั๊ม

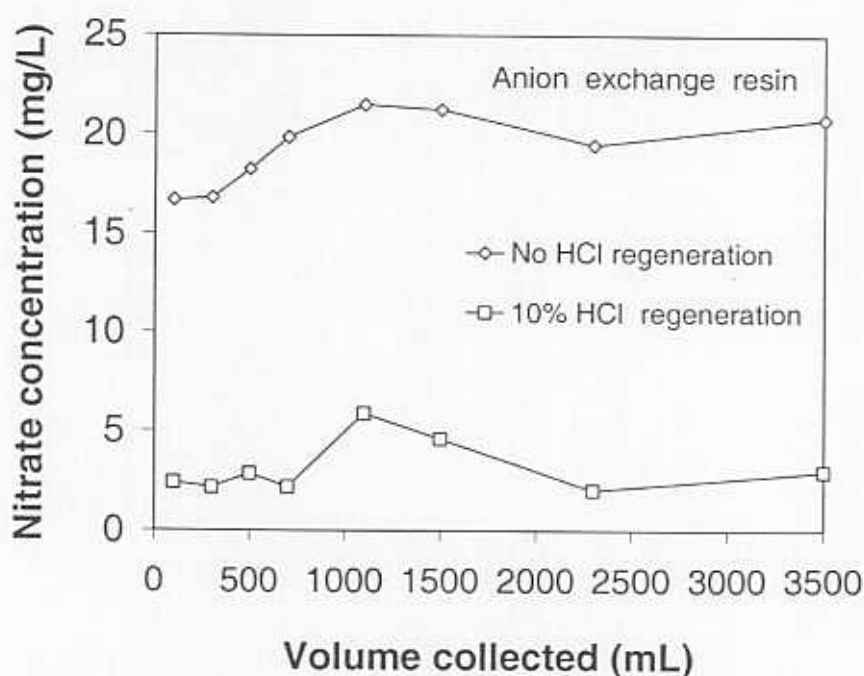
ภาพที่ 4.28 แสดงอัตราการไหลจริงที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบ จากกราฟพบว่าอัตราการไหลเข้าสู่ระบบมีค่ามากกว่าอัตราการไหลที่ออกจากระบบเนื่องจากผลของแรงต้านที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.28 อัตราการไหลจริงที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบ

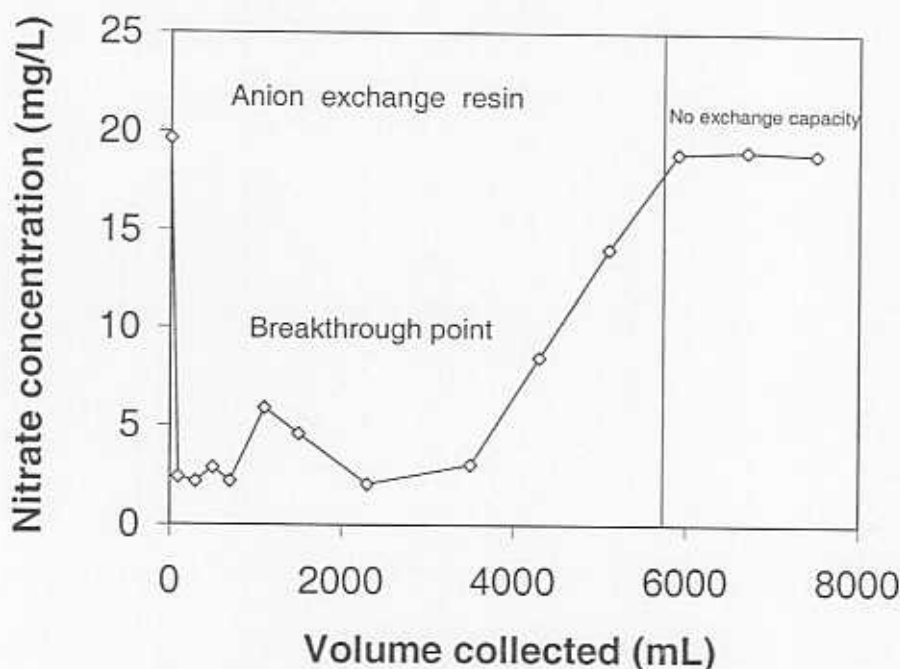
ขึ้นประจุลบในคอลัมน์ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลออกจากระบบมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากข้อมูลทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลที่ตั้งไว้ (Flowrate set) สำหรับเครื่องปั๊มแบบ peristaltic pump ตามลักษณะกราฟที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น

ภาพที่ 4.29 แสดงประสิทธิภาพการล้างเรซินก่อนการทดสอบสารเรซินประจุลบ สารเรซินที่ใช้ทดสอบในคอลัมน์มีปริมาณเท่ากับ 5 กรัม และอัตราการไหลเข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 มิลลิลิตรต่อนาที จากกราฟพบว่าสารเรซินประจุลบที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการล้างสารเรซินด้วยความเข้มข้น 10% ของกรดไฮโดรคลอริก ไม่มีผลต่อการกำจัดไนเตรดหรือไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับสารไนเตรดตามปริมาณที่วัดได้หลังจากผ่านคอลัมน์ ทำให้ความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของไนเตรดเริ่มต้นของน้ำตัวอย่าง ความเข้มข้นของไนเตรดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 19.32 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามการล้างสารเรซินด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 % โดยปริมาตร ส่วนปริมาตรที่ใช้ในการล้างสารเรซินเท่ากับ 30 มิลลิลิตร การทดสอบพบว่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าลดลงอย่างมาก หลังจากที่มีการล้างสารเรซินก่อนการทดสอบกับน้ำตัวอย่าง โดยที่ความเข้มข้นของไนเตรดมีก่อนข้างต่ำตามปริมาตรที่ผ่านออกจากคอลัมน์โดยปริมาตรรวมเท่ากับ 3,500 มิลลิลิตร (3.5 ลิตร) ส่วนความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3.13 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท



ภาพที่ 4.29 ประสิทธิภาพการล้างเรซินก่อนการทดสอบสารเรซินประจุลบ

จากกราฟข้างต้นความสามารถในการกำจัดสารไนเตรดยังมีผลการทดสอบที่ดีตามปริมาตรรวมเท่ากับ 3,500 มิลลิลิตร (3.5 ลิตร) อย่างไรก็ตามเพื่อศึกษาถึงปริมาตรรวมสูงสุดที่ใช้ในการกำจัดไนเตรดโดยผ่านคอลัมน์ที่มีเรซินประจุลบโดยน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ดังนั้นน้ำตัวอย่างที่ใช้จึงถูกปั๊มเข้าสู่ระบบอีกครั้งที่อัตราการไหลของปั๊มเท่ากับ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ภาพที่ 4.30 แสดง

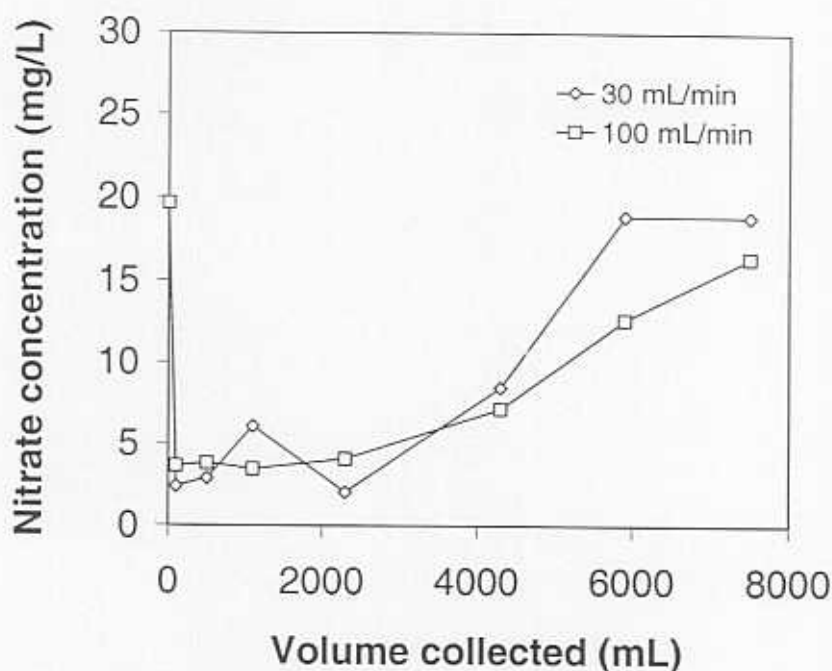


ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบในคอลัมน์

ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบในคอลัมน์ จากกราฟพบว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบมากขึ้นส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเตรดที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพการจับตัวหรือการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีต่อสารเรซินประจุลบมีค่าน้อยลงตามปริมาตรรวมของน้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบ จุดที่ทำให้ปริมาตรรวมสุดท้ายก่อนที่ความเข้มข้นของไนเตรดจะมีค่าสูงขึ้นอยู่ที่ 3,500 มิลลิลิตร (3.5 ลิตร) ส่วนความเข้มข้นของไนเตรดที่วัดได้เท่ากับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำวัดได้ที่ปริมาตรรวมเท่ากับ 5,900 มิลลิลิตร (5.9 ลิตร) หลังปริมาตรรวมเท่ากับ 5,900 มิลลิลิตร (5.9 ลิตร) ความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแสดงถึงไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างไนเตรดในน้ำตัวอย่างกับคลอไรด์ในสารเรซินประจุลบอีกต่อไป และสารเรซินประจุลบนี้จำเป็นต้องนำมาล้าง (regeneration) เพื่อนำสารเรซินกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

การเปลี่ยนอัตราการไหลเข้าสู่ระบบมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแตกต่างกัน ภาพที่ 4.31 แสดงอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลจาก 30 มิลลิลิตรต่อนาที





ภาพที่ 4.31 อัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ

เป็น 100 มิลลิตรต่อนาทีส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเตรด สำหรับอัตราการไหลที่ 30 มิลลิตรต่อนาทีค่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของไนเตรดที่อัตราการไหล 100 มิลลิตรต่อนาที อาจเนื่องมาจากเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนประจุมีมากกว่าทำให้ไอออนมีความสามารถในการจับตัวได้ดีกว่า และส่งผลความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุหมดได้เร็วขึ้น จากกราฟจะสังเกตว่าความเข้มข้นของไนเตรดที่วัดได้หลังปริมาตรรวมเท่ากับ 5,900 มิลลิตรมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของไนเตรดในน้ำตัวอย่างสำหรับอัตราการไหลเท่ากับ 30 มิลลิตรต่อนาที ส่วนอัตราการไหลเท่ากับ 100 มิลลิตรต่อนาทีค่าความเข้มข้นของไนเตรดยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่หลังปริมาตรรวมเท่ากับ 7,500 มิลลิตรต่อนาที ดังนั้นปริมาตรน้ำตัวอย่างอาจต้องใช้มากกว่าเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่สภาวะคงที่ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนน้อยกว่า ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

#### 4.4 ผลและการวิเคราะห์การทดลองของน้ำดื่มชุมชน

##### 4.4.1 ผลการวิเคราะห์ของน้ำดื่มชุมชน

น้ำได้ดินถูกนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำดื่มให้กับชุมชนลับแล ก่อนจะผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตได้แก่ถังสารแมงกานีส ถังสารคาร์บอน ถังสารเรซินประจุบวก และถังสารเร



จีนประจุลบซึ่งเดิมใช้สารเรซินประจุบวกจำนวน 2 ถัง โดยเปลี่ยนเป็นสารเรซินประจุบวก 1 ถัง และสารเรซินประจุลบ 1 ถัง ก่อนผ่านกระบวนการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีอัลตราไวโอเลต สำหรับคุณภาพน้ำดิบของชุมชนลับแลมีปริมาณของฟิโคล โคลิฟอร์มน้อย โดยค่าที่วัดได้น้อยกว่า 2 MPN/100 mL ส่งผลดีกับกระบวนการผลิตน้ำดื่มและความปลอดภัยของผู้บริโภคในการดื่มน้ำที่ปราศจากเชื้อแบคทีเรีย ตารางที่ 4.4 แสดงคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตสารแมงกานีส สารคาร์บอน สารเรซินประจุบวกและลบ ตัวอย่างน้ำที่เก็บเป็นตัวอย่างในช่วงวันที่ ตารางที่ 4.4 คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตสารแมงกานีส สารคาร์บอน สารเรซินประจุบวกและลบ

ปริมาณน้ำ ดัชนี	800 L	1,800 L	2,600 L	3,600 L	4,400 L	5,200 L	5,800 L
ความขุ่น (NTU)	0.332	0.142	0.532	0.27	0.358	0.182	0.349
ความกระด้าง (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	27.2	25.8	24.8	26.4	10.4	36.5	17.2
แคลเซียม (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	26	19.8	20.8	26.2	8.2	34.4	12.8
แมกนีเซียม (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	1.2	6	4	0.2	2.2	2.1	4.4
คลอไรด์(mg/L)	60.5	63	64	66.5	57.5	46	50.5
ซัลเฟต (mg/L)	262.6	277.3	256.4	242.9	294.5	321.8	229.7
ไนเตรด (mg/L)	13.34	14.45	14.03	14.33	13.35	12.38	12.3

ตัวอย่างน้ำระหว่างช่วงวันที่ 9 ถึง 18 กันยายน พ.ศ. 2546

9 ถึง 18 กันยายน พ.ศ. 2546 โดยน้ำตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและแสงยูวีอัลตราไวโอเลต จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ผ่านการผลิตในกระบวนการต่าง ๆ ยกเว้นการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและแสงยูวีอัลตราไวโอเลต และดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพน้ำ ผลการทดสอบพบว่าความขุ่นที่วัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.31 NTU ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนดค่าสูงสุดไว้เท่ากับ 5 NTU ส่วนค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการผลิตและบรรจุในภาชนะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักจากน้ำตัวอย่างน้ำดิบ โดยที่ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้ามีค่าประมาณ 6.12 และ 470.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้อาจไม่แตกต่างกันนักอาจเนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนประจุของสารเรซินประจุบวกและลบทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงนัก

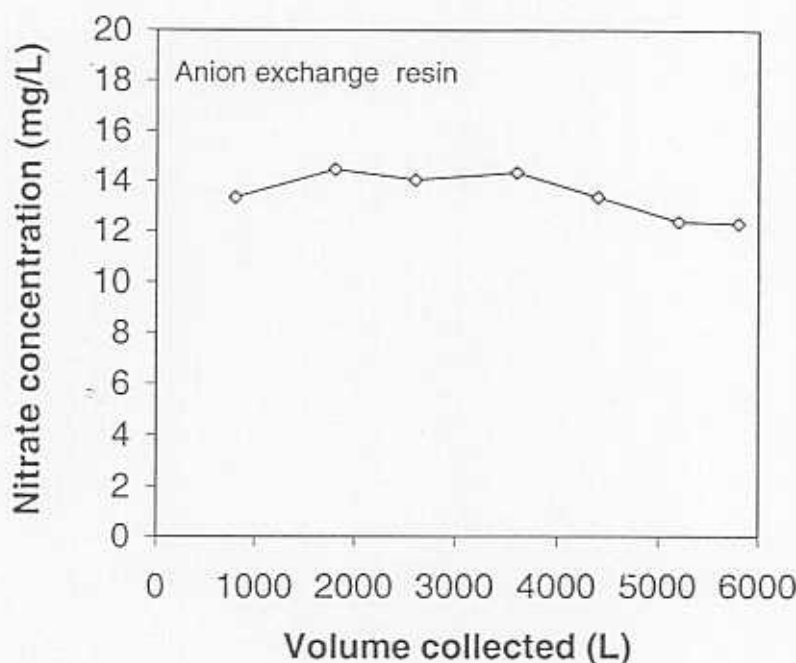
การกำจัดเหล็กและแมงกานีสโดยสารแมงกานีสพบว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างดีในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสไม่ได้ถูกตรวจสอบสำหรับน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำดื่มชุมชนเนื่องจากปริมาณของเหล็กและแมงกานีสในน้ำตัวอย่างมีค่าน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม ส่วนความสามารถในการกำจัดสารเหล็กและแมงกานีสโดยสารแมงกานีสแสดงผลค่อนข้างดีสำหรับการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์และค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แสงยูวีไม่ได้ตรวจสอบตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามการตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างที่บรรจุแล้วพบว่าความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์มีค่าน้อยกว่า 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอินทรีย์ในน้ำดิบเท่ากับ 1.11 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 73.9% นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์หรือถ่านคาร์บอนสามารถกำจัดสารละลายอินทรีย์ได้ดีโดยดูจากผลการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

เรซินประจุบวกสามารถใช้กำจัดความกระด้าง แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำ น้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตถูกตรวจสอบเพื่อหาความกระด้างของน้ำ แคลเซียมและแมกนีเซียม ค่าความกระด้างที่วัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 24 mg/L as CaCO<sub>3</sub> (ความกระด้างเริ่มต้นในน้ำตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 143.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำอ่อนโดยมีความกระด้างอยู่ในช่วง 0 - 75 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 83.3% ส่วนค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมวัดได้เท่ากับ 21.2 และ 2.87 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ตามลำดับ (ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่ากับ 89 และ 54.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ตามลำดับ) อยู่ในช่วงอนุโลมของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคโดยกำหนดไว้เท่ากับ 200 mg/L as CaCO<sub>3</sub> และ 150 mg/L as CaCO<sub>3</sub> สำหรับค่ามาตรฐานของแคลเซียมและแมกนีเซียมตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียมโดยเรซินประจุบวกเท่ากับ 76.2% และ 94.7% ตามลำดับ

สารเรซินประจุลบสามารถใช้กำจัดสารประจุลบเช่น คลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรต ที่ปรากฏในน้ำตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของคลอไรด์หลังผ่านกระบวนการผลิตเท่ากับ 58.3 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จากน้ำตัวอย่างอาจเนื่องมาจากปริมาณคลอไรด์ที่เกิดจากการเติมกรดไฮโดรคลอริกเพื่อใช้เก็บตัวอย่างก่อนการทดสอบ (ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยที่วัดได้ประมาณ 2.7 และค่าการนำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 mS/cm ซึ่งไม่ได้แสดงในตาราง) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่วัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดมาตรฐานไว้ไม่เกิน 250 mg/L ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยที่วัดได้ของซัลเฟตเท่ากับ 269.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่าเริ่มต้นของซัลเฟตสำหรับตัวอย่างน้ำชุมชนโดยประมาณเท่ากับ 323 mg/L) คิดเป็น

ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 16.6% ซึ่งค่าที่วัดได้ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดไว้เท่ากับ 250 mg/L

ภาพที่ 4.32 แสดงความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต ความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.45 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นเริ่มต้นของไนเตรดในน้ำตัวอย่างเท่ากับ 19.64 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารไนเตรด



ภาพที่ 4.32 ความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต

เท่ากับ 31.5% อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนเตรดที่วัดได้มีค่าในเกณฑ์มาตรฐาน (มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนดความเข้มข้นของไนเตรดไว้ที่ 4 mg/L) อาจเนื่องมาจากผลการล้างสารเรซินประจุลบที่ยังไม่ดีพอและช่วงเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบก่อนที่สารเรซินประจุลบจะถูกล้าง การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการล้างเรซินประจุลบโดยทั่วไปความเข้มข้นของสารในการล้างเรซินควรมีค่าประมาณ 8% - 20% ดังนั้นการทดสอบความเข้มข้นของสารที่มีประจุลบควรตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อความเหมาะสมในการกำจัดสารประจุลบที่อาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำดื่ม

จากผลการทดสอบดัชนีที่ใช้วัดเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มหลังผ่านกระบวนการผลิต จะพบว่าดัชนีที่ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มได้แก่สารที่มีค่าประจุลบเช่นไนเตรดและซัลเฟต ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยใช้สารเรซินประจุลบ ดังนั้นสำหรับกระบวนการผลิตจึงควรมีการตรวจสอบ

อย่างละเอียดเกี่ยวกับการนำชนิดสารเรซินมาใช้และการล้างสารเรซินก่อนและหลังการใช้งาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการกำจัดในเครตและซัลเฟตให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนความจำเป็นในการเพิ่มจำนวนถังคอลัมน์สำหรับบรรจุสารเรซินประจุลบอาจจะต้องคำนึงผลการตรวจสอบระบบอีกครั้ง โดยเฉพาะการล้างทำความสะอาดเรซินประจุลบก่อนนำกลับมาใช้อีกครั้ง

