

การพัฒนาชุดทดสอบตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย

**DEVELOPMENT OF A TEST KIT FOR DETECTION OF LEAD
AND SULFUR DIOXIDE IN LONGAN**

สุนิศา มินนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาชุดทดสอบตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย

สุนิสา มินนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาชุดทดสอบตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย
Development of a Test Kit for Detection of Lead and Sulfur Dioxide in
Longan
ชื่อ - นามสกุล นางสาวสุนิสา มินนัท
สาขาวิชา เคมีนิวตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริวรรณ ตี๋ภู, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์พรเพ็ญ สิริดำรง, ปร.ด.
ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์วราภรณ์ ตริพรหม, วท.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เนตรนภิส แก้วช่วย, Ph.D.)

..... กรรมการ
(อาจารย์พรเพ็ญ สิริดำรง, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริวรรณ ตี๋ภู, ปร.ด.)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิพัทธ์ จงสวัสดิ์, ปร.ด.)

วันที่ เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดทดสอบตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวสุนิสา มินนัท
สาขาวิชา	เคมีนิวตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริวรรณ ตี๋ภู, ประ.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์พรเพ็ญ ศิริดำรง, ประ.ด.
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีมูลค่าการส่งออกสูง จึงได้มีมาตรฐานกำหนดสารพิษตกค้างสูงสุดของตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างชุดทดสอบตรวจหาตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย หลักการของชุดทดสอบตะกั่วอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส ได้เป็นสารละลายสีน้ำตาลแดง สำหรับชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้เทคนิคไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ลงบนกระดาษโครมาโทกราฟี

ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของชุดทดสอบ หลังจากนั้นตรวจวัดตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างลำไยโดยใช้ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น

ผลการทดลองภายใต้สภาวะชุดทดสอบตะกั่วผลการทดลองพบว่าชุดทดสอบมีความเที่ยง ความถูกต้อง และความจำเพาะเจาะจงสูง มีช่วงความเป็นเส้นตรงคือ 0.08 – 2.00 พีพีเอ็ม ขีดจำกัดในการตรวจพบและขีดจำกัดในการตรวจพบเชิงปริมาณเท่ากับ 0.06 และ 0.2 พีพีเอ็ม ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่ามีขีดจำกัดในการตรวจพบ 30 พีพีเอ็ม สุดท้ายนำชุดทดสอบมาตรวจวัดตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างลำไย พบว่าในตัวอย่างลำไยมีตะกั่ว 0 - 0.2 พีพีเอ็ม และมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 15 - 62.5 พีพีเอ็ม ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จากชุดทดสอบสอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีข้อดีคือ มีความถูกต้องสูง ใช้งานง่าย เวลาในการวิเคราะห์น้อย และสามารถวัดตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ในภาคสนาม

คำสำคัญ : ชุดทดสอบ ตะกั่ว ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ลำไย

Thesis Title	Development of a Test Kit for Detection of Lead and Sulfur Dioxide in Longan
Name - Surname	Miss Sunisa Meenon
Program	Innovative Chemistry
Thesis Advisor	Assistant Professor Siriwan Teepoo, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Miss Pornpen Siridamrong, Ph.D.
Academic Year	2018

ABSTRACT

Longan is a major economic fruit of Thailand which has high export value. Maximum residue of lead and sulfur has been regulated. Therefore, the objective of this research is to develop a test kit to detect lead and sulfur dioxide in longan. The principle of lead test kit was based on the reaction between alizarin red S and lead resulting in reddish brown solution. Sulfur dioxide test kit was fabricated by titration technique with sodium hydroxide using phenolphthalein as an indicator on the paper chromatography.

The optimum conditions and the performances of the test kit were studied. Then the lead and sulfur dioxide were detected in longan using developed test kit.

Under the optimal conditions of the lead test kit, the results showed that the test kit provided high precision, accuracy and specificity. The linearity range was 0.08-2.00 ppm. The limit of detection and the limit of quantitation were 0.06 and 0.20 ppm., respectively. For the performance of sulfur dioxide test kit, it was found that the limit of detection was 30 ppm. Finally, the developed test kit was applied to detect lead and sulfur dioxide in longan. The concentration of lead in longan was 0.00-0.20 and the concentration of sulfur dioxide was 15.00 - 62.50 ppm. The results showed that developed test kit provided corresponding with standard method. The advantages of the developed test kit were high accuracy, easy to use, short analysis time and can be used to detect lead and sulfur dioxide in the field.

Keywords: test kit, lead, sulfur dioxide, longan

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องด้วยได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ ดีภู และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คือ ดร.พรเพ็ญ ศิริดำรง ที่ให้คำแนะนำ ดูแล เอาใจใส่ ติดตามความก้าวหน้าของงานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วราภรณ์ ศรีพรหม ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตติภิส แก้วช่วย ที่ได้เสียสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบครั้งนี้ และยังกรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขงานวิจัย ตลอดจนจนวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ โครงการภาคีบัณฑิตศึกษา โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ทุนการศึกษาและทุนสนับสนุนวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการการแยกและวิเคราะห์สารปริมาณน้อย อาคารสถาบันวิจัยเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้การสนับสนุนจนผู้วิจัยสามารถนำเอาความรู้ต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและวิทยานิพนธ์นี้ให้ประสบผลสำเร็จนอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์นี้มีข้อผิดพลาดหรือบกพร่องประการใด ผู้วิจัยกราบขอมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุนิสา มินนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญรูป.....	(9)
สารบัญตาราง.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	16
1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	18
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.1 ข้อมูลทั่วไปของลำไย.....	21
2.2 สารตกค้างในลำไย.....	22
2.2.1 ตะกั่ว.....	23
2.2.2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	25
2.3 วิเคราะห์ทั่วไป.....	27
2.3.1 ตะกั่ว.....	27
2.3.2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	29
2.4 การสร้างชุดทดสอบ.....	30
2.4.1 ชุดทดสอบตะกั่ว.....	31
2.4.2 ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	35
3.1 สารเคมี.....	35
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดลอง.....	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	51
4.1 การสร้างชุดทดสอบตะกั่ว.....	51
4.1.1 การออกแบบแบบล้อสกกรีน.....	51
4.1.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไดคลอโรมีเทน.....	53
4.1.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว.....	54
4.1.4 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบตะกั่ว.....	61
4.1.5 การสร้างชุดทดสอบตะกั่ว.....	72
4.1.6 ผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว.....	73
4.1.7 ผลการการสร้างแถบสีมาตรฐาน.....	75
4.1.8 ผลการตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบตะกั่ว.....	76
4.2 ผลการสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	77
4.2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของพอลิแลกติกต่อไดคลอโรมีเทน.....	77
4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	78
4.2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์.....	79
4.2.4 ผลการศึกษาเวลาในการเกิดปฏิกิริยา.....	81
4.2.5 ผลการศึกษาความเที่ยงของชุดทดสอบ.....	83
4.2.6 ผลการศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	85
4.2.7 ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	86
4.2.8 การสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	88
4.2.9 ผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	89
4.2.10 ผลการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริง.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
บรรณานุกรม.....	95

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ผลงานเผยแพร่ทางวิชาการ.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	119



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แนวคิดการตรวจวัดตะกั่วด้วยชุดทดสอบแบบกระดาษ.....	19
รูปที่ 1.2 แนวคิดการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	20
รูปที่ 2.1 ห้องรมลำไยด้วยระบบหมุนเวียนซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	26
รูปที่ 2.2 โรงรมลำไยจังหวัดลำพูน.....	27
รูปที่ 2.3 ชุดทดสอบตะกั่วแบบแท่ง.....	31
รูปที่ 2.4 ชุดทดสอบตะกั่ว HMT.....	32
รูปที่ 2.5 ชุดทดสอบตะกั่ว.....	33
รูปที่ 2.6 อุปกรณ์เก็บแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของชุดทดสอบที่อาศัยหลักการไทเทรต.....	34
รูปที่ 3.1 การออกแบบแบบบล็อกสกรีน.....	37
รูปที่ 3.2 วิธีสร้างชุดทดสอบตะกั่วด้วยวิธีพิมพ์สกรีน.....	38
รูปที่ 3.3 วิธีสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพิมพ์สกรีน.....	46
รูปที่ 4.1 แสดงผลการสร้างชุดทดสอบ (ก) ชุดทดสอบแบบที่ 1 (ข) ชุดทดสอบแบบที่ 2 (ค) ชุดทดสอบแบบที่ 3 และ (ง) ชุดทดสอบแบบที่ 4.....	52
รูปที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน (ก) อัตราส่วน ระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 2 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (ข) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 4 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อ ปริมาตร (ค) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 6 เปอร์เซ็นต์โดย มวลต่อปริมาตร (ง) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 8 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลต่อปริมาตร และ (จ) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร.....	53
รูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาปริมาตรของบริเวณตรวจวัด (ก) 2 ไมโครลิตร (ข) 4 ไมโครลิตร (ค) 6 ไมโครลิตร (ง) 8 ไมโครลิตร และ(จ) 10 ไมโครลิตร.....	54
รูปที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของอลิซารินเรดเอส.....	56
รูปที่ 4.5 แสดงผลของพีเอชที่เหมาะสมในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซาริน- เรดเอส	58

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซาริน-เรดเอส.....	60
รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.8 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว.	67
รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาตัวรบกวน (ก) ตะกั่ว (ข) ทองแดง (ค) แคดเมียม (ง) สังกะสี (จ) คาร์โบฟูแรน (ง) ตะกั่ว และ (ฉ) คาร์บาริล ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (ซ) แบลงค์.....	70
รูปที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาความจำเพาะเจาะจง.....	71
รูปที่ 4.11 ชุดทดสอบตะกั่ว.....	72
รูปที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว.....	74
รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.14 แถบสีมาตรฐานแสดงสีของตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน (ก) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (ข) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 6 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (ค) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 7 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (ง) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรและ (จ) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 9 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร.....	77
รูปที่ 4.16 แสดงผลการศึกษาปริมาตรของบริเวณตรวจวัด (ก) 3 ไมโครลิตร (ข) 4 ไมโครลิตร (ค) 5 ไมโครลิตร (ง) 6 ไมโครลิตร (จ) 7 ไมโครลิตร (ฉ) 8 ไมโครลิตร และ(ซ) 9 ไมโครลิตร.....	78
รูปที่ 4.17 แสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน.....	80
รูปที่ 4.18 แสดงผลการศึกษาความเสถียรของสารเคมีที่เวลา (ก) 1 นาที (ข) 2 นาที (ค) 3 นาที (ง) 4 นาที และ (จ) 5 นาที.....	81
รูปที่ 4.19 แสดงผลเวลาในการทำปฏิกิริยา	82

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 แสดงผลการศึกษาคัดจำกัในการตรวจพบของชุดทดสอบ (ก) สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข) สารละลายโซเดียม- ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 35 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค) สารละลายโซเดียมไฮดรอก- ไซด์ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความ เข้มข้น 45 มิลลิกรัมต่อลิตรและ (จ) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	86
รูปที่ 4.21 ผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (ก) ความเข้มข้น ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 900,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข) ความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,000,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮ- ดรอกไซด์ 1,100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	87
รูปที่ 4.22 ชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	88
รูปที่ 4.23 แสดงผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	91
รูปที่ 4.24 แสดงผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ อุณหภูมิห้อง.....	90

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางรูปแบบการสร้างสร้างชุดทดสอบแบบกระจาย.....	36
ตารางที่ 3.2 แสดงการหาสถานะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว.....	40
ตารางที่ 3.3 สถานะการทดลองในการตรวจวัดตะกั่วด้วยเทคนิคดีฟเฟอร์เรนซ์เชิลพัลส์ แอนด์ดิฟฟิเคิลวาทเมทรี.....	45
ตารางที่ 3.3 แสดงการหาสถานะที่เหมาะสมของชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	48
ตารางที่ 4.1 ตารางรูปแบบการสร้างสร้างชุดทดสอบตะกั่ว.....	51
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วของอลิซารินเรดเอส.....	55
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มข้นของพีเอชในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส.....	57
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มข้นของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา.....	59
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการหาสถานะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว.....	60
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาการทำซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว.....	61
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาการทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว.....	62
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ของกราฟมาตรฐานของ ความเข้มข้นตะกั่ว.....	63
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่ว.....	64
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง.....	66
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความเข้มข้นในการตรวจวัดสารละลายแบบลงค์ของชุดทดสอบตะกั่ว.....	68
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความเข้มข้นของสารทดสอบต่างๆ.....	71
ตารางที่ 4.13 แสดงการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว.....	73
ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดทดสอบและวิธีมาตรฐาน.....	76
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความเข้มข้นของเข้มข้นสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์.....	79
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความเข้มข้นของเวลาในทำเกิดปฏิกิริยา.....	81
ตารางที่ 4.17 แสดงผลการศึกษาทำซ้ำของชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	83
ตารางที่ 4.18 แสดงผลการศึกษาการทวนซ้ำของชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	84
ตารางที่ 4.19 แสดงผลการศึกษาการศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบอัลเฟอร์ไดออกไซด์..	85

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.20 แสดงการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	89
ตารางที่ 4.21 แสดงการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง.....	90
ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดทดสอบและวิธีมาตรฐาน.....	92



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีรายได้จากการส่งออกสินค้าทางการเกษตรมากที่สุด ซึ่งลำไยก็เป็นหนึ่งในสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย โดยในแต่ละปีจะมีรายได้จากลำไยเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในแต่ละปี ตลาดส่งออกลำไยที่สำคัญ ได้แก่ จีน เวียดนาม และฮ่องกง [1] นอกจากลำไยสดแล้วยังมีผลิตภัณฑ์ลำไยแปรรูปที่มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในการส่งออกลำไยคุณภาพของลำไยนั้นถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งต้องคำนึงถึงคุณภาพตั้งแต่กระบวนการการคัดสรรผลลำไย ขนาดของผลลำไย และที่สำคัญคือความปลอดภัยจากสารตกค้างในลำไยที่มีโอกาสปนเปื้อนได้ [2] เช่น โลหะหนักจากพวกตะกั่วที่จะปนเปื้อนเข้าสู่ลำไยจากขั้นตอนการปลูก หากดินหรือน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกลำไยมีสารโลหะหนัก จะทำให้ต้นลำไยดูดซึมโลหะหนักเข้าไปสะสมอยู่ในผลของลำไย [3] เมื่อผู้บริโภครับประทานเข้าไปจะเกิดการสะสมของตะกั่วในร่างกายหากได้รับในปริมาณมากทำให้เกิด อาการคลื่นไส้ อาเจียน และเบื่ออาหาร [4] เป็นต้น หรืออาจจะส่งผลกระทบต่อตับ คือน้ำตาลจะไปรบกวนกลไกการสร้างในไตรกลีเซอไรด์ในหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดหดตัวและขาดความยืดหยุ่นเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และโรคเรื้อรังต่างๆ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานในการตรวจพบสารตะกั่วตกค้างในลำไยได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [5] นอกจากจะพบการปนเปื้อนของตะกั่วในลำไย ยังพบปัญหาการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์อีกด้วย [6] ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวลำไยเพื่อการส่งออกจะต้องมีกรรมวิธีในการยืดอายุลำไยสด ทำได้โดยการรมลำไยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นจะไปป้องกันการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในลำไย การรมลำไยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะอาศัยการเผากำมะถันให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการรมลำไยของเกษตรกรผู้ปลูกลำไยพบว่าในแต่ละครั้งของการเผากำมะถันเกษตรกรจะอาศัยประสบการณ์ในการกำหนดปริมาณกำมะถันที่จะใช้ แต่ในบางครั้งจะพบว่ากำมะถันมีปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากเกินไปสะสมอยู่ในลำไย เมื่อผู้บริโภครับประทานลำไยเข้าไปซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปสะสมอยู่ในร่างกาย แม้ร่างกายจะสามารถขับออกทางปัสสาวะได้ แต่หากได้รับในปริมาณมากเกินไปร่างกายก็จะไม่สามารถขับออกได้หมด อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและความดันโลหิตต่ำ [7] ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานการตรวจพบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [8]

วิธีทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วมีหลายวิธี เช่น เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectrometer ; AAS) เป็นต้น วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่มีความไววิเคราะห์และมีความแม่นยำสูง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ มีความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง ผู้วิเคราะห์ต้องมีทักษะและความชำนาญในการวิเคราะห์ เนื่องจากมีขั้นตอนที่ซับซ้อนในการใช้เครื่องมืออีกทั้งเครื่องมือยังมีราคาสูง และเหมาะสำหรับปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

ส่วนวิธีทั่วไปในการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ วิธี วิธีไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatography) วิธีดังกล่าวเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ การเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก เครื่องมือมีขนาดใหญ่ขนย้ายได้ลำบาก ต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะและความชำนาญ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาวิธีตรวจวัดตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในลำไยและผลิตภัณฑ์ลำไยแปรรูป เพื่อให้สามารถตรวจวัดในภาคสนามได้ง่าย รวดเร็ว และไม่ใช้เครื่องมือขั้นสูง โดยการตรวจวัดตะกั่วจะพัฒนาเป็นวิธีตรวจวัดในรูปแบบของ โดยการตรวจวัดตะกั่วจะพัฒนาเป็นวิธีตรวจวัดในรูปแบบของชุดทดสอบที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส ได้เป็นสารละลายสีน้ำตาลแดงลงบนกระดาษ สำหรับชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นชุดทดสอบที่อาศัยหลักการไทเทรตระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีฟีนอล์ฟทาเลินเป็นอินดิเคเตอร์ลงบนกระดาษ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างชุดทดสอบแบบกระดาษสำหรับตะกั่วและสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- 1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการตรวจวัดตะกั่วด้วยชุดทดสอบแบบกระดาษและหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- 1.2.3 เพื่อหาประสิทธิภาพของการตรวจวัดตะกั่วด้วยชุดทดสอบแบบกระดาษและหาประสิทธิภาพของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- 1.2.4 เพื่อวิเคราะห์หาตะกั่วในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบแบบกระดาษและวิเคราะห์หาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การสร้างชุดทดสอบตะกั่ว

1.3.1.1 ออกแบบบล็อกสกรีน

1.3.1.2 สร้างชุดทดสอบแบบกระดาษด้วยวิธีพิมพ์สกรีน

1.3.1.3 ศึกษาอัตราส่วนของพอลิแลกติกต่อไคคลอโรมีเทนที่ใช้สกรีนลงบนบล็อกสกรีน

1.3.1.4 ศึกษาวิธีตรวจวัดตะกั่วโดยใช้ชุดทดสอบตะกั่ว

1.3.1.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว

- 1) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะลิซารินเรดเอส (Alizarin red s)
- 2) ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารละลายอะลิซารินเรดเอส
- 3) เวลาในการทำปฏิกิริยา
- 4) ศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

1.3.1.6 ทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจวัด

- 1) ความเที่ยงของชุดทดสอบตะกั่ว (Precision)
- 2) ความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่ว (Accuracy)
- 3) ช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว (Linear range)
- 4) ขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบตะกั่ว (Limit of detection)
- 5) ขีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพของชุดทดสอบตะกั่ว (Limit of quantitative)
- 6) ความจำเพาะเจาะจงของชุดทดสอบตะกั่ว (Selectivity)

1.3.1.7 การศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว

1.3.1.7 การสร้างแถบสีมาตรฐาน

1.3.1.8 ตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริง

1.3.2 ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.3.2.1 การศึกษาอัตราส่วนของพอลิแลกติกต่อไคคลอโรมีเทน

1.3.2.2 การศึกษาปริมาตรบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.3.2.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

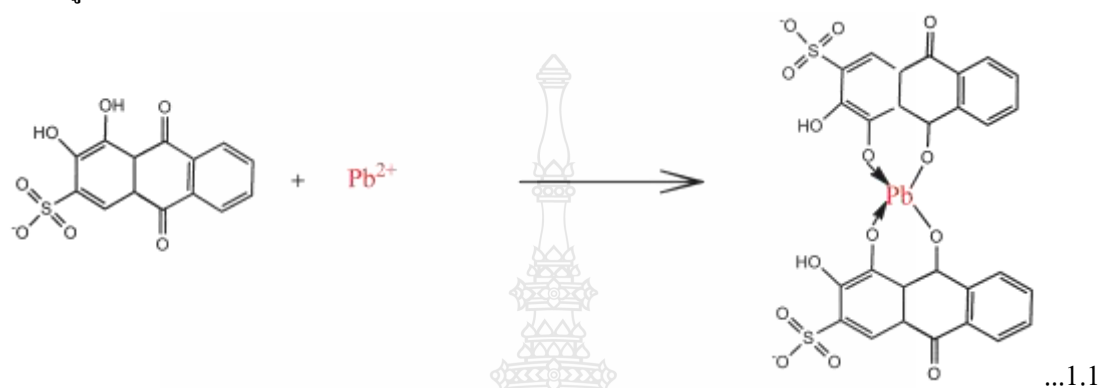
- 1.3.2.4 การศึกษาเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- 1.3.2.5 การศึกษาความถี่ของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์
 - 1) การทำซ้ำของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์
 - 2) การทวนซ้ำของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์
- 1.3.2.6 การศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์
- 1.3.2.7 การศึกษาปัจจัยจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์
- 1.3.2.8 การศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์
- 1.3.2.9 การตรวจวัดเซลล์เฟอร์ไรต์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริง



1.4 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

1.4.1 ชุดทดสอบตะกั่ว

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะสร้างชุดทดสอบแบบกระดาษ เพื่อตรวจวัดตะกั่วในลำไยโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส ดังสมการที่ 1.1 เกิดเป็นสารละลายสีชมพู



อะลิซารินเรด
(เหลือง)

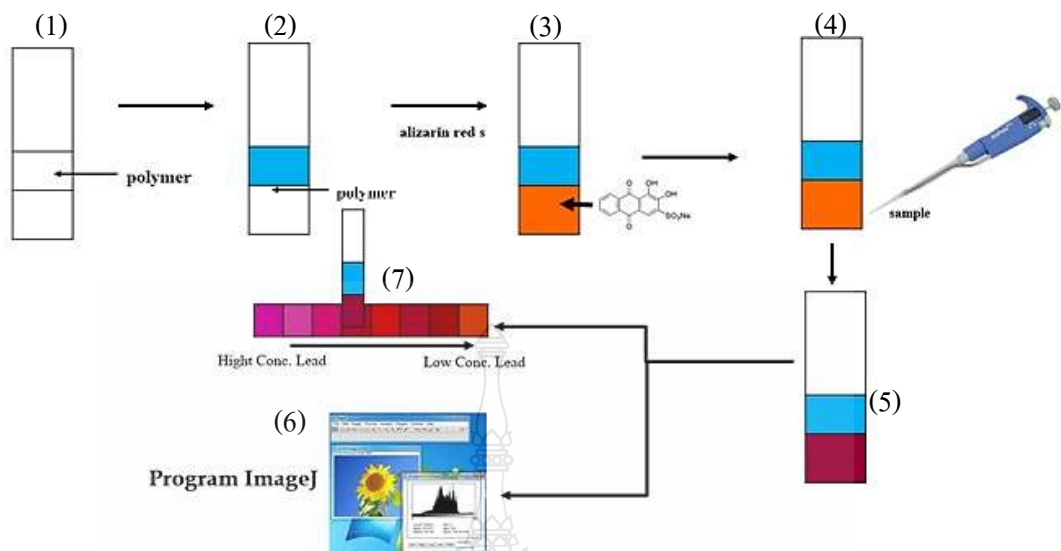
ตะกั่ว

ตะกั่ว-อะลิซาริน
(น้ำตาลแดง)

ขั้นแรกสร้างชุดทดสอบแบบกระดาษโดยใช้เทคนิคพิมพ์สกรีน โดยใช้สารละลายพอลิเมอร์ เช่น พอลิแล็กติก เพื่อกั้นส่วนบริเวณชอบน้ำกับไม่ชอบน้ำ จากนั้นเคลือบอะลิซารินเรดเอสลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษ ต่อไปหยดสารละลายตัวอย่างลงบนบริเวณสีส้ม ถ้าในตัวอย่างมีตะกั่วชุดทดสอบจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง การแปรผลมี 2 แบบ

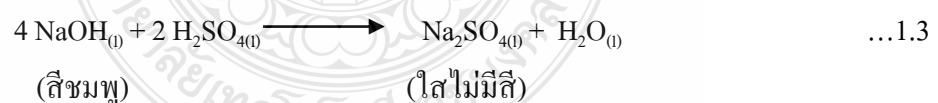
แบบที่ 1 แปรผลในเชิงปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative) โดยนำชุดทดสอบแบบกระดาษ ที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและค่าความเข้มสี และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของตะกั่วจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

