

การบำบัดแอมโมเนียในน้ำด้วยวิธีไอโซเนชั่น



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....55689.....
วัน,เดือน,ปี..... 24 พ.ค. 2548

.....
.....
.....


การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Aqueous Ammonia Solution by Ozonation

Mr. Kritsada Sattayawinij

Mr. Thanai Sripaisal

Mr. Teeranun Korsuwansakul



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUL'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การบำบัดแอมโมเนียในน้ำด้วยวิธีโอโซนเข้มข้น

นักศึกษา นายกฤษฎา ลัตยวินิจ รหัส 43010574

นายธัญย ศรีไพศาล รหัส 43010645

นายธีระนันท์ ก่อสุวรรณลกุล รหัส 43010658

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

พ.ศ. 2546

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ธีรฤดี เบญจางคประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



[Signature]
..... ประธานกรรมการ
(ดร.สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์)

[Signature]
..... กรรมการ
(อาจารย์ธีรฤดี เบญจางคประเสริฐ)

[Signature]
..... กรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

[Signature]
..... กรรมการ
(ดร.ดวงกมล ณ ระนอง)

[Signature]
..... กรรมการ
(ดร.บงกช งามลม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การบำบัดแอมโมเนียในน้ำโดยวิธีไอโซเนชัน

โดย นายกฤษฎา สัตยวินิจ

นายธนาย ศรีไพศาล

นายธีระนันท์ ก่อสุวรรณสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุธาสินี เนรมิตตพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ

ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการบำบัดแอมโมเนียด้วยวิธีไอโซเนชันเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมต่อการออกแบบเครื่องบำบัด โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายแอมโมเนียเริ่มต้นที่สูงจะมีผลต่อการลดลงของแอมโมเนียมาก เนื่องจากไฮดรอกไซด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับไอโซนเกิดเป็นอนุผลิตภัณฑ์ของไฮดรอกซิล ซึ่งอนุผลิตภัณฑ์ของไฮดรอกซิลนี้จะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในน้ำเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปไนเตรต และอาจมีผลิตภัณฑ์ในรูปก๊าซไนโตรเจนเกิดขึ้น เนื่องจากคลอไรด์ไอออนที่ปนเปื้อนในน้ำทำปฏิกิริยากับไอโซน และแอมโมเนียทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปก๊าซไนโตรเจนได้ สำหรับภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดคือ การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ที่ 10 จะสามารถบำบัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ร้อยละ 72 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยา 0.251 มิลลิกรัมต่อลิตรต่ออนาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบำบัดจะเกิดเป็น ไนเตรตในน้ำ และมีบางส่วนเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจน เนื่องจากอิทธิพลของคลอไรด์ไอออนในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Removal of Aqueous Ammonia Solution by Ozonation
By Mr. Kritsada Sattayawinij
 Mr. Thanai Sripaisal
 Mr. Teeranun Korsuwansakul
Advisor Dr. Sutasinee Neramittagapong
Co-Advisor Ruenruedee Benjangkprasert
Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research is to investigate ammonia removal by ozonation. To acquire the optimum condition for designing of ammonia removal system, the effect of pH, type of reactors were investigated using a batch bubble reactor. Ammonia solution with concentration of 40 mg/l was fed into the reactor and O₃ gas was introduced from the bottom through a glass diffuser. The decomposition of ammonia was mainly affected by pH. The rate of ammonia decomposition increased with increasing pH of influent. OH⁻ can react with ozone to form hydroxyl radical which more active than ozone molecule to oxidize ammonia. It was necessary to maintain pH of 10 (adjusted by adding NaOH) during the reaction in order to achieve high ammonia conversion (72%). Nitrate was the main product with nitrogen as the main by-product.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุธาณี เรมิตตพงษ์ และ อ.รันทดี เบญจางคประเสริฐ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาโทฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



นายกฤษฎา

สัตยวิจิตร

นายธัญ

ศรีไพศาล

นายธีระนันท์

ก่อสุวรรณสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 คุณสมบัติของไอโซน.....	3
2.2 การผลิตไอโซน.....	3
2.3 ข้อดี ข้อเสียของไอโซน.....	7
2.4 ผลดีของไอโซนต่อมนุษย์.....	7
2.5 แอมโมเนีย.....	8
2.6 ไนโตรท และไนเตรต.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
3.1 การทดลองศึกษาผลกระทบของอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย.....	12
3.2 การทดลองศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเครื่องปฏิกรณ์ ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย.....	13
3.3 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ต่าง ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่คงที่	
ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย.....	16
3.5 ศึกษาความเข้มข้นของไนเตรตที่เกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน	
ของแอมโมเนียโดยไอโชนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	18
บทที่ 5 สรุปและแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	26
ภาคผนวก ก	27
ภาคผนวก ข	30
ภาคผนวก ค	35
ภาคผนวก ง	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ไอโซนในการบำบัด	7
ตารางที่ 4.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ภาวะต่างๆ	23
ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียกับค่าการดูดกลืนแสง	29
ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่างๆ	30
ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน ที่ 2500 มิลลิลิตร ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่างๆ	30
ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8	31
ตารางที่ ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9	31
ตารางที่ ข.5 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10	32
ตารางที่ ข.6 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11	32
ตารางที่ ข.7 ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างตามเวลา ที่ทำการป้อนไอโซน	33
ตารางที่ ข.8 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารละลายผสมตัวอย่าง ที่เวลาต่างๆ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ	33
ตารางที่ ข.9 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารละลายผสมตัวอย่าง และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เวลาต่างๆ เมื่อมีการเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.001 โมลาร์ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 10	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรต และค่าความเป็นกรด-ด่าง	35
ตารางที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเลือกเกิดเป็นไนเตรต และค่าความเป็นกรด-ด่าง	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องผลิตไอโซน	4
รูปที่ 2.2 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย	9
รูปที่ 3.1 ชุดทดลองการบำบัดแอมโมเนียในน้ำด้วยวิธีไอโซเนชั่น	11
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนีย และเวลาที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่างๆ	19
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนีย และเวลาเมื่อเครื่องปฏิกรณ์ที่มีรูปทรงต่างกัน	20
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนีย และเวลาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ	20
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และเวลาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ	21
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและเวลา ที่การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 10 และไม่มีการควบคุม	22
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรต และค่าความเป็นกรด-ด่าง	22
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเลือกเกิดเป็นไนเตรต และค่าความเป็นกรด-ด่าง	23
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายแอมโมเนีย	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

K_a	=	ค่าคงที่ (5.62×10^{-10})
$[\text{NH}_3]$	=	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)
$[\text{O}_3]$	=	ความเข้มข้นของโอโซน (มิลลิกรัม/ลิตร)
$[\text{NH}_4^+]$	=	ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)
$[\text{H}^+]$	=	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)
V	=	ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (โวลต์)
P	=	ความดันภายในของอากาศ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
g	=	ความกว้างของช่องอากาศ (นิ้ว)
f	=	ความถี่ของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (เฮิรตซ์)
e	=	ค่าไดอิเล็กทริก (พาร์ต/นิ้ว)
d	=	ความหนาของไดอิเล็กทริก (นิ้ว)
k_1, k_2	=	ค่าคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ เช่น น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง น้ำเสีย จากครัวเรือน เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากแอมโมเนียในน้ำเสียได้ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติคือทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงโดยตรงและทางอ้อม แอมโมเนียเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของธาตุไนโตรเจน เช่น โปรตีนหรือสิ่งปฏิกูลในน้ำ ในน้ำที่มีแอมโมเนียซึ่งมีส่วนประกอบของไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารสำคัญต่อพืชน้ำมาก พืชน้ำจึงเจริญเติบโตได้ดีและมีปริมาณมากขึ้น เมื่อพืชน้ำเจริญเติบโตแล้วจะใช้ออกซิเจนจำนวนมากสำหรับการหายใจทำให้จำนวนออกซิเจนในน้ำน้อยลงจึงมีผลทำให้สัตว์น้ำตาย ซากของสัตว์น้ำเหล่านั้นทับถมกลายเป็นสิ่งปฏิกูลทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พืชน้ำเหล่านั้นยังทำให้เกิดปัญหาการบดบังแสงอาทิตย์ ทำให้พืชน้ำที่อยู่ด้านล่างไม่ได้รับแสงอาทิตย์เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงจึงตายลง และทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำนั้นเพิ่มขึ้นเกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ และซากพืชซากสัตว์เหล่านั้นยังทำให้เกิดปัญหาแหล่งน้ำตื้นเขินอีกเช่นกัน [1] นอกจากนี้แอมโมเนียยังเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยทำให้ฮีโมโกลบินสูญเสียความสามารถในการจับออกซิเจนและมีการเจริญเติบโตได้ช้ากว่าปกติ [2] ด้วยเหตุนี้แอมโมเนียจึงเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำ

การบำบัดแอมโมเนียสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การบำบัดทางชีวภาพ โดยการใช้ออกซิเดชันที่ภาวะความดันและอุณหภูมิสูงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น แต่วิธีบำบัดแอมโมเนียที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการบำบัดโดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวออกซิไดซ์นั้น มีการใช้งานง่ายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับน้ำ การบำบัดด้วยไฮโดรเจนนี้จะใช้เวลาในการบำบัดน้อยกว่าการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ และกระบวนการบำบัดไม่ซับซ้อน [3] ในปัจจุบันมีการนำไฮโดรเจนไปใช้ในการกำจัดเชื้อโรคในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม [4] จึงได้ศึกษาถึงกระบวนการบำบัดแอมโมเนียในน้ำด้วยไฮโดรเจนขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในน้ำโดยวิธีไอโซเนชัน และหาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องมือนำบำบัดแอมโมเนียในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในน้ำโดยใช้ไอโซเนชันในถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor)
2. ศึกษาและทดลองเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสม เช่น อัตราการป้อนก๊าซผสม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิสำหรับการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสียด้วยวิธีไอโซเนชัน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. การทำการทดลองออกซิเดชันแอมโมเนีย ที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่างๆ
2. การทำการทดลองออกซิเดชันแอมโมเนีย เปรียบเทียบระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ทรงกลมและเครื่องปฏิกรณ์แบบกะทรงสูง
3. การทำการทดลองออกซิเดชันแอมโมเนีย ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ
4. การทำการทดลองออกซิเดชันแอมโมเนีย ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่
5. การศึกษาความเข้มข้นของไนเตรตที่เกิดขึ้น หลังจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนียโดยไอโซเนชันที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

เข้าใจหลักการกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีออกซิไดซ์ด้วยไอโซเนชัน รวมถึงภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องมือนำบำบัดน้ำเสีย และปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติของโอโซน

โอโซนอยู่ในรูปของออกซิเจน มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ O_3 เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร มีสีฟ้า มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถพบได้ในบรรยากาศ เป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง สำหรับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ คุณสมบัติทางกายภาพของโอโซน มีดังนี้

มวลโมเลกุล เท่ากับ 47.9982

จุดเดือดที่ความดัน 1 บรรยากาศ เท่ากับ -111.9 องศาเซลเซียส

จุดเยือกแข็งที่ความดัน 1 บรรยากาศ เท่ากับ -192.7 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิวิกฤต เท่ากับ -12.1 องศาเซลเซียส

ความดันวิกฤต เท่ากับ 54.6 บรรยากาศ

ความหนาแน่นในสภาวะก๊าซ เท่ากับ 1.7 กรัม/ลิตร (อากาศ เท่ากับ 1)

ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.144

2.2 การผลิตโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและไม่เสถียร เนื่องจากโอโซนสามารถเปลี่ยนเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องผลิตในระบบ วิธีการโดยทั่วไปในการผลิตมีหลายวิธี เช่น โคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) หรือการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต สำหรับวิธีที่นิยมคือ โคโรนาดีสชาร์จ

ข้อดีของเครื่องผลิตโอโซนชนิดโคโรนาดีสชาร์จ

1. เครื่องมือมีขนาดเล็กทำการเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย
2. ผลิตโอโซนบริสุทธิ์ได้มากโดยปราศจากก๊าซที่เป็นอันตรายหรือทำให้ระคายเคือง
3. โคโรนาเซลล์ (corona cell) มีอายุการใช้งานนานกว่า 10 ปี
4. สามารถผลิตโอโซนได้ในปริมาณสูง (มากถึง 45.45 กิโลกรัม/วัน)
5. ค่าใช้จ่ายถูกกว่าแบบรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

