พัฒนาชุดทดสอบแบบย่อส่วนในการหาปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น (DEVELOPMENT OF SMALL-SCALE FOR THE DETERMINATION OF ACETIC ACID IN DISTILLED VINEGAR)

จวงจันทร์ วุฒิพันธุ์[1]*, สุจิตรา แก้วสระ[2] และ กนกอร ศรีจันทร์ [3]

Juangjan Wudtipan[1*], Sujitra Kaewsara [2], Kanokon Srijan[3]

[1]นักวิทยาศาสตร์, สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

[1]Scientist, Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkhla University, Hat Yai, Songkhla 90112

[2]นักวิทยาศาสตร์, สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

[2]Scientist, Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkhla University, Hat Yai, Songkhla 90112

[3]นักวิทยาศาสตร์, สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

Scientist, Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkhla University, Hat Yai, Songkhla 90112

*Corresponding author, Email: sujitra.k@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดทดสอบแบบย่อส่วนโดยใช้หลอดหยดพลาสติกปลายตีบ แทนชุดการไทเทรตทั้งหมด จะเห็นว่าชุดทดสอบแบบย่อส่วนนี้ สามารถใช้สารเคมีปริมาณน้อย ลดค่าใช้จ่าย รวดเร็ว ใช้เป็นชุดสื่อการเรียนการสอนได้ เมื่อเทียบวิธีการไทเทรตมาตรฐาน จากการศึกษาผลสอบเทียบปริมาณสารที่ใช้ โดยการนับหยดวัดปริมาตรกับสายเดี่ยวมาตรฐาน เฉลี่ย 20 หยดเท่ากับ 0.40 mL แสดงว่า 1 หยดเท่ากับ 0.02 mL เมื่อทำการเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี (เทคนิคการไทเทรต และ ชุดทดสอบแบบย่อส่วน) จากผลการทดลอง สภาวะค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในช่วงต่าง ๆ ของตัวอย่าง จากฉลากจริงข้างขวด 5%$_{w/v}$ การไทเทรต จะได้ค่า SD เท่ากับ 0.01และ %RSD เท่ากับ 0.37 และชุดทดสอบ จะได้ค่า SD เท่ากับ 0.09 และ %RSD เท่ากับ 2.24 ซึ่งทั้ง 2 วิธี ได้ค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ยอมรับได้ทางเคมีวิเคราะห์

คำสำคัญ: น้ำส้มสายชูกลั่น, ปิเปตพลาสติกแบปลายตีบ

Abstract

Researchers develop the small-scale method to determine the percentage of acetic acid in vinegar to be used to test the percentage of acetic acid conveniently and can be used as a set of learning materials in the university,services for high schools. The small-scale method relies on the principle of acid-base reaction in which the vinegar is titrated with standard sodium hydroxide solution. Finally, the concentration of acetic acid in vinegar samplecan be calculated. However, the simple titration method requires many glassware, high expenses, time consuming,cumbersome, and specialized technique.To reduce such limitations, the small-scale method has developed.The plastic dropper with a constricted end has been used to represents the entire titration series. Thesmall-scale titration use only a small amount of chemicals which reduce costs and time, and can also be used as a teaching materials for the school where lack of equipment. The calibration of plastic droppers has been provided by using a standard single line (0.40 mL per pit). The result gives the average amount of 20 drops per pit, indicating that 1 drop is equal to 0.02 mL. Compared the small-scale to standard titration method, the SD from standard titration method is 0.01 and a %RSD of 0.37 while the SD from small-scall method is 0.09 and %RSD of 2.24, both of which areacceptablein analytical chemistry.

Keyword: distilled vinegar, narrow end plastic pipette

บทนำ

น้ำส้มสายชูเป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการหมัก มีองค์ประกอบหลักคือ กรดน้ำส้ม (กรดอะซิติก) น้ำส้มสายชูทั่วไปมีความเข้มข้นของกรดตั้งแต่ 4% ถึง 8% โดยปริมาณ และอาจสูงถึง 18% หากเป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากการดอง และอีกแบบมีการนำกรดอะซิติกที่บริสุทธิ์เจือจางด้วยน้ำ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ($\%_{w/v}$) จากฉลากผลิตภัณฑ์ (อสร.) แต่วิธีนี้ราคาอะซิติก บริสุทธิ์ค่อนข้างแพง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ราคาขายถูก กำไรน้อย จึงทำให้เกิดการปลอมปนในกระบวนการผลิต ทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดอะซิติกที่อยู่ในน้ำสายชูน้อยกว่าร้อยละ 5 $\%_{w/v}$ จากฉลากผลิตภัณฑ์ (อสร.)

ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดทดสอบแบบย่อส่วนสำหรับการหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่นอย่างง่าย สามารถนำมาใช้เป็นชุดสื่อการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัย และให้บริการวิชาการแก่โรงเรียนระดับมัธยมศึกษาที่สนใจหรือร่วม MOU กับมหาวิทยาลัยได้ อาศัยหลักปฏิกิริยากรด-เบส โดยนำน้ำส้มสายชูกลั่นตัวอย่าง ไทเทรตกับสารละลายเบสมาตรฐาน ใช้อินดิเคเตอร์บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงที่จุด

ยุติ คำนวณหาความเข้มข้นของกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่นตัวอย่างได้ แต่ต้องใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับการไทเทรต หลายชนิด เช่น บิวเรต, ปิเปต, stand, clamp, ขวดน้ำกลั่น, ขวดรูปกรวย, หลอดหยดพร้อมลูกยาง ซึ่งค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน มีความยุ่งยาก และต้องใช้เทคนิคเฉพาะทางในการทดลอง และต้องทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น และไม่สามารถจัดชุดอุปกรณ์ดังกล่าว ให้แก่นักเรียนได้ทำการทดลองอย่างทั่วถึง ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้คิดพัฒนาชุดทดสอบแบบย่อส่วนสำหรับหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น สามารถทดสอบสารตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่น ที่ให้ผลการทดลองที่แม่นยำและถูกต้องใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน เพิ่มช่องทางสำหรับโรงเรียนด้อยโอกาส ใช้ทฤษฎีและหลักการเดียวกัน ให้ผลการทดลองรวดเร็ว ใช้สารเคมีปริมาณน้อย ต้นทุนการทดลองต่ำมาก เมื่อเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน นักเรียนมีโอกาสทดลองได้ทุกคน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดทดสอบการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่นแบบย่อส่วน
2. เพื่อทดสอบชุดการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่นแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น

ทฤษฎี แนวคิด กรอบแนวคิด

ในการหาปริมาณกรด (HA) ในสารละลายโดยการไทเทรต เป็นวิธีการนำสารละลายของกรดเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH ก่อนถึงจุดสมมูลจะมี HA เหลืออยู่และอินดิเคเตอร์จะแสดงสีที่อยู่ในรูปกรด หลังจากเติม NaOH ลงไป HA จะทำปฏิกิริยา และทำให้เกิด NaA จนกระทั่ง HA ถูกเปลี่ยนเป็น NaA หมดพอดี ที่จุดนี้เรียกว่า จุดสมมูล (equivalent point) ถ้าเติม NaOH ลงไปอีกเล็กน้อยก็จะทำให้สารละลายที่ได้เป็นเบส ซึ่งทำให้สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนไปเป็นสีที่อยู่ในรูปเบส จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีเรียกว่าจุดยุติ (end point)

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนาชุดทดสอบแบบย่อส่วนการหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติก ในน้ำส้ม สายชูกลั่นแบบย่อส่วน เพื่อจุดประสงค์ในการลดปริมาณสารเคมี และใช้วัสดุ-อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในการทดลอง ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย และจุดสำคัญใช้หลักการและทฤษฎีเหมือนกับการไทเทรตแบบมาตรฐาน ให้ผลการวิเคราะห์น่าเชื่อถือ และชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้เป็นชุดสื่อการเรียนการสอนและงานบริการวิชาในการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น ด้วยวิธีการไทเทรต มาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ

สารเคมี : สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) , สารละลายโพแตสเซียมแอซิดธาเลต (KHP) เข้มข้น 0.1000 mol/dm^3, 0.1%w/v ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นอินดิเคเตอร์, น้ำกลั่น, สารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่าง (ความเข้มข้น 2.00, 2.50, 3.00 และ4.00 %w/v)