แบบที่ 2 การแปรผลในเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์ (Semi-quantitative) โดยการเปรียบเทียบสีที่ได้จากชุดทดสอบแบบกระดาษกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นจะได้ความเข้มข้นโดยประมาณของตะกั่ว



รูปที่ 1.1 แนวคิดการตรวจวัดตะกั่วด้วยชุดทดสอบ (1) ออกแบบชุดทดสอบแบบกระดาษ (2) เคลือบพอลิเมอร์ลงบนชุดทดสอบ (3) ตรึงอะลิซารินเรดเอสลงบนชุดทดสอบ (4) หยดสารตัวอย่างลงบนชุดทดสอบ (5) ทิ้งให้สารเกิดปฏิกิริยา (6) ผลในเชิงปริมาณวิเคราะห์ (7) ผลในเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อาศัยหลักการไทเทรตระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของของเหลว (กรดซัลฟิวริก) โดยมีฟีนอล์ฟทาเลินเป็นอินดิเคเตอร์ ดังสมการที่ 1.2 และ 1.3



ขั้นแรกสร้างชุดทดสอบแบบกระดาษโดยใช้เทคนิคพิมพ์สกรีน โดยใช้สารละลายพอลิแล็กติก เพื่อกันส่วนบริเวณชอบน้ำกับไม่ชอบน้ำ จากนั้นหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ และหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลินลงบนชุดทดสอบ ต่อไปหยดสารละลายตัวอย่างลงบนบริเวณตรวจวัด ถ้าในตัวอย่างมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ชุดทดสอบจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

จากสูตร

$$C_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = 2(C_{\text{SO}_2} V_{\text{SO}_2})$$

โดย

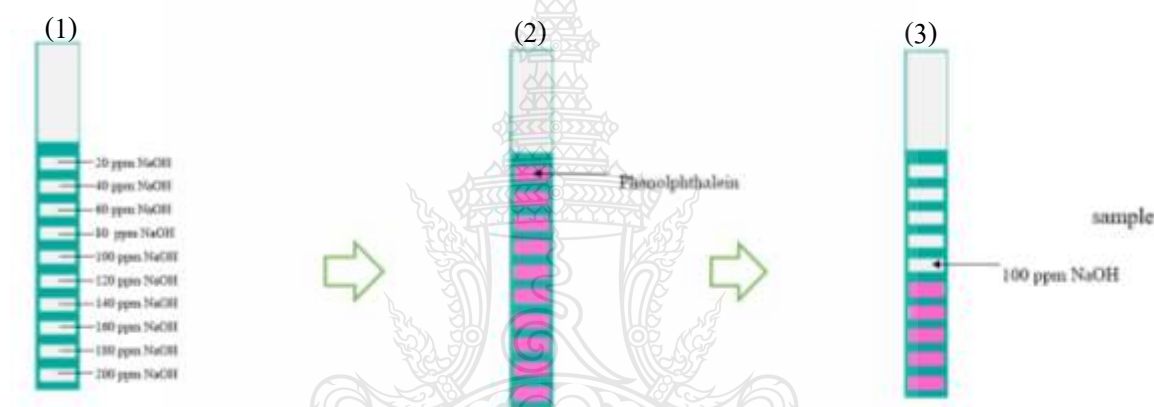
C_{NaOH} คือ ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์

V_{NaOH} คือ ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์

C_{SO_2} คือ ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์

V_{SO_2} คือ ปริมาตรซัลเฟอร์ไดออกไซด์

งานวิจัยนี้มีแนวคิดสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างง่ายและมีราคาถูก โดยมีแนวคิดดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แนวคิดการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ขั้นที่ (1) ออกแบบชุดทดสอบและหาค่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ขั้นที่ (2) เติมน้ำสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน ขั้นที่ (3) เติมน้ำตัวอย่างลงบนชุดทดสอบ นำค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ชุดทดสอบตะกั่วและได้ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.5.2 ได้สถานะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่วและชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.5.3 ได้ทราบประสิทธิภาพของชุดทดสอบตะกั่วและชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.5.4 สามารถวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยด้วยชุดทดสอบที่

พัฒนาขึ้น

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ข้อมูลทั่วไปของลำไย

มีการสันนิษฐานว่าลำไยมีแหล่งกำเนิดจากประเทศจีนทางตอนใต้และแพร่เข้ามาในประเทศไทยในเขตจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดใกล้เคียง ลำไยเป็นพืชตระกูล Sapindaceae สกุล Soapberry ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Euphoria longana* Lamk. ชื่อสามัญคือ Longan หรือที่ชาวจีนเรียกว่า เล้งมั่ง ต้นลำไยมีความสูงโดยประมาณตั้งแต่ 12 ถึง 15 เมตร มีพุ่มกว้างตั้งแต่ 9 ถึง 12 เมตร ผลของลำไยมีลักษณะกลมแป้น มีขนาดประมาณ 0.5 ถึง 1 นิ้ว [2] เปลือกลำไยบางเปรี้ยวเรียบสีเหลืองปนน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลปนแดง เนื้อลำไยมีสีขาวใสจนถึงสีขาวขุ่น เมล็ดมีลักษณะกลมสีดำเหมือนถั่ว เคลือบเงา ลำไยเป็นผลไม้ที่ติดผลแบบ สลับปี เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 10 ถึง 25 องศาเซลเซียส พื้นที่ที่เหมาะสมในการเพาะปลูกได้แก่ จังหวัดในภาคเหนือ เช่น ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน เป็นต้น ลำไยเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ทำให้ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยจัดอยู่ 1 ใน 10 สินค้าที่สร้างมูลค่าการส่งออกให้แก่ประเทศ ในปี 2544 ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกลำไยอันดับ 1 ของโลก โดยมีพื้นที่การเพาะปลูก 357,877 ไร่ ได้ผลผลิต 227,232 ตัน [9] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงอุตสาหกรรม และกระทรวงพาณิชย์ จึงได้แต่งตั้งให้ลำไยเป็นพืชแชมป์เปี้ยน โดยในปี 2552 มีผลผลิตลำไยเพิ่มขึ้นเป็น 6 แสนตัน และในปี 2557 มีผลผลิตลำไยเพิ่มขึ้นเป็น 9 แสนตัน ทำให้มีมูลค่าการส่งออกลำไยสูงกว่า สองหมื่นล้านบาท นอกจากลำไยสดแล้วยังมีลำไยแปรรูป เช่น ลำไยอบแห้ง ลำไยแช่แข็ง และลำไยกระป๋องที่ส่งขายในต่างประเทศได้มากเนื่องจากลำไยแปรรูปนั้นสามารถรับประทานได้ง่ายและเก็บไว้ได้นานในปี 2557 มีมูลค่าการส่งออกลำไยแปรรูปสูงถึง 15,000 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [6] ตลาดการส่งออกลำไยที่สำคัญของไทยส่วนใหญ่คือจีนรองจากจีนคือฮ่องกง และอินโดนีเซีย ในเนื้อลำไย 100 กรัม ให้พลังงาน 109 แคลอรี คาร์โบไฮเดรต 16-25 กรัม โปรตีน 1 กรัม ไขมัน 0.1-0.5 กรัม เส้นใย 0.4 กรัม วิตามินซี 6-8 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 6-42 มิลลิกรัม แคลเซียม 2-10 มิลลิกรัม เหล็ก 0.3-1.2 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.07 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.6 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.04 มิลลิกรัม[10] และในเนื้อลำไยยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส อีกด้วย [11]

2.1.1 สรรพคุณของลำไย [10,12]

- 1) ลำไยสามารถนำมาใช้เป็นยาสำหรับแก้อาการปวดท้องและความจำเสื่อม
- 2) ลำไยสามารถนำมาใช้เป็นยากระตุ้นหัวใจและม้าม เป็นยาบำรุงเลือดและช่วยในการระงับประสาท
- 3) ลำไยสามารถนำมาทำเป็นยาชูกำลังได้
- 4) ในประเทศเวียดนามจะนำตาของเมล็ดลำไยไปกดทับบริเวณแผลงูกัดเนื่องจากมีความเชื่อที่ว่าตาของเมล็ดลำไยนั้นจะดูดซับพิษงูได้
- 5) เมล็ดลำไยเป็นสารที่ช่วยบำรุงเนื้อเยื่อของร่างกายและมีประสิทธิภาพในการหยุดการไหลเลือดหรือสารคัดหลั่งอื่น ๆ
- 6) ผลลำไยสดสามารถรับประทานเพื่อลดไข้และผลลำไยแห้งสามารถนำมารับประทานรักษาอาการนอนไม่หลับ
- 7) ลำไยมีสรรพคุณช่วยขลอความแก่ชรา ช่วยบำรุงเลือดและหัวใจ และช่วยต้านมะเร็ง

2.2 สารตกค้างในลำไย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ส่งผลผลิตจากการเกษตรออกขายให้แก่ประเทศอื่นๆทั้งในแถบยุโรปหรือแม้แต่ในแถบเอเชีย ประเทศไทยมีการส่งออกผลผลิตทางการเกษตรเป็นรายได้หลักของประเทศ ผลผลิตทางการเกษตรที่ถือว่าเป็นสินค้าที่ทำรายได้ระดับต้นๆของประเทศคือลำไยและลำไยแปรรูป ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาเกษตรกรมีการใช้สารเคมีมากขึ้นทั้งในการปลูก การเร่งผลผลิต การกำจัดศัตรูพืช การใส่ปุ๋ย รวมไปถึงการถนอมลำไยสด ซึ่งในกระบวนการต่างๆ ล้วนแล้วแต่ใช้สารเคมีทั้งสิ้นและเมื่อปลูกลำไยนอกฤดูการจะมีการใช้สารเคมีเพื่อเร่งให้เกิดผลผลิต [13] ทำให้ประสบปัญหาในการส่งออกลำไยที่เกิดจาก สารตกค้างในลำไยเกินมาตรฐานที่กำหนด โดยเฉพาะสารตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [14] เนื่องจากในแต่ละประเทศจะมีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าที่จะนำเข้าในประเทศอย่างเข้มงวดและปัญหาการส่งออกที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของลำไยคือการแข่งขันสูงเพราะประเทศอื่นๆ นอกจากประเทศไทยสามารถผลิตลำไยส่งออกต่างประเทศได้แล้วเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือประเทศเวียดนามที่เป็นคู่แข่งที่สำคัญในการส่งออกสินค้าทางการเกษตร รวมไปถึงลำไยสดและลำไยแปรรูป [13] ทำให้ประเทศไทยต้องมีการควบคุมคุณภาพของลำไยและลำไยแปรรูปเพื่อให้มีมาตรฐานการส่งออกที่สูงนับตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงการส่งออก

2.2.1 ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 82 และสัญลักษณ์คือ Pb ตะกั่วเป็นโลหะเงาสีฟ้าขาว แต่เมื่อสัมผัสอากาศจะมีสีเทาหมอง ตะกั่วเป็นโลหะอ่อน หนัก และทนต่อการกัดกร่อน ความหนาแน่นของตะกั่วคือ 11.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [15] ตะกั่วเป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ บริเวณที่ตรวจพบส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณที่มีการอยู่อาศัยหรือประกอบกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ตะกั่วที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบ สามศตวรรษที่ผ่านมาพบว่าการใช้ตะกั่วเพิ่มขึ้นถึง 1,000 เท่า และพบว่าการใช้สารตะกั่วมากที่สุดในปี 1950 ถึง 2000 [16] โดยตรวจพบจากสิ่งแวดล้อม ตะกั่วส่วนใหญ่ที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน การทำเหมืองแร่ และยากำจัดศัตรูพืชราดาถูก ในปี 1979 พบว่าการสารตะกั่วที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินที่ถูกปล่อยมาทางท่อไอเสียรถยนต์ในสหรัฐอเมริกา มีปริมาณสูงถึง 94,600,000 กิโลกรัม หรือ 208,100,000 ปอนด์ ดังนั้นในปี 1989 จึงได้จำกัดการใช้รถยนต์ที่ปล่อยสารตะกั่วออกมาจากท่อไอเสียให้เหลือเพียง 2.2 ล้านกิโลกรัม หรือ 4.8 ล้านปอนด์ ทำให้ในปี 1996 ได้มีการห้ามใช้สารตะกั่วสำหรับรถยนต์ทางหลวงทำให้ปริมาณสารตะกั่วที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมลดลง [17] ต่อมาสารตะกั่วได้ถูกใช้ในสารกำจัดศัตรูพืชเพื่อนำไปใช้พ่นในสวนผักและผลไม้ เมื่อสารกำจัดศัตรูพืชที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนประกอบถูกฉีดพ่นสู่บรรยากาศตะกั่วที่มีอนุภาคที่เล็กมากจะมีน้ำหนักเบา สามารถลอยอยู่ในอากาศได้นานและแพร่กระจายในอากาศได้ไว เมื่อฝนตกจะชะเอาตะกั่วที่ลอยอยู่ในอากาศตกลงสู่พื้นดิน บางส่วนจะดูดซึมลงสู่ผิวดินและบางส่วนจะอยู่บริเวณผิวดินปะปนกับฝุ่นละอองในอากาศ นอกจากนี้ตะกั่วที่มีในสิ่งแวดล้อมยังเกิดจากการชะล้างของน้ำฝนจากสีตามอาคารบ้านเรือน โครงสร้างสะพาน การกำจัดขยะพวกถ่านไฟฉายและแบตเตอรี่โดยการฝังกลบ และตะกั่วยังมาจากการทำเหมืองแร่ และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ตะกั่วที่ถูกดูดซับอยู่ในดินจะถูกดูดซึมลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบลำธารและน้ำบาดาล หากน้ำมีสถานะเป็นกรดหรือกรดอ่อนตะกั่วจะตกตะกอนอยู่บริเวณผิวดินในท้องน้ำเป็นระยะเวลานานหลายปี ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารประกอบขึ้นอยู่กับชนิดของตะกั่ว [18]

สารตกค้างตะกั่วในลำไยนั้นเกิดได้จากทั้งกระบวนการผลิตและแปรรูปลำไย นับตั้งแต่การปลูกลำไยในเริ่มจากพื้นที่ที่ใช้ปลูกลำไย หากพื้นที่ในบริเวณดังกล่าวมีตะกั่วอยู่ในดินมากเมื่อปลูกลำไยลงไปแล้วจะเกิดการดูดซึมเอาตะกั่วเข้าไปสะสมในผลลำไย ส่งผลให้ผลลำไยมีการปนเปื้อนตะกั่ว [18] ประการที่สองน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกลำไยหากแหล่งน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกลำไยมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในน้ำเมื่อนำน้ำที่ปนเปื้อนสารตะกั่วมาใช้ในการเพาะปลูกลำไย ดินลำไยนอกจากจะดูดซึมน้ำเข้าไปแล้วยังดูดซึมตะกั่วในน้ำเข้าไปด้วย [3] ประการที่สามคือเกิดการปนเปื้อนตะกั่ว

ที่มาจากน้ําย ไม่ว่าจะเป็นน้ํายเค็ม น้ํายชีวภาพ น้ํายหมัก หรือน้ํายคอก ต่างมีโอกาสนปนเปื้อนตะกั่ว เมื่อนำน้ํายที่มีการปนเปื้อนตะกั่วมาใส่ในต้นลำไย ต้นลำไยดูดซึมทั้งแร่ธาตุจากน้ํายและตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ํายเข้าไปด้วย [16] ประการที่สี่เกิดจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชส่วนใหญ่จะมีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบเมื่อนักป่นยากำจัดศัตรูพืชจะไปเกาะอยู่ที่ใบและผลของลำไยเมื่อรดน้ำลำไยหรือฝนตกน้ำจะชะเอาสารตะกั่วลงไปสู่ดินทำให้ตะกั่วไปสะสมอยู่ในดินและเมื่อน้ำลำไยดูดซึมเอาสารอาหาร จากดินต้นลำไยก็จะดูดซึมสารตะกั่วเข้าไปด้วยและยากำจัดศัตรูพืชบนผลและใบที่ชะออกไม่หมดก็จะเคลือบอยู่บนผลของลำไยเมื่อผู้บริโภคนำไปรับประทานอาจทำให้สารตะกั่วไปสะสมในร่างกายจนก่อให้เกิดโรคในระยะยาวได้ และประการสุดท้ายการปนเปื้อนตะกั่วจากกรรมวิธีการแปรรูปลำไยส่วนใหญ่จะพบในลำไยกระป๋องที่เกิดการปนเปื้อนจากตะกั่วจากบรรจุภัณฑ์ที่เป็นกระป๋องโลหะ

ตะกั่วเป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพและเป็นปัญหาระดับประเทศ ในปี พ.ศ. 2538-2547 พบผู้ป่วยจากการได้รับสารตะกั่วทั้งสิ้น 484 ราย ในปี พ.ศ. 2544 พบผู้ป่วยมากที่สุด 104 ราย และมีรายงานว่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี [17] ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง [41] คือทางการหายใจโดยการหายใจรับไอตะกั่วและฝุ่นละออง พบมากในผู้ที่ประกอบอาชีพในโรงงานแบตเตอรี่ โรงงานหลอมตะกั่ว และโรงงานผลิตสี เป็นต้น ทางการรับประทานโดยการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารตะกั่วเข้าไปทำให้ตะกั่วเข้าไปสะสมอยู่ภายในร่างกายส่งผลให้เกิดโรคเรื้อรัง การได้รับสารตะกั่วเข้าทางผิวหนังโดยเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสพบมากในช่วงซ่อมแซมถุงน้ำมันที่มีสารตะกั่วซึ่งสารตะกั่วบางชนิดละลายในน้ำมันเมื่อสัมผัสถุงผิวหนังจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เมื่อตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะแสดงอาการตามปริมาณตะกั่วที่ได้รับ อาการที่เกิดขึ้นมีสองลักษณะคือหนึ่งอาการเรื้อรัง ผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วเป็นเวลานาน จะเกิดภาวะที่กระดูกหักงออยู่ในร่างกาย จนอาจเกิดภาวะไตวายเรื้อรัง หรืออาการ lead line เป็นอาการที่เกิดจากการที่ตะกั่วตะกั่วไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในช่องปากจะทำให้เกิดเป็นเส้นสีน้ำเงินเทาบริเวณเหงือก [18,20] อาการที่สองคืออาการเฉียบพลันเมื่อได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลานั้นผู้ป่วยจะมีอาการอาการฉุกเฉินเป็นโรคโลหิตจางและเกิดภาวะซึมเศร้าของประสาทส่วนกลางระบบที่อาจส่งผลให้อาการชักและเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ตะกั่วยังส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและสมอง ภูมิคุ้มกัน สืบพันธุ์ โรคหัวใจและหลอดเลือด จากการได้รับน้อยกว่า 10 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร หากในเด็กได้รับสารตะกั่วเข้าไปจะทำให้มีพัฒนาการที่ช้ากว่าเด็กปกติทั่วไปเนื่องจากสารตะกั่วไปทำให้การเจริญเติบโตของสมองเด็กลดลง และส่งผลให้ ไอคิวก็ลดลงตามไปด้วย [19] ดังนั้นจึงได้มีการกำหนด

ปริมาณการตรวจพบตะกั่วในลำไส้ให้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [5] เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

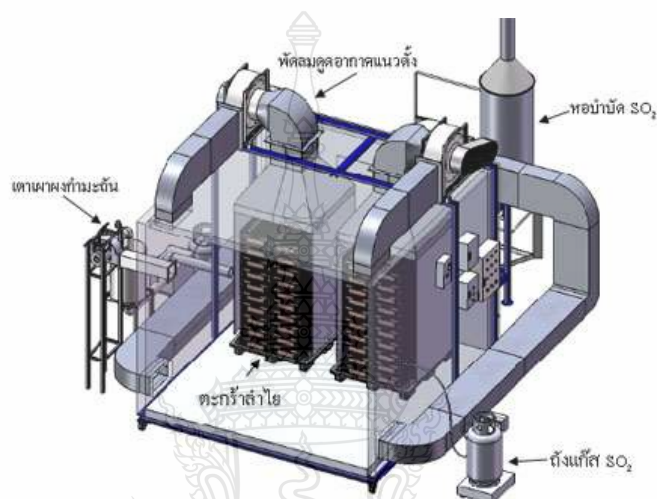
2.2.2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นแก๊สไม่มีสีติดไฟ ไม่มีสี และมีกลิ่นฉุนที่เกิดจากการเผาไหม้ของผงซัลเฟอร์โดย ซัลเฟอร์ 1 อะตอม จะไปรวมตัวกับออกซิเจน 2 อะตอม เกิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 โมเลกุล [21] ดังสมการที่ 2.1



น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 64.066 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 2.63 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [13] ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มักถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกรดซัลฟิวริกโดยจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดซัลฟิวริก และยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์กำจัดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และแมลง หรือแม้กระทั่งอุตสาหกรรมการฟอกสีหนังไปจนถึงอุตสาหกรรมการฟอกสีอาหาร เป็นต้น [9] นอกจากนี้ยังนิยมนำซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาใช้เป็นสารถนอมอาหาร วัตถุกันเสีย และสารยืดยอายุการเก็บรักษา โดยเฉพาะใช้ในการยืดยอายุลำไยสดเนื่องจากการส่งออกลำไยสดนั้น ต้องใช้เวลาในการขนส่งเป็นระยะเวลานานจึงทำให้ลำไยเกิดการเน่าเสียในระหว่างการขนส่ง จึงจำเป็นต้องยืดยอายุของลำไยโดยการรมลำไยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่รมลำไยจะไปช่วยยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนสีของลำไยโดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่รมลำไยจะไปแทนที่อากาศที่อยู่บริเวณผิวลำไยและไปช่วยทำลายเอนไซม์ที่ทำให้ลำไยเกิดการเปลี่ยนสี นอกจากนี้ยังไปยับยั้งกลไกการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลลำไยเน่าเสียอีกด้วย [6] ในการยืดยอายุลำไยในช่วงแรกเกษตรกรผู้ปลูกลำไยจะใช้วิธีการเผากำมะถันให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์มารมผลลำไยโดยไม่ได้อยู่ในระบบปิดจึงทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดการไปสะสมในสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ อีกทั้งเป็นอันตรายต่อผู้ที่รมลำไย ต่อมาจึงได้พัฒนาเป็นห้องรมลำไยที่เป็นระบบปิดโดยนำลำไยใส่ตะกร้าและจัดเรียงไว้ภายในห้อง จากนั้นเผาซัลเฟอร์ด้วยเตาไฟฟ้าหรือเตาแก๊สภายในห้องรมลำไย มีพัดลมไว้ในห้องรมลำไยเพื่อให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กระจายอย่างทั่วถึง ในห้องรมลำไยจะมีระบบสำหรับผสมซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอากาศภายในห้อง และมีระบบบำบัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [9] แต่การรมลำไยด้วยห้องรมลำไยมีข้อเสียคือสิ้นเปลืองซัลเฟอร์ไดออกไซด์เนื่องจากจะต้องทิ้งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในส่วนที่เหลือจากการรม

ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นห้องรملำไยแบบหมุนเวียนแก๊ส โดยมีเตาเผาซัลเฟอร์อยู่ภายนอก เมื่อเผาซัลเฟอร์จนเกิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปั๊มจะดูดซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไปรملำไยที่เรียงอยู่ภายในโดมในแนวตั้ง ซึ่งห้องรลำไยแบบหมุนเวียนนี้สามารถควบคุมปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้รลำไยได้และใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณน้อย แต่ห้องรลำไยแบบหมุนเวียนรลำไยได้ในปริมาณที่น้อย คือบรรจูลำไยได้เพียง 120 ตะกร้าหรือ 1,320 กิโลกรัม [22] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ห้องรลำไยด้วยระบบหมุนเวียนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [23]

ต่อมาสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้สร้างโรงรลำไยขึ้นในจังหวัดลำพูนดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโรงรลำไยสามารถรลำไยได้ 2 ตันต่อชั่วโมง สามารถควบคุมปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่จะใช้รลำไยได้ และสามารถควบคุมปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ [24]



รูปที่ 2.2 โรงรมลำไยจังหวัดลำพูน [25]

ลำไยที่ผ่านกระบวนการยี้ดอายุลำไย โดยการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำให้เกิดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลลำไยและเนื้อลำไยหากตกค้างในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาในด้านการส่งออกและปัญหาสุขภาพ เมื่อผู้บริโภครับประทานลำไยที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างเข้าไปในปริมาณน้อยร่างกายจะสามารถขับถ่ายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาทางปัสสาวะได้ แต่หากรับประทานลำไยที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างเข้าไปในปริมาณที่มากเกินไปซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไม่สามารถขับออกมาจากร่างกายได้หมดและจะไปสะสมอยู่ในร่างกาย เมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สะสมในร่างกายมีปริมาณมากซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปทำลายวิตามินบี1 และไปลดการนำไปใช้ของไขมันและโปรตีนในร่างกายอีกด้วย [6] ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดปริมาณการตรวจพบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อลำไยให้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [8]

