สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยวิธี Sequential Injection Analysis (SIA)

นางสาวยุวดี คงศักดิ์สกุล

เลขหมู่ ว ด๔๒๖ ๒๕๔๙
เลขทะเบียน 107806
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553
b 12212216
i

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determination of Ammonia in Waste water using Sequential Injection Analysis (SIA) Technique

Miss Yuwadee Kongsaksakun

A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for

The Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยวิธี Sequential Injection Analysis (SIA)
นักศึกษา	นางสาวยุวดี คงศักดิ์สกุล รหัสนักศึกษา 46050793
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล อาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโนยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	.....
กรรมการ	อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล	.....
กรรมการ	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	.....

.....

(ผศ. ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยวิธี Sequential Injection Analysis (SIA)

นักศึกษา นางสาวยุวดี คงศักดิ์สกุล รหัสนักศึกษา 46050793

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

อาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์โดยเทคนิค Sequential Injection Inalysis (SIA) ถูกพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเครื่องมือตรวจติดตามคุณภาพของน้ำในเทอมของปริมาณแอมโมเนียในน้ำและสารที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนของกราฟมาตรฐานเป็นเชิงเส้นในช่วงระหว่าง 20, 40, 60, 80, 100 mg-N/L และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9981 มีค่าขีดจำกัดของการตวจพบ (LOD) เท่ากับ 4.7345 mg-N/L และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 15.7808 mg-N/L นำชุดอุปกรณ์ไปวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในบ่อกุ้งจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ 68.7317mg-N/L และ 53.1517 mg-N/L ซึ่งตกอยู่ภายในช่วงความเข้มข้นของกราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรง ซึ่งระดับสิ่งรบกวนที่พบได้ในน้ำและสารที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ก็มีเพียงเล็กน้อยจนสามารถตัดทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Determination of Ammonia in Waste water using Sequential Injection Analysis (SIA) Techique

Name Miss Yuwadee Kongsaksakun

Department Chemistry Faculty of Science

Program Industrid Chemistrl-Analytical Instrumentation

Acedemic Year 2006

Special Project Advisor Assoc.Prof. Arunee Kongsakphaisal

Co-Advisor Ajanrn Pontip Supanar

Abstract

A suitable sequential injection analysis (SIA) analyser to monitor water quality in terms of the ammonia content in water and industrial effluent streams was developed. The calibration curve is linear between 20, 40, 60, 80, 100 mg-N/L (R^2 = 0.9981) using this equipment to determine ammonia in waste water of two shrimp ponds, found ammonia content 68.7313 mg-N/L 53.1517 mg-N/L (LOD) = 4.7345 mg-N/L and (LOQ) = 15.7808 mg-N/L within the required linear range of calibration curve. The levels of possible interference in the water and industrial effluent streams were negligible to cause any interference on the proposed system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และอาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์ และคณะกรรมการ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ช่วยแก้ปัญหา และให้ความกรุณาตรวจสอบดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดีจนโครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนายไพโรจน์ จันหอม นายชูเกียรติ วรพจน์พนมกร และนางสาวอารียา ทองกล่ำ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่น้อง และเพื่อนๆรวมถึงรุ่นพี่รุ่นน้องทุกๆคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือในทุกๆด้านจนโครงงานนี้สำเร็จในที่สุด

นางสาวยุวดี คงศักดิ์สกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำงานวิจัย	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตในการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการของ Flow Injection Analysis	3
2.2 การกระจาย (dispersion)	5
2.3 การกระจายที่ถูกควบคุม (dispersion controlled)	6
2.4 reverse FIA	8
2.5 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบ FIA	8
2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในน้ำ	11
2.7 การประยุกต์ใช้เทคนิค FIA	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	15
3.2 วิธีการทดลอง	16
3.2.1 การเตรียมสารเคมีและสารละลาย	16
3.2.2 การสร้าง 10-port electrically actuated selection valve	17
3.2.2.1 ขั้นตอนการทำ	18
3.2.3 ท่อบริเวณที่มีการเกิดปฏิกิริยา (Manifold)	24
3.2.4 ขั้นตอนในการวัด	25
3.2.5 โปรแกรมวิเคราะห์วัดปริมาณแอมโมเนีย	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากบ่อกุ้ง	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ศึกษาสารละลายที่ใช้ในการชะล้าง	28
4.2 ศึกษาปัจจัยทางกายภาพ	28
4.3 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง	29
4.4 การหาค่าขีดความจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ)	30
4.5 ศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	30
4.6 ผลการตรวจวัดปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสีย	31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบ FIA	7
ตารางที่ 3.1 ลำดับแผนการวัดแอมโมเนีย	26
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ทางกายภาพ	28
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเพื่อหาค่า LOD และ LOQ	30
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเที่ยงผลการทดลองของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	31
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารตัวอย่างปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างด้วยวิธี SIA	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมของเครื่อง FIA 3
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ sample zone ในกระแสตัวพา 5
รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของเพอริสตาลติกปั๊มป์ 9
รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย 11
รูปที่ 2.5 FIA manifold for the determination of nickel(II) and iron(II) 13
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของ selection valve ที่คำนวณได้ 17
รูปที่ 3.2 แบบเขียนแสดงการทำแท่งเทปลอนอันที่ 1 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร 18
รูปที่ 3.3 แบบเขียนแสดงการทำแท่งเทปลอนอันที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร 19
รูปที่ 3.4 แบบเขียนแสดงการทำเข็มฉีดยาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร 20
รูปที่ 3.5 แบบเขียนแสดงการทำชิ้นส่วนงานที่ 1 คือเข็มฉีดยาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร การทำชิ้นส่วนงานที่ 2 คือ แท่งเทปลอนอันที่ 1 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร และการทำชิ้นส่วนงานที่ 3 คือแท่งเทปลอนอันที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร มาประกบกัน 21
รูปที่ 3.6 แสดงชิ้นส่วนงานที่ประกอบแล้ว 22
รูปที่ 3.7 แบบเขียนแสดงการทำ Flow cell 23
รูปที่ 3.8 แสดงการทำ Flow cell 24
รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพการวัดแอมโมเนีย 25
รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการวัดแอมโมเนีย ด้วยวิธี Sequential Injection Analysis (SIA) 25
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำงานวิจัย

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำและดิน หรือในสารอาหาร (nutrients) โดยปกติแล้วเราสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีทั่วไป (manual method) โดยตัวอย่างและสารละลายต่าง ๆ จะถูกผสมเข้าด้วยกันในภาชนะ แล้วต้องรอให้สารเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อนแล้วจึงนำไปวัดค่ากับเครื่อง spectrophotometer ซึ่งต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละตัวถึง 30 นาที

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติขึ้นมา ซึ่งระบบการวิเคราะห์นี้ได้พัฒนาต่อมาจนกลายเป็นเทคนิคที่ชื่อ Flow Injection Analysis (FIA) เทคนิค FIA ถูกเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Jaromir Ruzicka และ Elo Harald Hausen [1] ในปี ค.ศ.1975

เทคนิค FIA จะทำการฉีดสาร (ละลายมาตรฐาน/สารละลายตัวอย่างหรือรีเอเจนต์) เข้าไปในกระแสตัวพา (carrier system) ที่ไหลด้วยอัตราคงที่ในท่อขนาดเล็ก การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นขณะที่สารผ่านท่อที่เป็นขด (mixing coil) และผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) อย่างต่อเนื่อง และแปลงสัญญาณออกมาเป็นโครมาโทรแกรม FIA เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีความถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีระบบเครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการวิเคราะห์ที่มีเทคนิค FIA เป็นพื้นฐานนำไปสู่เทคนิคอื่น ๆ อีก เช่น Sequential Injection Analysis (SIA), Bead Injection Analysis เป็นต้น

ในระบบ SIA สารละลายไม่ได้ไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลารีเอเจนต์และสารละลายตัวอย่าง จะถูกดูดผ่าน multiport valve เข้ามาใน holding coil ตามลำดับ จากนั้น pump จะขับเคลื่อนในทิศทางตรงข้ามผลักให้สารละลายที่อยู่ใน holding coil ไหลผ่านไปยังเครื่องตรวจวัด (detector) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นสามารถบันทึกได้เช่นเดียวกับ FIA แต่ใน SIA สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ (เช่น ปริมาตรสาร อัตราการไหล และทิศทางการไหล ลำดับในการฉีดสาร เป็นต้น) สามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงผ่านคอมพิวเตอร์โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงระบบทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้ selection valve ที่นำมาใช้กับเครื่องฉีด และใช้วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. เพื่อนำ selection valve ที่สร้างขึ้นเองมาใช้ในการวิเคราะห์ได้จริง

1.3 ขอบเขตในการวิจัย

1. ออกแบบและสร้าง selection valve ของเครื่อง SIA โดยใช้เทปลอน

2. ศึกษาหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการให้ตัวพา(carrier) พาสารละลายผ่านแต่ละ port เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย

3. ทำการเทียบมาตรฐานอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบขั้นตอนและเทคนิคต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการสร้าง selection valve

2. ทดแทนการซื้อเครื่องมือวิทยาศาสตร์ประเภทเดียวกันซึ่งมีราคาแพง

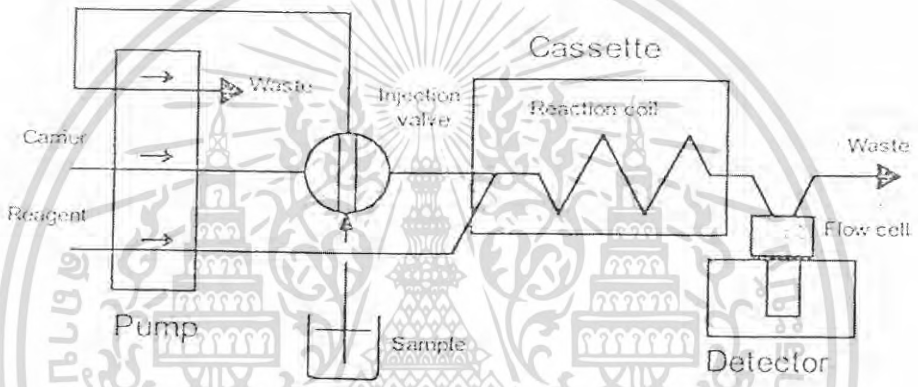
3. สามารถนำชุดอุปกรณ์นี้ไปใช้ประยุกต์หาปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของ Flow Injection Analysis [2]

FIA เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีแบบอัตโนมัติซึ่งอาศัยหลักการพื้นฐาน คือ ฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ (30-200 ไมโครลิตร) เข้าไปทาง injection port ของเครื่อง FIA (ดังรูป 2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมของเครื่อง FIA [3]

เข้าสู่กระแสตัวพาที่เป็นสารเคมี ซึ่งอาจเป็นรีเอเจนต์ และ/หรือ ตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องภายในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (0.35-0.9 mm.) โดยปราศจากช่องอากาศคั่น ด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมและคงที่ตลอด ซึ่งควบคุมได้โดยการใช้เพอริสแตติกปั๊ม (peristaltic pump) หรืออาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก สารตัวอย่างจะเข้าผสมกับกระแสตัวพา ซึ่งระดับการผสมกันจะถูกควบคุมด้วยการแพร่กระจาย (dispersion-controlled process) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ คือ ขนาดและความยาวของท่อเล็กที่ใช้ อัตราการไหลของตัวพา ปริมาตรของสารตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดที่ใช้พัน mixing coil และรูปร่างลักษณะของ mixing part ต่าง ๆ แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เช่น เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีการเปลี่ยนสี การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และกระแสไฟฟ้า เป็นต้น หลังจากเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วกระแสตัวพาจะนำพาสารตัวอย่างที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารที่จะวิเคราะห์กับกระแสตัวพาซึ่งเป็น sample zone แพร่ไปตามท่อเล็ก ๆ จนกระทั่งโฟลเข้าสู่โฟลทรูเซลล์ของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัด เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสม เช่น เครื่องสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ UV-VIS spectrophotometer, colorimeter, spectrofluorimeter, atomic absorption spectrophotometer เป็นต้น เครื่องตรวจวัดทางไฟฟ้า เช่น pH meter, potentiometer, polarograph, conductometer เป็นต้น หรือเครื่องตรวจวัดความร้อน เช่น thermister การจะเลือกเครื่องตรวจวัดชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี

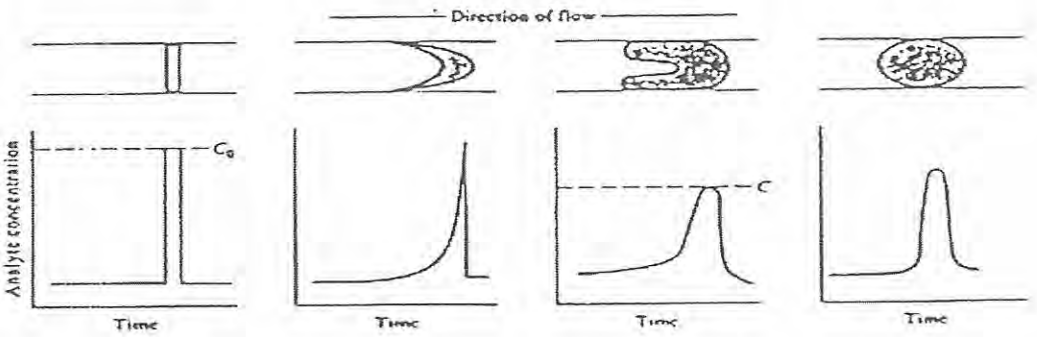
ระยะทางระหว่างจุดฉีดสารตัวอย่างจนกระทั่ง sample zone ถูกพาเข้าสู่เครื่องตรวจวัดนั้น sample zone จะผสมกับสารตัวพา และ/หรือรีเอเจนต์ แล้วเกิดการกระจายตัว (dispersion) และการแพร่บางส่วน และเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างสารตัวพากับกระแสตัวพา การแพร่จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการไหล เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ความยาวของท่อ และสัมประสิทธิ์การแพร่ของสปีชีส์ที่มีอยู่ ดังนั้นการกระจายตัวหรือการเจือจางของ sample zone สามารถควบคุมและปรับให้เหมาะสมตามความต้องการของการวิเคราะห์นั้น ๆ โดยเลือกปริมาตรของการฉีดสารตัวอย่างที่เหมาะสม อัตราการไหลของกระแสตัวพา ความยาวของ reaction coil และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ใช้ให้เหมาะสม สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่จะวิเคราะห์กับรีเอเจนต์ได้โดยให้รีเอเจนต์ไหลผ่านท่อเล็ก ๆ อย่างต่อเนื่อง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ sample zone ในกระแสตัวพาที่กำลังไหลเป็นฟังก์ชันของเวลาและรูปร่างต่าง ๆ ของสัญญาณจากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าทันทีหลังจากฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA นั้น sample zone ในเครื่อง FIA จะมี concentration profile เป็นระบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังรูป 2.2 ก ขณะที่ sample zone เคลื่อนที่ไปภายในท่อจะเกิด band broadening หรือการกระจายตัวขึ้น รูปร่างของ sample zone นี้เกิดจากปรากฏการณ์ 2 อย่าง คือ