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว : บิวเรตขนาด 25.00 mL , Stand และ Clamp , ทรานสเฟอร์ปิเปตปริมาตร 10.00 mL, หลอดหยด + ลูกยางหลอดหยด, ขวดน้ำกลั่น , บิกเกอร์ขนาด 100 mL, กระบอกตวงขนาด 100 mL, ขวดรูปกรวย ขนาด 250 mL, ผ้าเช็ดมือ/ทิชชู

ตอนที่ 1. การทำมาตรฐานสารละลาย NaOH (mol/dm^3) เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน

1. กลั้วบิวเรตด้วย สารละลาย NaOH 2 รอบ

2. บรรจุสารละลาย NaOH ใส่ในบิวเรตและยึดกับ Stand และ Clamp

3. กลั้วปิเปตด้วยสารละลาย 0.1000 (mol/dm^3) KHP 2 รอบ

4. ปิเปตสารละลาย 0.1000 (mol/dm^3) KHP 10.00 mL ใส่ลงในขวดรูปกรวย และเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด

5. นำสารละลายจากข้อ 4 ไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH ที่บรรจุในบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน ซึ่งสีชมพูอ่อนต้องคงตัวอย่างน้อย 15 วินาที (สีชมพูจะจางหายไปได้ง่าย เพราะคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศละลายเข้าไปอยู่ในสารละลาย) บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ ทำการไทเทรตการทดลองซ้ำ อีก 2 ครั้ง (ผลการไทเทรตต่างกันไม่เกิน 0.10 mL)

6. คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH (mol/dm^3)

ความเข้มข้นของ NaOH (mol/dm^3) = $M_{KHP}.V_{KHP} / V_{NaOH}$

ตอนที่ 2. การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่น (ความเข้มข้น 2.00, 2.50, 3.00 และ 4.00 %w/v)

ทำการศึกษาตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่น ที่แต่ละความเข้มข้น โดยทำการทดลองในแต่ละความเข้มข้นซ้ำ 10 ครั้ง (n= 10) เพื่อศึกษาความแม่นยำของวิธีการทดสอบ

1. บรรจุสารละลาย NaOH ใส่ในบิวเรต

2. กลั้วปิเปตด้วยน้ำส้มสายชูตัวอย่างทางห้องปฏิบัติการแจกให้ 2 รอบ

3. ปิเปตน้ำส้มสายชูตัวอย่างปริมาตร 10.00 mL ลงในขวดรูปกรวย เติมน้ำ 25.0 mL (ใช้กระบอกตวง) และฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด

4. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่บรรจุในบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยน

จากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน คงตัวอย่างน้อย 15 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ทำการไทเทรตซ้ำ 10 ครั้ง

5. คำนวณ % น้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) ของกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง (มวลโมเลกุลของ CH_3COOH = 60.0 g/mol)

การคำนวณ % น้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการคำนวณ

$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H2O$

จากปฏิกิริยา 1 โมล NaOH ทำปฏิกิริยากับ 1 โมล CH_3COOH

จำนวนโมลของ CH_3COOH ที่ถูกไทเทรต = จำนวนโมลของ NaOH ที่ทำปฏิกิริยา

$= M_{NaOH}V_{NaOH} /1000$

= X โมล

จำนวนกรัมของ CH_3COOH ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง (เจือจาง) = X x มวลโมเลกุลกรดอะซิติก

= X x 60.0 กรัม

% w/v ของ CH_3COOH ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง (เจือจาง) = X x 60.0 x 100 / 10 = Y

% w/v ของ CH_3COOH ในน้ำส้มสายชูตัวอย่างจริง = Y x 10 % w/v

(เนื่องจากตัวอย่างเจือจางลง 10 เท่า)