2.3 วิเคราะห์ทั่วไป

2.3.1 ตะกั่ว

ในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมามีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ซึ่งมีวิธีวิเคราะห์หลากหลายวิธี เช่น วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี[26] เป็นวิธีที่นิยมในการตรวจวัดตะกั่ว โดยอาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานแสงของอะตอม เมื่ออะตอมได้รับพลังงานอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในอะตอมจะดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนวงโคจรไปอยู่ในระดับวงโคจรที่มีพลังงานสูงขึ้นในระยะเวลาหนึ่ง โดยพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นอะตอมจะเป็นพลังงานที่

จำเพาะกับอะตอมของแต่ละธาตุ ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของโลหะ โดยเมื่อโลหะมีความเข้มข้นสูงก็จะสามารถดูดกลืนแสงได้มากแต่หากโลหะมีความเข้มข้นน้อยก็จะสามารถดูดกลืนแสงได้น้อย โดยทั่วไปจะนิยมใช้เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Flame Atomic Absorption Spectroscopy) เช่น การวิเคราะห์หาตะกั่วในน้ำเมา โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเมา 5 ตัวอย่าง นำมาย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี พบว่าวิธีนี้ได้ช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 1.0 ถึง 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.997 และขีดจำกัดในการตรวจพบและ ขีดจำกัดของในตรวจพบเชิงปริมาณ เท่ากับ 0.195 และ 0.65 มิลลิกรัมต่อลิตร [27] แต่วิธีนี้ผู้วิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือตรวจวัด เครื่องมือมีราคาแพง ใช้เวลาวิเคราะห์นาน และค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่างสูง

วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer ; ICP-MS) เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์โลหะหนักได้ [28] โดยอาศัยหลักการของอะตอมมิกสเปกโตรสโกปี ซึ่งอาศัยกระบวนการคายพลังงานของอะตอมเมื่อสารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าไปในเครื่องอินดักทีฟพลาสมาแมสสเปกโตรมิเตอร์ เป็นละอองเล็กๆ จะถูกพลังงานจากพลาสมาทำให้ไอเล็กตรอนหลุดออกจากวงแหวนชั้นนอกทำให้เกิดไอออนที่มีประจุเป็นบวก ตรวจวัดจากมวลประจุด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยตรง เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างเลือด เตรียมตัวอย่างด้วย 0.5 เปอร์เซ็นต์ กรดไนตริก พบว่า มีขีดจำกัดในการตรวจพบเท่ากับ 0.0001 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร และขีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพเท่ากับ 0.001 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร [29] แต่วิธีนี้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเนื่องจากต้องหาสภาวะการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เครื่องมือมีราคาแพง ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง

นอกจากนี้แล้วยังสามารถตรวจวัดตะกั่วโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า [30] โดยอาศัยหลักการส่งผ่านอิเล็กตรอนของสารที่ต้องการตรวจวัดไปยังขั้วไฟฟ้าจากนั้นจะส่งสัญญาณไปที่ตัวตรวจวัดและแสดงผลที่จอแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟ ในการวิเคราะห์โลหะด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า เช่น การหาปริมาณโลหะหนักในผัก โดยใช้ตัวอย่างผักกะหล่ำ ผักบุ้ง ถั่วพู ข่า ถั่วพริก ยาว ถั่วทอง พักทอง ต้นหอม และผักคะน้า โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5 โมลาร์ ผสมกับสารละลายโซเดียมอะซิเตต 0.5 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1100 มิลลิโวลต์ เป็นเวลา 60 วินาที ให้สมดุลที่ 10 วินาที วัดกระแสไฟฟ้าฟลักซ์ที่ศักย์ครึ่งเซลล์ของตะกั่วได้ที่ -410 มิลลิโวลต์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 0.9906 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

เท่ากับ 0.43 ถึง 6.66 เปอร์เซ็นต์ ช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.02 ถึง 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร จีดจำกัดในการตรวจพบเท่ากับ 0.0103 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าจีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพเท่ากับ 0.0343 มิลลิกรัมต่อลิตร [31] แต่วิธีนี้ผู้วิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือ ต้องเตรียมข้อไฟฟ้าทำให้ใช้เวลานานในการวิเคราะห์

2.3.2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาวิธีต่างๆ ในการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในอาหารผักและผลไม้ หลายวิธี เช่น วิธีไอออนโครมาโตกราฟี [32] เป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารผสม โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนของสารตัวอย่างที่และคอลัมน์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารตัวอย่างที่อยู่ภายในคอลัมน์ซึ่งสารที่มีประจุแตกต่างกับคอลัมน์จะเกิดการดึงดูดกับคอลัมน์ สารที่มีประจุเดียวกับคอลัมน์จะเกิดการผลักกับคอลัมน์และจะถูกชะออกมาวิเคราะห์ก่อน เช่น การวิเคราะห์หาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร โดยนำตัวอย่างอาหารมาสับให้ละเอียดแล้วนำไปชั่ง 5 กรัม ใส่ตัวอย่างลงไปในห้องกลั่น เติม 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรของโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 9 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที ปฏิกริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและกรดซัลฟิวริกจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นจากนั้นจะถูกบันทึกผลด้วยโครมาโตไอออน พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงคือ 0.051 ถึง 32.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จีดจำกัดในการตรวจพบคือ 0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนเท่ากับ 76.7 ถึง 104.8 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.7 ถึง 8.2 เปอร์เซ็นต์ [33] วิธีนี้ผู้วิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือ และเครื่องมือมีราคาสูง

เทคนิคไอออน โมบิลิตี สเปกโตรเมทรี (Ion Mobility Spectrometry) [34] เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการวัดการเคลื่อนที่ของไอออน โดยเมื่อสารถูกฉีดเข้าไปภายในเครื่องไอออนสแกน สารจะได้รับพลังงานความร้อนจนเกิดการเผาไหม้จนเป็นแก๊ส และไปชนกับรังสีเบต้าจนกลายเป็นไอออนที่มีประจุบวก และลบจากนั้นไอออนจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่เรียกว่า ครีฟทิวบ์ (Drift tube) เป็นบริเวณที่ทำการแยกไอออน โดยอาศัยความสามารถในการเคลื่อนที่ เช่น การตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร เตรียมตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่างมา 1 กรัม เติมสารละลายอัลคาไลด์ 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นเวลา 15 นาที คูดสารตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เติม 9 เปอร์เซ็นต์กรดซัลฟิวริกจนปริมาตรครบ 35 มิลลิลิตร นำไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และปั่นด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก นำแก๊สที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์พบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 4.46 เปอร์เซ็นต์ จีดจำกัดในการตรวจพบ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [35] วิธีนี้มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ยุงยาก

เทคนิคการวิเคราะห์แบบไหล (Flow Injection Method) [36] เป็นเทคนิคที่อาศัยปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างและรีเอเจนต์ ไหลผ่านไปยังตัวตรวจวัด เช่น การตรวจวัดด้วยตัวตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าโดยจะอาศัยขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัด เช่น หาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในไวน์ขาวและน้ำผลไม้ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคือขั้วไฟฟ้าคาร์บอนไฟเบอร์ที่สักรับไฟฟ้า +0.42 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag / AgCl) และขั้วไฟฟ้าแพลตตินัมที่สักรับไฟฟ้า +0.90 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag / AgCl) พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงคือในช่วง 0.25 ถึง 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขีดจำกัดการตรวจพบ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการวิเคราะห์ได้ 30 ตัวอย่างต่อชั่วโมง [37] นอกจากนี้เทคนิคการวิเคราะห์แบบไหลยังสามารถใช้ตัวตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี เช่น การตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในไวน์ขาวและไวน์แดง โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง พี-โรซานิลิน (p-rosaniline) ฟอร์มาลดีไฮด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เกิดสารละลายสีม่วงแดง ตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 558 นาโนเมตร พบว่า มีช่วงความเป็นเส้นตรงคือ 0.16 ถึง 6.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 2 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ($n = 11$) ขีดจำกัดการตรวจพบคือ 49 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร [38]

2.4 การสร้างชุดทดสอบ

ชุดทดสอบคืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบเบื้องต้นเหมาะสำหรับการใช้ในพื้นที่ ที่ไม่สามารถนำเครื่องมือในการตรวจวัดไปใช้ได้โดยนิยมใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดก่อนที่จะนำไปวัดอย่างละเอียดด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ข้อดีของชุดทดสอบคือ วัตถุประสงค์การวิเคราะห์ ผู้ตรวจวัดไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านเทคนิคมาก สามารถวิเคราะห์ในภาคสนามได้ หลักการของชุดทดสอบคือ อาศัยการเกิดปฏิกิริยาของสารบนชุดทดสอบและสารที่ต้องการตรวจวัดเมื่อทำการตรวจวัดจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ชุดทดสอบทางเคมีมีหลายประเภทได้แก่ ชุดทดสอบที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาเป็นสารเชิงซ้อน โดยส่วนใหญ่จะเป็นชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบโลหะหนักจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของสารบนชุดทดสอบกับโลหะหนักเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ชุดทดสอบที่อาศัยปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชัน เป็นชุดทดสอบที่เกิดการเปลี่ยนสีของสารที่ใช้สร้างชุดทดสอบถูกซึ่งรีดิวส์หรือออกซิไดส์ด้วยสารที่ต้องการตรวจวัด ชุดทดสอบที่อาศัยปฏิกิริยากรด-ด่าง ชุดทดสอบนี้เป็นชุดทดสอบที่ใช้อินดิเคเตอร์เป็นสารตรวจวัดทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่เป็นกรด-ด่างทำให้ชุดทดสอบเปลี่ยนสีส่วนใหญ่จะนิยมนำไปสร้างชุดทดสอบพีเอช และสุดท้าย คือชุดทดสอบที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ ชุดทดสอบนี้จะมีเฉพาะเจาะจงมากกว่าชุดทดสอบที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป แม้สารที่ต้องการตรวจวัดจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถตรวจวัดได้ ซึ่ง

ชุดทดสอบที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่พบเห็นทั่วไป คือ ชุดทดสอบการตั้งครรภ์ ชุดทดสอบที่คั่นนั้นควรเกิดปฏิกิริยาในเวลาไม่เกิน 10 นาที และเห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำชุดทดสอบไปตรวจวัดได้อย่างชัดเจน [39]

2.4.1 ชุดทดสอบตะกั่ว

จากข้อจำกัดของการตรวจวัดตะกั่วโดยใช้เครื่องมือขั้นสูง ทำให้มีการพัฒนามาเป็นชุดทดสอบที่ใช้ในการตรวจวัดตะกั่วโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อน เช่น ชุดทดสอบแบบแท่ง โดยตะกั่วจะไปเกิดปฏิกิริยากับสารที่ตรึงอยู่บนวัสดุรองรับแล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนซึ่งมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ชุดทดสอบตะกั่วแบบแท่ง [40]

ชุดทดสอบตะกั่วแบบแท่งจะใช้ในการทดสอบตะกั่วเบื้องต้น โดยการนำแท่งตรวจวัดไปถูในบริเวณที่คาดว่ามีการปนเปื้อนอยู่ หากชุดทดสอบเปลี่ยนเป็นสีชมพูแดง แสดงว่าในบริเวณดังกล่าวมีการปนเปื้อนอยู่ แต่หากชุดทดสอบไม่เปลี่ยนสีหรือมีสีเหลืองอ่อนๆ แสดงว่าบริเวณดังกล่าวไม่มีสารตะกั่วปนเปื้อนอยู่ [41]



รูปที่ 2.4 ชุดทดสอบตะกั่ว HMT [42]

ชุดทดสอบตะกั่ว HMT เป็นชุดทดสอบตะกั่วที่ใช้ทดสอบสารตะกั่วที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0-2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของรีเอเจนต์และตะกั่ว สารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองจนถึงส้มตามความเข้มข้นของตะกั่วจากน้อยไปมากตามลำดับ ดังรูปที่ 2.4 แต่ชุดทดสอบนี้ยังมีข้อจำกัดคือ อาจเกิดการบวมน้ำจากแมงกานีส เหล็ก และ โครเมียม ทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อน [43]



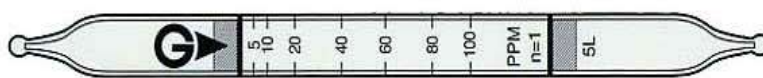
รูปที่ 2.5 ชุดทดสอบตะกั่ว [44]

นอกจากนี้ยังมีชุดทดสอบตะกั่วที่อาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างรีเอเจนต์กับสารตัวอย่าง จนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพูตามความเข้มข้นของตะกั่วจากความเข้มข้นมากไปน้อย ดังรูปที่ 2.5 โดยชุดทดสอบนี้จะวัดตะกั่วในช่วง 40-200 หรือ 20-100 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ข้อจำกัดของชุดทดสอบนี้ก็ต้องมีสารตัวอย่างในปริมาณมากถึง 20-40 มิลลิลิตร [44]

2.4.2 ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

โดยชุดทดสอบที่ใช้ตรวจหาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เช่น ชุดทดสอบแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้หลักการไทเทรต ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์เก็บซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังรูปที่ 2.6 จากนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับเบเรียมคลอไรด์และน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเบเรียมซัลเฟตและกรดไฮโดรคลอริก กรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยาสะเทินกับเบส (สมการ 2.1 และ 2.2) เมื่อถึงจุดสมมูลอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสี แสดงว่าปฏิกิริยาสิ้นสุด ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะสัมพันธ์กับปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป จึงสามารถหาปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ พบว่าวิธีนี้มีข้อจำกัด เช่น ความเสถียรของสารเคมี จะต้องเก็บไว้ในที่มืด และที่อุณหภูมิต่ำเท่านั้น [45]





รูปที่ 2.6 อุปกรณ์เก็บแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของชุดทดสอบที่อาศัยหลักการไทเทรต [45]

นอกจากนั้นยังมีชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ซัลไฟด์ออกซิเดส (Sulphite oxidase) และ นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ไฮโดรเจนเปอร์ออกซิเดส (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Hydrogen – peroxide) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้ซัลไฟด์ไอออน (SO_3^{2-}) จากนั้นทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ซัลไฟด์ออกซิเดส และโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ไฮโดรเจนเปอร์ออกซิเดส เอนเอดีเอชเปอร์ออกซิเดส สุดท้ายเกิดเป็นผลิตภัณฑ์นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide ; NAD) ดังสมการที่ 2.3 2.4 และ 2.5 ซึ่งสามารถตรวจวัดด้วยเครื่องโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร พบว่าชุดทดสอบนี้มีข้อจำกัดคือชุดทดสอบมีราคาสูง เนื่องจากเอนไซม์มีราคาแพง [46]



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 เลด (II)ไนเตรต (Lead(II) nitrate; Analytical reagent, Ajax Finechem Pty., Ltd, New Zealand)

3.1.2 อะลิซารินเรดเอส (Sodium alizalinsulphonate, Hi Cert; Sigma-Aldrich, USA)

3.1.3 พอลิแลกติก (Polylactic acid, Cert; Nature Work, LLC, USA)

3.1.4 ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane; RCI Labscan Ltd., Thailand)

3.1.5 แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide; Labgaz(Thailand).Co., Ltd, USA)

3.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; Analytical reagent, Ajax Finechem Pty., Ltd, New Zealand)

3.1.7 ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein; Analytical reagent, Ajax Finechem Pty., Ltd, New Zealand)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 บล็อกสกรีน (Block Screen) ขนาด 10 x 12 นิ้ว (SILK CUT L.P, Thailand)

3.2.2 กระดาษโครมาโตกราฟี (Chromatography paper) เบอร์ 4 (Whatman, UK)

3.2.3 ไมโครเซนตริฟิวจ์ทิวบ์ (Microcentrifuges tubes) ขนาด 0.6 1.5 และ 2 มิลลิลิตร (Molecular Bio Product, USA)

3.2.4 ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 100 และ 1,000 ไมโครลิตร (Brand, Germany)

3.2.5 เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner) รุ่น CanoScan Lide 120 (Canon Marketing (Thailand) Co., Ltd., Vietnam)

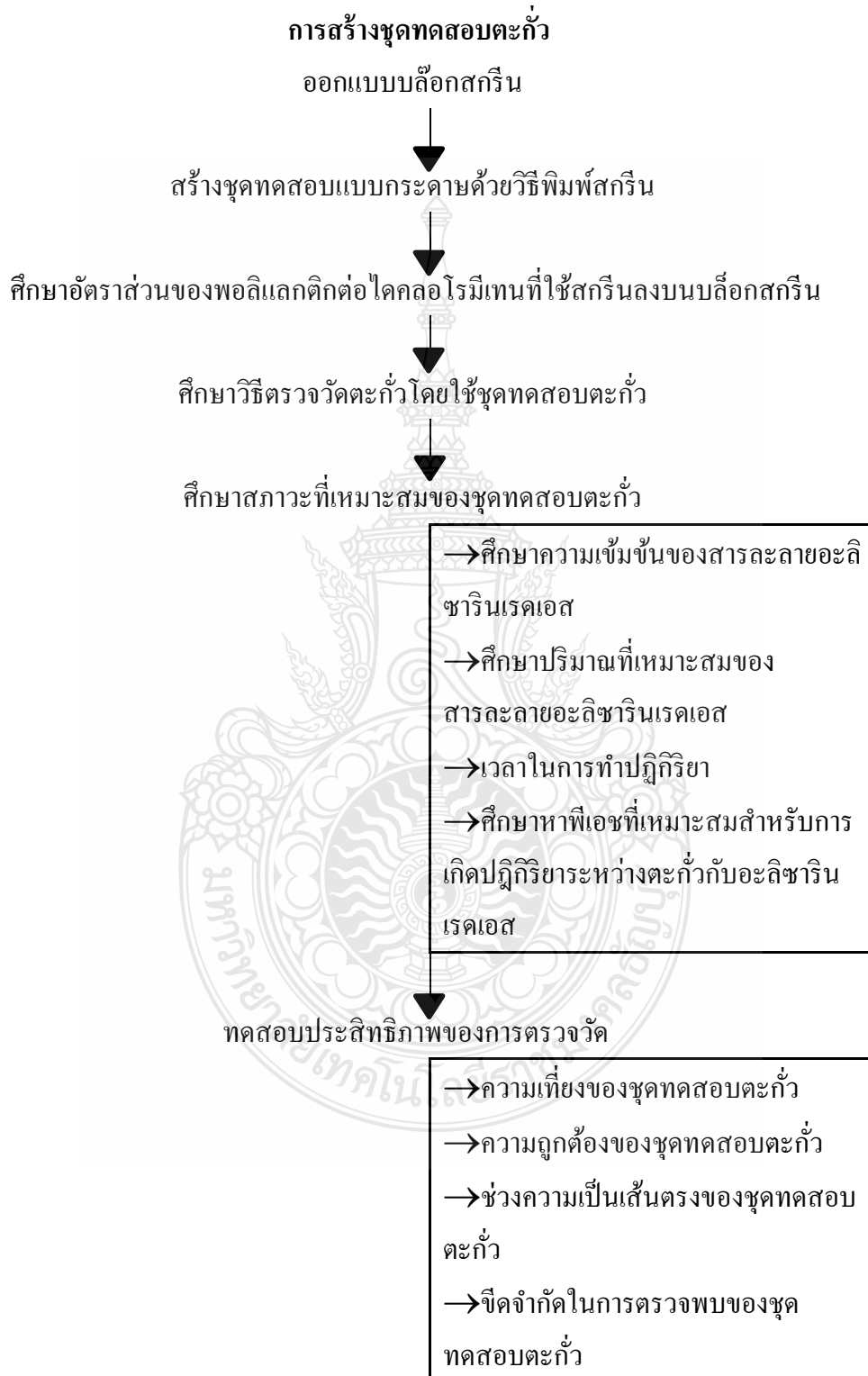
3.2.6 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) รุ่น AZ series (STARTORIUS Instrument, USA)

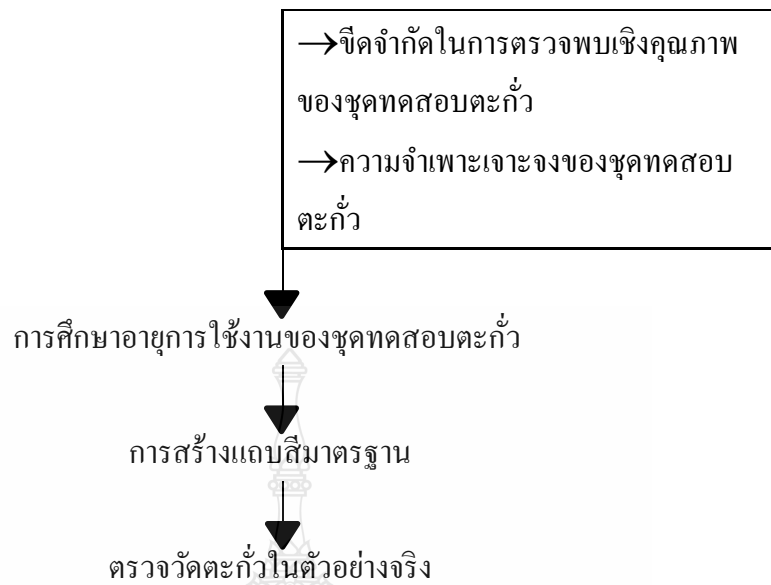
3.2.7 เครื่องมือวัดกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น Model UB-10 (Dinver Instrument, UK)

3.2.8 เครื่องกวนแม่เหล็กแบบใช้ความร้อน (Hotplate stirrer) รุ่น IKA RH basic 1X (Laboratory & Meadical Supplies, Canada)

3.3 การทดลอง

3.3.1 การสร้างชุดทดสอบตะกั่ว



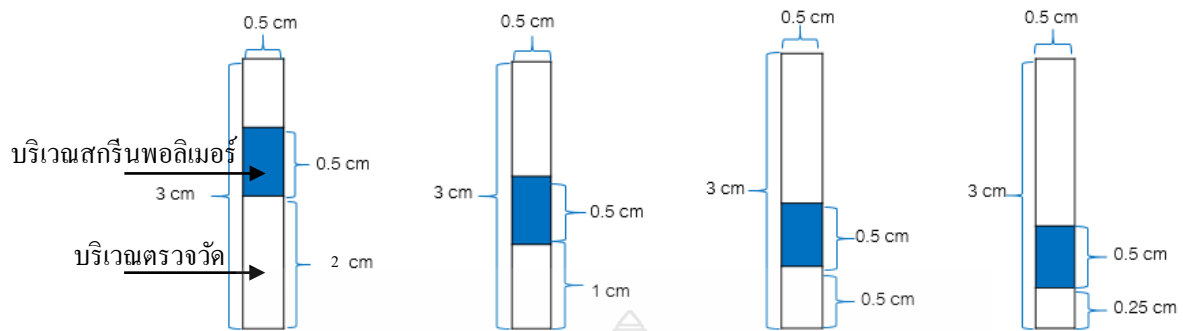


3.3.1.1 ออกแบบบล็อกสกรีน

ออกแบบบล็อกสกรีนด้วยโปรแกรมอะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ (Adobe Illustrator) โดยกำหนดรูปแบบของชุดทดสอบแบบกระดาษ ความกว้างและความยาวของบริเวณตรวจวัด กำหนดความกว้างและความยาวบริเวณที่สกรีนพอลิเมอร์ โดยสร้างชุดทดสอบแบบกระดาษที่มีความกว้างและความยาวแตกต่างกันทั้งหมด 4 แบบ ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางรูปแบบการสร้างชุดทดสอบแบบกระดาษ

รูปแบบ	ขนาด (ความกว้าง x ความยาว (เซนติเมตร))		
	บริเวณตรวจวัด	บริเวณสกรีน	ชุดทดสอบแบบกระดาษ
แบบที่ 1	0.5 x 2	0.5 x 0.5	0.5 x 3
แบบที่ 2	0.5 x 1	0.5 x 0.5	0.5 x 3
แบบที่ 3	0.5 x 0.5	0.5 x 0.5	0.5 x 3
แบบที่ 4	0.5 x 0.25	0.5 x 0.5	0.5 x 3



รูปที่ 3.1 การออกแบบบล็อกล็อกสกรีน

3.3.1.2 สร้างรูปแบบชุดทดสอบแบบกระดาษด้วยวิธีพิมพ์สกรีน

นำบล็อกล็อกสกรีนที่สร้างจากรูปแบบที่ได้ในข้อ 3.3.1.1 มาสร้างรูปแบบของชุดทดสอบแบบกระดาษดังนี้