ประการแรก – เกิดจากการนำพา (convection) เกิดจากการไหลแบบ laminar เนื่องจากเมื่อของเหลวไหลผ่านท่อ ความเร็วที่ผนังท่อจะมีค่าเป็นศูนย์ และที่จุดศูนย์กลางของท่อจะมีความเร็วเป็นสองเท่าของความเร็วเฉลี่ย ดังนั้นเมื่อมี sample zone อยู่ในกระแสตัวพา sample zone นั้นจะมีลักษณะเป็นพาราโบลาดังรูป 2.2 ข

ประการที่สอง- เกิดจากการแพร่ (diffusion) มี 2 แบบ คือ radial diffusion ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลของสารละลาย และ longitudinal diffusion ซึ่งมีทิศทางการไหลขนานกับทิศทางการไหลของสารละลาย สำหรับท่อเล็ก ๆ การแพร่แบบที่ 2 จะเกิดขึ้นน้อยมาก หากใช้อัตราการไหลต่ำ อาจทำให้เกิดการกระจายตัว (dispersion) ภายใต้สภาวะนี้ sample zone จะเป็นแบบสมมาตร และมีลักษณะเป็น Gaussian ดังรูป 2.2 โดยปกติแล้ว FIA มักทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เกิดทั้งการกระจายตัว และการแพร่แบบ radial ทำให้ sample zone มีลักษณะเป็นแบบไม่สมมาตร ดังแสดงในรูป 2.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ sample zone ในกระแสตัวพาที่กำลังไหลเป็นฟังก์ชันของเวลา และรูปร่างของสัญญาณจากการวิเคราะห์ที่ได้แต่ละแบบ

ก) ไม่เกิดการแพร่กระจาย

ข) การแพร่กระจายเนื่องจากการพา

ค) การแพร่กระจายโดยการพา และการแพร่ตั้งฉากกับการไหล

ง) การแพร่กระจายเนื่องจากการแพร่

2.2 การกระจาย (dispersion) [4]

ขณะที่ sample zone เคลื่อนผ่านท่อเล็ก ๆ ในระบบ FIA นั้น การกระจายตัวของ sample zone จะเพิ่มขึ้น การกระจายใช้สัญลักษณ์ D ซึ่งมีความหมายทางคณิตศาสตร์ คือ

$$D = \frac{C^\circ}{C}$$

เมื่อ C° แทนความเข้มข้นของสารที่จะวิเคราะห์ในสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปในระบบ FIA

และ C แทนความเข้มข้นของสารที่จะวิเคราะห์ที่จุดตรวจวัด

D สามารถหาได้โดยการฉีดสารละลายที่ทราบความเข้มข้น C° เข้าไปในระบบ FIA วัดค่าการดูดกลืนแสงใน flow-through cell หลังจากทำกราฟมาตรฐาน คำนวณหาค่า C จาก Beer's law

การแพร่ (D) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหล ความยาวของท่อ และขนาดหรือปริมาตรของสารตัวอย่างที่ใช้ฉีด เมื่อฉีดสารตัวอย่างปริมาณมาก การแพร่จะมีค่าเป็น 1 ภายใต้สภาวะเช่นนี้จะไม่มีการผสมของสารตัวอย่างกับสารในกระแสตัวพาเกิดขึ้นจึงไม่มีการแพร่ของสารตัวอย่างเกิดขึ้นด้วย ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โดยวิธี FIA ส่วนมากต้องการให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับกระแสตัวพาเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้การกระจาย จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ

พบว่าเทคนิค FIA จะมีการกระจายตัว 3 แบบ คือ การกระจายตัวแบบจำกัด การกระจายตัวแบบปานกลาง และการกระจายตัวอย่างมาก ซึ่งมีค่าการกระจายอยู่ในช่วง 1-3, 3-10 และมากกว่า 10 ตามลำดับ

2.3 การกระจายที่ถูกควบคุม (dispersion controlled)

เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารตัวอย่างในกระแสตัวพาซึ่งอาจเป็นรีเอเจนต์ หรือตัวทำละลาย เข้าสู่เครื่องตรวจวัดชนิดใด ๆ สารตัวอย่างจะมีการกระจายตัว 3 ลักษณะ คือ

2.3.1 การกระจายตัวแบบจำกัด (limited dispersion)

มีการกระจายตัวของ sample zone น้อยมาก (D = 1-3) ใช้เมื่อต้องการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเดิมของสารตัวอย่างที่เคลื่อนที่ถึงเครื่องตรวจวัดโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น เช่น ต้องการหาค่าความเป็นกรด ด่าง การนำไฟฟ้า หรือ ionic strength ของสารตัวอย่าง สารละลายที่ใช้เป็นกระแสตัวพานั้นจะไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์สารตัวอย่างแต่อย่างใด เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นตัวพาสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่องตรวจวัดเท่านั้น การกระจายตัวของ sample zone แบบนี้เหมาะสำหรับใช้วิธีวิเคราะห์สาร คือ FIA-AAS, FIA-ICP-AES และใช้กับระบบ FIA ที่ใช้เครื่องตรวจวัดชนิดไฟฟ้าเคมี

2.3.2 การกระจายตัวแบบปานกลาง (medium dispersion)

Sample zone มีการกระจายบ้างในกระแสตัวพาที่ทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ และ/หรือ ตัวทำละลายก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องตรวจวัด การกระจายตัวของ sample zone แบบนี้มีค่า D = 3-10 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี FIA เป็นส่วนมาก เพราะเป็นเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการผสมของสารตัวอย่างกับกระแสตัวพาและสารละลายรีเอเจนต์ ทำให้เกิดสารประกอบหรือสารประกอบเชิงซ้อนที่ดูดกลืนรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือคายแสงแบบฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจวัดได้ เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำโดยวิธี FIA colorimetry การหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยวิธี FIA colorimetry ทำได้โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA เหล็ก(III) จะทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ เช่น 1,10-phenanthroline ให้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดงก่อนแล้วจึงเข้าสู่เครื่องตรวจวัด การกระจายของ sample zone แบบนี้จะต้องรอให้สารทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ก่อน นอกจากนี้ยังใช้กับเทคนิคที่มีการวัดความขุ่นอีกด้วย เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟต ความสูงของพีกจะลดลงเมื่อการกระจายตัว sample zone เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การกระจายตัวอย่างมาก

จะมีการกระจายตัวอย่างมากในกระแสตัวพา ซึ่งมีค่า D มากกว่า 10 ถ้าใช้ความยาวท่อที่ทำให้ mixing coil หรือ reaction part ระหว่างจุดฉีดสารตัวอย่างถึงจุดตรวจวัดยาวเกินไปพีกที่ได้จะกว้างมาก การกระจายตัวของ sample zone แบบนี้เหมาะสำหรับวิเคราะห์สารโดยวิธี FIA-titrimetry ความกว้างของพีกที่จุดกึ่งกลางของความสูงของพีกจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่จะวิเคราะห์ ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณได้

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ไม่จำเป็นต้องเกิดแบบ steady state เสมอไป สิ่งสำคัญก็คือสภาวะที่ใช้ในการทดลองทั้งของสารละลายมาตรฐาน และสารตัวอย่างต้องเหมือนกันทุกประการ คือ residence time, อุณหภูมิ และการแพร่ของสารต้องคงที่ ส่วนปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตัวอย่างทราบได้โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เครื่องตรวจวัด อาจบันทึกได้โดยใช้เครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) หรือคอมพิวเตอร์ สัญญาณของสารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถศึกษาได้จากความสูงพีก ความกว้างพีก พื้นที่ใต้พีก เป็นต้น

สามารถควบคุมสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับตัวอย่างและสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้นของสารตัวอย่างหาได้จากกราฟมาตรฐาน ซึ่งเตรียมได้จากสารละลายมาตรฐานที่ฉีดเข้าไปในระบบ FIA ภายใต้สภาวะเดียวกัน

ระบบ FIA เป็นระบบที่ใช้เวลาตอบสนองสั้น ใช้เวลาเป็นวินาทีซึ่งทำให้วิเคราะห์ได้รวดเร็ว วิเคราะห์ได้หลายตัวอย่างในเวลาอันสั้น ใช้ตัวอย่างและรีเอเจนต์ในปริมาณน้อยระดับไมโครลิตร ระบบ FIA ที่พร้อมใช้งาน จะใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ในการวิเคราะห์ตัวอย่างซึ่งต่างจากเทคนิควิเคราะห์ทั่วไป

ตารางที่ 2.1 แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบ FIA

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
ปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้ฉีด	40-200 ไมโครลิตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	0.35-0.9 มิลลิเมตร
อัตราการไหล	0.5-2.5 ml/min
ความยาวของ mixing coil	10-200 เซนติเมตร
ปริมาตรของ flow through cell	8-40 ไมโครลิตร
เวลาในการตอบสนอง	20-60 วินาที
Sample throughput	60-200 samples/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Reverse FIA

วิธี FIA ที่กล่าวมาแล้วมีการฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่กระแสตัวพาซึ่งอาจเป็นรีเอเจนต์ หรือตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องในท่อเล็ก ๆ วิธีนี้เป็นวิธี FIA แบบปกติ (normal FIA, n-FIA) ซึ่งเหมาะสำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย ใช้รีเอเจนต์ราคาถูกและไม่แพงเกินไป ในกรณีที่รีเอเจนต์ราคาแพงมากการวิเคราะห์โดยวิธี FIA แบบปกติไม่คุ้มค่า ต้องใช้วิธี reverse FIA ซึ่งทำได้โดยการฉีดสารละลายรีเอเจนต์ปริมาณน้อย ๆ เข้าสู่กระแสตัวพาที่ประกอบด้วยสารตัวอย่างที่มีราคาถูกแทนที่กระแสตัวพาของรีเอเจนต์ใน n-FIA

ระบบ FIA เกิดจากการรวมหลักการสำคัญ 3 ประการเข้าด้วยกัน คือ

2.4.1 การฉีดสารตัวอย่าง (sample injection)

เป็นการนำตัวอย่างเข้าสู่กระแสตัวพาที่ไหลอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ดีและเทคนิคที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ปริมาตรของสารตัวอย่างที่ถูกต้องแม่นยำทุกครั้ง

2.4.2 เวลาในการฉีดสาร (reproducible time)

การฉีดสารตัวอย่างต้องใช้เวลาในการฉีดที่แน่นอนและสม่ำเสมอทุกครั้ง มิฉะนั้นจะมีผลต่อการวัดของเครื่องตรวจวัดทำให้ residence time ไม่เท่ากัน เป็นผลจากการที่สารตัวอย่างนั้นทำปฏิกิริยากับกระแสของรีเอเจนต์ด้วยสัดส่วนไม่คงที่

2.4.3 การแพร่กระจายที่ถูกควบคุม (controlled dispersion)

ผลผลิตของสารตัวอย่างที่เกิดขึ้นใน sample zone ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยานั้นจะถูกควบคุมการแพร่กระจายในระหว่างการไหลอยู่ตามท่อในระบบจนถึงเครื่องตรวจวัด ซึ่งสังเกตได้จากพีกที่เป็นลักษณะของระบบ FIA ขณะนั้น แสดงได้ดังรูป 2.2

2.5 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบ FIA

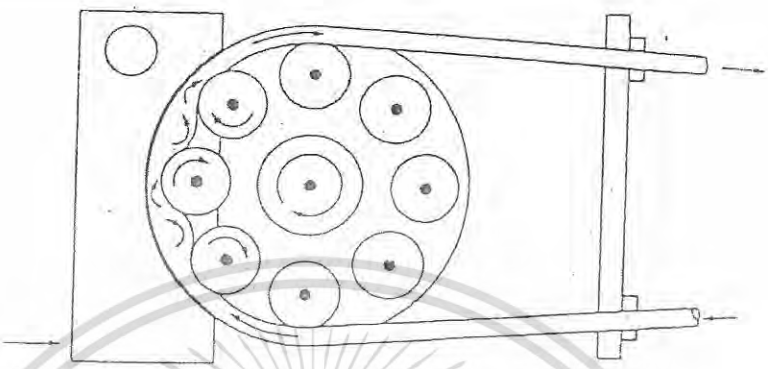
ระบบ FIA โดยทั่วไปมักประกอบด้วยส่วนสำคัญอย่างน้อย 4 ส่วนคือ

2.5.1 ระบบการขับเคลื่อน (Propelling system) จะทำให้เกิดการไหลของกระแสตัวพาไปยังส่วนต่างๆของระบบ ระบบที่ใช้ในการขับเคลื่อนในอุดมคติจะต้องไม่ทำให้เกิดพัลส์ (pulse-free) และต้องให้ความแม่นยำในการไหลด้วยอัตราเร็วที่คงที่

เพอร์ริสตาลติกปั๊มป์ (peristaltic pump) เป็นปั๊มป์ที่มีจุดเด่นประการหนึ่งคือ ประสิทธิภาพในการควบคุมอัตราการไหลที่คงที่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปั๊มป์ชนิดนี้นิยมใช้ในระบบ FIA การใช้เพอร์ริสตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติกปั๊มป์นั้นจะต้องใช้ท่อที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งจะถูกบีบ (squeeze) โดยลูกกลิ้ง (set of roller) และจะทำให้เกิดการไหลของกระแสตัวพาภายในท่อดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของเพอริสตาลติกปั๊มป์

