



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at www.tsae.asia

ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตในลำไยสด

Test Efficiency of a Rapid Sulfur Dioxide Measuring Instrument for Replacing Standard Titration in Longan

สถิตย์พงศ์ รัตนคำ^{1*}, วิทยา อภัย², สนอง อมฤกษ์¹, เกียรติศักดิ์ นักร้อง¹, อภิวัฒน์ ปัญญาวงศ์¹

Satitpong Rattanakam^{1*}, Withaya Apai², Sanong Amaroek¹, Kiangsak Nukpook¹, Apiwat Panyawong¹

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร, เชียงใหม่, 50100

¹Agricultural Engineer Research Center Chiang Mai, Department of Agriculture, Chiang Mai, 50100

²สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 กรมวิชาการเกษตร, เชียงใหม่, 50100

²Office of Agricultural Research and Development Region 1, Department of Agriculture, Chiang Mai, 50100

*Corresponding author: Tel: +66-8-6722-7376, Fax: +66-53-114-119, E-mail: R.satitpong@hotmail.com

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยวิธีคูลอมเมตริกไทเทรชัน สามารถใช้ทดแทนวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) เพื่อลดขั้นตอน เวลาและต้นทุนการวิเคราะห์สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในตัวอย่างลำไยที่รมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ได้ โดยเริ่มจากการศึกษาการทำปฏิกิริยาของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) กับไอโอดีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ไฟฟ้าในสภาวะที่เป็นกรด และความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) จากนั้นสร้างต้นแบบเครื่องตรวจสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต และทดสอบเครื่องต้นแบบ พบว่าระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรง แล้วจึงทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) ในการวิเคราะห์สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในตัวอย่างลำไยที่รมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) พบว่า ค่าการตกค้างของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในเนื้อที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน AOAC (2012) ดังนั้นต้นแบบเครื่องตรวจสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต สามารถใช้คัดกรอง (Screening) เบื้องต้นกับตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ได้ โดยเครื่องต้นแบบมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

คำสำคัญ: ลำไย, เครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต, วิธีไทเทรตมาตรฐาน AOAC (2012), สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂)

Abstract

Test Efficiency of the rapid sulfur dioxide (SO₂) Measuring Instrument by coulometric titrations method. Can be to replace standard titrations method (AOAC, 2012) for reduce steps, time and cost of sulfur dioxide (SO₂) analysis in longan use fumigated with SO₂. This principle was initially from the study of the reaction of SO₂ with iodine produced by electrolysis in acidic conditions and then determines the relationship between the times of reaction with the SO₂ concentration. It was then building the prototype of rapid SO₂ measuring instrument and testing found that the time of reaction and the SO₂ concentration has a direct variation. Then test the efficiency with longan samples use fumigated with SO₂. The results showed that it was the residual SO₂ content of fruit was not different from that of standard titrations method (AOAC, 2012) and the prototype cost about 50,000 baht. The breakeven point of the prototype was 179 samples.

Keywords: Longan fresh, Rapid SO₂ measuring instrument, Standard titrations method (AOAC, 2012), sulfur dioxide (SO₂)

1 บทนำ

การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ยังคงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในปัจจุบันเพราะมีการแจ้งเตือนค่าตกค้างเกินมาตรฐาน ไม่ว่าจะลำไยส่งออกไปประเทศจีนและอีกหลายประเทศ เช่น ประเทศแคนาดา สิงคโปร์ และมาเลเซีย เป็นต้น ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะวิเคราะห์ SO_2 ด้วยวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) ในลำไยส่งออกไปประเทศจีนทุกล็อตก็ตาม การหาวิธีการวิเคราะห์ที่สะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ ปลอดภัย ใช้งานง่าย น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการนำไปใช้คัดกรองผลการทดสอบ (Screening) เบื้องต้น กับลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ก่อนส่งออกไปประเทศปลายทางได้

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลำไยส่งออกต่างประเทศในปัจจุบันคือ วิธีไทเทรต Optimized Monier-William Method (AOAC, 2012) ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยาก มีหลายขั้นตอน ใช้เวลาวิเคราะห์นาน ผู้วิเคราะห์ต้องมีความชำนาญ และเสียค่าในการวิเคราะห์สูง