ขั้นที่ 1 นำกระดาษโครมาโตรกราฟฟีมาวางทับด้วยบล็อกล็อกสกรีน

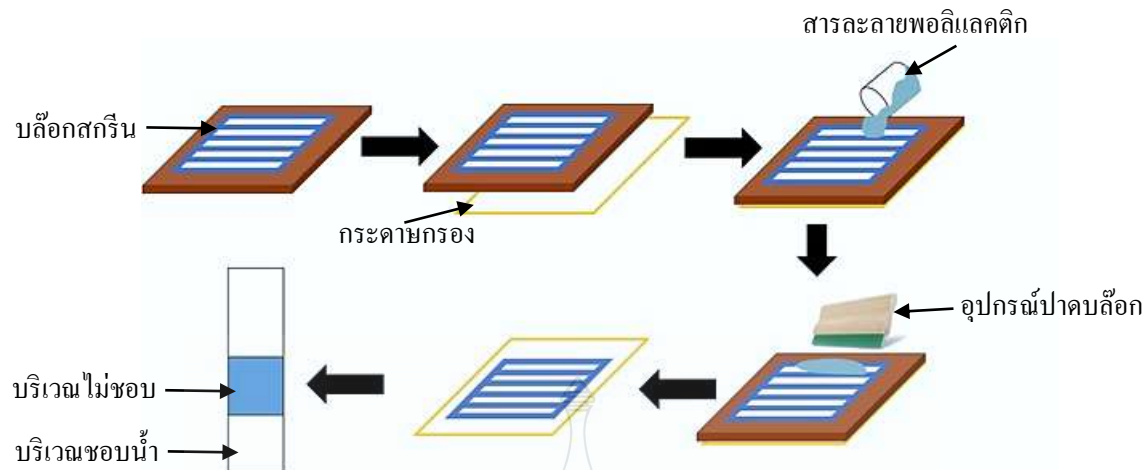
ขั้นที่ 2 นำพอลิแลกติกไปละลายในตัวทำละลายไคคลอโรมีเทน แล้วนำสารละลายที่ได้มาเทลงบนบล็อกล็อกสกรีน จากนั้นทำการปาดสารละลายพอลิแลกติกที่อยู่ในบล็อกล็อกสกรีนด้วยอุปกรณ์ปาดบล็อก

ขั้นที่ 3 วางกระดาษโครมาโตรกราฟฟีที่สกรีนด้วยสารละลายพอลิแลกติกไว้

จนแห้ง

ขั้นที่ 4 ตัดกระดาษตามรูปแบบที่ได้ในข้อ 3.3.1.1 แล้วนำไปทำการทดลอง

ต่อไป



รูปที่ 3.2 วิธีสร้างชุดทดสอบตะกั่วด้วยวิธีพิมพ์สกรีน

3.3.1.3 ศึกษาอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนไกลคอลต่อไอโซลอร์มีเทน

ศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนไกลคอลกับไอโซลอร์มีเทนที่อัตราส่วน 2 4 6 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ทำการทดลองโดยละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลในไอโซลอร์มีเทนตามอัตราส่วนต่างๆ เทสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ได้ ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงบล็อกสกรีนตามรูปแบบที่ออกแบบในข้อ 3.3.1.1 จากนั้นเปิดสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ปิดลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยากัน 1 นาที เหน็จพิจารณาจะเลือกจากการทดลองที่พอลิเอทิลีนไกลคอลสามารถกันบริเวณตรวจวัดได้ดีที่สุด

3.3.1.4 วิธีตรวจวัดตะกั่ว

การตรวจวัดตะกั่วโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส โดยวิธีการตรวจวัดเปิดสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) สามารถแปรผลได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การนำไปวัดความเข้มสีที่ได้ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ และวิธีที่ 2 นำไปเทียบกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

3.3.1.5 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว

1) ศึกษาปริมาตรของบริเวณตรวจวัด

ศึกษาปริมาตรของบริเวณตรวจวัดที่ปริมาตรตะกั่ว 2 4 6 8 และ 10 ไมโครลิตร โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรต่างๆ ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เหน้กัการพิจารณาเลือกจากการทดลองที่ให้ความเข้มสีมากที่สุดและสามารถเกิดปฏิกิริยาเต็มพื้นที่พอดีกับบริเวณตรวจวัด

2) ศึกษาความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส

ศึกษาความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสที่ 7 11 14 17 21 24 และ 27 มิลลิโมลาร์ ทำการทดลองโดยใช้สารละลายอะลิซารินเรดเอสที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เหน้กัการพิจารณาเลือกจากการทดลองที่ให้ความเข้มสีมากที่สุด

3) ศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสมการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

ศึกษาสภาวะการเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วและอะลิซารินเรดเอส โดยทำการทดลองเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่พีเอช 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 และ 6.00 โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดความเข้มข้นที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เหน้กัการพิจารณาเลือกจากการทดลองที่ให้ค่าความเข้มสีสูงที่สุด

4) ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอะลิซารินเรดเอสกับตะกั่วที่เวลา 0.5 1 2 3 และ 4 นาที โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดความเข้มข้นที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ที่เกิดปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ

จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เสนอการพิจารณาเลือกจากการทดลองที่ให้ค่าความเข้มข้นสูงสุด

ตารางที่ 3.2 แสดงการหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว

สภาวะที่ศึกษา	การทดลอง
1) ปริมาตรบริเวณตรวจวัด (ไมโครลิตร)	2 4 6 8 และ 10
2) ความเข้มข้นของสารละลายอะลิซาริเรดเอส (มิลลิโมลาร์)	7 11 14 17 21 24 และ 27
3) ศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซาริเรดเอส	3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 และ 6.00
4) เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	0.5 1 2 3 และ 4

3.3.1.6 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบตะกั่ว

1) ความเที่ยงของชุดทดสอบตะกั่ว

1.1) การทำซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว

ศึกษาการทำซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว ทำการทดลองโดยปิเปตสารละลายอะลิซาริเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะเดียวกัน จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percent Relative Standard Deviation ; %RSD) เสนอการพิจารณาจะพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์ [47]

1.2) การทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว

ศึกษาการทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว ทำการทดลองโดยปิเปตสารละลายอะลิซาริเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัด

ความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เกณฑ์การพิจารณาจะพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบน-มาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์ [47]

2) ความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่ว

ศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่ว โดยการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (% Recovery) โดยเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วลงในตัวอย่างจริงที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 0.5 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดอัตราส่วนโมลที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนเทียบกับกราฟมาตรฐาน เกณฑ์การพิจารณาจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน 80 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์ [47]

3) ช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว

ทดสอบช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว โดยทำการทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและค่าความเข้มสี เกณฑ์การพิจารณาจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) อยู่ในช่วง 0.995 ถึง 1 [47]

4) ชีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบตะกั่ว

ทดสอบชีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบตะกั่ว โดยปีเปิดสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปิดสารละลายแบลงค์ ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) ทำการทดลอง 7 ซ้ำ จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณได้ไปคำนวณหาชีดจำกัดในการตรวจพบด้วยสูตร 3SD (SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์)

5) ชีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพของชุดทดสอบวัดตะกั่ว

ทดสอบชีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพของชุดทดสอบตะกั่ว โดยปีเปิดสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปิดสารละลายแบลงค์ ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) ทำการทดลอง 7 ซ้ำ จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณได้ไปคำนวณหาชีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพด้วยสูตร 10SD โดยความเข้มข้นที่ได้ต้องมีความเที่ยงและความถูกต้อง

6) ความจำเพาะเจาะจงของชุดทดสอบตะกั่ว

ศึกษาความจำเพาะเจาะจงของชุดทดสอบตะกั่ว โดยศึกษาจากผลของตัวรบกวนเช่น ทองแดง แคดเมียม สังกะสี คาร์โบฟูเรน และ คาร์บาริล ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองโดยปีเปิดสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เหน้การพิจารณาจะเปรียบเทียบความเข้มสีที่ได้จากตัวรบกวนกับที่ได้จากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

3.3.1.7 ศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบ

ศึกษาอายุของสารเคมีที่ใช้ในชุดทดสอบ โดยศึกษาระยะเวลาในการนำชุดทดสอบตะกั่วไปใช้งานในการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลาจนการทำงานของชุดทดสอบตะกั่วที่เก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการตรวจวัดตะกั่วในทุกๆ สัปดาห์ ในสภาวะการทดลองเดียวกัน ทำการทดลองโดยปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณได้มาหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของชุดทดสอบในการตรวจวัดของชุดทดสอบ โดยกำหนดให้ค่าการตอบสนองสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลองชุดทดสอบมีประสิทธิภาพในการตรวจวัด เป็น 100 %

3.3.1.8 การสร้างแถบสีมาตรฐาน

สร้างแถบสีมาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองโดยปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสตราส่วนโมลที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 2) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) บันทึกสีที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของตะกั่ว เพื่อนำไปสร้างแถบสีมาตรฐาน

3.3.1.9 ตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบแบบกระดาษสำหรับตรวจวัดตะกั่ว

เมื่อได้ชุดทดสอบตะกั่วและสภาวะที่เหมาะสมในการทดสอบแล้ว จึงนำชุดทดสอบตะกั่ว ที่ได้ไปตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริง เช่น ลำไยสด โดยสกัดตะกั่วในตัวอย่างลำไย โดยนำตัวอย่างลำไยไปปั่นให้ละเอียด นำตัวอย่างมาชั่ง 25.00 กรัม เติมน้ำในตริก 25 มิลลิตร ปั่น และให้ความร้อน แยกสารดังกล่าวจากตัวอย่างโดยการกรอง ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิตร ปรับพีเอชสารตัวอย่างให้ได้ 4.00 จากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้ไปตรวจหาตะกั่วด้วยชุดทดสอบตะกั่ว

ทำการตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบตะกั่ว โดยปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น ที่ได้จาก 3.3.1.5 ข้อ 1) ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรที่ได้จาก

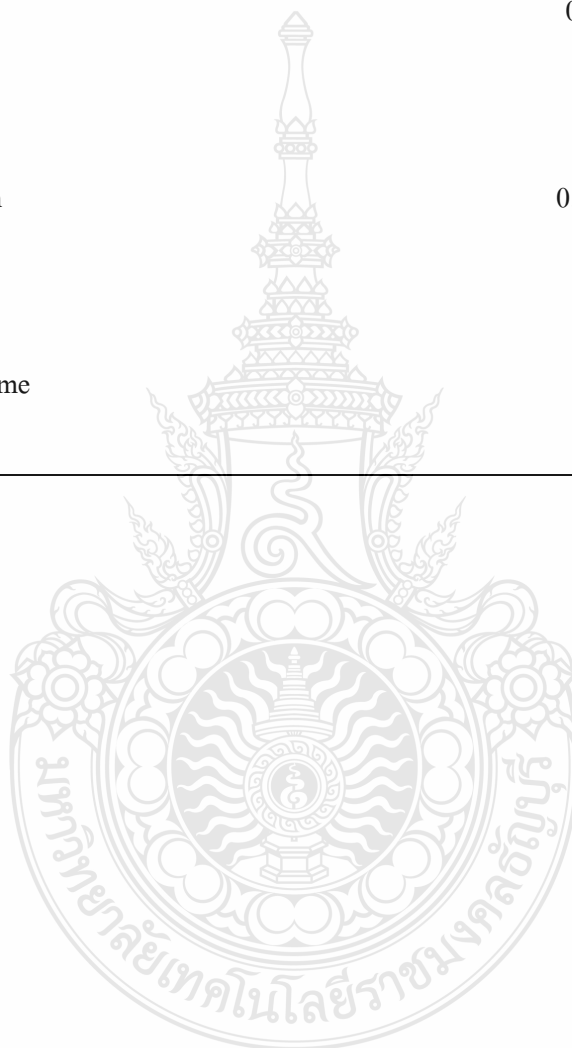
3.3.1.5 ข้อ 2) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.3.1.5 ข้อ 3) การแปรผลมี 2 แบบคือ แบบที่ 1 นำไปวัดค่าความเข้มสี โดยสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน สำหรับการแปรผลแบบที่ 2 คือ นำค่าที่ได้จากชุดทดสอบไปเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีทั่วไป คือ วิธีทางเคมีไฟฟ้า

3.3.1.10 การตรวจวัดตะกั่วด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า

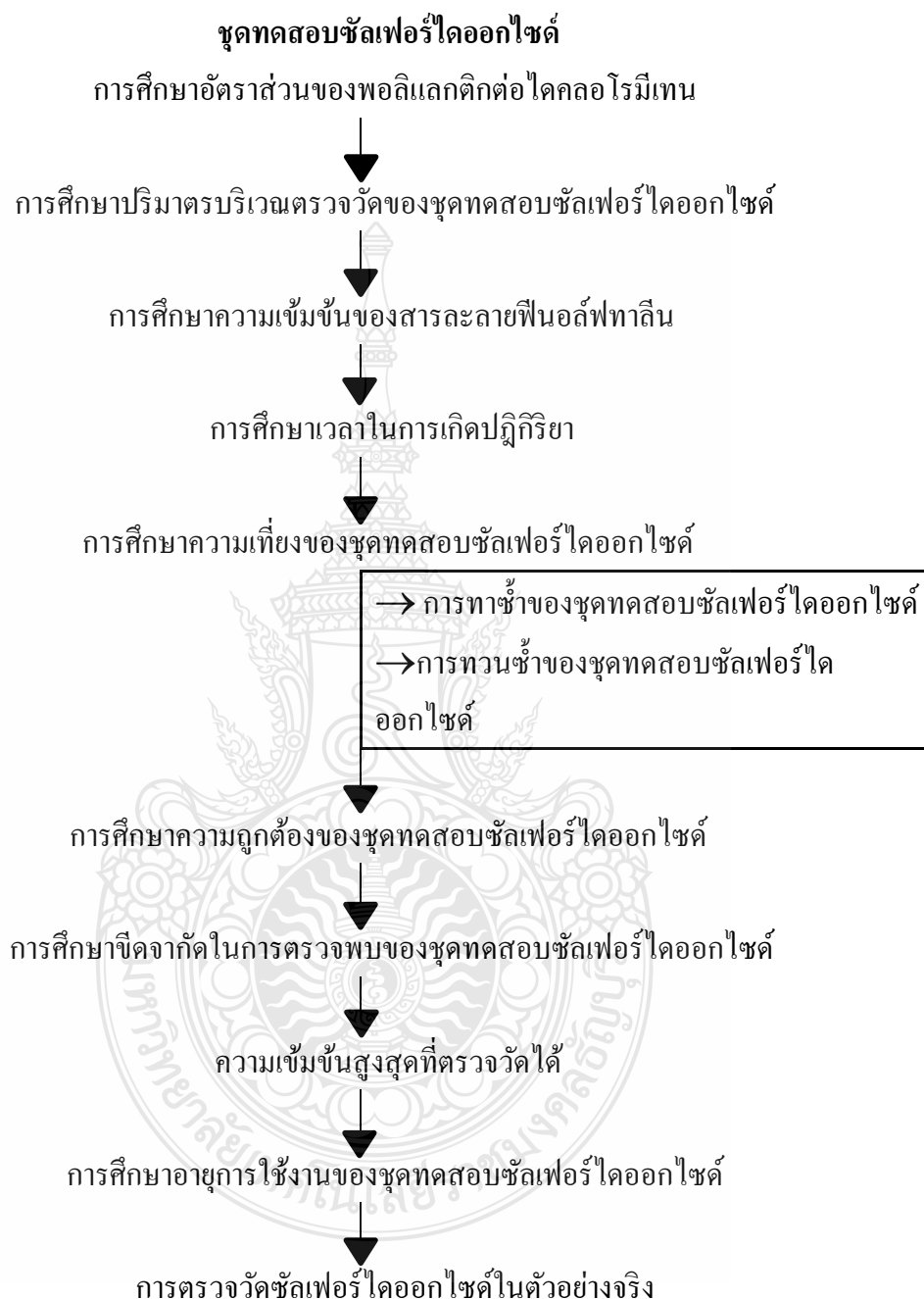
ตรวจวัดตะกั่วด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพลัสแอโนดิกสตรipping โวลเทมเมทรี ทำการต่อเซลล์ไฟฟ้า 3 ระบบ เข้ากับเครื่องวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้แกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ใช้แพลตตินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย และมี ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นอะซิเตตบัฟเฟอร์ พีเอช 5 โดยใช้สภาวะการทดลอง ดังตารางที่ 3.3 ทำการตรวจวัดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 0.05 0.1 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นตะกั่วกับค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อได้กราฟมาตรฐานความเข้มข้นตะกั่ว ทำการตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างลำไยสด นำค่ากระแสที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างลำไยจากสมการเส้นตรง $y = mx + c$

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทดลองในการตรวจวัดตะกั่วด้วยเทคนิคโพรมิเตอร์เรนท์เชิงพัลส์แอโนดิก
สตริปปีงโวลแทมเมตรี

พารามิเตอร์	ค่าที่ตั้ง
Init E	-1.2 V
Final E	0.2 V
Incr E	0.004 V
Amplitude	0.05 V
Plues Width	0.05 s
Sample Width	0.01667 s
Plues Period	0.2 s
Deposition E	-0.1 V
Deposition Time	90 s
Quiet Time	2 s



3.3.2 ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์



3.3.2.1 สร้างรูปแบบชุดทดสอบแบบกระดาษด้วยวิธีพิมพ์สกรีน

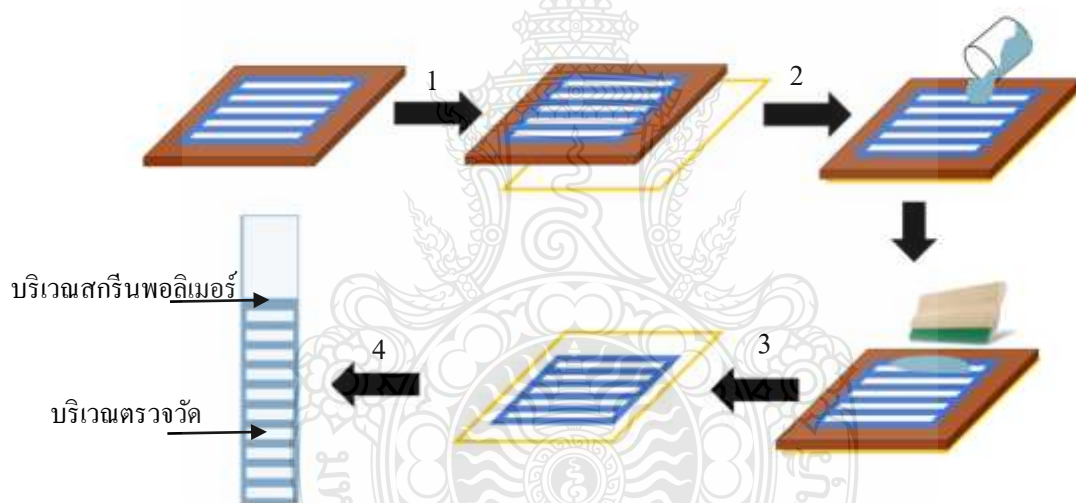
สร้างรูปแบบของชุดทดสอบแบบกระดาษดังรูปที่ 3.3 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 นำกระดาษโครมาโทกราฟฟีมาวางทาบด้วยบล็อกสกรีน

ขั้นที่ 2 นำพอลิแลกติกไปละลายในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน แล้วนำสารละลายที่ได้มาเทลงบนบล็อกสกรีน จากนั้นทำการปาดสารละลายพอลิแลกติกที่อยู่ใน บล็อกสกรีนด้วยอุปกรณ์ปาดบล็อก

ขั้นที่ 3 วางกระดาษโครมาโทกราฟฟีที่สกรีนด้วยสารละลายพอลิแลกติกไว้จนแห้ง

ขั้นที่ 4 ตัดกระดาษตามรูปแบบ แล้วนำไปทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.3 วิธีสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพิมพ์สกรีน

การตรวจวัดความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำการทดลองโดยเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ และสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 ไมโครลิตร ความเข้มข้นที่ได้จาก ข้อ 3.3.2.4 ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นเติมสารตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของเหลว ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร ตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี มาคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

3.3.2.2 ศึกษาอัตราส่วนของพอลิแล็กติกต่อไคคลอโรมีเทน

ศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแล็กติกกับไคคลอโรมีเทนที่อัตราส่วน 5 6 7 8 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ทำการทดลองโดยละลายพอลิแล็กติกในไคคลอโรมีเทนตามอัตราส่วนต่างๆ เทสารละลายพอลิแล็กติกที่ได้ ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงบนลือกสกรีนตัดตามรูปแบบ จากนั้นเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 ไมโครลิตร และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ 1 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด เกณฑ์การพิจารณาจะเลือกจากการทดลองที่พอลิแล็กติกสามารถกั้นบริเวณตรวจวัดได้ดีที่สุด

3.3.2.3 ศึกษาปริมาตรบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ศึกษาปริมาตรบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ปริมาตร 3 4 5 6 7 8 และ 9 ไมโครลิตร ทำการทดลองโดยเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรต่างๆ และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ 1 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด เกณฑ์การพิจารณาจะเลือกจากการทดลองที่เกิดปฏิกิริยาพอดีกับบริเวณตรวจวัด

3.3.2.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ฟีนอล์ฟทาไลน์ ทำการทดลองโดยเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เกณฑ์การพิจารณาเลือกจากการทดลองที่ให้ค่าความเข้มสีสูงที่สุด

3.3.2.5 ศึกษาเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ศึกษาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที ทำการทดลองโดยเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร และสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ความเข้มสีที่ได้จาก ข้อ 3.3.2.4 ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นวัดความเข้มสีที่เวลาต่างๆ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ เกณฑ์การพิจารณาเลือกทำการทดลองในนาทีที่ค่าความเข้มสีที่ไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3.4 แสดงการหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์

สภาวะที่ศึกษา	การทดลอง
1) ศึกษาปริมาตรบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบ(ไมโครลิตร)	3 4 5 6 7 8 และ 9
2) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์(เปอร์เซ็นต์)	0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0
3) ศึกษาเวลาการเกิดปฏิกิริยา(นาที่)	1 2 3 4 และ 5

3.3.2.6 ผลการศึกษาความเที่ยงของชุดทดสอบ

1) ความเที่ยงของชุดทดสอบ

1.1) การทำซ้ำของชุดทดสอบ

การทำซ้ำของชุดทดสอบ โดยทำการตรวจวัดเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 90 95 100 105 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ หยดลงบนบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะเดียวกัน จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เกณฑ์การพิจารณาจะพิจารณาจากค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ [47]

1.2) การทวนซ้ำของชุดทดสอบ

การทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว โดยทำการตรวจวัดเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 90 95 100 105 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ หยดลงบนบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน คือ เปลี่ยนผู้ทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เกณฑ์การพิจารณาจะพิจารณาจากค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ [47]

3.3.2.7 ศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบ

ศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่วโดยการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน โดยเติมเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 30 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่างต่ำโย จากนั้นทำการตรวจวัดเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ โดยเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความ

เข้มข้นต่างๆ และ 2 เปอร์เซนต์สารละลายฟีนอล์ฟทาลิน ปริมาตร 5 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี คำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลอง ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การได้ เหน้การพิจารณาจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนอยู่ในช่วง ที่ 90-107 เปอร์เซนต์ [47]

3.3.2.8 ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบ

หาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดย ทำการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดสีบนบริเวณตรวจวัดของกระดาษ ทดสอบ โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30 35 40 45 และ 50 มิลลิกรัมต่อ ลิตรและ 2 เปอร์เซนต์สารละลายฟีนอล์ฟทาลิน หยดลงบนบริเวณตรวจวัด เหน้การพิจารณาจะ พิจารณาความเข้มข้นต่ำสุดของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดสีบนบริเวณตรวจวัดของกระดาษทดสอบ

3.3.2.9 ศึกษาความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจวัดได้ของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ศึกษาความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้ โดยศึกษาจากความเข้มข้น ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถเตรียมได้ ที่ความเข้มข้น 900,000 1,000,000 1,100,000 1,200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นแร้ซ้งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 9 10 11 และ 12 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิตร เหน้การพิจารณา เล็กจากความเข้มข้นสูงสุดของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถละลาย น้ำได้ห้หมด

3.3.2.9 ศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ศึกษาอายุของสารเคมีที่ใช้ในชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ศึกษาอายุของ สารเคมีที่ใช้ในชุดทดสอบ เป็นระยะเวลาการทำงานของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ทำการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทุกๆ สัปดาห์ ใน สภาวะการทดลองเดียวกัน ทำการทดลองโดยปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายฟีนอล์ฟทาลินความเข้มข้นที่ได้จาก ข้อ 3.3.2.4 ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด จากนั้นวัดความเข้มสีที่เวลาต่างๆ โดยนำ กระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ ได้มาหา เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพของชุดทดสอบในการตรวจวัดของชุดทดสอบ โดยกำหนดให้ค่าการ ตอบสนองสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลองชุดทดสอบมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดเป็น 100 %