ปั๊มป์ชนิดนี้จะทำให้เกิดพัลส์ของกระแสที่ไหล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในระบบ FIA ซึ่งพัลส์ที่เกิดขึ้นจะลดลงเมื่อจำนวนลูกกลิ้ง และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งลดลง ส่วนระบบในการขับเคลื่อนอื่นๆที่สามารถใช้ได้แต่ได้รับความนิยมน้อยกว่าเพอร์ริสตาลติกปั๊มป์ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ความดันของแก๊ส หรือใช้ความดันแรงโน้มถ่วงของโลกในการขับเคลื่อนกระแสตัวพา ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมานี้จะทำให้เกิดพัลส์ของการไหล แต่จะประสบปัญหาในการควบคุมอัตราการไหลของกระแสทั้ง 2 กระแส หรือมากกว่าในเวลาเดียวกัน

2.5.2 ระบบในการฉีด (Injection system) เป็นส่วนที่จะนำสารตัวอย่างที่จำกัดค่าหนึ่งเข้าไปในกระแสตัวพาที่กำลังไหล และควรมีสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ควรจะนำสารตัวอย่างที่มีปริมาณแน่นอนเข้าไปในกระแสรีเอเจนต์ที่ไหลด้วยความแม่นยำสูง

2. สารตัวอย่างควรนำเข้าไปในกระแสรีเอเจนต์โดยไม่ทำให้เกิดการรบกวน (disturbance) ต่อกระแสตัวพา

3. การฉีดควรทำได้ง่ายละรวดเร็วเพื่อทำให้อัตราเร็วในการฉีดสารตัวอย่างสูง นอกจากนี้ระบบในการฉีดควรควบคุมได้ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) หน่วยการฉีดที่ใช้ในยุคแรก ๆ กับ FIA จะใช้เข็มฉีดยาและเข็มไฮโปเดอร์มิก (hypodermic needle) ในปัจจุบันระบบการฉีดมักใช้แบบโรตารีวาวส์ (Rotary valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ระบบการขนส่ง (Transport system) ใช้เชื่อมต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบ FIA และทำให้สารตัวอย่างเกิดการแพร่กระจายหรือเกิดการผสมเมื่อเคลื่อนที่ผ่านระบบขนส่งที่เหมาะสม ถ้าในการทดลองมีขนาดของการแพร่กระจายของสารตัวอย่างไม่เหมาะสม และในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดได้มากขึ้น หรือในระบบที่ต้องการให้เกิดการแยกของกระแสก็อาจจะใช้ส่วนประกอบย่อยต่าง ๆ เช่น ภาชนะผสม เครื่องปฏิกรณ์ และจุดรวมของการไหล (merging point) ติดตั้งเข้าไปในระบบ

2.5.4 ท่อขนาดเล็ก ท่อที่ใช้ทำจากโพลีโพรพิลีนหรือเทปลอน (เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตร) อาจปล่อยเป็นสายยาวหรืออาจพันรอบแท่งทรงกระบอก เช่น แท่งแก้วหรือหลอดทดลองที่เรียกว่า mixing coil

2.5.5 ส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา

ก. mixing chamber ทำจากแผ่นพลาสติกหนาและใส นำมาเจาะและบรรจุด้วยแท่งคนเล็ก ๆ ที่ทำขึ้นเองได้

ข. เครื่องแยกแบบแพร่ผ่านโดยใช้แผ่นเยื่อ ทำโดยเจาะร่องแผ่นพลาสติกใสแล้วนำมาประกอบกันโดยมีเยื่อเทปลอนกั้นระหว่างร่อง

2.5.6 ระบบในการตรวจวัด (Detection system) จะทำการตรวจวัดปริมาณของสมบัติใดสมบัติหนึ่งของสารตัวอย่างหรือผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง และให้ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติดังกล่าวทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ สมบัติของเครื่องตรวจวัดสัญญาณในอุดมคติของระบบ FIA จะต้องมีสมบัติต่อไปนี้

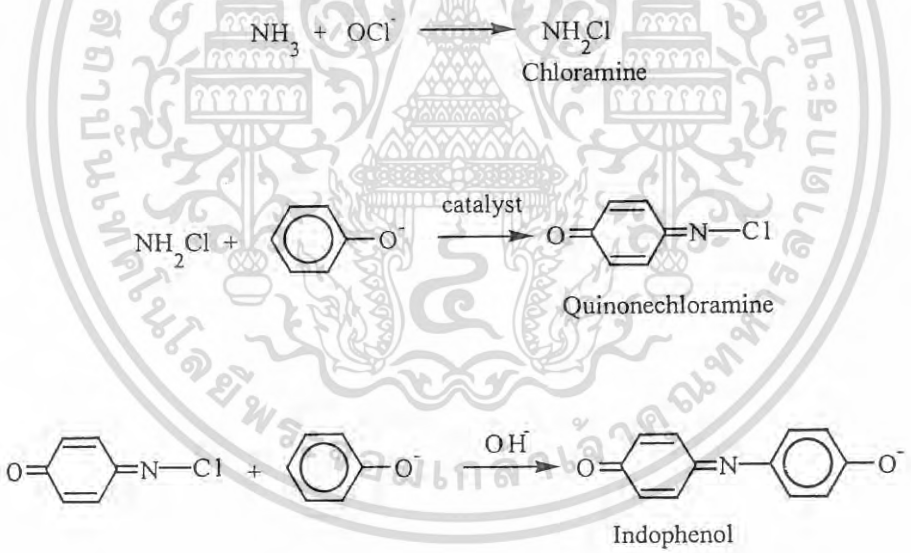
1. มีการตอบสนองที่รวดเร็ว (โดยทั่วไปประมาณ 5 วินาที)
2. มีความจำเพาะ
3. มีสัญญาณรบกวนต่ำ และมีความไว (sensitivity) สูง
4. สัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดจะต้องไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ อัตราเร็วของการไหล และอื่น ๆ
5. มีความแม่นยำและให้สัญญาณที่เสถียร
6. ให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
7. มีขนาดกะทัดรัด
8. มีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไม่มีเครื่องตรวจวัดใดที่มีคุณสมบัติครบตามข้างต้น ดังนั้นในการเลือกวิธีของการตรวจวัดจึงขึ้นกับจุดประสงค์ของการวิเคราะห์สำหรับระบบนั้น ๆ

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในน้ำ [5]

การวิเคราะห์หาแอมโมเนียด้วยวิธี phenol-hypochlorite แอมโมเนียในสารละลายที่เป็นด่างจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรต์และฟีนอล โดยมีโซเดียมไนโทรปรัสไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน (indophenol blue) molar absorptivity ของอินโดฟีนอลบลูมีค่าประมาณ 20,000 ดังนั้นแอมโมเนียความเข้มข้น 0.035 mg-N/L เมื่อวัดด้วยคิวเวตต์กว้าง 1 เซนติเมตร จึงมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.045 วิธีนี้มี detection limit ประมาณ 0.0014 mg-N/L และสามารถวิเคราะห์หาแอมโมเนียได้สูงสุดถึง 2.1 mg-N/L แต่จากกฎของ Beer-Lambert วัดความเข้มข้นของแอมโมเนียได้สูงสุดเพียง 0.56 mg-N/L (มีค่าการดูดกลืนแสง 0.80 เมื่อวัดด้วยคิวเวตต์ 1 เซนติเมตร) ค่าแอมโมเนียที่วิเคราะห์ได้จะรวมทั้งในรูปที่มีประจุและไม่มีประจุ ($NH_4^+ + NH_3$)



รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การประยุกต์ใช้เทคนิค FIA และเทคนิค SIA

ตั้งแต่เทคนิค FIA ได้ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1975 แล้ว ได้มีรายงานพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค FIA ในงานวิจัยด้านต่าง ๆ มากมายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากการค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค FIA พบว่าเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วอย่างไม่หยุดยั้ง จนกระทั่งปัจจุบันนี้นักวิจัยทางสาขาวิชาเคมีวิเคราะห์และเคมีวิเคราะห์ประยุกต์ ยังคงทุ่มเทความสนใจในการพัฒนา FIA เพื่อขยายขอบเขตของการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยทางเคมีให้กว้างขวางยิ่งขึ้นปัจจุบันนี้มีบทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ ระดับนานาชาติเกี่ยวกับเทคนิค FIA ทั้งทางด้านทฤษฎี และการประยุกต์ใช้ประโยชน์มากกว่า 2000 เครื่อง

เนื่องจาก FIA สามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือเทคนิคต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารที่สนใจในสารตัวอย่างที่มี matrices ต่าง ๆ เช่น สารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมได้แก่ ดิน น้ำ ปุ๋ย อาหาร และผลิตภัณฑ์อาหาร สารชีวภาพ ได้แก่ เลือด ปัสสาวะ เป็นต้น สารที่จะวิเคราะห์อาจเป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ก็ได้ สารอินทรีย์ได้แก่ ยาชนิดต่าง ๆ วิตามิน น้ำตาลสารฆ่าศัตรูพืช และสัตว์บางตัว เป็นต้น ส่วนสารอนินทรีย์มีทั้ง cations เช่น เหล็ก ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล แมงกานีส และอื่น ๆ anions ได้แก่ ฟอสเฟส ซัลเฟต คลอไรด์ ไนเตรต ฟลูออไรด์ ไซยาไนด์ เป็นต้น FIA manifold จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิด และธรรมชาติของสารที่จะวิเคราะห์ และขึ้นกับปฏิกิริยาที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์อีกด้วย

การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของ FIA นั้นกว้างขวางมาก สามารถวิเคราะห์ทั้ง cations anions และสารประกอบต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ดังนั้นจึงมีรายงานเกี่ยวกับการใช้ FIA ร่วมกับเครื่องตรวจวัดชนิดต่าง ๆ เช่น สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดต่าง ๆ เครื่องตรวจวัดทางไฟฟ้าเคมี และเครื่องตรวจวัดกัมมันตภาพรังสี พบว่าการวิเคราะห์โดยวิธี FIA ส่วนมากจะใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด รองลงมาคือเครื่องตรวจวัดทางไฟฟ้าเคมี และเครื่องตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีตามลำดับ ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างการประยุกต์ทางเทคนิค FIA สำหรับวิเคราะห์ cations

ตัวอย่างการวิเคราะห์ cations

การวิเคราะห์ cations โดยวิธี FIA ที่พบในรายงานในวารสารต่าง ๆ ส่วนมากใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทต่าง ๆ เป็นเครื่องตรวจวัด เช่น UV-VIS spectrophotometer atomic absorption spectrophotometer และ inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางเคมีมีความจำเป็นในกิจกรรมด้านต่างๆ เช่น ทางด้านอาหารและยา การควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรม หรือการวิจัยในวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเกี่ยวกับข้อมูลผล การวิเคราะห์เหล่านี้โดยทั่วไป ได้แก่ ความถูกต้อง ความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือของข้อมูล เพราะการได้ข้อมูลที่ผิดพลาดจะทำให้การสรุปผล หรือการตัดสินใจผิดพลาดก่อให้เกิดผลเสียได้ นอกจากนี้ต้องพิจารณาถึงสิ่งที่ต้องใช้ไปในการให้ได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ต้องการ เช่น ค่าใช้จ่าย เวลา แรงงาน ซึ่งควรจะน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ใหม่ๆ อยู่เสมอ ซึ่งนอกจากจะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางการวิเคราะห์ที่กำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบันแล้วยังเป็นพื้นฐานหรือเครื่องมือในการวิจัยพัฒนาสิ่งใหม่ๆ ให้เกิดขึ้นด้วย สำหรับประเทศไทยยังมีการวิจัยพัฒนาทางด้านเคมีวิเคราะห์น้อยมาก เราต้องสูญเสียเงินตราในกิจกรรมทางการวิเคราะห์ทางเคมีแก่ต่างประเทศเป็นจำนวนเงินที่สูงมาก เช่น การซื้อเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ทั้งที่เป็นแบบง่ายๆ หรือชนิดที่ซับซ้อน รวมถึงอุปกรณ์และชิ้นส่วนของเครื่องมือวิเคราะห์ เป็นต้น จึงเป็นผลให้ขาดความรู้พื้นฐานวิทยาศาสตร์ในการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นเอง

จากการได้มองเห็นปัญหาข้างต้นและเล็งเห็นถึงศักยภาพของเทคนิค Flow Injection Analysis (FIA) ในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่อาศัยเครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน ราคาถูก มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำแต่มีประสิทธิภาพสูง จึงได้มุ่งความสนใจพัฒนาระบบการวิเคราะห์ทางเคมีโดยเทคนิค Flow Injection Analysis และเทคนิคที่เกี่ยวข้อง เช่น Sequential Injection Analysis หรือ Bead Injection Analysis ทั้งในด้านการพัฒนาอุปกรณ์ เครื่องมือ โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศไทยและวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม รวมทั้งการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์แบบใหม่ที่มีความถูกต้อง แม่นยำสูง ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา โดยเน้นการประยุกต์ระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับปัญหาทางเคมีวิเคราะห์ในประเทศไทยและเกิดนวัตกรรมใหม่ในระดับสากลด้วย

Sequential Injection Analysis (SIA) เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากหลักการพื้นฐานของ FIA โดยออกแบบระบบใหม่ให้ใช้ได้กว้างขวางขึ้นและผนวกเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์เข้าไป ทำให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติม เช่น ประหยัดสารเคมี และเกิดของเสียน้อยลง การปรับเปลี่ยนระบบทำได้ง่ายโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ลักษณะทั่วไปของระบบ SIA แสดงดังรูป 3.8 ในระบบ SIA สารละลายไม่ได้ไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา reagent(s) และ sample จะถูกดูดผ่าน multiport valve เข้ามาใน holding coil ตามลำดับ จากนั้น pump จะขับเคลื่อนในทิศทางตรงข้ามผลักให้สารละลายที่อยู่ใน holding coil ไหลผ่านไปยังเครื่องตรวจวัด (detector) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นสามารถบันทึกได้เช่นเดียวกับในระบบ FIA แต่ใน SIA สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ (เช่น ปริมาตรสาร อัตราการไหล และทิศทางการไหล ลำดับในการฉีดสาร เป็นต้น) สามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงผ่านคอมพิวเตอร์โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงระบบทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [6]