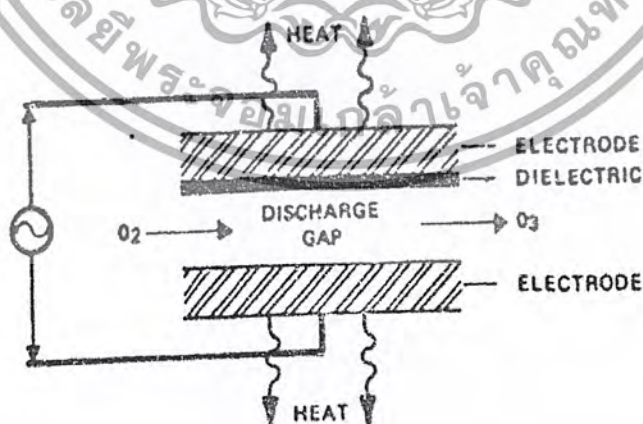
6. เครื่องผลิตโอโซนชนิดโคโรนาดีสชาร์จสามารถใช้ออกซิเจนเป็นก๊าซป้อนซึ่งจะได้โอโซนออกมาเป็น 2 เท่าของการให้อากาศเป็นก๊าซป้อนในปริมาณการป้อนที่เท่ากัน

ก๊าซที่ใช้ป้อนเข้าเครื่องผลิตโอโซนนั้นสามารถใช้ได้ทั้งอากาศ ออกซิเจน หรืออากาศที่เพิ่มออกซิเจน การเลือกชนิดของก๊าซป้อนให้เหมาะสมกับการใช้งานคือเสียค่าใช้จ่ายต่ำ รวมทั้งต้องดูปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณโอโซนที่ต้องการ ความเข้มข้นของโอโซนในก๊าซป้อน และการนำก๊าซป้อนมาใช้ใหม่หรือปล่อยทิ้งไป ในการใช้เครื่องผลิตโอโซนที่มีการป้อนกำลังและการไหลของก๊าซตามที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าการใช้ก๊าซป้อนเป็นออกซิเจนจะผลิตโอโซนได้มากกว่าการให้อากาศเป็นก๊าซป้อน 2-3 เท่า โดยความเข้มข้นสูงสุดของการผลิตโอโซนจากอากาศคือ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ในขณะที่การผลิตโอโซนด้วยก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์คือ ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก

การบำบัดด้วยโอโซนประกอบด้วยระบบย่อย 3 ระบบ คือ การเตรียมก๊าซป้อน การผลิตโอโซน และการสัมผัสกันของโอโซนกับน้ำ โอโซนถูกผลิตโดยการใช้ลวดโคโรนาที่มีความต่างศักย์สูง มีออกซิเจนเป็นก๊าซป้อน

การสลายตัวของโอโซนจะแปรผันตามความร้อน และความเข้มข้นของโอโซน เพราะอิเล็กตรอนในช่องว่างของเซลล์สัมผัสกับโมเลกุลของโอโซนได้ดีใกล้เคียงกันกับการสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจน ดังนั้น ต้องผ่านอากาศหรือออกซิเจนเข้าไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้โอโซนที่เกิดขึ้นแล้วออกจากระบบไป

เมื่อไฟฟ้าแรงสูงกระแสลับเคลื่อนที่ผ่านช่องว่าง (discharge gap) ที่ประกอบด้วยออกซิเจน โอโซนจะถูกผลิตออกมาดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องผลิตโอโซน [4]

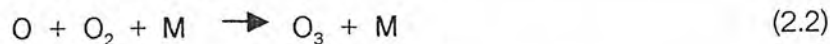
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนต่อไปนี้แสดงการเปลี่ยนของออกซิเจนในอากาศไปเป็นโอโซน

1. การเกิดอนุมูลอิสระออกซิเจนจากกระบวนการไอออไนก



2. การเกิดโอโซนจากอนุมูลอิสระออกซิเจน



โดย M คือ สารอื่น เช่น โมเลกุลของ N_2 หรือ O_2

มีเพียงร้อยละ 10 ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปที่สามารถนำไปผลิตโอโซน นอกนั้นจะสูญเสียไปในรูปของความร้อน แสง และเสียง เนื่องจากการสลายตัวของโอโซนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความร้อนสำหรับการปฏิบัติการของเครื่องสังเคราะห์ก๊าซโอโซน [4]

กลไกของการสังเคราะห์ก๊าซโอโซน เป็นการกระตุ้นและการเร่งของอิเล็กตรอนภายในสนามศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นสาเหตุให้อิเล็กตรอนถูกดูดโดยขั้วอิเล็กโทรดอันหนึ่ง จากนั้นจะถูกดูดโดยขั้วอิเล็กโทรดอีกอันหนึ่งสลับกัน เมื่ออิเล็กตรอนมีความเร็วมากพอก็สามารถแตกโมเลกุลออกซิเจนออกเป็นอนุมูลอิสระของออกซิเจน จากนั้นอะตอมเหล่านี้จะรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนกลายเป็นโอโซน [4]

ภายใต้ภาวะของการปฏิบัติการที่เหมาะสม คือ การถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ และอัตราการไหลของก๊าซป้อนที่เหมาะสม การสังเคราะห์โอโซนด้วยเครื่องสังเคราะห์แบบสนามไฟฟ้าของลวดโคโรนาสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบเครื่องสังเคราะห์ [4] ดังนี้

$$V = k_1 \times p \times g \quad (2.3)$$

$$\text{จะได้ปริมาณผลได้ของโอโซน; } \text{Yield} = k_2 \times f \times e \times V^2/d \quad (2.4)$$

เมื่อ	V	=	ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (โวลต์)
	p	=	ความดันก๊าซในช่องอากาศ (ป้อนต่อตารางนิ้ว)
	g	=	ความกว้างของช่องอากาศ (นิ้ว)
	f	=	ความถี่ของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (เฮิรตซ์)
	e	=	ค่าไดอิเล็กทริก (ฟารัด/นิ้ว)
	d	=	ความหนาของไดอิเล็กทริก (นิ้ว)
	k_1, k_2	=	ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ได้ปริมาณโอโซนเหมาะสม ควรปรับสภาวะดังนี้ [4]

1. ช่องว่างควรมีระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อรักษาความต่างศักย์ให้ต่ำกว่าช่วงปฏิบัติการ เพราะการรักษาความต่างศักย์ไว้ที่ระดับต่ำจะป้องกันผิวของฉนวนและอิเล็กโทรดได้ การทำที่ความดัน 1.7×10^5 ถึง 2.0×10^5 นิวตัน/ตารางเมตรนั้นเหมาะกับการบำบัดน้ำเสีย เพราะเมื่อโอโซนผ่านเข้าทางด้านล่างของถังบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องมีพลังงานบางส่วนเพื่อทำให้น้ำและอากาศสัมผัสกัน ดังนั้นการผลิตโอโซนที่ความดันระดับนี้ พลังงานส่วนนี้จะช่วยในการทำให้น้ำและอากาศสัมผัสกัน
2. ควรใช้ฉนวนบาง และค่าคงที่สูง เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวนมีผลต่อปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องคงไว้ที่ค่าคงที่สูงนี้ของฉนวน เพื่อลดการยุบตัวของฉนวน และเพื่อการประหยัดความร้อนที่ใหม่จะสม
3. ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งผิวของฉนวนจะถูกทำลายน้อยลง อันเป็นการยืดอายุการใช้งานของเครื่อง ในทางทฤษฎีและปฏิบัตินั้นจะรักษาฉนวนให้เล็กเท่าที่จะทำได้ในการสร้างเครื่องผลิตโอโซนเพื่อป้องกันการยุบตัวของฉนวนที่ความต่างศักย์ขณะดำเนินการ
4. ถ้าต้องการความเข้มข้นโอโซนสูงต้องทำให้เครื่องเย็นลง ดังนั้นจุดสำคัญในการหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคือ การกำจัดความร้อนออกจากระบบเท่าที่เป็นไปได้ ความต่างศักย์หรือความถี่สามารถเพิ่มขึ้นได้เพื่อการผลิตโอโซน

ปริมาณของโอโซนในเครื่องผลิตนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างฉนวน ถ้าความเข้มข้นของโอโซนและอุณหภูมิคงที่

ข้อดีของการผลิตโอโซนจากออกซิเจน [5]

1. เครื่องผลิตโอโซนใช้พลังงานต่ำ
2. ราคาต้นทุนของเครื่องผลิตโอโซนต่ำ
3. ใช้ก๊าซในปริมาณน้อยทำให้ต้นทุนและราคาในการดำเนินการถูก
4. สามารถผลิตโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงได้
5. ไม่ก่อให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ซึ่งจะลดปริมาณของโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ข้อดี ข้อเสียของโอโซน

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้โอโซนในการบำบัด [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
ไม่มีปัญหาในเรื่องกลิ่น และรสชาติ	ต้นทุนค่าอุปกรณ์สูง
กำจัดสีในน้ำได้	จำเป็นต้องผลิตในระบบเท่านั้น
เพิ่มปริมาณออกซิเจน	ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงในขณะที่ค่าการเลือกเกิดต่ำ
กำจัดเชื้อโรคได้อย่างรวดเร็ว	ความสามารถในการละลายต่ำภายใต้ภาวะปกติ
ขีดความสามารถในการเกิดออกซิเดชันสูง	โอโซนที่เหลือจากปฏิกิริยาไม่สามารถละลายอยู่ในน้ำได้นาน
ให้ค่าบีโอดี และซีโอดีต่ำ	โอโซนแตกตัวเป็นออกซิเจนเร็ว [7]
ใช้ความเข้มข้นของโอโซนต่ำ	
ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบที่เป็นพิษในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	
ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าความเป็นกรดด่าง	
ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าความเป็นกรดด่างและการที่มีแอมโมเนียผสมอยู่ [7]	

2.4 ผลดีของโอโซนต่อมนุษย์

มนุษย์ได้มีการใช้ประโยชน์จากโอโซนมานานแล้วในหลายด้าน เช่น

1. การใช้โอโซนในการทำลายสีในแม่น้ำที่เกิดจากพืชเหนือดินใต้น้ำเพื่อให้น้ำมีสีตามธรรมชาติ
2. การใช้โอโซนในการทำความสะอาดน้ำ
3. การใช้โอโซนในการทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำอัดลม
4. ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทางการเกษตร โดยการติดตั้งคอมไฟอัลตราไวโอเล็ตในห้องเย็น เพื่อให้เกิดโอโซนซึ่งจะช่วยในการเก็บรักษาพืชผล ใช้ในการทำลายแบคทีเรียในไข่ไก่ อย่างไรก็ตามไม่เหมาะที่จะใช้โอโซนอาหารที่มีไขมันมาก เช่น เนื้อสัตว์หรือเนยเพราะ

ไขมันต่างๆ จะเกิดกลิ่นเหม็นขึ้น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การใช้ในกระบวนการผลิตไวน์ น้ำผลไม้ และเหล้า
6. การใช้ไอโซนในการทำเครื่องฟอกอากาศให้สะอาด ปราศจากกลิ่นเหม็นต่างๆ
7. ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ

2.5 แอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ไม่ติดไฟ มีความหนาแน่นไอเพียง 0.6 เท่าของอากาศ ละลายน้ำได้ 89.9 กรัมต่อน้ำเย็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดเดือด -33.35 องศาเซลเซียส และจุดเยือกแข็ง -77.8 องศาเซลเซียส [8]

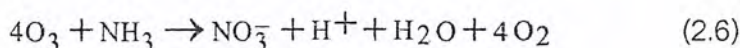
ความเป็นพิษของแอมโมเนียคือเป็นต่างกัด มีพิษต่อเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย เช่น ตา ผิวหนัง เยื่อจมูก เยื่อหูทางเดินระบบหายใจ โดยไอระเหยแอมโมเนียจะรวมตัวกับไฮดรอกซิล ไอออนบนเนื้อเยื่อ ทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลาย ถ้าไอระเหยแอมโมเนียสัมผัสกับตา จะทำให้ตาอักเสบ น้ำตาไหล (ก๊าซแอมโมเนียที่ทำให้แลบตามีความเข้มข้นตั้งแต่ 130-200 ส่วนในล้านส่วน) [8] ในรายที่สูดดมไอระเหยแอมโมเนียเข้าไปจะทำให้ผนังชั้นนอกของระบบหายใจเกิดการระคายเคืองทำให้เกิดโรคระบบหายใจ (ถ้าความเข้มข้นถึงระดับ 2500 ส่วนในล้านส่วน อาจทำให้เกิดของเหลวในปอด) กรณีที่เป็นของเหลวถ้าเป็นถูกผิวหนังจะทำให้ผิวหนังไหม้