#### 4.4.2 การประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำดื่ม

การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยเน้นตัวอย่างการผลิตน้ำดื่มของชุมชนตำบลแก่งผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ปริมาณน้ำดื่มที่ผลิตได้ประมาณ 4110 ลิตรต่อวัน แบ่งเป็นการผลิตน้ำดื่มขวดเล็กขนาด 0.95 ลิตร ประมาณวันละ 1,800 ขวด และการผลิตน้ำดื่มขนาดถึงใหญ่ 20 ลิตร ประมาณวันละ 120 ถัง ส่วนราคาที่ใช้ในการผลิตเท่ากับ 2 บาท และ 6 บาทสำหรับการผลิตน้ำขวดเล็กและการผลิตน้ำถึงใหญ่ ตามลำดับ ราคาทั้งหมดที่คำนวณได้ต่อวัน (คิดการคำนวณทั้งหมดจากจำนวนของน้ำขนาดขวดเล็กและถึงใหญ่เท่ากับ 4,320 บาทต่อวัน สำหรับกระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มผลิตจนถึงล้างระบบโดยเฉลี่ย 6 วันต่อครั้ง สมมุติมีการผลิตน้ำทุกวันดังนั้นปริมาณน้ำดื่มที่ผลิตได้ก่อนที่ระบบจะถูกล้างประมาณ 24,660 ลิตร โดยค่าใช้จ่ายในการล้างระบบประมาณ 200 บาทต่อเดือน ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่ดำเนินการล้างระบบค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้คือการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์เพื่อล้างสารเรซินประจุบวกและการใช้กรดไฮโดรคลอริกประมาณ 10% เพื่อล้างสารเรซินประจุลบ การล้างน้ำเพื่อไล่สิ่งตกค้างบนสารเมกานีสและถ่านกัมมันต์ ค่าใช้จ่ายต่อเดือนประกอบด้วยค่าไฟฟ้าประมาณ 500 บาท ค่าแรงงานประมาณ 7,700 บาท และค่าน้ำมันสำหรับการขนส่งประมาณ 3,000 – 5,000 บาท ส่วนการเปลี่ยนไส้กรองเซรามิกสำหรับการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันประมาณ 3 เดือนต่อหนึ่งครั้ง ส่วนการเติมสารคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 3 วันต่อครั้งในช่วงฤดูฝน ส่วนหน้าแล้งประมาณ 7 – 15 วันต่อครั้ง

#### 4.5 ข้อวิจารณ์การทดลอง

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มเบื้องต้นสำหรับอุตสาหกรรมชุมชนเพื่อให้คุณภาพน้ำดื่มได้มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้สามารถให้แนวทางการออกแบบในการทำวิจัย โดยเฉพาะการแบ่งการทดสอบออกเป็นสองหัวข้อใหญ่ ๆ คือการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องและการทดสอบแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการผลิตน้ำดื่ม อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้ทดสอบถึงกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอนของการผลิตน้ำดื่ม เช่นการทดสอบการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน และการใช้แสงยูวีเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำดื่มนี้ได้มาตรฐานน้ำดื่ม ดังนั้นการออกแบบงานวิจัยเพื่อทราบถึงคุณลักษณะเบื้องต้นของ

คุณภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญเพื่อเน้นการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำดื่มที่ยังไม่ได้มาตรฐานตามที่กฎหมายได้กำหนด และลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบ ดังนั้นการทราบถึงผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นยังส่งผลต่อการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีการทดสอบสารทั้งสี่ชนิดเช่นสารแอมโมเนียส ถ่านกัมมันต์ สารเรซินประจุบวก และสารเรซินประจุลบ การทดสอบสารทั้งสี่ชนิดทำให้ทราบถึงประโยชน์และประสิทธิภาพของสารเหล่านี้ในการกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำตัวอย่าง นอกจากนี้การออกแบบการทดสอบแบบต่อเนื่องยังเป็นผลของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องโดยเน้นถึงคุณภาพน้ำที่ยังไม่ได้มาตรฐานเช่นการกำจัดไนเตรดในน้ำโดยใช้สารเรซินประจุลบ อย่างไรก็ตามการกำจัดไนเตรดสามารถกำจัดได้ดีหลังสารเรซินประจุได้ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อนที่จะนำมาใช้ในการกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์น้ำหลังผ่านกระบวนการผลิตน้ำเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพน้ำดื่มและแนวทางแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะแผนการดำเนินระบบและการล้างระบบเพื่อลดปัญหาคุณภาพน้ำที่ยังไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้งการออกแบบปริมาณน้ำที่ต้องผ่านกระบวนการผลิตก่อนที่จะมีการล้างระบบอีกครั้งก่อนนำกลับมาใช้งานได้อีก ส่วนการใช้สารเคมีที่นำมาล้างระบบควรมีข้อระมัดระวังถึงการใช้และการล้างก่อนที่จะดำเนินการผลิตน้ำดื่มเพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมของสารเคมีที่ใช้ล้างระบบ

คืบเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่ประกอบด้วยหลายชั้นคอนสำหรับการผลิตน้ำดื่ม ภาพที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแล ตารางที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ของระบบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแล น้ำใต้ดินซึ่งเป็นน้ำดิบถูกสูบขึ้นมาเพื่อพักน้ำไว้ในถังพัก (reservoir) ก่อนที่จะปั๊มผ่านเข้าสู่ระบบเครื่องกรองแมงกานีส (manganese tank) ซึ่งเป็นถังเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40.6 เซนติเมตร (16 นิ้ว) ความสูงประมาณ 160 เซนติเมตร การใช้เครื่องกรองชนิดนี้สำหรับกำจัดสนิมเหล็กที่ปนเปื้อนมากับน้ำใต้ดิน โดยน้ำที่ผ่านระบบกรองแมงกานีสจะไหลผ่านเข้าสู่เครื่องกรองคาร์บอนเพื่อกำจัดกลิ่น สี และสารอินทรีย์ที่เจือปนมากับน้ำดิบ น้ำที่ผ่านระบบเครื่องกรองคาร์บอนแล้วจะผ่านเข้าสู่ระบบเครื่องกรองแบบเรซินประจุบวกที่เดิมใช้เครื่องกรองชนิดนี้จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้กำจัดหินปูนหรือน้ำที่มีความกระด้างค่อนข้างมากที่มีส่วนประกอบของค่าแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีประจุสองบวก อย่างไรก็ตามระบบของชุมชนลับแลที่ใช้อยู่ใน

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ของระบบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแล

Unit	Quantity
ถังพักน้ำ (reservoir)	3
ปั๊มน้ำ (pump)	1
Manganese tank (φ 0.4 m , height 1.6 m)	1
Carbon tank (φ 0.4 m , height 1.6 m)	1
Cation exchange resin tank (φ 0.4 m , height 1.6 m)	1
Anion exchange resin tank (φ 0.4 m , height 1.6 m)	1
ขนาดกรอง 1 μm filter	2
กรองเซรามิก 1 μm Ceramic membrane filter	1
หลอดยูวี UV light	1
Package	2 (20-liter container and 750-ml bottle)



ปัจจุบันได้ปรับเปลี่ยนจากเครื่องกรองแบบเรซินประจุบวกจำนวน 2 ตัว เหลือเพียงหนึ่งตัว โดยได้บรรจุเครื่องกรองระบบเรซินประจุลบจำนวนหนึ่งตัวแทนเพื่อใช้ในการกำจัดค่าไอออนที่มีประจุลบ เช่น ไนเตรต ซัลเฟต ฟอสเฟต และคลอไรด์ โดยการแลกเปลี่ยนประจุลบระหว่างประจุลบในสารละลายและประจุลบในสารเรซินขณะที่สารละลายไหลผ่านซึ่งสารเหล่านี้มีส่วนสำคัญที่ต้องถูกกำจัดเพื่อให้ค่าอยู่ในมาตรฐานน้ำดื่มตามที่กฎหมายได้กำหนด น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้นจะผ่านเข้าสู่ระบบกรองหยาบขนาด 1 ไมโครเมตร เพื่อกำจัดตะกอนที่อาจจะผ่านจากระบบกรองเบื้องต้น โดยจำนวนกรองที่ใช้จำนวนสองตัว เพื่อลดอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบกรอง น้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบกรองหยาบแล้วจะไหลเข้าสู่ระบบกรองแบคทีเรียโดยใช้เซลามิกเมมเบรนขนาด 1 ไมโครเมตร โดยมีความดันประมาณ 30 psi ในการดำเนินการกรอง โดยเซลามิกเมมเบรนสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่ายในกรณีที่มีการอุดตัน ในกรณีที่เชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ได้ถูกกำจัดโดยการกรองแบบเซลามิกเมมเบรน เชื้อจุลินทรีย์บางส่วนอาจผ่านเข้าสู่ระบบ ดังนั้นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์อีกครั้งทำได้โดยน้ำที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วจะถูกส่งต่อเข้าสู่เครื่องฆ่าเชื้อด้วยแสงอุลตราไวโอเลตก่อนน้ำจะเข้าสู่ชุดบรรจุขวดและปิดผนึกและพร้อมที่จะจำหน่ายให้กับชุมชนต่อไป

#### 4.1.2 คุณลักษณะของน้ำดิบสำหรับชุมชนลับแล

น้ำใต้ดินซึ่งใช้เป็นน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำดื่มสำหรับชุมชนลับแล ตัวอย่างน้ำถูกนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตารางที่ 4.2 แสดงคุณภาพของน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำดื่มในชุมชนลับแล ตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างของวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2546 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าพีเอชประมาณ 6.12 ส่วนค่าความเป็นด่างประมาณ 85 mg/L  $\text{CaCO}_3$  ซึ่งค่าความเป็นด่างจะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) เนื่องจากค่าพีเอชที่วัดได้ คือ 6.12 อยู่ในช่วงที่สามารถพบในรูปของไบคาร์บอเนตเมื่อเทียบกับกรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) ซึ่งจะพบมากที่สุดที่ค่าพีเอชค่าประมาณ 4.3 และคาร์บอเนตไอออน ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ที่พบในช่วงค่าพีเอชมีค่าสูงประมาณ 11 ดังนั้นตัวอย่างน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตซึ่งปริมาณก็ไม่สูงมากนัก ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่รวมประจุของไอออนทั้งหมดมีค่าประมาณ 455  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ก่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับแหล่งน้ำดิบจากน้ำผิวดิน เช่นน้ำหนองอีเจม ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งมีค่าประมาณ 31.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ข้อมูลจากการวัดปี 2546) เนื่องจากองค์ประกอบของค่าประจุบวก เช่น เหล็ก แมงกานีส แคลเซียมและแมกนีเซียม ส่วนค่าประจุลบอาจพบค่าไนเตรต ซัลเฟตและคลอไรด์ที่มีค่ามากในน้ำใต้ดินเมื่อเทียบกับน้ำผิวดิน ส่วนค่าความขุ่นที่เกิดจากสารแขวนลอยหรือบางส่วนได้จากคอลลอยด์ (colloids) ที่ยากต่อการตกตะกอน อย่างไรก็ตามปริมาณที่วัดได้ก็มีค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผิวดินของหนองอีเจมมีค่าประมาณ 6.58 NTU (ข้อมูลจากการวัดปี 2546) ค่าความขุ่นที่ค่อนข้างต่ำทำให้ลดปัญหาเรื่องการตกตะกอนและอุดตันในขั้นตอนต่าง ๆ สำหรับการผลิตน้ำดื่ม ส่วนความขุ่นที่เป็นเกณฑ์

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำดื่มในชุมชนลับแล

ดัชนีชี้วัด (Parameter)	หน่วยที่วัด	ค่าที่วัดได้
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.12
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	85
ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)	μS/cm	455
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	1.20
UV <sub>254 nm</sub>	cm <sup>-1</sup>	0.032
สารอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon, TOC)	mg/L	1.11
UV/TOC	L/mg. m	2.9
คลอไรด์ (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	48.5
ความกระด้าง (Hardness)	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	143.3
แคลเซียม (Calcium)	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	89
แมกนีเซียม (Magnesium)	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	54.3
เหล็ก (Iron)	mg/L	0.043
แมงกานีส (Manganese)	mg/L	0.390
ไนเตรด (Nitrate)	mg/L	19.64
ซัลเฟต (Sulfate)	mg/L	323
ฟีคอล โคลิฟอร์ม (Fecal Coliform)	MPN/100 ml	< 2

ตัวอย่างน้ำวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2546

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคมีค่าเท่ากับ 5 NTU สำหรับค่าสารละลายอินทรีย์ทั้งหมดโดยทั่วไปประกอบด้วยกรดฮิวมิก (humic acid) และฟุลวิก (fulvic acid) สามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนทำให้เกิดสารก่อมะเร็งเช่น Trihalomethane (chloroform, dibromochloromethane, dichloro-bromomethane, bromoform) โดยค่าสารอินทรีย์ที่วัดได้ประมาณ 1.11 mg/L ซึ่งถือว่ามิต่ำน้อย ค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แสงยูวีมีค่าเท่ากับ 0.032 cm<sup>-1</sup> แสดงผลการดูดกลืนแสงที่มีต่อ double bond ของ benzene ring ในโครงสร้างของสารอินทรีย์ อัตราส่วนของค่า UV/TOC แสดงค่าไม่สูงนัก โดยทั่วไปอัตราส่วนของค่า UV/TOC ที่มีค่าสูงแสดงถึงสารละลายอินทรีย์มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำ ในทำนองกลับกันอัตราส่วนของค่า UV/TOC ที่มีค่าต่ำแสดงคุณสมบัติของสารอินทรีย์แบบไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ที่ง่ายต่อการละลายน้ำ



คลอไรด์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญโดยแสดงถึงปริมาณของสารเกลือแร่ในน้ำ ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท มีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแหล่งน้ำดิบนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำดื่มประมาณ 48.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าคลอไรด์ที่มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานแสดงผลต่อสภาพน้ำทำให้เกิดรสเค็ม ส่วนความกระด้างของน้ำเกิดจากประจุที่มากกว่าหนึ่งประจุเช่นแคลเซียมและแมกนีเซียม ตัวอย่างน้ำที่ได้นี้มีค่าประมาณ 143.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ซึ่งเป็นน้ำที่มีความกระด้างปานกลางที่อยู่ในช่วง 75 - 150 mg/L as CaCO<sub>3</sub> น้ำกระด้างที่มีค่าน้อยหรือเป็นน้ำอ่อนมีค่าประมาณ 0 - 75 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ค่าน้ำกระด้างที่มีค่ามากจะอยู่ในช่วง 150 - 300 mg/L as CaCO<sub>3</sub> และค่าความกระด้างที่มากกว่า 300 mg/L as CaCO<sub>3</sub> แสดงความเป็นน้ำที่มีความกระด้างสูงมาก ส่วนเกณฑ์มาตรฐานของน้ำดื่มกำหนดค่าความกระด้างไว้ไม่เกิน 100 mg/L as CaCO<sub>3</sub> สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียมที่วัดได้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของค่าความกระด้างมีค่าเท่ากับ 89 และ 54.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้มีค่าไม่สูงนักและอยู่ในช่วงอนุโลมของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคโดยกำหนดไว้เท่ากับ 200 mg/L as CaCO<sub>3</sub> และ 150 mg/L as CaCO<sub>3</sub> สำหรับค่ามาตรฐานของแคลเซียมและแมกนีเซียม ตามลำดับ การที่องค์ประกอบของความกระด้างมีค่าต่ำทำให้เกิดผลดีต่อกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยเฉพาะการยืดระยะเวลาที่ใช้สำหรับการใช้เรซินแบบประจุบวก

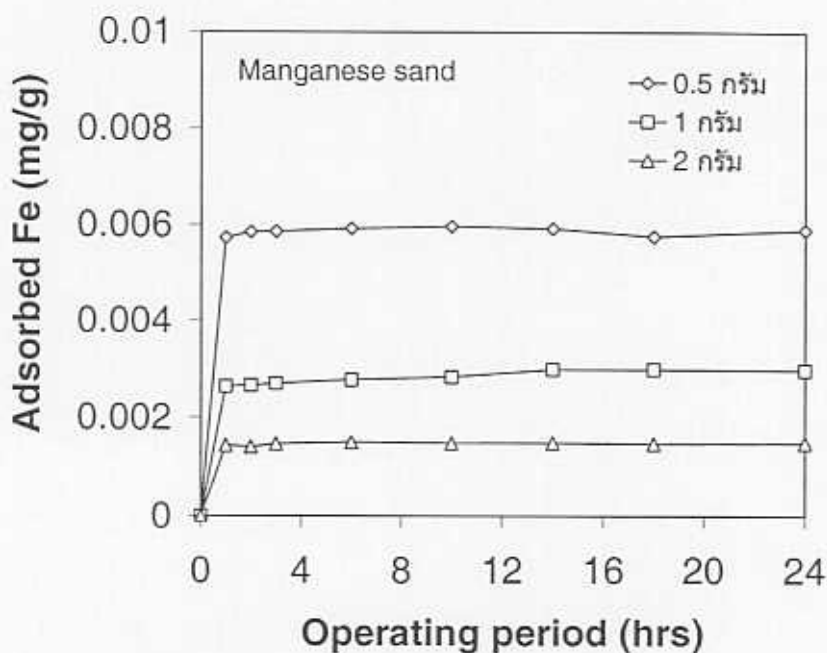
ค่าเหล็กและแมงกานีสซึ่งส่วนใหญ่จะพบในน้ำใต้ดิน สำหรับน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล มีสารเหล็กและแมงกานีสค่อนข้างต่ำประมาณ 0.043 และ 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สำหรับธาตุเหล็กค่ามาตรฐานสูงสุดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคกำหนดไว้ที่ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าแมงกานีสตามมาตรฐานสูงสุดกำหนดไว้ที่ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้ำตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานสูงสุดแต่อยู่ในช่วงที่อนุโลมได้คือประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สารที่พบในน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแลและมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ได้แก่ ไนเตรตและซัลเฟต โดยที่ความเข้มข้นของไนเตรตและซัลเฟตสำหรับตัวอย่างน้ำชุมชนโดยประมาณ 19.64 และ 323 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสมไว้ที่ 4 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้นของไนเตรตและซัลเฟต ตามลำดับ

## 4.2 ผลและการวิเคราะห์การทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง

### 4.2.1 การกำจัดเหล็กและแมงกานีสโดยใช้สารแมงกานีส

สารเหล็กและแมงกานีสถูกกำจัดโดยผ่านสารแมงกานีสที่ถูกบรรจุในคอลัมน์เพื่อผลิตน้ำดื่ม การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องหรือ batch test เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของสารเหล็ก

และแมงกานีสโดยใช้สารแมงกานีส โดยทดสอบสารเหล็กนี้จากน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของเหล็กค่อนข้างต่ำประมาณ 0.043 มิลลิกรัมต่อลิตร และเป็นระดับความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่าอยู่ภายใต้มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มที่กำหนดไว้ประมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสารเหล็กตามปริมาณสารแมงกานีสแสดงได้ในภาพที่ 4.2 จากกราฟพบว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารแมงกานีสส่งผลต่อการ



ภาพที่ 4.2 ความสามารถในการกำจัดเหล็กตามปริมาณของสารแมงกานีส

ลดลงของความสามารถในการกำจัดสารเหล็ก ความสามารถในการกำจัดสารเหล็ก (adsorbed Fe) คำนวณได้ในสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Adsorbed Fe} = \frac{(C_{\text{iron},o} - C_{\text{iron},e}) \times V_{\text{sample}}}{W_{\text{manganese},s}}$$

โดยที่ค่า  $C_{\text{iron},o}$  เท่ากับความเข้มข้นของสารเหล็กเริ่มต้น

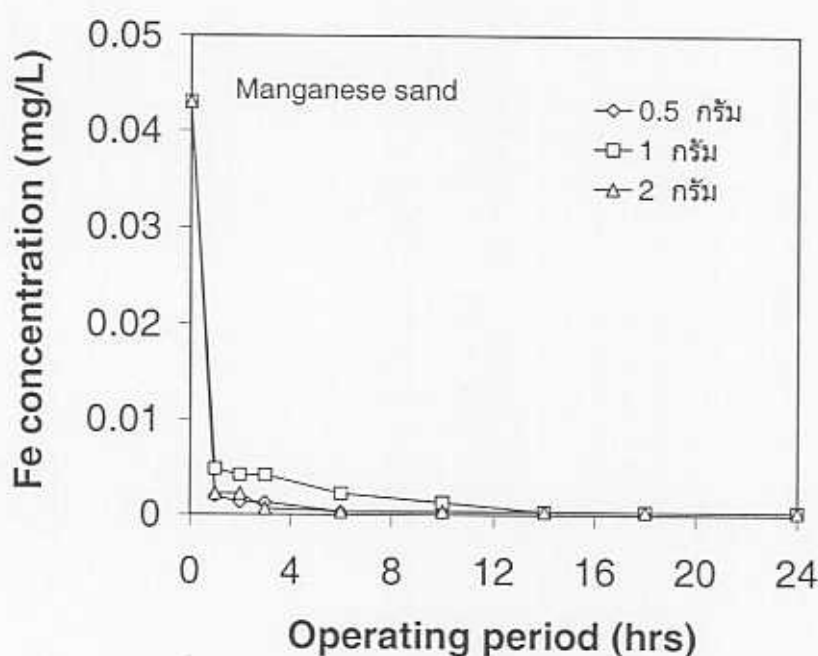
$C_{\text{iron},e}$  เท่ากับความเข้มข้นของสารเหล็ก ณ เวลาใด ๆ

$V_{\text{sample}}$  เท่ากับปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้