เครื่อง Sequential Injection Analysis (SIA) ถูกพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพของน้ำในเทอมของปริมาณแอมโมเนียในน้ำและสารที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบนี้เป็นการใช้คอมพิวเตอร์อย่างเต็มรูปแบบและสามารถตรวจวัดแอมโมเนียในตัวอย่างที่ความถี่ประมาณ 16 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ด้วย RSD ที่ประมาณ 1.8% ส่วนของกราฟมาตรฐานเป็นเชิงเส้นในช่วงระหว่าง 0 และ 50 mgL^{-1} ซึ่งตกอยู่ภายในช่วงความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ที่ต้องการ ซึ่งระดับของสิ่งรบกวนที่พบได้ในน้ำและสารที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ก็อาจก่อให้เกิดการรบกวนในระบบได้เพียงเล็กน้อย

การวิเคราะห์ donepezil ในน้ำเลือด (human plasma) โดยแยกด้วยเทคนิคโครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี (ultraviolet absorbance detection) เริ่มจากให้สารตัวอย่างเกิดกระบวนการอัลคาไลน์ไนเนซัน (alkalinization) ด้วย 0.1 M NaOH ปริมาตร 0.5 mL สกัดน้ำเลือด 1 mL ด้วยไอโซโพรพานอล-เฮกเซน (3:97 v/v) นำชั้นที่เป็นสารอินทรีย์มาสกัดด้วย 0.1 M HCl ปริมาตร 75 µL จากนั้นฉีดสารที่อยู่ในชั้นของ HCl มาฉีดเข้าไปในจุดฉีดของเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ C_{18} STR ODS-II (5 µm. 150x4.6 mm I.D.) เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ประกอบด้วย 0.02 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 4.6 6 M กรดเปอร์คลอริก (perchloric acid) และอะซิโทรไนไทรล์ (acetronitrile) ในอัตราส่วน 59.5 : 0.5 : 40 v/v โดยกำหนดให้อัตราการไหลเท่ากับ 1.0 mL/min ที่อุณหภูมิ 40 °C ตรวจวัดด้วยเครื่อง UV detector ที่ 315 nm ช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ donepezil คือ 3-90 ng.mL

สำหรับในระบบ flow injection analysis (FIA) ได้มีการพัฒนาระบบมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การวิเคราะห์พาราออกซอน (paraoxon) โดยการตรึงเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสบน controlled pore glass ในระบบ FIA โดยมี 1-naphthyl acetate เป็นสับสเตรท แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบที่สารตัวพาไหลอย่างต่อเนื่อง และระบบที่ปิดปั๊มให้สารตัวพาไหลเป็นช่วงๆ (stopped flow) โดยระบบที่มีการไหลของสารตัวอย่างต่อเนื่องนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ 60 ตัวอย่าง/ชั่วโมง มีขีดจำกัดในการตรวจวัด $4x10^{-7}$ M และในระบบที่สารตัวพาไหลเป็นช่วงๆ (stopped flow) วิเคราะห์ได้ 30 ตัวอย่าง/ชั่วโมง มีขีดจำกัดในการตรวจวัด $8x10^{-9}$ M แต่ในระบบนี้ยังไม่สารถนำเอนไซม์โดยพาราออกซอนหลายๆครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

สารเคมี

1. น้ำปราศจากไอออน (Deioniged water) ยี่ห้อ Millipore
2. แอมโมเนียซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] เกรดวิเคราะห์ (99.9%) บริษัท Carlo Erba
3. ฟีนอล เกรดวิเคราะห์ (99.5%) บริษัท Carlo Erba
4. ไฮโปคลอไรต์ (Hiter Bleach) บริษัท คาโอ อินดัสเตรียส (ประเทศไทย)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ บริษัท Carlo Erba
6. โซเดียมเตตระบอเรทเดคะไฮเดรต เกรดวิเคราะห์ (99.9%) บริษัท Carlo Erba
7. กรดไฮโดรคลอริก เกรดวิเคราะห์ (36.5%) บริษัท Carlo Erba
8. เอทานอล เกรดวิเคราะห์ (99.8%) บริษัท Carlo Erba

อุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น 6405 บริษัท Jenway
2. peristaltic pump
3. 10-port electrically actuated selection valve (สร้างเอง)
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. เครื่องวัดพีเอส (pH-meter)
6. ขวดแก้วสีน้ำตาล
7. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 mL
8. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 mL
9. บีกเกอร์
10. กระดาษกรอง
11. ช้อนตักสาร
12. กรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตัวอย่าง

น้ำบ่อกุ้ง จากจังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 สารเคมีและสารละลาย (Reagent and solution)

สารเคมีที่เตรียมเป็นเกรดวิเคราะห์นอกจากว่าจะมีการระบุเป็นอย่างอื่น สำหรับสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบจะต้องเตรียมจากน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน (กลั่น 2 ครั้ง) และสารละลายทั้งหมดจะถูกกำจัดก๊าซด้วยระบบปั๊มสุญญากาศก่อนที่จะทำการวัด

3.2.1.1 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย (Standard ammonia solutions)

สารละลายสต็อก ammonia-N ปริมาณ 1.000 g L^{-1} เตรียมโดยละลาย $(NH_4)_2SO_4$ 4.716 g ในน้ำกลั่นและเจือจางให้เป็น 1L

3.2.1.2 ฟีนอล (phenol reagent)

สารละลายอัลคาไลน์ฟีนอล เตรียมโดยละลายพิงค์ฟีนอล 3.0 g โซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.0 g และเอทานอลในน้ำที่ปราศจากไอออน 40 mL แล้วเจือจางเป็น 100 mL

3.2.1.3 ไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite reagent)

สารละลายอัลคาไลน์ไฮโปคลอไรต์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 g และโซเดียมเตตระบอเรทเดคาไฮไดรต 2 g ในสารละลาย household bleach (ประกอบด้วย 3.5% m/v โซเดียมไฮโปคลอไรต์) แล้วเจือจางเป็น 100 mL

3.2.1.4 ตัวพา (Carrier)

สารละลาย alkaline carrier (ตัวพาที่อยู่ในสภาวะเบส) เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 L

3.2.1.5 Wash solution (สารละลายที่ใช้ในการชะล้าง)

ใช้ 0.05 mol L^{-1} ของกรดไฮโดรคลอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2.2 การสร้าง 10-port electrically actuated selection valve

การเตรียม 10-port electrically actuated selection valve นำแท่งเทปลอนอันที่ 1ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร และนำแท่งเทปลอนอันที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร ส่วนบล็อคในการยึด10-port electrically actuated selection valve จะนำแผ่นอะคีริที่มีขนาดหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 140 มิลลิเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น นำแท่งเทปลอนอันที่ 1 มาคำนวณหาองศาที่จะเจาะรูให้ได้ 10 รู ความห่างของแต่ละรูที่เจาะเป็นมุมเท่ากับ 36 องศา ขนาดรู 1.20 มิลลิเมตร คำนวณโดยใช้โปรแกรม Auto CAD ดังรูป 3.1 และรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.8 ใช้โปรแกรม Solid Work ในการเขียนแบบโครงสร้าง

รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของ selection valve ที่คำนวณได้

107806

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

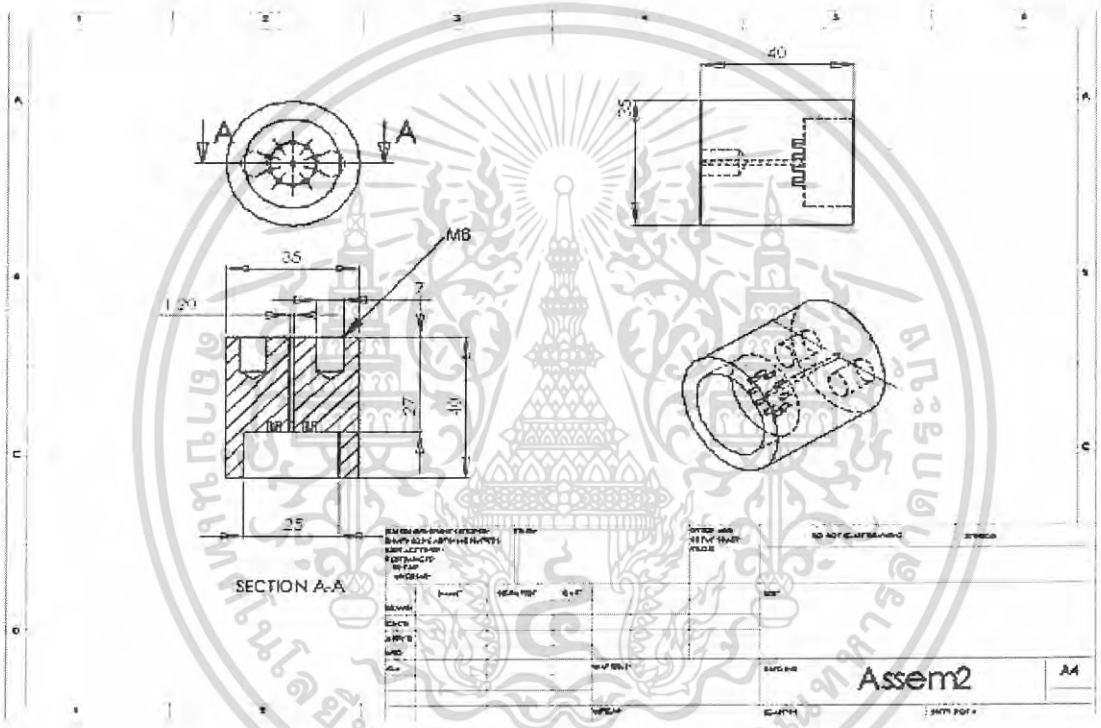
3.2.2.1 ขั้นตอนการทำชุดอุปกรณ์ SIA

1. นำแท่งเทปลอนอันที่ 1 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร

2. นำมาคว้านให้ลึกลงไป 13 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเจาะรู 10 รู รูละ 1.20 มิลลิเมตร ความห่างของแต่ละรูที่เจาะเป็นมุมเท่ากับ 36 องศา เจาะลึกลงไป 4 มิลลิเมตร

3. เจาะรูด้านข้างอีก 10 รู เจาะให้ถึงกัน ส่วนรูตรงกลางทำการเจาะให้ทะลุแท่งเทปลอน

4. อีกด้านหนึ่งของเทปลอนนำมาเจาะให้เป็นเกลี่ยวสกรู 2 รู ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง7 มิลลิเมตร ความยาว 7 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.2

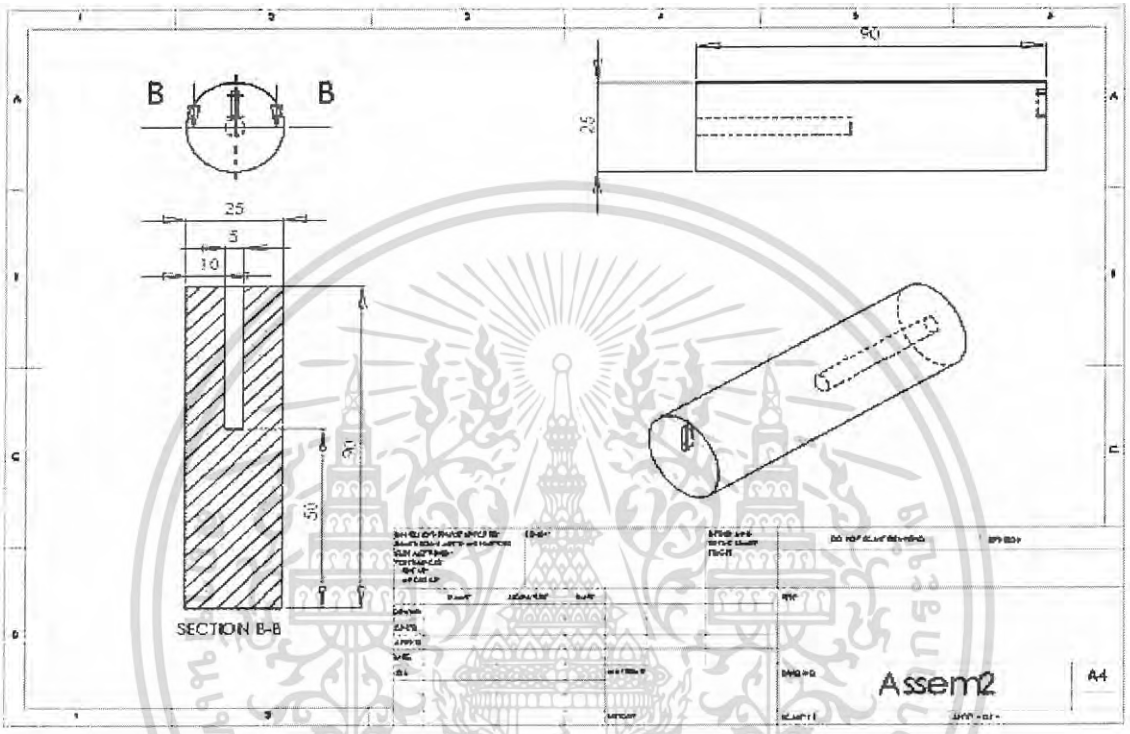


รูปที่ 3.2 แบบเขียนแสดงการทำแท่งเทปลอนอันที่ 1 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำแท่งเทปลอนอันที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร นำมาปาดหน้าให้เรียบและคว้านลึกลงไป 2 มิลลิเมตร