ชรินทร์ และวัฒนการ (2550) พบว่า ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในอาหารและเครื่องดื่มในรูปแบบโซลิตและซัลไฟต์ ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนที่ถูกสร้างขึ้นจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าสู่สารละลายไอโอดีนผ่านขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ การใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA ในสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 0.1 % เมื่อคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา หรือเมื่อทราบระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาก็สามารถคำนวณหาปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ต้องมีพัฒนาการก่อนนำไปใช้จริงในเชิงพาณิชย์ จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจนำมาทดสอบแก้ไขปัญหาสำหรับผู้ประกอบการลำไยส่งออก

ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือตรวจวัดปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบรวดเร็วที่ตกค้างในเนื้อผลลำไยสำหรับการใช้งานภาคสนาม เช่น ในตู้คอนเทนเนอร์ระหว่างขนส่ง หรือตามด่านตรวจพืชต่างๆ เป็นต้น รวมถึงโรงรมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่ยังไม่มีเครื่องวิเคราะห์เป็นของตนเอง จึงมีแนวคิดพัฒนาการวิเคราะห์สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่ตกค้างในเนื้อผลลำไย โดยใช้วิธีคูอมเมตริกไทเทรชัน คือ อาศัยปฏิกิริยาระหว่างสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับไอโอดีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ไฟฟ้าในสภาวะที่เป็นกรด แล้วนำระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามาคำนวณหาปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งจะสะดวกและรวดเร็วสำหรับการใช้งานภาคสนาม หรือตามด่านตรวจพืชต่างๆ รวมทั้งโรงรม SO_2 ที่ยังไม่มีเครื่องวิเคราะห์เป็นของตนเอง และลดต้นทุนในการตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่ตกค้างในเนื้อผลลำไยได้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สร้างต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

ด้วยวิธีคูอมเมตริกไทเทรชัน คือ การทำปฏิกิริยาของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับไอโอดีน ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือ

1. โครงเครื่อง ทำจากแอสตันเลส มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง คือ 300 x 350 x 112 mm.
2. ชุดวงจรไฟฟ้า ประกอบด้วย
 - 2.1 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (power supply) ขนาด 0 - 30V ปรับละเอียด 0.001 A (1mA) พร้อมสายและปากคีบ
 - 2.2 นาฬิกาจับเวลา (digital timer) สั่ง เริ่ม/หยุด เวลาจากภายนอก
 - 2.3 วงจรโฟโตเซนเซอร์วัดแสง (photo sensor) ให้สัญญาณเอาท์พุทแบบอนาลอกเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA
 - 2.4 ระบบการกวนผสม (magnetic stirrer) ชนิดแท่งแม่เหล็กหมุน
 - 2.5 ชุดควบคุมแบบอนาลอก (analog controller) สำหรับรับสัญญาณจากวงจรโฟโตเซนเซอร์แสดงเป็นตัวเลขดิจิทัล และควบคุมระบบพร้อมจับเวลา
3. กล่องครอบแบบทึบแสง ใช้สำหรับกันแสงรบกวนจากภายนอก
4. ขั้วไฟฟ้า ทำจากแท่งแอสตันเลส ขนาด 4.5 mm. ยาว 200 mm.

และเครื่องต้นแบบมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท

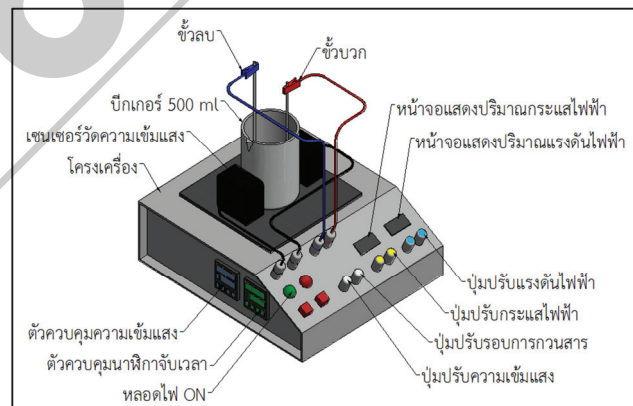


Figure 1 Prototype of rapid SO_2 Measuring Instrument

2.2 ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเบื้องต้น

โดยใช้สารมาตรฐานซัลไฟต์ คือ สารฟอร์มัลดีไฮด์โซเดียมไบซัลไฟต์ (formaldehyde sodium bisulphate) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์ 5 ระดับ คือ 10, 50, 100, 200 และ 300 ppm ตามลำดับ มี 5 กรรมวิธี ไล่ 10 ขั้ว

โดยตวงสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เข้มข้น 0.1 % ปริมาตร 200 ml, เติมน้ำแบ่งปริมาตร 4 ml และเติมสารมาตรฐานซัลไฟต์ ปริมาตร 2.5 ml สำหรับการทำไทเทรชัน จากนั้น

ต่อขั้วไฟฟ้าแสดนเลสทำงานที่ผลิตไอโอดีน (I_2) เข้าที่ขั้วบวก (anode) ส่วนขั้วไฟฟ้าแสดนเลสช่วย ต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ลงในสารละลายที่ต้องการวัดในบีกเกอร์ ปริมาตร 500 ml จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้า 10 mA พร้อมกับเริ่มจับเวลาทันทีที่สารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินม่วงให้หยุดเวลาบันทึกเวลาเป็นวินาที และให้มีระบบมีการควบคุมด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็กหมุน (magnetic stirrer) ตลอดเวลา จากนั้นสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์

2.3 ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม และลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

โดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ

1) สารละลายโพแทสเซียมไอโอดेट์ (KI) ที่ 3 ความเข้มข้น คือ 0.025%, 0.05% และ 0.1% มี 3 กรรมวิธีฯ ละ 5 ซ้ำ

2) ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดเมตริก (%) คือ 90/75, 90/80 และ 90/85 (ความเข้มแสงเริ่มต้นที่ส่องผ่านสารละลายในบีกเกอร์/ความเข้มแสงสุดท้ายที่ส่องผ่านสารละลายในบีกเกอร์) มี 3 กรรมวิธีฯ ละ 5 ซ้ำ

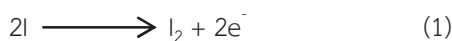
และทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์ คือ สารละลายโพแทสเซียมไอโอดेट์ (KI) เข้มข้น 0.05 % และช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดเมตริก 75/90 % โดยใช้สารมาตรฐานซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์ 6 ระดับ คือ 0, 10, 50, 100, 200 และ 300 ppm ตามลำดับ มี 6 กรรมวิธีฯ ละ 10 ซ้ำ

2.4 ทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ในการตรวจ SO_2 ที่ตกค้างในตัวอย่างลำไยที่รมด้วย SO_2 เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) จำนวน 5 ตัวอย่าง มี 2 กรรมวิธีฯ ละ 5 ซ้ำ

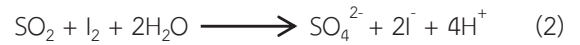
2.5 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการใช้เครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 สร้างต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยวิธีคลอเมตริกไทเทรชัน จากวิธีชรินทร์และวัฒนากร (2550) จากการศึกษาปฏิกิริยาของ SO_2 และไอโอดีนที่ขั้วไฟฟ้า โดย SO_2 อยู่ทางขั้วแอโนดในสารละลาย KI 0.1 % เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าลงไปจะเกิดการผลิตสารไอโอดีนขึ้นมาดังสมการที่ 1



ไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ SO_3^{2-} (หรือ HSO_3^- , SO_2) ต่อไปที่จนถึงจุดยุติที่อินดิเคเตอร์ คือ น้ำแบ่งเกิดการเปลี่ยนสีจากสารละลายใสกลายเป็นสีน้ำเงิน แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง SO_2 และไอโอดีนดังสมการที่ 2



ปริมาณไอโอดีนที่ถูกผลิตขึ้นและใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับ SO_3^{2-} มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

3.2 ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต พบว่า ระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง (Figure 2) สมการที่ 3

$$y = 0.0269x + 5.9454, R^2 = 0.9746 \quad (3)$$

และผลการทวนสอบสารมาตรฐานกับสมการ โดยการตรวจวัดความเข้มข้น SO_2 ด้วยเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต (Table 1) พบว่า ค่าสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 15.54 %

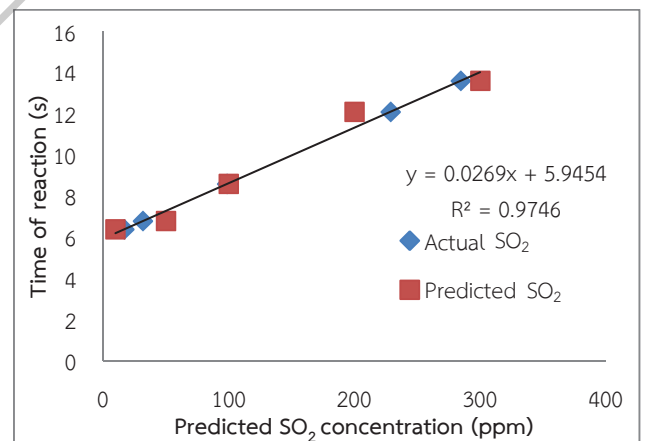


Figure 2 Testing of Prototye of rapid SO_2 Measuring Instrument, y = time (s) and x = SO_2 concentration (ppm)