ไนโตรเจนในน้ำเสียมี 4 รูปแบบคือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจนโดยสารอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นรูปแบบทั่วไปที่ปรากฏในน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัด [9]

แอมโมเนียไนโตรเจนที่ปรากฏในสารละลายจะอยู่ในรูป NH_4^+ หรือ NH_3 ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย โดยดูจากปฏิกิริยาสมดุล



การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย (Oxidation of ammonia) [10]
แอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกออกซิไดซ์โดยไอโซนได้ตามสมการ



$$-\frac{d[\text{NH}_3]}{dt} = k[\text{NH}_3][\text{O}_3] \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประยุกต์ใช้กฎทรงมวลสมมติให้ activity ของน้ำ = 1

$$\frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = K_a \quad (2.8)$$

K_a = acid ionization constant = 5.62×10^{-10}

สมการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนีย

$$\text{NH}_3\% = \frac{[\text{NH}_3] \times 100}{[\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+]} = \frac{100}{1 + \frac{[\text{H}^+]}{[\text{NH}_3]}} = \frac{100}{1 + \frac{[\text{H}^+]}{K_a}} \quad (2.9)$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียจะช้าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า pK_a (ประมาณ 9.3)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียจะเกิดทั้งทางตรงและทางอ้อมดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปฏิกิริยาทางตรงโดยไอโซนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของไนเตรตแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้า ในการเกิดปฏิกิริยาทางอ้อมไอโซนจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ไอออนเกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ซึ่งบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของไนเตรตเร็วกว่าปฏิกิริยาทางตรง สำหรับส่วนที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นๆ ในน้ำเช่น ไบคาร์บอเนต ไอออนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของไบคาร์บอเนต

2.6 ไนไตรท และไนเตรต

ทั้งไนไตรท และไนเตรตเป็นสารที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยความเป็นพิษของไนไตรทเกิดจากการที่ไนไตรทไอออนออกฤทธิ์โดยไปเปลี่ยนฮีโมโกลบินเป็นเมทฮีโมโกลบินด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไนไตรท 1 โมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน 2 โมเลกุล เมทฮีโมโกลบินที่เกิดขึ้นไม่สามารถรับออกซิเจนได้ ถ้าฮีโมโกลบินเปลี่ยนไปเป็นเมทฮีโมโกลบิน ร้อยละ 20-40 สิ่งมีชีวิตจะแสดงอาการขาดออกซิเจน เช่นอาการตัวเขียว อ่อนเพลีย หายใจถี่ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นแรงและมีจังหวะเร็วกว่าปกติ สิ่งมีชีวิตจะตายถ้าฮีโมโกลบินร้อยละ 40-50 เปลี่ยนไปเป็นเมทฮีโมโกลบิน

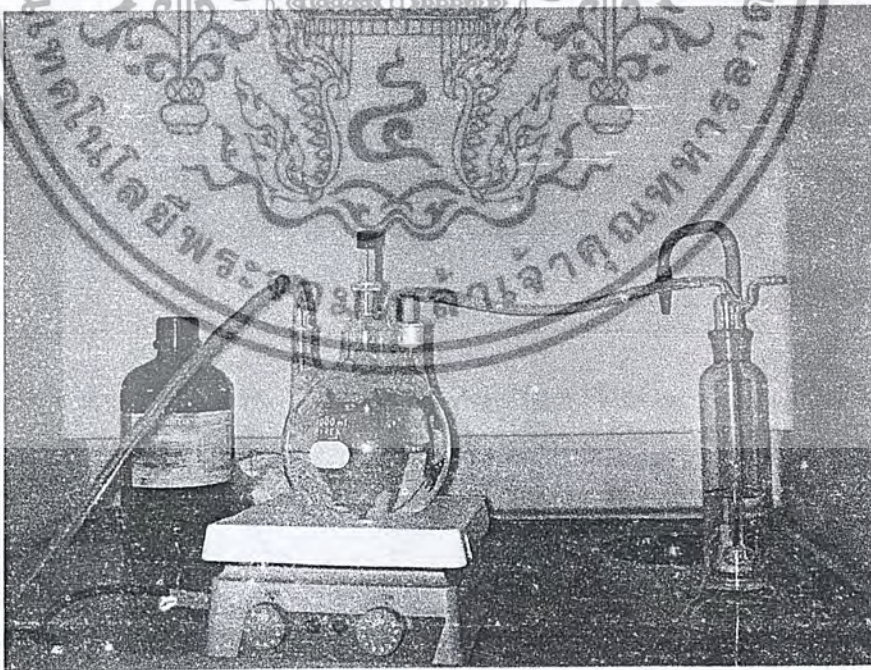
นอกจากนี้ไนไตรทไอออนยังออกฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะที่บริเวณหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดมีการขยายตัวมีผลทำให้ความดันเลือดต่ำ

ถ้าเมทฮีโมโกลบินในเลือดถ้ามีปริมาณไม่สูงนัก จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นฮีโมโกลบินในเวลาต่อมา แต่ถ้าเมทฮีโมโกลบินมีปริมาณสูงเกินกว่าที่ความสามารถของเอนไซม์ในร่างกายจะเปลี่ยนเป็นฮีโมโกลบินได้ทันแล้ว สิ่งมีชีวิตจะแสดงอาการขาดออกซิเจนดังที่กล่าวมาแล้ว [11]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียเริ่มจากนำสารละลายตัวอย่างแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นตามที่กำหนดจากสารละลายแอมโมเนียร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (Panreac Quimica SA) ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ (reactor) โดยทำการป้อนก๊าซออกซิเจนผ่านเครื่องกำเนิดโอโซน (Ozzon model: oz-732) ที่อัตราการป้อนต่างๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียกับก๊าซผสมระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซโอโซน ส่วนโอโซนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกดักด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (UNIVAR) ทำการเก็บตัวอย่างทุก 15 นาทีเพื่อวัดหาปริมาณแอมโมเนียในสารละลายด้วยวิธีเนสเลอร์ (Nesslerization Determination Method) [12] ดังภาคผนวก ก หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UVVi5 Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และทำการเก็บตัวอย่างสุดท้ายเพื่อวัดหาปริมาณไนเตรตในสารละลายด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Metrohm)



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองการบำบัดแอมโมเนียในน้ำด้วยวิธีโอโซนเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

- 3.1 ศึกษาผลกระทบของอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย
- 3.2 ศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเครื่องปฏิกรณ์ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย
- 3.3 ศึกษาผลกระทบของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย
- 3.4 ศึกษาผลกระทบของค่าความเป็นกรด-ด่างที่คงที่ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย
- 3.5 ศึกษาความเข้มข้นของไนเตรตที่เกิดขึ้น หลังจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนีย โดยไอโซนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ตอนที่ 3.1 การทดลองศึกษาผลกระทบของอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย

ในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนีย ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลง ดังนั้น การทดลองปรับค่าอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนสู่เครื่องกำเนิดไอโซนเพื่อให้ได้ก๊าซผสมที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน เพื่อพิจารณาหาค่าอัตราการป้อนออกซิเจนที่เหมาะสมโดยทำให้ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงเร็วสุด เพื่อนำค่าที่ได้ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายแอมโมเนีย 40 มิลลิกรัม/ลิตร (Panreac Quimica SA)
2. สารละลายไดไฮเดียมเอทิลีนไดอะมีน เตตราอะซิเตทไฮเดรท 9 กรัม/ลิตร (MERCK)
3. สารเนสเลอร์ (วิธีการเตรียมดังภาคผนวก ก)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vi5 Spectrophotometer)
2. เครื่องกำเนิดไอโซน (Ozzon model : oz-732)
3. ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. เครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. เติมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 40 มิลลิลิตร/ลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตรลงในเครื่องปฏิกรณ์
2. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายแอมโมเนียด้วยปิเปตต์ขนาด 5 มิลลิลิตรในขวดเก็บตัวอย่าง เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร หยดสารละลายอีดีทีเอ 1 หยด แล้วเติมสารเนสเลอร์ 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อทำปฏิกิริยา จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย
3. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซน ปรับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนที่ 1000 มิลลิลิตร/นาที
4. เปิดสวิตช์เพื่อเดินเครื่องกำเนิดโอโซน พร้อมทั้งจับเวลา
5. เก็บตัวอย่างของสารละลายแอมโมเนียทุกๆ 20 นาที ด้วยปิเปตต์ ขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วทำเหมือนขั้นตอน 2
6. ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนที่ 2000 และ 2500 มิลลิลิตร/นาที

ตอนที่ 3.2 การทดลองศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเครื่องปฏิกรณ์ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย

ทำการศึกษาเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมต่อการออกซิเดชันแอมโมเนีย เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบใดมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์แอมโมเนียได้ดีกว่า เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์รูปทรงต่างกัน จะมีการสัมผัสกันระหว่างโอโซนกับสารละลายผสมต่างกัน

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายแอมโมเนีย 40 มิลลิลิตร/ลิตร
2. สารละลายไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีน เตตราอะซิเตทไฮเดรท 9 กรัม/ลิตร
3. สารเนสเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องผลิตไอโซน
3. ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. เครื่องปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 3.1)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 40 มิลลิลิตร/ลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงเครื่องปฏิกรณ์แบบกะทรงกลม
2. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายแอมโมเนียด้วยปิเปตต์ขนาด 5 มิลลิลิตรในขวดเก็บตัวอย่าง แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วหยดสารละลายดีทีเอ 1 หยด แล้วเติมด้วยสารเนสเลอร์ 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อทำปฏิกิริยา แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย
3. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตไอโซน ปรับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 2500 มิลลิลิตร/นาที
4. เปิดสวิทช์เพื่อเดินเครื่องกำเนิดไอโซน พร้อมทั้งจับเวลา
5. เก็บตัวอย่างของสารละลายแอมโมเนียทุกๆ 20 นาที ด้วยปิเปตต์ ขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วทำเหมือนขั้นตอน 2
6. ทำการทดลองซ้ำ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะทรงสูง

ตอนที่ 3.3 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย

ในการทำการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับการทดลองที่ทำให้การออกซิไดซ์แอมโมเนียเกิดได้ดี และการทำปฏิกิริยากันระหว่างไอโซนและแอมโมเนียเกิดได้ดีในช่วงต่าง โดยทำการทดลองที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8, 9, 10 และ 11 เนื่องจากหลังทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเสร็จสิ้นค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงทำการทดลองที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียที่หายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายแอมโมเนีย 40 มิลลิกรัม/ลิตร
2. สารละลายไดไฮโดรเจนเอทิลีนไดอะมีน เตตราอะซิเตทไฮเดรท 9 กรัม/ลิตร
3. สารเนสเลอร์
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 โมลาร์ (Ajax chemical)
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.01 โมลาร์ (Ajax chemical)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องกำเนิดไอโซน
3. ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. เครื่องปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 3.1)
5. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (HANNA รุ่น PICCOLO)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 40 มิลลิลิตร/ลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตรลงเครื่องปฏิกรณ์
2. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ตามที่กำหนดไว้ โดยไตเตรตกรดไฮโดรคลอริก เมื่อสารละลายแอมโมเนียเป็นด่างมากเกินไป หรือไตเตรตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อสารละลายแอมโมเนียเป็นกรดมากเกินไป
3. เมื่อสารละลายโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 8
4. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายแอมโมเนียด้วยปิเปตต์ขนาด 5 มิลลิลิตรในขวดเก็บตัวอย่าง แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วหยดสารละลายอีดีทีเอ 1 หยด แล้วเติมด้วยสารเนสเลอร์ 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีให้ทำปฏิกิริยา แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย
5. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตไอโซน ปรับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนที่ 2500 มิลลิลิตร/นาที

6. เปิดสวิตช์เพื่อเดินเครื่องกำเนิดไอโซน พร้อมทั้งจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์อื่นใด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เก็บตัวอย่างของสารละลายแอมโมเนียทุกๆ 20 นาที ด้วยปิเปตต์ขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วทำเหมือนขั้นตอน 3
8. ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 9, 10 และ 11

ตอนที่ 3.4 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่คงที่ต่อการเกิดออกซิเดชันของแอมโมเนีย

