



การวิจัยเพื่อการพัฒนาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ :  
การวิเคราะห์กึ่งจุลภาคเพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม  
Research development for Analytical Chemistry  
Laboratory: Semi-micro analysis for Environmental  
Friendly Analysis

นางสาวสิริรัตน์ พานิช  
นางสาวอัญชญา ชัตติยะวงศ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## บทคัดย่อ

ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีจุดมุ่งหมายรายวิชาคือ เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้และทักษะปฏิบัติการเกี่ยวกับการเตรียมสารละลาย การเทียบสารละลายมาตรฐาน การวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนัก การวิเคราะห์โดยการไทเทรต การวิเคราะห์โดยการไทเทรตด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-เบส การวิเคราะห์โดยเทคนิคสเปกโทรสโกปี อย่างไรก็ตามปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้กันโดยทั่วไป ต้องมีการใช้สารเคมีแบบเกรดวิเคราะห์ที่มีราคาแพงและในปริมาณที่มาก ทำให้มีปัญหาระหว่างการซื้อสารเคมีในงบประมาณที่มีจำกัด และสารเคมีบางตัวยังเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะวิจัยและพัฒนาปฏิบัติการต่างๆ ภายใต้ข้อคิด “เล็กแต่มีประสิทธิภาพ” (small but powerful) โดยปฏิบัติการที่ปรับปรุงใหม่นี้สามารถนำไปใช้ได้จริง ประหยัด ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และแม่นยำ โดยลดปริมาณการใช้สารเคมีทุกชนิดลง โดยทดลองและทดสอบลดปริมาณการใช้สารเคมีลง และมีการทดลองนำวัสดุทดแทนสารเคมีที่อยู่ในธรรมชาติมาทดแทนเช่น สารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง จากการพัฒนาพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีได้ถึง 50% โดยยังคงสามารถวิเคราะห์แล้วให้ผลที่แม่นยำ ยกเว้นปฏิบัติการการไทเทรตแบบตกตะกอนซึ่งยังคงให้ผลการทดลองที่คลาดเคลื่อน นักศึกษา ยังคงเข้าใจหลักการวิเคราะห์ทางเคมีวิเคราะห์โดยทดสอบจากการทำโครงการวิทยาศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเคมีวิเคราะห์ได้จริง ๆ สอดคล้องกับสาขาของนักศึกษาคือหลักสูตรวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ต้องเห็นคุณค่าของสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

# Abstract

Analytical chemistry laboratory manual was developed for the student in the Division of Environmental Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, with the aim of promoting the laboratory skill of the student in the preparation and standardize the solution, gravimetric analysis, volumetric analysis, and finally spectroscopy analysis. Traditionally, in the analytical laboratory, pricey analytical grade of the reagent with large amounts and quantities is required. Moreover, some of them are toxic and harmful to the environment. These can cause a problem for the university in which, the budget is limited. In this work, the idea of the small but powerful experiment was conducted. All the chemical and reagent was reduced to 50%. In the final laboratory, instead of costly and toxic reagent, some substances were replaced with the natural material such as water extraction from purple cabbage. According to the results, the developed experiments were accurate enough for practicing the student except for the precipitation titration experiment. In order to evaluate the understanding, a mini-project was assigned to the student in the group. By using the developed manual, the student can overcome the problem in the lab, and the awareness of the environment was also improved.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการวิจัยเพื่อการพัฒนาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ : การวิเคราะห์กึ่งจุลภาคเพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการใช้สารเคมีที่มากเกินไป และความพยายามในการหาสารจากธรรมชาติมาทดแทนสารเคมีที่มีราคาแพง เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมี และเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มการทดลองให้มีความทันสมัย โดยเน้นให้นักศึกษารู้จักแก้ปัญหา คิดวิเคราะห์และมีการทำงานที่เป็นระบบ รู้จักการแก้ปัญหาด้วยตนเอง หากมีข้อผิดพลาดประการใด ทีมผู้วิจัยยินดีน้อมรับฟังทุกความคิดเห็น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2561 และนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความร่วมมือในการทดลองใช้ปฏิบัติการที่ปรับปรุงใหม่เป็นอย่างดี พร้อมให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและปรับปรุงคู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ต่อไปในอนาคต

ทีมผู้วิจัย

กันยายน 2561



# สารบัญ

บทที่ 1. บทนำ.....	11
1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย .....	11
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย .....	12
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	12
1.5 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	14
บทที่ 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	15
2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
การทดลองที่ 1 ความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงของอุปกรณ์ .....	16
การทดลองที่ 1.1 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์.....	16
การทดลองที่ 1.2 ความเที่ยงจากการตวง .....	17
การทดลองที่ 1.3 ความแม่นยำของอุปกรณ์.....	17
การทดลองที่ 2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย.....	18
การทดลองที่ 2.1 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl.....	18
การทดลองที่ 2.2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH 0.1 M.....	20
การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก .....	21
การทดลองที่ 3.1 การหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป BaSO <sub>4</sub> .....	21
การทดลองที่ 3.2 การหาปริมาณนิกเกิ้ลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลออกซิม .....	23
การทดลองที่ 4 การไทเทรตแบบต่าง ๆ .....	25
การไทเทรตกรด-เบส.....	25
การทดลองที่ 4.1 การปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู .....	25
การทดลองที่ 4.2 การปริมาณ Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ในตัวอย่างโซดาแอช.....	26
ไทเทรตโดยปฏิกิริยาการตกตะกอน .....	27

การทดลองที่ 4.3 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ในเทรต 0.01 M วิธีของฟาเจนต์ (Fajan).....	28
การทดลองที่ 4.4 การหาความเข้มข้นของสารละลาย NaCl โดยวิธีของ Mohr.....	29
การทดลองที่ 5 การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส.....	30
การทดลองที่ 5.1 การหาค่า $K_a$ และน้ำหนักรวมของกรดอ่อน.....	30
การแตกตัวของกรดอ่อน.....	30
การทดลองที่ 6 การหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสงของสารที่มีสี.....	31
การทดลองที่ 6.1 การศึกษาสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี.....	31
การทดลองที่ 6.2 การหาปริมาณเหล็กโดยสเปกโทรโฟโตเมทรี.....	34
การทดลองที่ 6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการลดกรดของยาลดกรดโดยสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง.....	35
การทดลองที่ 6.4 เครื่องสเปกโทรโฟโตเมทรีแบบ home-built.....	36
การทดลองที่ 7 Mini-project.....	36
บทที่ 4. ผลการวิจัย.....	37
การทดลองที่ 1 ความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงของอุปกรณ์.....	37
การทดลองที่ 1.1 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์.....	37
การทดลองที่ 1.2 ความเที่ยงจากการตวง.....	37
การทดลองที่ 1.3 ความแม่นยำของอุปกรณ์.....	37
การทดลองที่ 2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย.....	37
การทดลองที่ 2.1 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl.....	37
การทดลองที่ 2.2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH 0.1 M.....	37
การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก.....	38
การทดลองที่ 3.1 การหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป $BaSO_4$ .....	38
การทดลองที่ 3.2 การหาปริมาณนิกเกิลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลออกซิม.....	39
การทดลองที่ 4 การไทเทรตแบบต่าง ๆ.....	40
การไทเทรตกรด-เบส.....	40
การทดลองที่ 4.1 การปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู.....	40

การทดลองที่ 4.2 การปริมาณ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ในตัวอย่างโซดาแอช.....	40
ไทเทรตโดยปฏิกิริยาการตกตะกอน .....	40
การทดลองที่ 4.3 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต 0.01 M วิธีของฟาเจนต์ (Fajan).....	40
การทดลองที่ 4.4 การหาความเข้มข้นของสารละลาย NaCl โดยวิธีของ Mohr.....	41
การทดลองที่ 5 การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส .....	42
การทดลองที่ 5.1 การหาค่า $K_a$ และน้ำหนักรวมของกรดอ่อน.....	42
การทดลองที่ 6 การหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสงของสารที่มีสี .....	43
การทดลองที่ 6.1 การศึกษาสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี.....	43
การทดลองที่ 6.2 การหาปริมาณเหล็กโดยสเปกโทรโฟโตเมทรี .....	43
การทดลองที่ 6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการลดกรดของยาลดกรดโดยสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง.....	44
การทดลองที่ 6.4 เครื่องสเปกโทรโฟโตเมทรีแบบ home-built .....	46
1. ความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงของอุปกรณ์ .....	48
1.1 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์.....	48
1.2 ความเที่ยงจากการตวง .....	48
1.3 ความแม่นยำของอุปกรณ์.....	48
2. การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย .....	48
2.1 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl.....	48
3. การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก.....	49
3.1 การหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป $\text{BaSO}_4$ .....	49
3.2 การหาปริมาณนิกเกิ้ลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลออกซิม.....	49
4. การไทเทรตแบบต่าง ๆ.....	49
4.2 การปริมาณ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ในตัวอย่างโซดาแอช .....	49
4.3 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต 0.01 M วิธีของฟาเจนต์ (Fajan).....	49
4.4 การหาความเข้มข้นของสารละลาย NaCl โดยวิธีของ Mohr.....	49
5. การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส .....	49

5.1 การหาค่า $K_a$ และน้ำหนักสมมูลของกรดอ่อน.....	49
บทที่ 5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	50





# สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าของหน่วยที่เล็กที่สุดที่อ่านได้ของอุปกรณ์และระบุค่าความคลาดเคลื่อน.....	16
ตารางที่ 1.2 ผลการทดลองซึ่งน้ำหนักของน้ำ 2.0 ml.....	17
ตารางที่ 1.3 ผลความหนาแน่นของน้ำ.....	18
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูก ดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็น.....	32
ตารางที่ 5 ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป BaSO <sub>4</sub> ..	38
ตารางที่ 6 ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิ้ลโดยตกตะกอนไดเมธิลไกลออกซิม	39
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการใช้สารเคมี.....	48



# สารบัญภาพประกอบ

รูปที่ 3.1 การจับอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่า $K_a$ .....	27
รูปที่ 3.2 วงล้อสี (color wheel) เมื่อแสงขาวถูกดูดกลืนคลื่นแสงไปบางส่วน สีที่ปรากฏจะเป็นสีที่อยู่ตรงข้ามของวงล้อสี.....	29
รูปที่ 3.3 แสดงการสร้างกล้องสเปคโตรโฟโตเมทรีด้วยโทรศัพท์มือถือวิธีการทำดัดแปลงจาก <a href="https://www.youtube.com/watch?v=hZkVYuw4pJ4">https://www.youtube.com/watch?v=hZkVYuw4pJ4</a> .....	30
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนสีของน้ำสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงที่ pH 1-14 จากซ้ายไปขวา.....	32
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนสีของอินดิเตอร์จากน้ำเป็นเหลืองในการเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl.....	34
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนสีอินดิเตอร์จากใสเป็นสีชมพูอ่อนในการเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M NaOH.....	35
รูปที่ 4.3 การตกตะกอนของซัลเฟตด้วยไอออน $Ba^{2+}$ และตะกอนของ $BaSO_4$ หลังจากการเผา.....	35
รูปที่ 4.4 การตกตะกอนของ $Ni^{2+}$ ด้วย DMG และตะกอนหลังการอบ.....	36
รูปที่ 4.5 การสังเกตจุดยุติของวิธีฟาเจนต์จากการเกิดตะกอนสีชมพู.....	37
รูปที่ 4.6 การสังเกตจุดยุติของวิธี Mohr จากการเกิดตะกอนสีแดง.....	37
รูปที่ 4.7 กราฟการหาค่า $K_a$ ของกรดอ่อน.....	38
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมที่ได้จากกล้องสเปคโตรโฟโตเมทรีด้วยโทรศัพท์มือถือ.....	39
รูปที่ 4.9 สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของ $Fe^{2+}$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	39
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการหาความยาวคลื่นที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด.....	39
รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานของการหาความเข้มข้น $Fe^{2+}$ .....	40
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนสีของสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $NaHCO_3$ และค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง.....	40
รูปที่ 4.13 แสดงการ set-up อุปกรณ์ในการทำเครื่องสเปคโตรโฟโตเมทรีแบบ home-built.....	41
รูปที่ 4.14 การใช้โปรแกรมเพื่อควบคุมการเปลี่ยนสีของหลอด LED โดย Arduino.....	41
รูปที่ 4.15 การใช้ Arduino เพื่อควบคุมการเปลี่ยนสีของ LED Light source.....	41

# บทที่ 1. บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ST2042208 เป็นวิชาในกลุ่มวิชาชีวะบังคับ หลักสูตรปริญญาตรี สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีภาคเรียนที่ 1 ชั้นปีที่ 2 โดยใช้เวลาเรียนทั้งหมด 16 คาบเรียนเป็นภาคปฏิบัติ 2 คาบเรียนต่อสัปดาห์ และศึกษาค้นคว้า 1 คาบเรียนต่อสัปดาห์ 1 หน่วยกิต โดยมีจุดมุ่งหมายรายวิชาให้นักศึกษามีทักษะการเตรียมสารละลาย การเทียบสารละลายมาตรฐาน การวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนัก การวิเคราะห์โดยการไทเทรต การวิเคราะห์โดยการไทเทรตด้วยเครื่องวัดกรด-เบส การวิเคราะห์โดยเทคนิคสเปกโทรสโกปี โดยเป็นวิชาที่มีการเรียนการสอนควบคู่กับวิชาเคมีวิเคราะห์ ST2042207 ซึ่งมีจุดหมายรายวิชาดังนี้คือ หลักเบื้องต้นเกี่ยวกับเคมีวิเคราะห์ การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูล การวิเคราะห์โดยน้ำหนักและปริมาตรวิเคราะห์ ไฟฟ้าเคมีเบื้องต้น การวิเคราะห์โดยการไทเทรต พื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเชิงสเปกโทรสโกปี โดยการจัดการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จะสอดคล้องและสัมพันธ์กับวิชาเคมีวิเคราะห์เพื่อให้

นักศึกษาที่มีความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ในวิชาเคมีวิเคราะห์มากขึ้นโดยการลงมือปฏิบัติ อย่างไรก็ตามปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้กันโดยทั่วไปตามมหาวิทยาลัยต่าง ๆ นั้น ต้องมีการใช้สารเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูงทำให้มีราคาแพงและในปริมาณที่มาก จากการเรียนการสอนที่ผ่านมาทำให้มีปัญหาและอุปสรรคเรื่องการสั่งซื้อสารเคมีในงบประมาณที่มีจำกัด และสารเคมีบางตัวยังเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะวิจัยและพัฒนาปฏิบัติการต่าง ๆ ภายใต้ข้อคิด “เล็กแต่มีประสิทธิภาพ” (the small but powerful) โดยปฏิบัติการที่ปรับปรุงใหม่นี้สามารถนำไปใช้ได้จริง ประหยัด ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และแม่นยำ โดยลดปริมาณการใช้สารเคมีทุกชนิดลง และมีการทดลองเพื่อนำวัสดุทดแทนสารเคมีต่าง ๆ ที่อยู่ในธรรมชาติมาใช้เช่น อินดิเคเตอร์จากผักและผลไม้ แต่ยังสามารถวิเคราะห์แล้วให้ผลที่แม่นยำ นักศึกษายังคงเข้าใจหลักการวิเคราะห์ทางเคมีวิเคราะห์ การวิเคราะห์ไม่ยากจนเกินไปเพื่อไม่สร้างความน่าเบื่อแก่นักศึกษา นักศึกษาเห็นประโยชน์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางเคมีวิเคราะห์ สอดคล้องกับสาขาของนักศึกษาที่กำลังศึกษาอยู่ที่ต้องเห็นคุณค่าของสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ นอกจากนี้ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะสอดคล้องกับความตระหนักเกี่ยวกับการรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ปฏิบัติการทั้ง 6 บทเรียนแล้วจะมีการเพิ่มโครงการวิทยาศาสตร์ โดยให้นักศึกษารวบรวมความรู้ที่ได้จากการศึกษาในวิชานี้มาทำเป็นโปสเตอร์เพื่อทดสอบความเข้าใจและการนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. พัฒนาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์โดยลดปริมาณการใช้สารเคมีให้อยู่ในระดับจุลภาควิเคราะห์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. ทดสอบแต่ละปฏิบัติการว่าให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ปฏิบัติการที่ไม่ใช้สารเคมี (Chemical free) 1 ปฏิบัติการ

2. ปฏิบัติการที่ใช้วัสดุทดแทนจากธรรมชาติ 1 ปฏิบัติการ

3. ปฏิบัติการที่ลดปริมาณการใช้สารเคมีลง 2 ปฏิบัติการ

4. คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ประกอบไปด้วย 7 ปฏิบัติการหลักตรงตามจุดประสงค์และหน่วยเรียนของหลักสูตรของวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยมีการลดปริมาณการใช้สารเคมี และใช้วัสดุทดแทนจากธรรมชาติ

## 1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

### ทฤษฎี

เคมีวิเคราะห์เป็นแขนงหนึ่งของวิชาเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบของสารประกอบโดยแบ่งออกเป็น 1. คุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative Analysis) 2. ปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) ซึ่งเคมีวิเคราะห์เป็นวิชาหนึ่งที่มีความสำคัญ ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ สาขา ไม่ว่าจะเป็นในโรงงานอุตสาหกรรม เกษษวิทยา และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสิ่งแวดล้อม จึงถือได้ว่าเคมีวิเคราะห์มีบทบาทสำคัญมาก การทำการวิเคราะห์อาจแบ่งได้หลายแบบตามปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้ และมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันดังนี้ [1,2]

**มหัพภาควิเคราะห์ (Macro analysis)** เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้สารตัวอย่างในปริมาณมาก ซึ่งปริมาณสารที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0.1-10 กรัม

**การวิเคราะห์กึ่งจุลภาค (Semimicro analysis)** เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้สารตัวอย่างระหว่างมหัพภาควิเคราะห์กับจุลภาควิเคราะห์ กล่าวคือ ปริมาณสารที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 10-100 มิลลิกรัม