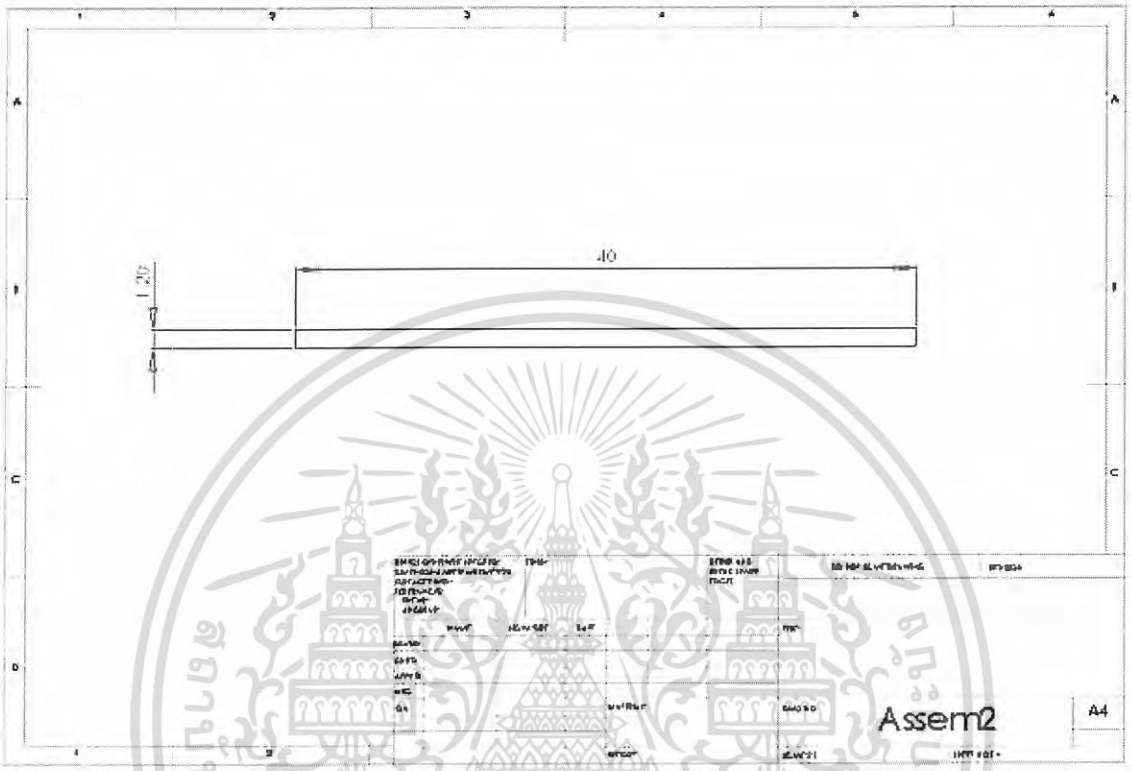
6. แท่งเทปลอนอีกด้านหนึ่งนำมาเจาะให้เป็นเกลี่ยวสกรู มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบเขียนแสดงการทำแท่งเทปลอนอันที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

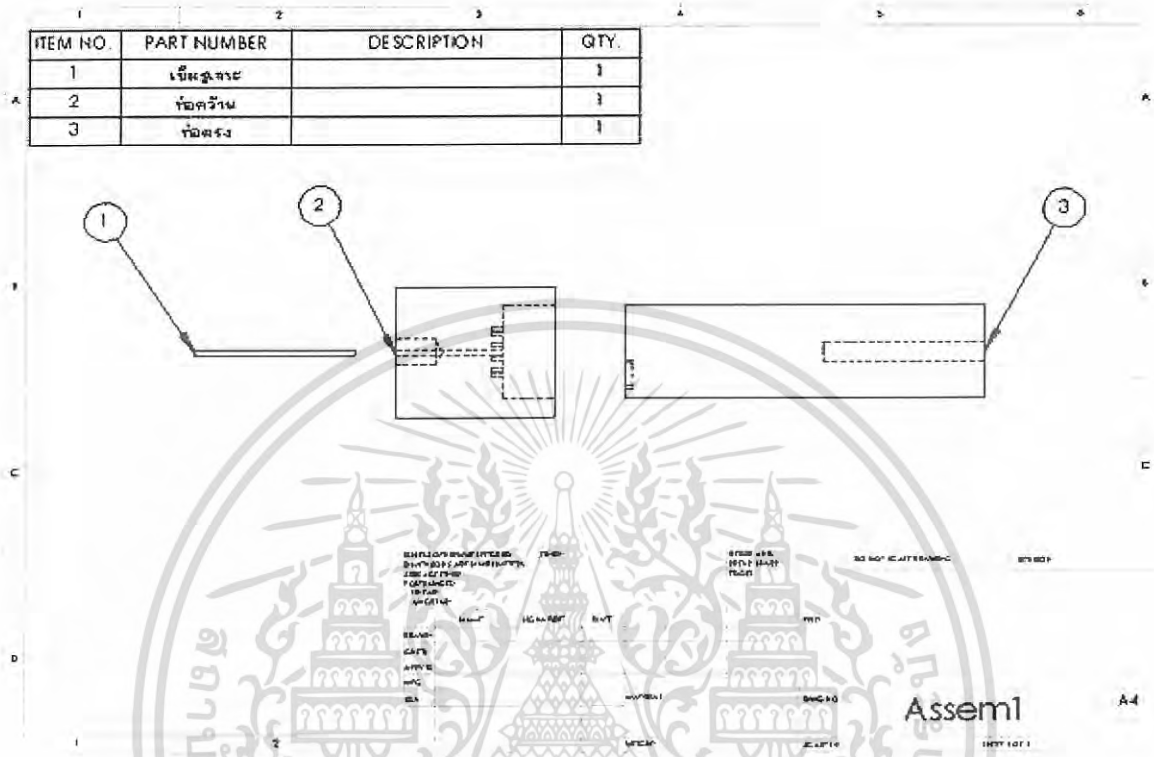
7. นำเข็มฉีดยาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร นำไปเจียลบด้านแหลมให้เรียบ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบเขียนแสดงการทำเข็มฉีดยาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร

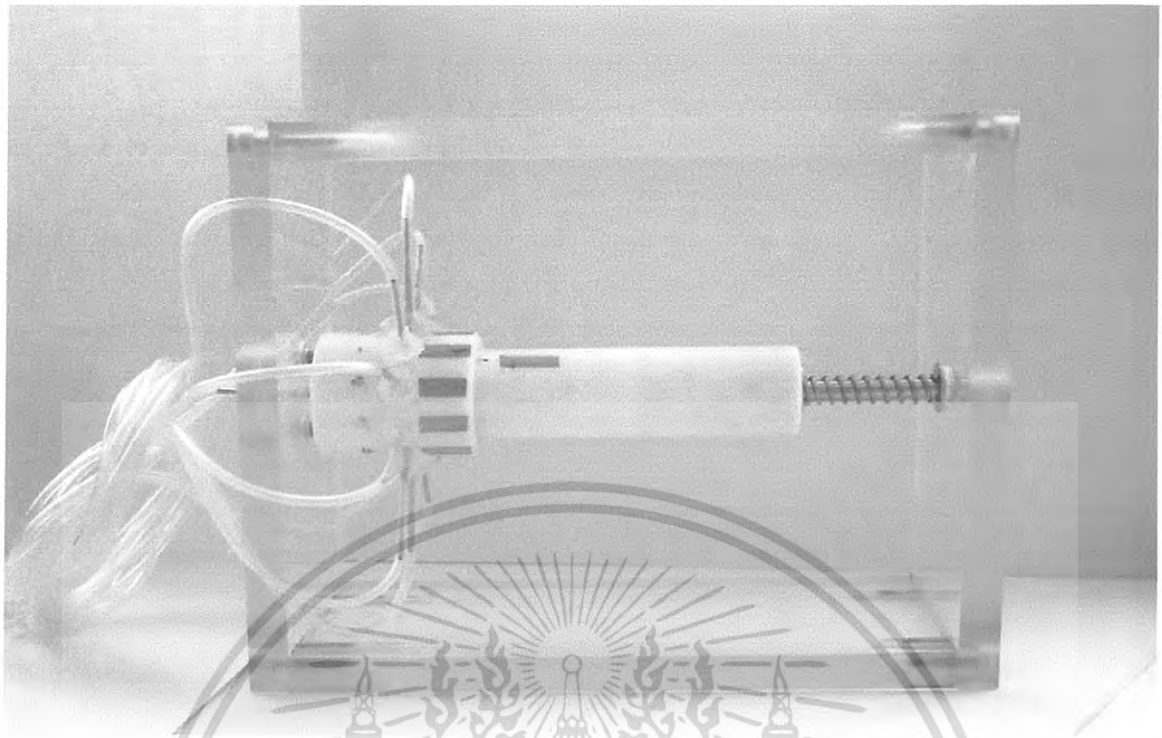
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำชิ้นงานส่วนที่ 1 คือเข็มฉีดยามาต่อกับรูที่เจาะทะลุแท่งเทปลอนของชิ้นงานส่วนที่ 2 จากนั้นนำชิ้นงานส่วนที่ 3 มาต่อกับชิ้นงานส่วนที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แบบเขียนแสดงการทำชิ้นส่วนงานที่ 1 คือเข็มฉีดยาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร การทำชิ้นส่วนงานที่ 2 คือ แท่งเทปลอนอันที่ 1 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร และการทำชิ้นส่วนงานที่ 3 คือแท่งเทปลอนอันที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร มาประกบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



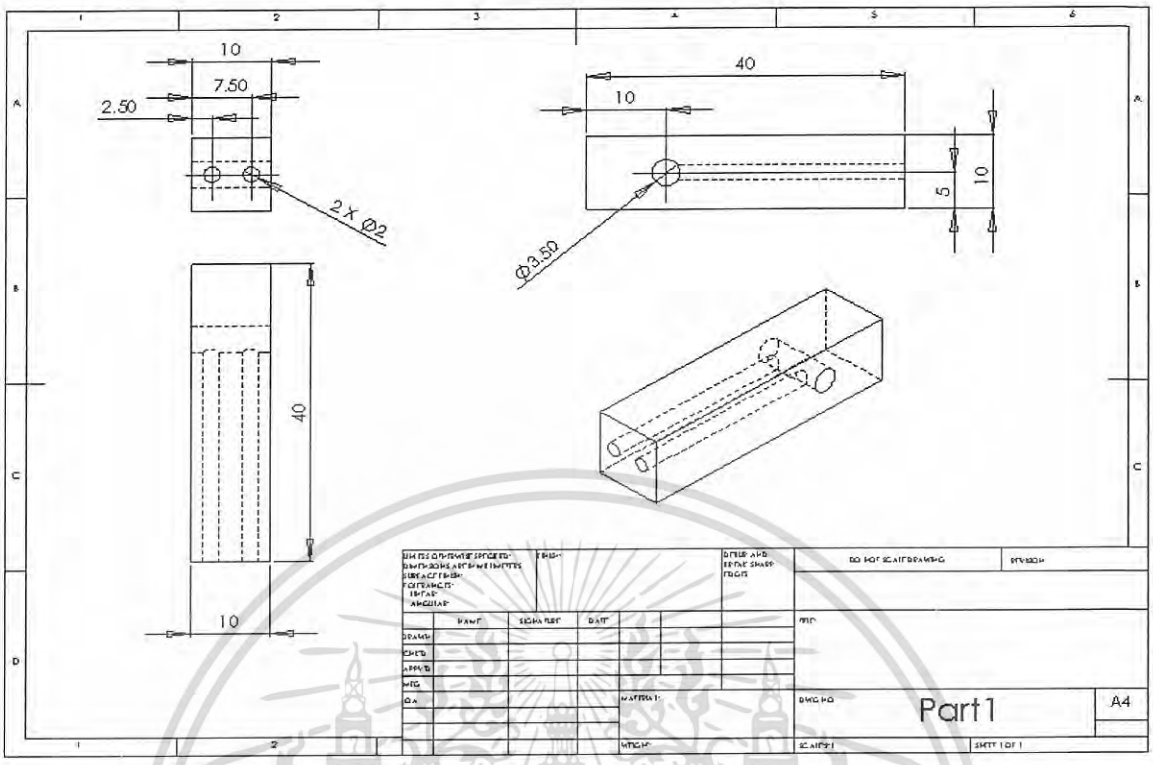
รูปที่ 3.6 แสดงชิ้นส่วนงานที่ประกอบแล้ว

9. นำแท่งอะคีริที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 10 มิลลิเมตร และ ความยาว 40 มิลลิเมตร จำนวน 1 แท่ง

10. นำมาเจะรู 2 รู ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ความยาว 30 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเจาะรูด้านข้าง 1 รู มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร เจาะทะลุแท่งอะคีริ

11. จากนั้นนำแผ่นอะคีริความหนา 1 มิลลิเมตร ทำการตัดแผ่นอะคีริจำนวน 2 แผ่น มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ความยาว 40 มิลลิเมตร นำมาปะติดด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ที่เจาะรูทะลุแท่งอะคีริ เมื่อเวลาทำการวิเคราะห์สาร สารจะเข้าสู่ดีเทคเตอร์ จะไม่ทำให้สารไหลออกมาข้างนอก Flow cell ได้ แสดงดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แบบเขียนแสดงการทำ Flow cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 แสดงการทำ Flow cell

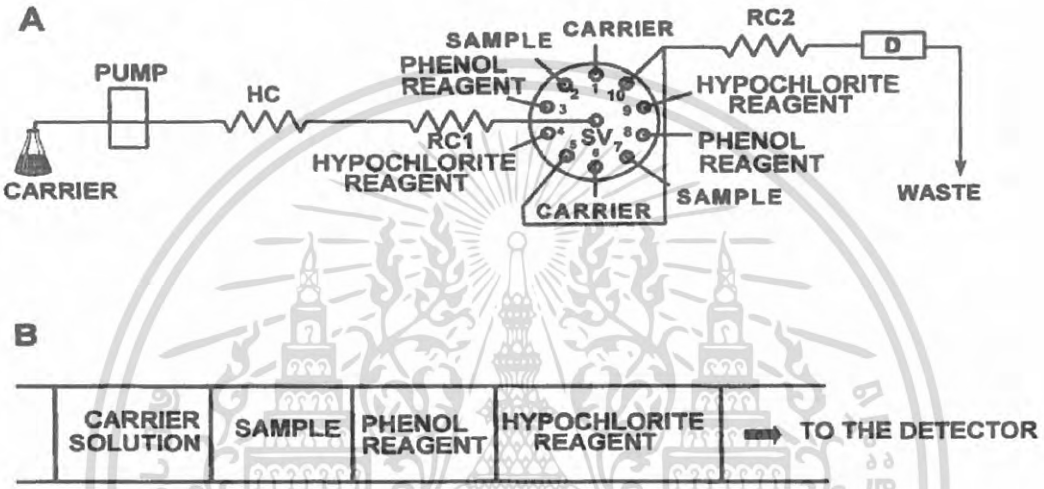
3.2.3 ท่อบริเวณที่มีการเกิดปฏิกิริยา (Manifold)