$W_{\text{manganese},s}$  เท่ากับปริมาณของสารแมงกานีสที่ใช้

จากกราฟพบว่าช่วงแรกของการทดสอบ โดยเฉลี่ยน้อยกว่าหกชั่วโมงค่าความสามารถในการกำจัดสารเหล็กยังมีค่าไม่คงที่ หลังจากหกชั่วโมงค่าความสามารถในการกำจัดเหล็กมีค่าค่อนข้างคงที่ ความสามารถในการกำจัดสารเหล็กโดยสารแมงกานีสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0059

มิลลิกรัมต่อกรัม 0.0029 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.0015 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับสารแมงกานีส 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ ค่าความสามารถการกำจัดสารเหล็กมีค่าน้อยเนื่องจากความเข้มข้นของสารเหล็กมีค่าน้อยในน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแล ปริมาณสารที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลมากต่อความเข้มข้นที่ลดลงของเหล็กในน้ำตัวอย่าง ภาพที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของเหล็กตามปริมาณของสารแมงกานีส จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของเหล็กลดลงอย่างมากในหนึ่งชั่วโมงแรกของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง หลังจากนั้นค่าการลดลงของความเข้มข้นของเหล็กมีค่าน้อยลงและมีความเข้มข้นน้อยที่สุดที่เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงมีค่าประมาณ 0.0003 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ปริมาณของสารแมงกานีสไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของสารเหล็กดังแสดงในรูปกราฟ



ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของเหล็กตามปริมาณของสารแมงกานีส

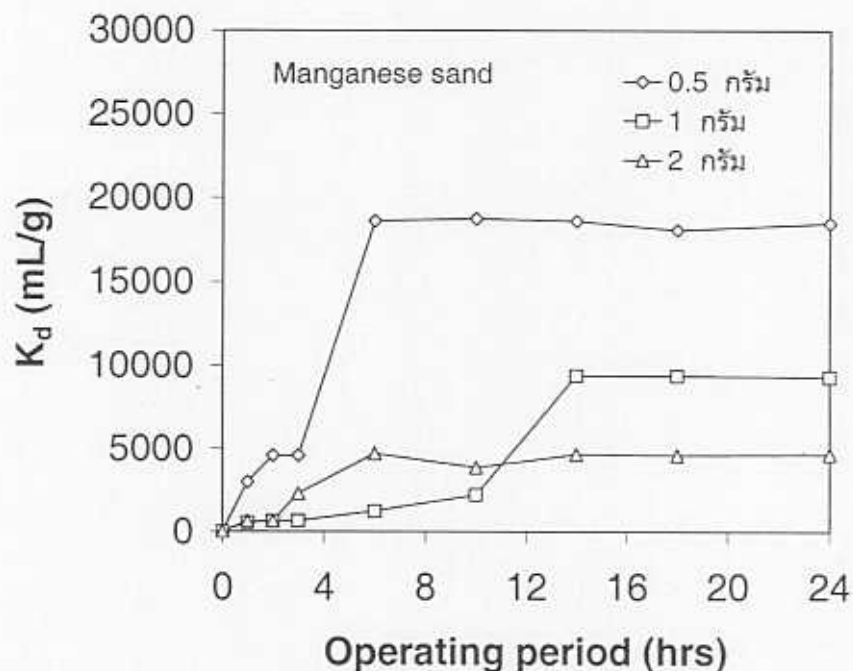
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเหล็กโดยใช้สารแมงกานีส ผลการวิเคราะห์พบว่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าสูงสำหรับการจับตัวของสารเหล็กโดยสารแมงกานีส ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายโดยเฉลี่ยประมาณ 18,519 มิลลิกรัมต่อกรัม 6,324 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 4,512 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารแมงกานีส 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ การวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าสูงเนื่องจากความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่าน้อยทำให้เกิดการจับตัวของเหล็กมีค่าสูง โดยสังเกตจากการจับตัวของเหล็กอย่างรวดเร็วในน้ำตัวอย่างของชุมชนลับแลในช่วงหนึ่งชั่วโมงของการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง ค่าสัมประสิทธิ์การ

กระจายของสารแมงกานีสที่ 0.5 กรัมมีค่าสูง และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าคงที่หลังการทดสอบที่เวลาหกชั่วโมง ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ปริมาณสารแมงกานีสที่ 1 กรัม โดยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจะมีค่าคงที่หลังจากเวลาที่ 14 ชั่วโมง อาจเนื่องจากความเข้มข้นของสารเหล็ก ( $C_{iron,e}$ ) ที่ยังไม่คงที่นัก และมีผลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient) เกิดจากการใช้ความเข้มข้นของสารเหล็กหลังเวลาที่วัดได้เป็นตัวหารซึ่งจะแตกต่างจากสมการความสามารถในการกำจัดสารเหล็ก สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายแสดงได้ดังนี้

$$K_{d,iron} = \frac{(C_{iron,o} - C_{iron,e})}{C_{iron,e}} \times \frac{V_{sample}}{W_{manganese,s}}$$

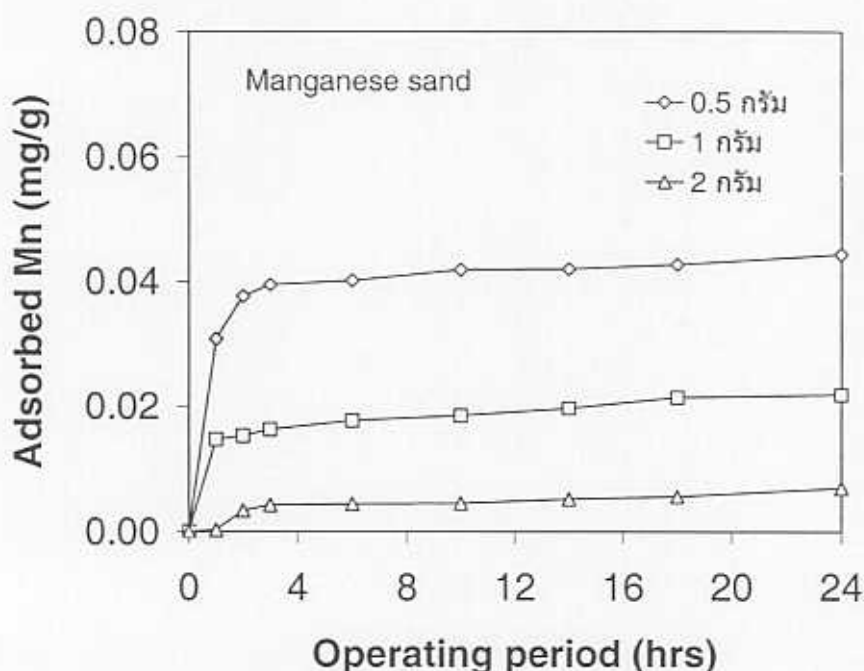
โดยที่  $K_{d,iron}$  เท่ากับสัมประสิทธิ์การกระจายของเหล็ก มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกรัม (mL/g)



ภาพที่ 4.4 สัมประสิทธิ์การกระจายของเหล็กโดยสารแมงกานีส

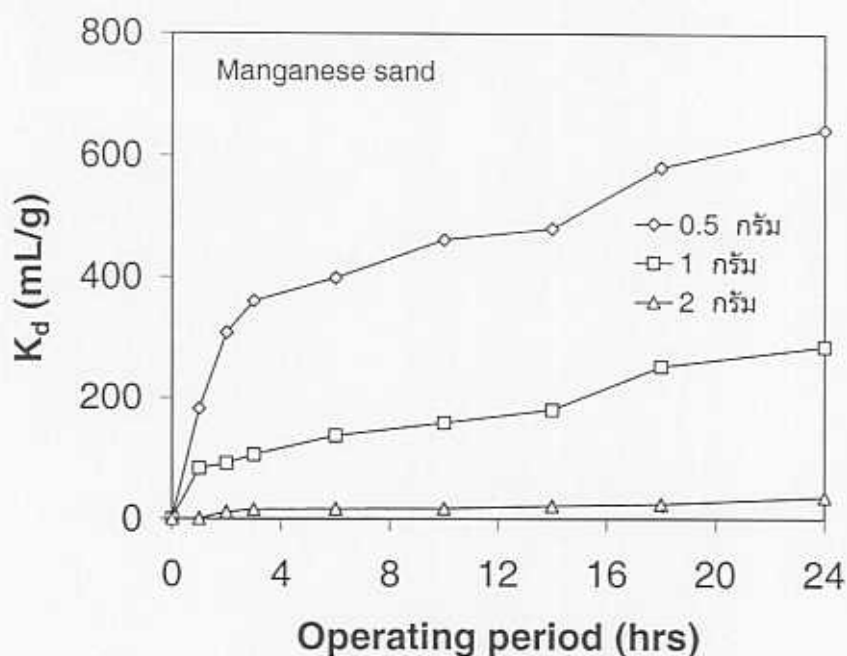
ภาพที่ 4.5 แสดงความสามารถในการกำจัดแมงกานีสตามปริมาณของสารแมงกานีส จากกราฟพบว่าความสามารถในการกำจัดแมงกานีสมีค่าสูงที่ปริมาณสารแมงกานีสที่น้อยประมาณ 0.5 กรัมเมื่อเทียบกับปริมาณสารแมงกานีสที่ 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ การคำนวณค่าการกำจัด

หรือการดูดซับสารแมงกานีสสามารถหาได้เหมือนสมการความสามารถในการกำจัดของเหล็ก จะสังเกตว่าค่าการกำจัดแมงกานีสจะมีค่าสูงช่วงแรกของระยะเวลาการดำเนินระบบ หลังจากหกชั่วโมงของระยะเวลาการทดลองค่าการดูดซับเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าการดูดซับแมงกานีสโดยใช้



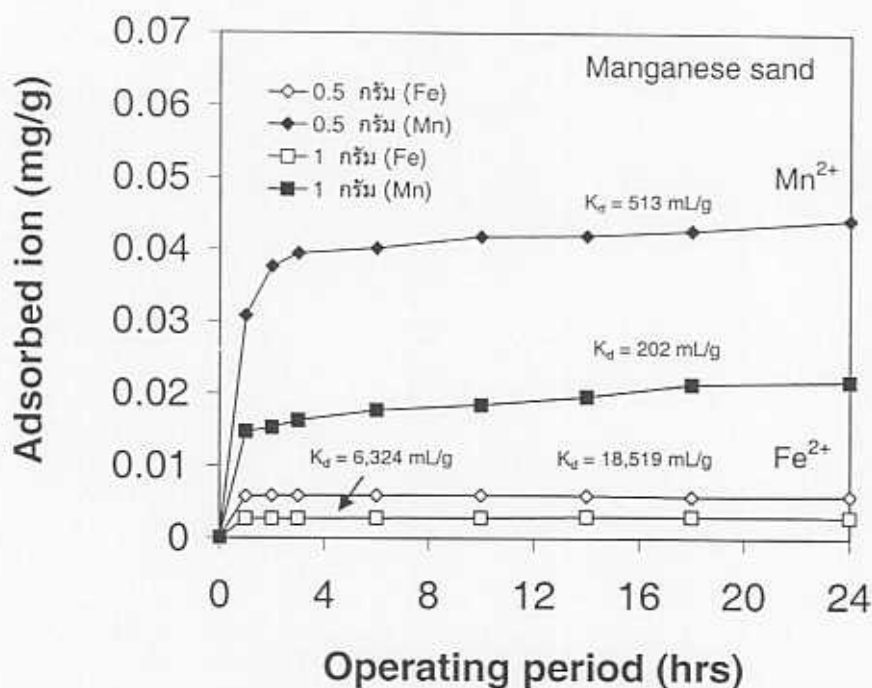
ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการกำจัดแมงกานีสตามปริมาณของสารแมงกานีส

รูปที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมงกานีสโดยใช้สารแมงกานีส ผลการวิเคราะห์พบว่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าผกผันกับปริมาณสารแมงกานีส โดยที่สารแมงกานีสที่สารแมงกานีสมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.042 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.0053 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารแมงกานีสที่ 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ ใช้มีปริมาณน้อยให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่สูง เช่นเดียวกับแนวโน้มที่ได้จากการดูดซับแมงกานีส ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมงกานีสหลังจากเวลาหกชั่วโมงของการดูดซับมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 513 มิลลิกรัมต่อกรัม 202 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 23 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารแมงกานีส 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การกระจายของแมงกานีสโดยใช้สารแมงกานีส

ภาพที่ 4.7 แสดงความสามารถในการกำจัดของไอออนโดยสารแมงกานีส จากกราฟพบว่าค่าการดูดซับแมงกานีสมีค่าสูงกว่าค่าการดูดซับเหล็กโดยสารแมงกานีส อาจเป็นผลเนื่องมาจากความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำตัวอย่าง ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของแมงกานีสมีค่ามากกว่าเหล็กทำให้ค่าความสามารถการจับตัวของแมงกานีสมีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการจับตัวของเหล็ก อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเหล็กที่คำนวณได้มีค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมงกานีสเนื่องจากผลของความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่าน้อยและใช้เป็นตัวหารในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเหล็กส่งผลให้ค่าที่ได้มีค่าสูง ซึ่งก็สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กโดยสารแมงกานีสโดยเฉลี่ยประมาณ 98.8% ส่วนการกำจัดแมงกานีสโดยสารแมงกานีสมีค่าน้อยกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 63.7% โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดสารแมงกานีสมีค่าน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณสารแมงกานีสมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องเป็นการกระทำภายใต้ระบบปิดไม่มีส่วนของเหล็กหรือแมงกานีสทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เป็นตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพของเหล็กและแมงกานีสเป็น  $\text{Fe(OH)}_3$  และ  $\text{MnO}_2$  และถูกจับไว้โดยสารแมงกานีส ดังนั้นแมงกานีสที่จับตัวได้ไม่ดีเท่าเหล็กจึงปรากฏความเข้มข้นของแมงกานีสที่เหลือมากกว่า (ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำ) ในสารละลายตัวอย่างตามระยะเวลาของการทดสอบ



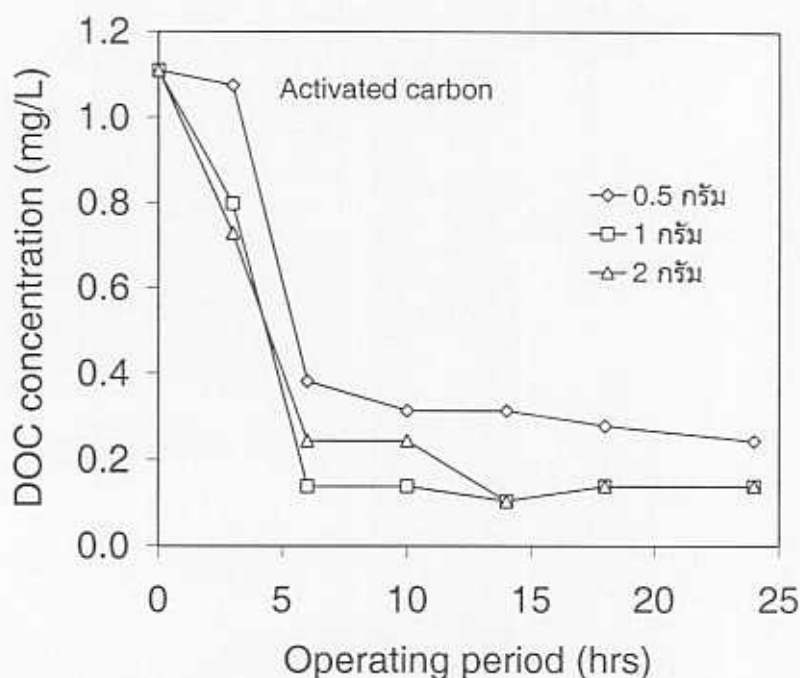
ภาพที่ 4.7 ความสามารถในการจับตัวของไอออนโดยใช้สารเมงกานีส

#### 4.2.2 การกำจัดสารอินทรีย์โดยแอคทีเวตเต็ดคาร์บอน (activated carbon)

การทดสอบถ่านกัมมันต์หรือแอคทีเวตเต็ดคาร์บอน (activated carbon) เพื่อกำจัดสารละลายอินทรีย์ในน้ำ การวิเคราะห์คาร์บอนทำได้โดยใช้เครื่องวัดสารละลายอินทรีย์ทั้งหมด (total organic carbon) และค่าการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 254 nm ภาพที่ 4.8 แสดงผลของความเข้มข้นคาร์บอนของสารละลายอินทรีย์ตามน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ จากการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นคาร์บอนของสารละลายอินทรีย์ลดลงตามปริมาณน้ำหนักของถ่านคาร์บอน เนื่องจากผลของการดูดซับสารอินทรีย์บนผิวของถ่านกัมมันต์ ที่น้ำหนักกรัมของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 กรัม พบว่าความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ 1 กรัมและ 2 กรัมตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่น้ำหนักของสารคาร์บอนเท่ากับ 0.5 กรัม ให้ค่าลดลงและยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ที่เวลาเท่ากับ 24 ชั่วโมง จะสังเกตได้ว่าที่ปริมาณน้ำหนักมากขึ้น (ที่ปริมาณน้ำหนัก 1 กรัมและ 2 กรัม) ส่งผลต่อการดูดซับของสารละลายอินทรีย์บนผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะในช่วงแรกของการดำเนินระบบ ทำให้ค่าความเข้มข้นคาร์บอนของสารอินทรีย์ลดลงเร็วขึ้นดังแสดงในกราฟ ผลการทดสอบจะแตกต่างกับการลดลงของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายที่ปริมาณน้ำหนักเท่ากับ 0.5 กรัม นอกจากนี้ความเข้มข้นคาร์บอนของสารละลายอินทรีย์มีค่าไม่แตกต่างกันนัก สำหรับปริมาณน้ำหนัก 1 กรัมและ 2



กรัม โดยเฉพาะช่วง 14 ชั่วโมงหลังการทดสอบ อาจเป็นผลเนื่องจากการดูดซับเข้าสู่สภาวะคงที่เนื่องจากผลการดูดซับของสารละลายอินทรีย์บนผิวของถ่านกัมมันต์ ส่วนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยประมาณ 74.2% 88.2% และ 88.5% ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของถ่านกัมมันต์จาก 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ความเข้มข้นคาร์บอนของสารละลายอินทรีย์ตามน้ำหนักของถ่านกัมมันต์

การทดสอบค่าการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ สามารถคำนวณได้จากค่าปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยน้ำหนักของสารคาร์บอน ( $q$ ) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$q = \frac{(C_{DOC,o} - C_{DOC,e}) \times V_{sample}}{W_{carbon,s}}$$

โดยที่

$C_{DOC,o}$  เท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ละลาย (mg/L)

$C_{DOC,e}$  เท่ากับความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์หลังการดูดซับ ณ เวลาใด ๆ (mg/L)

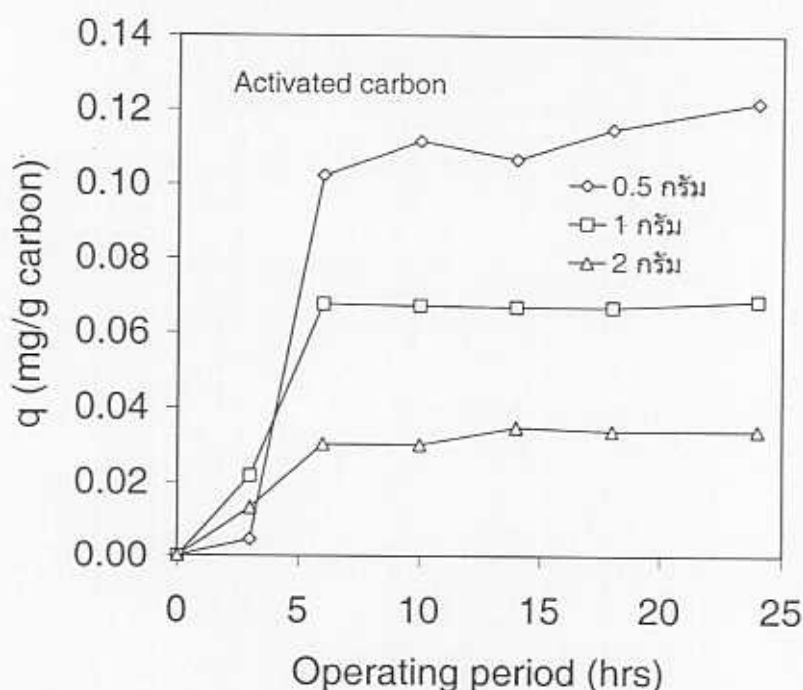
$V_{sample}$  เท่ากับปริมาตรของสารที่ใช้ในการทดลอง (~ 70 mL)

$W_{carbon,s}$  เท่ากับน้ำหนักที่ชั่งได้ของถ่านกัมมันต์หรือคาร์บอน (g)