**จุลภาควิเคราะห์ (Micro analysis)** เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อยคือใช้ประมาณ 1-10 มิลลิกรัม

**การวิเคราะห์อติจุลภาค (Ultramicroanalysis)** เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้สารตัวอย่างน้อยที่สุดคือใช้น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม

การวิเคราะห์ในระดับต่าง ๆ กันนี้มีหลักเกณฑ์และวิธีการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกัน แต่การวิเคราะห์แบบจุลภาควิเคราะห์ทำให้ประหยัดสารเคมี การวิเคราะห์ทำได้ไม่ยากจนเกินไป นอกจากนี้ยังทำให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

### **สมมุติฐาน**

เนื่องจากงบประมาณที่มีจำกัดในการซื้อสารเคมีในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ทำให้มีปัญหาในการเรียนการสอน และในบางการทดลองนักศึกษาไม่ได้ลงมือปฏิบัติจริง ดังนั้นถ้ามีการปรับเปลี่ยนปฏิบัติการให้สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมี หรือปรับเปลี่ยนมาใช้วัสดุอื่นที่หาได้ง่าย ราคาถูก ก็จะสามารถแก้ปัญหาเรื่องงบประมาณที่มีจำกัด นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในแง่ของสิ่งแวดล้อม เมื่อใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย สอดคล้องกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย



## 1.5 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ประกอบไปด้วย 6 ปฏิบัติการหลักที่จะปรับปรุงปฏิบัติการใหม่ให้ใช้ปริมาณสารเคมีลดลงหรือไม่ใช้สารเคมีเลย แต่ยังใช้หลักการวิเคราะห์เดิมตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ได้แก่

1. การใช้เครื่องแก้วและการเทียบมาตรฐาน
2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน
3. การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก
4. การไทเทรตแบบต่าง ๆ
5. การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส
6. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง



## บทที่ 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารหรือปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารนั้น ๆ เช่นการไทเทรตระหว่างกรดกับด่างเพื่อหาปริมาณของกรดหรือด่าง หรือการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารอินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่ง เป็นต้น [3-6]

#### ปริมาณวิเคราะห์อาจแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

1. การวิเคราะห์แผนเดิม (Classical analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการทั่วไป เช่น บิวเรตต์ ปิเปต ขวดวัดปริมาตร กระจกตวง กรวยกรอง ครูซิเบิล เดซิเคเตอร์ เป็นต้น การวิเคราะห์แผนเดิมอาจแบ่งได้ 2 วิธีคือ การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis) เช่น การหาปริมาณโดยวิธีการตกตะกอน และปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric analysis) เช่นการไทเทรต เป็นต้น

2. การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ (Instrumental analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้อุปกรณ์พิเศษ มีราคาแพง สามารถหาปริมาณของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ได้แม้ว่าจะมีอยู่เพียงเล็กน้อย

การไทเทรต (Titration) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณวิธีหนึ่ง ทำโดยเติมสารละลายที่ทราบความเข้มข้นซึ่งเรียกว่าไทเทรนต์ (Titrant) ลงไปทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Analyte) ที่ละลายจนกระทั่งสารทำปฏิกิริยาสมมูลกันพอดี จากนั้นบันทึกปริมาตรของไทเทรนต์ที่ใช้ไป เพื่อคำนวณหาปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณสารสารสัมพันธ์

## บทที่ 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### การทดลองที่ 1 ความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงของอุปกรณ์

#### การทดลองที่ 1.1 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์

##### วิธีการทดลอง

ให้นักศึกษานำอุปกรณ์ตามที่ปรากฏในตารางที่ 1 มาศึกษาโดยการตอบคำถามตามลงในตารางที่ 1 ดังนี้

หน่วยที่เล็กที่สุด หมายถึง ปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถวัดได้จากอุปกรณ์นั้น

ความคลาดเคลื่อนที่ระบุบนอุปกรณ์ หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่ระบุมาจากบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์นั้น

ความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเน หมายถึง ปริมาณน้อย ๆ ที่ได้จากการคาดคะเนจากผู้ทำการทดลองเช่น ปีกเกอร์ที่มีขีดสเกลจาก 0 ถึง 10 แต่ผู้ทำการทดลองอาจจะคาดคะเนปริมาตร 5 ml ได้

#### ตารางที่ 1.1 แสดงค่าของหน่วยที่เล็กที่สุดที่อ่านได้ของอุปกรณ์และระบุค่าความคลาดเคลื่อน

อุปกรณ์	หน่วยที่เล็กที่สุด (ml)	ความคลาดเคลื่อนที่ระบุบนอุปกรณ์ (ml)	ความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเน(ml)
1. บิวเรต			
2. ปีเปต Transfer pipette Graduated pipette			
3. หลอดฉีดยา ขนาด...ml ขนาด...ml			
4. กระจกตวง ขนาด...ml ขนาด...ml			
5. ปีกเกอร์ ขนาด...ml ขนาด...ml			



จากการพิจารณาความคลาดเคลื่อนในตารางที่ 1 ให้นักศึกษาเรียงลำดับอุปกรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุดพร้อมอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

อุปกรณ์	น้ำหนักน้ำที่อ่านได้ (g)								เฉลี่ย±SD	%RSD	เที่ยงหรือไม่เที่ยง
	กลุ่มที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8			
1.ปิวเรต (10.0 ml)											
2.ปิเปต (10.0 ml)											
3.กระบอกตวง (10.0 ml)											

.....

### การทดลองที่ 1.2 ความเที่ยงจากการตวง

#### วิธีการทดลอง

1. ให้นักศึกษาใช้อุปกรณ์ดังรายการในตารางที่ 1.2 ถ่ายของเหลวเพื่อตวงน้ำปริมาตร 2.0 ml แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2. บันทึกผลที่ได้ในตารางที่ 2 แล้วเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น

#### ตารางที่ 1.2 ผลการทดลองชั่งน้ำหนักของน้ำ 2.0 ml

จากตารางที่ 1.2 ให้นักศึกษาเรียงลำดับความเที่ยงของอุปกรณ์ที่ได้จากน้อยไปมากพร้อมอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

### การทดลองที่ 1.3 ความแม่นยำของอุปกรณ์

จากตารางที่ 1.2 ให้นักศึกษาใช้ผลการวัดน้ำหนักของน้ำ มาคำนวณหาความหนาแน่นของน้ำ โดยสมมุติให้อุณหภูมิการทดลองเป็น 29 °C ซึ่งความหนาแน่นของน้ำเป็น 0.998 g/cm<sup>3</sup>

### ตารางที่ 1.3 ผลความหนาแน่นของน้ำ

อุปกรณ์	ความหนาแน่นของน้ำ (น้ำหนักเฉลี่ย/10)	ความแตกต่างจากค่าจริง $\Delta d$ (0.998-ค่าความหนาแน่นที่หาได้)
1.บิวเรต		
2.ปิเปต		
3.กระบอกตวง		

จากตารางที่ 1.3 ให้นักศึกษาเรียงลำดับความแม่นยำของอุปกรณ์ที่ได้จากการทดลองจากน้อยไปมากพร้อมอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

### การทดลองที่ 2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย

#### การทดลองที่ 2.1 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl

##### วิธีการทดลอง

##### รีเอเจนต์

1. กรดเกลือ 12 M HCl (HCl mw = 36.46)

2. อินดิเคเตอร์ Bromocresol green เข้มข้น 0.1%w/v

ละลายอินดิเคเตอร์ Bromocresol green 0.1 g ใน 100 ml ของ 20% Ethanol ในน้ำ

3. สารมาตรฐานปฐมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (mw = 105.99)

อบสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ที่อุณหภูมิ 230 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงตั้งทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

4. สารละลาย 0.05 M NaCl

ละลาย NaCl 2.94 g ปรับปริมาตรในน้ำกลั่นเป็น 100 ml

##### วิธีการเทียบมาตรฐาน (Standardized) สารละลาย 0.1 M HCl

1. ตวงกรดเกลือเข้มข้นด้วยกระบอกตวง ปริมาตรประมาณ 4.5 ml ในน้ำกลั่น 250 ml ผสมให้เข้ากัน เก็บในขวดจุกแก้ว (\*\*ปิดฉลากวันที่เตรียมและผู้เตรียมเพื่อเก็บไว้ใช้การทดลองต่อไป)

2. ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ที่ผ่านการอบแล้วร่อนน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 0.1xxx g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml เตรียม 3 ตัวอย่าง

3. ละลายแต่ละตัวอย่างในน้ำกลั่น 25 ml

4. เติมอินดิเคเตอร์ Bromocresol green 1-2 หยด

5. เตรียมบิวเรตต์ที่สะอาด และชะล้างด้วยสารละลายของกรดเกลือที่จะใช้ก่อน 2-3 ครั้งก่อนทำการบรรจุสารละลายกรดเกลือในบิวเรตต์ ไทเทรตจนกระทั่งสีเริ่มเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นเขียวอ่อน ซึ่งเป็นจุดก่อนถึงจุดยุติ

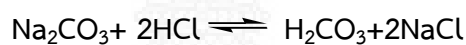
6. ต้มสารละลายนานประมาณ 10 นาที เพื่อไล่ CO<sub>2</sub> สีจะกลับมาเป็นสีน้ำเงิน (\*\*ถ้าไม่เปลี่ยนสีแสดงว่าได้เติมกรดเกลือมากเกินไป ให้เททิ้งแล้วทำใหม่)

7. ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วไทเทรตต่อจนสีเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นเหลือง บันทึกปริมาตรเริ่มต้นและสุดท้ายที่ได้

8. ไทเทรตแบลงค์ โดยการไทเทรตสารละลาย 0.05 M NaCl 25 ml และเติมอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด ต้มสารละลายประมาณ 5 นาทีทำให้เย็น แล้วไทเทรตกับกรดเกลือถึงจุดยุติ นำค่าที่ได้ลบออกจากปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

9. คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย 0.1 M HCl และเก็บใส่ขวดไว้เพื่อทำการทดลองอื่นต่อไป

การคำนวณ



$$\begin{aligned} M_{\text{HCl}} &= \frac{\text{moles HCl}}{L} = \frac{(2)(\text{moles Na}_2\text{CO}_3)}{(\text{mL HCl}/1000)} \\ &= \frac{(2)(\text{g Na}_2\text{CO}_3)}{(\text{mol wt Na}_2\text{CO}_3)(\text{mL HCl}/1000)} \end{aligned}$$

แฟคเตอร์ 2 ใช้เฉพาะแต่ละ moles ของ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ทำปฏิกิริยากับ 2 moles HCl

คำนวณและรายงานผลของความเข้มข้นของ HCl เป็นโมลาร์ ทั้ง 3 ค่า และปิดฉลาก คำนวณค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## การทดลองที่ 2.2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH 0.1 M

### วิธีการทดลอง

#### รีเอเจนต์

1. 0.1% phenolphthalein อินดิเคเตอร์

ละลายอินดิเคเตอร์ phenolphthalein 0.1 g ใน 100 ml ของ 80% v/v Ethanol

2. สารมาตรฐานปฐมภูมิ potassium hydrogen phthalate (KHP, mw = 204.224)

อบสารมาตรฐานปฐมภูมิ KHP ที่อุณหภูมิ 110-120°C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ประมาณ 30 นาที

3. น้ำกลั่นปราศจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ต้มน้ำกลั่นประมาณ 400 ml ในปีกเกอร์ให้เดือด ยกลงปิดปากปีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา ตั้งทิ้งให้เย็นถ่ายใส่ขวดโพลีเอทิลีนหรือขวดแก้วที่สะอาด ที่เป็นฝาเกลียวขนาด 500 ml ให้เหลือที่ว่างสำหรับเขย่าสารละลาย ปิดปากขวดให้แน่น เพื่อไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป น้ำกลั่นที่เตรียมได้จะต้องเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง จึงจะนำไปใช้ได้

#### วิธีการเทียบมาตรฐาน (Standardized) สารละลาย 0.1 M NaOH

1. ชั่ง 1.xxxx g NaOH ปรับปริมาตรเป็น 250 ml ด้วยน้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เทใส่ขวดโพลีเอทิลีน เขย่าผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันปิดปากขวดให้แน่น (ห้ามใช้จุกแก้วเพราะจะหลอมติดกันทำให้เปิดไม่ออก) (\*\*ปิดฉลากวันที่เตรียมและผู้เตรียมเพื่อเก็บไว้ใช้การทดลองต่อไป)

2. ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ potassium hydrogen phthalate (KHP) ที่ผ่านการอบแล้ว ประมาณ 0.2xxx g ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 50 ml เตรียม 3 ตัวอย่าง ทำเครื่องหมายบนแต่ละขวดให้ตรงกับน้ำหนักที่ชั่ง

3. ละลายในน้ำกลั่นปราศจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 ml

4. หยดอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด

5. ไทเทรตกับสารละลาย NaOH จนได้จุดยุติสีชมพูถาวรประมาณ 30 วินาที บันทึกปริมาตรเริ่มต้นและสุดท้ายของแต่ละตัวอย่างที่ไทเทรต

6. คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนและเก็บสารละลาย NaOH ที่เหลือไว้ใช้ตลอดการทดลอง เรื่องการไทเทรต

#### การคำนวณ

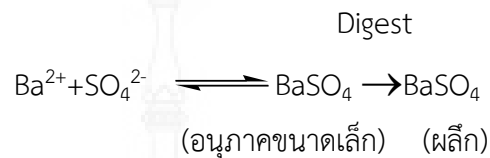
$$\text{HC}_8\text{H}_4\text{O}_4 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HC}_8\text{H}_4\text{O}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$$
$$M_{\text{NaOH}} = \frac{\text{moles NaOH}}{L} = \frac{(1)(\text{moles KHP})}{(\text{mL NaOH}/1000)}$$
$$= \frac{(1)(\text{g KHP})}{(\text{mol wt KHP})(\text{mL NaOH}/1000)}$$

คำนวณและรายงานผลของความเข้มข้นของ NaOH เป็นโมลาร์ ทั้ง 3 ค่า และปิดฉลาก  
คำนวณค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบน

### การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

#### การทดลองที่ 3.1 การหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป BaSO<sub>4</sub>

ปริมาณซัลเฟต หาได้โดยการตกตะกอนกับ BaCl<sub>2</sub> ได้ตะกอน BaSO<sub>4</sub> อนุภาคตะกอนที่ตกใน  
ระยะเริ่มแรกมีขนาดเล็กเกินไปในการกรองและล้าง ดังนั้นจึงต้องมีการไดเจสต์ (Digest) ให้ได้ผลึกที่  
โตขึ้น ดังสมการ



เกลือ BaSO<sub>4</sub> ง่ายต่อการตกตะกอนร่วมกับไอออนแลกเปลี่ยน ดังนั้นจึงควรทำให้อัตราส่วน  
อิมตัววยดที่ย่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในระหว่างการตกตะกอน ซึ่งกระทำได้โดยการเติมสารละลาย  
BaCl<sub>2</sub> ซ้ำ ๆ พร้อมทั้งคนสารละลายตัวอย่างซัลเฟตที่อยู่ในกรดเกลือร้อนแล้วไดเจสต์ การไดเจสต์จะ  
ทำให้ได้ตะกอนผลึกโตขึ้นและลดการตกตะกอนร่วมควรเติมกรดเกลือในสารละลายซัลเฟต เพื่อ  
ป้องกันการตกตะกอนของเกลือแบเรียมของกรดอ่อน เช่น คาร์บอเนต หรือ ฟอสเฟต และยังไม่แทนที่  
สิ่งเจือปน กรดที่เติมสามารถกำจัดโดยการเผา ซึ่งกรดจะระเหยออกมาควรเติม BaCl<sub>2</sub> มากเกินพอ  
เล็กน้อย จะทำให้ปริมาณซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากไอออนร่วม (Common  
ion effect)

#### รีเอเจนต์

1. สารละลาย 0.05 M BaCl<sub>2</sub>
2. ละลาย BaCl<sub>2</sub> ประมาณ 10.4 g ในน้ำกลั่น 1.0 L
3. 0.1 M AgNO<sub>3</sub>

ละลาย AgNO<sub>3</sub> ประมาณ 1.7 g ในน้ำกลั่น 100 ml บรรจุในขวดหยด

4. 6 M HCl
5. สารตัวอย่าง

อบสารตัวอย่างเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105-110 °C ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่  
อุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์

#### อุปกรณ์

1. ครุชีเบิลพอสเลน
2. กระจกกรอง

#### วิธีทดลอง

1. เตรียมครุชีเบิลพอร์ซีเลนที่เผาให้น้ำหนักคงที่ ด้วยเปลวไฟที่ร้อนที่สุดของตะเกียงเบนเสน

2. ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วให้รู้น้ำหนักแน่นอน ประมาณ 0.2xxx g ถ่ายใส่ปิกเกอร์ขนาด 250 mL เตรียม 3 ตัวอย่าง
3. ละลายแต่ละตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 125 mL และ 6 M HCl 2 ml
4. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3 มาต้มจนเกือบเดือด
5. หยดสารละลาย 0.05 M BaCl<sub>2</sub> ปริมาตรที่คำนวณไว้ (\*ดูหมายเลข 1) ทีละหยดช้า ๆ พร้อมทั้งคนสารละลาย แล้วเติมให้มากเกินพออีก 10%
6. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนอนกัน
7. ทดสอบว่าตะกอน BaSO<sub>4</sub> หยดสมบูรณ์แล้วหรือยัง
8. เมื่อตะกอนตกสมบูรณ์แล้ว ปิดปิกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แทะแก้วคนยังคงไว้ในปิกเกอร์แล้วได้เจสต์บนอ่างน้ำร้อน (water bath) เป็นเวลา 30 นาที
9. ยกปิกเกอร์ลง (อย่าเพิ่งกวนสารละลาย) ใช้น้ำกลั่นล้างกระจกนาฬิกาด้านที่ปิดปิกเกอร์ให้สารละลายลงมารวมอยู่ในปิกเกอร์ ทดสอบว่าตะกอนตกสมบูรณ์แล้วหรือยัง ถ้าไม่สมบูรณ์ให้เติมอีก 5 ml BaCl<sub>2</sub> และได้เจสต์อีกครั้ง (ตะกอนที่ได้เจสต์แล้วอาจตั้งทิ้งค้างรอจนถึงการทดลองคราวหน้า) และล้างตะกอนที่กรองได้บนกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นร้อน จนกระทั่งน้ำที่ผ่านการล้างครั้งสุดท้ายเมื่อทำเป็นกรดด้วย 0.1 M HNO<sub>3</sub> 1 ml และหยดสารละลาย AgNO<sub>3</sub> 2-3 หยด จะไม่ให้ตะกอนขุ่นขาว
10. พับกระดาษกรองห่อหุ้มตะกอนใส่ในครุชีเบิ้ลที่เตรียมไว้ ปิดฝาแยม ๆ วางบนสามเหลี่ยม (Triangle) ที่วางอยู่บนวงแหวน (Ring stand) ใช้เปลวไฟอ่อน ๆ ทำให้กระดาษกรองและตะกอนแห้ง เมื่อไล่ความชื้นออกหมดและกระดาษเริ่มไหม้ ค้อนที่ออกมาเป็นสายบาง ๆ แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้เผา กำลังพอเหมาะ แต่ถ้าค้อนออกมาคราวละมาก ๆ แสดงว่ากระดาษเริ่มจะติดไฟ ควรจะหยุดเผาชั่วคราว และปรับลดเปลวไฟ ถ้ากระดาษเกิดติดไฟ ให้ปิดฝาครุชีเบิ้ล ดับไฟและลดเปลวไฟให้อุณหภูมิต่ำลง
11. หลังจากกระดาษได้ไหม้เกรียมหมดแล้ว และไม่ให้ค้อนออกมาอีก เอาฝาครุชีเบิ้ลออก เอียงครุชีเบิ้ล และเพิ่มเปลวไฟจนกระทั่งกันของครุชีเบิ้ลกลายเป็นแดงเข้ม (Dull red) เผาต่อจนซี้ถ้าหมด (อาจจะหมุนครุชีเบิ้ลเป็นครั้งคราวขณะเผา) ซึ่งตะกอนเกือบจะขาว เผาด้วยเปลวไฟร้อนแรงต่ออีกประมาณ 30 นาที
12. เอาไฟออกปล่อยให้เย็นลง 2-3 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ประมาณ 30 นาที
13. นำครุชีเบิ้ลไปชั่งแล้วนำไปเผาซ้ำอีกจนร้อนแดงอีกประมาณ 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์อีกครั้ง ทำซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่ (+0.4 mg)

### การคำนวณ

คำนวณและรายงานน้ำหนักร้อยละของซัลเฟอร์ (S) ในสารตัวอย่าง

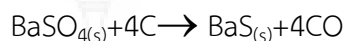
Gravimetric factor ในการเปลี่ยน BaSO<sub>4</sub> เป็น

$$S = \left( \frac{S}{\text{BaSO}_4} \right) = \frac{32.064}{233.40} = 0.1374$$

$$\%S = (\text{น้ำหนักตะกอน BaSO}_4 \text{ (g)} \times (S/\text{BaSO}_4) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}) \times 100$$

\*หมายเหตุ

1. การคำนวณสารละลาย BaCl<sub>2</sub> ที่จะต้องตกตะกอนโดยสมมติว่าสารตัวอย่างคือ (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ดังนั้น ถ้าสมมติว่าซั่งสารตัวอย่างมา 426 mg จะเท่ากับ 426/142 = 3 mmol BaCl<sub>2</sub> ถ้าใช้สารละลาย BaCl<sub>2</sub> 0.05 M ก็ต้องใช้ 60 ml เป็นต้น
2. ล้างตะกอน BaSO<sub>4</sub> ด้วยน้ำร้อนเพราะการละลายของตะกอนในน้ำร้อนน้อยกว่าในน้ำเย็น
3. ขณะที่กระดาษกรองใหม่ไฟ ตะกอนของ BaSO<sub>4</sub> อาจถูกรีดิวซ์โดยคาร์บอน ดังสมการ



เมื่อเผาต่อ BaS จะถูกออกซิไดซ์ต่อ ดังสมการ  $\text{BaS}_{(s)} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{BaSO}_{4(s)}$

### การทดลองที่ 3.2 การหาปริมาณนิกเกิลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลออกซิม

การหาปริมาณนิกเกิลโดยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (gravimetric analysis) รีเอเจนต์ที่ตกตะกอนควรจะมีควมจำเพาะ (selectivity) มากที่สุดเท่าที่เป็นได้ ไดเมทิลไกลออกซิม (dimethylglyoxime, DMG) สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ni ให้ตะกอนของสารประกอบคีเลต (Ni(DMG)<sub>2</sub>) สีแดงในสารละลายแอมโมเนีย สารที่สามารถรบกวนการวิเคราะห์ได้แก่ Co(II) และ Fe(III) สามารถกำจัดได้โดยเกิดเชิงซ้อนกับทาทเรต (Tartrate) มิฉะนั้นจะเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ในสารละลายต่าง เมื่อทำให้สารละลายเป็นด่าง ปฏิกริยาการเกิดตะกอนดังสมการ



เมื่อตกตะกอนใหม่ ๆ (Ni(DMG)<sub>2</sub>) จะมีมาก และมีแนวโน้มจะติดกับผนังภาชนะที่บรรจุอยู่ด้วย ด้วยเหตุนี้ปริมาณนิกเกิลที่ตกตะกอนควรจำกัดอยู่ที่ปริมาณไม่มากไปกว่า 50 mg ตะกอนเสถียรและอบแห้งที่อุณหภูมิ 110-130°C และเริ่มสลายที่อุณหภูมิ 180°C ควรควบคุมปริมาณของสารละลายไดเมทิลไกลออกซิมในแอลกอฮอล์ที่ใช้ ถ้าเติมมากเกินไปแอลกอฮอล์สามารถละลายตะกอนของ Ni(DMG)<sub>2</sub> ได้ ทำให้ได้ผลน้อยกว่าที่ควรเป็น แต่ถ้าใช้น้อยไปรีเอเจนต์บางตัวอาจให้ตะกอนทำให้ได้ผลมากกว่าที่ควร

## รีเอเจนต์

1. สารละลาย 2% NaDMG ใน ethanol
2. สารละลาย 2g  $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$  และปรับปริมาตรด้วย 80% v/v ethanol เป็น 100 ml
3. สารละลาย 0.7 M ammonium Acetate
4. ชั่ง  $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$  1.4438 g ปรับปริมาตรเป็น 25 ml
5. Tartaric acid
6. สารละลาย 6 M  $\text{HNO}_3$
7. สารละลาย 6 M  $\text{NH}_3$
8. Methyl red indicator
9. 10% ดีเทอร์เจนต์
10. สารตัวอย่าง

## อุปกรณ์

1. ครุชีเบิลซินเตอร์กลาส เบอร์ 4
2. ชุดกรอง suction
3. เทอร์โมมิเตอร์ 100 °C

## วิธีทดลอง

1. เตรียมครุชีเบิลซินเตอร์กลาส เบอร์ 4 จำนวน 3 ใบ อบในตู้อุณหภูมิ 110-130 °C อย่างน้อย 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่
2. ชั่งสารตัวอย่างรึ้นน้ำหนักแน่นอน 4 ตำแหน่ง ประมาณ 0.07 g ใส่ในบีกเกอร์ 250 ml เตรียม 3 ตัวอย่าง
3. (ทำในตู้ควัน) เติม 6 M  $\text{HNO}_3$  2.5 ml อย่างระมัดระวังในบีกเกอร์แต่ละใบ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ เปิดพอให้มีช่องสำหรับควันออก อุณหภูมิบน hotplate
4. เมื่อละลายหมด อุณหภูมิเพื่อไล่ควันสีน้ำตาลแดงหมดไป
5. เจือจางแต่ละตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 100 ml
6. เติม tartaric acid ลงในแต่ละตัวอย่าง ประมาณ 0.25 g และ methyl red indicator 1-2 หยด แล้วเติม 6.0 M  $\text{NH}_3$  ที่ละลายจนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี
7. ต้มให้อุณหภูมิสารละลายประมาณ 70 °C อย่าให้เดือด ยกออก
8. เติมสารละลาย 2% NaDMG 10 ml ที่ละลายพร้อมทั้งคน แล้วเติม 3 M  $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$  ที่ละลายพร้อมทั้งคนจนได้ตะกอนสีแดงเกิดขึ้น เติมซ้ำ ๆ มากเกินพออีก 10 mL ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ ตั้งบน hotplate อุณหภูมิ 70 °C ประมาณ 30 นาที (หรือค้างคืน) ตั้งทิ้งให้เย็น



9. หยด 1.0 ml NaDMG บนน้ำใส ทดสอบว่าตะกอนสมบูรณ์หรือยัง ถ้าทดสอบแล้วพบว่ายังตกไม่สมบูรณ์ ตกตะกอนด้วยการเติม NaDMG อีก 5 ml หรือมากกว่า คน นำไป digest บน hotplate อุณหภูมิ 70 °C อีก 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วทดสอบว่าตกตะกอนสมบูรณ์อีกครั้ง

10. เมื่อตะกอนตกสมบูรณ์แล้ว เติม 10 หยดของสารละลายดีเทอร์เจนต์ 10% ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

11. กรองตะกอนที่ได้ด้วยครุชชีเบิลซินเตอร์กลาสน้ำหนักคงที่ที่เตรียมไว้กรองโดยใช้วิธีดูดอากาศออก (suction)

12. ล้างตะกอนด้วยสารละลายที่ประกอบด้วย 6 M NH<sub>3</sub> 1 ml และ 10% detergent 2-3 หยดในน้ำ 250 ml

13. อบตะกอนในตู้อบอุณหภูมิ 110-120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

14. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 30-40 นาที

15. ชั่งน้ำหนักแน่นอน อบใหม่อีกหนึ่งชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็น ชั่ง ทำซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่

#### การคำนวณ

คำนวณและรายงานร้อยละของนิกเกิลในสารตัวอย่าง

### การทดลองที่ 4 การไทเทรตแบบต่าง ๆ

#### การไทเทรตกรด-เบส

##### การทดลองที่ 4.1 การปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู

กรดตัวสำคัญในน้ำส้มสายชูคือกรดอะซิติก (CH<sub>3</sub>COOH) แม้ว่าจะมีกรดอื่นปนอยู่การคำนวณจะออกมาในรูปของกรดอะซิติก ในการทดลองนี้จะหาปริมาณกรดอะซิติกในตัวอย่างน้ำส้มสายชู ซึ่งในท้องตลาดน้ำส้มสายชูจะมีส่วนประกอบของกรดอะซิติก 4.0-5.0%

#### รีเอเจนต์

1. สารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 M (จากการทดลองที่ 2.2)
2. สารละลาย 0.1% phenolphthalein ใน 80% ethanol
3. ตัวอย่างน้ำส้มสายชู

## วิธีทดลอง

1. ปิเปตสารตัวอย่างน้ำส้มสายชู 2.5 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร เขย่าผสมให้เข้ากัน

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ในข้อ 1. ปริมาตร 10.0 ml ลงในขวดรูปกรวยขนาด 50 ml เตรียม 3 ตัวอย่าง

3. เติมน้ำกลั่น 10 ml

4. เติม phenolphthalein 1-2 หยด

5. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้จุดยุติสีชมพูถาวร

### การคำนวณ

การคำนวณน้ำหนักร้อยละของกรดอะซิติก (%w/v) ในน้ำส้มสายชูตัวอย่างและรายงานผลค่าเฉลี่ย $\pm$ SD

### การทดลองที่ 4.2 การปริมาณ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ในตัวอย่างโซดาแอช

โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอช หรืออีกชื่อคือโซดาซักผ้าสูตรเคมีคือ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เป็นสารประกอบเกลือของกรดคาร์บอนิก มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น สามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ดี ละลายได้ในน้ำ มีฤทธิ์เป็นด่างแก่เมื่อละลายน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์ พบในซีเมนต์ของพืชหลายชนิดและสาหร่ายทะเล เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น แก้ว เซรามิกส์ กระดาษ ผงซักฟอก สบู่ การแก้ไขน้ำกระด้าง

### รีเอเจนต์

1. สารละลายมาตรฐาน 0.1 M HCl (จากการทดลองที่ 2.1)

2. อินดิเคเตอร์ 0.1% bromocresol green

3. ละลายอินดิเคเตอร์ bromocresol green 0.1 g ในน้ำ 100 ml

สารตัวอย่างโซดาแอช ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

### วิธีทดลอง

1. ชั่งสารตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว ฐานน้ำหนักแน่นอนถึง ประมาณ 0.1 g ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 50 ml เตรียม 3 ตัวอย่าง

2. ละลายในน้ำกลั่น 25 ml
3. เติม Bromocresol green 3 หยด
4. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน HCl

### การคำนวณ

น้ำหนักร้อยละของ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ในสารตัวอย่าง และรายงานค่าเฉลี่ย  $\pm$ SD ร้อยละของ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ในตัวอย่าง คำนวณดังนี้

$$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$$
$$= \frac{(\text{moles Na}_2\text{CO}_3)(\text{g Na}_2\text{CO}_3 / \text{mole})}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง}} \times 100$$

### ไทเทรตโดยปฏิกิริยาการตกตะกอน

การไทเทรตโดยการตกตะกอนใช้สำหรับการหาปริมาณ  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  และ  $\text{I}^-$  เกิดเกลือที่ไม่ละลาย (insoluble salt) ในทางกลับกัน สำหรับหา  $\text{Ag}^+$  ในรูปของ Silver thiocyanate ที่จุดสมมูล

$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{X}^-]$$

ซึ่ง X เป็นแอนไอออนของเกลือซิลเวอร์ที่ไม่ละลาย

การไทเทรตจะไม่เที่ยงถ้าค่า  $K_{sp}$  สูงกว่า  $10^{-8}$  โดยประมาณ เมื่อใช้สารละลายไทเทรนต์ 0.1 M และ 0.01 M ของสารละลายตัวอย่าง ปรับปรุงได้โดยการให้ความเข้มข้นสารละลาย unknown สูง หรือโดยการทำให้  $K_{sp}$  ลดลง ทางเลือกอีกวิธีในการทำให้การละลายลดลงคือโดยการเติม Ethanol หรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ สิ่งที่ต้องระมัดระวังอีกอย่างคือการตกตะกอนร่วม

### อินดิเคเตอร์ที่ใช้สามัญได้แก่

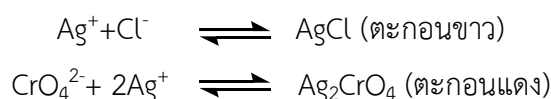
สีแดงเลือดของ Tetrathiocyanatoiron(III)-anion เป็นวิธีของ Volhard

สีแดงของเกลือที่ไม่ละลาย Silver chromate วิธีของ Mohr

อินดิเคเตอร์ดูดซับ (Adsorption) วิธีของฟาเจนท์ (Fajan)

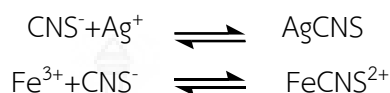
### วิธีของ Mohr

ใช้ไอออนตัวที่สองเป็นอินดิเคเตอร์ ให้เกิดเป็นตะกอนอีกตัวที่มีสี โดยเติม  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  ในสารละลายที่เป็นกลางของสารละลายตัวอย่างคลอไรด์ เมื่อไทเทรตกับ  $\text{AgNO}_3$  มาตรฐานจะเกิดตะกอน  $\text{AgCl}$  ก่อน เมื่อตะกอน  $\text{AgCl}$  ตกสมบูรณ์แล้ว หยดต่อไปของ  $\text{AgNO}_3$  จะให้ตะกอนสีแดงของ  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  ซึ่งละลายได้มากกว่าตะกอน  $\text{AgCl}$



### วิธีของ Volhard

อินดิเคเตอร์เกิดเป็นเชิงซ้อนกับไอออนและเกิดสี จุดยุติคือเมื่อเกิดไอออนเชิงซ้อนที่มีสี การหาปริมาณไอออนซิลเวอร์ทำได้โดยการเติม Ferric alum ในสารละลายที่ประกอบด้วย  $Ag^+$  และนำไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน thiocyanate เมื่อไอออน  $Ag^+$  ตกตะกอนสมบูรณ์เป็น Silver thiocyanate หดต่อไปของ thiocyanate จะทำปฏิกิริยากับ  $Fe^{3+}$  ให้เชิงซ้อนสีแดงของ ferric thiocyanate เป็นจุดยุติ ดังสมการ



### วิธีของฟาเจนต์ (Fajan)

สารประกอบอินทรีย์บางชนิดเช่นฟลูออเรสซิน (Fluorescein) และอนุมูลของมัน เช่น dichlorofluorescein เป็นต้น จะถูกดูดซับโดยตะกอนพร้อมกับเกิดสีบริเวณจุดสมมูล ตัวอย่างเช่น ตะกอน  $AgCl$  จะมีประจุลบ ถ้ามี  $Cl^-$  มากเกินพอในสารละลาย ซึ่งประจุลบของ  $Cl^-$  ไม่มีแนวโน้มที่ดูดซับสาร เช่นฟลูออเรสซิน แต่คอลลอยด์  $AgCl$  ที่มีประจุบวก (เมื่อมี  $Ag^+$  มากเกินพอ) สามารถดูดซับฟลูออเรสซินได้ดี เกิดเป็นสีชมพู ซึ่งเป็นจุดยุติ การเติมเด็กซ์ทริน (dextrin) จะช่วยให้ตะกอนอยู่ในรูปของคอลลอยด์ ช่วยให้ง่ายต่อการเห็นสี

### การทดลองที่ 4.3 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ในเทรต 0.01 M วิธีของฟาเจนต์ (Fajan)

#### รีเอเจนต์

1. สารละลายอินดิเคเตอร์ 0.1% dichlorofluorescein
6. ละลาย 0.1 g dichlorofluorescein ในน้ำกลั่น 100 ml
2. สารละลาย 2% dextrin
3. ละลาย 2 g dextrin ในน้ำกลั่น 100 ml
4. สารมาตรฐานซิลเวอร์ในเทรต
5. สารมาตรฐานปฐุมุมิโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
7. ออบสารมาตรฐานปฐุมุมิ NaCl ที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์

### การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท ( $\text{AgNO}_3$ 0.01 M)

1. ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิโซเดียมคลอไรด์ที่อบแห้งให้ร่วนน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 0.25 g ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ  $\text{NaCl}$  10.00 ml ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 ml เติมน้ำกลั่น 10 ml เตรียม 3 ตัวอย่าง
3. เติมสารละลาย dextrin 2.5 ml เขย่า
4. อินดิเคเตอร์ 0.1 % dichlorofluorescein 5 หยดเขย่า
5. ไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทจากบิวเรตต์ ขณะไทเทรต เขย่าสารละลายแรง ๆ อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์กระจายออกสม่ำเสมอเมื่อใกล้จุดยุติ ให้ปรับอัตราไหลของสารละลายช้า ๆ ไทเทรตจนกระทั่งตะกอนขาวของ  $\text{AgCl}$  เปลี่ยนจากชมพูอ่อนเป็นสีชมพูแก่เป็นจุดยุติ ทำการทดลองซ้ำซึ่งผลไม่ควรแตกต่างกันเกิน  $\pm 0.05$  ml

**หมายเหตุ** ถ้าจุดยุติเป็นสีเทาชมพูหรือชมพูชุน แสดงว่าอินดิเคเตอร์ได้คะตะไลซ์การเกิดโฟโตรีดักชัน (Photoreduction) ของไอออนซิลเวอร์เป็นโลหะซิลเวอร์ ซึ่งหลีกเลี่ยงได้โดยการเติมอินดิเคเตอร์ประมาณ 0.5 ml ก่อนถึงจุดยุติ

### การทดลองที่ 4.4 การหาความเข้มข้นของสารละลาย $\text{NaCl}$ โดยวิธีของ Mohr

#### รีเอเจนต์

1. สารละลาย 0.01 M  $\text{NaCl}$
2. สารละลาย 0.1 M  $\text{K}_2\text{CrO}_4$
3. สารละลาย 0.01 M  $\text{AgNO}_3$

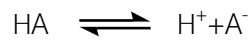
#### วิธีทดลอง

1. ปิเปตสารละลาย 0.01 M  $\text{NaCl}$  10.00 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 mL
2. เติม 0.1 M  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  ประมาณ 0.5 ml เป็นอินดิเคเตอร์
3. ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.01 M  $\text{AgNO}_3$  จะได้ตะกอนสีขาวของ  $\text{AgCl}$  เมื่อถึงจุดยุติจะเห็นสารละลายมีสีน้ำตาลปนแดงเล็กน้อย
4. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

## การทดลองที่ 5 การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส

### การทดลองที่ 5.1 การหาค่า $K_a$ และน้ำหนักสมมูลของกรดอ่อน

การแตกตัวของกรดอ่อน



แสดงค่าคงที่การแตกตัวของกรด ( $K_a$ )

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

$$[H^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[HA]}{[A^-]} \quad (\text{สมการ Henderson-Hasselbach})$$

เมื่อไทเทรตเบสแก่กับกรดอ่อนไปถึงครึ่งหนึ่งของจุดสมมูล กล่าวคือจะเหลือ HA ครึ่งหนึ่งดังนั้น

$$[HA] = [A^-]$$

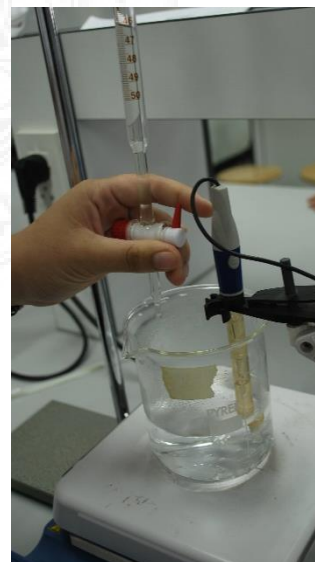
$$pH = pK_a$$

### รีเอเจนต์

1. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 และ pH 4
2. สารละลายมาตรฐาน 0.1 M NaOH จากการทดลองที่ 2.2
3. สารละลาย unknown กรดอ่อน

### วิธีทดลอง

1. ชั่ง unknown ประมาณ 0.1 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 100 ml หย่อนแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) ลงไปเพื่อช่วยในการคน จัดอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.1 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่า  $K_a$

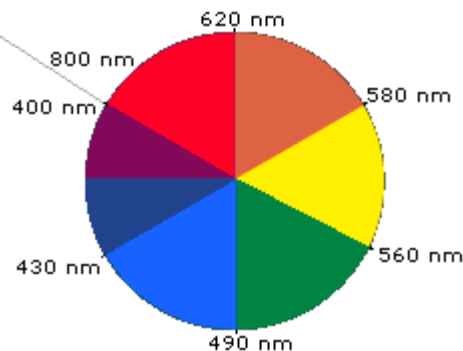
2. บรรจุสารละลายมาตรฐาน 0.1 M NaOH ในบิวเรตต์
3. ยกขั้วไฟฟ้าขึ้นสูงจากสารละลาย ค่อย ๆ หมุนปุ่มเครื่องกวณ เมื่อเห็นว่าอัตราการกวณไม่รุนแรงที่จะไปตีปลายขั้วไฟฟ้า และเมื่อสารได้ละลายหมด จึงค่อย ๆ เลื่อนขั้วไฟฟ้าลงจุ่มในสารละลาย โดยระมัดระวังหลีกเลี่ยงการถูกตีจากแท่งแม่เหล็ก
4. ไทเทรตโดยให้เครื่องกวณตลอดเวลา
5. บรรจิก pH ของสารละลาย และปริมาตรของไทเทรนต์ที่เติม โดยเริ่มบันทึกตั้งแต่มิได้เติมรีเอเจนต์
6. พล็อตกราฟระหว่างค่า pH ของสารละลายกับปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปในแต่ละครั้ง ซึ่งจะได้กราฟที่มีความลาดชัน อาจเป็นตอนเดียว หรือหลายตอน ขึ้นอยู่กับจำนวนโปรตอนในกรดอ่อน
7. คำนวณค่า  $K_a$  ของกรดและน้ำหนักสมมูลของกรดอ่อน

## การทดลองที่ 6 การหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสงของสารที่มีสี

### การทดลองที่ 6.1 การศึกษาสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี

แสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็น (visible light) เป็นแสงสีขาวที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีต่าง ๆ ทั้ง 7 สีคือ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง การที่มนุษย์มองเห็นวัตถุเป็นสีใดแสดงว่าวัตถุดูดกลืนแสงสีอื่น ๆ หมด ยกเว้นแสงที่เหลืองที่จะสะท้อน แต่ถ้าวัตุนั้น ๆ ดูดกลืนแสงทุกสีทั้งหมดจะทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีดำ

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็นมีประโยชน์สำหรับใช้ในการทำนายว่าสารประกอบที่มีสีจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงใด เช่น สารประกอบ iron(III)thiocyanate หรือ  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  เป็นสารละลายที่มีสีแดง อาจทำนายได้ว่า  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  ดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงิน-เขียว (470-500 nm) ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  โดยวิธีทางสเปกโทรสโคปี จึงต้องเลือกใช้ความยาวคลื่นในช่วง 470-500 nm



รูปที่ 3.2 วงล้อสี (color wheel) เมื่อแสงขาวถูกดูดกลืนคลื่นแสงไปบางส่วน สีที่ปรากฏจะเป็นสีที่อยู่ตรงข้ามของวงล้อสี

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูก ดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็น

ความยาวคลื่น (nm)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็น
380-420	ม่วง	เขียว-เหลือง
420-440	ม่วง-ฟ้า	เหลือง
440-470	น้ำเงิน	ส้ม
470-500	เขียว-น้ำเงิน	แดง
500-550	เขียว-เหลือง	ม่วง
550-580	เหลือง	ม่วง-น้ำเงิน
580-620	ส้ม	น้ำเงิน
620-780	แดง	เขียว-น้ำเงิน

**วิธีทดลอง**

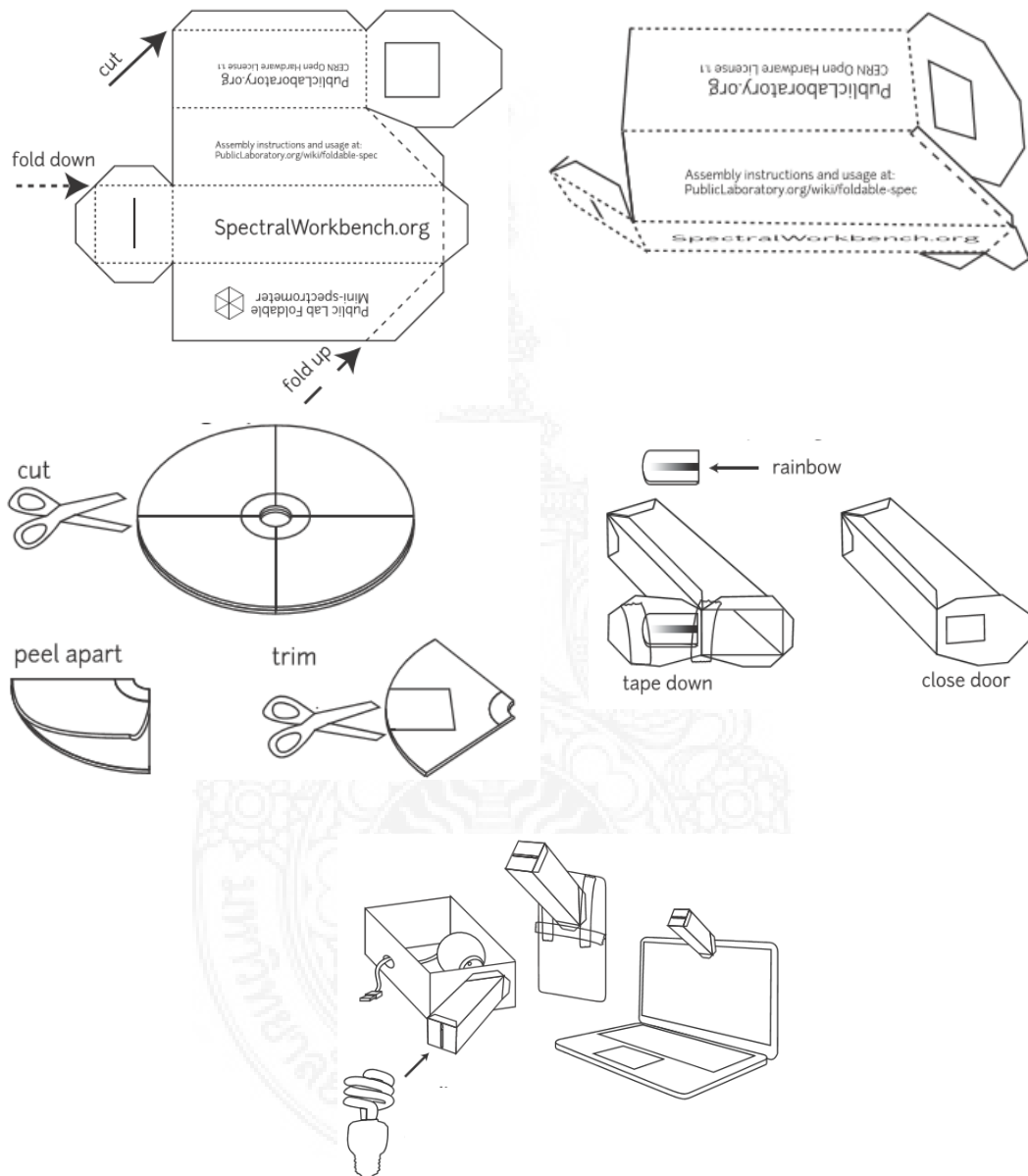
1. นักศึกษาศึกษาวิธีการทำกล้องสเปกโตรโฟโตเมทรีด้วยโทรศัพท์มือถือจาก <https://www.youtube.com/watch?v=hZkVYuw4pJ4>
2. Download template ในการทำกล้องมือถือจาก <https://publiclab.org/sites/default/files/8.5x11mini-spec3.8.pdf>





3. ใช้กล่องจากข้อ 2 ศึกษาการดูดกลืนแสงของสีขาวย โดยใช้กล่องส่องไปที่แสงสีขาวพร้อมถ่ายรูป

4. ใช้กล่องจากข้อ 2 ศึกษาการดูดกลืนแสงของวัตถุสีต่าง ๆ ได้แก่ เขียว แดง ฟ้า โดยใช้วัตถุมีสีโปร่งแสงปิดที่หน้ากล่องแล้วส่องไปที่แสงสีขาว สังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างกล่องสเปคโตรโฟโตเมตรีด้วยโทรศัพท์มือถือดัดแปลงจาก <https://www.youtube.com/watch?v=hZkVYuw4pJ4>



4. อ่านค่า absorbance ของสารละลายที่ 510 nm สร้าง calibration curve โดยพลอตค่า absorbance (A) กับความเข้มข้น คำนวณ slope แล้วคำนวณความเข้มข้นของ  $\text{Fe}^{2+}$  ใน unknown

### การทดลองที่ 6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการลดกรดของยาลดกรดโดยสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง

#### ยาลดกรด

ยาลดกรด(Antacid) เป็นยาที่มีสถานะเป็นต่าง ออกฤทธิ์ลดกรดโดยการสะเทิน(ทำให้เป็นกลาง) กับกรดในทางเดินอาหาร เมื่อความเป็นกรดในกระเพาะอาหารลดลง จึงทำให้อาการปวดหรือแสบท้อง บรรเทาลงได้ ยาลดกรดเป็นยาที่มักจะใช้ร่วมกับยาระบบทางเดินอาหารในกลุ่มอื่นๆ เช่น Ranitidine ยาลดกรด เป็นยาที่ใช้กันมานาน ราคาถูก วางจำหน่ายตามร้านขายยาทั่วไปที่สามารถซื้อได้โดยไม่ต้องมีใบสั่งแพทย์ที่เรียกว่า ยา Over-the-counter drug ย่อว่า OTC drug

#### การวิเคราะห์ความสามารถในการลดกรดของยาลดกรด

สารละลายกะหล่ำปลีม่วง สามารถนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับวัดความเป็นกรด - ต่าง ของสารละลายที่ต้องการศึกษาได้ โดยเมื่อทดสอบสารละลายกะหล่ำปลีม่วงในสารละลายที่เป็นกลาง พบว่า สารละลายกะหล่ำปลีม่วงจะมีสีเป็นสีม่วง เมื่อทดสอบในสารละลายต่าง สารละลายกะหล่ำปลีม่วงจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว และเมื่อทดสอบในสารละลายกรด พบว่าสารละลายกะหล่ำปลีม่วงเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีแดง จากหลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการลดกรดของยาลดกรดโดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี โดยสามารถวิเคราะห์ความสามารถของยาลดกรดโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยาลดกรดกับ  $\text{NaHCO}_3$



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนสีของน้ำสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงที่ pH 1-14 จากซ้ายไปขวา

#### รีเอเจนต์

1. สารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง

เตรียมได้จากการต้มกะหล่ำปลีม่วงในน้ำเดือด

2. 0.1 M  $\text{NaHCO}_3$

## วิธีการทดลอง

1. เตรียมขวดปรับปริมาตร 25 ml จำนวน 10 ขวด
2. ใบที่ 1 เติม Regent blank คือ น้ำกระหล่ำปลีม่วง 5 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 ml
3. ใบที่ 2-9 เติมสาร  $\text{NaHCO}_3$  0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 และ 2.0 ml ตามลำดับ และเติมน้ำกระหล่ำปลี 5 ml ทุกขวด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 ml
4. ใบที่ 10 เติม Unknown 1 ml และน้ำกระหล่ำปลีม่วง 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 ml
5. เขย่าให้สารเข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที
6. อ่านค่า absorbance ของสารละลายที่ 330-350 nm สร้าง calibration curve โดยพล็อตค่า absorbance (A) กับความเข้มข้นโดยใช้สารจากขวดที่ 5 ได้ที่ความยาวคลื่น 330 nm
7. นำไปวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ความยาวคลื่น 330 nm

## การทดลองที่ 6.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตเมทรีแบบ home-built

การสร้างเครื่องสเปกโตรโฟโตเมทรีอย่างง่ายขึ้นมาเองในห้องปฏิบัติการจะให้นักศึกษาได้ทำความเข้าใจในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง ทำให้เข้าใจในการหลักการวิเคราะห์ทางสเปกโตรโฟโตเมทรีได้มากขึ้น โดยในส่วนนี้จะมีการทำอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยเช่น Arduino

## การทดลองที่ 7 Mini-project

ให้นักศึกษารวบรวมความรู้ที่ได้จากการทำปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เพื่อนำมาแก้ปัญหา โดยการใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาไปแล้ว

## บทที่ 4. ผลการวิจัย

### การทดลองที่ 1 ความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงของอุปกรณ์

#### การทดลองที่ 1.1 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์

ไม่มีการใช้สารเคมีในปฏิบัติการนี้

#### การทดลองที่ 1.2 ความเที่ยงจากการตวง

มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์โดยเปลี่ยนขนาดของบิวเรตต์จาก 50 ml เป็น 10 ml และลดปริมาตรของน้ำจาก 10 ml เป็น 2 ml ทำให้สามารถประหยัดน้ำกลั่นได้

#### การทดลองที่ 1.3 ความแม่นยำของอุปกรณ์

ไม่มีการใช้สารเคมีในปฏิบัติการนี้

สรุปการทดลองที่ 1 จากการทดลองใช้บิวเรตขนาด 10 ml แทนบิวเรตขนาดที่ใช้กันทั่วไปคือ 50 ml พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการทดลองได้ โดยนักศึกษายังคงเข้าใจหลักการต่าง ๆ ได้ไม่แตกต่าง ๆ กัน