องค์ประกอบของระบบ SIA ถูกแสดงไว้ใน รูปที่ 3.8 ซึ่ง holding coil ทำขึ้นจากสายยางขดเป็นวง มีขนาดความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.0 m X 1.02 mm, reaction coil 1 มีขนาดความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.2 m X 1.02 mm ทำจากสายยางที่ขดเป็นวง และ reaction coil 2 มีขนาดความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.0 m X 1.02 mm ซึ่งทำจากสายยางที่ขดเป็นวงเช่นกัน ส่วน sampling, standard และ reagent line ทำขึ้นจากสายยางมีขนาดความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 45 cm X 1.02 mm flow rate ที่ใช้คือ 10.0 mL min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ขั้นตอนในการวัด

ลำดับแผนการการวัดแอมโมเนีย สรุปไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งวงจรการวัดทั้ง 2 รอบ ตั้งอยู่บนวงจรของ 10-port selection valve อย่างสมบูรณ์ โดยทั้ง 10-port ได้ถูกนำมาใช้ได้อย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งเห็นได้จากระบบ sequential injection โดยอธิบายไว้ในรูปที่ 3.8 วงจรแรก (carrier, sample, phenol reagent, hypochlorite reagent และไหลเข้าสู่ detector) คือ ports ที่ 1-5 ของ selection valve แล้วตามด้วยวงจรที่ 2 จาก ports ที่ 6-10 ซึ่งมีลักษณะวงจรแบบเดียวกัน



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพการวัดแอมโมเนีย

รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการวัดแอมโมเนีย ด้วยวิธี Sequential Injection Analysis (SIA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 โปรแกรมการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย

โปรแกรมการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียด้วยวิธี (SIA) แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลำดับแผนการการวัดแอมโมเนีย

Time (s)	Pump	Valve	Description
0	Off	Off	Pump and valve off
1		Carrier	Select carrier solution
8.5	Reverse		Draw up carrier solution
13.5	Off		Pump stop
14.5		Sample	Select sample solution
30	Reverse		Draw up sample solution
35.5	Off		Pump stop
36.5		Phenol reagent	Select Phenol reagent
69.5	Reverse		Draw up reagent
72	Off		Pump stop
73		Hypochlorite reagent	Select hypochlorite reagent
111	Reverse		Draw up reagent
119.5	Off		Pump stop
120		Detector	Select detector line
121.5	Forward		Pump stack of zones forward to penetrate each other
126.5	Off		Pump stop
136.5	Reverse		Pump stack of zones backwards to ensure mixing
146.5	Off		Pump stop
156.5	Forward		Pump stack of zones forward to ensure complete mixing
166.5	Off		Pump stop, stopped-flow period to allow Reaction to develop
246.5	Forward		Pump formed product zone through detector
311	Off	Off	Return pump and valve to starting position

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากบ่อกุ้ง จากจังหวัดฉะเชิงเทรา

ตัวอย่างน้ำจากบ่อกุ้งแบบไม่กรองตะกอนให้ได้ปริมาตร 100 mL วัด pH ได้เท่ากับ 9.0

ตัวอย่างน้ำจากบ่อกุ้งแบบกรองตะกอน นำน้ำจากบ่อกุ้งมากรองด้วยกระดาษกรองให้ได้ปริมาตร 100 mL วัด pH ได้เท่ากับ 8.2

เมื่อได้ตัวอย่างน้ำจากบ่อกุ้ง 2 ตัวอย่างแล้ว ให้ทำตามรูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพการวัดแอมโมเนีย ควบคู่กับตารางที่ 3.1 ลำดับแผนการการวัดแอมโมเนีย โดยใช้ carrier solution เป็นแบลงค์และตัวพาให้ base line คงที่ โดยทำการเซตแบลงค์เท่ากับศูนย์ จากนั้นทำการวัดแอมโมเนียโดยวงจรแรก (carrier 1 mL, sample 1 mL, phenol reagent 4 mL, hypochlorite reagent 5 mL และไหลเข้าสู่ detector) คือ ports ที่ 1-5 ของ selection valve แล้วตามด้วยวงจรที่ 2 จาก ports ที่ 6-10 ซึ่งมีลักษณะวงจรแบบเดียวกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียด้วยวิธี SIA เสร็จเรียบร้อยแล้ว เราต้องทำการชะล้างระบบให้เรียบร้อย โดยใช้ 0.05 mol L^{-1} hydrochloric acid เป็นสารละลายที่ใช้ในการชะล้างระบบจะต้องผ่านการชะล้างประมาณ 10 นาที และตามด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนหลังจากการทำ acid treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาสารละลายที่ใช้ในการชะล้าง (Wash solution)

มีความจำเป็นที่จะต้องกลั้ว ชะล้างระบบให้เรียบร้อย อย่างน้อย 1 ชั่วโมง และระหว่าง 24 ชั่วโมงจะต้องกำจัด NaOH ทั้งหมดจากส่วนต่างๆ (selection valve, etc.) ที่เป็นทางน้ำไหลในระบบ SIA เพราะ NaOH ความเข้มข้นสูงที่นำมาใช้ใน carrier solution และ reagent solutions มีผลต่อสมรรถนะของ selection valve

ดังนั้นจึงใช้ 0.05 mol L^{-1} hydrochloric acid เป็นสารละลายที่ใช้ในการชะล้างระบบจะต้องผ่านการชะล้างประมาณ 10 นาที และตามด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนหลังจากการทำ acid treatment

4.2 ศึกษาปัจจัยทางกายภาพ (Physical parameters)

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ทางกายภาพ

Physical parameter		Value
Flow rate		10.0 mL min
Holding coil	Diameter	1.02 mm
	Length	2.0 m
	Configuration	Coiled
Reaction coil 1	Diameter	1.02 mm
	Length	1.2 m
	Configuration	Straight
Reaction coil 2	Diameter	1.02 mm
	Length	1.0 m
	Configuration	Coiled
Sample volume		1 mL
Phenol reagent volume		4 mL
Hypochlorite reagent volume		5 mL

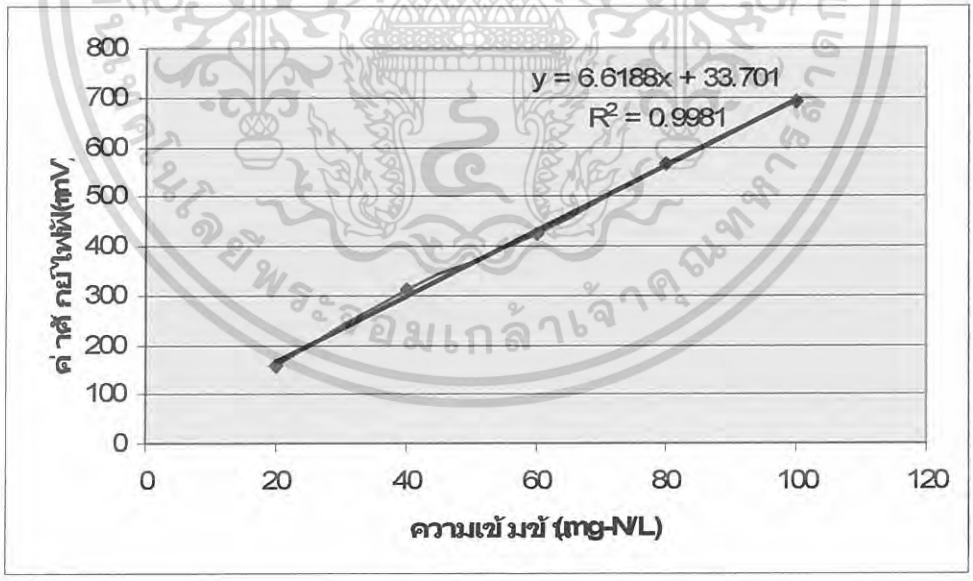
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้พบว่าการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของ coil ไม่มีผลต่อการแทรกซึมผ่านระหว่าง zone แต่จะมีผลต่อ precision ซึ่งการม้วนหรือขด holding coil, ยืดให้ first reaction coil และ second reaction coil เหยียดตรง จะเป็นลักษณะที่เหมาะสมกับระบบ SIA

ระยะของ holding coil วัดได้ 2.0 m และ first reaction coil วัดได้ 1.2 m หน้าที่หลักของ holding coil ก็คือเป็นแหล่งกักเก็บเพื่อป้องกัน zone ต่างๆ ไหลเข้าสู่ท่อปั๊ม เนื่องจากลักษณะการขด reaction coil โดยใช้ระยะที่น้อยที่สุดคือ 1.0 m ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นการป้องกันการเจือจางของ product zone

4.3 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

กราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำค่าไปพลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียกับค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้า ได้กราฟแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งสมการเส้นตรง คือ $y = 6.6188x + 33.7010$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9981 หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างน้ำเสีย A ที่ไม่กรองตะกอน เท่ากับ 68.7317 mg-N/L และค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างน้ำเสีย B ที่กรองตะกอน เท่ากับ 53.1517 mg-N/L



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การหาค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ)

ค่า LOD และค่า LOQ ศึกษาได้โดยการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น 20, 40, 80 และ 100 mg-N/L โดยแต่ละตัวอย่างทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้มาพลอตกราฟเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 สมการเส้นตรง คือ y = 6.6188x + 33.701 นำค่าที่ได้จากกราฟ (ค่าจุดตัดบนแกนตั้ง และค่าความชัน) ค่า y_B = 33.701 มาคำนวณ LOD และ LOQ ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งได้ค่า LOD เท่ากับ 4.7345 mg-N/L และ LOQ เท่ากับ 15.7808 mg-N/L

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเพื่อหาค่า LOD และ LOQ

ค่าความเข้มข้น (mg-N/L)	ค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้า (mV)				$(\hat{y}_i)$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย (y_i)		
20	146.1564	159.1043	168.7770	158.0126	166.0770	65.0345
40	303.0800	310.4779	324.1394	312.5658	298.4530	199.1711
60	402.0571	434.8043	435.5097	424.1237	430.8290	44.9610
80	523.6110	589.5991	586.3708	566.5270	563.2050	11.0357
100	657.6897	698.9444	722.0993	692.9111	695.581	7.1284

4.5 การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ความเที่ยงของวิธี Sequential Injection Analysis ศึกษาโดยการนำสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียความเข้มข้นที่ระดับ 10, 20, 40, 60, 80 และ100 mg-N/L ทำการตรวจวัดซ้ำ 3 ครั้งนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย(Mean; $\bar{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation; SD) และร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relative Standard Deviation; %RSD) ได้ผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเที่ยงผลการทดลองของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ค่าความเข้มข้น (mg-N/L)	ค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้า (mV)				SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
10	-87.4344	-87.6333	-89.0082	-88.0253	0.6997	0.7949
20	146.1564	159.1043	168.7770	158.0126	9.2670	5.8647
40	303.0800	310.4779	324.1394	312.5658	8.7233	2.7909
60	402.0571	434.8043	435.5097	424.1237	15.6061	3.6796
80	523.6110	589.5991	586.3708	566.5270	30.3748	5.3616
100	657.6897	698.9444	722.0993	692.9111	26.6389	3.8445

4.6 ผลการตรวจวัดปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสีย

นำน้ำเสียตัวอย่างจากบ่อกุ้งมาทำการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยวิธี Sequential Injection Analysis โดยทำแต่ละตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารตัวอย่างปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างด้วยวิธี SIA

สารละลายตัวอย่าง (mg-N/L)	ค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้า (mV)				ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (mg-N/L)	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย			
สารA	451.3164	496.9000	517.6516	488.6227	68.7317	27.7065	5.6703
สารB	363.6031	395.5207	397.3809	385.5016	53.6031	15.5032	4.0216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ สารตัวอย่าง A คือ ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างที่ยังไม่กรองตะกอนมี pH = 9.0

สารตัวอย่าง B คือ ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างที่กรองตะกอน มี pH= 8.2

จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างที่ตรวจวัดได้จากวิธี Sequential Injection Analysis เมื่อเทียบกับตารางที่ 1 และตารางที่ 2 มีวิธีมาตรฐานเทียบค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ในภาคผนวก ก พบว่าความเป็นพิษของแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมาก ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดสัตว์น้ำ ขนาดหรืออายุของสัตว์น้ำ สภาพบ่อ ความหนาแน่นของการเลี้ยง คุณภาพน้ำอื่น ยกตัวอย่างจากผลการทดลอง สารตัวอย่าง A ค่า pH = 9.0 ที่อุณหภูมิ 30 °C วัดค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษได้เท่ากับ 30.6062 mg-N/L เมื่อเทียบกับสัตว์น้ำกุ้งกุลาดำ (0.8-4.5 กรัม) วัดค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษได้เท่ากับ 1.69 mg-N/L ค่า (LC50) ที่กุ้งกุลาดำ (0.8-4.5 กรัม) จะอยู่ได้เป็นเวลา 96 ชั่วโมงหลังจากนั้นก็จะตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยวิธี Sequential injection analysis เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อความเหมาะสมต่อการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียของน้ำและสารที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกราฟมาตรเป็นแบบเชิงเส้นในช่วงความเข้มข้น 20, 40, 60, 80, 100 mg-N/L ซึ่งพบว่าเป็นปริมาณที่ตกอยู่ภายในช่วงความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ที่ต้องการ และระดับของสิ่งรบกวนที่อาจพบได้ในน้ำและสารที่ถูกปล่อยออกจากโรงอุตสาหกรรมก็มีผลเพียงเล็กน้อยจนสามารถตัดทิ้งได้ จากผลการทดลองสามารถหากราฟมาตรฐานค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำค่าไปพลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียกับค่าดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้า ได้กราฟเป็นสมการเส้นตรง คือ $y = 6.6188x + 33.7010$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9981 มีค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ LOD เท่ากับ 4.7345 mg-N/L และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ LOQ เท่ากับ 15.7808 mg-N/L หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างน้ำเสีย A ที่ไม่กรองตะกอน ค่า pH = 9.0 ที่อุณหภูมิ 30 °C วัดค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษได้เท่ากับ 30.6062 mg-N/L และค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างน้ำเสีย B ที่กรองตะกอน ค่า pH = 8.2 ที่อุณหภูมิ 30 °C วัดค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษได้เท่ากับ เท่ากับ 6.0518 mg-N/L

การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยวิธี Sequential injection analysis ลดค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้ในเวลาอันรวดเร็ว สามารถทำการวิเคราะห์ได้สะดวกและง่าย ส่วนประกอบเครื่องมือไม่ยุ่งยากสับซ้อน และใช้ร่วมกับเครื่องตรวจวัดได้หลายชนิด

การประมาณค่าของแอมโมเนียก็ขึ้นอยู่กับการเกิดปฏิกิริยาของแอมโมเนียในตัวอย่างกับไฮโปคลอไรต์ไอออนที่เกิดเป็นโมโนคลอรามีน และหากสารประกอบนี้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในโซเดียมเตตระบอเรตเกิดเป็นสารประกอบชนิด blue-indophenol ซึ่งถูกวัดด้วยวิธียูวี-วิสสิเบิกสเปกโทรโฟโตเมทริกที่ 640 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมในการวิเคราะห์มีไม่เพียงพอ ควรลงโปรแกรมการใช้งานให้มากกว่านี้

2. การเกิดปฏิกิริยาแอมโมเนียในตัวอย่างและไฮโปคลอไรท์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก

3. การทดลองจะจับเป็นวินาทีซึ่งเป็นเวลาที่รวดเร็วมาก และจะต้องมีการหมุนเครื่อง Flow ที่สร้างเองตลอดเวลาตามเวลาวินาทีที่ตั้งไว้ ทำให้เวลาที่ Flow เข้าเครื่องยูวี-วิสสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทริกมีการคลาดเคลื่อน

4. ควรทำความสะอาดเครื่องแก้วให้สะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่จะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดไป

5. ควรใช้อุปกรณ์ที่เหมาะกับสภาวะที่ทำการทดลอง และไม่เก็บสารที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเวลานาน เพราะสารเคมีอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] J, Ruzicka. and E.H, Hansen. 1988. **Flow injection analysis**. 2nd ed. Published.

[2] ชยาภรณ์ สืบเสาะ. 2547. **การวิเคราะห์โมโนโครฟอสโดยตรึงเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสในระบบ FIA**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (เคมีวิเคราะห์) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] http://www.flowinjection.com/

[4] Z, Fang. 1993. **Flow injection separation and preconcentration**. New York: VCH Publishers, Inc.

[5] www.fisheries.go.th/train-gr/003/Am01/Am002.doc

[6] J.J Pauer. **The flow-injection analysis of certain determinants in surface and water**. MSc-dissertation, University of Pretoria. 1986.

[7] J.F. van Staden and R.E. Taljaard. 1996. "Determination of ammonia in water and industrial effluent streams with the indophenol blue method using sequential injection analysis". **Analytica chimica acta**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

การหาค่า SD คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

จาก $SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

การหาค่าความเที่ยง จากสูตร

$$\%RSD = \frac{SD \times 100}{\overline{X}}$$

โดยที่ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ย

การหาค่าขีดจำกัดของการตวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) จากสูตร

$$LOD = \frac{3S_{y/x}}{b} \quad \text{---------- (1)}$$

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} \quad \text{---------- (2)}$$

$$LOQ = \frac{10S_{y/x}}{b}$$

$$LOQ = 3.33LOD$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างชนิดสัตว์น้ำกับความเข้มข้นแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์น้ำตาย 50เปอร์เซ็นต์ (LC 50)

ชนิดสัตว์น้ำ	อันไอออไนซ์แอมโมเนีย mg-N/L	LC 50 (ชั่วโมง)	ผู้ทดลอง
ปลาดุกด้าน	4.25	96	ชิรพงษ์ ชลอ และสุปราณี 2528
ลูกปลาดุกด้าน (1.42 กรัม)	12.3	48	ยนต์ 2534 อ้างตาม โสมลดา 2547
ลูกปลาดุกด้าน 4.5-6.5 ซม.	15.78	48	สิริ 2528 อ้างตามโสมลดา 2547
เรนโบว์เทร้าท์	0.61	96	http://www.fishbase.org/ecotoxicology
เรนโบว์เทร้าท์	0.46	24	http://www.fishbase.org/ecotoxicology
ลูกกุ้งกุลาดำ ระยะ พี 10	3.95	24	สิริ 2528
กุ้งกุลาดำ (0.8-4.5 กรัม)	1.69	96	Aquaculture 91 (1990) อ้างตาม โสมลดา 2547
ลูกปลากะรังดอกแดง (4 นิ้ว)	1.5120	24	โสมลดา 2547
ลูกปลากะรังดอกแดง (4 นิ้ว)	1.1055	48	โสมลดา 2547
ลูกปลากะพงขาว (3.7 นิ้ว)	1.28	24	โสมลดา 2547
ลูกปลากะพงขาว (3.7 นิ้ว)	1.14	48	โสมลดา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 สัดส่วนของแอมโมเนียที่เป็นพิษ (อันอิออนไนซ์แอมโมเนีย, NH3) แล้วนำค่าสัดส่วนในตารางที่พีเอชและอุณหภูมิน้ำตรงกับน้ำที่ตรวจคูณกับค่าแอมโมเนียรวม ก็จะได้ค่าแอมโมเนียที่เป็นพิษ

พีเอช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
	24	26	28	30
7.0	0.0052	0.0060	0.0069	0.0080
7.2	0.0083	0.0096	0.0110	0.0126
7.4	0.0131	0.0150	0.0173	0.0198
7.6	0.0206	0.0236	0.0271	0.0310
7.8	0.0322	0.0370	0.0423	0.0482
8.0	0.0502	0.0574	0.0654	0.0743
8.2	0.0772	0.0880	0.0998	0.1129
8.4	0.1171	0.1326	0.1495	0.1678
8.6	0.1737	0.1950	0.2178	0.2422
8.8	0.2500	0.2774	0.3062	0.3362
9.0	0.3456	0.3783	0.4116	0.4453
10.0	0.8408	0.8588	0.8749	0.8892

Source:Emerson K, R.C. Russo, R.E.Lund and R.V. Thurston. 1975. Journal of Fisheries Research Board of Canada 32:2379-2383

การคำนวณ

สารตัวอย่าง A คือปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างที่ไม่กรองตะกอน

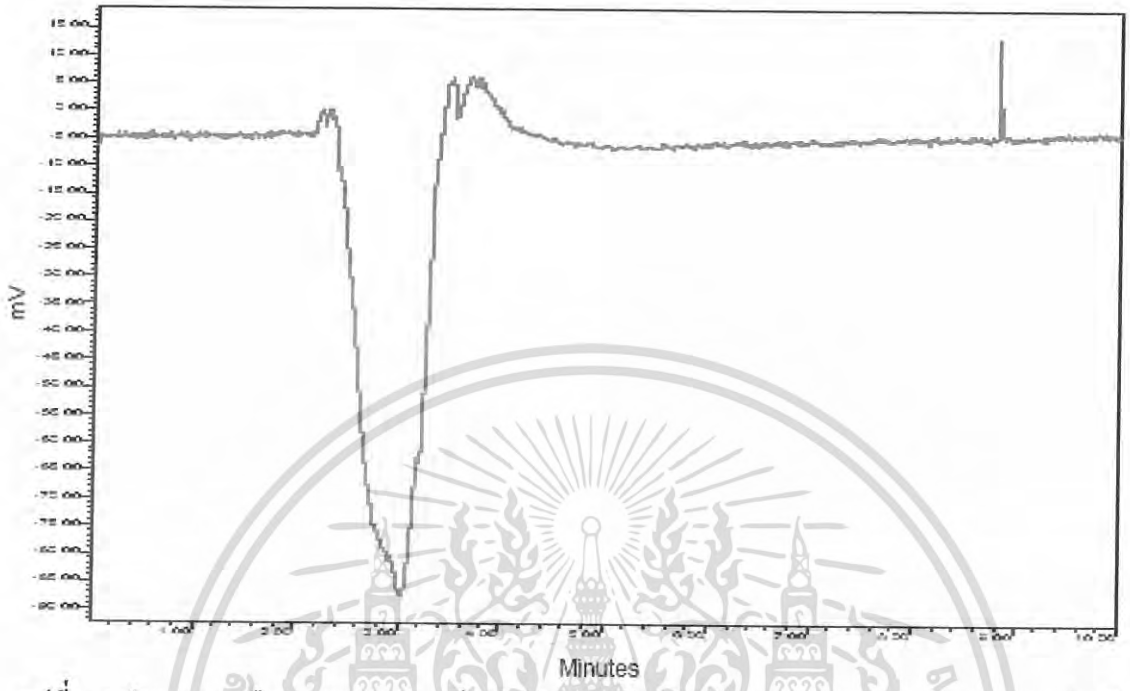
- น้ำมีพีเอช 9.0 อุณหภมิ 30 องศาเซียส จะมีแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษ(อันอิออนไนซ์แอมโมเนีย,NH3) เท่ากับ 68.7317 x 0.4453 = 30.6062 mg-N/L

สารตัวอย่าง B คือปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเสียตัวอย่างที่กรองตะกอน

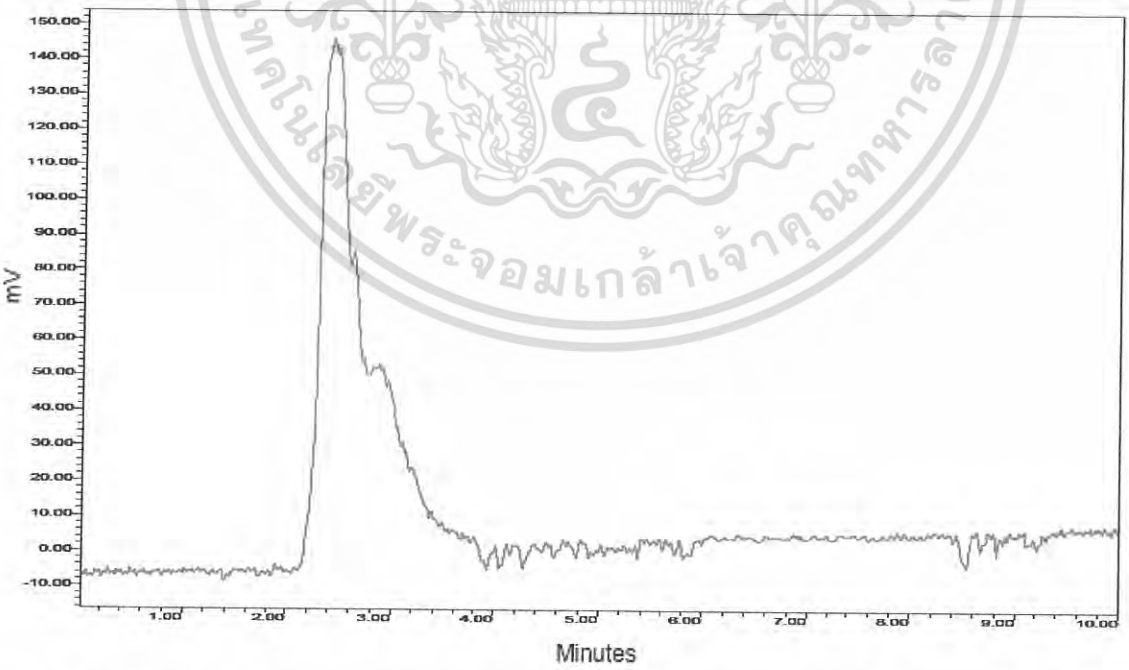
- น้ำมีพีเอช 8.2 อุณหภมิ 30 องศาเซียส จะมีแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษ(อันอิออนไนซ์แอมโมเนีย,NH3) เท่ากับ 53.6031 x 0.1129 = 6.0518 mg-N/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียกับค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ฟ้า