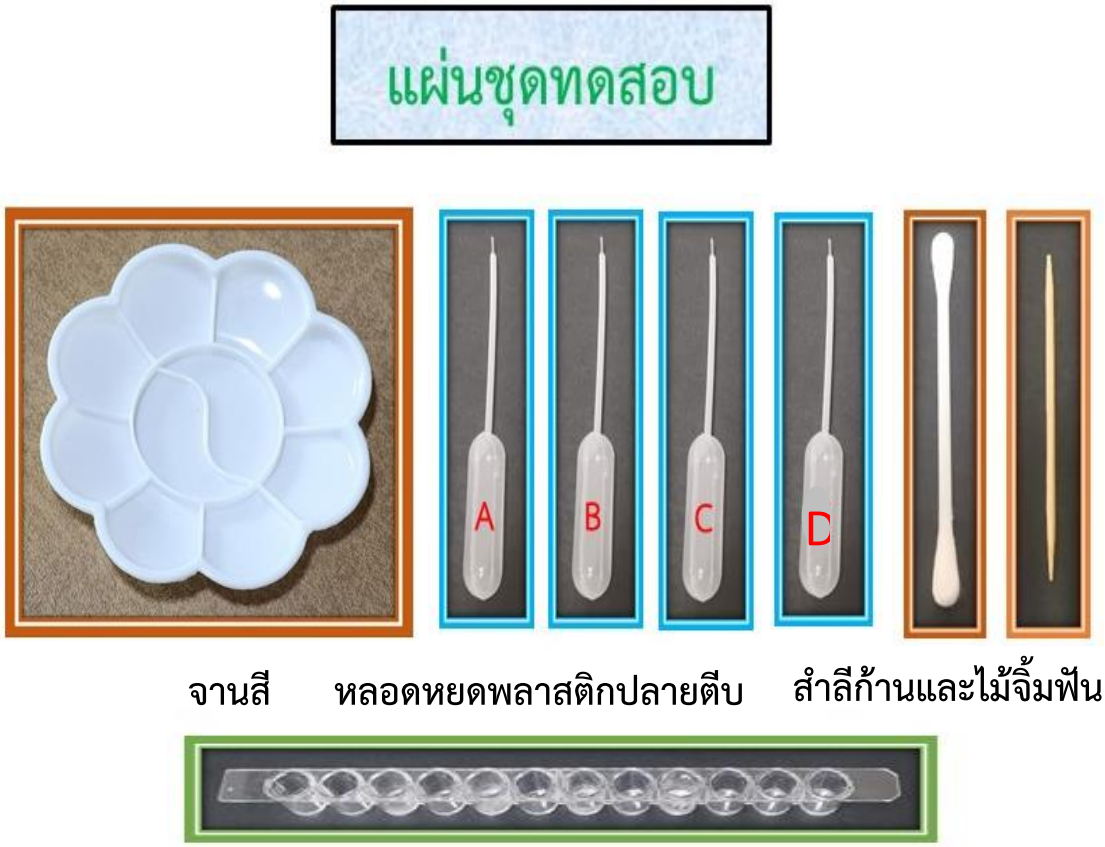
2. การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่นด้วยชุดทดสอบแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 1. การสอบเทียบมาตรฐานหยดกับสายเดี่ยว

เพื่อให้ทราบปริมาตรต่อหยดของหลอดหยดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง จึงต้องทำการสอบเทียบมาตรฐานหลอดหยดพลาสติกที่ใช้ทุกครั้งก่อนการทดลอง ด้วยสารเดี่ยวมาตรฐาน ซึ่งสามารถทำการสอบเทียบได้ดังนี้ บรรจุสารละลายในหลอดหยดพลาสติกแบบปลายตีบทุกอันที่ใช้ในการทดลองทำการปรับเทียบปริมาตรของหลอดหยดพลาสติกที่เตรียมไว้ โดยหยดสารละลายลงในหลุมสายเดี่ยวมาตรฐานนับจำนวนหยดที่แน่นอน เพื่อใช้ในการคำนวณเทียบหยดกลับภายหลัง (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

ตอนที่ 2. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH (mol/dm^3)

หยดสารละลาย 0.1000 M KHP (A) ในหลุมจานสี จำนวน 2 หยด หยดสารฟีนอล์ฟทาลีน (C) 1 หยด และ หยดสารสารละลาย NaOH (B) ทีละหยด คนสารละลายทุกครั้งหลังหยดแต่ละหยดให้ผสมกันด้วยไม้จิ้มฟัน จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสารละลายใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกจำนวนหยดสารละลาย B (ทำซ้ำ 10 ครั้ง) (ก่อนหยดสารละลายให้ไล่ฟองอากาศที่ปลายหลอดหยดพลาสติกออก และถือหลอดหยดพลาสติกในแนวดิ่ง เพื่อให้ลักษณะของหยดสารละลายที่หยดแต่ละครั้งมีปริมาตรขนาดหยดที่ใกล้เคียงกัน)



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

สารละลาย 0.1000 (mol/dm^3) KHP (A), สารสารละลาย NaOH (B), สารฟีนอล์ฟทาลีน (C), สารตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่น (D)