### การทดลองที่ 2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย

#### การทดลองที่ 2.1 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl

ครั้งที่	[HCl] (mol/L)
1.	0.1832
2.	0.1715
3.	0.2029
เฉลี่ย $\pm$ SD	0.18 $\pm$ 0.02



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนสีของอินดิเตอร์จากน้ำเป็นเหลืองในการเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl

#### การทดลองที่ 2.2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH 0.1 M

ครั้งที่	[NaOH] (mol/L)
1.	0.0880
2.	0.0870
3.	0.0900
เฉลี่ย+SD	0.0883±0.002



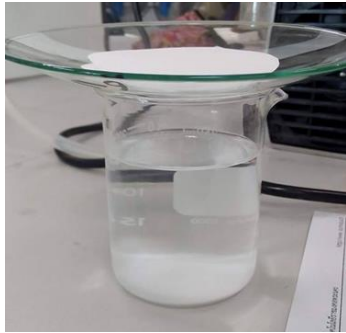
#### รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนสีอินดิเตอร์จากใสเป็นสีชมพูอ่อนในการเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M NaOH

สรุปการทดลองที่ 2 จากการทดลองใช้บิวเรตขนาด 10 ml แทนบิวเรตขนาดที่ใช้กันทั่วไปคือ 50 ml ในการเทียบมาตรฐาน โดยทดสอบลดจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาและลดปริมาณของสารลง 50% พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีลงได้และยังคงสามารถเทียบมาตรฐานได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือขนาดที่เล็กของบิวเรตทำให้นักศึกษาทำการทดลองไม่ถนัดและทำให้การทดลองซ้ำได้ค่าที่แตกต่างกันมากกว่าการใช้บิวเรต 50 ml

#### การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

การทดลองที่ 3.1 การหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป  $\text{BaSO}_4$

ตารางที่ 5 ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป  $\text{BaSO}_4$



รูปที่ 4.3 การตกตะกอนของซัลเฟตด้วยไอออน  $Ba^{2+}$  และตะกอนของ  $BaSO_4$  หลังจากการเผา

การทดลองที่ 3.2 การหาปริมาณนิกเกิลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลออกซิม  
 ตารางที่ 6 ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกล

น้ำหนัก (g)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
สารตัวอย่าง	0.0750	0.0785	0.0760
ครุชปีเบลชินเตอร์กลาส	30.7360	30.4920	31.2548
ครุชปีเบลชินเตอร์กลาส+ตะกอนนิกเกิล	30.8231	30.5702	31.3224
น้ำหนัก (g) ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
ตะกอนนิกเกิล	0.0871	0.0782	0.0676
สารตัวอย่าง	0.2051	0.2076	0.2049
%Ni ในสารตัวอย่าง	37.33	31.86	28.48
ครุชปีเบลฟอร์ชเลน	33.8636	36.2972	36.1460
%Ni ในสารตัวอย่างเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบน	34.1321	32.56 ± 4.47	
ครุชปีเบลฟอร์ชเลน+ตะกอน		36.5158	36.3768
ซัลเฟต			
ตะกอนซัลเฟต	0.2686	0.2186	0.2308
%S ในสารตัวอย่าง	17.99	14.47	15.48
%S ในสารตัวอย่างเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบน		15.98 ± 1.81	

ออกซิม



สรุปการทดลองที่ 3 การลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบตกตะกอนทั้ง 2 ปฏิบัติการพบว่าได้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างจากเดิม อย่างไรก็ตามการลดปริมาณสารเคมีลงในปฏิบัติการการหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป  $\text{BaSO}_4$  นั้นทำให้ขั้นตอนการสังเกตว่าการตกตะกอนสมบูรณ์หรือยังทำให้ยาก เนื่องจากปริมาณของตะกอนที่น้อยและลักษณะของตะกอนที่มีสีขาวและมีขนาดเล็กกว่าตะกอนของ Ni และ DMG จึงสังเกตได้ยากมากกว่า

#### การทดลองที่ 4 การไทเทรตแบบต่าง ๆ

##### การไทเทรตกรด-เบส

##### การทดลองที่ 4.1 การปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู

ครั้งที่	$\text{CH}_3\text{COOH}$ (%)
1.	5.16
2.	5.04
3.	5.04
เฉลี่ย+SD	$5.08 \pm 0.07$

##### การทดลองที่ 4.2 การปริมาณ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ในตัวอย่างโซดาแอช

ครั้งที่	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (%)
1.	18.06
2.	11.13
3.	19.50
เฉลี่ย+SD	$16.23 \pm 4.45$

##### ไทเทรตโดยปฏิกิริยาการตกตะกอน

การทดลองที่ 4.3 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.01 M วิธีของฟาเจนต์ (Fajan)

ครั้งที่	ความเข้มข้นของ $\text{AgNO}_3$ (mol/L)
1.	0.30
2.	0.40
3.	0.40



เฉลี่ย	$0.37 \pm 0.06$
--------	-----------------



รูปที่ 4.5 การสังเกตจุดยุติของวิธีฟาเจนต์จากการเกิดตะกอนสีชมพู  
การทดลองที่ 4.4 การหาความเข้มข้นของสารละลาย NaCl โดยวิธีของ Mohr

ครั้งที่	ความเข้มข้นของ $\text{AgNO}_3$ (mol/L)
1.	0.60
2.	0.50
3.	0.50
เฉลี่ย	$0.53 \pm 0.06$

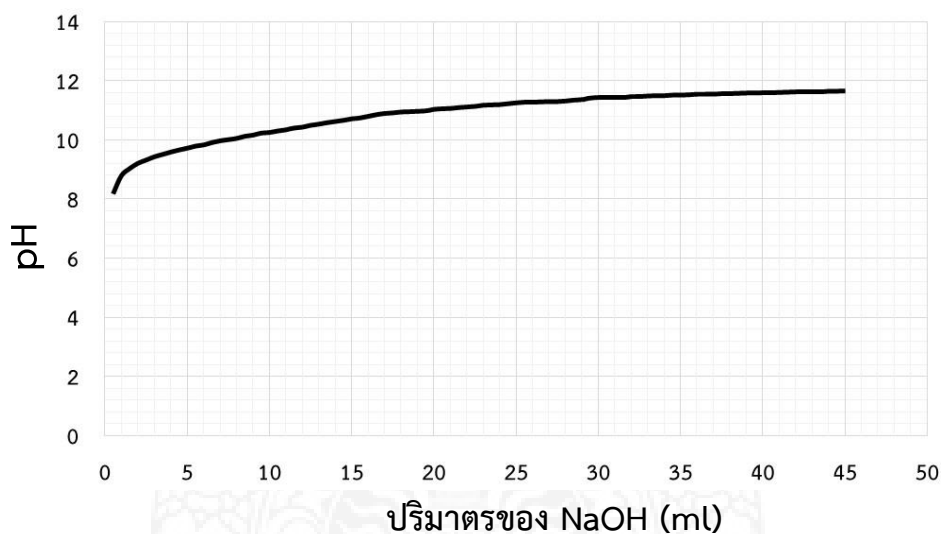


รูปที่ 4.6 การสังเกตจุดยุติของวิธี Mohr จากการเกิดตะกอนสีแดง

สรุปการทดลองที่ 4 จากการทดลองใช้บิวเรตขนาด 10 ml แทนบิวเรตขนาดที่ใช้กันทั่วไปคือ 50 ml ในการเทียบมาตรฐาน โดยทดสอบลดจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาและลดปริมาณของสารลง 50% พบว่าในการวิเคราะห์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอนมีความแตกต่างจากการวิเคราะห์แบบกรด เบส เนื่องจากการวิเคราะห์แบบกรด-เบส นั้นสามารถสังเกตจุดยุติได้ง่ายจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่มีความชัดเจนเช่น จากสีฟ้าเป็นสีเหลือง หรือจากสารละลายใสไม่มีสีเป็นสีชมพู เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่า การไทเทรตแบบตกตะกอนที่ต้องมีการสังเกตการเปลี่ยนสีของตะกอนนั้น เมื่อลดจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากันหรือลดจำนวนสารเคมีที่ใช้ลงพบว่า สารสังเกตจุดยุติทำให้ได้ยากมาก ทำให้ได้ผลการทดลองที่ผิดพลาดค่อนข้างสูง

## การทดลองที่ 5 การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส

### การทดลองที่ 5.1 การหาค่า $K_a$ และน้ำหนักสมมูลของกรดอ่อน

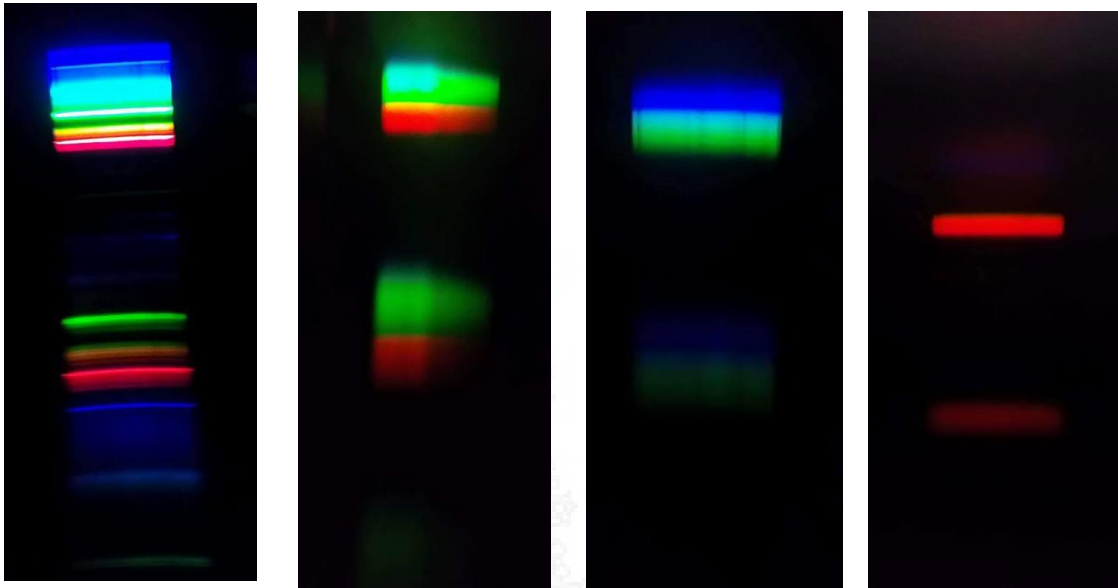


รูปที่ 4.7 กราฟการหาค่า  $K_a$  ของกรดอ่อน

สรุปการทดลองที่ 5 จากการทดลองลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า pKa ของกรดอ่อน Boric acid พบว่าการลดปริมาณสารเคมีลง 50% ไม่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ โดยสามารถวิเคราะห์ค่า pKa=9.90 ซึ่งกรด Boric acid มีค่า pKa=9.24

## การทดลองที่ 6 การหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสงของสารที่มีสี

### การทดลองที่ 6.1 การศึกษาสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี



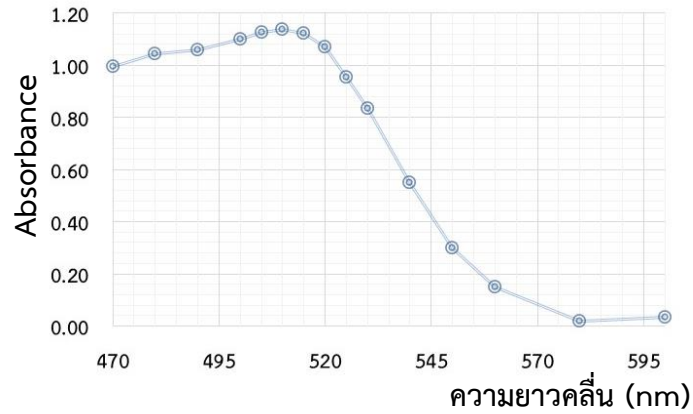
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมที่ได้จากกล้องสเปกโตรโฟโตเมทรีด้วยโทรศัพท์มือถือ

### การทดลองที่ 6.2 การหาปริมาณเหล็กโดยสเปกโตรโฟโตเมทรี

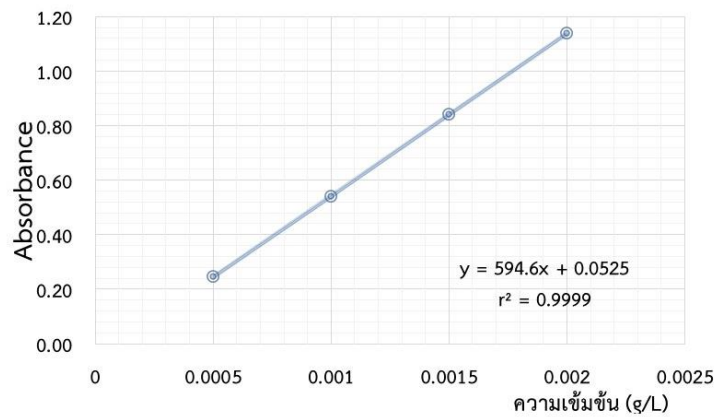




รูปที่ 4.9 สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของ  $Fe^{2+}$  ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



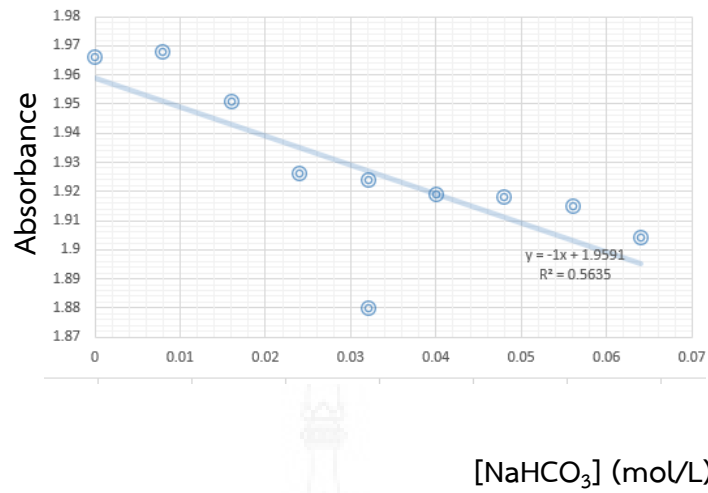
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการหาความยาวคลื่นที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด



รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานของการหาความเข้มข้น  $Fe^{2+}$

การทดลองที่ 6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการลดกรดของยาลดกรดโดยสารสกัดจาก  
 กะหล่ำปลีม่วง

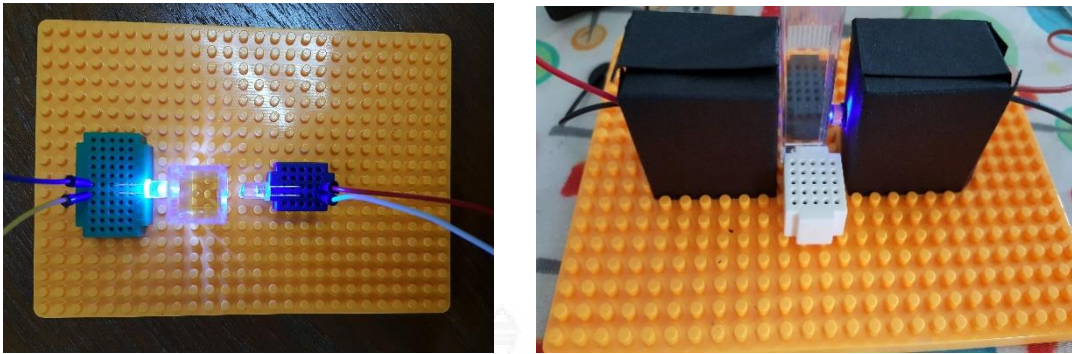




รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนสีของสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaHCO<sub>3</sub> และค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง



## การทดลองที่ 6.4 เครื่องสเปคโตรโฟโตเมทรีแบบ home-built



รูปที่ 4.13 แสดงการ set-up อุปกรณ์ในการทำเครื่องสเปคโตรโฟโตเมทรีแบบ home-built

```
RGB | Arduino 1.8.4
File Edit Sketch Tools Help

RGB

/*
 * Adafruit Arduino - Lesson 3. RGB LED
 */

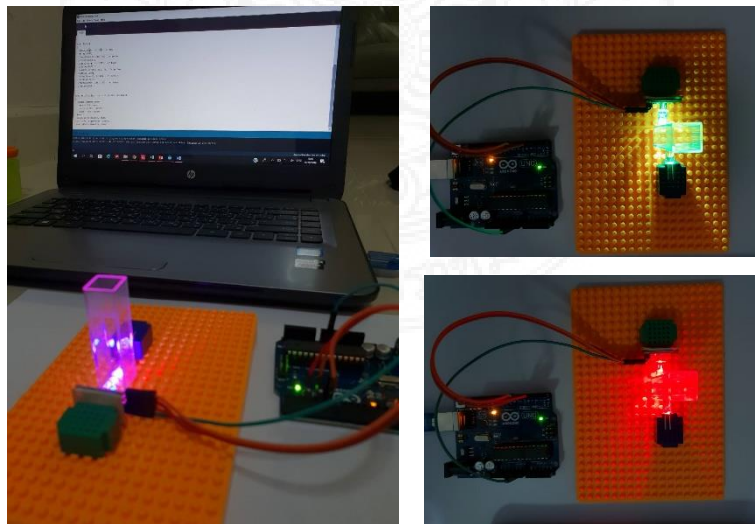
int redPin = 6;
int greenPin = 3;
int bluePin = 5;

//uncomment this line if using a Common Anode LED
//#define COMMON_ANODE

void setup()
{
  pinMode(redPin, OUTPUT);
  pinMode(greenPin, OUTPUT);
  pinMode(bluePin, OUTPUT);
}

void loop()
{
  setColor(255, 0, 0); // red
  delay(1000);
  //setColor(0, 255, 0); // green
  //delay(1000);
  //setColor(0, 0, 255); // blue
  //delay(1000);
  //setColor(255, 255, 0); // yellow
  //delay(1000);
  //setColor(90, 0, 80); // purple
}
```