3.3.2.10 ตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริง

เมื่อได้ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสถานะที่เหมาะสมในการทดสอบแล้วจึงนำชุดทดสอบวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้มาตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริงได้แก่ ลำไย โดยนำตัวอย่างลำไยมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างมา 25 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร กรองด้วยผ้าขาวบาง ปริมาตรด้วยคาร์บอนแอคทีฟเพอร์จนครบ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปทดสอบด้วยชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์[48]

วิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์การทดลองโดยบีบอัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร และสารละลายฟีนอล์ฟทาเลินความเข้มข้นที่ได้จาก ข้อ 3.3.2.4 ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี มาคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีทั่วไป คือ เทคนิคการไทเทรต

3.3.2.10 ตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีไทเทรต

โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) จากนั้นหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เมื่อทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วจึงเตรียมบรรจุในบิวเรต บีบอัดสารตัวอย่างที่ได้จากการสกัดใส่ในขวดรูปชมพู่ 10 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาเลิน 3 หยด ไทเทรตจนสารตัวอย่างเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี ทำการไทเทรตซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

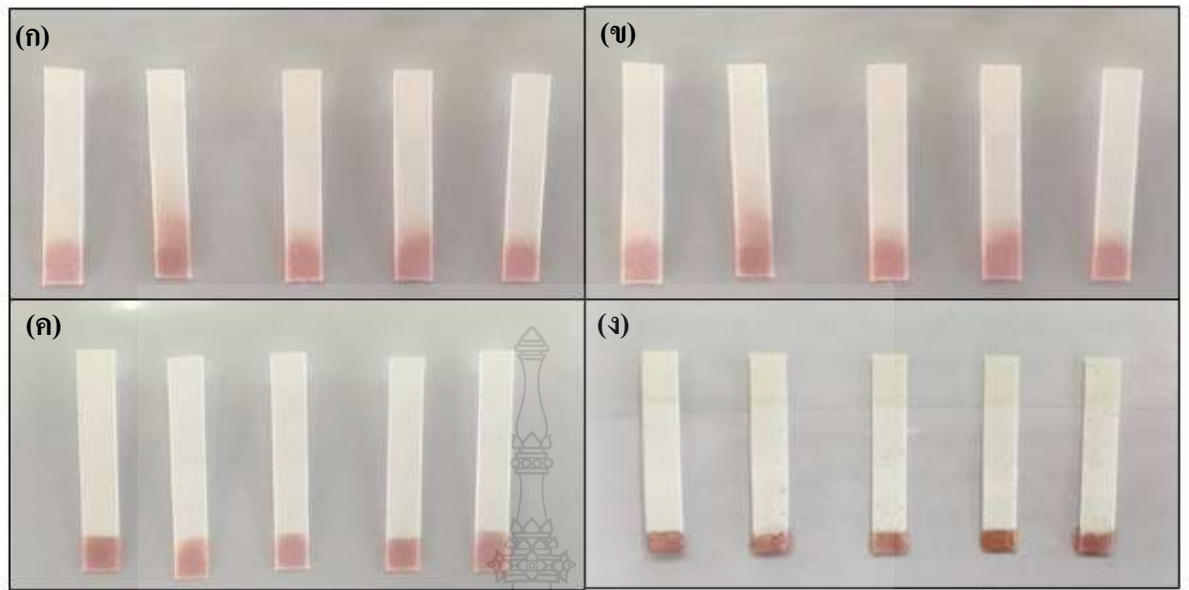
4.1 การสร้างชุดทดสอบตะกั่ว

4.1.1 การออกแบบบล็อกสกรีน

ออกแบบบล็อกสกรีนด้วยโปรแกรมอะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ โดยกำหนดรูปแบบของชุดทดสอบแบบกระดาษให้มีความกว้างและความยาวของบริเวณตรวจวัด กำหนดความกว้างและความยาวบริเวณที่สกรีนพอลิเมอร์ให้แตกต่างกันทั้งหมด 4 แบบ ดังตารางที่ 4.1 จากนั้นหยดสารละลายอะลิซารินเรดเอสลงบนชุดทดสอบทั้ง 4 แบบ จากการทดลองพบว่า ชุดทดสอบแบบที่ 1 และชุดทดสอบแบบที่ 2 ดังรูปที่ 4.1 (ก) และรูปที่ 4.1 (ข) มีบริเวณตรวจวัดกว้างทำให้สารไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เต็มบริเวณตรวจวัดจึงทำให้สีบริเวณตรวจวัดไม่ชัดเจน ชุดทดสอบแบบที่ 3 สารที่ใช้ทำการทดลองเกิดปฏิกิริยาได้เต็มบริเวณพอลิเมอร์สามารถมองเห็นสีที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.1 (ค) และชุดทดสอบแบบที่ 4 มีบริเวณตรวจวัดแคบ เมื่อสารทำปฏิกิริยาจะมีสีที่ชัดเจน แต่สารจะเกินออกมาจากบริเวณตรวจวัด ดังนั้นจึงเลือกชุดทดสอบแบบที่ 3 ไปสร้างบล็อกสกรีนเพื่อทำการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.1 ตารางรูปแบบการสร้างสร้างชุดทดสอบตะกั่ว

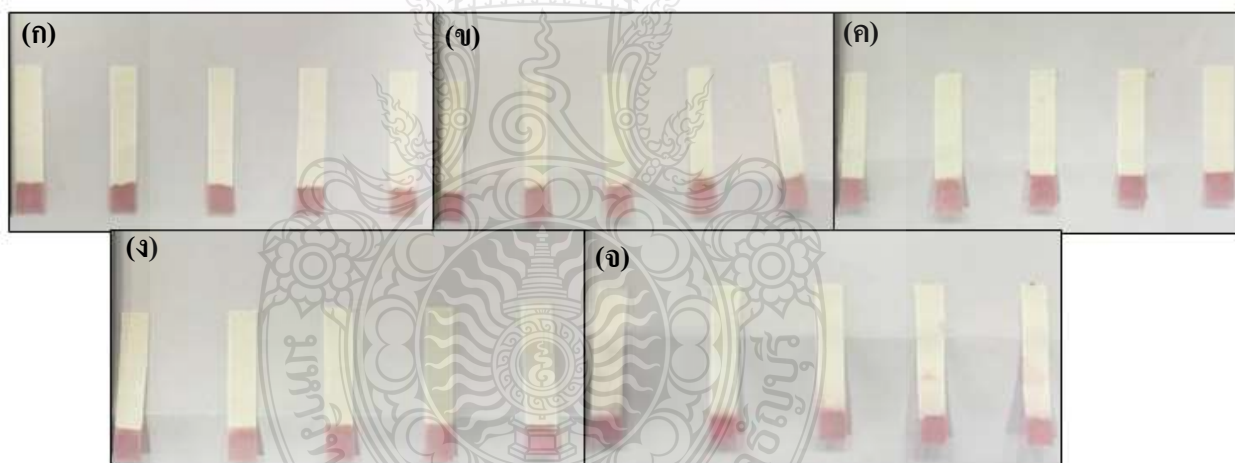
รูปแบบ	ขนาด (ความกว้าง x ความยาว (เซนติเมตร))		
	บริเวณตรวจวัด	บริเวณสกรีน	ชุดทดสอบแบบกระดาษ
แบบที่ 1	0.5×2	0.5×0.5	0.5×3
แบบที่ 2	0.5×1	0.5×0.5	0.5×3
แบบที่ 3	0.5×0.5	0.5×0.5	0.5×3
แบบที่ 4	0.5×0.25	0.5×0.5	0.5×3



รูปที่ 4.1 แสดงผลการสร้างชุดทดสอบ (ก) ชุดทดสอบแบบที่ 1 (ข) ชุดทดสอบแบบที่ 2 (ค) ชุดทดสอบแบบที่ 3 และ (ง) ชุดทดสอบแบบที่ 4

4.1.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน

ในการทดลองจะศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทนที่อัตราส่วน 2 4 6 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร โดยเตรียมสารละลายพอลิแลกติกที่อัตราส่วนต่างๆ มา สกรีนลงบนบดล็อกสกรีน จากนั้นหยดสารละลายอะลิซารินเรดเอสลงบนบริเวณตรงจวัด จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทนที่ 2-6 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร จะมีเนื้อของพอลิแลกติกน้อย ทำให้ไม่สามารถกั้นบริเวณชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ เมื่ออัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทนเพิ่มขึ้นพอลิแลกติกจะสามารถเคลือบบนกระดาษได้มากขึ้น พบว่าสามารถกั้นบริเวณชอบน้ำและไม่ชอบน้ำได้ดีขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนพอลิแลกติก 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร จะมีเนื้อของพอลิแลกติกมากทำให้พอลิแลกติกซึมผ่านบดล็อกสกรีนได้น้อย ทำให้สกรีนพอลิแลกติกลง บนกระดาษได้น้อยน้ำจึงสามารถซึมผ่านได้ ดังนั้นที่อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทนที่สามารถกั้นบริเวณตรงจวัดได้ดีที่สุด คือ 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ดังรูปที่ 4.2 (ง) จึงเลือกอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ไปสร้างชุดทดสอบเพื่อทำการทดลองต่อไป



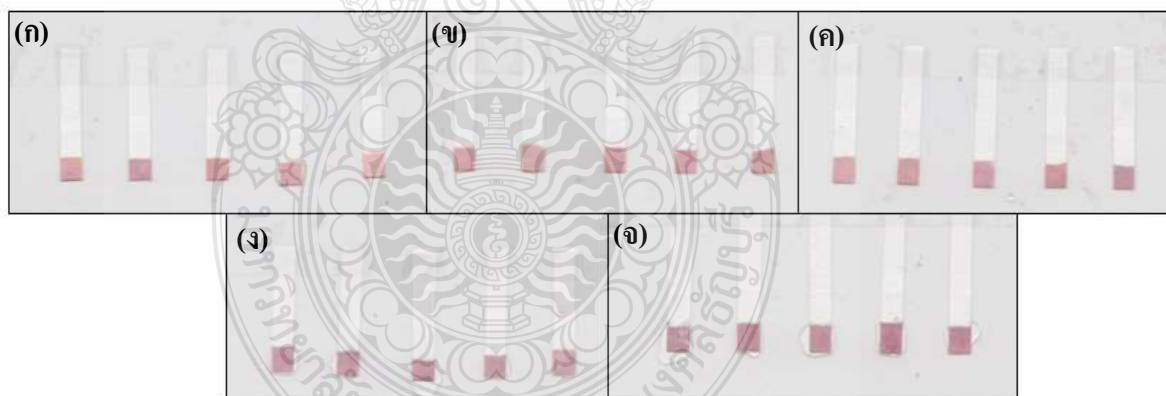
รูปที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน

- (ก) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 2 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
- (ข) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 4 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
- (ค) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 6 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
- (ง) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
- และ (จ) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

4.1.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว

1) ศึกษาปริมาณของบริเวณตรวจวัด

ผลการศึกษาปริมาณของบริเวณตรวจวัดที่ปริมาณของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 2 4 6 8 และ 10 ไมโครลิตร โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรต่างๆ ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เวลา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ แสดงผลการศึกษาปริมาณของตะกั่ว ปริมาตรของตะกั่วที่ 2 และ 4 ไมโครลิตร มีปริมาณสารที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้น้อยให้ค่าความเข้มสีต่ำ และเมื่อปริมาณของตะกั่วเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะเกิดมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณของตะกั่วในบริเวณตรวจวัดมากกว่า 6 ไมโครลิตร พบว่ามีปริมาณมากเกินไปทำให้สารละลายเกินออกจากบริเวณตรวจวัดดังรูปที่ 4.3 (ง) และรูปที่ 4.3 (จ) ดังนั้นจึงเลือกปริมาณบริเวณตรวจวัดที่ 6 ไมโครลิตร เนื่องจากสารละลายเกิดปฏิกิริยาเต็มบริเวณตรวจวัดพอดี



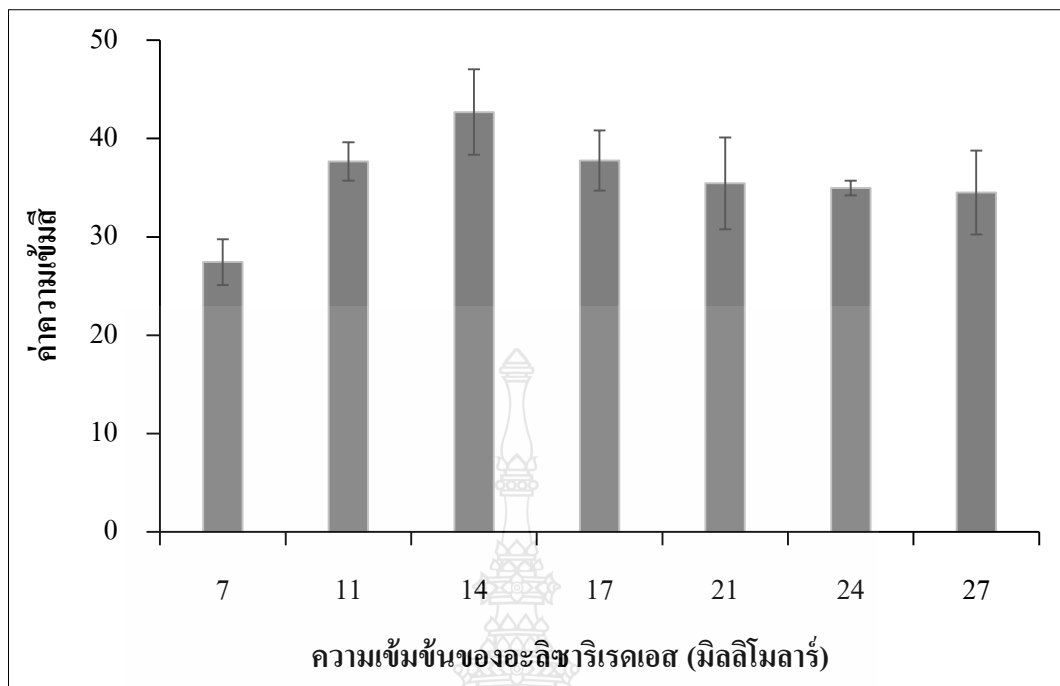
รูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาปริมาณของบริเวณตรวจวัด (ก) 2 ไมโครลิตร (ข) 4 ไมโครลิตร (ค) 6 ไมโครลิตร (ง) 8 ไมโครลิตร และ(จ) 10 ไมโครลิตร

2) ศึกษาความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส

อะลิซารินเรดเอสทำเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับตะกั่ว ดังนั้นจึงทำการศึกษาความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสที่ความเข้มข้น 7 11 14 17 21 24 และ 27 มิลลิโมลาร์ โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทั้งให้เกิดปฏิกิริยาที่เวลา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสและเพิ่มสูงสุดที่ความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ และเมื่อที่ความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสมากกว่า 14 มิลลิโมลาร์ พบว่าค่าความเข้มสีของสารผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากสีของอะลิซารินเรดเอสที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดไปบดบังสีสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทำให้ค่าความเข้มลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของอะลิซารินเรดเอส คือ 14 มิลลิโมลาร์

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มสีของความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส

ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
7	26.5	25.8	30.1	27.4	2.3
11	36.0	39.8	37.2	37.7	1.9
14	40.0	47.7	40.4	42.7	4.3
17	39.1	34.3	40.0	37.8	3.1
21	30.1	38.8	37.4	35.4	4.7
24	35.8	34.5	34.5	35.0	0.8
27	38.8	34.4	30.3	34.5	4.3



รูปที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส

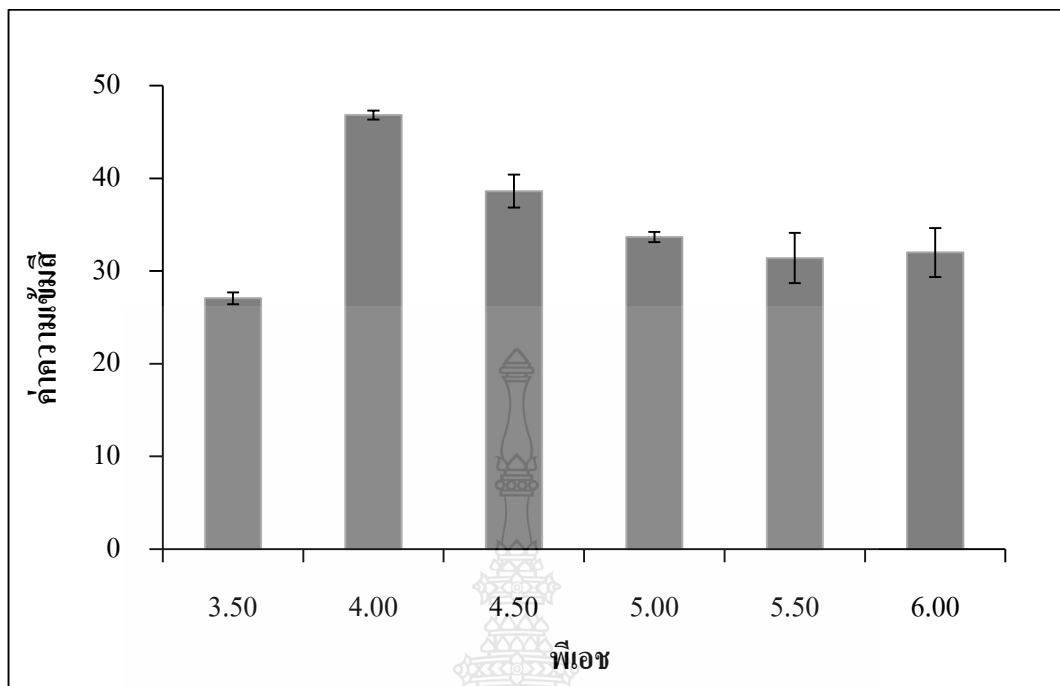


3) พีเอชที่เหมาะสมในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสขึ้นอยู่กับพีเอชที่เหมาะสมของสารตัวอย่าง โดยทำการศึกษาระยะมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชต่างๆ คือ 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 และ 6.00 โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทั้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 นาที วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 4.00 ให้ความเข้มสีสูงที่สุด ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 เนื่องจากที่พีเอช 4.00 เป็นพีเอชที่ตะกั่วและอะลิซารินเรดเอสจับกันได้ดีที่สุด เพราะพีเอช 4.00 มีค่า K_f (formation constant) ของการจับกันระหว่างอะลิซารินเรดเอสกับตะกั่วสูงสุดทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มาก ความเข้มสีจึงสูง [49] ดังนั้นพีเอชที่เหมาะสมในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสคือพีเอช 4.00

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มสีของพีเอชในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

ค่าพีเอช	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
3.5	27.0	27.7	26.4	27.1	0.6
4.0	46.7	47.4	46.5	46.8	0.5
4.5	40.7	37.5	37.7	38.6	1.8
5.0	33.1	33.8	34.2	33.7	0.6
5.5	28.7	34.1	31.4	31.4	2.7
6.0	30.6	35.1	30.3	32.0	2.7



รูปที่ 4.5 แสดงผลของพีเอชที่เหมาะสมในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

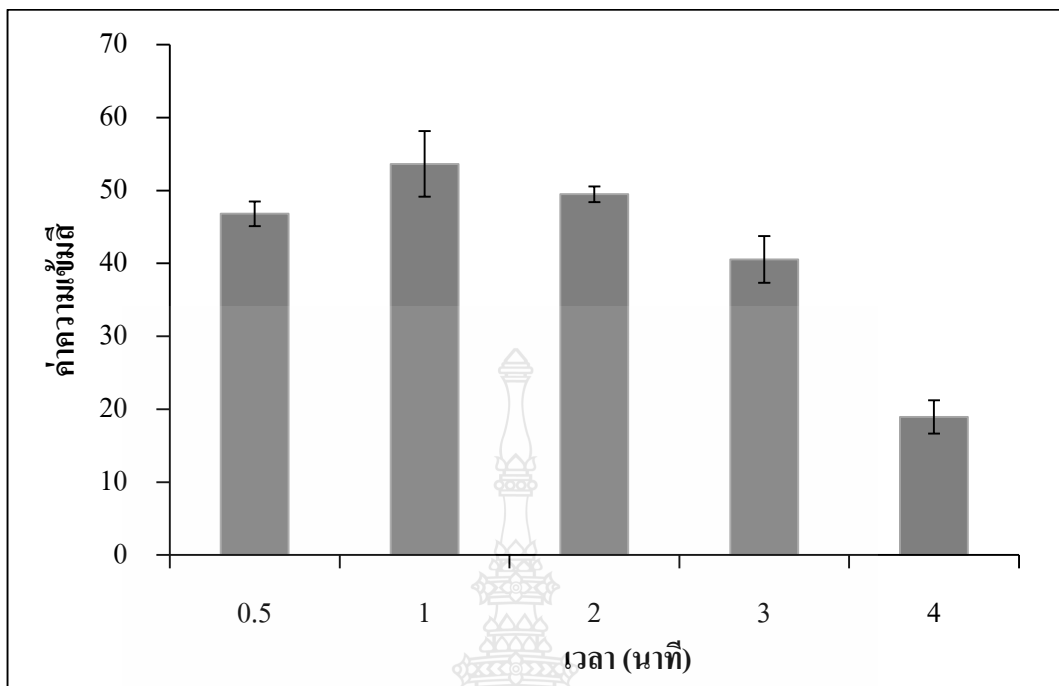


4) เวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสต้องอาศัยเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสได้สมบูรณ์ จึงได้ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่ 0.5 1 2 3 และ 4 นาที โดยปีปเตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีปเตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม ต่อลิตร ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทั้งให้เกิดปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากการทดลองพบว่าค่าความเข้มสีจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงสุดที่เวลา 1 นาที ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาคือ 1 นาที

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มสีของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

เวลา (นาที)	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.5	45.7	46.1	48.8	46.8	1.7
1	58.1	53.7	49.1	53.6	4.5
2	48.8	49.0	50.7	49.5	1.1
3	37.0	41.5	43.2	40.6	3.2
4	18.5	16.9	21.4	18.9	2.3



รูปที่ 4.6 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมในการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการหาสถานะที่เหมาะสมของชุดทดสอบตะกั่ว

สถานะที่ศึกษา	ผลการทดลอง
1) ปริมาตรบริเวณตรวจวัด (ไมโครลิตร)	6
2) ความเข้มข้นของสารละลายอะลิซารินเรดเอส (มิลลิโมลาร์)	14
3) พีเอชที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส	4.00
4) เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาทีก)	1

4.1.4 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบตะกั่ว

1) ความเที่ยงของชุดทดสอบตะกั่ว

1.1) การทำซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว

การทำซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว โดยใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะเดียวกัน จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ พบว่าค่าที่ได้เท่ากับ 0.6 ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ เพราะเกณฑ์การยอมรับได้ของ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ในช่วงความเข้มข้นระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องไม่เกิน 11% [47]

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาการทำซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว

ครั้งที่	ค่าความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	46.4	42.6	41.9	43.6
2	46.8	43.6	40.9	43.8
3	43.2	44.0	45.8	44.3
4	43.2	45.0	43.6	43.9
5	41.8	43.8	45.5	43.7
6	46.3	44.1	41.8	44.0
7	44.9	42.3	41.5	42.9
ค่าเฉลี่ย			43.8	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.3	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์			0.6	

1.2) การทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว

การทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว โดยใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน คือ เปลี่ยนผู้ทดลอง จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ พบว่าค่าที่ได้เท่ากับ 1.5 ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ เพราะเกณฑ์การยอมรับได้ของ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ในช่วงความเข้มข้นระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องไม่เกิน 11% [47]

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษากการทวนซ้ำของชุดทดสอบตะกั่ว