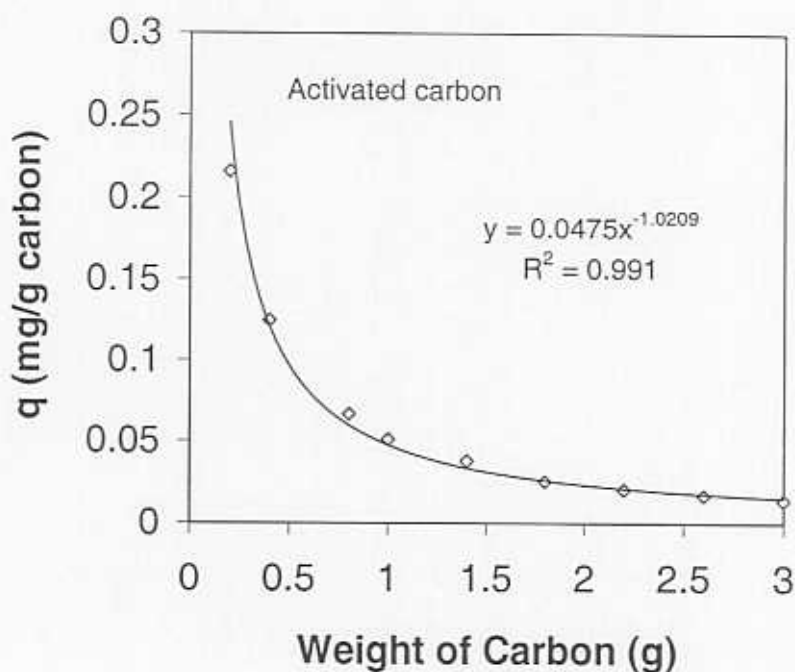
เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์เริ่มต้นสำหรับน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าไม่สูงนัก ประกอบกับการทดลองได้ใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก การทดสอบพบว่าปริมาณการลดลงของสารอินทรีย์ในรูปของคาร์บอนทั้งหมดคูณกับปริมาตรของน้ำ ตัวอย่างที่ใช้แสดงถึงมวลของคาร์บอนในสารละลายอินทรีย์ที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านคาร์บอน ซึ่งแสดงได้ในส่วนบนของสมการข้างต้น ดังนั้นการคำนวณปริมาณของคาร์บอนที่ถูกดูดซับต่อหน่วย น้ำหนักของถ่านกัมมันต์หาได้จากการใช้น้ำหนักทั้งหมดของถ่านกัมมันต์เป็นตัวหาร

ภาพที่ 4.9 แสดงปริมาณการดูดซับของสารละลายอินทรีย์บนถ่านกัมมันต์ตามระยะเวลา การทดสอบ จากกราฟจะพบว่าค่าการดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารคาร์บอนมีค่าจากมากไปน้อย ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับมีค่าลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.112 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.067 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.033 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของถ่านกัมมันต์ จาก 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ 0.5 กรัมค่าการดูดซับหลัง 14 ชั่วโมงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการดูดซับของถ่านกัมมันต์ยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ภายในเวลาที่ใช้ในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนค่าการดูดซับที่ 1 กรัมและ 2 กรัมมีค่าค่อนข้างคงที่หลังการทดสอบที่ 14 ชั่วโมงเป็นต้นไป เนื่องจากการดูดซับของสารอินทรีย์บนผิวของถ่านคาร์บอนเข้าสู่สภาวะคงที่ จากการทดลองจะสังเกตว่าค่าการดูดซับของสารอินทรีย์ต่อ น้ำหนักของถ่านคาร์บอนมีค่าน้อยลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงน้ำหนักของถ่านคาร์บอนมีส่วน ที่สำคัญที่ส่งผลต่อค่าการดูดซับของสารอินทรีย์บนผิวของถ่านคาร์บอน



ภาพที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับของสารอินทรีย์ตามระยะเวลาการทดสอบ

ภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณการดูดซับของสารอินทรีย์ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 4.10 ปริมาณการดูดซับของสารอินทรีย์ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์

จากกราฟจะสังเกตว่าการเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์ส่งผลต่อการลดลงของค่าการดูดซับของสารอินทรีย์ที่มีต่อถ่านกัมมันต์ เนื่องจากปริมาณของสารละลายอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีค่าน้อย สัดส่วนการลดลงของคาร์บอนที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่มีค่ามากขึ้น ดังนั้นน้ำหนักของถ่านกัมมันต์จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการคำนวณค่าการดูดซับของสารอินทรีย์บนของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นตัวหารในการคำนวณค่าการดูดซับของสารละลายอินทรีย์ สังเกตจากค่า  $W_{carbon,s}$  ที่ถูกแสดงในสมการการคำนวณค่าการดูดซับของสารละลายอินทรีย์

สมการที่ใช้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์และปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ แสดงได้ดังนี้

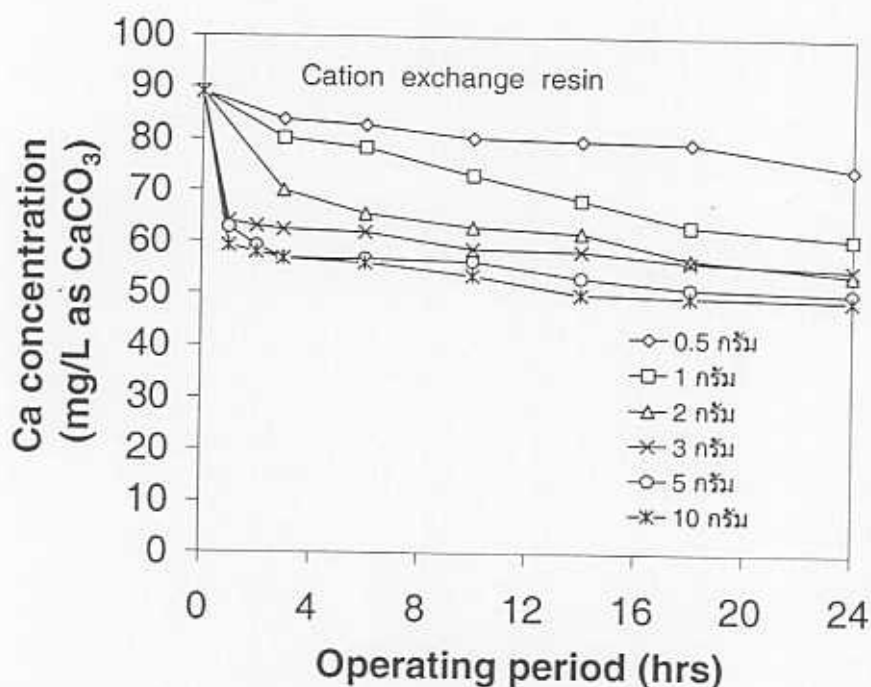
$$q = 0.0475 \times W_{carbon,s}^{-1.0209} ; r^2 = 0.991$$

โดยที่โดยสมการนี้แสดงมีค่าความสัมพันธ์ที่สูง ( $r^2 = 0.991$ ) ค่า  $W_{carbon,s}$  เท่ากับน้ำหนักที่ชั่งได้ของถ่านกัมมันต์หรือคาร์บอน (g) ค่าปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับบนผิวของ

ถ่านกัมมันต์คือหน่วยน้ำหนักของสารคาร์บอน เขียนเป็นสัญลักษณ์เป็น  $q$  น้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำตัวอย่างจากชุมชนลับแล อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

#### 4.2.3 การกำจัดแคลเซียม แมกนีเซียมและความกระด้างโดยใช้สารเรซินประจุบวก

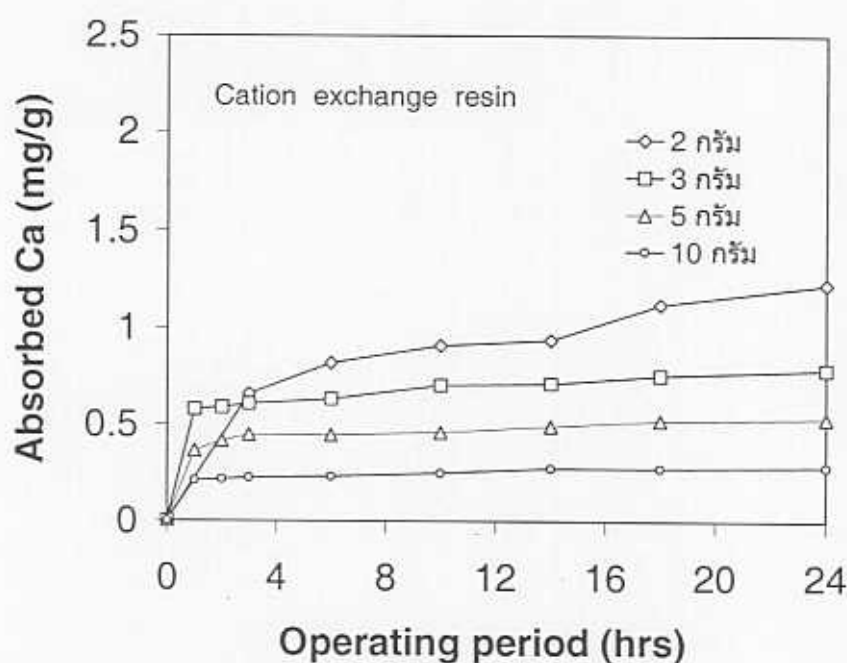
แคลเซียมเป็นสารพบในน้ำตัวอย่างและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดน้ำกระด้าง ดังนั้นในการผลิตน้ำดื่มจึงจำเป็นต้องเป็นกระบวนการในการกำจัดความกระด้างของน้ำ เช่นการแลกเปลี่ยนไอออนของประจุบวกโดยใช้เรซิน (cation exchange resin) เป็นการแลกเปลี่ยนประจุบวกของประจุสองบวกของแคลเซียมกับประจุหนึ่งบวกของโซเดียมที่อยู่ในตัวเรซิน ภาพที่ 4.11 แสดงความเข้มข้นของแคลเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก จากกราฟน้ำหนักของสารเรซินประจุบวกที่ใช้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องมีค่าจาก 0.5 กรัม 1 กรัม 2 กรัม 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนักของเรซินประจุบวกมีค่ามากขึ้น ความเข้มข้นต่ำสุดของแคลเซียมที่วัดได้ประมาณ  $49.2 \text{ mg/L as CaCO}_3$  (สำหรับการทดสอบที่ 24 ชั่วโมง) ที่น้ำหนักของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 10 กรัม ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมที่น้ำหนักของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 0.5 กรัม มีค่าประมาณ  $74.8 \text{ mg/L as CaCO}_3$  (สำหรับการทดสอบที่ 24 ชั่วโมง) ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนดไว้ประมาณ  $70 \text{ mg/L CaCO}_3$



ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้นของแคลเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก

จากกราฟจะสังเกตว่าค่าการลดลงของแคลเซียมเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรกของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง โดยเฉพาะการวัดค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในช่วงแรกของการทดสอบของน้ำหนักของสารเรซินประจุบวกจาก 3 กรัม ถึง 10 กรัม จากกราฟพบว่า การทดสอบที่น้ำหนักของสารเรซินประจุบวกมีค่าน้อยส่งผลต่อการลดลงอย่างช้าของความเข้มข้นของแคลเซียมในช่วง 24 ชั่วโมงของการทดสอบ แสดงถึงสภาวะที่ยังไม่สมดุลและความเข้มข้นของแคลเซียมอาจจะมีค่าลดลงอีกจนเข้าสู่สภาวะสมดุลหากขยายเวลาการทดสอบ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของแคลเซียมเข้าสู่สภาวะสมดุลสำหรับน้ำหนักของสารเรซินประจุบวกที่มีมากขึ้น (ที่ 5 กรัมและ 10 กรัมของสารเรซินประจุบวก) จะสังเกตความเข้มข้นของแคลเซียมมีค่าค่อนข้างคงที่หลังการทดสอบที่ 14 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.12 แสดงความสามารถการกำจัดแคลเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก ความสามารถในการกำจัดแคลเซียมคำนวณได้จากสมการการดูดซับของแคลเซียมกับสารเรซิน



ภาพที่ 4.12 ความสามารถในการกำจัดแคลเซียมตามระยะเวลาการทดสอบ

ประจุบวกโดยการแลกเปลี่ยนประจุบวก แสดงได้ดังนี้

$$\text{Adsorbed Ca} = \frac{(C_{Ca,0} - C_{Ca,e}) \times V_{\text{sample}}}{W_{\text{cation resin},s}}$$

โดยที่ค่า *Adsorbed Ca* เท่ากับความสามารถการกำจัดแคลเซียมโดยการแลกเปลี่ยนประจุ

$C_{Ca,0}$  เท่ากับความเข้มข้นของแคลเซียมเริ่มต้น

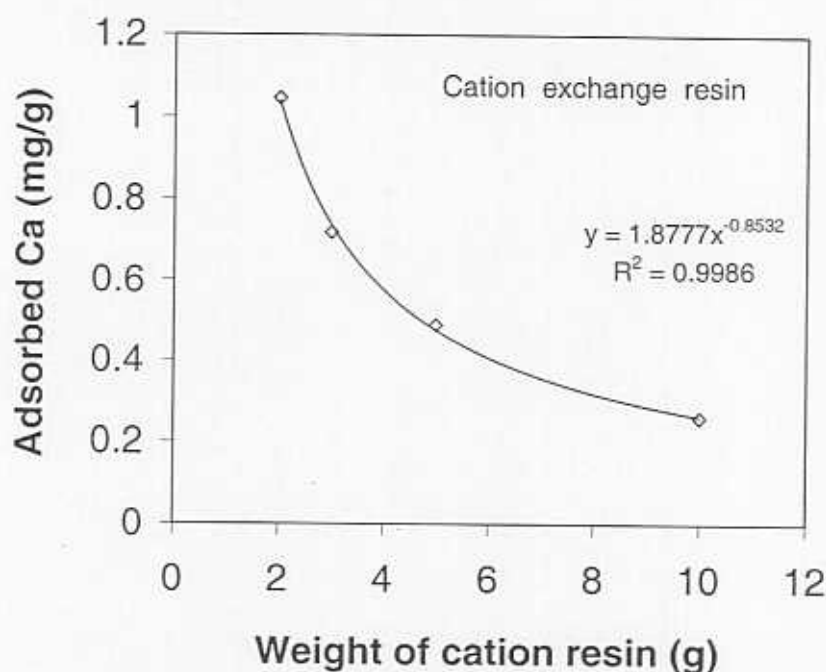
$C_{Ca,e}$  เท่ากับความเข้มข้นของแคลเซียม ณ เวลาใด ๆ

$V_{sample}$  เท่ากับปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้

$W_{cation\ resin,s}$  เท่ากับปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่ใช้

ผลการทดลองพบว่าความสามารถการกำจัดแคลเซียมมีค่าน้อยลงลงเมื่อปริมาณของสารเรซินประจุบวกมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการกำจัดแคลเซียมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.05 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.718 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.489 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.261 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 2 กรัม 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ

ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกำจัดแคลเซียมและปริมาณของเรซินประจุบวก จุดที่ได้จากกราฟเป็นข้อมูลจริงที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยของการดูดซับของ



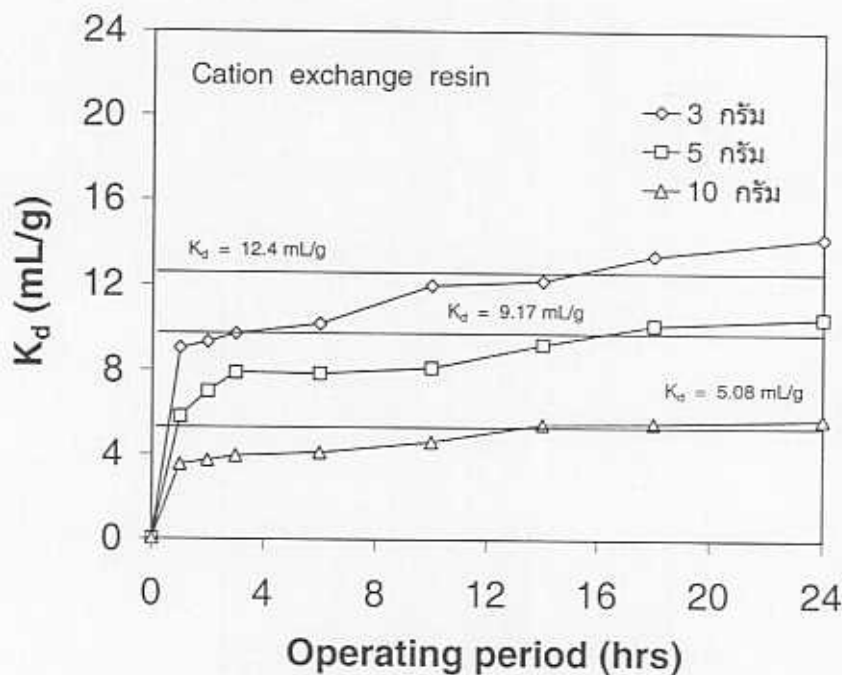
ภาพที่ 4.13 ความสามารถในการกำจัดแคลเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก

แคลเซียม ส่วนเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกำจัดแคลเซียมและปริมาณของเรซินประจุบวก โดยมีค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง (ค่า  $r^2$  ประมาณ 0.9986) เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Adsorbed Ca} = 1.8777 \times W_{cation\ resin,s}^{-0.8522}; \quad r^2 = 0.9986$$

โดยความสามารถของการกำจัดแคลเซียมมีค่าน้อยลงเมื่อปริมาณของสารเรซินประจุบวกมีค่ามากขึ้นในช่วงปริมาณของเรซินประจุบวกจาก 2 กรัมถึง 10 กรัม

ภาพที่ 4.14 แสดงสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดสอบ ทั้งที่ค่าความสามารถกำจัดแคลเซียมมีค่าค่อนข้างคงที่ การเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การกระจายอาจเนื่องจากผลของความเข้มข้นของแคลเซียมที่ไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ (โดยเฉพาะ



ภาพที่ 4.14 สัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก

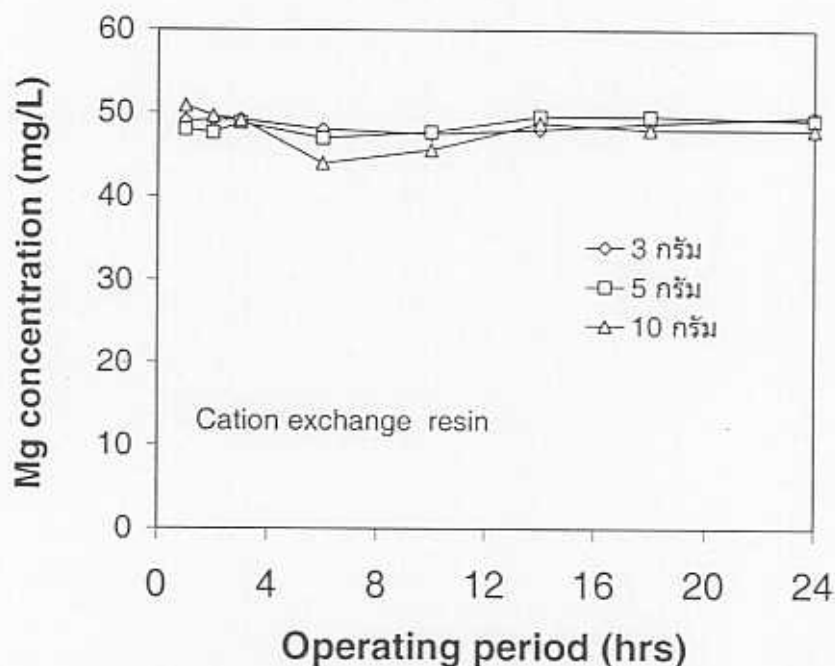
ปริมาณ 3 และ 5 กรัม) โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียม ( $K_{d,Ca}$ ) แสดงได้ดังนี้

$$K_{d,Ca} = \frac{(C_{Ca,o} - C_{Ca,e})}{C_{Ca,e}} \times \frac{V_{sample}}{W_{cation\ resin,s}}$$

โดยที่  $K_{d,Ca}$  เท่ากับสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียม มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกรัม (mL/g)

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวกมีค่าเท่ากับ 12.4 มิลลิกรัมต่อกรัม 9.17 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 5.08 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ

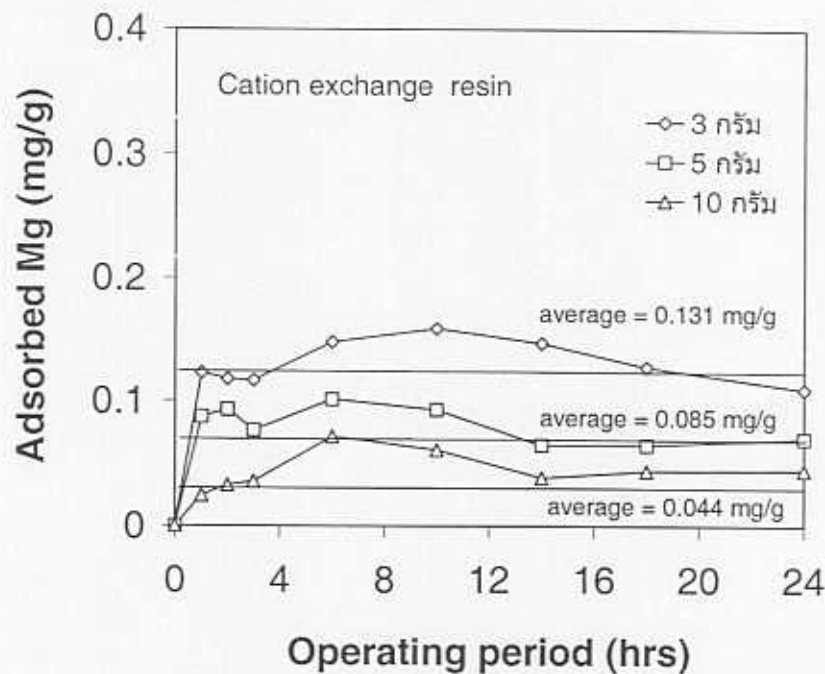
ภาพที่ 4.15 แสดงความเข้มข้นของแมกนีเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่วัดได้มีค่าไม่แตกต่างกันนักตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกและระยะเวลาการทดสอบ อาจเนื่องมาจากผลกระทบของการจับตัวระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างสารที่มีต่อสารเรซินประจุบวก แคลเซียมถูกจัดว่าเป็นสารที่มีลำดับความชอบต่อสารเรซินประจุบวกมากกว่าแมกนีเซียม (มันสิน ดัชนีจุลเวศน์ 2538; ไพศาล วีรกิจ 2545; Clifford, D.A., 1990) ดังนั้นการจับตัวของแคลเซียมสามารถจับตัวได้มากกว่าแมกนีเซียม และส่งผลต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมดังแสดงในรูปกราฟ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมต่ำสุดของแต่ละปริมาณของสารเรซินประจุบวกพบว่าการทดสอบแบบไม่เนื่อง สำหรับปริมาณสารเรซินประจุบวกที่ 10 กรัม พบว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมวัดได้มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 44 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงหลังเริ่มต้นการทดสอบ



ภาพที่ 4.15 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก

ภาพที่ 4.16 แสดงความสามารถการกำจัดแมกนีเซียมตามระยะเวลาการทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่าความสามารถการกำจัดแมกนีเซียมเกิดจากการจับตัวของแมกนีเซียมต่อสารเร



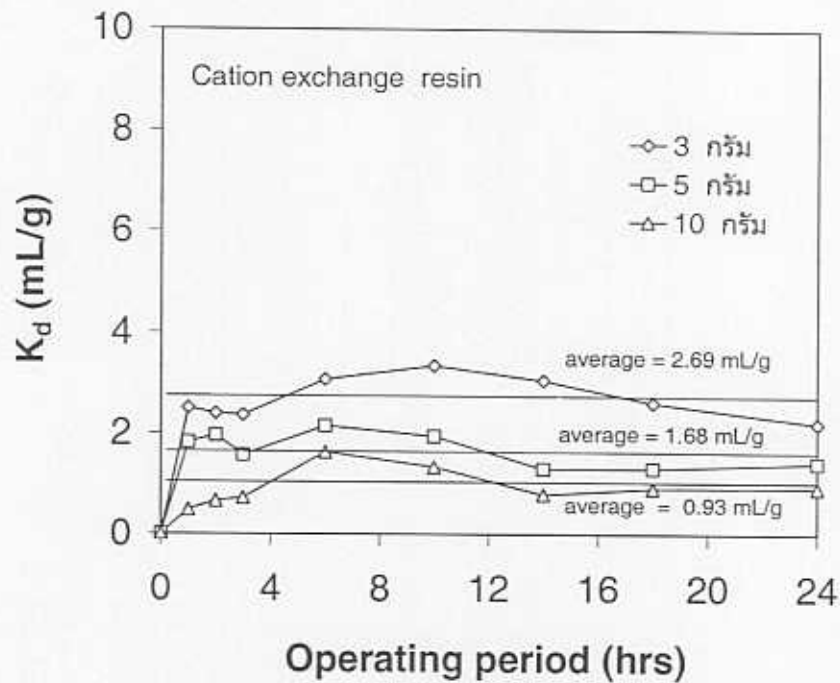


ภาพที่ 4.16 ความสามารถในการกำจัดแมกนีเซียมตามระยะเวลาการทดสอบ

ขึ้นประจุบวก ค่าความสามารถในการกำจัดแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.131 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.085 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.044 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ ค่าการจับตัวของแคลเซียมมีค่ามากในช่วงกลางของการทดสอบเนื่องจากผลของความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่วัดได้น้อยในช่วงกลางของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

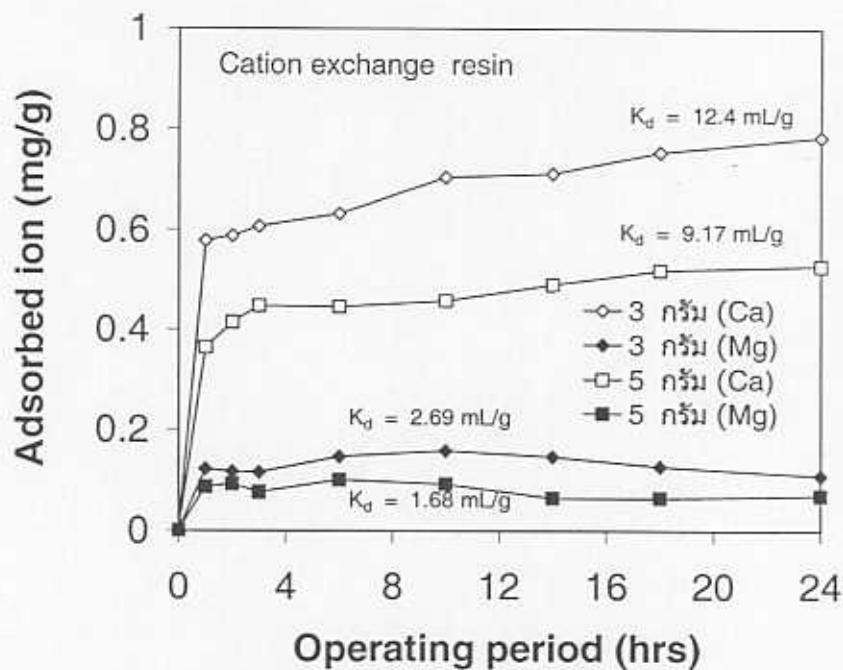
ภาพที่ 4.17 แสดงสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก จากกราฟพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวกมีค่าน้อยลงตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.69 มิลลิลิตรต่อกรัม 1.68 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 0.93 มิลลิลิตรต่อกรัม สำหรับปริมาณของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ

ภาพที่ 4.18 แสดงความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุบวก จากกราฟพบว่าความสามารถในการกำจัดแคลเซียมมีค่าสูงกว่าแมกนีเซียมเนื่องจากความสามารถในการจับตัวของแคลเซียมที่ดีกว่าแมกนีเซียม ความสามารถในการจับตัวของแคลเซียมยังมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับความสามารถในการจับตัวของแมกนีเซียมโดยสังเกตจากผลการทดสอบหลัง 24



ภาพที่ 4.17 สัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก

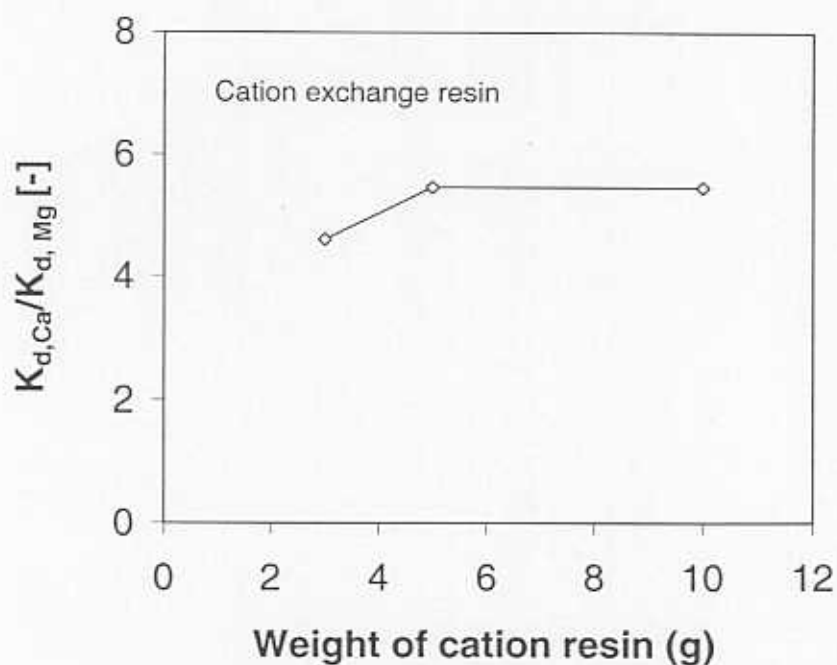
ข้อสังเกต: ค่าความสามารถในการกำจัดของแคลเซียมยังส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมที่มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก



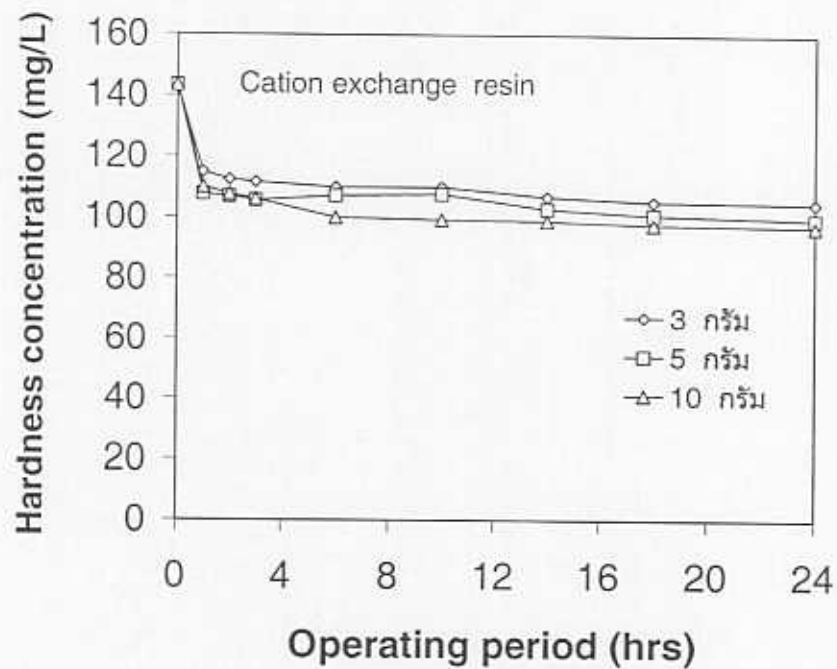
ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุบวก

ภาพที่ 4.19 แสดงอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม จากกราฟแสดงว่าค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่ามากขึ้นตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกและเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อปริมาณของสารเรซินประจุบวกมีค่าเท่ากับ 10 กรัม ค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่าเท่ากับ 4.61 5.46 และ 5.46 สำหรับปริมาณของสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลกระทบของความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมควรจะถูกตรวจสอบกับค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายเนื่องจากน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแคลเซียมและแมกนีเซียมโดยใช้สารเรซินประจุบวก

ความกระด้างของน้ำเกิดจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแคลเซียมและแมกนีเซียม การกำจัดความกระด้างของน้ำสามารถทำได้โดยใช้สารเรซินประจุบวก ภาพที่ 4.20 แสดงความเข้มข้นของความกระด้างตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของความกระด้างของน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อยตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่เพิ่มขึ้นจาก 3 กรัม ถึง 10 กรัม ความเข้มข้นของความกระด้างลดลงจาก 143.3 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงความเข้มข้นต่ำสุดประมาณ 97.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประมาณ 32.2% สำหรับการกำจัด) โดยใช้ปริมาณสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 10 กรัม

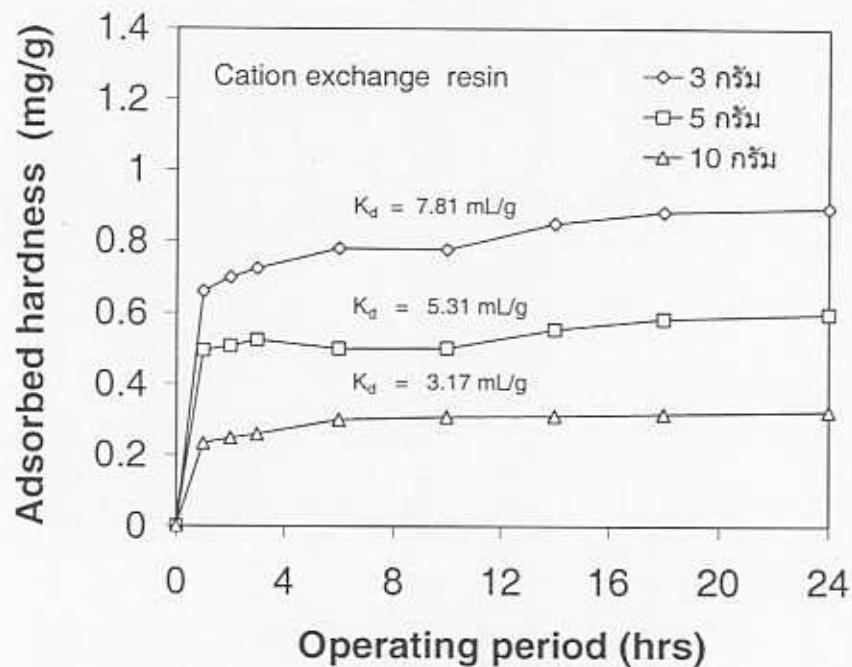


ภาพที่ 4.19 อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม



ภาพที่ 4.20 ความเข้มข้นของความกระด้างตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก

ภาพที่ 4.21 แสดงความสามารถในการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวก จากกราฟพบว่า การจับตัวของสารเคลือบกับเมกนีเซียมในองค์ประกอบของความกระด้างของน้ำมี



ภาพที่ 4.21 ความสามารถในการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวก

ค่าลดลงตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการกำจัดความกระด้างมีค่าเท่ากับ 0.837 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.548 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 0.313 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความสามารถในการกำจัดความกระด้างของน้ำยังมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของความกระด้าง โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของความกระด้างมีค่าเท่ากับ 7.81 มิลลิตรต่อกรัม 5.31 มิลลิตรต่อกรัมและ 3.17 มิลลิตรต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 3 กรัม 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับ จะสังเกตว่าค่าความสามารถในการกำจัดความกระด้างและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของความกระด้างมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่ได้จากแคลเซียมและแมกนีเซียมตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่ใช้ ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโดยสารเรซินประจุบวก จากตารางเปอร์เซ็นต์การกำจัดของสารมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดโดยสารเรซินประจุบวก

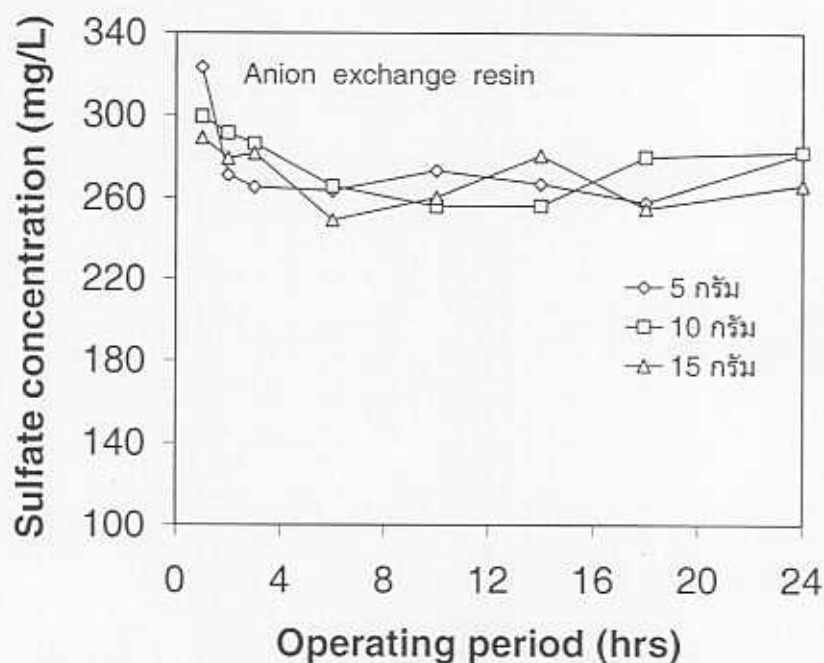
ชนิด	% กำจัด	q (mg/g)	K <sub>d</sub> (mL/g)
แคลเซียม			
3 กรัม	35.73	0.718	12.4
5 กรัม	40.67	0.489	9.17
10 กรัม	43.15	0.261	5.08
แมกนีเซียม			
3 กรัม	10.65	0.131	2.69
5 กรัม	10.46	0.081	1.68
10 กรัม	13.66	0.044	0.93
ความกระด้าง			
3 กรัม	25.08	0.837	7.81
5 กรัม	27.70	0.548	5.31
10 กรัม	31.22	0.313	3.17

ตามปริมาณของสารเรซินประจุบวกที่ใช้ ส่วนความสามารถในการกำจัดสารและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าน้อยลงตามปริมาณของสารเรซินประจุบวก เปอร์เซ็นต์การกำจัดแคลเซียมมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การกำจัดของความกระด้างของน้ำและแมกนีเซียม โดยที่แมกนีเซียมให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำสุด การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดนั้นมีสัดส่วนโดยตรง

กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสาร โดยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าจากมากไปน้อยตามลำดับของสารได้แก่ แคลเซียม ความกระด้างของน้ำ และแมกนีเซียม ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสาร ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีส่วนผกผันกับปริมาณสารเรซินประจุบวก โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าน้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารเรซินประจุบวกจาก 3 กรัม 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับ

#### 4.2.4 การกำจัดซัลเฟตและไนเตรตโดยใช้สารเรซินประจุลบ

เรซินประจุลบสามารถใช้กำจัดซัลเฟตและไนเตรตที่เป็นสารที่มีประจุลบในตัว การกำจัดประจุลบเกิดขึ้นเนื่องจากการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุลบ (คลอไรด์) ในสารเรซินประจุลบกับสารที่มีประจุลบได้แก่ ซัลเฟตและไนเตรต เป็นต้น ภาพที่ 4.22 แสดงความเข้มข้นของซัลเฟตตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของซัลเฟตมีค่าลดลงตามปริมาณของ



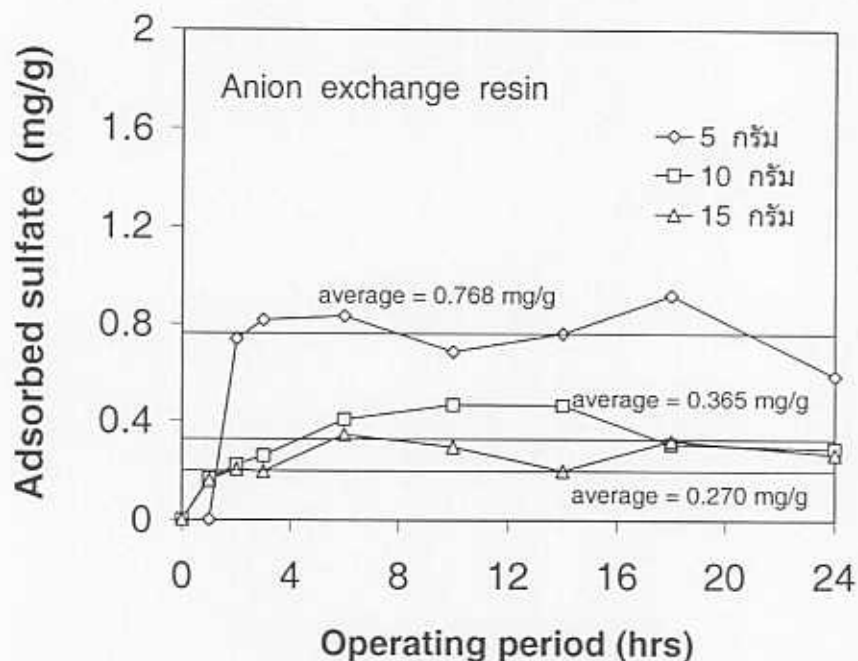
ภาพที่ 4.22 ความเข้มข้นของซัลเฟตตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ

สารเรซินประจุลบ โดยเฉพาะปริมาณน้ำหนักร้อยละ 10 กรัม อย่างไรก็ตามค่าที่วัดได้มีค่าไม่คงที่ตามปริมาณของสารเรซินประจุลบที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของซัลเฟตหลังผ่านสารเรซินประจุลบมีค่าค่อนข้างสูง โดยค่าที่วัดได้สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดไว้ประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรตามปริมาณสารเรซินประจุลบที่ใช้ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามสารเรซินประจุลบที่ควรใช้ทดสอบควรมีปริมาณน้ำหนักร้อยละมากกว่าที่ใช้

ทดสอบในการทดลองนี้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารเรซินประจุลบเพื่อใช้ในการกำจัดซัลเฟตที่มีค่าสูงสำหรับน้ำดื่มอย่างนี้ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีค่าลดลงค่อนข้างน้อยอาจเนื่องมาผลกระทบของความเข้มข้นของสารชนิดอื่นที่มีอยู่ในองค์ประกอบของน้ำเช่น ในเตรตเป็นต้น