จากการทดลองที่ความเป็นกรด-ด่างที่ค่าต่างๆพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงแสดงว่าไฮดรอกซิลในสารละลายที่นำไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง จึงต้องมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้คงที่เพื่อไฮดรอกซิลในสารละลายมีปริมาณคงที่

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายแอมโมเนีย 40 มิลลิกรัม/ลิตร
2. สารละลายโซเดียมเอทิลีนไดอะมีน เติตราอะซิเตทไฮเดรต 0.1 กรัม/ลิตร
3. สารเนสเลอรั
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมลาร์
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.01 โมลาร์

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องกำเนิดไอโซน
3. ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. เครื่องปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 3.1)
5. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 40 มิลลิลิตร/นาที่ ปริมาตร 500 มิลลิลิตรลงใน

เครื่องปฏิกรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ตามที่กำหนดไว้ โดยไตเตรตกรดไฮโดรคลอริก เมื่อสารละลายแอมโมเนียเป็นเบสมากเกินไป หรือไตเตรตด้วยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อสารละลายแอมโมเนียเป็นกรดมากเกินไป
3. เมื่อสารละลายโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 10
4. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายแอมโมเนียด้วยปิเปตต์ขนาด 5 มิลลิลิตรในขวดเก็บตัวอย่าง แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วหยดสารละลายอีดีทีเอ 1 หยด แล้วเติมด้วยสารเนสเลอร์ 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อทำปฏิกิริยา แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย
5. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตไอโซน ปรับอัตราการบ่อนก๊าซออกซิเจนที่ 2500 มิลลิลิตร/นาที
6. เปิดสวิทช์เพื่อเดินเครื่องกำเนิดไอโซน พร้อมทั้งจับเวลา
7. เก็บตัวอย่างของสารละลายแอมโมเนียทุกๆ 20 นาที โดยด้วยปิเปตต์ ขนาด 5 มิลลิลิตร ทำเหมือนขั้นตอน 3 แล้วทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ โดยการไตเตรตด้วยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตอนที่ 3.5 ศึกษาความเข้มข้นของไนเตรตที่เกิดขึ้น หลังจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยไอโซนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

การทดลองทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนียจะทำให้เกิดผลผลิตเป็นสารละลายไนเตรตขึ้น ซึ่งสารละลายไนเตรตจะก่อให้เกิดความเป็นพิษในน้ำเช่นเดียวกับสารละลายแอมโมเนีย จึงทำการศึกษาหาความเข้มข้นแอมโมเนียเกิดขึ้น

วิธีการทดลอง

วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายไนเตรต โดยส่งวัดค่าความเข้มข้นที่ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบำบัดที่ได้ทำการศึกษาคือ อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน รูปทรงเครื่องปฏิกรณ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง สำหรับที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติด้วยอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 1000, 2000, 2500 มิลลิลิตร/นาที่ ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.1 โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยารวม 0.095, 0.105 และ 0.115 มิลลิกรัม/ลิตร.นาที่ตามลำดับ เนื่องจากไอโซนละลายในน้ำได้เร็วมาก ที่อัตราการป้อน 2500 มิลลิลิตร/นาที่ จะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงเหลือ 31.96 มิลลิกรัมต่อลิตรจึงใช้อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 2500 มิลลิลิตร/นาที่ในการศึกษาทดลองที่ภาวะต่างๆ ต่อไป

ที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติได้ทำการป้อนด้วยอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 2500 มิลลิลิตร/นาที่สู่เครื่องปฏิกรณ์แบบกะทั้งทรงสูงและกลม ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.2 โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยารวม 0.205 และ 0.205 มิลลิกรัม/ลิตร.นาที่ตามลำดับ เนื่องจากระยะทางที่ไอโซนทำปฏิกิริยากับสารละลายมีใกล้เคียงกัน การสัมผัสกันระหว่างสารละลายกับไอโซนต่างกันไม่มาก

จากการทดลองทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียในน้ำด้วยไอโซนที่อุณหภูมิห้อง และความดันปกติด้วยอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 2500 มิลลิลิตร/นาที่ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8, 9, 10, และ 11 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะลดลงมากขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.3 โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยารวม 0.017, 0.045, 0.169 และ 0.196 มิลลิกรัม/ลิตร.นาที่ตามลำดับ เนื่องจากสารละลายแอมโมเนียที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงจะมีไฮดรอกซิลไอออนแตกตัวอยู่มาก การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียด้วยไอโซนจะเกิดทางอ้อมโดยไอโซนจะทำปฏิกิริยากับ ไฮดรอกซิลไอออนเกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลซึ่งทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียได้ผลิตภัณฑ์เป็นไนเตรตได้เร็วกว่าปฏิกิริยาทางตรงดังรูปที่ 2.2

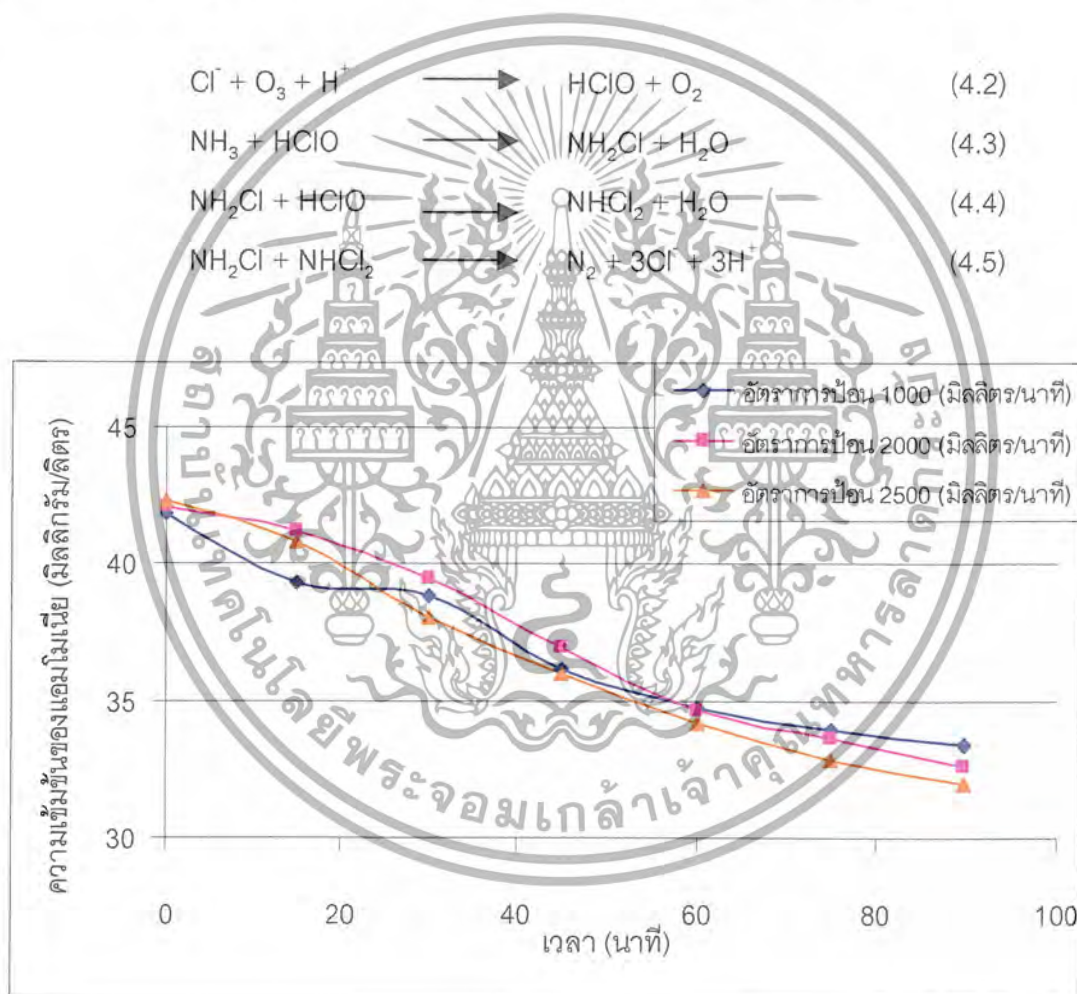
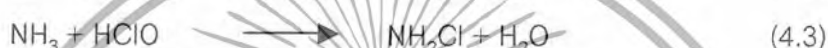
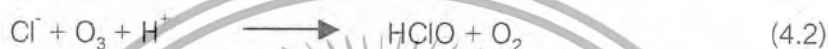
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงดังรูปที่ 4.4 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยารวม 0.251 มิลลิกรัม/ลิตร.นาที่ ตามลำดับเนื่องจากปริมาณไฮดรอกซิล ลดลง และมีผลิตภัณฑ์ใหม่เกิดขึ้นในรูปของไนเตรตซึ่งผลิตภัณฑ์นี้มีฤทธิ์เป็นกรด จึงทำการทดลองใหม่โดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ที่ 10 เพื่อควบคุมปริมาณไฮดรอกซิลไอออนให้คงที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างต่อเนื่อง การลดลงของแอมโมเนียจึงเกิดได้ดีกว่าการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างเพียงเฉพาะตอนเริ่มต้นดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเกิดปฏิกิริยารวมสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.1)

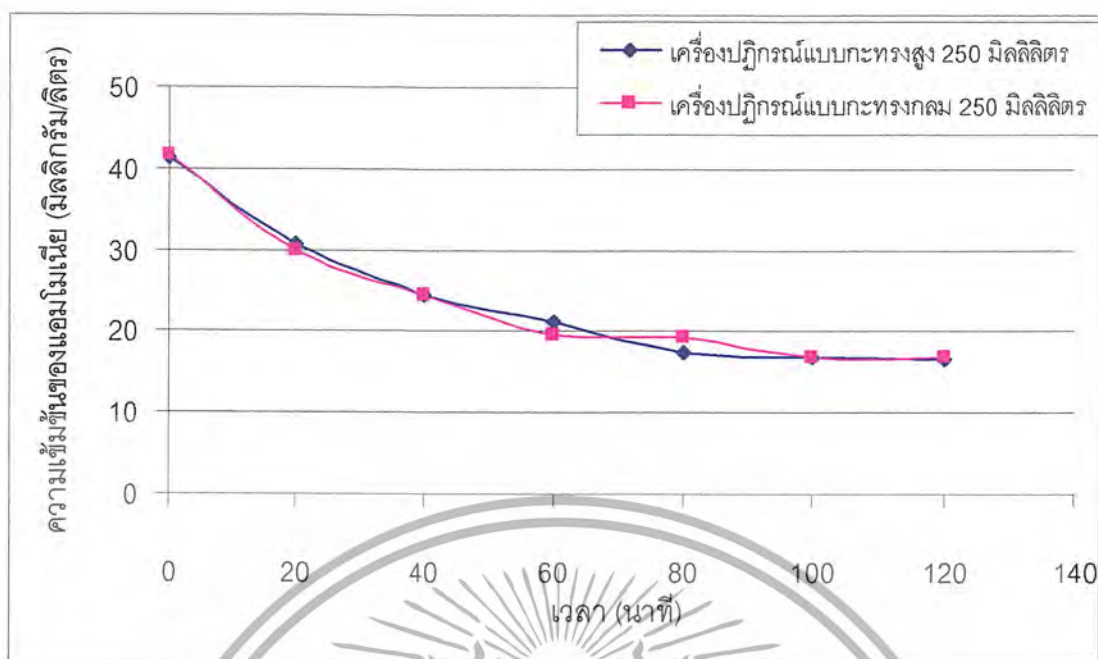
$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยารวม} = \text{ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำปฏิกิริยา/เวลา} \quad (4.1)$$

เมื่อพิจารณาร้อยละการเลือกเกิดของไนโตรเจนที่ไม่ครบร้อยละรูปที่ 4.6 อาจจะมีผลิตภัณฑ์ในรูปอื่นเกิดขึ้น เมื่อวิเคราะห์ของน้ำหลังการบำบัดด้วยเครื่องไฮออนโครมาโตกราฟฟี พบว่ามีการปนเปื้อนของคลอไรด์ไอออนในสารละลาย ซึ่งคลอไรด์ไอออนในสารละลายนี้จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของไนโตรเจนและจากการศึกษาของ Min Yang และคณะ [13] พบว่าคลอไรด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับไฮโซนเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนดังสมการ (4.2) ถึง (4.5)