รูปที่ 4.14 การใช้โปรแกรมเพื่อควบคุมการเปลี่ยนสีของหลอด LED โดย Aduino



รูปที่ 4.15 การใช้ Aduino เพื่อควบคุมการเปลี่ยนสีของ LED Light source

สรุปการทดลองที่ 6 การทดลองในปฏิบัติการนี้เป็นการทดลองที่มีการปรับเปลี่ยนมากที่สุด โดยมีการพัฒนาให้นักศึกษาเข้าใจถึงทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบสเปคโทโฟโทเมทรีให้มากที่สุด โดยมีการเพิ่มการทดลองได้แก่ การสร้างกล้องสเปคโทโฟโทเมทรีจากมือถือ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี โดยการสร้างกล้องสเปคโทโฟโทเมทรีจากมือถือจะทำให้ นักศึกษาเข้าใจว่าทำไมสารที่มีสีที่แตกต่างกันมีการดูดกลืนสีที่ต่างกันอย่างใด โดยทำทฤษฎีมา สร้างอุปกรณ์ที่นักศึกษาสามารถพิสูจน์จะจับต้องได้ ก่อนที่นักศึกษาจะได้เรียนรู้การใช้เครื่องมือจริง โดยเมื่อนักศึกษาได้เรียนรู้การใช้เครื่องมือจริงแล้ว จึงให้นักศึกษาลองออกแบบการทดลองที่ไม่ต้องมีการใช้สารเคมีหรือลดปริมาณสารใช้สารเคมี และนำสารจากธรรมชาติมาใช้จนเป็นปฏิบัติการการ ทดสอบความสามารถในการลดกรดของยาลดกรด และสุดท้ายให้นักศึกษาได้ทดลองสร้างเครื่อง สเปคโทโฟโทเมทรีแบบ home-built แบบง่าย ๆ โดยมีการนำ Arduino มาประยุกต์ใช้ในการเปลี่ยน สีของแหล่งกำเนิดแสง



ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการใช้สารเคมี

การทดลองที่	สารเคมีและปริมาณการใช้			% สารเคมีที่ใช้ ลดลง
	สารเคมี	ก่อนการ ปรับปรุง	ปฏิบัติการที่ พัฒนาขึ้น ใหม่*	
<b>1. ความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ และความเที่ยงของอุปกรณ์</b>	-	-	-	-
1.1 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์	-	-	-	-
1.2 ความเที่ยงจากการตวง	H <sub>2</sub> O	30 ml	6 ml	-
1.3 ความแม่นยำของอุปกรณ์	-	-	-	-
<b>2. การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย</b>	12 M HCl	9 ml	4.5 ml	50
2.1 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย 0.1 M HCl	H <sub>2</sub> O	950 ml	425 ml	
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.6 g	0.3 g	
	NaCl	2.94 g	1.45 g	
2.2 การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH 0.1 M	KHP	1.2 g	0.6 g	50
	NaOH	50 g	25 g	
	H <sub>2</sub> O	1,000 ml	500 ml	



3. การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก 3.1 การหาปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูป BaSO <sub>4</sub>	BaCl <sub>2</sub>	35 g	15 g	50
	AgNO <sub>3</sub> สารตัวอย่าง	6.0 g 1.2 g	3.0 g 0.6 g	
3.2 การหาปริมาณนิกเกิลโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลออกซิม	NaDMG	20 ml	6 ml	>50
	Tartaric acid	0.5 g	0.25 g	
	6 M HNO <sub>3</sub>	10 ml	10 ml	
	6 M NH <sub>3</sub>	5 ml	1 ml	
	สารตัวอย่าง	0.45 g	0.07 g	
4. การไทเทรตแบบต่าง ๆ				
4.1 การปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู	ตัวอย่างน้ำส้มสายชู	5 ml	2.5 ml	50
4.2 การปริมาณ Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ในตัวอย่างโซดาแอช	สารตัวอย่างโซดาแอช	0.2 g	0.1 g	50
4.3 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ในเทรต 0.01 M วิธีของฟาเจนต์ (Fajan)	NaCl	0.2 g	0.1 g	50
4.4 การหาความเข้มข้นของสารละลาย NaCl โดยวิธีของ Mohr	0.01 M NaCl	20 ml	10 ml	50
	0.1 M K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	1 ml	0.5 ml	
5. การใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส				
5.1 การหาค่า K <sub>a</sub> และน้ำหนักสมมูลของกรดอ่อน	0.1 M NaOH สารตัวอย่างกรดอ่อน	100 ml 0.2 g	50 ml 0.1 g	50

## บทที่ 5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

### สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองพัฒนาและปรับปรุงคู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณการใช้สารเคมีให้มากที่สุด และพัฒนาปฏิบัติการให้ทันสมัย โดยเน้นให้นักศึกษาคิดและแก้ปัญหามากกว่าที่จะทำการทดลองตามคู่มือปฏิบัติการโดยไม่ได้มีการคิดวิเคราะห์ จากการวิจัยพัฒนาสามารถลดปริมาณสารเคมีลงไปได้ถึง 50% เป็นการประหยัดงบประมาณ นอกจากนี้ยังเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม เพิ่มความตระหนักแก่นักศึกษาในการที่จะช่วยกันประหยัดและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

### ข้อเสนอแนะ อุปสรรค และแนวทางการวิจัยต่อ

การลดปริมาณสารเคมีลงไม่ได้มีความเหมาะสมกับทุกปฏิบัติการ โดยเฉพาะการวิเคราะห์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอน จึงต้องมีการพัฒนาปฏิบัติการนี้ต่อไป



# บรรณานุกรม

- [1] อีรศักดิ์ วิจารณ์ธารา. พื้นฐานการคำนวณในงานวิเคราะห์เชิงปริมาณ พิมพ์ครั้งที่ 1 นครปฐม 2551, เพชรเกษมการพิมพ์
- [2] ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. การวิเคราะห์กึ่งจุลภาค (Semimicro Analysis) พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ 2547, สำนักพิมพ์ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. เคมีวิเคราะห์ พิมพ์ครั้งที่ 9 กรุงเทพฯ 2550, สำนักพิมพ์ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] Robert D. Braun, "Introduction to Chemical Analysis." McGraw-Hill Book Company, New York, 1982
- [5] Douglas A. Skoog and Donald M. West, "Fundamentals of Analytical Chemistry". Holt-Saunders International Edition, Tokyo, 1982.
- [6] Douglas A. Skoog and Donald M. West, "Principles of Instrumental Analysis". Holt-Saunders International Edition, Tokyo, 1980.



# ประวัติผู้ทำวิจัย

## 1.1 หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาวสิริรัตน์ พานิช

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Sirirat Panich

ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กลุ่ม เคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (ศูนย์พระนครเหนือ)

เลขที่ 1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4610 E-mail sirirat.pan@rmutp.ac.th

บทบาท ศึกษา ค้นคว้า สืบค้นและรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง และศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 1.2 ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาวอัญชญา ชัตติยะวงศ์

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) Miss Anchana Kuttiyawong

ตำแหน่ง อาจารย์

ที่อยู่ กลุ่มวิชาเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร

เลขที่ 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

E-mail : anchanakae@yahoo.co.th, kittiyawong.k@hotmail.com

บทบาท ศึกษา ค้นคว้า สืบค้นและรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง และศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

# ภาคผนวก



## การหาปริมาณดินประสิวในไส้กรอก

### Determination of Saltpeter (Potassium Nitrate) in Sausages

พรสุดา โฉมกระโทก<sup>1</sup>, พีรวิชัย วาขุนทด<sup>1</sup> และ สิริรัตน์ พานิช<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup> สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: siniratpan@mmutp.ac.th

#### บทคัดย่อ

ดินประสิวหรือโพแทสเซียมไนเตรตถูกเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำมาจากเนื้อสัตว์ตัวอย่าง เช่น ไส้กรอกเพื่อให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามการบริโภคดินประสิวในปริมาณมากอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ ดังนั้นการหาปริมาณดินประสิวจึงมีความสำคัญมากเนื่องจากการเติมดินประสิวมักเกินไปเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายและส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ในปัจจุบันเทคนิคต่างๆ ทางเคมีวิเคราะห์ได้ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณของดินประสิวมักเกินไป เทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเทคนิคที่มีข้อดีเหนือกว่าเทคนิคอื่นๆ ได้แก่วิธีการวิเคราะห์ง่าย และราคาถูก การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณดินประสิวมักเกินไปจากผลการทำปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไนเตรตและสารก่อสีซึ่งประกอบไปด้วยกรดฟอสฟอริกและซัลฟาไมด์ โดยพบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.05-0.40 โมลต่อลิตร จากการทดลองพบว่าตัวอย่างไส้กรอกทั้ง 2 ชนิดที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณของดินประสิวมักเกินไปเกินที่กฎหมายกำหนด

**คำสำคัญ:** ดินประสิว, โพแทสเซียมไนเตรต, สเปกโตรโฟโตมิเตอร์, ไมโครเวฟไดเจสชัน

#### Abstract

Potassium nitrate or saltpeter is added to meat products, for example sausages, to extend shelf-life and enhance food texture. However, in high doses it can increase a risk of poor health. Consequently, quantification of saltpeter in food is essential for legislative purposes and consumer health. In order to determine the amount of saltpetre in food products, various techniques have been proposed. Among of them, colorimetric analysis offers attractive advantages compared with other procedures, such as simple and low cost. In this work, a simple and inexpensive analysis method for determination of potassium nitrate based on the spectrophotometric method was presented. The reddish-purple nitrite ions form was produced from the reaction between potassium nitrate and the colour

reagent including phosphoric acid and sulfanilamide. Calibration graph was found to be a linear over the range 0.05-0.40 mol/L potassium nitrate. According to the experiment, the potassium nitrate content of both sausage samples the nitrate-nitrogen concentration is under the acceptable standard.

**Keywords:** Saltpeter, Potassium Nitrate, Spectrophotometer, Microwave Digestion

#### 1. บทนำ

ดินประสิวหรือโพแทสเซียมไนเตรต (Potassium Nitrate) มีสูตรทางเคมีคือ  $KNO_3$  มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว เมื่อละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ประจุของโพแทสเซียม ( $K^+$ ) และไนเตรต ( $NO_3^-$ ) [1] ปัจจุบันโพแทสเซียมไนเตรตถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร โดยนำมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์โดยการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย [2] อย่างไรก็ตามการใช้โพแทสเซียมไนเตรตหรือดินประสิวมักเกินไปในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้โพแทสเซียมไนเตรตบางส่วนตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารและทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดไนโตรซามีน ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเมื่อรับประทานเป็นปริมาณมากและสะสมจนเกิดการสะสมในร่างกาย โดยส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้แก่ ปัสสาวะบ่อย อ่อนเพลีย หมดสติ [3] จากที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้หลายๆ ประเทศได้ออกมากำหนดปริมาณการใช้โพแทสเซียมไนเตรตในอาหาร เช่น สหรัฐอเมริกา กำหนดค่าให้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยค่าปริมาณสูงสุดที่รับได้ (Acceptable Daily Intake, ADI) ของโซเดียมไนเตรต ( $NaNO_2$ ) จะอยู่ที่ 0-5 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) สำหรับโพแทสเซียมไนเตรตจะอยู่ที่ 0-0.2 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และ 0.00 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) สำหรับสำหรับทารก สำหรับองค์การอนามัยโลก (WHO) นั้นได้กำหนดค่า ADI ไว้ที่ 220 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับผู้ใหญ่ ในส่วนของประเทศไทยนั้นตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 281 (พ.ศ. 2547) กำหนดให้มีการใช้เกลือโซเดียมไนเตรตและโซเดียมไนไตรท์ในอาหารผลิตภัณฑ์เนื้อหมักได้ไม่เกิน 500 และ 125 มิลลิกรัมต่อเนื้อสัตว์ 1

ก็โลกรับตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติผู้ผลิตมักใส่ในปริมาณสูงเกินกว่าที่  
กฎหมายกำหนด เพื่อให้เนื้อเป็นสีแดงน่ารับประทานทำให้เป็นที่นิยม  
ของผู้บริโภค [4] ในปัจจุบันการตรวจหาปริมาณของไนโตรเจนในเนื้อสัตว์นั้น  
อยู่หลายวิธี เช่น วิธีทางแคลอริเมตริก (Colorimetric method) วิธีฟลูออโร  
เมตริก (Fluorometric method) วิธี โพลาร์กราฟี (polarography) แต่  
วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีทางแคลอริเมตริก โดยใช้เครื่องสเปกโตร  
โฟโตมิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีฟลูออโรเมตริกและวิธี  
อื่นๆ จะใช้สารเคมีที่มีราคาสูง มีขั้นตอนยุ่งยากและใช้เวลานาน ถึงแม้ว่า  
จะมีความไวต่อการวัดสูงมาก แต่หากใช้ตรวจตัวอย่างอาหารที่มี  
องค์ประกอบหลายประเภท เช่น เนื้อสัตว์ ไขมัน น้ำตาล จะทำให้ค่าที่ได้คาด  
เคลื่อนสูง ทำให้ต้องมีการเตรียมตัวอย่างให้มีความบริสุทธิ์มาก จึงเพิ่ม  
ความซับซ้อนในการวิเคราะห์และเสียเวลามากขึ้น แต่วิธีทางแคลอริ  
เมตริกเมื่อใช้รีเอเจนต์ที่มีความจำเพาะเจาะจงเข้าไปปฏิบัติเกี่ยวกับ  
โพแทสเซียมไนเตรทจะทำให้วิธีวิเคราะห์สะดวกและรวดเร็วกว่าขึ้น  
โดยสารตัวอย่างจะทำปฏิกิริยากับสารก่อสีและดูดกลืนแสงบางส่วนไว้  
แสงที่ไม่ถูกดูดกลืนจะผ่านออกมาและถูกตรวจวัดด้วยตัวตรวจวัด เมื่อวัด  
ค่าการดูดกลืนแสงและทำการประมวลผลเป็นกราฟมาตรฐานแสดง  
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ  
โพแทสเซียมไนเตรทจะสามารถตรวจหาปริมาณไนโตรเจนในเนื้อสัตว์ใน  
อาหารประเภทเนื้อสัตว์เช่น ไส้กรอกได้ โดยการศึกษานี้ครั้งนี้และใช้  
สารก่อสีซึ่งประกอบไปด้วย 85% Phosphoric acid ( $C_2H_5N_2O_8$ ) และ  
Sulfanilamide ( $C_6H_7N_3$ ) เมื่อทำปฏิกิริยากับ โพแทสเซียมไนเตรทแล้วจะ  
ทำให้เกิดสีชมพู สามารถนำไปทำการวิเคราะห์โดยการวัดค่าการดูดกลืน  
แสง ที่ช่วงความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร [5]

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 วัสดุ

ตัวอย่างไส้กรอกจำนวน 2 ยี่ห้อ

### 2.2 สารเคมี

- 1) 85% Phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) บริษัท Quality Reagent Chemical
- 2) Sulfanilamide ( $C_6H_7N_3O_2$ ) บริษัท Alfa Aesar
- 3) N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride ( $C_{10}H_{12}N_2$ )  
บริษัท Alfa Aesar
- 4) Hydrochloric acid (HCl) บริษัท Quality Reagent Chemical

### 2.3 อุปกรณ์

- 1) เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บริษัท SHIMADZU รุ่น UV-1700 PharmaSpec
- 2) เครื่องไมโครเวฟไคเลชั่น บริษัท FreeCan รุ่น TOPEX

### 2.4 วิธีการทดลอง

#### 2.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารก่อสี

- 1) เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 2) ตวง 85% Phosphoric acid 50 มิลลิลิตร เทกรวดลงในน้ำกลั่นที่เตรียมไว้  
ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน
- 3) ชั่ง Sulfanilamide 5 กรัม เทลงในบีกเกอร์คนให้ละลายเข้ากัน
- 4) ชั่ง N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 0.5 กรัม เทลงใน  
บีกเกอร์คนให้ละลายเข้ากัน และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500  
มิลลิลิตร

#### 2.4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- 1) เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไนเตรทเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร
- 2) เปิดสารละลายโพแทสเซียมไนเตรทในข้อ 1) ปริมาตร 0.5, 1.0, 1.5,  
2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร ใช้สาร  
ก่อสี 10.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และสร้างกราฟมาตรฐาน

#### 2.4.3 ขั้นตอนการหาปริมาณดินประสิวในไส้กรอก

- 1) นำ ไส้กรอกตัวอย่างทั้งสองชนิด หั่นเป็นชิ้นขนาด 0.5x0.5x0.5  
เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.1000 กรัม ใส่ลงในกระบอกบรรจุตัวอย่าง  
ของเครื่องไมโครเวฟไคเลชั่นตามลำดับที่กำหนดไว้ในปริมาณที่เท่ากัน  
ทุกกระบอก
- 2) เปิดน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร และกรด HCl 5 มิลลิลิตรลงทุกกระบอกใน  
ปริมาณที่เท่ากันตามลำดับ
- 3) นำตัวอย่างเข้าเครื่องไมโครเวฟไคเลชั่นเพื่อทำการย่อยตัวอย่าง
- 4) นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยมารองผ่านชุดกรองสูญญากาศ
- 5) เปิดสารตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมสารก่อสี 10 มิลลิลิตร  
ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
- 6) นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 7) อ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบ  
ค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานแล้วคำนวณหาความเข้มข้นของโพแทสเซียม  
ไนเตรทในไส้กรอกจากสมการเส้นตรง

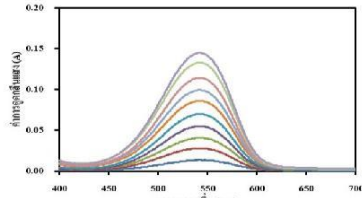
## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 กราฟมาตรฐานของ $KNO_3$