Table 1 The results of the verification of standard substances with the equation $y = 0.0269x + 5.9454$

Actual SO ₂ Concentration (ppm)	Time of reaction (s)	Predicted SO ₂ Concentration (ppm)
10	6.40 ± 0.52	16.90
50	6.80 ± 0.63	54.07
100	8.60 ± 0.70	128.42
200	12.10 ± 1.10	232.51
300	13.60 ± 1.07	314.50

3.3 ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต โดยการหาสภาวะที่เหมาะสม (Figure 3-5) พบว่า สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.05 % และ 0.1 % ให้ค่า R² ไม่แตกต่างกัน แต่สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.025 % ให้ค่า R² ลดลง นั้นหมายความว่าสามารถใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.05 % ในการทดสอบของเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากเดิมที่ใช้ KI ความเข้มข้น 0.1% และช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดเมตริก (%) ที่ 90/75 ให้ค่า R² สูงสุด เมื่อเทียบกับช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาอื่นๆ จากเดิมที่ใช้ % ช่วงความเข้มข้นที่ 90/85 และมีผลทำให้ความสามารถของเครื่องในการวัดค่าความเข้มข้นต่ำช่วงระหว่าง 0-100 ppm แยกดีขึ้น ค่าความชันดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอื่นๆ สมการที่ได้ คือ สมการที่ 4

$$y = 0.0464x, R^2 = 0.9144 \quad (4)$$

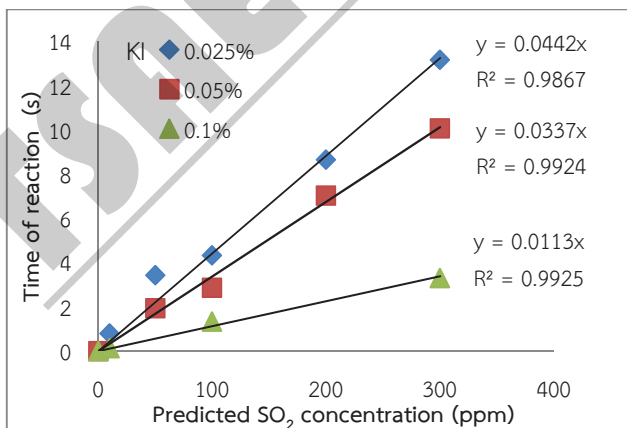


Figure 3 Test for the optimum condition of using KI

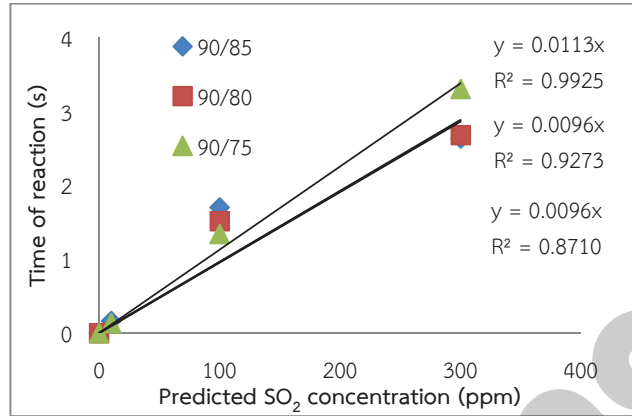


Figure 4 Test for the optimum condition of using range of light in the iodometric reaction

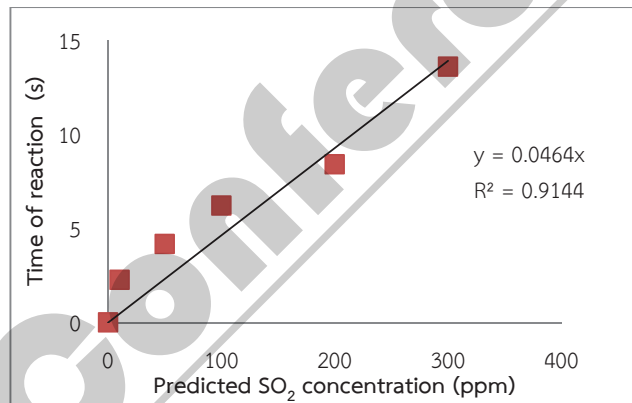


Figure 5 Testing of Prototype of rapid SO₂ Measuring Instrument, $y = \text{time (s)}$ and $x = \text{SO}_2 \text{ concentration (ppm)}$