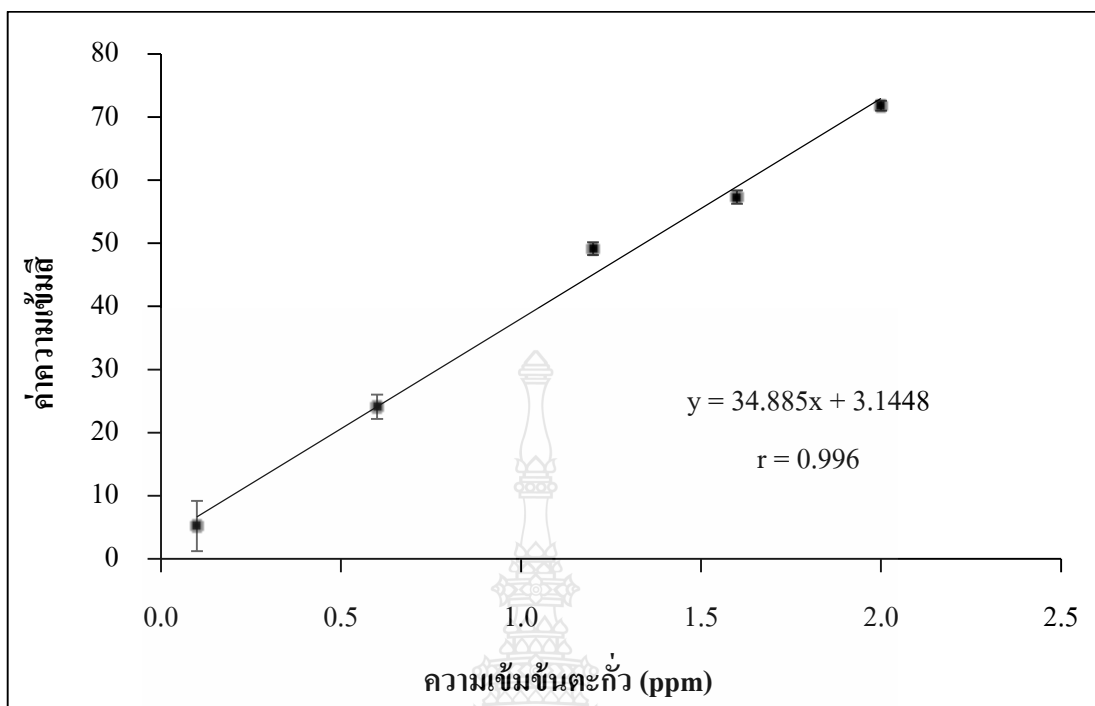
ครั้งที่	ค่าความเข้มข้น			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	47.2	47.0	44.7	46.3
2	46.0	46.3	46.7	46.3
3	46.1	44.4	47.2	45.9
4	46.2	48.8	46.6	47.2
5	49.0	48.6	43.1	46.9
6	48.9	46.0	44.1	46.3
7	44.6	44.6	46.0	45.1
ค่าเฉลี่ย			46.3	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.7	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์			1.5	

2) ความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่ว

ศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่วโดยการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน ทำการทดลองโดยเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.5 1.0 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่างลำไย จากนั้นทำการตรวจวัดตะกั่ว โดยปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารตัวอย่างพีเอช 4.00 ปริมาตร 6 ไมโครลิตร วางทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำข้อมูลที่ได้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นตะกั่วดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนอยู่ในช่วง 87-112 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ช่วงที่ยอมรับได้คือ 80-120%) [47] ดังตารางที่ 4.9 แสดงว่าชุดทดสอบมีความแม่นยำสูง

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความเข้มสีของตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ของกราฟมาตรฐานของความเข้มข้นตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่ว	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.1	2.0	3.9	9.7	5.2	4.0
0.6	25.5	24.9	21.9	24.1	1.9
1.2	50.2	49.0	48.2	49.2	1.0
1.6	58.2	57.7	56.1	57.3	1.1
2.0	71.3	71.4	72.7	71.8	0.8



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่ว

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เปอร์เซ็นต์การได้ กลับคืน
	ก่อนเติม	เติม	หลังเติม	
1	0	0.5	0.58 ± 0.02	108-116
2	0.26 ± 0.03	1.0	1.21 ± 0.01	91-99
3	0	1.5	1.31 ± 0.06	84-90

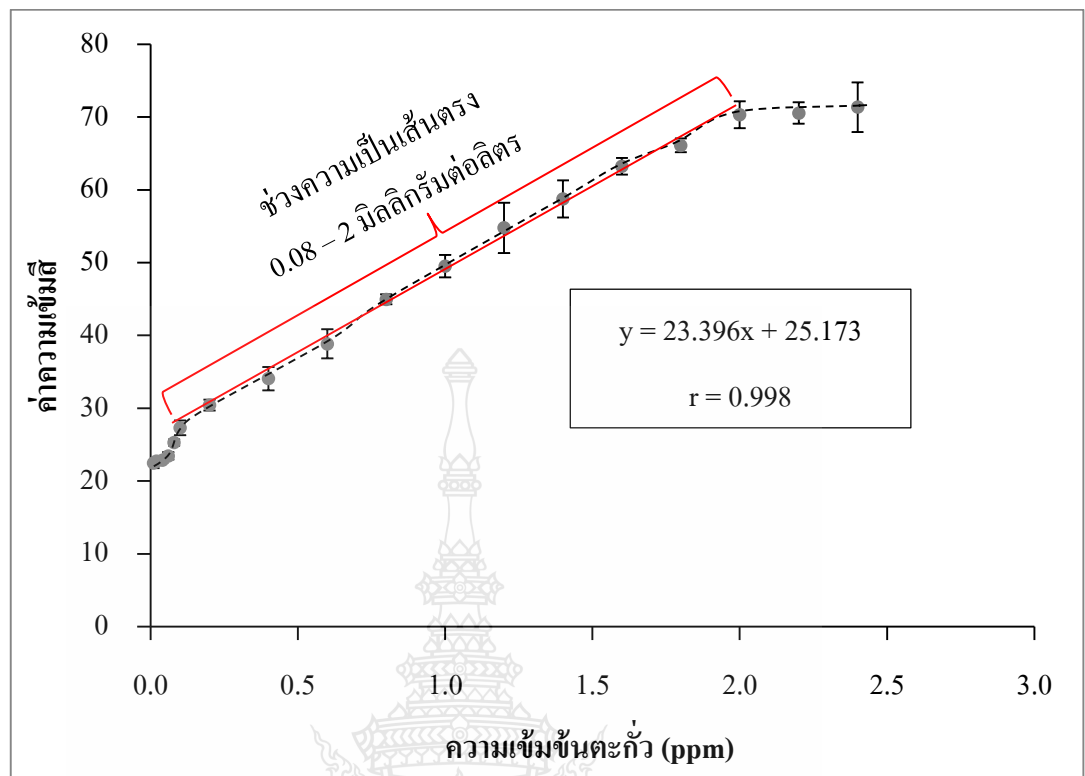
3) ช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว

การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว ทำการทดลองโดยตรวจวัดสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 และ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนําระคายที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.10 มาสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและค่าความเข้มสี ดังรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มสีจะเพิ่มขึ้น โดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงคือ 0.08 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.998



ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าความเข้มข้น			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.01	23.27	21.87	22.33	22.49	0.71
0.02	22.82	22.62	22.73	22.72	0.10
0.04	22.77	23.34	22.53	22.88	0.42
0.06	23.03	23.34	24.01	23.46	0.50
0.08	25.51	24.78	25.57	25.29	0.44
0.1	26.17	28.06	27.71	27.31	1.01
0.2	29.58	30.71	30.98	30.42	0.74
0.4	35.26	34.71	32.21	34.06	1.63
0.6	38.66	36.96	40.92	38.85	1.99
0.8	45.06	45.61	44.23	44.97	0.69
1.0	48.90	48.38	51.28	49.52	1.55
1.2	53.00	58.77	52.56	54.78	3.47
1.4	61.55	58.24	56.53	58.77	2.55
1.6	63.76	64.06	61.92	63.25	1.16
1.8	65.69	65.45	67.20	66.11	0.95
2.0	72.40	69.66	68.91	70.32	1.84
2.2	69.12	70.51	72.05	70.56	1.47
2.4	70.35	50.54	68.21	71.37	3.77



รูปที่ 4.8 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบตะกั่ว

4) จัดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบตะกั่ว

หาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบตะกั่ว โดยทำการตรวจวัดสารละลายเบเลนซ์ จำนวน 7 ครั้ง จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และคำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจพบซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความเข้มข้นในการตรวจวัดสารละลายเบเลนซ์ของชุดทดสอบตะกั่ว

ครั้งที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	-1.1	-1.0	-1.1	-1.1
2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
3	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
4	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
5	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
6	-1.1	-1.0	-1.0	-1.1
7	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
ค่าเฉลี่ย			-1.09	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.02	

โดยขีดจำกัดในการตรวจพบคำนวณได้จาก

$$LOD = 3SD$$

เมื่อ

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการตรวจวัด

จะได้

$$LOD = 3(0.02)$$

$$= 0.06 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

5) จัดจำกัดในการตรวจพบเชิงปริมาณของชุดทดสอบตะกั่ว

หาขีดจำกัดในการตรวจพบเชิงปริมาณของชุดทดสอบตะกั่ว โดยทำการตรวจวัดสารละลายเบลงค์ จำนวน 7 ครั้ง จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และคำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยขีดจำกัดในการตรวจพบคำนวณได้จาก

$$LOQ = 10SD$$

เมื่อ

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการตรวจวัด

จะได้

$$LOQ = 10(0.02)$$

$$= 0.2 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

และเมื่อศึกษาความเที่ยงของความเข้มข้นนี้พบว่าให้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 2.4 ให้เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนอยู่ในช่วง 88 – 113% จึงสรุปได้ว่าขีดจำกัดในการตรวจพบเชิงปริมาณของชุดทดสอบตะกั่วเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

6) ความจำเพาะเจาะจงของชุดทดสอบตะกั่ว

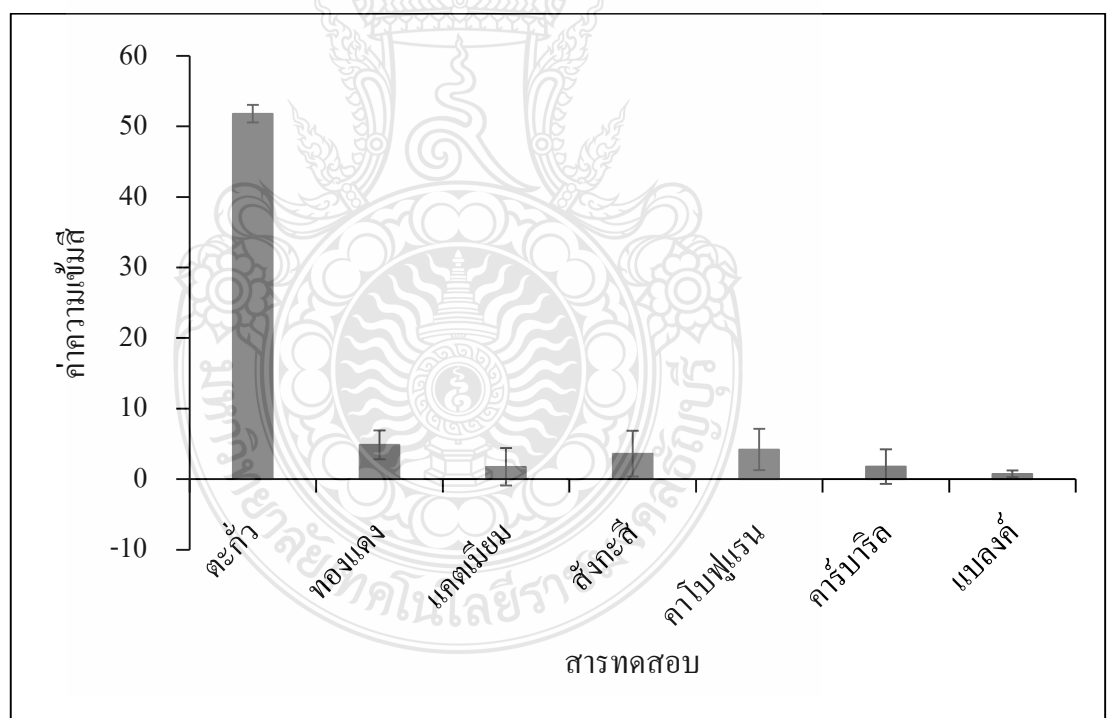
ศึกษาผลของตัวรบกวนที่คาดว่าจะมีผลรบกวนต่อการเกิดปฏิกิริยาของอะลิซารินเรดเอสและคาดว่ามิอยู่ในลำไย ได้แก่ ทองแดง แคดเมียม สังกะสี คาร์โบฟูเรน และ คาร์บาริล โดยการเปรียบเทียบจากสีที่เกิดขึ้นและค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพของตะกั่วที่ความความเข้มข้นเดียวกันคือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าตัวรบกวนที่นำมาทดสอบ ทองแดง แคดเมียม สังกะสี คาร์โบฟูเรน และ คาร์บาริล ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับของอะลิซารินเรดเอส ทำให้สีผลิตภัณฑ์ที่ได้ใกล้เคียงสารละลายแบบลงค์ ดังรูปที่ 4.9 และ ดังตารางที่ 4.12 จึงสรุปได้ว่าชุดทดสอบนี้มีความจำเพาะเจาะจงกับตะกั่ว



รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาตัวรบกวน (ก) ตะกั่ว (ข) ทองแดง (ค) แคดเมียม (ง) สังกะสี (จ) คาร์โบฟูเรน (ฉ) ตะกั่ว และ (ช) คาร์บาริล ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (ข) แบบลงค์

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความเข้มสีของสารทดสอบต่างๆ

เวลา	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ตะกั่ว	50.8	53.2	51.4	51.8	1.2
ทองแดง	6.5	2.6	5.5	4.9	2.1
แคดเมียม	0.4	4.8	0.0	1.7	2.7
สังกะสี	4.0	0.2	6.6	3.6	3.3
คาโบฟูเรน	5.8	0.8	6.0	4.2	2.9
คาร์บาริล	0.3	4.6	0.4	1.8	2.4
เบลนค์	0.6	1.3	0.4	0.8	0.5



รูปที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาความจำเพาะเจาะจง

4.1.5 การสร้างชุดทดสอบตะกั่ว

รูปที่ 4.11 แสดงการสร้างชุดทดสอบตะกั่ว ซึ่งประกอบด้วย

1. กระดาษทดสอบ

2. สารเคมี ประกอบด้วย

สารเคมี 1 อะลิซารินเรดเอส

3. คู่มือการใช้ชุดทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1) หยดสารเคมี 1 ลงบนกระดาษทดสอบ

2) เติมสารตัวอย่างลงบนกระดาษทดสอบ

3) วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ หรือนำกระดาษที่ได้ไปเทียบกับแถบสีมาตรฐานความเข้มข้นตะกั่ว



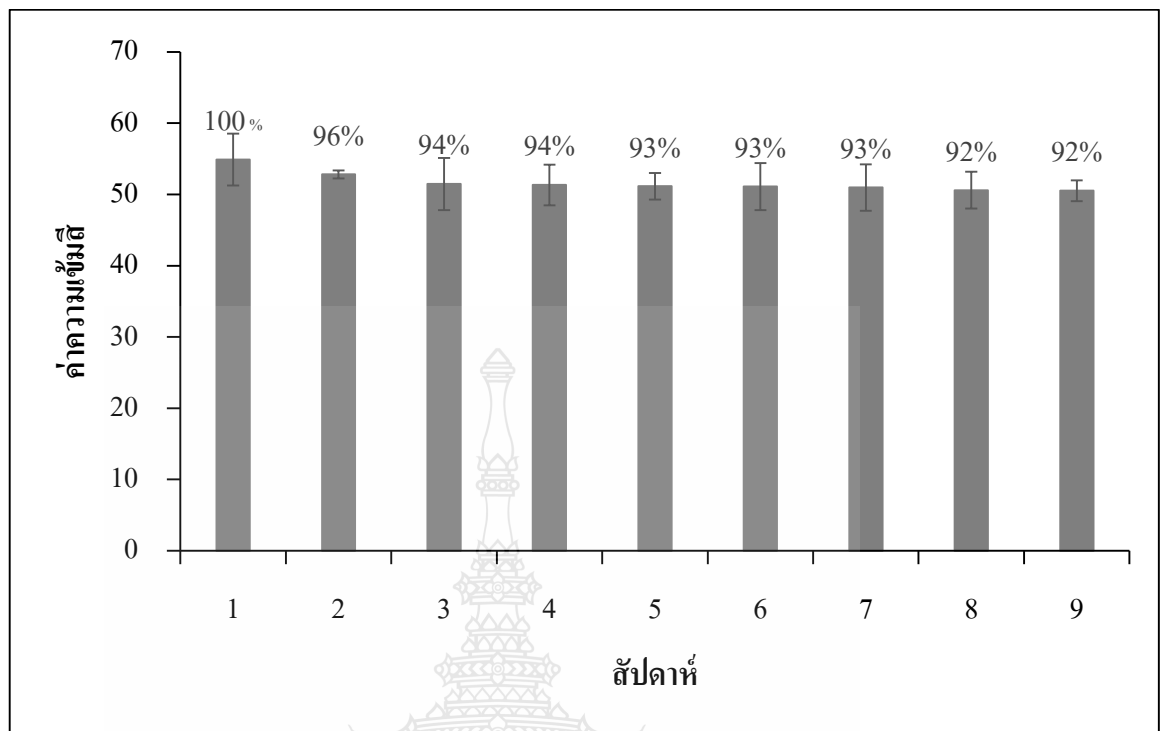
รูปที่ 4.11 ชุดทดสอบตะกั่ว

4.1.6 ผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบ

ศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว โดยศึกษาระยะเวลาที่สารเคมีเกิดปฏิกิริยากับตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการตรวจวัดโดยทำการศึกษาระยะเวลาตามมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4.00 โดยเปิดสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทั้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของชุดทดสอบ จากผลการทดลองพบว่า ทดลองเป็นดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.12 พบว่าอายุการใช้งานของชุดทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดตะกั่วได้ 92 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.13 แสดงการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว

สัปดาห์ที่	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	51.1	55.3	58.3	54.9	3.6
2	53.3	52.2	53.0	52.8	0.5
3	48.0	51.1	55.3	51.5	3.7
4	48.7	51.0	54.3	51.3	2.8
5	52.3	52.2	49.0	51.2	1.9
6	47.6	51.7	54.1	51.1	3.3
7	49.6	48.6	54.7	51.0	3.3
8	53.3	48.1	50.4	50.6	2.6
9	52.2	49.8	49.6	50.5	1.5

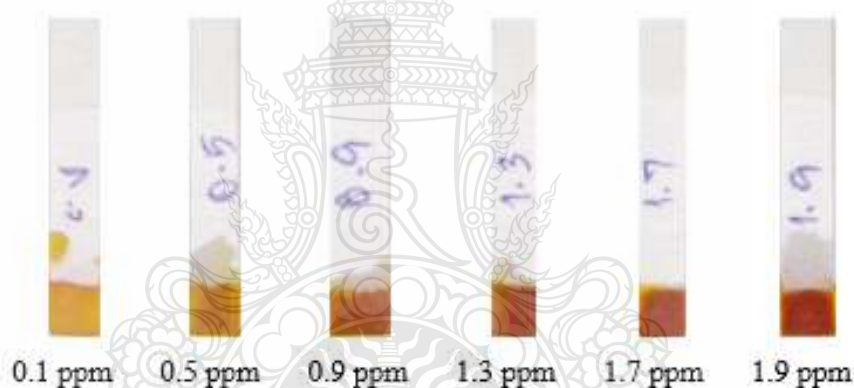


รูปที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบตะกั่ว

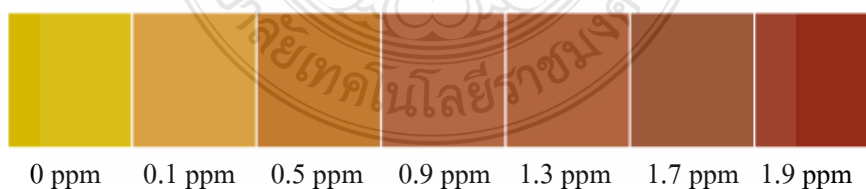


4.1.7 ผลการการสร้างแถบสีมาตรฐาน

สร้างแถบสีมาตรฐานตะกั่ว กรณีตรวจวัดแบบกึ่งปริมาณวิเคราะห์ ทำการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 0 0.1 0.5 0.9 1.3 1.7 และ 1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายอะซิไดรเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว พีเอช 4.00 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกน จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารตะกั่วเพิ่มมากขึ้นสีของสารผลิตภัณฑ์จะเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น ดังรูปที่ 4.13 จากนั้นนำความเข้มสีของตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆที่บันทึกไว้ไปสร้างแถบสีมาตรฐานได้แถบสีมาตรฐานด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.14 แถบสีมาตรฐานแสดงสีของตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.1.8 ผลการตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริงด้วยชุดทดสอบตะกั่ว

เมื่อได้ชุดทดสอบตะกั่วและสภาวะที่เหมาะสมในการทดสอบแล้ว จึงนำชุดทดสอบตะกั่ว ที่ได้ไปตรวจวัดตะกั่วในตัวอย่างจริงในลำไยสด สกัดตะกั่วในตัวอย่างลำไย โดยนำตัวอย่างลำไยไปปั่นให้ละเอียด นำตัวอย่างมาชั่ง 25 กรัม เติมนครดในตริก 25 มิลลิลิตร ปั่นและให้ความร้อนแยกสารดังกล่าวจากตัวอย่างโดยการกรอง ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ปรับพีเอชสารตัวอย่างให้ได้ 4.00 จากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้ไปตรวจหาตะกั่วด้วยชุดทดสอบตะกั่ว โดยเปิดสารละลายอะลิซา-รินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นเปิดตัวอย่าง ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 นาที วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.14 พบว่าชุดทดสอบที่สร้างขึ้นมีผลการตรวจวัดสอดคล้องกับวิธีทางเคมีไฟฟ้า เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ t-test พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นชุดทดสอบที่สร้างขึ้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดตะกั่วในลำไยได้ ซึ่งชุดทดสอบนี้มีข้อดีคือ สามารถนำไปใช้ตรวจวัดตะกั่วในภาคสนามได้จริง

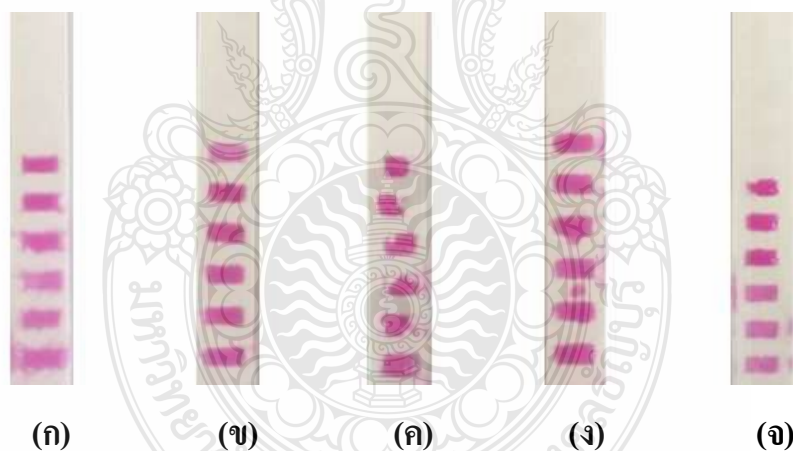
ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดทดสอบและวิธีมาตรฐาน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	ชุดทดสอบ	วิธีทางเคมีไฟฟ้า
1	0	0.03 ± 0.005
2	0.26 ± 0.03	0.22 ± 0.01
3	0	0.03 ± 0.002

4.2 ผลการสร้างชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์

4.2.1 ผลการศึกษ้อัตราส่วนของพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน

จากการทดลองศึกษ้อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทนที่อัตราส่วน 5 6 7 8 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เมื่อสกรีนสารละลายพอลิแลกติกลงบนกระดาษโครมาโทกราฟี แล้วตัดตามรูปแบบที่ต้องการ จากนั้นการทดสอบโดยปิเปตสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ปริมาตร 5 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อสารพอลิแลกติกน้อย ทำให้ไม่สามารถกั้นบริเวณตรวจวัดได้ เมื่ออัตราส่วนพอลิแลกติกเพิ่มขึ้นจะสามารถเคลือบกระดาษได้มากขึ้นทำให้กั้นบริเวณขอบน้ำและไม่ขอบน้ำได้ดีขึ้นแต่อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน มากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเนื้อสารพอลิแลกติกมีมากทำให้ผ่านบล็อกสกรีนลงไปได้น้อย ทำให้สกรีนได้ไม่เต็มบริเวณจึงไม่สามารถกั้นบริเวณตรวจวัดได้ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน สามารถกั้นบริเวณตรวจวัดได้ดีที่สุด คืออัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 6 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ดังรูปที่ 4.15 (ข)



รูปที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน

(ก) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

(ข) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 6 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

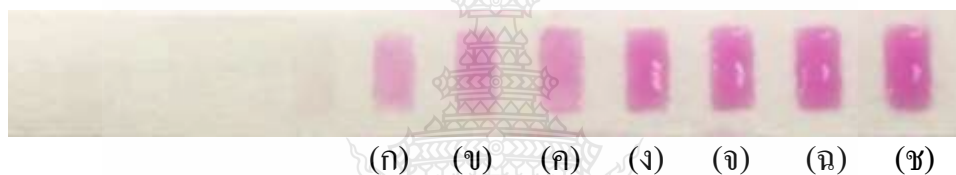
(ค) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 7 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

(ง) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

และ (จ) อัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกกับไคคลอโรมีเทน 9 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์