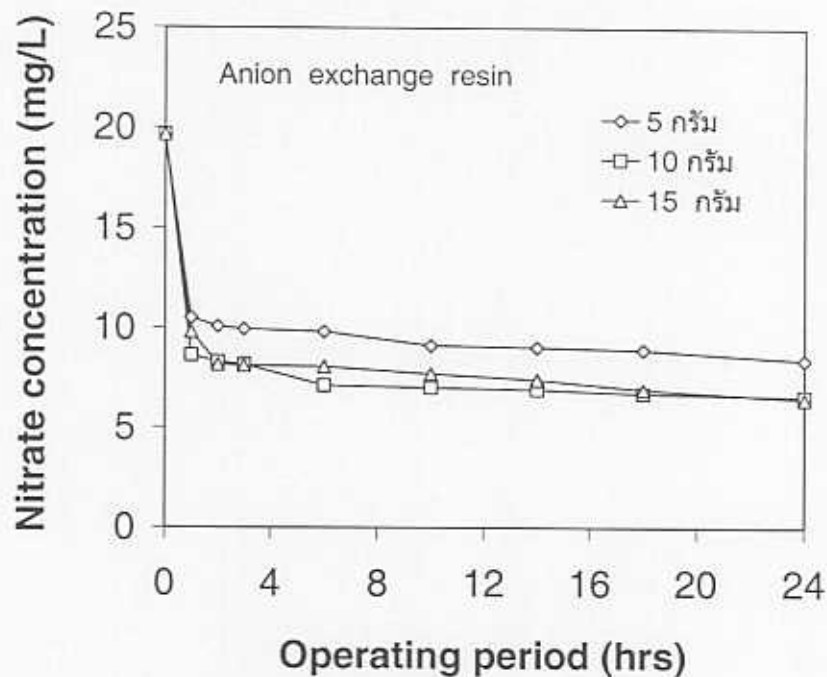
ภาพที่ 4.23 แสดงความสามารถในการกำจัดซัลเฟตโดยสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความสามารถในการกำจัดซัลเฟตมีค่าน้อยลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารเรซินประจุลบ ค่าที่คำนวณได้มีค่าไม่คงที่เนื่องจากผลของความเข้มข้นที่มีค่าไม่คงที่ตามระยะเวลาของการทดสอบค่าความสามารถในการกำจัดซัลเฟตเนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุโดยใช้สารเรซินประจุลบมีค่าเท่ากับ 0.768 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.365 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 0.270 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัมตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 17.1% 16.1% และ 17.9% สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัมตามลำดับ

ภาพที่ 4.24 แสดงความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าน้อยลงตามปริมาณสารเรซินประจุลบ อย่างไรก็ตามความ



ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการกำจัดซัลเฟตโดยสารเรซินประจุลบ

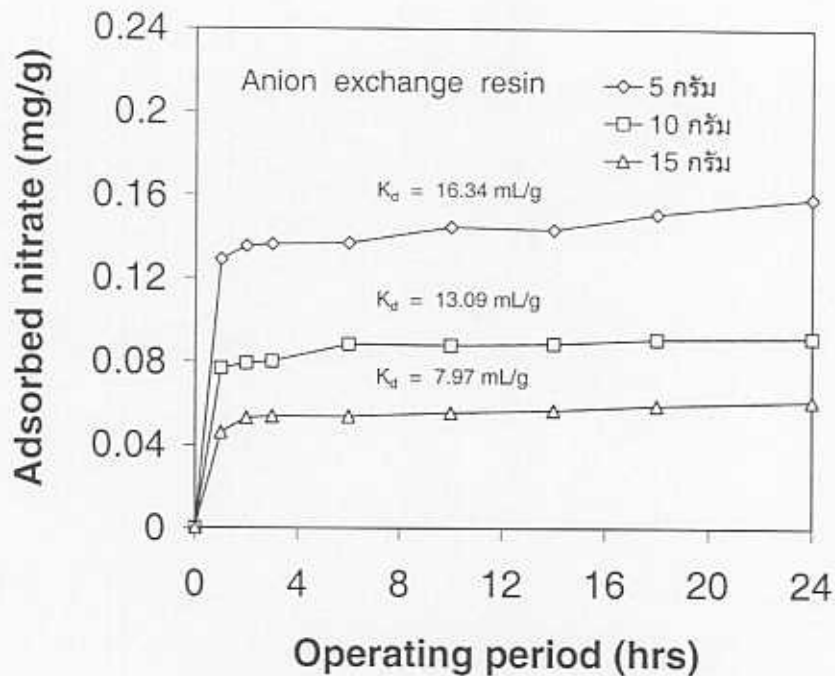




ภาพที่ 4.24 ความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณของสารเรซินประจุลบ

ความเข้มข้นของไนเตรดที่ปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 10 กรัมและ 15 กรัมมีค่าไม่แตกต่างกันนัก ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดเท่ากับ 54.0% 65.1% และ 62.8% (โดยความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 19.64 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของไนเตรดโดยเฉลี่ยสำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม เท่ากับ 9.04 มิลลิกรัมต่อลิตร 6.86 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 7.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดไว้เท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.25 แสดงความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ ความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบมีค่าน้อยลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารเรซินประจุลบ ความสามารถในการกำจัดไนเตรดมีค่าเท่ากับ 0.147 มิลลิกรัมต่อลิตร 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.058 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม ตามลำดับ ค่าความสามารถในการกำจัดไนเตรดมีแนวโน้มเหมือนกันกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรดมีค่าน้อยลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารเรซินประจุลบ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรดมีค่าเท่ากับ 16.34 มิลลิกรัมต่อกรัม 13.09 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 7.97 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับปริมาณสารเรซินประจุลบเท่ากับ 5 กรัม 10 กรัมและ 15 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.25 ความสามารถในการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ

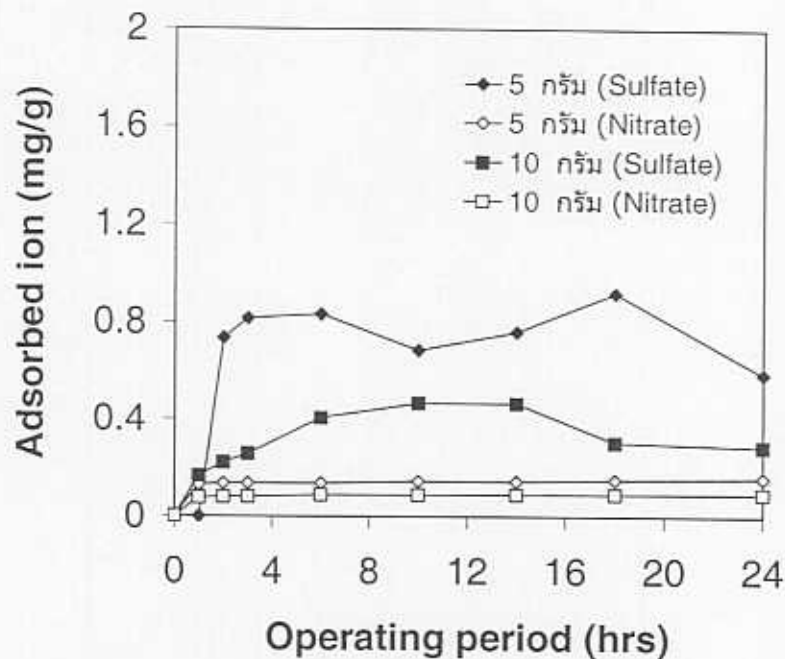
ภาพที่ 4.26 แสดงความสามารถในการกำจัดสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่าความสามารถในการกำจัดซัลเฟตมีค่ามากกว่าความสามารถในการกำจัดไนเตรด อาจเนื่องมาจากผลของซัลเฟตที่มีประจุสองบวกสามารถจับตัวกับสารเรซินประจุลบได้ดีกว่าไนเตรดที่มีประจุเพียงหนึ่งบวกตามลำดับความชอบในการจับตัวกับสารเรซินประจุลบ (มันสิน ตันจุลเวศน์ 2538; ไพศาล วีรกิจ 2545; Clifford, D.A., 1990) อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของซัลเฟต (ข้อมูลไม่ได้ถูกแสดง) มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรดเนื่องจากผลของความเข้มข้นที่เริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน โดยความเข้มข้นเริ่มต้นและสุดท้ายของซัลเฟตที่วัดได้หลังเวลาใด ๆ จะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของไนเตรด ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของซัลเฟตมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไนเตรด โดยสมการแสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_{d,ion} \left( \frac{mL}{g} \right) = \frac{q_{ion} (mg/g)}{C_{ion,e} (mg/L)} \times 1000$$

โดยที่  $K_{d,ion}$  เท่ากับสัมประสิทธิ์การกระจายของไอออน มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกรัม (mL/g)

$q_{ion}$  เท่ากับความสามารถในการกำจัดไอออน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)

$C_{ion,e}$  เท่ากับความเข้มข้นของไอออน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)



ภาพที่ 4.26 ความสามารถในการกำจัดไอออนโดยสารเรซินประจุลบ

#### 4.3 ผลและการวิเคราะห์การทดลองแบบต่อเนื่อง

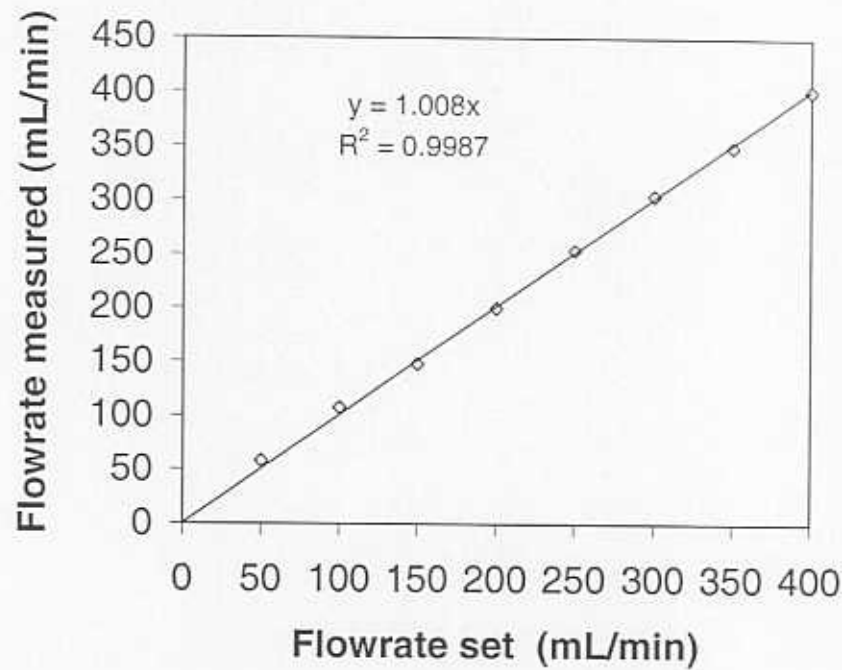
การทดสอบแบบต่อเนื่องเป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดของไนเตรดที่พบมากในน้ำใต้ดินและมีผลต่อโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์ ส่วนการทดสอบนั้นจะใช้สารเรซินประจุลบที่มีน้ำหนักประมาณ 5 กรัมโดยน้ำตัวอย่างจะถูกปั๊มเข้าสู่ทางเข้าคอลัมน์ด้านบน และออกจากคอลัมน์ตรงด้านล่าง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกวัดปริมาตรและเก็บตัวอย่างไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรดที่หลงเหลือ

อัตราการไหลของน้ำตัวอย่างก็มีความสำคัญต่อการกำจัดสารไนเตรดในน้ำ โดยอัตราการไหลของน้ำถูกควบคุมโดยปั๊ม peristaltic pump ภาพที่ 4.27 แสดงการปรับอัตราการไหลของปั๊ม (peristaltic pump) ในการทดสอบการกำจัดไนเตรดโดยใช้เรซินประจุลบ จากกราฟอัตราการไหลที่วัดได้ (Flowrate measured) มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลที่ตั้งไว้ในเครื่องปั๊ม (Flowrate set) ค่าความสัมพันธ์เป็นลักษณะเส้นตรงเชิงเส้นที่มีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.9987 การคำนวณอัตราการไหลที่วัดได้ สามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

$$\text{Real flowrate (average)} = \frac{Q_{\text{input}} + Q_{\text{output}}}{2}$$

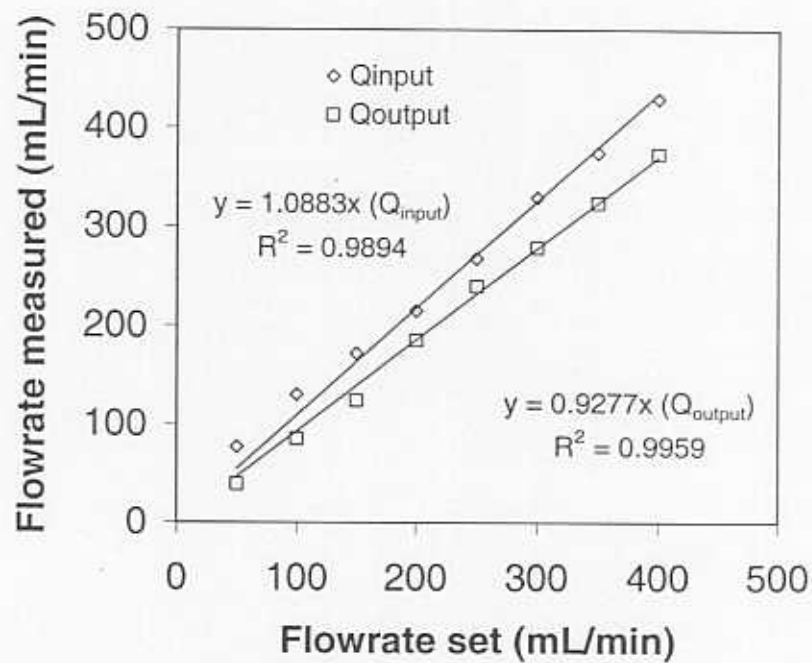
โดยที่  $Q_{\text{input}}$  เท่ากับอัตราการไหลที่เข้าสู่ระบบ (mL/min)

$Q_{\text{output}}$  เท่ากับอัตราการไหลที่ออกจากระบบ (mL/min)



ภาพที่ 4.27 การปรับอัตราการไหลของปั๊ม

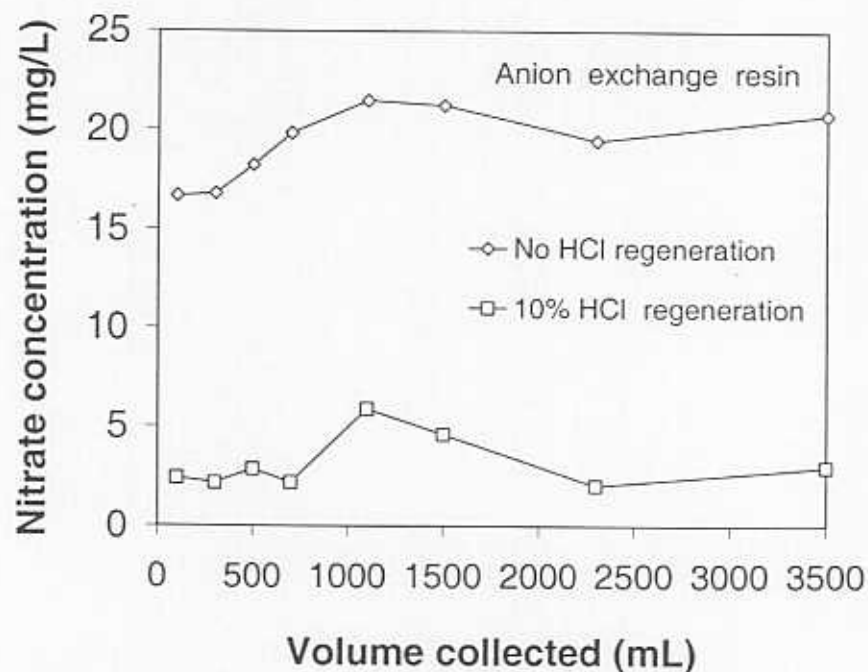
ภาพที่ 4.28 แสดงอัตราการไหลจริงที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบ จากกราฟพบว่าอัตรา  
การไหลเข้าสู่ระบบมีค่ามากกว่าอัตราการไหลที่ออกจากระบบเนื่องจากผลของแรงต้านที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.28 อัตราการไหลจริงที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบ

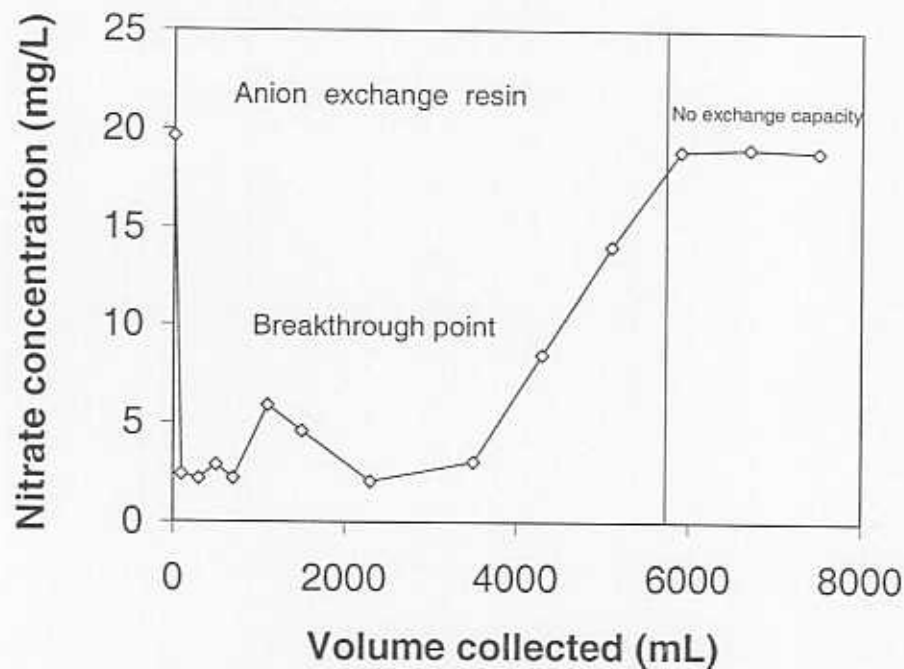
ขึ้นประจุลบในคอลัมน์ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลออกจากระบบมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากข้อมูลทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลที่ตั้งไว้ (Flowrate set) สำหรับเครื่องปั๊มแบบ peristaltic pump ตามลักษณะกราฟที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น

ภาพที่ 4.29 แสดงประสิทธิภาพการล้างเรซินก่อนการทดสอบสารเรซินประจุลบ สารเรซินที่ใช้ทดสอบในคอลัมน์มีปริมาณเท่ากับ 5 กรัม และอัตราการไหลเข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 มิลลิลิตรต่อนาที จากกราฟพบว่าสารเรซินประจุลบที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการล้างสารเรซินด้วยความเข้มข้น 10% ของกรดไฮโดรคลอริก ไม่มีผลต่อการกำจัดไนเตรดหรือไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับสารไนเตรดตามปริมาตรที่วัดได้หลังจากผ่านคอลัมน์ ทำให้ความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของไนเตรดเริ่มต้นของน้ำตัวอย่าง ความเข้มข้นของไนเตรดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 19.32 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามการล้างสารเรซินด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 % โดยปริมาตร ส่วนปริมาตรที่ใช้ในการล้างสารเรซินเท่ากับ 30 มิลลิลิตร การทดสอบพบว่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าลดลงอย่างมาก หลังจากที่มีการล้างสารเรซินก่อนการทดสอบกับน้ำตัวอย่าง โดยที่ความเข้มข้นของไนเตรดมีก่อนข้างต่ำตามปริมาตรที่ผ่านออกจากคอลัมน์โดยปริมาตรรวมเท่ากับ 3,500 มิลลิลิตร (3.5 ลิตร) ส่วนความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3.13 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท



ภาพที่ 4.29 ประสิทธิภาพการล้างเรซินก่อนการทดสอบสารเรซินประจุลบ

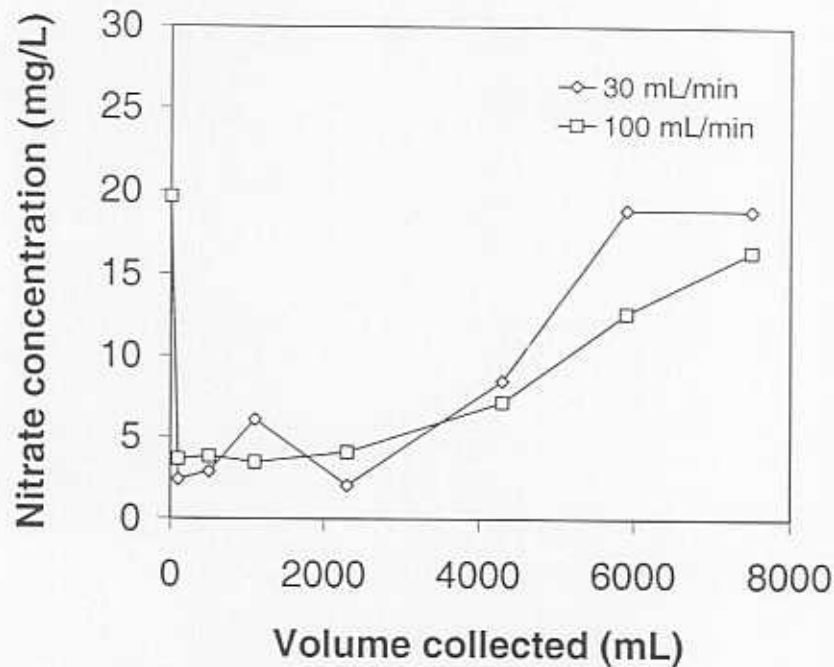
จากกราฟข้างต้นความสามารถในการกำจัดสารไนเตรดยังมีผลการทดสอบที่ดีตามปริมาณรวมเท่ากับ 3,500 มิลลิลิตร (3.5 ลิตร) อย่างไรก็ตามเพื่อศึกษาถึงปริมาณรวมสูงสุดที่ใช้ในการกำจัดไนเตรดโดยผ่านคอลัมน์ที่มีเรซินประจุลบโดยน้ำหนักระมาณ 5 กรัม ดังนั้นน้ำตัวอย่างที่ใช้จึงถูกปั๊มเข้าสู่ระบบอีกครั้งที่อัตราการไหลของปั๊มเท่ากับ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ภาพที่ 4.30 แสดง



ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบในคอลัมน์

ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบในคอลัมน์ จากกราฟพบว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบมากขึ้นส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเตรดที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพการจับตัวหรือการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีต่อสารเรซินประจุลบมีค่าน้อยลงตามปริมาณรวมของน้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบ จุดที่ทำให้ปริมาณรวมสุดท้ายก่อนที่ความเข้มข้นของไนเตรดจะมีค่าสูงขึ้นอยู่ที่ 3,500 มิลลิลิตร (3.5 ลิตร) ส่วนความเข้มข้นของไนเตรดที่วัดได้เท่ากับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำวัดได้ที่มีปริมาณรวมเท่ากับ 5,900 มิลลิลิตร (5.9 ลิตร) หลังปริมาณรวมเท่ากับ 5,900 มิลลิลิตร (5.9 ลิตร) ความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแสดงถึงไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างไนเตรดในน้ำตัวอย่างกับคลอไรด์ในสารเรซินประจุลบอีกต่อไป และสารเรซินประจุลบนี้จำเป็นต้องนำมาล้าง (regeneration) เพื่อนำสารเรซินกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

การเปลี่ยนอัตราการไหลเข้าสู่ระบบมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแตกต่างกัน ภาพที่ 4.31 แสดงอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ จากกราฟพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลจาก 30 มิลลิลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4.31 อัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรดโดยสารเรซินประจุลบ

เป็น 100 มิลลิตรต่อนาทีส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเตรด สำหรับอัตราการไหลที่ 30 มิลลิตรต่อนาทีค่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของไนเตรดที่อัตราการไหล 100 มิลลิตรต่อนาที อาจเนื่องมาจากเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนประจุมีมากกว่าทำให้ไอออนมีความสามารถในการจับตัวได้ดีกว่า และส่งผลความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุหมดได้เร็วขึ้น จากกราฟจะสังเกตว่าความเข้มข้นของไนเตรดที่วัดได้หลังปริมาตรรวมเท่ากับ 5,900 มิลลิตรมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของไนเตรดในน้ำตัวอย่างสำหรับอัตราการไหลเท่ากับ 30 มิลลิตรต่อนาที ส่วนอัตราการไหลเท่ากับ 100 มิลลิตรต่อนาทีค่าความเข้มข้นของไนเตรดยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่หลังปริมาตรรวมเท่ากับ 7,500 มิลลิตรต่อนาที ดังนั้นปริมาตรน้ำตัวอย่างอาจต้องใช้นามากกว่าเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่สภาวะคงที่ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนน้อยกว่า ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

#### 4.4 ผลและการวิเคราะห์การทดลองของน้ำดื่มชุมชน

##### 4.4.1 ผลการวิเคราะห์ของน้ำดื่มชุมชน

น้ำได้ดินถูกนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำดื่มให้กับชุมชนลับแล ก่อนจะผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตได้แก่ถังสารเมกานีส ถังสารคาร์บอน ถังสารเรซินประจุบวก และถังสารเร



ขึ้นประจุลบซึ่งเดิมใช้สารเรซินประจุบวกจำนวน 2 ถัง โดยเปลี่ยนเป็นสารเรซินประจุบวก 1 ถัง และสารเรซินประจุลบ 1 ถัง ก่อนผ่านกระบวนการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีอัลตราไวโอเลต สำหรับคุณภาพน้ำดิบของชุมชนลับแลมีปริมาณของฟิโคลโคลิฟอร์ม์น้อย โดยค่าที่วัดได้น้อยกว่า 2 MPN/100 mL ส่งผลดีกับกระบวนการผลิตน้ำดื่มและความปลอดภัยของผู้บริโภคในการดื่มน้ำที่ปราศจากเชื้อแบคทีเรีย ตารางที่ 4.4 แสดงคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต สารแมงกานีส สารคาร์บอน สารเรซินประจุบวกและลบ ตัวอย่างน้ำที่เก็บเป็นตัวอย่างในช่วงวันที่ ตารางที่ 4.4 คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตสารแมงกานีส สารคาร์บอน สารเรซินประจุบวกและลบ

ปริมาณน้ำ ดัชนี	800 L	1,800 L	2,600 L	3,600 L	4,400 L	5,200 L	5,800 L
ความขุ่น (NTU)	0.332	0.142	0.532	0.27	0.358	0.182	0.349
ความกระด้าง (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	27.2	25.8	24.8	26.4	10.4	36.5	17.2
แคลเซียม (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	26	19.8	20.8	26.2	8.2	34.4	12.8
แมกนีเซียม (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	1.2	6	4	0.2	2.2	2.1	4.4
คลอไรด์(mg/L)	60.5	63	64	66.5	57.5	46	50.5
ซัลเฟต (mg/L)	262.6	277.3	256.4	242.9	294.5	321.8	229.7
ไนเตรด (mg/L)	13.34	14.45	14.03	14.33	13.35	12.38	12.3

ตัวอย่างน้ำระหว่างช่วงวันที่ 9 ถึง 18 กันยายน พ.ศ. 2546

9 ถึง 18 กันยายน พ.ศ. 2546 โดยน้ำตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและแสงยูวีอัลตราไวโอเลต จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ผ่านการผลิตในกระบวนการต่าง ๆ ยกเว้นการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันและแสงยูวีอัลตราไวโอเลต และดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพน้ำ ผลการทดสอบพบว่าความขุ่นที่วัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.31 NTU ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนดค่าสูงสุดไว้เท่ากับ 5 NTU ส่วนค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการผลิตและบรรจุในภาชนะมีค่าไม่แตกต่างกันมากจากน้ำตัวอย่างน้ำดิบ โดยที่ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้ามีค่าประมาณ 6.12 และ 470.5  $\mu\text{S/cm}$  ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้อาจไม่แตกต่างกันนักอาจเนื่องมาจากผลการแลกเปลี่ยนประจุของสารเรซินประจุบวกและลบทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงนัก

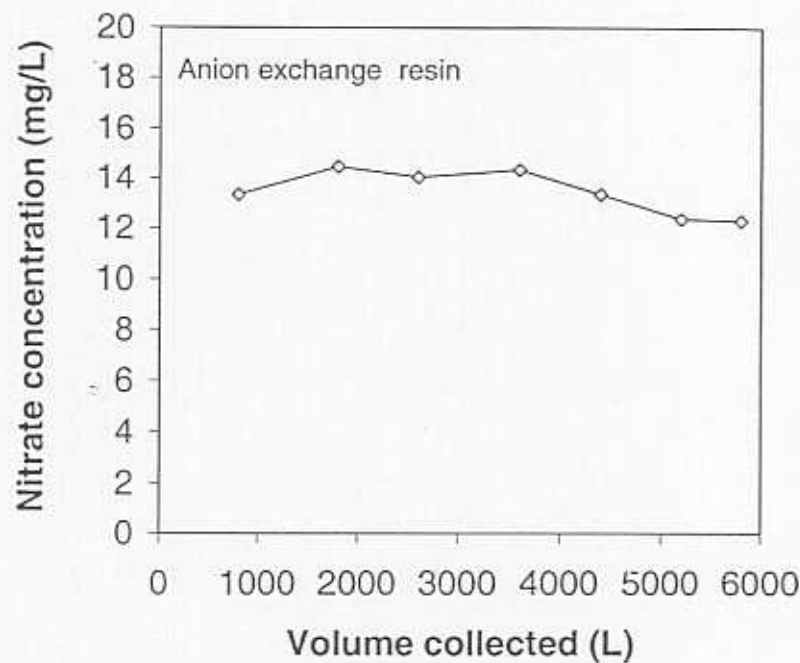
การกำจัดเหล็กและแมงกานีสโดยสารแมงกานีสพบว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างดีในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสไม่ได้ถูกตรวจสอบสำหรับน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำดื่มชุมชนเนื่องจากปริมาณของเหล็กและแมงกานีสในน้ำตัวอย่างมีค่าน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม ส่วนความสามารถในการกำจัดสารเหล็กและแมงกานีสโดยสารแมงกานีสแสดงผลค่อนข้างดีสำหรับการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์และค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แสงยูวีไม่ได้ตรวจสอบตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามการตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างที่บรรจุแล้วพบว่าความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์มีค่าน้อยกว่า 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอินทรีย์ในน้ำดิบเท่ากับ 1.11 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 73.9% นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์หรือถ่านคาร์บอนสามารถกำจัดสารละลายอินทรีย์ได้ดีโดยดูจากผลการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

เรซินประจุบวกสามารถใช้กำจัดความกระด้าง แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำ น้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตถูกตรวจสอบเพื่อหาความกระด้างของน้ำ แคลเซียมและแมกนีเซียม ค่าความกระด้างที่วัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 24 mg/L as CaCO<sub>3</sub> (ความกระด้างเริ่มต้นในน้ำตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 143.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำอ่อนโดยมีความกระด้างอยู่ในช่วง 0 - 75 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดความกระด้างโดยสารเรซินประจุบวกเท่ากับ 83.3% ส่วนค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมวัดได้เท่ากับ 21.2 และ 2.87 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ตามลำดับ (ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่ากับ 89 และ 54.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub> ตามลำดับ) อยู่ในช่วงอนุโลมของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคโดยกำหนดไว้เท่ากับ 200 mg/L as CaCO<sub>3</sub> และ 150 mg/L as CaCO<sub>3</sub> สำหรับค่ามาตรฐานของแคลเซียมและแมกนีเซียมตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียมโดยเรซินประจุบวกเท่ากับ 76.2% และ 94.7% ตามลำดับ

สารเรซินประจุลบสามารถใช้กำจัดสารประจุลบเช่น คลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรต ที่ปรากฏในน้ำตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของคลอไรด์หลังผ่านกระบวนการผลิตเท่ากับ 58.3 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จากน้ำตัวอย่างอาจเนื่องมาจากปริมาณคลอไรด์ที่เกิดจากการเติมกรดไฮโดรคลอริกเพื่อใช้เก็บตัวอย่างก่อนการทดสอบ (ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยที่วัดได้ประมาณ 2.7 และค่าการนำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 mS/cm ซึ่งไม่ได้แสดงในตาราง) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่วัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดมาตรฐานไว้ไม่เกิน 250 mg/L ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยที่วัดได้ของซัลเฟตเท่ากับ 269.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่าเริ่มต้นของซัลเฟตสำหรับตัวอย่างน้ำชุมชนโดยประมาณเท่ากับ 323 mg/L) คิดเป็น

ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 16.6% ซึ่งค่าที่วัดได้ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดไว้เท่ากับ 250 mg/L

ภาพที่ 4.32 แสดงความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต ความเข้มข้นของไนเตรดมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.45 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นเริ่มต้นของไนเตรดในน้ำคั่วอย่างเท่ากับ 19.64 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารไนเตรด



ภาพที่ 4.32 ความเข้มข้นของไนเตรดตามปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต

เท่ากับ 31.5% อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนเตรดที่วัดได้มีค่าในเกณฑ์มาตรฐาน (มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนดความเข้มข้นของไนเตรดไว้ที่ 4 mg/L) อาจเนื่องมาจากผลการล้างสารเรซินประจุลบที่ยังไม่ดีพอและช่วงเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบก่อนที่สารเรซินประจุลบจะถูกล้าง การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการล้างเรซินประจุลบโดยทั่วไปความเข้มข้นของสารในการล้างเรซินควรมีค่าประมาณ 8% - 20% ดังนั้นการทดสอบความเข้มข้นของสารที่มีประจุลบควรตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อความเหมาะสมในการกำจัดสารประจุลบที่อาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำดื่ม

จากผลการทดสอบดัชนีที่ใช้วัดเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มหลังผ่านกระบวนการผลิต จะพบว่าดัชนีที่ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มได้แก่สารที่มีค่าประจุลบเช่นไนเตรดและซัลเฟต ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยใช้สารเรซินประจุลบ ดังนั้นสำหรับกระบวนการผลิตจึงควรมีการตรวจสอบ

อย่างละเอียดเกี่ยวกับการนำชนิดสารเรซินมาใช้และการล้างสารเรซินก่อนและหลังการใช้งาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการกำจัดในเครื่องและซัลเฟตให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนความจำเป็นในการเพิ่มจำนวนถังคอลัมน์สำหรับบรรจุสารเรซินประจุลบอาจจะต้องคำนึงผลการตรวจสอบระบบอีกครั้ง โดยเฉพาะการล้างทำความสะอาดเรซินประจุลบก่อนนำกลับมาใช้อีกครั้ง

#### 4.4.2 การประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำดื่ม

การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยเน้นตัวอย่างการผลิตน้ำดื่มของชุมชนลับแลซึ่งผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ปริมาณน้ำดื่มที่ผลิตได้ประมาณ 4110 ลิตรต่อวัน แบ่งเป็นการผลิตน้ำดื่มขวดเล็กขนาด 0.95 ลิตร ประมาณวันละ 1,800 ขวด และการผลิตน้ำดื่มขนาดถึงใหญ่ 20 ลิตร ประมาณวันละ 120 ถัง ส่วนราคาที่ใช้ในการผลิตเท่ากับ 2 บาท และ 6 บาทสำหรับการผลิตน้ำขวดเล็กและการผลิตน้ำถึงใหญ่ ตามลำดับ ราคาทั้งหมดที่คำนวณได้ต่อวัน (คิดการคำนวณทั้งหมดจากจำนวนของน้ำขนาดขวดเล็กและถึงใหญ่เท่ากับ 4,320 บาทต่อวัน สำหรับกระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มผลิตจนถึงล้างระบบโดยเฉลี่ย 6 วันต่อครั้ง สมมุติมีการผลิตน้ำทุกวันดังนั้นปริมาตรน้ำดื่มที่ผลิตได้ก่อนที่ระบบจะถูกล้างประมาณ 24,660 ลิตร โดยค่าใช้จ่ายในการล้างระบบประมาณ 200 บาทต่อเดือน ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่ถ้ามีการล้างระบบค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้คือการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เพื่อล้างสารเรซินประจุบวกและการใช้กรดไฮโดรคลอริกประมาณ 10% เพื่อล้างสารเรซินประจุลบ การล้างน้ำเพื่อไล่สิ่งตกค้างบนสารเมมเบรนและถ่านกัมมันต์ ค่าใช้จ่ายต่อเดือนประกอบด้วยค่าไฟฟ้าประมาณ 500 บาท ค่าแรงงานประมาณ 7,700 บาท และค่าน้ำมันสำหรับการขนส่งประมาณ 3,000 – 5,000 บาท ส่วนการเปลี่ยนไส้กรองเซรามิกสำหรับการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันประมาณ 3 เดือนต่อหนึ่งครั้ง ส่วนการเติมสารคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 3 วันต่อครั้งในช่วงฤดูฝน ส่วนหน้าแล้งประมาณ 7 – 15 วันต่อครั้ง

#### 4.5 ข้อวิจารณ์การทดลอง

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มเบื้องต้นสำหรับอุตสาหกรรมชุมชนเพื่อให้คุณภาพน้ำดื่มได้มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้สามารถให้แนวทางการออกแบบในการทำวิจัย โดยเฉพาะการแบ่งการทดสอบออกเป็นสองหัวข้อใหญ่ ๆ คือการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องและการทดสอบแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการผลิตน้ำดื่ม อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้ทดสอบถึงกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอนของการผลิตน้ำดื่ม เช่นการทดสอบการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน และการใช้แสงยูวีเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำดื่มนี้ได้มาตรฐานน้ำดื่ม ดังนั้นการออกแบบงานวิจัยเพื่อทราบถึงคุณลักษณะเบื้องต้นของ

คุณภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญเพื่อนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำดื่มที่ยังไม่ได้มาตรฐานตามที่กฎหมายได้กำหนด และลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบ ดังนั้นการทราบถึงผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นยังส่งผลต่อการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีการทดสอบสารทั้งสี่ชนิดเช่นสารแมงกานีส ถ่านกัมมันต์ สารเรซินประจุบวก และสารเรซินประจุลบ การทดสอบสารทั้งสี่ชนิดทำให้ทราบถึงประโยชน์และประสิทธิภาพของสารเหล่านี้ในการกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำตัวอย่าง นอกจากนี้การออกแบบการทดสอบแบบต่อเนื่องยังเป็นผลของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องโดยเน้นถึงคุณภาพน้ำที่ยังไม่ได้มาตรฐานเช่นการจัดไนเตรคในน้ำโดยใช้สารเรซินประจุลบ อย่างไรก็ตามการจัดไนเตรคสามารถกำจัดได้ดีหลังสารเรซินประจุได้ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อนที่จะนำมาใช้ในการกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์น้ำหลังผ่านกระบวนการผลิตน้ำเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพน้ำดื่มและแนวทางแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะแผนการดำเนินระบบและการล้างระบบเพื่อลดปัญหาคุณภาพน้ำที่ยังไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้งการออกแบบปริมาณน้ำที่ต้องผ่านกระบวนการผลิตก่อนที่จะมีการล้างระบบอีกครั้งก่อนนำกลับมาใช้งานได้อีก ส่วนการใช้สารเคมีที่นำมาล้างระบบควรมีข้อระมัดระวังถึงการใช้และการล้างก่อนที่จะดำเนินการผลิตน้ำดื่มเพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมของสารเคมีที่ใช้ล้างระบบ

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

- 1) การทดสอบสารชนิดต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม สามารถกำจัดสิ่งที่เป็นอันตรายจากแหล่งน้ำดิบและให้ประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างดี การทดสอบโดยสารแมงกานีสให้ค่าการกำจัดเหล็กและแมงกานีสค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำตัวอย่างมีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มแล้ว
- 2) การทดสอบถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารละลายอินทรีย์ในน้ำได้ดีโดยการวัดคาร์บอนละลายในน้ำและการวิเคราะห์จากการใช้แสงอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 254 nm อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีปริมาณค่อนข้างน้อย การกำจัดสารอินทรีย์จึงไม่ค่อยมีปัญหามากนัก ส่วนการกำจัดสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 74.2 88.2 และ 88.5 ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของถ่านกัมมันต์จาก 0.5 กรัม 1 กรัม และ 2 กรัม ตามลำดับ ส่วนค่าการดูดซับมีค่าลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.112 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.067 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.033 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมวลการดูดซับมีค่าน้อยเมื่อปริมาณสารคาร์บอนที่เพิ่มมากขึ้น
- 3) การทดสอบสารเรซินประจุบวกสามารถกำจัดความกระด้าง แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำได้มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มตามที่กฎหมายกำหนด สำหรับปริมาณสารเรซินที่ใช้จาก 3 กรัม ถึง 10 กรัม ค่าการกำจัดของแคลเซียมประมาณร้อยละ 35.7-43.2 ส่วนการกำจัดของแมกนีเซียมมีค่าน้อยลงเนื่องจากความสามารถในการจับตัวกับเรซินน้อยกว่าแคลเซียม ค่าการกำจัดประมาณร้อยละ 10.5-13.7 และความสามารถในการกำจัดความกระด้างของน้ำมีค่าในช่วงการกำจัดของแคลเซียมและแมกนีเซียมค่าโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25.1-31.2
- 4) การทดสอบสารเรซินประจุลบสามารถกำจัดซัลเฟตและไนเตรดได้ค่อนข้างต่ำ แต่ความสามารถในการกำจัดค่อนข้างต่ำอาจเนื่องมาจากปริมาณความเข้มข้นของสารทั้งสองมีค่ามาก ส่วนการทดสอบนั้นใช้สารเรซินที่มีน้ำหนักประมาณ 5 ถึง 15 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตมีค่าค่อนข้างต่ำประมาณร้อยละ 16.1 ถึง 17.9 มี