3.4 ทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบเครื่องตรวจสอบ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ในการตรวจสอบ SO₂ ที่ตกค้างในตัวอย่างลำไยที่รม SO₂ เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) (Table 2) พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในเนื้อที่พบใกล้เคียงกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) และมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.26 - 8.38 ppm ซึ่งเครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่ตกค้างในเนื้อผลลำไย โดยสามารถใช้คัดกรอง (screening) เบื้องต้น กับลำไยที่ผ่านการรมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ได้

Table 2 Comparison of the measurement of sulfur dioxide (SO₂) in the longan samples use fumigated with SO₂. With developed methods and standard titration methods (AOAC, 2012)

Sample	Predicted SO ₂ Concentration (ppm)	
	standard titration method	developed method
Sample 1	2.63	1.68 ± 0.15
Sample 2	29.77	21.09 ± 1.06
Sample 3	3.79	0.80 ± 0.19
Sample 4	7.29	0.96 ± 0.13
Sample 5	1.64	1.38 ± 0.12

3.5 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการใช้ต้นแบบเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน AOAC (2012) หาได้จาก

$$\text{รายจ่าย} = \text{รายได้} \quad (5)$$

$$\text{คือ ค่าเครื่องต้นแบบ} = \text{จำนวนตัวอย่าง} \times \text{ค่าวิเคราะห์สาร SO}_2 - \text{ค่าสารเคมี}$$

เมื่อ - ต้นแบบเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีราคาประมาณ 50,000 บาท

- ค่าวิเคราะห์สาร SO₂ ด้วยวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) มีราคาประมาณ 300-500 บาท/ตัวอย่าง (คิดราคา 400 บาท/ตัวอย่าง)

- ค่าสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีราคาประมาณ 120 บาท/ตัวอย่าง

$$\text{แทนค่า } 50,000 = \text{จำนวนตัวอย่าง}(400 - 120)$$

$$\text{จำนวนตัวอย่าง} = 50,000/(280)$$

$$= 178.57$$

ดังนั้น จุดคุ้มทุนของต้นแบบเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

4 สรุป

เครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตด้วยเทคนิคโคลอมเมตริก ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดวงจรไฟฟ้า 3) กล้องครอบแบบทึบแสง และ 4) ขั้วไฟฟ้า ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเบื้องต้น โดยใช้สารมาตรฐานซัลไฟต์ คือ สารฟอร์มาลดีไฮด์โซเดียมไบซัลเฟต (formaldehyde sodium bisulphate) พบว่า ระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรง

จากนั้นทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม พบว่า สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความ

เข้มข้น 0.05 % และช่วงความเข้มข้นของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดิเมตริก (%) ที่ 90/75 ให้ค่า R² สูงสุด แล้วจึงทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไย SO₂ พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในเนื้อที่พบใกล้เคียงกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) และมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.26 - 8.38 ppm ซึ่งเครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่ตกค้างในเนื้อผลลำไย โดยสามารถใช้คัดกรอง (screening) เบื้องต้น กับลำไยที่ผ่านการรมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ได้ ต้นทุนต่ำกว่าวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) และสะดวกกว่าวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2012) โดยเครื่องต้นแบบมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาทและมีจุดคุ้มทุน อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการ กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ที่ช่วยในการสร้างต้นแบบเครื่องตรวจสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรต และทดสอบเก็บข้อมูลจนแล้วเสร็จ

6 เอกสารอ้างอิง

- Techapunt, C., Kaewpakdee, W. 2550. Development of rapid sulfurdioxide detection equipment for food safety purpose. The National Research Council of Thailand. Natural science journal 49(2), 33-46. (in Thai)
- AOAC. 2005a. Sulfites in Food Optimized Monier - Williams Methods, Vol.2, Ch. 47, Official Method 990.28, Section 47.3.43. In Official Method of AOAC, 17th edition.
- A.O.A.C. 2005b. AOAC Official Method 942.15 Acidity (Titratable) of Fruit Products. Revision 2, 2007. Ed., William H. and George W.L., Jr. Published by AOAC International Suite 500, USA, 18th edition.
- Kanyanee, T, Fuekhad, P. and K. Grudpan. 2013. Micro coulometric titration in a liquid drop. Talanta 115, 258-262.