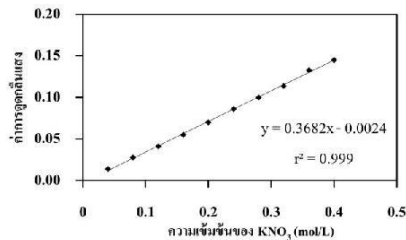
จากการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไนเตรทหรือดินประสิวในไส้  
กรอกโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เมื่อโพแทสเซียมไนเตรททำ  
ปฏิกิริยากับสารก่อสีจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีชมพู ดังแสดงใน  
รูปที่ 1 โดยสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยความ  
เข้มของสีจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรทดังแสดงใน  
รูปที่ 1 ผลการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืนแสงได้เพิ่มขึ้นตามความ  
เข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโน  
เมตรไปพล็อตกราฟกับค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรทจะได้กราฟ  
มาตรฐานที่มีสมการเส้นตรงคือ  $y=0.3682-0.0024$  โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ  
0.999



รูปที่ 1 ระดับสีของสารก่อสีที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรทก่อนเตรียมนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง



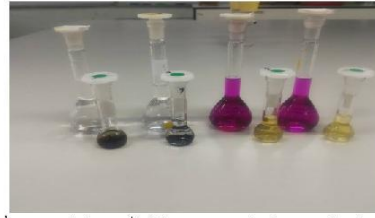
รูปที่ 2 สเปกตรัมของสารก่อสีเมื่อทำปฏิกิริยากับ โพแทสเซียมไนเตรทที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (ประกอบด้วย 85%  $C_6H_5N_2O_2S$  และ  $C_{12}H_{14}N_2$  ได้สารก่อสีไฮโมมิสี)



รูปที่ 3 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของดินประสิวในไส้กรอง

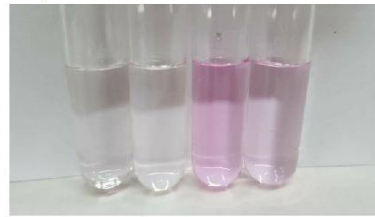
### 3.2 การวิเคราะห์ในตรทในตัวอย่างไส้กรอง

หลังจากนำตัวอย่างไส้กรองมาทำการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ ไดเจสชันได้สารละลาย ซึ่งได้นำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไนเตรท โดยพบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างทั้งสองสารตัวอย่างแล้วนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ไม่พบสารประกอบสีชมพู จึงไม่สามารถหาปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรทได้ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าไม่พบสารดินประสิวในตัวอย่างไส้กรองหรือในตัวอย่างไส้กรองมีดินประสิวยุ่ปริมาณน้อยมากจนวิธีนี้ไม่สามารถตรวจสอบได้



รูปที่ 4 ตัวอย่างไส้กรองที่ไม่ได้เติมโพแทสเซียมไนเตรท (ด้านซ้าย) โดยสามารถสังเกตได้ว่าไม่เกิดสีชมพูเกิดขึ้นขณะที่ตัวอย่างไส้กรองที่ได้เติมโพแทสเซียมไนเตรท 2 โมลต่อลิตร (ด้านขวา) จะปรากฏสีชมพูอย่างชัดเจน

เนื่องจากการวิเคราะห์ไม่พบปริมาณโพแทสเซียมไนเตรทจึงทำการเติม (spike) โดยนำตัวอย่างที่เติมโพแทสเซียมไนเตรทและดำเนินการย่อยแล้วแล้วปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำและปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตรและไปต่อมา 2.5 มิลลิลิตร ใส่สารก่อสี 10 มิลลิลิตรและนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงได้ค่าเท่ากับ 0.064 และ 0.028 ตามลำดับ และนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของ  $KNO_3$  ได้เท่ากับ 836.5 และ 347.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 5 ตัวอย่างไส้กรองทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการไดเจสชันและทำปฏิกิริยากับสารก่อสี (ซ้าย) ตัวอย่างไส้กรองทั้ง 2 ชนิดที่มีการเติมโพแทสเซียมไนเตรทก่อนผ่านการไดเจสชันและทำปฏิกิริยากับสารก่อสี (ขวา)

### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของไส้กรองที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไดเจสชันโดยเปรียบเทียบตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณของดินประสิ่วที่พบมีค่าน้อยกว่าที่กฎหมายกำหนดทั้งสองตัวอย่างจึงสามารถสรุปได้ว่าไส้กรองทั้งสองตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ไม่พบอันตรายต่อผู้บริโภค

### 6. การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

[1] ดินประสิ่ว. (2555). สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2560, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ดินประสิ่ว>

[2] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2543). ความรู้สิ่งเป็นพิษ. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2560, จาก <http://www.loveitt.com/healthy-face/รอบรู้เรื่องไนเตรทและไนโตรท>



- [3] จักรพันธุ์ ปัญจะสุวรรณ. (2542). พืชภัยในอาหาร.  
สืบค้น เมื่อ 25 กันยายน 2560,  
จาก <https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/create-web>
- [4] ประ โยชน์และปัญหาของในตราท. (2553). สืบค้นเมื่อ  
25 กันยายน 2560, จาก <http://www.thaiworm33.com/articles/ประ-โยชน์และ-ปัญหาของในตราท>
- [5] การตรวจหาปริมาณไนโตรเจนในโคโรทคก้าง.(2560). สืบค้นเมื่อ  
20 กันยายน 2560, จาก  
<http://doi.nrct.go.th/LisIDoi/Download/191819>

#### 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของ  
นักศึกษารชั้นปีที่ 2 สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครเหนือ ผู้วิจัยขอขอบคุณ  
นางสาวอรสา ฉายแสง ผู้ที่คอยดูแลห้องปฏิบัติและอำนวยความสะดวก  
ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

## การตรวจสอบขัณฑชากรในสับปะรดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

### Detection of Saccharin in Pineapples by Gravimetric Method

อลงกา ทองอ่ำไพ<sup>1</sup> ญปภัตรา ขาวเจริญ<sup>1</sup> และ สิริรัตน์ ทงนิช<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: Ajaraya-T@rmutp.ac.th, Napaphatsara-K@rmutp.ac.th

<sup>2</sup>สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>1</sup>1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: sirirat.pan@rmutp.ac.th

#### บทคัดย่อ

ขัณฑชากรเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่ไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย โดยมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครสถึง 300-400 เท่า อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าสารวิโคคซันชากรในปริมาณมากมีความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งกระเพาะปัสสาวะในหนู ทำให้ขัณฑชากรถูกจัดอยู่ในกลุ่ม 2B หรือเป็นสารที่มีโอกาสที่จะทำให้เกิดมะเร็งได้ในมนุษย์ โดย International Agency for Research on Cancer หรือ IARC การหาปริมาณขัณฑชากรนั้นทำได้ยาก เนื่องจากขัณฑชากรไม่มีสีและไม่มีกลิ่น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะหาวิธีในการตรวจสอบขัณฑชากรในตัวอย่างสับปะรดที่ง่าย ราคาถูก และ ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงในห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนักของตะกอนที่เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างขัณฑชากรและสารประกอบ  $FeCl_3$  คำสำคัญ: ขัณฑชากร, สับปะรด, เฟอร์ริคลอไรด์

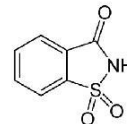
#### Abstract

Saccharin is an artificial sweetener which does not provide any calories to the body. It is also sweeter than sucrose about 300-400 times. However, many studies found an association between consumption of high doses of saccharin and the development of bladder cancer in rat. As a result, the International Agency for Research on Cancer (IARC) originally classified saccharin in Group 2B ("possibly carcinogenic to humans"). Detection of saccharin in food such as fresh fruits is difficult as it is colorless and odorless. In this work, a simple method is described for the detection of saccharine in pineapple. The method is based on gravimetric analysis from the co-ordination complex between saccharin and  $FeCl_3$ . The precipitation of the complex can be used for qualitative analysis of saccharin without any expensive instrument in the laboratory.

**Keywords:** Saccharin, Pine apple,  $FeCl_3$

#### 1. บทนำ

แซ็กคารีน (Saccharin) หรือชื่อที่คนไทยนิยมเรียกกันคือขัณฑชากรหรือดีน้ำตาล เป็นสารสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ทนต่อความร้อน ละลายในน้ำได้ดี ไม่มีกลิ่น ราคาถูก [1] โดยให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 300-700 เท่า จึงถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาล (Sugar substitute) [2] เนื่องจากขัณฑชากรเป็นสารที่ไม่มีแคลอรีจึงไม่ให้พลังงาน อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับและถูกนำมาใช้กับผลไม้ที่ให้ผลผลิตไม่ตรงตามฤดูกาลเพื่อแก้ปัญหาผลไม้ไม่หวาน โดยเฉพาะรถเข็นขายผลไม้ในประเทศไทย [3] รวมทั้งในน้ำอัดลม น้ำหวาน และผลไม้แช่อิ่ม [4] อย่างไรก็ตามผู้บริโภคอาจรู้สึกขมที่ปลายลิ้นถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปซึ่งเป็นข้อเสียของขัณฑชากร



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของขัณฑชากร

ความปลอดภัยของการบริโภคขัณฑชากรยังเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่นักวิชาการได้ถกเถียงกันมาเป็นระยะเวลายาวนาน อย่างไรก็ตามได้มีการทดลองพบว่าขัณฑชากรทำให้เกิดโรคมะเร็งกระเพาะปัสสาวะในสัตว์ทดลอง นอกจากนี้การได้รับขัณฑชากรในปริมาณที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน ท้องเสีย และมีที่ในคนผิวหน้าได้ จึงทำให้หลายประเทศออกประกาศห้ามใช้ขัณฑชากรเป็นส่วนผสมในอาหาร โดยในประเทศไทยห้ามใช้ขัณฑชากรเป็นส่วนประกอบของเครื่องดื่ม อาหาร และผลไม้ [5] แต่สำนักงานอาหารและยาก็ได้ยอมรับว่าการตรวจสอบอาหารที่มีการใส่ขัณฑชากรเป็นไปได้ค่อนข้างยากเนื่องจากขัณฑชากรไม่มีสี ไม่มีกลิ่น จึงต้องทำการทดสอบด้วยการชิม หรือต้องนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น ซึ่งต้องใช้สารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาแพง [6]

เมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 ที่ผ่านมา มีข่าวครึกโครมทางหน้าหนังสือพิมพ์ซึ่งได้รายงานเกี่ยวกับการร้องเรียนจากการสั่งซื้อสับปะรดแช่แข็งของประเทศไทยจากประเทศไต้หวันว่าหลังจากรับประทานแล้วพบว่ามีรสชาติที่หวานผิดปกติคาดว่าน่าจะเกิดจากการเติมสารให้ความ

หวาน ซึ่งคิดกฎหมายด้านสุขอนามัยอาหารของ ได้พบว่าที่ห้ามใส่สารปรุงแต่งใดๆ ในสินค้าผลไม้สดหรือผลไม้แช่แข็ง โดยเมื่อทำการตรวจสอบพบว่าระดับกรดดังกล่าวมีการเติมสารให้ความหวานคือแซนธาซีน โดยพบมากถึง 1.1 g/kg ทำให้ผู้นำเข้าต้องปรับ โทษปรับ นอกจากนี้ยังส่งผลเสียต่อสภาพผลิตภัณฑ์ทางการส่งออกของประเทศไทยอีกด้วย [7]–[9]

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นถึงปัญหาและความสำคัญของการวิเคราะห์แซนธาซีน งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีในการทดสอบผลไม่ที่ผู้ขายตั้งใจผสมแซนธาซีนลงไปด้วยเทคนิคที่ง่าย ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน โดยเลือกทดสอบในสัปดาห์เนื่องจากสัปดาห์เป็นผลไม่ที่นิยมเติมแซนธาซีน และจากข่าวที่พบว่าสัปดาห์จากประเทศไทยที่ทำการส่งออกถูกกักตุนเนื่องจากปัญหาการเติมแซนธาซีนลงไป ซึ่งถ้ามีวิธีที่ง่ายในการตรวจสอบอาจจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 สารเคมี

- 1) Saccharin (C<sub>7</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub>S) บริษัท Chemwinfin
- 2) Iron(II)Chloride Hexahydrate (FeCl<sub>2</sub>) บริษัท QRec
- 3) Iron(III)Nitrate (Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) บริษัท Ajax Finechem
- 4) Cobalt(II)Chloride (CoCl<sub>2</sub>) บริษัท Univar
- 5) Nickel Sulphate (NiSO<sub>4</sub>) บริษัท Ajax Finechem
- 6) Copper(II)Sulfate (CuSO<sub>4</sub>) บริษัท Hannong Chemical
- 7) Zinc Sulfate (ZnSO<sub>4</sub>) บริษัท Guangdong Guanghua Chemical Factory

### 2.2 อุปกรณ์

- 1) ชุดกรองสุญญากาศ
- 2) เครื่องเขย่าสาร รุ่น KMC-130V บริษัท Vizon Scientific
- 3) ตู้อบลมร้อน รุ่น 100-800 บริษัท Memmert

### 2.3 วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาชนิดของโลหะที่เหมาะสมในการผลิตสารประกอบเชิงซ้อน

- 1) เตรียมสารประกอบของโลหะทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ FeCl<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>, CoCl<sub>2</sub>, ZnSO<sub>4</sub> และ NiSO<sub>4</sub> ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร
- 2) นำสารประกอบ โลหะแต่ละชนิดและ สารละลายแซนธาซีน ใส่ลงในหลอดทดลองในอัตราส่วนโดยปริมาตรที่เท่ากัน 1:1 และนำไปผสมด้วยเครื่องเขย่า (Vortex mixer) หลอดละ 25 วินาที
- 3) สังเกตการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสารประกอบ โลหะหนักทั้ง 5 ชนิดกับแซนธาซีน โดยดูจากลักษณะของสีที่เปลี่ยนแปลงไปและปริมาณของตะกอนที่เกิดขึ้น

ตอนที่ 2 ศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแซนธาซีน

- 1) จากการศึกษาทดลองในตอนที่ 1 เมื่อได้ชนิดของสารประกอบของโลหะที่เหมาะสมแล้ว นำมาศึกษาต่อโดยการทำปฏิกิริยากับแซนธาซีนที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยเติมสารละลายแซนธาซีนเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิลิตรตามลำดับ และเติมสารละลาย FeCl<sub>2</sub> เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรเท่ากัน ทั้งหมดและปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร
- 2) นำสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับแซนธาซีนในข้อ 1) มากรองและใส่ในครุซีเมนต์กับกระดาษกรองที่ซึ่งน้ำหนักและอบเรียบร้อยแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C รอให้เย็นและชั่งจนได้น้ำหนักจะไม่เปลี่ยนแปลง
- 3) บันทึกและคำนวณหาปริมาณของตะกอน

ตอนที่ 3 ศึกษาการหาปริมาณแซนธาซีนในตัวอย่างสัปดาห์

- 1) เนื่องจากไม่สามารถหาตัวอย่าง สัปดาห์ที่มีการผสมแซนธาซีน ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงทำการเติมแซนธาซีนลงในตัวอย่างสัปดาห์ โดยเตรียมตัวอย่างสัปดาห์ (ใช้สัปดาห์ทั้งหมดที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก ปอกเปลือกหั่นเป็นชิ้น) 2 ตัวอย่าง นำไปชั่งให้ได้ น้ำหนักที่เท่ากัน และนำตัวอย่างที่ 1 ไปเติมแซนธาซีน 1.00 กรัมทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ส่วนตัวอย่างที่ 2 ไม่มีการเติมแซนธาซีน
- 2) นำตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นทำการกรองและแยกเนื้อกับน้ำสัปดาห์ออกจากกัน
- 3) นำน้ำสัปดาห์จากตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างมาผสมกับสารละลาย 1.0 โมลต่อลิตร FeCl<sub>2</sub> ในสัดส่วนที่เท่ากัน โดยปริมาตร 1:1 ทำซ้ำ 3 ครั้ง
- 4) ทำการทดลองเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 2 (ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมแซนธาซีน)
- 5) กรองเอาเฉพาะตะกอนที่ได้จากทั้ง 2 ตัวอย่าง จากนั้นนำตะกอนที่ได้จากทั้ง 2 ตัวอย่างพร้อมกระดาษกรอง ใส่ครุซีเมนต์ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว นำไปอบด้วยตู้อบจนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่ บันทึกน้ำหนักของตะกอน

### 2.4 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ชนิดของโลหะที่เหมาะสมในการผลิตสารประกอบเชิงซ้อน

จากการทดลองในตอนที่ 1 พบว่าสารประกอบของโลหะทั้ง 5 ชนิดเมื่อเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ทั้งหมดจะมีลักษณะใสและมีสีที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2 สารละลายของแซนธาซีนจะมีลักษณะใส ไม่มีสี เมื่อนำสารประกอบ โลหะทั้ง 5 ชนิด มาใส่หลอดทดลอง โดยผสมกับ สารละลายแซนธาซีน สัดส่วน 1:1 โดยปริมาตรพบว่า โลหะทั้งหมดชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3



**รูปที่ 2** ขีของสารประกอบโลหะทั้ง 6 ชนิดที่ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร สารประกอบของ  $\text{CuSO}_4$  และ  $\text{NiSO}_4$  ไม่พบการเปลี่ยนแปลง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและไม่เกิดตะกอน สารประกอบของ  $\text{ZnSO}_4$  และ  $\text{CoCl}_2$  เกิดตะกอนขุ่นสีขาวซึ่งเป็นสีเดียวกับผลึกของซัลเฟต กร นอกจากนี้สารประกอบของ  $\text{CoCl}_2$  ยังเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงไม่เลือกสารประกอบดังกล่าวเพื่อใช้ทดสอบซัลเฟต สารประกอบของ  $\text{FeCl}_2$  จะสังเกตเห็นเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงอย่างชัดเจนที่ก้นหลอด จึงเลือกสารประกอบของ  $\text{FeCl}_2$  เพื่อทำการทดลองต่อไป ลักษณะของตะกอนแสดงในรูปที่ 3