จากการทดลองศึกษาปริมาณบริเวณตรวจวัดของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ที่ปริมาตร 3 4 5 6 7 8 และ 9 ไมโครลิตร โดยปีเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ปริมาตรต่างๆ ลงบนบริเวณตรวจวัด จากผลการทดลองพบว่าที่ปริมาตรสาร 3 และ 4 ไมโครลิตร สารไม่เต็มบริเวณเมื่อปริมาตรของสารเพิ่มขึ้นสารจะเต็มบริเวณตรวจวัดมากขึ้น แต่เมื่อปริมาตรของสารในบริเวณตรวจวัดเกิน 5 ไมโครลิตร สารเกินออกจากบริเวณตรวจวัด ดังนั้นจึงเลือกปริมาตรของบริเวณตรวจวัดที่ 5 ไมโครลิตร เนื่องจากสารละลายเกิดปฏิกิริยาเต็มบริเวณตรวจวัดพอดี ดังรูปที่ 4.16 (ค)



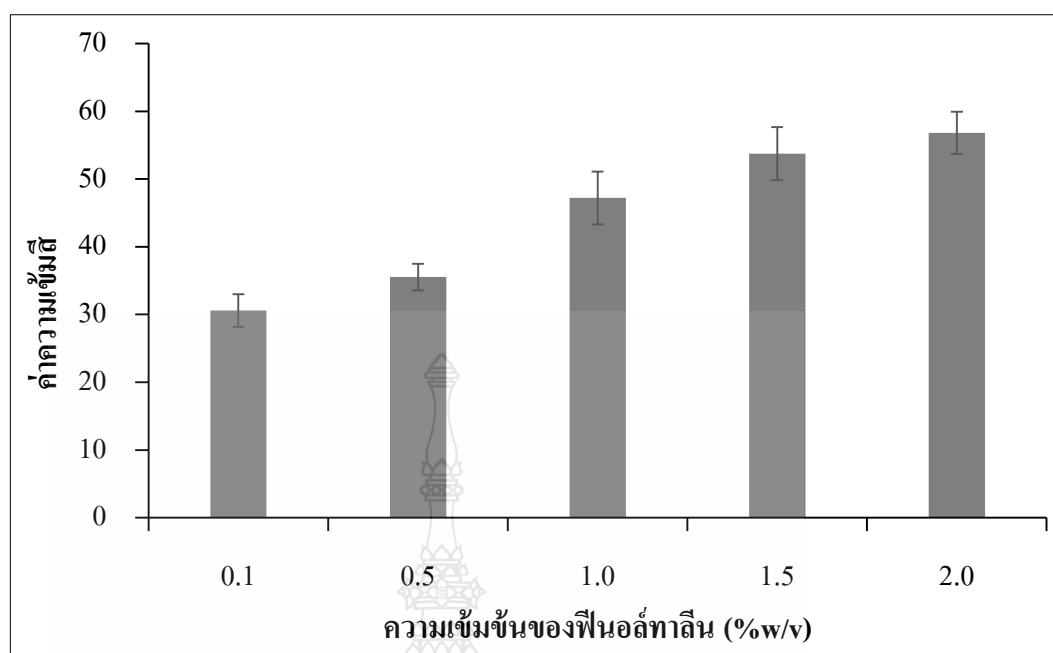
รูปที่ 4.16 แสดงผลการศึกษาปริมาณของบริเวณตรวจวัด (ก) 3 ไมโครลิตร (ข) 4 ไมโครลิตร (ค) 5 ไมโครลิตร (ง) 6 ไมโครลิตร (จ) 7 ไมโครลิตร (ฉ) 8 ไมโครลิตร และ(ช) 9 ไมโครลิตร

4.2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยอาศัยการวัดค่าความเข้มสีของฟีนอล์ฟทาลีน ที่ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของฟีนอล์ฟทาลีนมากขึ้นจะให้ค่าความเข้มสีสูงขึ้นและเพิ่มสูงสุดที่ 2 เปอร์เซ็นต์ฟีนอล์ฟทาลีน ดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนที่สามารถเตรียมได้ เพราะความเข้มข้นของฟีนอล์ฟทาลีนสูงกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล์ฟทาลีนจะเกิดการอิมตัวไม่สามารถละลายได้หมด ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความเข้มสีของเข้มข้นสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

ความเข้มข้นฟีนอล์ฟทาลีน (%w/v)	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.1	33.2	28.5	30.1	30.6	2.4
0.5	34.4	34.4	37.8	35.5	2.0
1	50.9	47.6	43.1	47.2	3.9
1.5	49.3	56.8	55.1	53.8	3.9
2	56.3	60.1	54.0	56.8	3.1

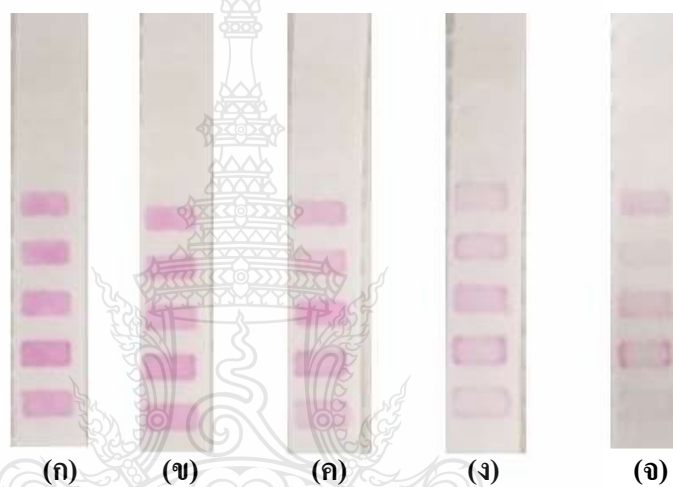


รูปที่ 4.17 แสดงผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายพีนอลฟทาไลน์



4.2.4 ผลการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา

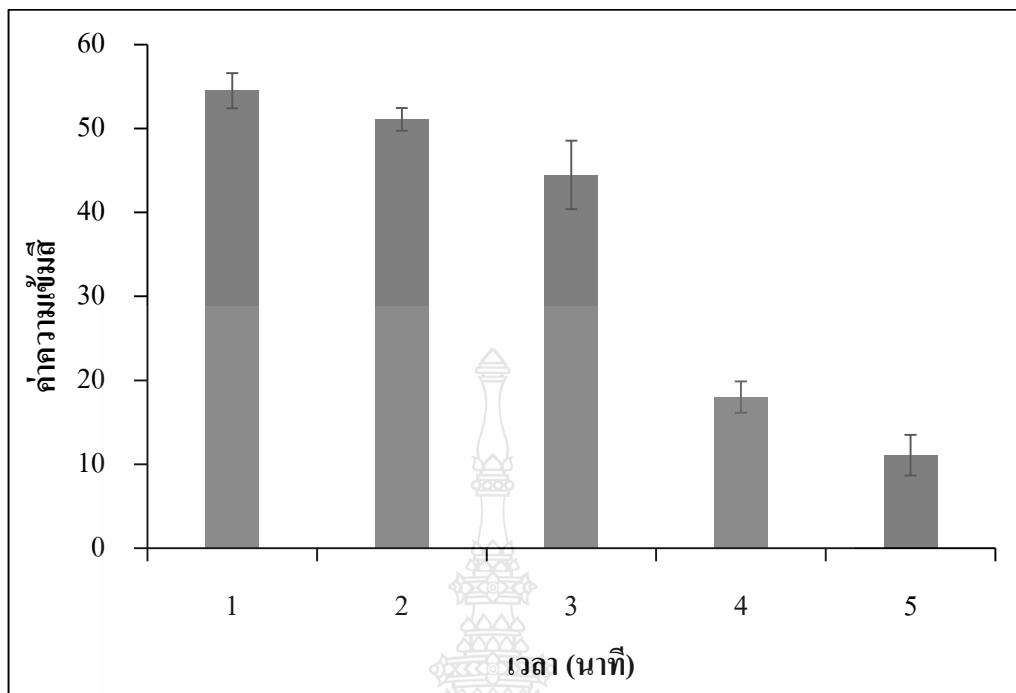
ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที โดยศึกษาจากสารเคมีที่ใช้ในการสร้างชุดทดสอบคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซนต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ จากการทดลองพบว่าสารเคมีที่ใช้ในการตรวจวัดมีค่าความเข้มสีลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ 3 นาที สีของชุดทดสอบจางลง ดังรูปที่ 4.18 และค่าความเข้มสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับนาที่ที่ 1 ดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.19 จากการทดลองจึงสรุปได้ว่าควรทำการทดลองภายใน 2 นาที



รูปที่ 4.18 แสดงผลการศึกษาความเสถียรของสารเคมีที่เวลา (ก) 1 นาที (ข) 2 นาที (ค) 3 นาที (ง) 4 นาที และ (จ) 5 นาที

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความเข้มสีของเวลาในทำเกิดปฏิกิริยา

เวลา (นาที)	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	52.5	49.8	51.0	51.1	1.3
2	42.8	49.1	41.6	44.5	4.1
3	17.9	16.2	19.9	18.0	1.9
4	10.2	13.8	9.2	11.1	2.4
5	9.9	7.1	5.9	7.6	2.0



รูปที่ 4.19 แสดงผลการศึกษาค่าความเข้มแข็งของสารเคมี



4.2.5 ผลการศึกษาความเที่ยงของชุดทดสอบ

1.1) การทำซ้ำของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การทำซ้ำของชุดทดสอบ โดยทำการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 90 95 100 105 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซนต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ หยดลงบนบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สถานะเดียวกัน จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ พบว่าค่าที่ได้เท่ากับ 0 ดังตารางที่ 4.17 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ เพราะเกณฑ์การยอมรับได้ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ในช่วงความเข้มข้นระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ [47]

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการศึกษาทำซ้ำของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ครั้งที่	ค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	50	50	50	50
2	50	50	50	50
3	50	50	50	50
4	50	50	50	50
5	50	50	50	50
6	50	50	50	50
7	50	50	50	50
ค่าเฉลี่ย	50			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์	0			

1.2) การทวนซ้ำของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การทวนซ้ำของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยทำการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 90 95 100 105 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซนต์สารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน หยดลงบนบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพู เป็นใสไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง ภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน คือ เปลี่ยนผู้ทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหา ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ พบว่าค่าที่ได้เท่ากับ 1.4 ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ เพราะเกณฑ์การยอมรับได้ของ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ในช่วงความเข้มข้นระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ [47]

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการศึกษาการทวนซ้ำของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ครั้งที่	ค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	50	50	50	50
2	50	50	50	50
3	50	45	50	48.3
4	50	50	50	50
5	50	55	50	51.7
6	50	50	50	50
7	50	50	50	50
ค่าเฉลี่ย	50			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.4			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์	2.8			

4.2.6 ผลการศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

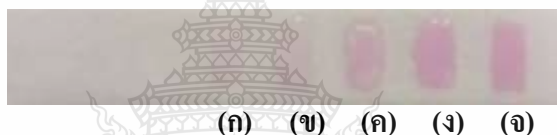
ศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบตะกั่วโดยการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน โดยเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 30 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่างลำไย จากนั้นทำการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยปีเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด ทำการตรวจวัดโดยการติดตามจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี คำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน พบว่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ช่วงที่ยอมรับได้คือ 90-107%) [47] ดังตารางที่ 4.19 แสดงว่าชุดทดสอบมีความถูกต้อง

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการศึกษาการศึกษาความถูกต้องของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตัวอย่างที่	ก่อนเติม	เติม	หลังเติม	เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน
1	62.5	30	92.5	100
2	15.0	50	65	100
3	32.5	70	102.5	100

4.2.7 ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

หาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดสปีบนบริเวณตรวจวัดของกระดาษทดสอบ โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30 35 40 45 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซ็นต์สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ หยดลงบนบริเวณตรวจวัด จากผลการทดสอบพบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อหยดลงบนชุดทดสอบจะไม่สามารถมองเห็นสีที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นความเข้มข้นต่ำสุดของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดสปีบนบริเวณตรวจวัดของกระดาษทดสอบได้คือ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อกำนวณเป็นความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่าให้ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

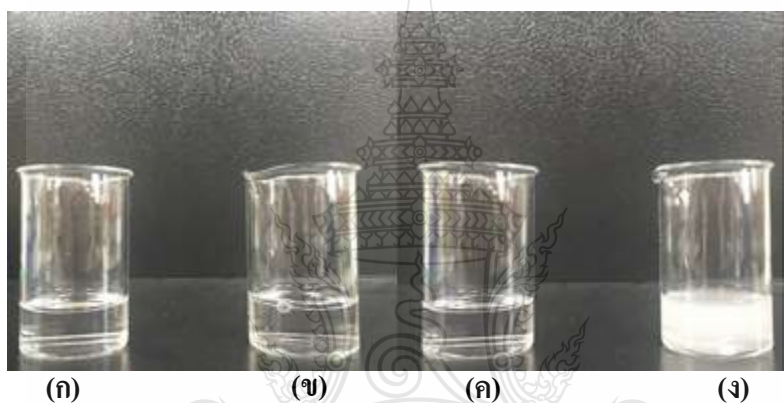


รูปที่ 4.20 แสดงผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบของชุดทดสอบ

- (ก) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (ข) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 35 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (ค) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (ง) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 45 มิลลิกรัมต่อลิตร
- และ (จ) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.7 ผลการศึกษาความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้ของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

จากการทดลองศึกษาความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้ โดยศึกษาจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถเตรียมได้ ที่ความเข้มข้น 900,000 1,000,000 1,100,000 1,200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะน้อยลงและละลายได้ที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ 1,100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อมากกว่า 1,100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.21 โซเดียมไฮดรอกไซด์จะอิมตัวไม่สามารถละลายได้หมด ดังนั้นเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้เมื่อนำไปคำนวณจากสูตรเท่ากับ 550,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้

- (ก) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 900,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (ข) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,000,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (ค) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- และ (ง) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.8 การสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

รูปที่ 4.21 แสดงการสร้างชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งประกอบด้วย

1. กระดาษทดสอบ

2. สารเคมี ประกอบด้วย

สารเคมี 1 โซเดียมไฮดรอกไซด์

สารเคมี 2 สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์

3. คู่มือการใช้ชุดทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1) หยดสารเคมี 1 และ หยดสารเคมี 2 ลงบนกระดาษทดสอบ

2) เติมน้ำตัวอย่างลงบนกระดาษทดสอบ

3) นำค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปคำนวณหาความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์



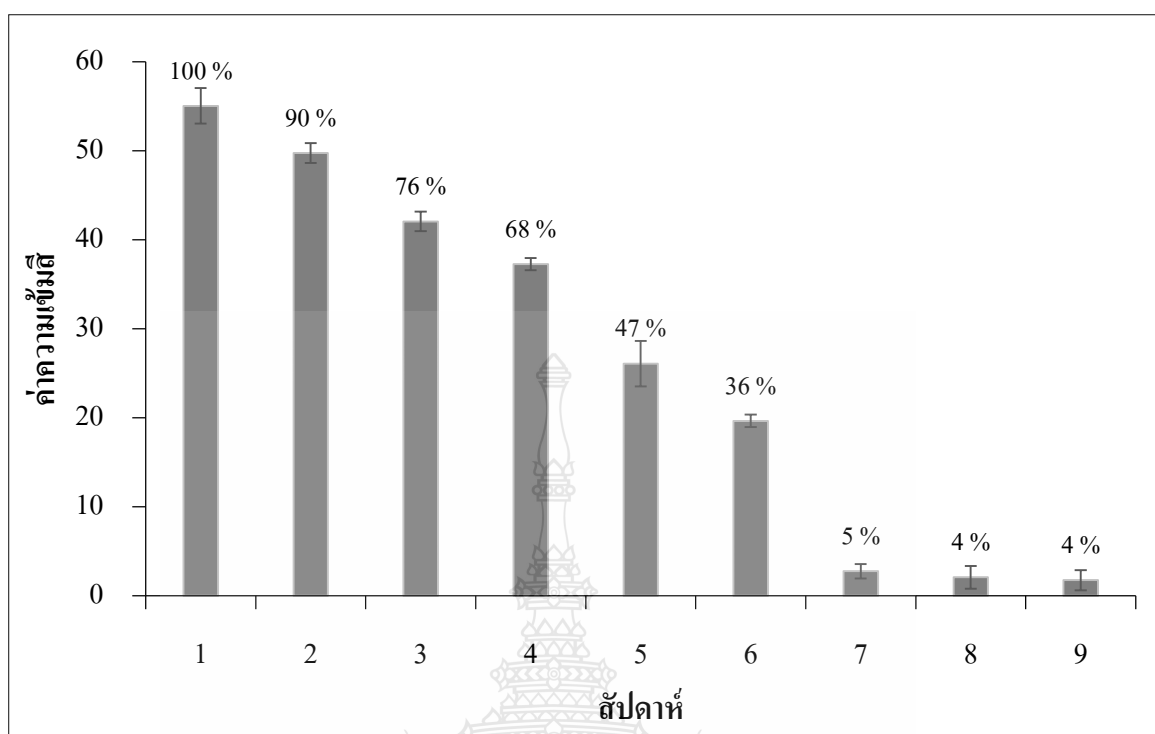
รูปที่ 4.22 ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4.2.9 ผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยศึกษาระยะเวลาที่สารเคมีเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง โดยเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 เปอร์เซนต์ สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ปริมาตรต่าง ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของชุดทดสอบ จากผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.20 และ 4.21 รูปที่ 4.23 และ 4.24 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นชุดทดสอบจะมีประสิทธิภาพลดลง และลดลงมากกว่า 80 เปอร์เซนต์ ในสัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดทดสอบนี้จะต้องเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไว้ไม่เกิน 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.20 แสดงการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

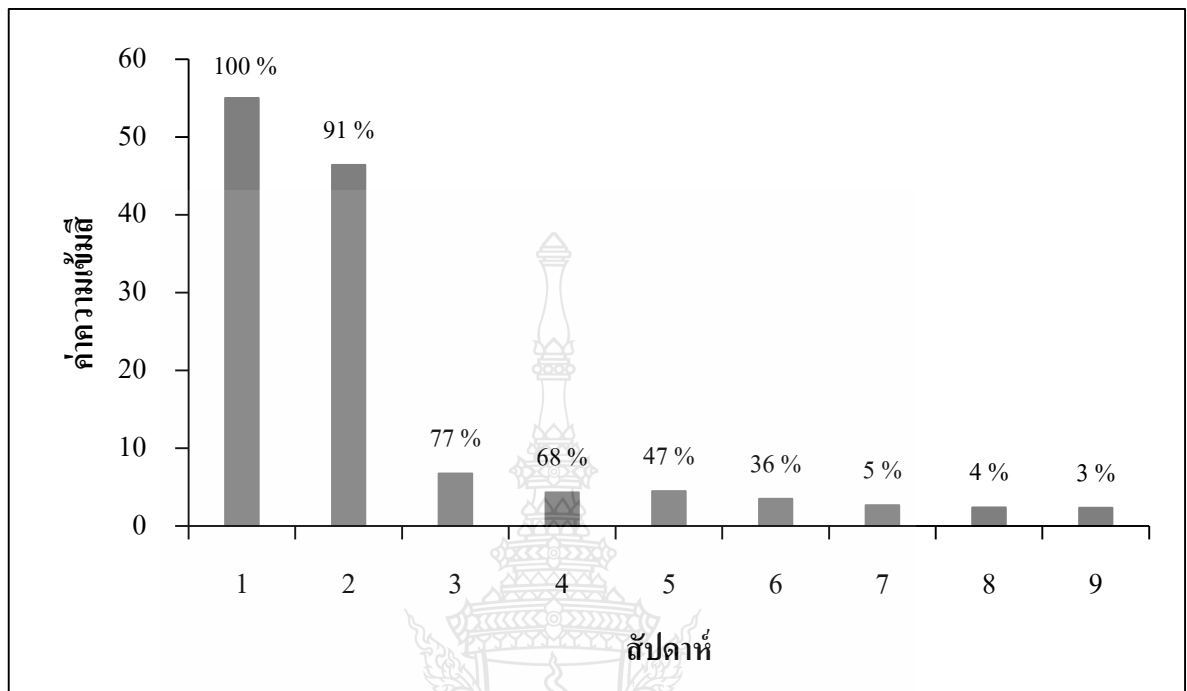
สัปดาห์ที่	ความเข้มสี			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	56.8	55.4	52.9	55.0	2.0
2	50.7	50.0	48.5	49.8	1.1
3	41.9	43.3	41.1	42.1	1.1
4	38.0	36.7	37.1	37.3	0.7
5	25.0	29.0	24.3	26.1	2.6
6	20.0	20.1	18.8	19.7	0.7
7	3.4	1.9	3.0	2.8	0.8
8	3.1	0.7	2.5	2.1	1.3
9	1.7	0.7	3.0	1.8	1.1



รูปที่ 4.23 แสดงผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.21 แสดงการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง

สัปดาห์ที่	ความถี่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	56.83	55.42	52.88	55	2
2	50.71	46.04	42.53	49.8	1.1
3	5.85	7.26	7.08	42.1	1.1
4	7.12	1.68	4.2	37.3	0.7
5	4.88	4.46	4.17	26.1	2.6
6	2.68	5.44	2.36	19.7	0.7
7	4.65	1.63	1.75	2.8	0.8
8	1.68	2.75	2.75	2.1	1.3
9	1.75	1.15	4.1	1.8	1.1



รูปที่ 4.24 แสดงผลการศึกษาอายุการใช้งานของชุดทดสอบเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง

4.2.10 ผลการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริง

เมื่อได้ชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสถานะที่เหมาะสมในการทดสอบแล้วจึงนำชุดทดสอบวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้มาตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริงในลำไยสด โดยชั่งตัวอย่างลำไยมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างที่ได้มา 25 กรัม ผสมกับน้ำ 25 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง ปรับปริมาตรด้วยน้ำจนครบ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปทดสอบด้วยชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.21 พบว่าชุดทดสอบที่สร้างขึ้นมีผลการตรวจวัดสอดคล้องกับวิธีไทเทรต เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ t-test พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นชุดทดสอบที่สร้างขึ้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยได้

ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดทดสอบและวิธีมาตรฐาน

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ชุดทดสอบ	วิธีไทเทรต
1	62.5 ± 0.2	63.0 ± 0.5
2	15.0 ± 0.6	15.5 ± 0.3
3	32.5 ± 0.5	33.0 ± 0.3

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดทดสอบตะกั่วและชุดทดสอบซิลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยชุดทดสอบสร้างขึ้นเพื่อตรวจวัดตะกั่วและตรวจวัดซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสด

โดยชุดทดสอบตะกั่วชุดทดสอบตะกั่วอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสเกิดเป็นสารละลายสีชมพูการแปรผลมี 2 คือ วัดความเข้มข้นสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของตะกั่วจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน หรือเปรียบเทียบสีที่ได้จากชุดทดสอบแบบกระดาษกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นจะให้ความเข้มข้นโดยประมาณของตะกั่ว ขึ้นแรกเริ่มจากออกแบบชุดทดสอบแบบกระดาษโดยชุดทดสอบแบบกระดาษที่ออกแบบได้มีความกว้าง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 3 เซนติเมตร มีขนาดบริเวณตรวจวัดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 0.5 เซนติเมตร และขนาดบริเวณสกรีนพอลิเมอร์กว้าง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 0.5 เซนติเมตร จากนั้นเคลือบพอลิเมอร์ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษโดยใช้อัตราส่วนพอลิเมอร์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ขึ้นต่อไปศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบ โดยขึ้นแรกศึกษาปริมาตรบริเวณตรวจวัด พบว่าปริมาตรบริเวณตรวจวัดที่เหมาะสมคือ 6 ไมโครลิตร ต่อไปศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะลิซารินเรดเอส พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายอะลิซารินเรดเอส คือ 14 มิลลิโมลาร์ ต่อไปศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส พบว่าพีเอชที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส คือพีเอช 4.00 และสุดท้ายศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 1 นาที

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดสอบ จากผลการทดลองพบว่าชุดทดสอบตะกั่วที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจหาตะกั่วได้มีความเที่ยงสูงให้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 1.5 และมีความถูกต้องเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนอยู่ในช่วง 87- 112 % โดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงของชุดทดสอบคือ 0.08 – 2.00 ppm ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9975 และศึกษาผลของตัวรบกวนที่คาดว่าจะมีผลรบกวนต่อการเกิดปฏิกิริยาของอะลิซารินเรดเอส และคาดว่ามิอยู่ในลำไย ได้แก่ ทองแดง แคลเมียม สังกะสี คาร์โบฟูเรน และ คาร์บาริด ผลการทดลองพบว่าตัวรบกวนดังกล่าวไม่มีผลต่อชุดทดสอบ แสดงว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อตะกั่วสูง ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีขีดจำกัดในการตรวจพบเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และ