ตอนที่ 3. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง (ความเข้มข้น 2.00, 2.50, 3.00 และ 4.00 %w/v)

หยดสารตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่น (D) จำนวน 2 หยด ในหลุมจานสี หยดสาร C 1 หยด และหยดสาร B ทีละหยดและคนสารละลายทุกครั้งหลังหยดแต่ละหยดให้ผสมกันด้วยไม้จิ้มฟัน จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสารละลายใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาณหยดสารละลาย B จากนั้นทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง

สอบเทียบปริมาตรของหยดสารละลายจากหลอดหยดพลาสติกปลายตีบ ด้วยสายเดี่ยว โดย 20 หยด เท่ากับ 0.40 mL/1หลุม แสดงว่า 1 หยด เท่ากับ 0.02 mL การวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ สารละลาย B (mol/dm^3) ได้จากสูตร

$$NaOH\ (mol/dm^3) = M_{KHP}.V_{KHP} / V_{NaOH}$$
$$= 0.0100\ mol/dm^3 \times 0.04\ mL / 0.04\ mL$$
$$= 0.0100\ mol/dm^3$$

3. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่นระหว่างวิธีการไทเทรตมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ กับชุดทดสอบแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัย

ข้อมูลการทดลองวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกจากตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยวิธีการไทเทรตมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับชุดทดสอบแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่1. ผลการศึกษาสภาวะค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในช่วงต่าง ๆ ของตัวอย่าง (จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองซ้ำในแต่ละตัวอย่าง (n) = 10)

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นจากฉลากข้างขวด(%w/v)	Standard titration method			Small-scale method		
		(%w/v)	SD	%RSD	(%w/v)	SD	%RSD
1	2.00	2.07	±0.01	0.48	2.10	±0.09	4.22
2	2.50	2.43	±0.01	0.41	2.46	±0.09	3.70
3	3.00	2.99	±0.01	0.33	3.03	±0.09	2.97
4	4.00	3.95	±0.01	0.25	4.23	±0.09	2.29

หมายเหตุ SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation), % RSD คือ ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

จากตารางแสดงให้เห็นว่า การหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น โดยใช้ตัวอย่าง

ที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก 2.00, 2.50, 3.00 และ 4.00 %w/v ด้วยวิธีการไทเทรตมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ ได้ค่า SD เท่ากับ 0.01 และ %RSD เท่ากับ 0.37 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดสอบแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น ซึ่งได้ค่า SD เท่ากับ 0.09 และ %RSD เท่ากับ 2.24 โดยทั้ง 2 วิธี ได้ค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยอมรับได้ทางเคมีวิเคราะห์ ดังนั้นชุดทดสอบแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกน้ำส้มสายชูกลั่นได้จริงและเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือ

การอภิปรายผล

จากการศึกษาชุดทดสอบแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้น สามารถหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น ได้ค่าความแม่นและความเที่ยง ของ %RSD น้อยกว่า 5 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางเคมีวิเคราะห์ ประโยชน์ของชุดทดสอบนี้ สามารถหาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูกลั่น โดยใช้อุปกรณ์จากวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาไม่สูง ใช้สารเคมีปริมาณน้อย สะดวก รวดเร็ว ไม่ต้องทำในห้องปฏิบัติการให้ยุ่งยาก สามารถใช้เป็นชุดสื่อการเรียนการสอน และบริการวิชาการ สำหรับการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่นได้อีกช่องทาง เพิ่มโอกาสการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการคำนวณมีความซับซ้อน ดังนั้นควรมีการพัฒนาในขั้นตอนนี้ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

การหาปริมาณ กรดอะซิติก [CH_3COOH] ในน้ำส้มสายชู โดยการไทเทรต. (วิดีโอ). สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2566, จาก https://www.youtube.com/watch?v=eMBMacRMZB4

ชูติมา ศรีวิบูลย์. (2561). เคมีวิเคราะห์ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศักดิ์ศรี สุภาษร, กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา, และสุภาพ ตาเมือง. (2559). การพัฒนาการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์และการปรับแก้มโนมติสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (รายงานการวิจัย). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

MicroscaleTitrationofVinegar. (March 28, 2023). Retrieved from https://www.flinnsci.ca/api/library/Download/de1c35e281a9740c9ef3341c8a844eb5