**รูปที่ 3** สารประกอบโลหะหลังเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับซัลเฟต กร

**ตอนที่ 2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซัลเฟตกับ  $\text{FeCl}_2$**

จากการทดลองในตอนที่ 1 พบว่า  $\text{FeCl}_2$  เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกับซัลเฟตที่สุก จึงนำมาทดสอบการตกตะกอนอีกครั้ง โดยการเพิ่มปริมาณของซัลเฟตแต่ให้ปริมาณของสารประกอบของ  $\text{FeCl}_2$  คงที่ จากการทดลองพบว่า  $\text{FeCl}_2$  เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับซัลเฟตได้ดีและในระยะเวลาที่รวดเร็ว สังเกตจากตะกอนที่ได้จะมีสีน้ำตาลปนแดงชัดเจนสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าดังแสดงในรูปที่ 4



**รูปที่ 4** ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง  $\text{FeCl}_2$  กับซัลเฟตที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

เมื่อเพิ่มปริมาณของซัลเฟตพบว่าน้ำหนักของตะกอนก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งหลักการนี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของซัลเฟต กร ในตัวอย่างได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน แต่จากทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟตแต่ปริมาณของตะกอนเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามเป็นสัดส่วนกัน จึงสามารถทดสอบได้แค่คุณภาพวิเคราะห์เท่านั้น

**ตารางที่ 1** น้ำหนักของตะกอน

ปริมาณซัลเฟตที่เติม (ml)	ตะกอน (g)
0.1	0.04
0.3	0.31
0.4	0.47

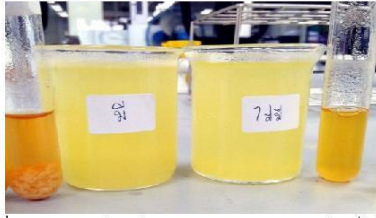
**ตอนที่ 3 ปริมาณซัลเฟตกรในตัวอย่างกับประรด**

ตัวอย่างกับประรดที่มีซัลเฟตกรหลังจากปั่นและแยกเฉพาะ ส่วนที่เป็นน้ำด้วยการกรองแล้วพบว่าสีลักษณะที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างกับประรดที่ไม่มีการเติมซัลเฟตกร โดยไม่สามารถแยกได้ด้วยตาเปล่าแสดงดังรูปที่ 5



**รูปที่ 5** น้ำที่ได้จากการกรองตัวอย่างกับประรดที่เติม (ขวา) และไม่เติมซัลเฟตกร (ซ้าย) ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันทุกประการไม่สามารถแยกได้ด้วยตาเปล่าเนื่องจากซัลเฟตกรไม่มีสีและไม่มีกลิ่น ทำให้ยากต่อการตรวจพบนอกจากการชิม

เมื่อนำน้ำจากการกรองตัวอย่างกับประรดมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{FeCl}_2$  พบว่าตัวอย่างกับประรดที่ไม่ได้เติมซัลเฟตกรมีสีที่เข้มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากสีของสารประกอบ  $\text{FeCl}_2$  และไม่พบการตกตะกอนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า เมื่อนำไปกรองและนำเข้าเครื่องอบและอบจนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักตะกอนได้  $0.00 \pm 0.01$  มิลลิกรัม ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมซัลเฟตกรจะเกิดตะกอนสีส้มแดงอย่างชัดเจน สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเมื่อนำตะกอนไปกรองหลังจากนั้นอบให้แห้งและชั่งน้ำหนักพบตะกอนหนัก  $40 \pm 0.01$  มิลลิกรัม แสดงดังรูปที่ 6



**รูปที่ 6** แสดงการเปรียบเทียบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบ  $FeCl_3$  กับน้ำที่ได้การกรองของตัวอย่างสับประรดที่เติมซังชาสตร (ซ้าย) และไม่เติม (ขวา) ซึ่งสามารถสังเกตจากตะกอนที่ตกค้างแตกต่างกันอย่างชัดเจน

### 3. สรุปผลการทดลอง

ซังชาสตรถึงแม้ว่าจะให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลมาก และไม่ให้พลังงาน แต่ก็ไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภคในปริมาณมาก การเติมซังชาสตรลงไปอย่างตั้งใจจากเกษตรกรอาจทำให้เกิดผลเสียต่อผู้บริโภค โดยอาจจะส่งผลเสียต่อสุขภาพในระยะยาว ซึ่งเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมาย การตรวจหาว่ามีสารเติมซังชาสตรในอาหารเช่น สับประรดหรือไม่ในปัจจุบันนี้ยังทำได้ยากหากไม่ได้ใช้วิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการคิดค้นวิธีที่ง่าย สะดวก จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งแก่ผู้บริโภค งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการใช้ปฏิกิริยาที่ง่าย ราคาถูก และไม่ซับซ้อนในการตรวจหาการเจือปนของซังชาสตร ถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถหาปริมาณของซังชาสตรได้ แต่สามารถบอกได้ว่ามีหรือไม่มีซังชาสตรในตัวอย่างไม่ใช่เป็นการวิเคราะห์ที่ง่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยมีแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไปคือ การสร้างกราฟมาตรฐานจากหลายๆ ความเข้มข้นเพื่อคำนวณหาทางปริมาณวิเคราะห์ เป็นต้น

### 4. การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

- [1] "Saccharin / แซ็กคาริน หรือ ซังชาสตร - Food Wiki | Food Network Solution." [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2095/saccharin-> [Accessed: 17-Feb-2018].
- [2] "ซังชาสตร ความหวานที่มาจากอินทรชิต," *marketingwps*.
- [3] "ผลไม้รสขื่นขื่น...ปลอดภัย - thairath.co.th." [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/content/284010>. [Accessed: 17-Feb-2018].
- [4] "หวานอันตราย ผลไม้เชื่อม - thairath.co.th." [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/content/124288>. [Accessed: 17-Feb-2018].
- [5] "มารู้จักน้ำตาลเทียมกันเถอะ," ข้อมูลสุขภาพ มูลนิธิหมอชาวบ้าน [Online]. Available: <https://www.doctor.or.th/article/detail/4339>. [Accessed: 17-Feb-2018].

- [6] "วิธีเลือกซื้อผลไม้รสขื่นขื่น - Jasyln." [Online]. Available: <https://www.jaslynsense.com/>. [Accessed: 17-Feb-2018].
- [7] "ได้พบ 'ซังชาสตร' ในสับประรดไทย - โพสต์ทูเดย์ เศรษฐกิจ." [Online]. Available: <https://www.posttoday.com/economy/504972>. [Accessed: 17-Feb-2018].
- [8] "พบซังชาสตรในสับประรดแช่แข็ง," *MSN*. [Online]. Available: <https://www.msn.com/th-th/money/other/ar-AA0Jnsf>. [Accessed: 17-Feb-2018].
- [9] "พบซังชาสตรในสับประรดแช่แข็ง | ดลินิวส์." [Online]. Available: <https://www.dailynews.co.th/economic/587350>. [Accessed: 17-Feb-2018].

### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวอรสา ฉายแสง ผู้ที่คอยดูแลห้องปฏิบัติการและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี



**ชื่อ** อรสา ทองอำไพ  
**สาขา** สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
**งานวิจัยที่ศึกษา** งานวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม



**ชื่อ** ณปรัดดา จวานเจริญ  
**สาขา** สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
**งานวิจัยที่ศึกษา** งานวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

## โครงการวิชาเคมีวิเคราะห์

Mini-project in Analytical chemistry

### การหาปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาว

จิรภัทร จันทาเชิด<sup>1</sup> และ เกียรติศักดิ์ ชัยสงค์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: posskiku@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

เนื่องจากฟอสเฟตมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และเมื่อมันอยู่ในน้ำเสียย่อมมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาว ส่งผลให้มีผักกาดขาวที่มีปริมาณที่มากจนเกินไปก่อให้เกิดความเสียหายมากขึ้น ดังนั้นจึงหาว่าปริมาณฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างมีปริมาณเท่าใดและก่อให้เกิดผักกาดขาวหรือไม่

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอย่าง, รูปแบบตัวอย่าง

#### 1. บทนำ

ปัญหาผักกาดขาวในแม่น้ำลำคลอง เป็นปัญหาที่อยู่คู่ระบบนิเวศทางน้ำของไทยมาอย่างยาวนาน ทั้งก่อให้เกิดน้ำเน่าเสีย กีดขวางการไหลของน้ำ รวมไปถึงการทำให้อุณหภูมิในน้ำสูงขึ้น ซึ่งปัญหาทั้งหลายดังกล่าวกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ ก่อให้เกิดความรำคาญของคนหลายๆ กลุ่ม โดยเฉพาะผู้ที่ต้องใช้ชีวิตเกี่ยวกับน้ำ การที่มีผักกาดขาวเต็มผืนน้ำเรียกว่าปรากฏการณ์บุบมอย่างรวดเร็วจึงเรียกว่า หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน มีสาเหตุมาจากการที่แหล่งน้ำอุดมไปด้วยธาตุอาหารของพืชเป็นจำนวนมาก ทั้งสาร โนตส ฟอสเฟตที่มากับสารเคมีที่เราใช้กันอยู่ในชีวิตประจำวัน อย่างเช่น ผงซักฟอก ปุ๋ย เมื่อธาตุอาหารเยอะก็เกิดการบูมของผักกาดขาวได้เป็นอย่างดี จึงเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าสภาพแหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสีย

#### ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารจำพวก สารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้จำเป็นต่อการเจริญเติบโตสำหรับแพลงตอนพืชและสาหร่ายอันเป็นแหล่งอาหารชั้นต้นของห่วงโซ่อาหาร ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ก็จะไปกระตุ้นให้พืชสีเขียวในลำน้ำมีการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น และเจริญเติบโตแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งนับว่าเป็นการเพิ่มผลผลิตของแหล่งน้ำนั้น และเป็นอาหารต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ แต่เมื่อมีปริมาณที่มากเกินไปร่วมกับสารอินทรีย์แล้ว ในที่สุดก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางระบบนิเวศทางน้ำขึ้น เนื่องจาก ปกติการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นได้เฉพาะตอนกลางวัน ส่วนตอนกลางคืนสาหร่ายและพืชสีเขียวจะใช้ ออกซิเจนหายใจและคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ดังนั้นในช่วงเวลากลางวัน แหล่งน้ำที่เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันจะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงเกินกว่าขีดความเข้มข้นสูงสุด แต่ตอน

กลางคืนระดับออกซิเจนก็จะลดลงบางแห่งเป็นมากอาจลดลงถึงศูนย์ในกรณีเช่นนี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น จนอาจทำให้สัตว์น้ำตายในเวลาเพียงชั่วข้ามคืนเดียว การเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำที่ปราศจากการปนเปื้อนของมลพิษจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆในธรรมชาติ แต่ถ้าเกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่ ได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์และธาตุอาหารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นเหตุให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์บางชนิดจนเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “กระแสน้ำแดง” (Red Tide) ในทะเลและทะเลสาบซึ่งจะสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน กระแสน้ำแดงนี้เกิดจากการเจริญเติบโตของแพลงตอนบางชนิดอย่างรวดเร็วและทำให้สีของน้ำเปลี่ยนไปด้วย มีปัจจัยหลายชนิดที่เป็นการบ่งบอกว่าเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ได้แก่ สีของน้ำ ความขุ่น ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเข้มข้นของก๊าซไดออกซิเจนไดไฮดรอกซิลไฮโดรไรลด์ ค่าไนโตรเจนรวมค่าฟอสฟอรัสรวม และปริมาณของแพลงตอนพืชและแพลงตอนสัตว์ที่มีอยู่

#### 2. วิธีการทดลอง

##### การเตรียมสารละลายมาตรฐานลิบลิคต

1. ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ( $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 กรัม ในน้ำร้อน 20 มิลลิลิตร ที่ pH 4.5
2. ละลายแอมโมเนียมเมทาคาเวนนาต  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  0.1 กรัม ในน้ำร้อน 12.5 มิลลิลิตร ที่ pH 4.5 แล้วเติมกรดเปอร์คลอริก 70% ลงไป 22.5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เย็น
3. ค่อยๆผสม สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ลงในสารละลายแอมโมเนียมเมทาคาเวนนาต โดยใช้แท่งแก้วคน และเติมน้ำจนครบ 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในขวดแก้วสีน้ำตาล

##### ขั้นตอนการตรวจสอบ

1. วัดค่า pH จากน้ำตัวอย่างให้อยู่ในช่วง pH 4-7 (ถ้า pH มากกว่า 7 ให้เติมกรด HCl เพื่อปรับ pH ในปริมาณเล็กน้อย)
2. ตวงน้ำตัวอย่าง 30 ml ลงใน volumetric flask
3. เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 10 ml
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 50 ml โดยการเติมน้ำกลั่น
5. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 120 nm
6. บันทึกค่าและนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน



## โครงการวิชาเคมีวิเคราะห์

Minimally Analytical chemistry

### 2.1 วัสดุเคมี

1. Ammonium Molybdate  $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd
2. Ammonium Metavanadate  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd
3. di-sodium hydrogen phosphate  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  บริษัท GAMMACO (THAILAND) CO.,LTD.
4. Perchloric acid 70% บริษัท Quality Reagent Chemical (QReC)

### 2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Thermo Scientific
2. ไมโครปิเปต ขนาด 1 ml
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 ml
4. กระบอกตวง ขนาด 50 ml
5. แท่งแก้วคนสาร
6. บีกเกอร์ ขนาด 250 ml

### 3. ผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณในน้ำตัวอย่าง โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นที่เหมาะสมคือ 388 นาโนเมตร 0.025 โมล ปริมาณ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 และ 1.1 มิลลิกรัม ใส่สารก่อกำเนิดสี 2.5 มิลลิกรัม ได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระดับสีตามความเข้มข้นของ  $\text{PO}_4^{3-}$  ที่เตรียมเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสงเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

จากการนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง ดังภาพที่ 1 เพื่อนำมาจากราฟมาตรฐาน ได้ค่าดังนี้ 0.142, 0.485, 0.715, 0.967, 1.271, 1.524, 1.842, 1.987, 2.029, 2.112 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 1

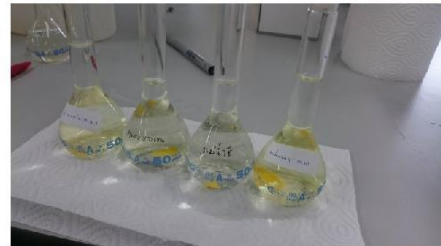
ตารางที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

ปริมาตร $\text{PO}_4^{3-}$ (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (M)
0.2	0.142	0.0002
0.3	0.485	0.0003
0.4	0.715	0.0004
0.5	0.967	0.0005
0.6	1.271	0.0006
0.7	1.524	0.0007
0.8	1.842	0.0008
0.9	1.987	0.0009
1	2.029	0.0010
1.1	2.112	0.0011

จากนั้นนำน้ำตัวอย่างดังกล่าวที่ 2 ไปตวง 30 ml ลงใน volumetric flask แล้วเติมสารละลายแวนนาเดค-โมลิบดเค 10 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 50 ml โดยการเติมน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ดังภาพที่ 3 แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 388 นาโนเมตร



ภาพที่ 2 น้ำตัวอย่างจาก แม่น้ำชี, แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าหน้าปากเกร็ด, แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าบ้านท่า และคลองบางเขน



ภาพที่ 3 น้ำตัวอย่างที่เติมสารละลายแวนนาเดค-โมลิบดเค และปรับปริมาตรเป็น 50 ml

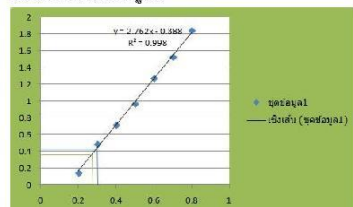
จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง เพื่อนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน พบว่าน้ำตัวอย่างมีค่าการดูดกลืนแสงดังนี้ แม่น้ำ

## โครงการวิชามิติวิเคราะห์

*Mini project: Analytical chemistry*

เจ้าพระยาบริเวณท่าน้ำปากเกร็ด เท่ากับ 0.414 A แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าน้ำนนท์ เท่ากับ 0.380 A คลองบางเขน เท่ากับ 0.076 A และแม่น้ำชี เท่ากับ 0.041 A และนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานดังแสดงในกราฟที่ 1 และคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของ  $PO_4^{3-}$  ได้ดังนี้ แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าน้ำปากเกร็ด เท่ากับ 68.339 แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าน้ำนนท์ เท่ากับ 65.500 คลองบางเขน เท่ากับ 39.635 และ แม่น้ำชี เท่ากับ 36.526 กรัมต่อลิตร

กราฟที่ 1 กราฟมาตรฐาน



### 4. สรุปผลการทดลอง

จากกราฟวิเคราะห์น้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำ 4 แหล่ง โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาความเข้มข้นของ  $PO_4^{3-}$  พบในน้ำตัวอย่างทั้ง 4

แหล่ง มีค่าความเข้มข้นของ  $PO_4^{3-}$  ที่แตกต่างกัน ดังนี้ แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าน้ำปากเกร็ด เท่ากับ 0.414 A แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณท่าน้ำนนท์ เท่ากับ 0.380 A คลองบางเขน เท่ากับ 0.076 A และแม่น้ำชี เท่ากับ 0.041 A จะเห็นว่าจากแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าการดูดกลืนแสง มากกว่า แม่น้ำชีและคลองบางเขน ดังนั้นปริมาณของหัตถ์คอบชวาในแม่น้ำเจ้าพระยาก็มีมากกว่าแม่น้ำชีและคลองบางเขน

### 6. การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

1. ฟอสฟอรัสและการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสด้วยวิธีกรดแวนเนาโดโมลิบโดฟอสฟอริก. (2557). สืบค้นเมื่อ 7 ตุลาคม 2560 จาก <http://www.thaieditorial.com/ฟอสฟอรัสและการวิเคราะห์/>
2. หัตถ์คอบชวา วิชชีชัยคู่สายน้ำ. (2556). สืบค้นเมื่อ 7 ตุลาคม 2560 จาก <http://www.jir-rsn.net/article/202>
3. ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication). (2557). สืบค้นเมื่อ 7 ตุลาคม 2560 จาก <http://www.thaieditorial.com/ยูโทรฟิเคชัน-eutrophication/>

### 7. กิตติกรรมประกาศ