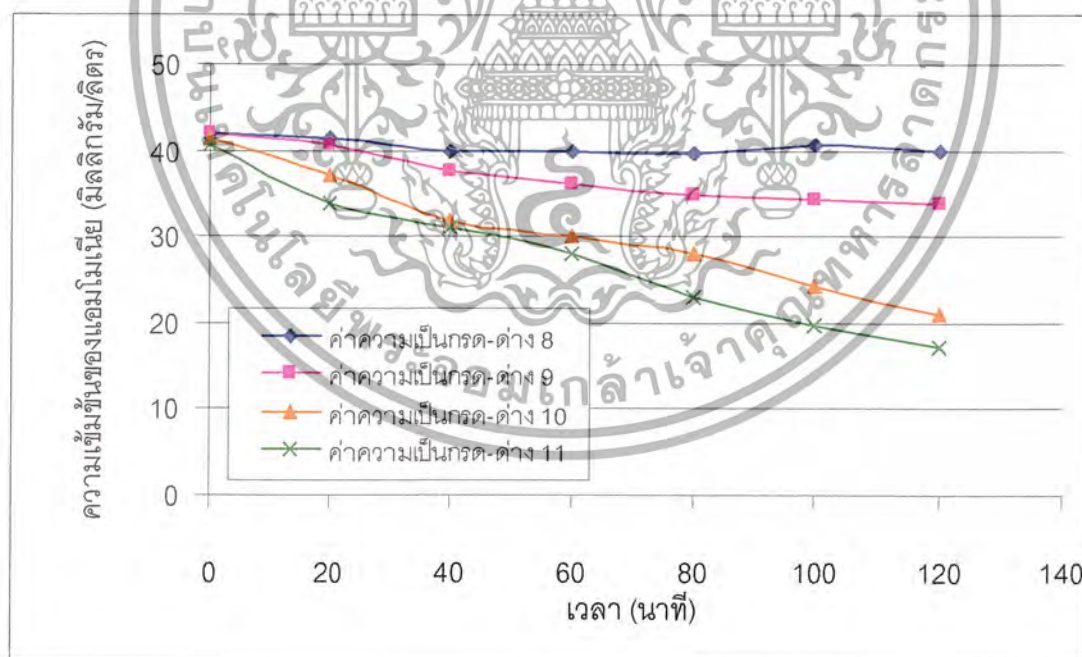


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและเวลาที่อัตราการป้อน
ก๊าซออกซิเจนต่างๆ (ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 1000 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

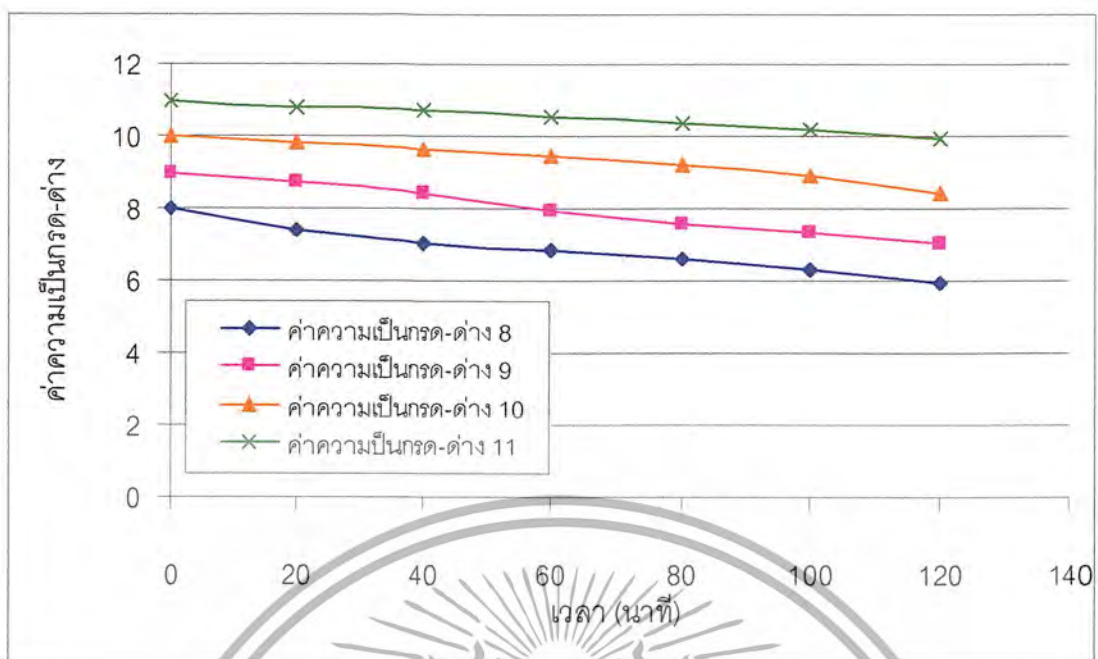


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและเวลาเมื่อเครื่องปฏิกรณ์ที่มีรูปทรงต่างกัน

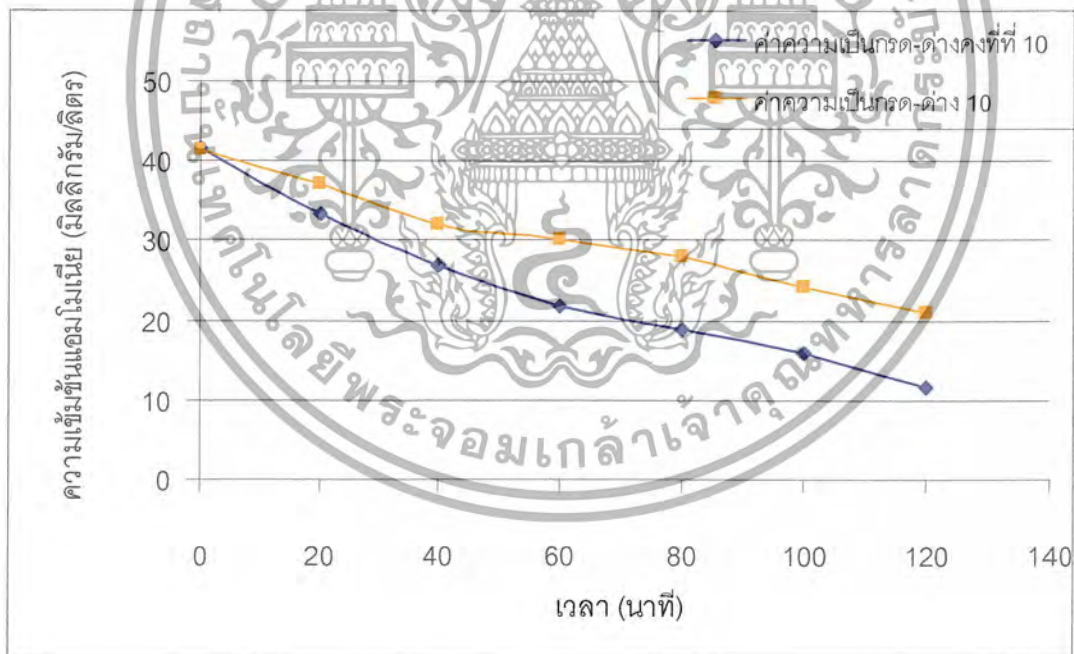


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและเวลาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

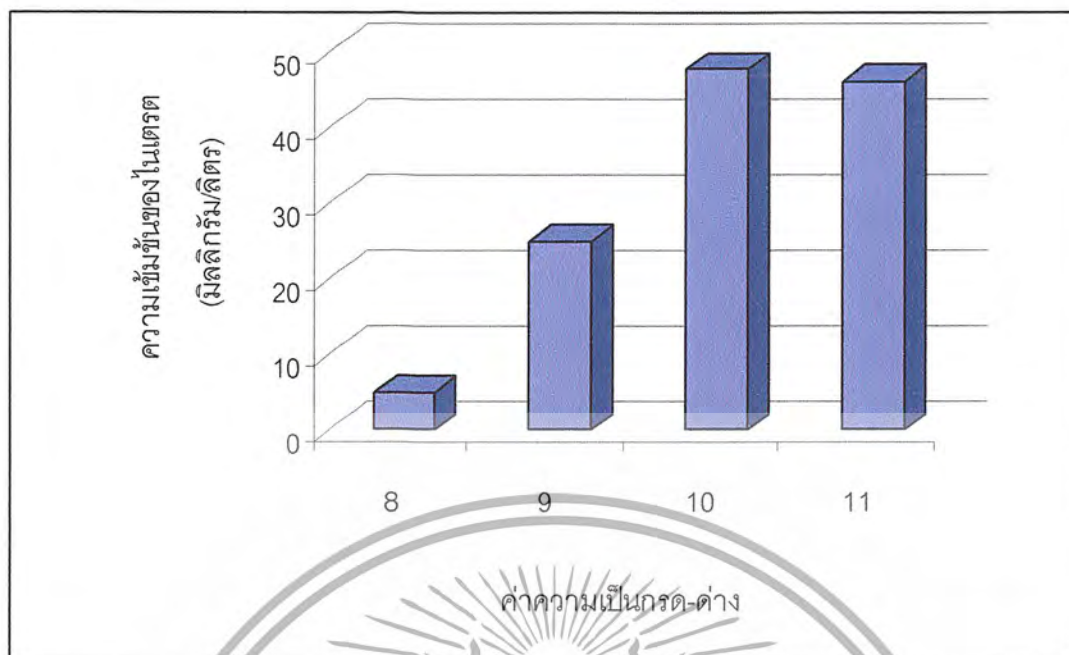


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและเวลาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

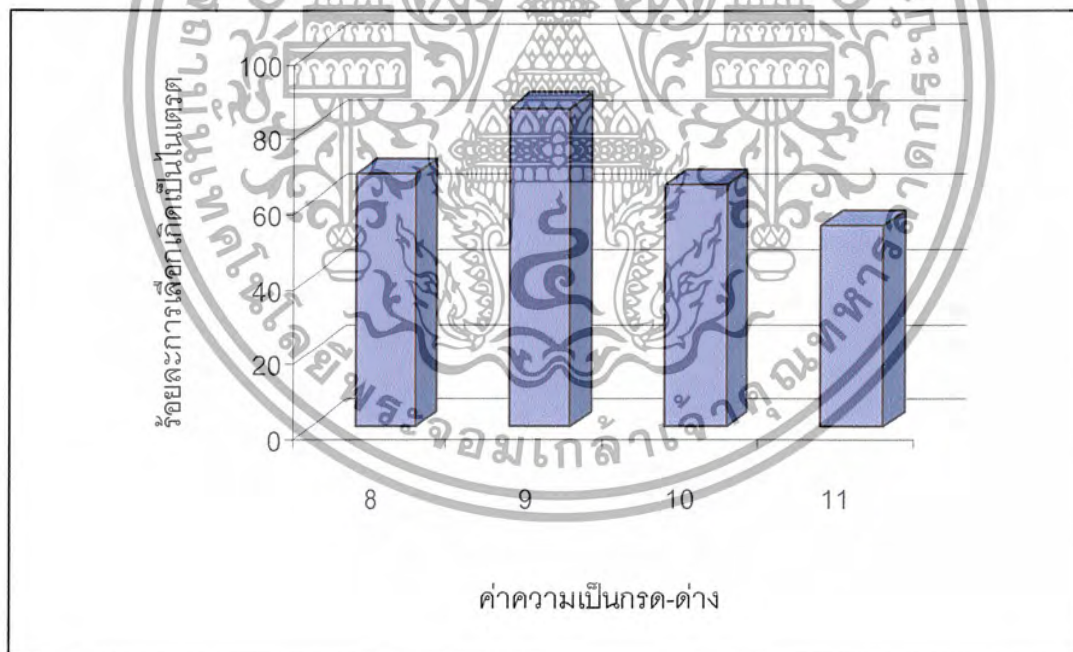


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและเวลาที่การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 10 และไม่มีการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรตและค่าความเป็นกรด-ด่าง



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเลือกเกิดและค่าความเป็นกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ภาวะต่างๆ

ภาวะที่ทำการทดลอง	อัตราการเกิดปฏิกิริยา (มิลลิกรัม/ลิตร.นาท)
อัตราป้อน 1000 มิลลิลิตรต่อนาท ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร	0.095
อัตราป้อน 2000 มิลลิลิตรต่อนาท ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร	0.105
อัตราป้อน 2500 มิลลิลิตรต่อนาท ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร	0.115
เครื่องปฏิกรณ์แบบกะทรงสูง ปริมาตร 250 มิลลิลิตร	0.205
เครื่องปฏิกรณ์แบบกะทรงกลม ปริมาตร 250 มิลลิลิตร	0.205
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร	0.017
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร	0.045
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร	0.169
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร	0.196
ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 10 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร	0.251