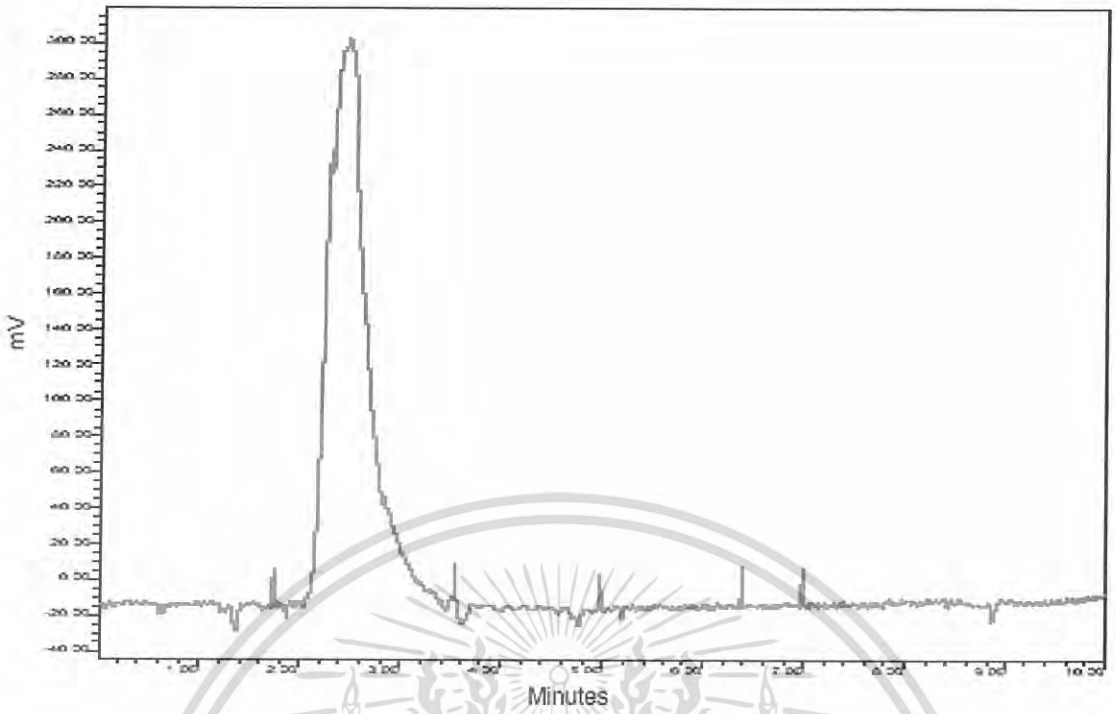


รูปที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 10 mg-N/L

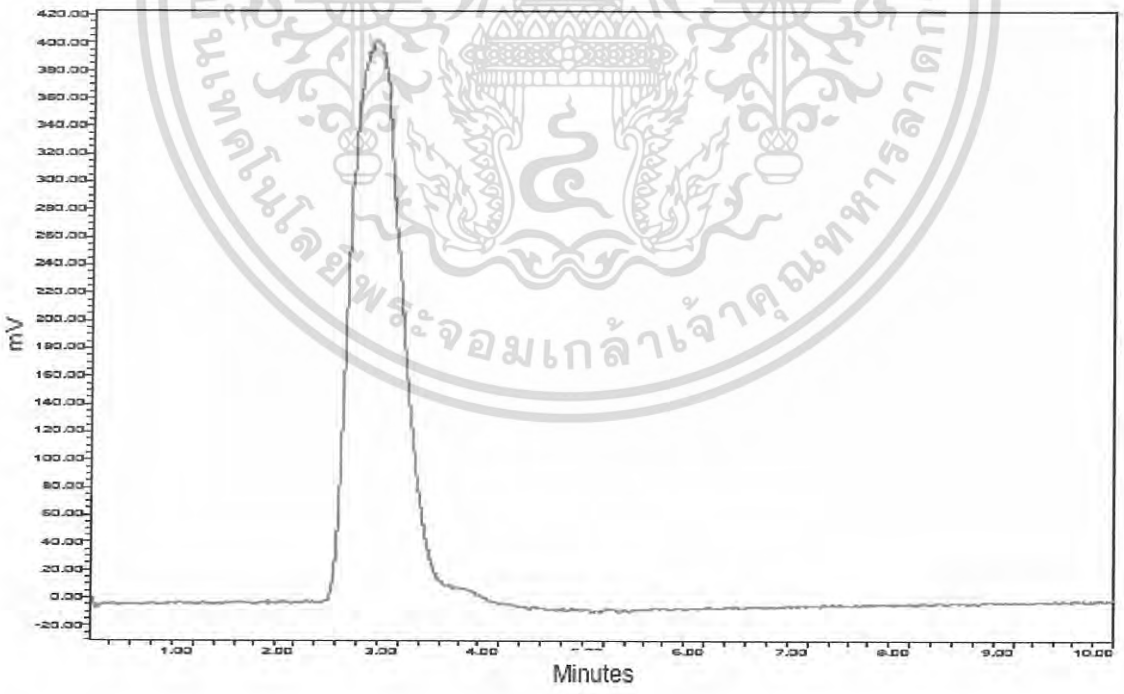


รูปที่ ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 20 mg-N/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

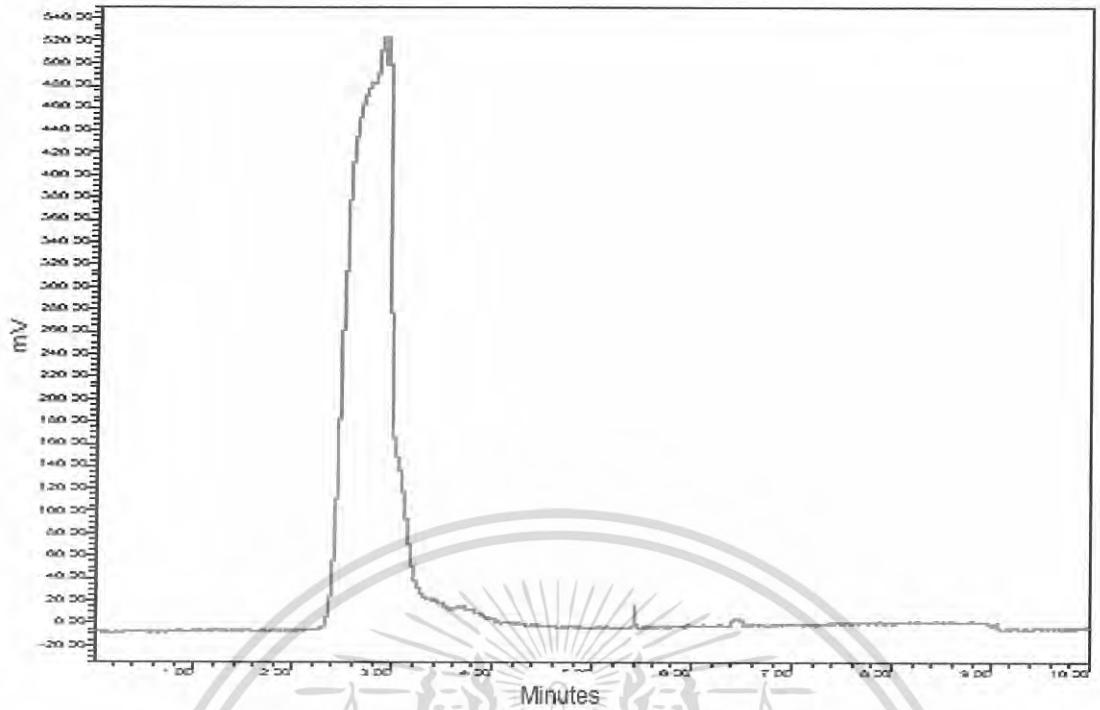


รูปที่ ก.3 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 40 mg-N/L

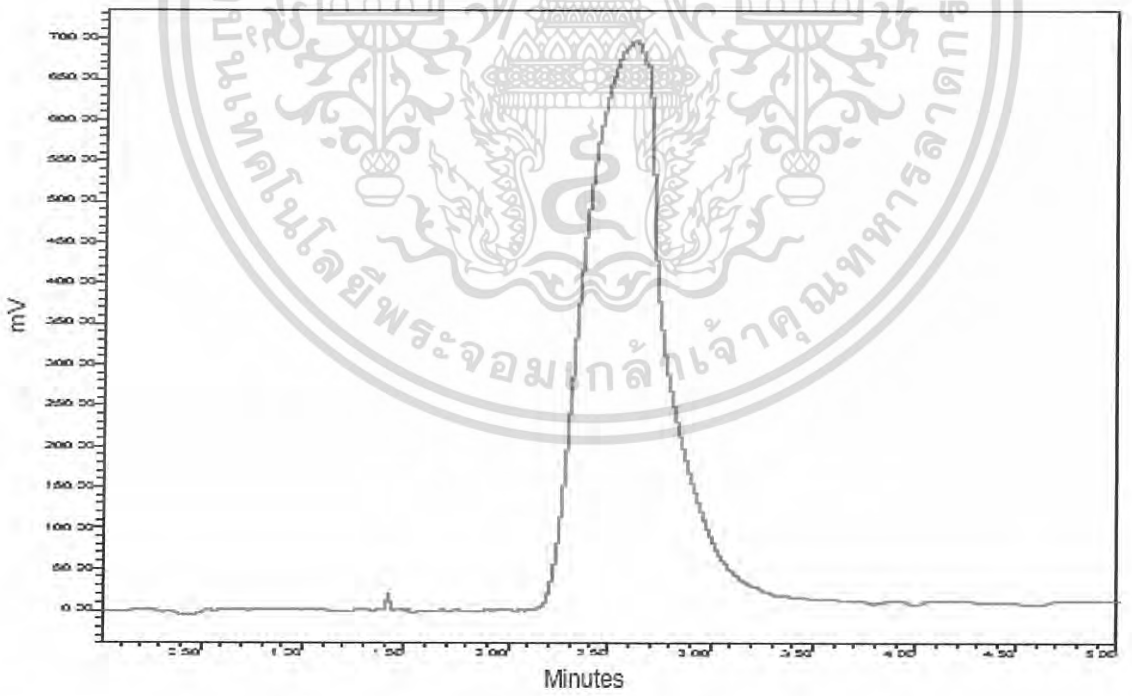


รูปที่ ก.4 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 60 mg-N/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

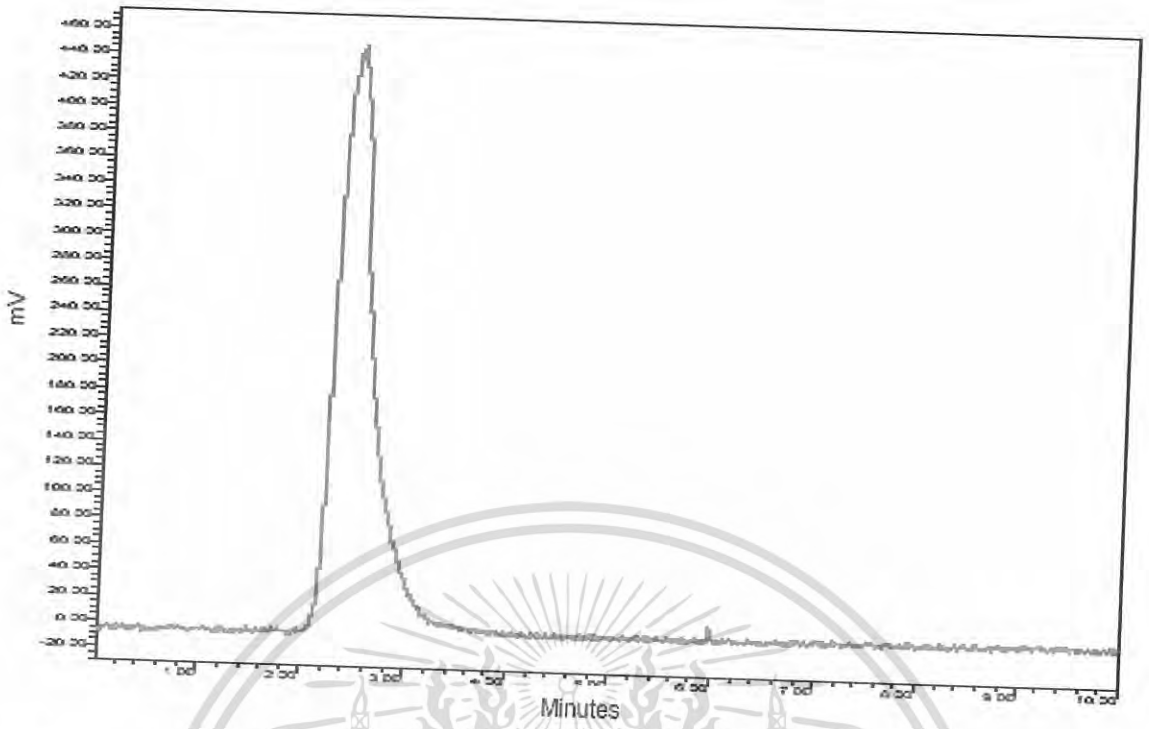


รูปที่ ก.5 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 80 mg-N/L

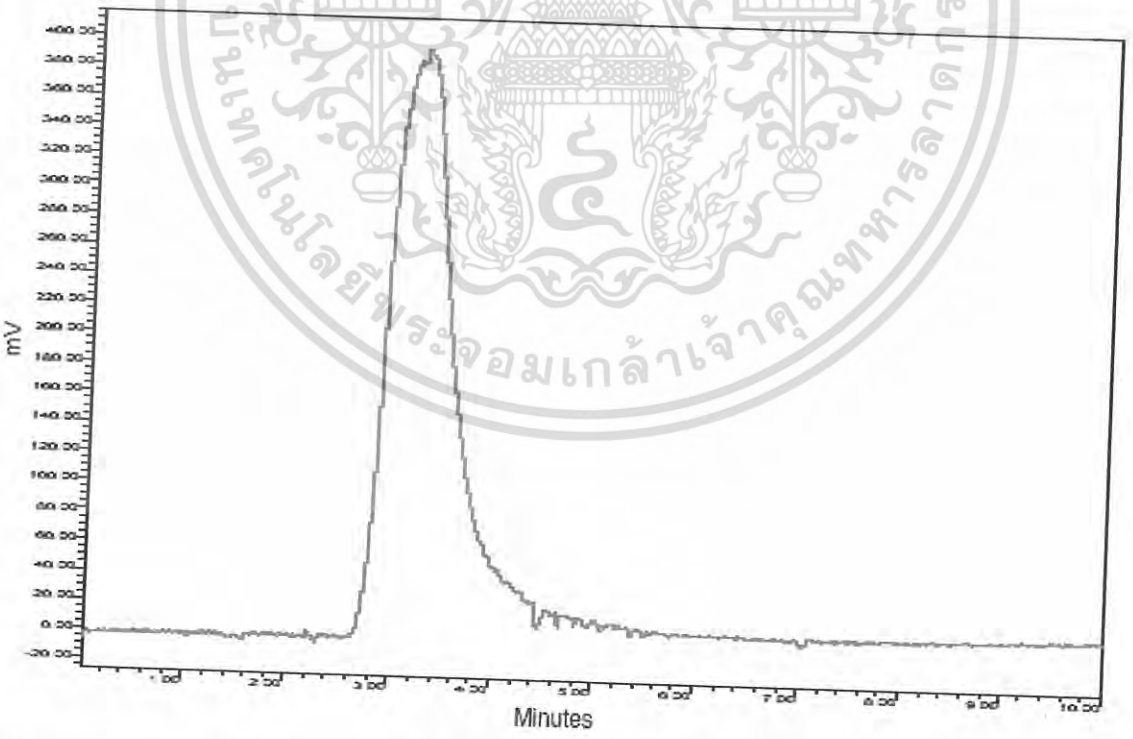


รูปที่ ก.6 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 100 mg-N/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายตัวอย่างน้ำเสีย A ที่ไม่กรองตะกอน



รูปที่ ก.8 ค่าการดูดกลืนแสงแสงแปลงเป็นค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของสารละลายตัวอย่างน้ำเสีย B ที่กรองตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้