ค่าต่ำกว่าการกำจัดของไนเตรดซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 54.0 ถึง 62.8 และพบว่าสารทั้งสองให้ค่าความเข้มข้นเกินมาตรฐานที่กำหนด โดยมาตรฐานกำหนดความเข้มข้นของซัลเฟตเท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อกรัม และความเข้มข้นของไนเตรดเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อกรัม อย่างไรก็ตามจากการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยการล้างและไม่ล้างสารเรซินก่อนทดลองกับน้ำตัวอย่าง การทดสอบพบว่า การล้างเรซินด้วยกรดไฮโดรคลอริกสามารถให้การกำจัดที่ดีขึ้น โดยเฉพาะการกำจัดไนเตรดในน้ำตัวอย่าง

- 5) การทดสอบการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำของน้ำดื่มชุมชนพบว่าค่าการกำจัดซัลเฟตและไนเตรดให้การกำจัดค่อนข้างต่ำและความเข้มข้นของทั้งสองมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม การให้ความเข้มข้นของสารทั้งสองที่ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพการล้างระบบทั้งก่อนและหลังการใช้งานเพื่อให้สภาพของเรซินประจุลบกลับมาใช้งานได้อีก ดังนั้นการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของสารเรซินประจุลบจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อให้ระบบสามารถกำจัดซัลเฟตและไนเตรดให้มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีและได้มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม และสามารถดำเนินระบบให้มีระยะเวลายาวนานมากขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การใช้ตัวอย่างน้ำจากชุมชนอาจมีข้อจำกัดในการศึกษาประสิทธิภาพของสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม โดยไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสิ่งเจือปนในน้ำตัวอย่างได้
- 2) การใช้น้ำตัวอย่างจากการเตรียมสารขึ้นใช้เอง (synthetic sample) สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดของสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตในแง่ของการศึกษากลไกการกำจัดและปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารเหล่านั้น ซึ่งต้องออกแบบการทดสอบและทดลองกับสารเหล่านี้อีกครั้ง
- 3) การศึกษาถึงกระบวนการล้างสารที่ใช้ทดสอบเป็นสิ่งจำเป็นเพราะค่าที่ได้อาจส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการกำจัดของสาร นอกจากนี้การใช้สารที่เหมาะสมในการทำ ความสะอาดจึงเป็นสิ่งควรระวัง โดยเฉพาะการใช้งานกับกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ในโรงงานจริง ซึ่งการเลือกใช้สารเคมีสำหรับทำความสะอาดอาจต้องใช้ตามคำแนะนำของทางบริษัทที่จำหน่ายสารเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม
- 4) การทดสอบแบบต่อเนื่องอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตน้ำดื่ม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มตาม



ปริมาณของสารที่ใช้และเวลาที่เหมาะสมในสำหรับใช้งานก่อนที่จะมีการล้างระบบ เพื่อให้สภาพของสารกลับมาใช้ได้ใหม่

- 5) สำหรับกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ควรมีการบันทึกปริมาณน้ำที่ผลิตได้และมีการตรวจสอบความเข้มข้นของสิ่งเจือปนหลงเหลือในน้ำดื่มก่อนที่จะใช้บริโภค โดยเฉพาะความเข้มข้นที่ยังพบมากและเกินมาตรฐานน้ำดื่ม ทั้งนี้การตรวจสอบยังแสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำ และอาจพบกระบวนการผลิตบางส่วนที่ต้องการปรับปรุง
- 6) ควรมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนและหลังบรรจุขวดเพื่อตรวจสอบสภาพของเชื้อแบคทีเรียที่อาจเกิดขึ้นได้ในขวดบรรจุภัณฑ์
- 7) การทดสอบเพิ่มเติมในห้องปฏิบัติการ
  - ผลของความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสที่มีผลต่อการกำจัดโดยใช้สารกรองแมงกานีส
  - ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์หรือแอคติเวตเต็ดคาร์บอน รวมทั้งการประยุกต์ใช้ Isotherm และการหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง
  - ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีผลต่อการจับตัวของเรซินประจุบวก การหาความสามารถการจับตัวของระหว่างทั้งสองสาร
  - ผลการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซัลเฟตและไนเตรดต่อการกำจัดสารโดยสารเรซินประจุลบ
  - การออกแบบการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยทดสอบกับสารแมงกานีส ถ่านกัมมันต์หรือแอคติเวตเต็ดคาร์บอน รวมทั้งสารเรซินประจุบวกและลบ ตามสภาพของน้ำตัวอย่างที่ปรับเปลี่ยนไป

## บรรณานุกรม

- กองควบคุมอาหาร. 2543. แนวทางการป้องกันปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในการผลิตน้ำบริโภคบรรจุขวด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61. 2524. เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 24 กันยายน 2524 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 108 ตอนที่ 61 ลงวันที่ 2 เมษายน 2534.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332. 2521. ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521.
- ไพศาล วีรกิจ. 2545. การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : บริษัทเอ็มแอลอี จำกัด.
- มั่นสิน คัมพลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา เล่มที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มั่นสิน คัมพลเวศม์, ไพพรรณ พรประภา. 2545. การปรับปรุงคุณภาพน้ำ สำหรับระบบหม้อไอน้ำ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบประปา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Clifford, D. A. 1990. **Water Quality and Treatment**, Fourth Edition, Edited by Pontius, F. W., American Water Works Association, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Mattaraj, S., and J. E. Kilduff. 2003. Using Reverse Osmosis to Remove Natural Organic Matter from Power Plant Makeup Water, **PowerPlant Chemistry Journal**, 5(1), pp. 31-35.
- Pontius, F. W. 1990. **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**, Fourth Edition, American Water Works Association, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Eaton, A. D., L. S. Clesceri, and A. E. Greenberg eds. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19<sup>th</sup> Edition, Washington, D.C.

## ประวัตินักวิจัย 1

### 1. ชื่อและสกุล :

ภาษาไทย                      นายสุพัฒน์พงษ์ มัตราข  
ภาษาอังกฤษ                  SUPATPONG MATTARAJ

### 2. ตำแหน่ง :

- อาจารย์ระดับ 7 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

### 3. ประวัติการศึกษา :

ปีที่จบ	ระดับปริญญา	อักษรย่อ	สาขา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2544	Doctor of Philosophy	Ph.D.	Environmental Engineering	Membrane Technology	Rensselaer Polytechnic Institute	NY, USA
2540	Master of Science	M.S.	Environmental Engineering	Water Engineering	Georgia Institute of Technology	GA, USA
2538	Master of Engineering	M.Eng.	Environmental Engineering	Wastewater Engineering	Asian Institute of Technology (AIT)	ไทย
2535	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วศ.บ.	วิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยม 2)	-	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

### 4. ประวัติการทำงาน :

#### 4.1 ประวัติการรับราชการ

- รับราชการเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2537 ตำแหน่งอาจารย์ระดับ 3 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ปรับวุฒิตำแหน่งอาจารย์ระดับ 3 เป็นอาจารย์ระดับ 5 เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2545
- เลื่อนระดับจากอาจารย์ระดับ 5 เป็นอาจารย์ระดับ 6 เมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2545
- เลื่อนระดับจากอาจารย์ระดับ 6 เป็นอาจารย์ระดับ 7 เมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2547

- รักษาราชการแทนหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี เมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ถึงปัจจุบัน

#### 4.2 ประวัติการทำงานในบริษัทเอกชนในต่างประเทศ

- วิศวกรสิ่งแวดล้อม บริษัทจีอี (General Electric, Schenectady, NY, USA) ในส่วนของ GE Corporate ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2545 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 รับผิดชอบงานป้องกันและควบคุมของโลหะหนัก (Pollution Prevention, P2 Program)

#### 4.3 ประวัติการทำงานในบริษัทเอกชนในประเทศไทย

- วิศวกรโยธา บริษัทซีแพคคอนกรีตโปรดักต์ (CPAC Concrete Products, CO., Ltd) เขตสนามบินน้ำ จังหวัดนนทบุรี ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2535 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2536 รับผิดชอบการออกแบบ Post-tensioned slab สำหรับงานก่อสร้างตึกสูง

### 5. รางวัล และเกียรติคุณ

- |                   |  |
|-------------------|--|
| ก.ย. 38- ก.ย. 44  | ได้รับทุนจากรัฐบาลไทยไปศึกษาต่อปริญญาระดับโทและเอก สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา  |
| ม.ค. 37-ธ.ค. 38   | ได้รับทุน AIT-Queen Sirikit Environment and Development Fellowship Scholarship สำหรับศึกษาต่อระดับปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ประเทศไทย |
| มิ.ย. 31-มี.ค. 35 | จบปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 2)  |

### 6. ผลงานวิจัย

#### 6.1 ผลงานตีพิมพ์วารสารและเอกสารประกอบการสอน

- Kilduff, J. E., Mattaraj, S., and Belfort, G. (2004) "Flux Decline during Nanofiltration of Naturally- Occurring Dissolved Organic Matter: Effects of Osmotic Pressure, Membrane Permeability, and Cake Formation," *J. Membrane Science*, 239(1), 39-53.
- Kilduff, J. E., Mattaraj, S., Wigton, A., Kitis, M., and Karanfil, T. (2004) "Effects of Reverse Osmosis Isolation on Reactivity of Naturally Occurring Dissolved Organic Matter in Physicochemical Processes," *Water Research*, 38, pp.1026-1036.

- เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล (WATER SUPPLY AND SANITARY ENGINEERING) พ.ศ. 2546
- Mattaraj, S. (2003) "Flux Decline during Nanofiltration of Natural Organic Matter: Impact of pH and Ionic Strength," *Journal of Ubon Ratchathani University*, 5(1) (January - June, 2003).
- Mattaraj, S., and J. E. Kilduff. (2003) "Using Reverse Osmosis to Remove Natural Organic Matter from Power Plant Makeup Water," *PowerPlant Chemistry Journal*, 5(1), pp. 31-35.
- Kilduff, J. E., Mattaraj, S., Sensibaugh, J., Pieracci, J. P., Yuan, Y., Belfort, G. (2002) "Modeling Flux Decline During Nanofiltration of NOM with Poly (arylsulfone) Nanofiltration Membranes Modified Using UV-Assisted Graft Polymerization", *Environmental Engineering Science*, 19(6), pp.477-496.
- Kilduff, J. E., Mattaraj, S., J. P. Pieracci, and G. Belfort. (2000) "Photochemical Modification of Poly (ether sulfone) and Sulfonated Poly (sulfone) Nanofiltration Membranes for Control of Fouling by Natural Organic Matter," *Desalination*., 132, pp. 133-142.
- Mattaraj, S., Chongrak Polprasert, and E. S. K. Chian. (1998) "Kinetic Characteristics of Constructed Wetlands for Treatment of Domestic Wastewater in the Tropics", *Overseas Chinese Environmental Engineers and Scientists Association (OCEESA) Journal*, 15(1), pp.13-17.
- Mattaraj, S., and E. S. K. Chian. (1997) "Removal of Hardness and Dissolved Organic Matter (DOM) using Nanofiltration Membrane", *Overseas Chinese Environmental Engineers and Scientists Association (OCEESA) Journal*, 14(2), pp.29-33.

## 6.2 ผลงานวิชาการอื่น ๆ (เช่น Proceedings & Presentations)

- Kilduff, J.E.; Mattaraj, S.; Belfort, G. (2004) "Factors Affecting Flux Decline during Nanofiltration of Natural Water," Presented at NAMS 2004, the North American Membrane Society National Meeting, Honolulu, Hawaii, USA. (June 26-30, 2004).

- Kilduff, J.E.; Mattaraj, S.; Belfort, G., (2004) "Flux Decline During Nanofiltration of Naturally-Occurring Organic Dissolved Organic Matter: Effects of Osmotic Pressure, Membrane Permeability, and Cake Formation," Presented at the 78th ACS Colloid and Surface Science Symposium, Yale University, New Haven, CT, USA. (June 20 -23, 2004).
- Mattaraj, S. (2003) "Effects of Operating Conditions on Nanofiltration Performance of Salt Solutions," The 13<sup>th</sup> Conference of Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry, Srinakharinwirot University, Nakornnayok, Thailand, October 30-31, 2003, S-03, pp. 1-15.
- Mattaraj, S. and J.E. Kilduff. (2003) "Effects of Natural Organic Matter Properties on Nanofiltration Flux," Proceedings of the Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering (RSID4), Kasetsart University, Bangkok, Thailand (April 3-5, 2003), pp. 1051-1060.
- Mattaraj, S. and J.E. Kilduff. (2003) "Nanofiltration Membrane of Surface Waters: Impact of Salt-NOM Interaction on Solution Flux", Proceedings of the 2<sup>nd</sup> National Environmental Conference, Environmental Engineering Association of Thailand, Khon Kaen, Thailand, pp. 503-510. (Jan. 22-24, 2003).
- Mattaraj, S. (2002) "Removal of Natural Organic Matter by Reverse Osmosis Membrane," Proceedings of the 8<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand (Oct. 23-25, 2002), ENV-201-206.
- Mattaraj, S. (2002) "Nanofiltration Membrane Fouling: Effect of Solution Chemistry and Natural Organic Matter," Proceeding of the 8<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand (Oct. 23-25, 2002), ENV-195--200.
- Mattaraj, S. (2002) "Effect of Solution Flux Decline on Nanofiltration Membrane by Natural Water," Proceeding of the 3<sup>rd</sup> National Symposium on Graduate Research, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, pp. 337-338 (July 18-19, 2002).
- Kilduff, J. E., S. Mattaraj, J. P. Pieracci, and G. Belfort. (2000) "Photochemical Modification of Poly (ether sulfone) and Sulfonated Poly (sulfone) Nanofiltration

Membranes for Control of Fouling by Natural Organic Matter," Proceeding of International Water Association Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production, Volume 2, Paris, France, pp. 239-248. (Oct. 3-6, 2000).

- Mattaraj, S. and J. E. Kilduff. (2000) "Crossflow Membrane Filtration For Removing Natural Organic Matter: Factors Affecting Flux Reduction," Proceeding of the 32<sup>nd</sup> Mid-Atlantic Industrial & Hazardous Waste Conference, Troy, New York, USA, pp. 373-384, (June 25-27, 2000).
- Mattaraj, S. and J. E. Kilduff. (2000) "Crossflow Membrane Filtration For Removing Natural Organic Matter: Factors Affecting Flux Reduction," Presented at the 74<sup>th</sup> Colloid and Surface Science Symposium, Lehigh University, Pennsylvania, USA (June 19-21, 2000).
- Mattaraj, S., J. E. Sensibaugh, J. P. Pieracci, G. Belfort, and J. E. Kilduff. (1999) "Effects of Natural Organic Matter on Membrane Processes for Pollution Control," Presented at the 1999 Annual Meeting of the American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Dallas, Texas, USA (Oct. 31-Nov. 5, 99).

### 6.3 Oral Presentation และการเป็นวิทยากรบรรยาย

- Kilduff, J.E.; Mattaraj, S.; Pieracci, J.P.; Yuan, Y.; Belfort, G. Modeling Flux Decline During Nanofiltration of NOM with Poly(arylsulfone) Membranes Modified Using UV-Assisted Graft Polymerization," Presented at the 226th ACS National Meeting, New York, NY, September 7-11, 2003. (Oral Presentation).
- การบรรยายเรื่องการจัดการทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อม (30 สิงหาคม 2545) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เรื่อง Reverse Osmosis Membrane For Removing Dissolved Organic Matter และ Mathematic Modeling of Water Quality
- J. E. Kilduff, Mattaraj, S., J. E. Sensibaugh, J. P. Pieracci, G. Belfort. (2001) "Modification of Nanofiltration Membranes for Control of NOM Fouling," Presented at the AWWA Annual Conference, Washington, DC, USA, (June 17-21, 2001).



- Mattaraj, S. (2001) "Effect of Solution Composition on NF Fouling by Natural Organic Matter," Presented at General Electric, Schenectady, NY, USA, (Oct. 31, 2001).
- Kilduff, J.E.; Mattaraj, S.; Pieracci, J.P.; Yuan, Y.; Belfort, G. Modeling Flux Decline During Nanofiltration of NOM with Poly(arylsulfone) Membranes Modified Using UV-Assisted Graft Polymerization," Presented at the 226th ACS National Meeting, New York, NY, September 7-11, 2003. (Oral Presentation).
- Mattaraj, S. and J. E. Kilduff. (2000) "Nanofiltration of Surface Waters: Factors Affecting Flux and Rejection," Presented at the NYS AWWA Conference, Syracuse, NY, USA (April 11-14, 2000).

#### 6.4 วิทยานิพนธ์

- Mattaraj, S. (2001) *The Influence of Natural Organic Matter (NOM) Properties on NF Fouling*, Ph.D. Dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
- Mattaraj, S. (1995) *Kinetic Evaluation of Constructed Wetlands for Treatment of Domestic Wastewater*, Master Thesis (M.Eng.), Asian Institute of Technology, Patumthani, Thailand.
- Mattaraj, S. (1997) *Removal of Dissolved Organic Matter (DOM) by NF membrane*, Master Thesis (M.S.), Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.

## ประวัตินักวิจัย 2

### 1. ชื่อและสกุล :

ภาษาไทย นางสาวสุมนา สิริพัฒนานกุล  
ภาษาอังกฤษ SUMANA SIRIPATTANAKUL

### 2. ตำแหน่ง :

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

### 3. ประวัติการศึกษา :

ปีที่จบ	ระดับปริญญา	อักษรย่อ	สาขา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2545	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	วศ.ม.	วิศวกรรม สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ไทย
2542	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วศ.บ.	วิศวกรรม สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ไทย

### 4. ประวัติการทำงาน :

- อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2545 – ปัจจุบัน)
- ผู้ช่วยวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม โครงการงานบริหารและจัดการระบบกระจายน้ำ โครงการ โขง-ชี-มูล : ฝ่ายมหาสารคาม ฝ่ายกุมภวาปี และฝ่ายวังยาง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ( 2544 – 2545)
- ผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2544 – 2545)
- ผู้ช่วยวิจัย ศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ( 2542 – 2545)

### 5. ประสบการณ์ในการวิจัยและช่วยวิจัย

- งานวิจัยปรับปรุงระบบการผลิตและคุณภาพอุตสาหกรรมน้ำดื่มสำหรับชุมชน (2546-ปัจจุบัน)
- งานวิจัยการศึกษาสภาพและแนวทางแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำในจังหวัดอุบลราชธานี (2546-ปัจจุบัน)
- การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม : สวนสัตว์อุบลราชธานี (2546)
- งานบริหารและจัดการระบบกระจายน้ำ โครงการ โขง-ชี-มูล (2544-2545)
- งานศึกษาและจัดทำแผนป้องกันแก้ไข ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเก็บกักน้ำในตัวลำนน้ำ โครงการน้ำสงคราม (2544)
- การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (2544)
- งานวิจัยลุ่มน้ำพอง (2543-2545)
- การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพน้ำจากโปรเจกกรีน (2543-2544)
- การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โครงการคลองผันน้ำคูฟ้า-เขบาย (2543- 2544)
- การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม บริษัท ฟินิกซ์ พัลพ แอนด์ เพเพอร์ จำกัด (มหาชน) (2543)
- โครงการเสริมสร้างประสิทธิภาพการดำเนินการจัดการสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัด ประจำปี 2543 สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7 (2543)
- การกำหนดเขตพื้นที่ประกอบการอุตสาหกรรม 4 จังหวัด : ขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ และเลย (2542 – 2543)
- การศึกษาความเหมาะสมในการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมในการทำงานของสถานีวิทยุเสียงอเมริกาประจำประเทศไทย จังหวัดอุบลราชธานี (2542)

## 6. รางวัล และเกียรติคุณ

ร.ก. 2545 รางวัลประกาศเกียรติคุณสำหรับผู้สำเร็จการศึกษาระดับมหาวิทยาลัย  
เกรดเฉลี่ย 4.00

## 7. ผลงานวิจัย

### 7.1 ผลงานวิชาการ

- บทความทางวิชาการในการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 15 : การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสัตว์อุบลราชธานี (2546)
- บทความทางวิชาการในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 2 : การหาเวลาที่เหมาะสมในการย่อยตะกอนแบบใช้อากาศด้วยระบบแอสบิอาร์ที่อุณหภูมิมะไซฟิสิกและเทอร์โมฟิสิก (2546)
- บทความทางวิชาการในการประชุมสัมมนา The 8<sup>th</sup> Tri-University international Joint Seminar & Symposium.: Clean Technology in Native Starch Industry (2544)

## 7.2 ปริญญานิพนธ์

- งานวิจัยวิทยานิพนธ์ : การหาเวลาที่เหมาะสมในการย่อยตะกอนแบบใช้อากาศด้วยระบบแอสบิอาร์ที่อุณหภูมิมะไซฟิสิกและเทอร์โมฟิสิก (2545)
- โครงการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : การบำบัดโครเมียมและแอมโมเนียจากน้ำทิ้งการทดลอง BOD และ COD (2542)