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ

ผลจากการทดลองบำบัดแอมโมเนียด้วยวิธีไอโซเนชันแสดงให้เห็นว่าการบำบัดแอมโมเนียจะมีประสิทธิภาพเมื่อมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้สูง เมื่อดำเนินการต่อไปพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายลดลงตามเวลา จึงได้ดำเนินการทดลองใหม่โดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ที่ 10 ปรากฏว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงถึงร้อยละ 70 ซึ่งมากกว่าการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น ทำให้ทราบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการบำบัดแอมโมเนียในน้ำมากเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียด้วยไอโซเนชันจะเกิดทางอ้อมคือทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิลได้เร็วกว่าทางตรง

สำหรับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน และรูปทรงของเครื่องปฏิกรณ์ไม่มีผลกระทบมากนักเนื่องจากขีดจำกัดของความสามารถในการละลายน้ำของไอโซเนชันมีจำกัด ทำให้ก๊าซไอโซเนชันสามารถละลายน้ำได้ใกล้เคียงกัน และไอโซเนชันมีเวลาในการทำปฏิกิริยากับสารละลายใกล้เคียงกันตามลำดับ

ปัญหาที่เกิดจากการทดลองนี้คือ การเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไนเตรดที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต จึงควรที่จะทำการศึกษาถึงตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นพิษ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือ กรดไฮโปโบรมัส ($HBrO$) นอกจากนี้ยังต้องทำการศึกษาในเรื่องการละลายของไอโซเนชันในน้ำว่ามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาหรือไม่ รวมทั้งรูปแบบของการแลกเปลี่ยนระหว่างไอโซเนชันกับสารละลายในรูปแบบอื่นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มบัณฑิตเกษตรอาสา สาขาประมง. 2539. กุ้งก้ามกรามและกุ้งกุลาดำ
- [2] สະໄປທິພິຍ໌ ອຣມຈາຣຸທິດ ແລະຄະນະ. “การศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำและดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืด จังหวัดราชบุรี.” สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, ปีที่ 1, ฉบับที่ 10, ตุลาคม 2543.
- [3] George Tchobanoglous, Franklin L. Burton. *Wastewater Engineering Treatment*, 3th Ed., New York : McGraw-Hill, Inc. 1991. pp. 712.
- [4] Nicholas P. Cheremisinoff, Paul N. Cheremisinoff. *Water Treatment and Waste Recovery Advance Technology and Applications*, New Jersey : Englewood Cliffs, 1993. pp. 76-85.
- [5] Gary F. Bennett. “Advantages in Generating Ozone from Oxygen.” vol. 76. No. 197, American Institute of Chemical Engineering, 1980. pp. 104.
- [6] Francis L. Evans. *Ozone in Water and Wastewater Treatment*, Michigan : Ann Arbor Science Publisher Inc., 1972. pp. 109.
- [7] Donald W. Sundstrom, Herbert E. Klei. *Wastewater Treatment*, New Jersey : Prentice-Hall, Inc., 1979. pp. 382.
- [8] สมาคมพิษวิทยาแห่งประเทศไทย. “แอมโมเนีย.” *พิษวิทยาสาร*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2, เมษายน-มิถุนายน 2543. หน้า 12-14.
- [9] George Tchobanoglous. *Wastewater Engineering: Treatment Diposal Reuse*, 2nd Ed., McGraw-Hill Book Company. 1979. pp. 699.
- [10] Bruno Langlais, David A. Reckhon, Deborah R. Brink, *Ozone in Water Treatment*, Lewi Publishers. 1991. pp. 29.
- [11] มาลินี ลิ้มโกคา. *พิษวิทยาและปัญหาที่พบในสัตว์*, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จรัญสนิทวงศ์. 2527. หน้า 300-306.
- [12] Barbara A. Hauser, *Practical Manual of Waste Water Chemistry*, Michigan : Ann Arbor Press, Inc. 1996. pp. 86-87.
- [13] Yang M., Uesugi K., Myoga H. “Ammonia Removal in Bubble Column by Ozonation in the Presence of Bromide.” *Water Research*. Vol. 33. No. 8. 1999. pp. 1911-1197.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การเตรียมสารเคมี

เตรียมน้ำยาเคมีทุกอย่างด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย

1.1 วิธีการเตรียมเนสเลอร์

สารเนสเลอร์: ละลายเมอร์คิวรีไอโอไดด์ (HgI_2) 100 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 70 กรัมในน้ำกลั่นเล็กน้อย แล้วค่อยๆผสมลงในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 160 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตรที่เย็นแล้ว กรนตลอดเวลาระหว่างเติมแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาที่มีจุกยางในที่มืด สารละลายนี้สามารถอยู่ตัวเป็นเวลา 1 ปีในห้องปฏิบัติการ ตรวจสอบการเกิดสีกับแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตรในเวลา 10 นาที หลังจากเติมและไม่ทำให้เกิดตะกอนกับแอมโมเนียใน 2 ชั่วโมง

1.2 วิธีการเตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน

1.2.1 เตรียมสารละลายสต็อกแอมโมเนีย: ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)

(อบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส) 3.819 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

1.2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย: เจือจางสารละลายสต็อกแอมโมเนีย

10.00 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร; 1.00 มิลลิลิตร = 10.00 ไมโครกรัม

ไนโตรเจน (N) = 12.2 ไมโครกรัมแอมโมเนีย (NH_3)

1.3 วิธีเตรียมสารสเปคโตร

ใช้เอทิลีนไดอะมีนเตตราอะซิติกแอซิด (EDTA) เพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมในตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ทำการกลั่นก่อนที่จะเติมสารเนสเลอร์ (น้ำยาอีดีทีเอ: ละลายไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีน เตตราอะซิเตทไฮเดรท 50 กรัม ในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ถ้าจำเป็นให้อุ่นสารละลายเพื่อสารเคมีละลาย ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร)

2. การวิเคราะห์หาแอมโมเนียโดยวิธีเนสเลอร์ไลเซชัน

หลักการ

วิธีเนสเลอร์ไลเซชันเป็นการเติมสารเนสเลอร์ ซึ่งเป็นสารละลายต่างแก่ของโปตัสเซียมเมอร์คิวริกไฮโอไดด์ (K_2HgI_2 หรือ $2KI.HgI_2$) ซึ่งรวมตัวกับแอมโมเนียในสารละลายต่างเพื่อเกิดเป็นคอลลอยด์สีเหลืองอมน้ำตาล ความเข้มของสีจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณแอมโมเนีย สีที่เกิดจากปฏิกิริยานเนสเลอร์ไลเซชันนี้สามารถดูคลื่นแสงช่วงคลื่นที่กว้าง ถ้าได้สีเหลืองแสดงว่ามีแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 4 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถวัดความยาวคลื่นช่วง 400 – 425 นาโนเมตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ช่วงความยาวคลื่น 400 – 500 นาโนเมตร
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

สารเคมี

เตรียมน้ำยาเคมีทุกอย่างด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย

1. สารสเตรบิลไอเซอร์ ใช้ น้ำยาอีดีทีเอ เพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมในน้ำตัวอย่างที่ไม่ได้กลั่น
2. สารเนสเลอร์
3. สารละลายสต็อกแอมโมเนีย
4. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

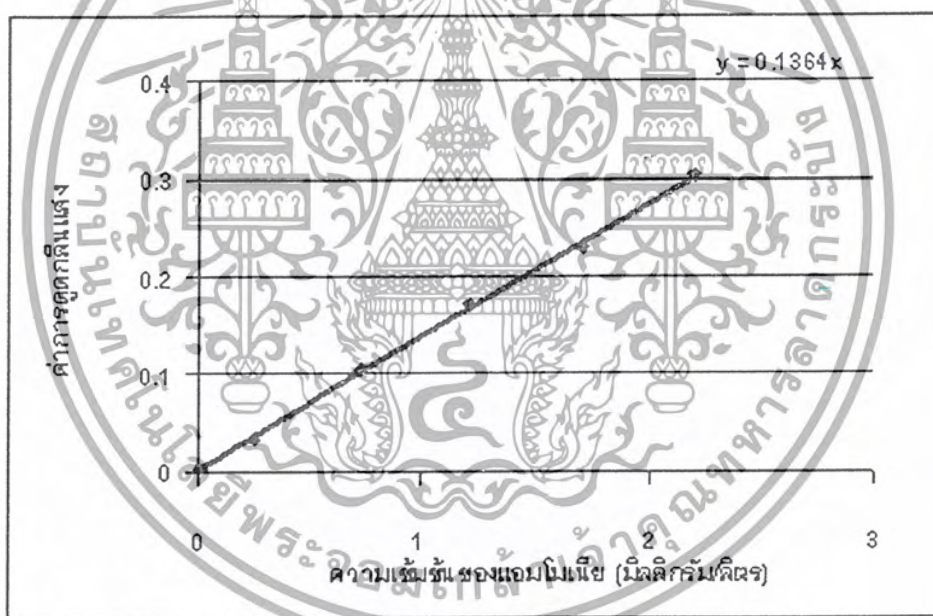
การวิเคราะห์

การสร้างกราฟมาตรฐาน

ใช้สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมคลอไรด์ (1 มิลลิลิตร = 10.0 ไมโครกรัมไนโตรเจน) ปริมาตร 0, 2, 6, 10, 14 และ 18 มิลลิลิตร เจือจางสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมคลอไรด์จนได้ 50.0 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีแอมโมเนีย ถ้าน้ำตัวอย่างมีสารรบกวนพวกแคลเซียม แมกนีเซียม หรือไอออนอื่นๆที่ทำให้เกิดความขุ่นหรือเกิดตะกอนกับเนสเลอร์ ให้เติม สารอีดีทีเอ 1 หยดผสมเข้ากันเติมสารเนสเลอร์ 2 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาทีเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไป วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียกับค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.244	0.033
0.732	0.105
1.220	0.171
1.708	0.230
2.196	0.304



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงปริมาณแอมโมเนียที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลาย ผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่างๆ

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	อัตราการป้อน 1000 (มิลลิตร/นาท)	อัตราการป้อน 2000 (มิลลิตร/นาท)	อัตราการป้อน 2500 (มิลลิตร/นาท)
0	41.88	42.08	42.32
15	39.32	41.18	40.78
30	38.84	39.46	38.02
45	36.18	36.98	36.02
60	34.76	34.64	34.16
75	33.98	33.62	32.82
90	33.36	32.62	31.96

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลาย ผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนที่ 2500 มิลลิตร/นาท ใน เครื่องปฏิกรณ์แบบต่างๆ

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	เครื่องปฏิกรณ์แบบสูง 250 มิลลิตร	เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ 250 มิลลิตร
0	41.24	41.46
40	24.59	24.59
60	21.24	19.49
80	17.42	19.17
100	16.78	16.94
120	16.62	16.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลาย
ผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของไนเตรต (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	41.88	7.98	0
20	41.44	7.40	
40	39.97	7.03	
60	39.97	6.85	
80	39.53	6.60	
100	40.70	6.30	
120	39.82	5.95	5.08

ตารางที่ ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลาย
ผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของไนเตรต (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	41.92	8.99	0
20	40.58	8.74	
40	37.60	8.40	
60	36.11	7.95	
80	34.92	7.55	
100	36.41	7.32	
120	36.56	7.04	24.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลาย
ผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของไนเตรต (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	41.29	10.03	0
20	37.04	9.84	
40	31.91	9.66	
60	30.15	9.47	
80	27.95	9.23	
100	24.29	8.88	
120	21.06	8.40	47.73

ตารางที่ ข.6 ค่าการดูดกลืนแสงของแอมโมเนีย ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในสารละลาย
ผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของไนเตรต (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	40.58	10.98	0
20	33.88	10.80	
40	31.05	10.73	
60	27.92	10.55	
80	23.01	10.39	
100	19.58	10.18	
120	17.05	9.95	46.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างตามเวลาที่ทำการป้อนโอโซน

เวลา (นาที)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 8	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 9	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 10	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 11
0	7.98	8.99	10.03	10.98
20	7.40	8.74	9.84	10.80
40	7.03	8.40	9.66	10.73
60	6.85	7.95	9.47	10.55
80	6.60	7.55	9.23	10.39
100	6.30	7.32	8.88	10.18
120	5.95	7.04	8.40	9.95

ตารางที่ ข.8 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารละลายผสมตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
เวลา (นาที)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 8	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 9	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 10	ค่าความเป็น กรด-ด่าง 11
0	41.88	41.92	41.29	40.58
20	41.44	40.58	37.04	33.88
40	39.97	37.60	31.91	31.05
60	39.97	36.11	30.15	27.92
80	39.53	34.92	27.95	23.01
100	40.70	34.23	24.28	19.58
120	39.82	33.92	21.06	17.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารละลายผสมตัวอย่างและความเป็นกรด-ด่างที่
เวลาต่างๆ เมื่อมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.001 โมลาร์
ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 10

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
0	41.78	10.08
20	33.34	10.16
40	26.82	10.11
60	21.88	9.91
80	18.85	9.66
100	15.83	9.43
120	11.69	7.72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรตและค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของไนเตรต (มิลลิกรัม/ลิตร)
8	5.08
9	24.94
10	47.73
11	46.09

ตารางที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเลือกเกิดของไนเตรตและค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ร้อยละการเลือกเกิดของไนเตรต
8	67.7
9	85.3
10	64.6
11	53.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ส่วนประกอบของเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี

1. คอลัมน์สำหรับแยกแอนไอออน (METROSEP A SUPP5-150)
2. ขนาดของคอลัมน์ 1000 มิลลิเมตร³
3. เครื่องตรวจวัดสัญญาณการนำไฟฟ้าสำหรับแอนไอออน (Conductivity detector, 732 IC Detector)

ภาวะที่ทำการทดลอง

1. สารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับแอนไอออน (Eluent or Mobile phase for Anion)
ใช้ Na_2CO_3 3.20 mM และ NaHCO_3 1.00 mM
2. อัตราการไหลของสารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่สำหรับการแยกแอนไอออนเท่ากับ 0.70 มิลลิเมตรต่อนาที
3. อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
4. ความดัน 7.30 เมกะปาสคาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

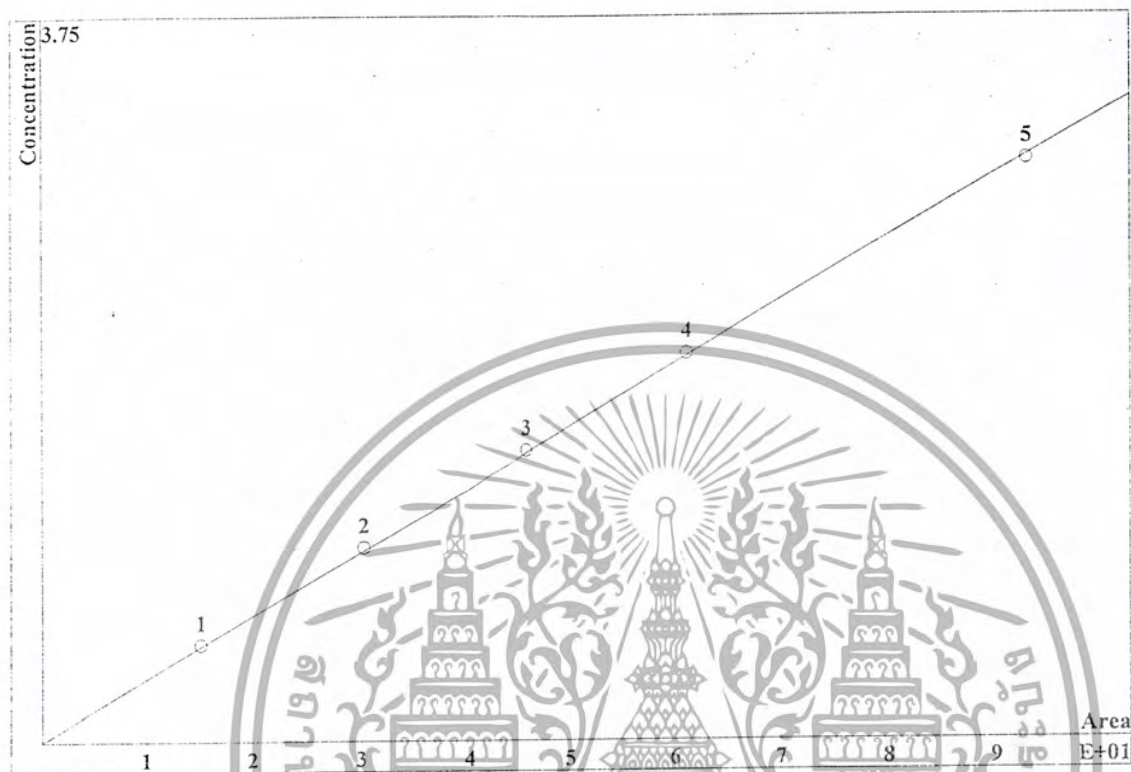
ผลการวิเคราะห์ในเตรตด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALIBRATION OF COMPONENT nitrate

Method: ASUPP5_150 March 30_2004.mtw
 Equation: $Q = 0.325351 \cdot A$
 RSD: 0.974 %
 Correlation coefficient: 0.999955



K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.325351 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch3
 ISTD:
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	1.149	15.14	0.5	10	8.384	Yes	N9051419.CHW
2	2.314	30.24	1	10	8.384	Yes	N9051437.CHW
3	3.501	45.75	1.5	10	8.384	Yes	N9051502.CHW
4	4.688	61.12	2	10	8.384	Yes	N9051527.CHW
5	7.172	92.81	3	10	8.384	Yes	N9051605.CHW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/30/2004 11:17:02 AM
 Printed by: IC

Ident: water chem eng.
 Analysis from: 3/30/2004 10:35:47 AM
 File: o3301035.chw
 Modified!
 Method: ASUPP5_150 March 30_2004.
 Run operator: IC
 Analysis number: 278

Last save: 3/30/2004 10:50:48 AM

Last save: 3/30/2004

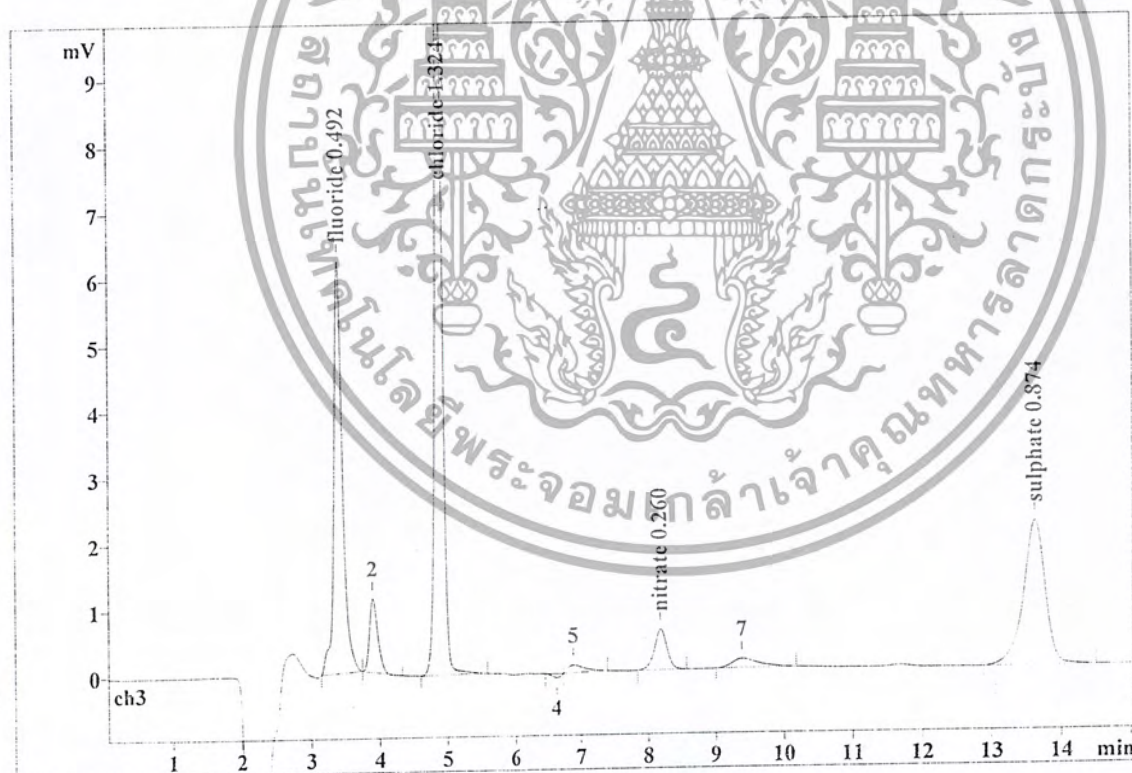
SAMPLE: Dionex STD

Vial number: 1
 Volume: 10.0 µL
 Dilution: 1.00
 Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
 Size: 4.0 x 150 mm
 Number:
 Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na₂CO₃
 1.0 mM NaHCO₃

Flow: 0.70 mL/min
 Temperature: 35.0°C
 Pressure: 7.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.41	6.24	53.619	0.492	fluoride
2	3.91	1.12	8.930	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	4.88	12.10	94.130	1.324	chloride
4	6.63	-0.06	-0.530	0.000	
5	6.89	0.11	1.991	0.000	
6	8.19	0.61	7.984	0.260	nitrate
7	9.38	0.14	3.865	0.000	
8	13.63	2.19	48.031	0.874	sulphate
<hr/>					
8	15.00	22.57	219.080	2.949	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/30/2004 5:42:13 PM
 Printed by: IC

Ident: sample pH 8 (dil. 5)
 Analysis from: 3/30/2004 5:26:35 PM
 File: O3301726.CHW

Last save: 3/30/2004 5:41:36 PM

Method: ASUPP5_150 March 30_2004.
 Run operator: IC
 Analysis number: 291

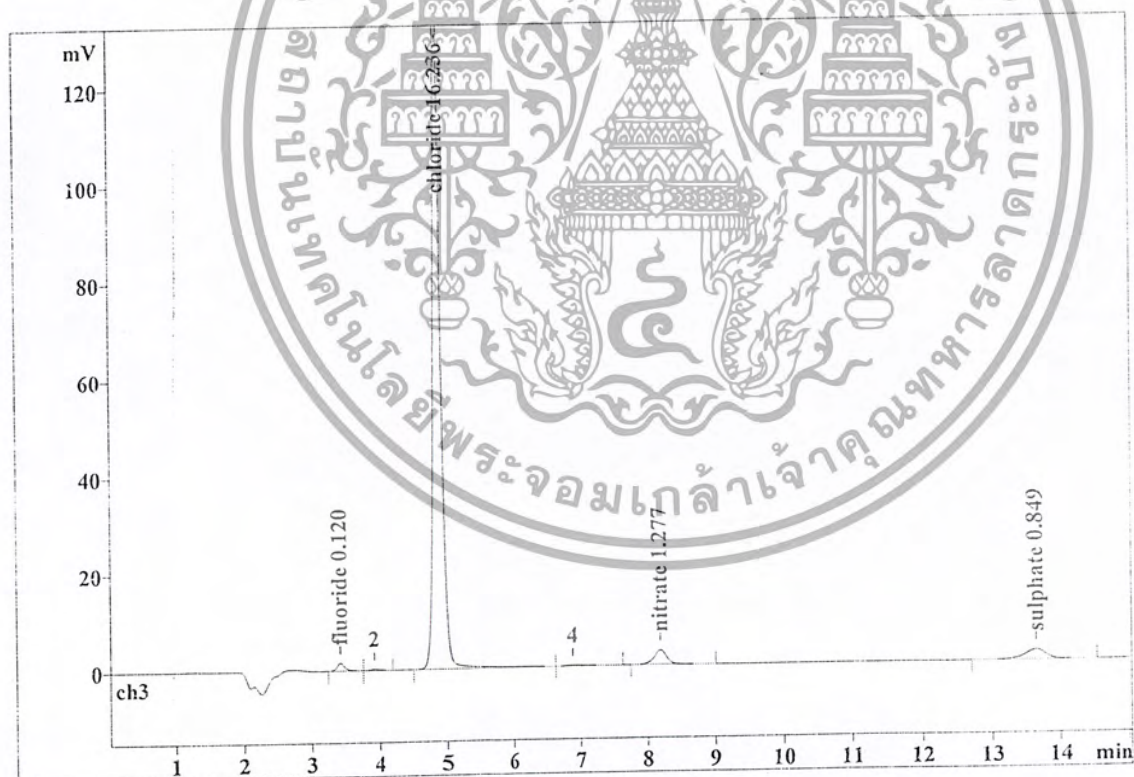
Last save: 3/30/2004

SAMPLE: Dionex STD
 Vial number: 1
 Volume: 10.0 µL
 Dilution: 1.00
 Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
 Size: 4.0 x 150 mm
 Number:
 Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na₂CO₃
 1.0 mM NaHCO₃

Flow: 0.70 mL/min
 Temperature: 35.0 °C
 Pressure: 7.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.41	1.61	13.049	0.120	fluoride
2	3.91	0.23	2.203	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	4.89	151.23	1154.596	16.236	chloride
4	6.89	0.23	5.723	0.000	
5	8.19	2.98	39.245	1.277	nitrate
6	13.64	2.07	46.645	0.849	sulphate
6	15.00	158.35	1261.461	18.482	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/30/2004 6:05:53 PM
 Printed by: IC

Ident: sample pH 9 (dil. 10)
 Analysis from: 3/30/2004 5:50:44 PM
 File: O3301750.CHW

Last save: 3/30/2004 6:05:46 PM

Method: ASUPP5_150 March 30_2004.
 Run operator: IC
 Analysis number: 292

Last save: 3/30/2004

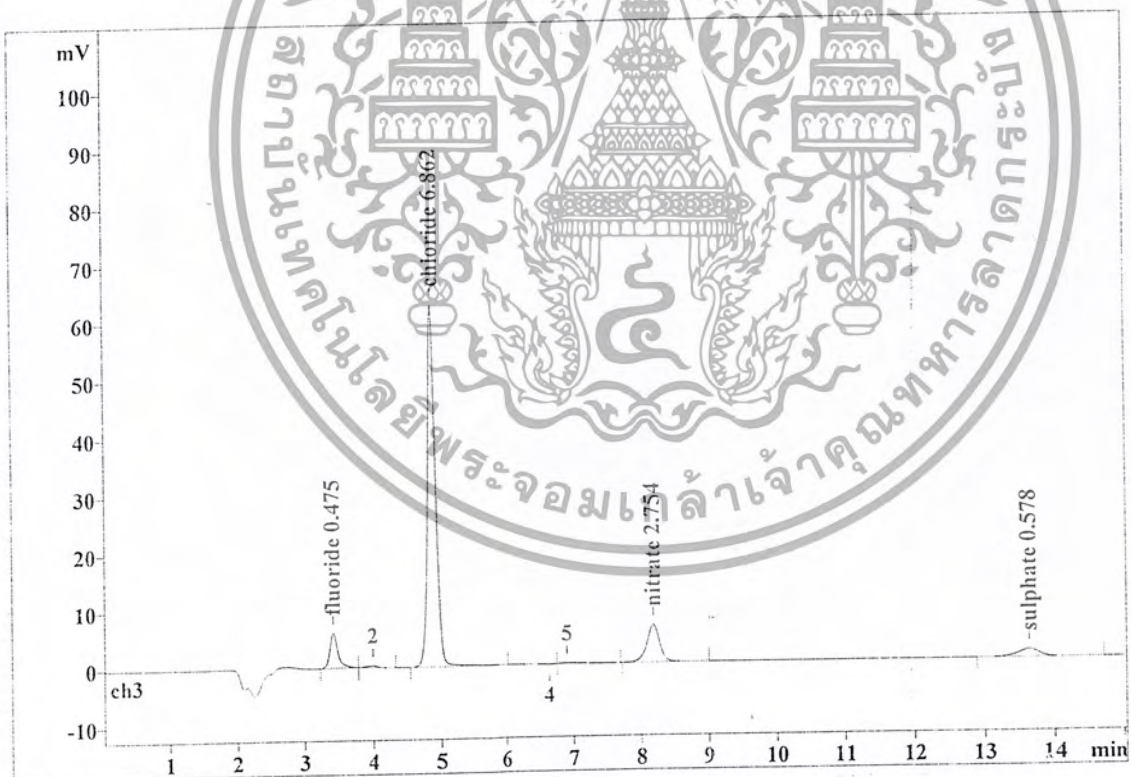
SAMPLE: Dionex STD

Vial number: 1
 Volume: 10.0 µL
 Dilution: 1.00
 Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
 Size: 4.0 x 150 mm
 Number:
 Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na₂CO₃
 1.0 mM NaHCO₃

Flow: 0.70 mL/min
 Temperature: 35.0°C
 Pressure: 7.3 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.41	6.12	51.819	0.475	fluoride
2	4.00	0.32	3.331	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	4.89	62.83	487.974	6.862	chloride
4	6.64	-0.09	-1.150	0.000	
5	6.90	0.13	2.534	0.000	
6	8.18	6.53	84.657	2.754	nitrate
7	13.64	1.41	31.787	0.578	sulphate
<hr/>					
7	15.00	77.43	663.252	10.670	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/30/2004 4:56:54 PM
 Printed by: IC

Ident: sample pH 10 (dil. 15)
 Analysis from: 3/30/2004 4:41:25 PM
 File: O3301641.CHW

Last save: 3/30/2004 4:56:26 PM

Method: ASUPP5_150 March 30_2004.
 Run operator: IC
 Analysis number: 289

Last save: 3/30/2004

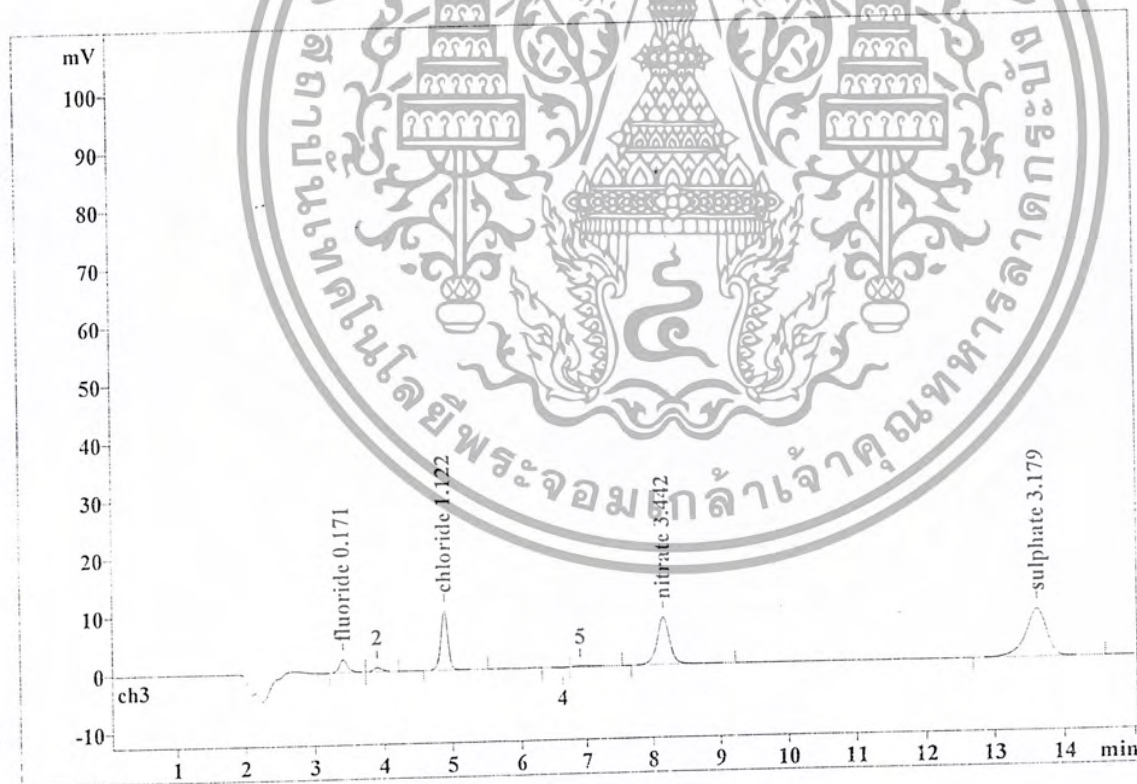
SAMPLE: Dionex STD

Vial number: 1
 Volume: 10.0 µL
 Dilution: 1.00
 Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
 Size: 4.0 x 150 mm
 Number:
 Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na₂CO₃
 1.0 mM NaHCO₃

Flow: 0.70 mL/min
 Temperature: 35.0°C
 Pressure: 7.3 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.41	2.26	18.602	0.171	fluoride
2	3.91	0.71	6.003	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	4.88	10.28	79.812	1.122	chloride
4	6.64	-0.09	-0.905	0.000	
5	6.90	0.12	2.397	0.000	
6	8.17	8.17	105.806	3.442	nitrate
7	13.62	8.25	174.693	3.179	suiphate
<hr/>					
7	15.00	29.87	388.218	7.914	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/30/2004 4:35:03 PM
 Printed by: IC

Ident: sample pH 11 (dil. 15)
 Analysis from: 3/30/2004 4:19:42 PM
 File: O3301619.CHW

Last save: 3/30/2004 4:34:44 PM

Method: ASUPP5_150 March 30_2004.
 Run operator: IC
 Analysis number: 288

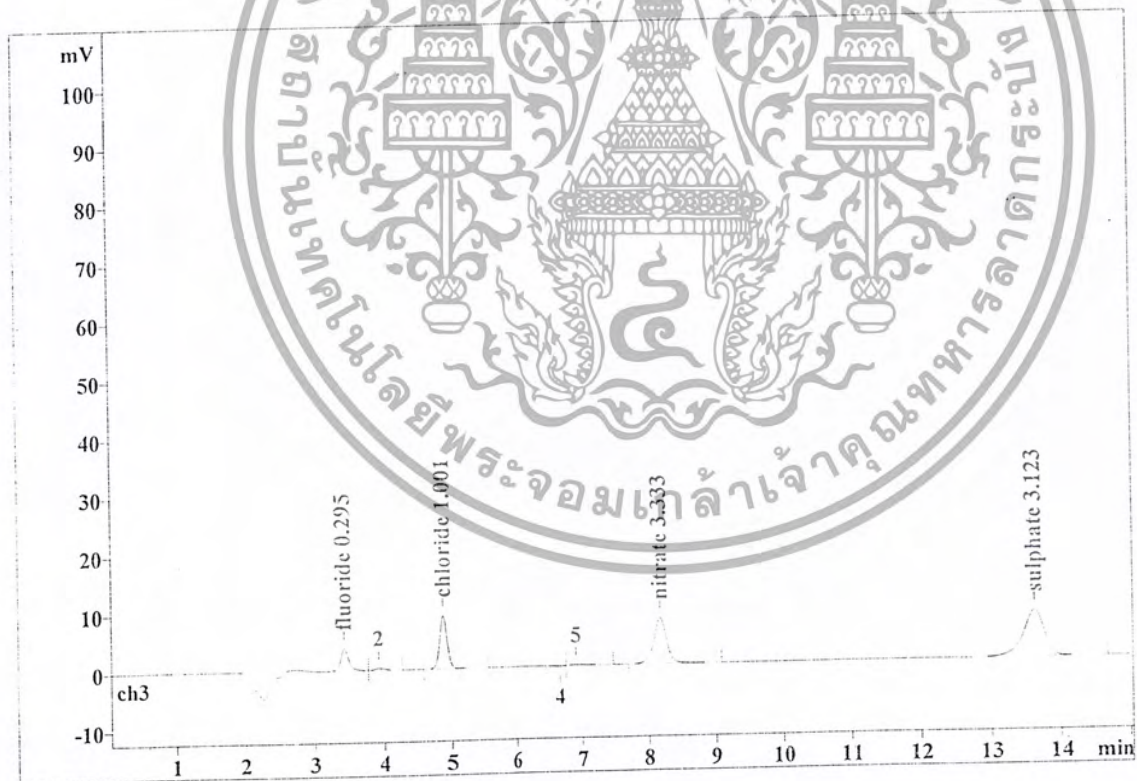
Last save: 3/30/2004

SAMPLE: Dionex STD
 Vial number: 1
 Volume: 10.0 µL
 Dilution: 1.00
 Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
 Size: 4.0 x 150 mm
 Number: 5.0 µm
 Part.size:

ELUENT: 3.2 mM Na₂CO₃
 1.0 mM NaHCO₃

Flow: 0.70 mL/min
 Temperature: 35.0 °C
 Pressure: 7.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.41	3.87	32.163	0.295	fluoride
2	3.92	0.33	3.525	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	4.89	9.19	71.177	1.001	chloride
4	6.66	-0.08	-0.794	0.000	
5	6.91	0.11	2.081	0.000	
6	8.17	7.89	102.443	3.333	nitrate
7	13.62	8.06	171.640	3.123	sulphate
<hr/>					
7	15.00	29.54	383.823	7.752	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้