จึงจำกัดในการตรวจพบเชิงคุณภาพเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพบว่าอายุการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดตะกั่วได้ 92 เปอร์เซ็นต์

สำหรับชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาศัยหลักการไทเทรตระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ลงบนกระดาษ ขั้นที่แรกออกแบบชุดทดสอบ จากนั้นเคลือบพอลิเมอร์ลงบนชุดทดสอบแบบกระดาษโดยใช้อัตราส่วนพอลิ-เมอร์ 6 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ ปริมาตรบริเวณตรวจ พบว่าปริมาตรบริเวณตรวจวัดที่เหมาะสมคือ 5 ไมโครลิตร ต่อมาศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน พบว่าความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนที่เหมาะสมคือ 2 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าควรทำการทดลองภายใน 2 นาทีเมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดสอบ จากผลการทดลองพบว่าชุดทดสอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจหาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้มีความเที่ยงสูงให้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 2.8 และมีความถูกต้องเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนในช่วง 100 % จึงจำกัดในการตรวจพบเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอายุการใช้งานเท่ากับ 2 สัปดาห์ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

สุดท้ายทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบ โดยการตรวจวัดตะกั่วและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างจริงในลำไยสด ทำการสกัดตัวอย่าง ซึ่งพบว่าปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในตัวอย่างอยู่ในช่วง 0 - 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจพบในตัวอย่างอยู่ในช่วง 15-62.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบผลที่ได้จากชุดทดสอบตะกั่วและและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่าชุดทดสอบทั้งสองที่พัฒนาขึ้นให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน (วิธีทางเคมีไฟฟ้าและวิธีไทเทรต) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดทดสอบที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดตะกั่วและและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียร ดังนั้นจึงต้องเตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการเกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

5.2.2 หากมีการนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารอื่นๆ ควรศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมใหม่ทุกครั้ง เพื่อให้วิธีการตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

- [1] อรุณี วัฒนวรรณ, ชุชาติ วัฒนวรรณ, ศรีนวล สุราษฎร์, ชนะศักดิ์ จันปุม, เกษศิริ ฉันทะพิริยะพูน, อานันท์ เลิศรัตน์ และพัฒนา รุ่งระวี, “วิจัยและพัฒนาการผลิตลำไยนอกฤดูคุณภาพเพื่อการส่งออก,” *การประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2554, pp. 475-487.
- [2] นิพัฒน์ สุขวิบูลย์, “เอกสารวิชาการลำไย,” *กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์*, ปีที่ 12, นน. 19-26, 2547.
- [3] สุจิตรา ชูกิจ, ทิพย์ทิวา สัมพันธ์มิตร และวิชุดา เกตุใหม่, “การตกค้างของสารเคมีจากการทำนา,” *พะเยาวิจัย ครั้งที่ 1*, มหาวิทยาลัยพะเยา, 2555, pp. 103-108.
- [4] แสงโสม เกิดคล้าย และสิรินุช ชื่นอินมณู, “สรุปสถานการณ์มลพิษในประเทศไทย ปี 2547,” *กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*, นน. 398-408, เมษายน 2548.
- [5] อภิษฐา ช่างสุพรรณ, “โลหะหนักในอาหาร,” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, ปีที่ 63, นน. 23, กันยายน 2558.
- [6] จินตนา กิจเจริญวงศ์ และยุพเรศ เอื้อตรงจิตต์, “การประเมินการได้รับสัมผัสของชาลเฟอร์ไดออกไซด์จากการบริโภคผักและผลไม้แห้ง นำเข้าจากต่างประเทศของคนไทย พ.ศ. 2548-2557,” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, ปีที่ 57(1), นน. 58-68, มกราคม-มีนาคม 2558.
- [7] ยุพเรศ เอื้อตรงจิตต์, กิติมา โสนันมิตร และวันทนีย์ จำเลิศ, “ปริมาณชาลเฟอร์ไดออกไซด์ในผักและผลไม้ ระหว่าง พ.ศ. 2542-2546,” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, ปีที่ 48(1), นน. 46-58, ตุลาคม 2548.
- [8] สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ เมืองเชียงใหม่, “รายงานสถานการณ์เศรษฐกิจการค้าระหว่างประเทศ เดือนธันวาคม 2559 สถานการณ์การส่งออกลำไยไทยไปยังจีน,” *DITP*, นน. 1-5, ธันวาคม 2559.
- [9] สุภัทร คำมุงคุณ, “ข้อมูลพื้นฐานลำไย,” *ลำไย: การจัดการของรัฐ*, นน.5, มกราคม 2549.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] อรัญญา ศรีบุศราคม, “คุณค่าของลำไย...ไม่ใช่แค่ความหวาน,” *จุลสารข้อมูลสมุนไพร*, ปีที่ 30 (1), pp. 11-16, ตุลาคม 2555.
- [11] ศรีปาน เชยกลิ่นเทศ, ทศพร นามโสง และ กลอยใจ เชยกลิ่นเทศ, “ผลของการเตรียมเนื้อลำไย เาะ และลื่นจี้ก่อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดตามด้วยลมร้อนต่อปริมาณน้ำตาล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ,” *วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ*, ปีที่ 1(2), นน. 115-127, กรกฎาคม-ธันวาคม 2556.
- [12] พิทยา สรวมศิริ และพาวัน มะโนชัย, “การผลิตลำไยนอกฤดูอย่างมืออาชีพ”, *โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลำไยปลอดภัย GAP และลำไยอินทรีย์*, ลำพูน, 2555, pp. 64.
- [13] ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ, *เทคโนโลยีชาวบ้าน(ออนไลน์)*, 2559, Available: [https://www. Technology chaoban .com/agricultural-technology/article_4736](https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_4736) (24 February 2017).
- [14] จักริ เตชะวารี, ปิยะลักษณ์ พุทธวงศ์, กันต์สินี กันทะวงศ์วาร และวรินทร์ ชัยวิวัฒน์, การเคราะห์ ความสามารถในการแข่งขันในตลาดผลไม้ไทย-จีน, *วารสารเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, นน. 2-12, มกราคม-มิถุนายน 2553
- [15] W. Zhang, J. Yang, X. Wu, J. Wang, et al, “A critical review on secondary lead recycling technology and its prospect,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 61, pp. 108-122, February 2016.
- [16] อนุพันธ์ อธิรัตน์, “การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในหมู่บ้านคลิตี้ล่างจากสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม,” *รายงานประจำปี สำนักจัดการคุณภาพน้ำ* 2552, นน. 54-63, 2552.
- [17] U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, “Toxicological Profile for Lead,” *Lead*, pp. 1-47, August 2007.
- [18] โกมล สีวะบวร, มลพิษของดินและมลพิษทางน้ำในเอกสารการสอนชุดวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม ล้อมหน่วยที่ 1-7, ครั้งที่ 14. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2544.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] M. A. Gondal, M. A. Dastageer, F. F. Al-Adel, A. A. Naqvi, and Y. B. Habibullah, "Detection of highly toxic elements (lead and chromium) in commercially available eyeliner (kohl) using laser induced break down spectroscopy," *Optics & Laser Technology*, vol. 75, pp. 99-104, December 2015.
- [20] C. D. Carrington and P. M. Bolger, "Toxic Metals: Lead," *Encyclopedia of Food Safety*, pp. 349-351, December 2014.
- [21] P. Hecq, A. Roel van, B. Ron, et al, "SO₂ ," *Position Paper*, pp. 5-58, November 1997
- [22] จักรพงษ์ พิมพ์พิมล, "ห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) กับผลทำลายสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ," หนังสือพิมพ์ไทยนิวส์, 30 เมษายน 2553, หน้า 7.
- [23] สำนักงานส่งเสริมงานวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2553, ห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) กับผลทำลายสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ (ออนไลน์), Available: <http://research.rae.mju.ac.th> (12 มกราคม 2560).
- [24] แสง เกิดปทุม, "โรงรมก๊าซซัลเฟอร์ฯ ระบบควบคุมสถานะต้นแบบแห่งแรกของไทย," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วว.*, 31(2), 15-16, 2557.
- [25] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2557, โรงรมก๊าซซัลเฟอร์ฯ ระบบควบคุมสถานะต้นแบบแห่งแรกของไทย (ออนไลน์), Available: <http://www.tistr.or.th> (15 มกราคม 2560).
- [26] T. M. de Oliveira, J. Augusto Peres, M. Lurdes Felsner, and K. Cristiane Justi, "Direct determination of Pb in raw milk by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF AAS) with electrothermal atomization sampling from slurries," *Food Chemistry*, vol. 229, pp. 721-725, August 2017.
- [27] แก้วกมล มิตรสีดา และดร.ศักดิ์สิทธิ์ จันทน์ไทย, "การหาปริมาณโลหะหนัก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในน้ำเมาโดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี," *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่ 15(1), นน. 32-40, มกราคม-มีนาคม 2558.

บรรณานุกรม (ต่อ)

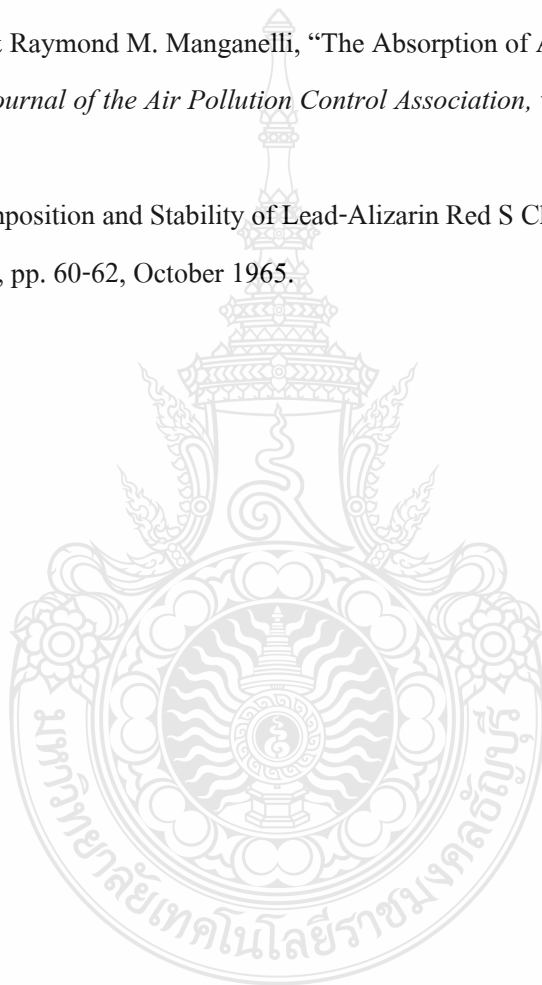
- [28] F. A. de Oliveira, A. T. de Abreu, N. de Oliveira Nascimento, R. E. S. Froes-Silva, Y. Antonini, H. A. Nalini Jr, et al., "Evaluation of matrix effect on the determination of rare earth elements and As, Bi, Cd, Pb, Se and In in honey and pollen of native Brazilian bees (*Tetragonisca angustula* – Jataí) by Q-ICP-MS," *Talanta*, vol. 162, pp. 488-494, January 2017.
- [29] W. Kent Warnken, Thermo Fisher Scientific, USA Patrick Messina, Quest Diagnostics, "A fully quantitative research method for the analysis of lead in whole blood using the Thermo Scientific iCAP Q ICP-MS," *Thermo scientific*, vol.42137, pp. 1-6, April 2007.
- [30] M.N. Stefanut, I. David, Z. Stanoiev, C. Macarie, "The Monitoring of Heavy Metals in Fruits," *Chem. Bull. "POLITEHNICA" Univ. (Timișoara)*, Vol. 52(66), pp. 147-151, January - February 2007.
- [31] G. Zbynek, K. Boris, A. Vojtech Adam, S. Jan, P. Tunde, R. Vojtech, H. Ales and K. Rene, "Electrochemical Determination of the Antioxidant Potential of Some Less Common Fruit Species," *Sensors*, vol. 8, pp.7564-7570, November 2008.
- [32] H. Velásquez, H. Ramírez, J. Díaz, M. González de Nava, B. Sosa de Borrego, and J. Morales, "Determination of atmospheric sulfur dioxide by ion chromatography in the city of Cabimas, Venezuela," *Journal of Chromatography A*, vol. 739, pp. 295-299, July 1996.
- [33] Z. Zhong, G. Li, B. Zhu, Z. Luo, L. Huang, and X. Wu, "A rapid distillation method coupled with ion chromatography for the determination of total sulphur dioxide in foods," *Food Chemistry*, vol. 131, pp. 1044-1050, April 2012.
- [34] J. W. Leonhardt, D. Berger, J. I. Baumbach, and W. Mehr, "Application of an ion mobility detector in radiation stimulated plasma chemistry," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 42, pp. 993-996, October–December 1993.
- [35] W. Xiaozhi, Z. Weijun, L. Lingfeng, W. Xiangyang, L. Peng, W. Yu and L. Jikui, "Fast and sensitive determination of sulfur dioxide in herbal medicines by microchip-based field asymmetric-wave ion mobility spectrometry," *Analytical method*, vol. 201, pp. 1044-1050, February 2015.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [36] Y. Yang, X.-X. Zhang, T. Korenaga, and K. Higuchi, "Determination of passive-sampled sulphur dioxide in ambient air as sulphate ion by flow injection analysis with an in-line reaction column," *Talanta*, vol. 45, pp. 445-450, December 1997.
- [37] T. J. Cardwell and M. J. Christophersen, "Determination of sulfur dioxide and ascorbic acid in beverages using a dual channel flow injection electrochemical detection system," *Analytica Chimica Acta*, vol. 416, pp. 105-110, July 2000.
- [38] P. Richter, M. D. L. de Castro, and M. Valcárcel, "Spectrophotometric flow-through sensor for the determination of sulphur dioxide," *Analytica Chimica Acta*, vol. 283, pp. 408-413, November 1993.
- [39] สุภมาส ดำเนินวิทยากุล, "ชุดทดสอบ (ทางเคมี)อย่างง่าย," *MTEC*, นน. 17-19, กรกฎาคม-กันยายน 2557.
- [40] Shawn McCadden, *Wisconsin DHS Has Approved LeadCheck Test Kits for RRP Use (online)*, 2012, Available: www.shawnmccadden.com (24 February 2017).
- [41] B. Stephanie and R. Dale, "3M™ LEADCHECK™ SWABS QUALITATIVE SPOT TEST KIT FOR LEAD IN PAINT". *Battelle*, pp. 1-35, February 2012.
- [42] Osumex, *Quick Test Kit for Lead - range (1 Test) (online)*, 2015, Available: <https://www.implexhealth.co.uk/quick-test-kit-for-lead-range-1-test-p-328.html> (2 March 2017).
- [43] Osumex Natural Alternatives Ltd., *HMT LEAD TEST KIT (online)*, 2015, http://www.heavymetalstest.com/_pbtest.php (2 March 2017).
- [44] Gccthai, *ชุดทดสอบตะกั่ว (ออนไลน์)*, 2553, Available: http://gccthai.blogspot.com/2010/09/blog-post_29.html (2 March 2017).
- [45] *GAS5LC Sulphur Dioxide Gastec Detector Tubes (online)*, 2017, Available: <http://www.al-cbiss.com> (24 February 2017).
- [46] Wicklow, "TOTAL SULPHITE (SO₂)", *Megazyme International Ireland*, pp.1-5, 2015.

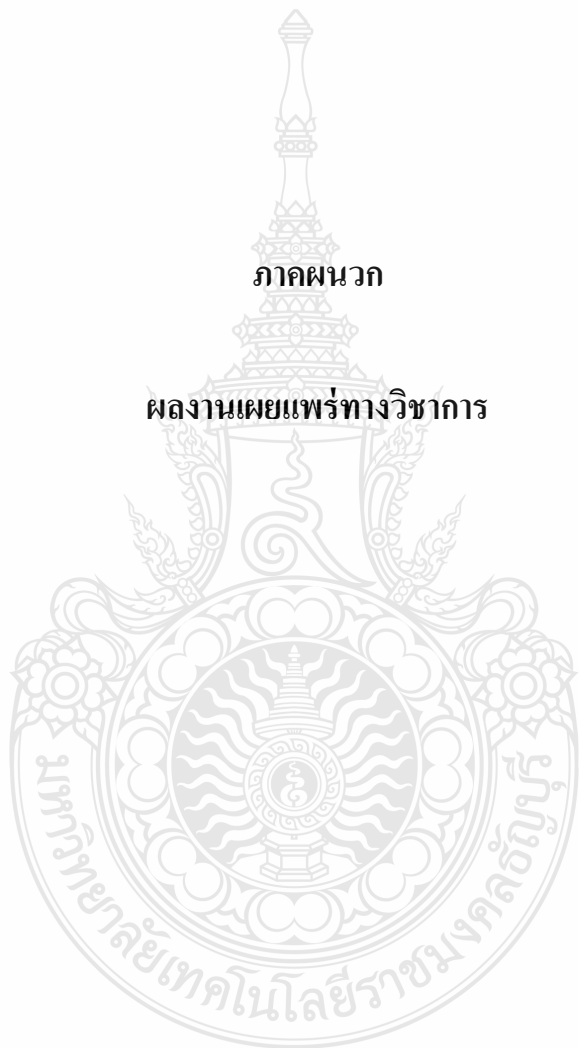
บรรณานุกรม (ต่อ)

- [47] I. Taverniers, M. De Loose, and E. Van Bockstaele, "Trends in quality in the analytical laboratory. II. Analytical method validation and quality assurance," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 23, pp. 535-552, September 2004.
- [48] Frank P. Terraglio & Raymond M. Manganeli, "The Absorption of Atmospheric Sulfur Dioxide by Water Solutions," *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 17(6), pp. 403-406, March 2012.
- [49] P. S. Satendra, "Composition and Stability of Lead-Alizarin Red S Chelate," *Advanced Synthesis & Catalysis*, vol.30, pp. 60-62, October 1965.



ภาคผนวก

ผลงานเผยแพร่ทางวิชาการ



นำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ ในการประชุมวิชาการ Pure and Applied Chemistry
International Conference 2018 (PACCON 2018) ระหว่างวันที่ 7-9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ณ ศูนย์
ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด
สงขลา





Fabrication of test strip based on paper for detection of lead



Sunisa Meenon¹ and Siriwan Teepoo^{1*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology Rajamangala,
University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
*E-mail : siriwan@mail.rmutt.ac.th

Abstract

The test strip was fabricated for detection of lead based on the reaction between alizarin red S and lead resulting in reddish brown solution. The color intensity was measured by image processing program. The test strip was fabricated from chromatography paper by screening technique using polyacetic acid. The parameters affecting the proposed method performance including concentration of alizarin red S, pH value and the reaction time were optimized. Under the optimized experimental conditions, the developed test strip exhibited good performance for the detection of lead with a linearity in range of 0.08-2 ppm. The analysis time was 1 min. The advantages of developed test strip were short analysis time, low cost, high selectivity and easy to use.

Objective

To fabricate a paper based test kit for detection of lead

Methodology

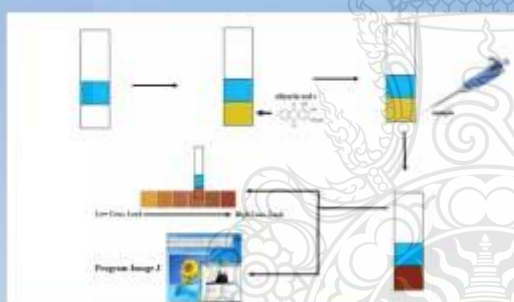


Fig.1 The detection of lead based on test strip

Results and Discussion

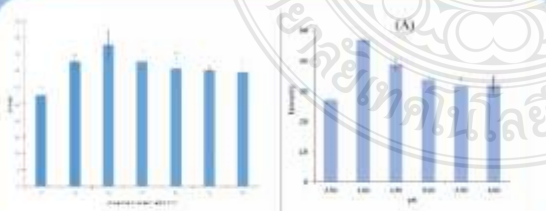


Fig. 2 (A) Effect of pH value (B) Effect of reaction time

Acknowledgment

1. Science and Technology faculty, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
2. Nano-sensor Research Group (NSR)

Results and Discussion

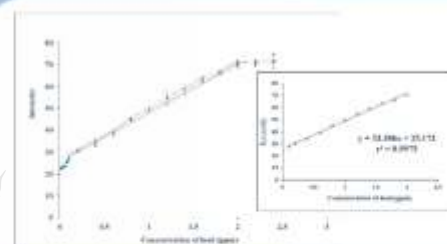


Fig. 4 Showed relationship between concentration lead and intensity in range of 0.08-2 ppm ($r = 0.9975$)

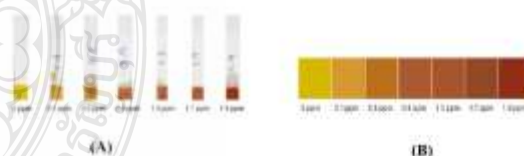


Fig. 4 (A) Effect of concentration for detection lead (B) Standard color bar

Conclusion

The test strip was fabricated for detection of lead based on the reaction between alizarin red S and lead resulting in reddish brown solution showed concentration of pH value and the reaction time were optimized. The intensity value was proportional to the concentration of lead. It exhibited a linear response to lead over the range of 0.08-2 ppm. The test strip to be suitable for lead detection in fieldwork.

ตีพิมพ์งานวิจัยในวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 23 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ.
2561 ในหัวข้อเรื่อง Development of a Paper Test Strip for Detection of Lead



การพัฒนากระดาษทดสอบตะกั่ว

Development of a Paper Test Strip for Detection of Lead

สุนิสา มีนนท์ และ ศิริวรรณ เตปโป

Sunisa Meenon and Siriwan Teepoo

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received : 7 November 2018

Accepted : 8 May 2018

Published online : 25 May 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระดาษทดสอบตะกั่ว โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสบนกระดาษ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายสีน้ำตาลแดง วัดค่าความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ สร้างกระดาษทดสอบจากการสกรีนสารละลายพอลิแล็กติกแอซิดลงบนกระดาษโครมาโทกราฟฟีด้วยเทคนิคการสกรีน เพื่อสร้างบริเวณไม่ขบ น้ำบนกระดาษ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระดาษทดสอบตะกั่ว ได้แก่ ความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส พีเอชและเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสที่เหมาะสมความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส คือพีเอช 4.00 และเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาคือ 1 นาที ภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมพบว่าความเข้มข้นมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตะกั่วในช่วงความเป็นเส้นตรง 0.08-2.00 พีพีเอ็ม มีขีดจำกัดการตรวจวัด 0.06 พีพีเอ็ม และร้อยละการได้กลับคืน 87-116 กระดาษทดสอบตะกั่วที่ได้มีข้อดีคือ มีความแม่นยำสูง ใช้งานง่ายและเวลาในการวิเคราะห์น้อย

คำสำคัญ : ตะกั่ว, กระดาษทดสอบ, กระดาษโครมาโทกราฟฟี, อะลิซารินเรดเอส

* Correspondent author. E-mail : siriwan@mail.rmUTT.ac.th

Abstract

This research was the development of paper test for lead detection based on the reaction between lead and alizarin red S resulting in reddish brown product. Then reddish brown intensity was measured by image processing program. The paper test was fabricated by screening the polyacetic acid solution on chromatography paper using screen-printing technique to create hydrophobic barriers on paper. The optimum conditions of paper test for detection of lead were studied such as mole ratio of alizarin red S, pH value and reaction time between lead and alizarin red S. The results were found that the optimum concentration of alizarin red S was 14 mM. The pH value of 4.00 and the reaction time of 1 min were obtained for optimization of the reaction between lead and alizarin red S. Under optimal conditions, the color intensity was linearly correlated with concentration of lead in the range of 0.08 to 2.00 ppm. The detection limit was 0.06 ppm and %recovery was 87-116. The advantage, of the developed paper test strip were high accuracy and precision, easy to use, short analysis time.

Keywords : lead, paper test strip, chromatography paper, alizarin red S

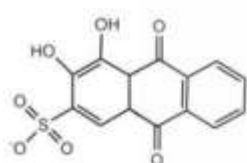
บทนำ

โลหะหนักเป็นธาตุที่มีน้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่า โลหะหนักบางชนิดเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สังกะสี ทองแดง เหล็กและซีลีเนียม แต่โลหะหนักบางชนิดก็เป็นพิษต่อร่างกาย เช่น ตะกั่ว (Coco *et al.*, 2006) ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติและเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การปล่อยมลพิษจากอุตสาหกรรม โรงงานที่ทำหรือใช้ตะกั่วโลหะผสมตะกั่ว ตะกั่วจากการทำเหมืองแร่ และตะกั่วที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน ที่ถูกปล่อยออกจากท่อไอเสียรถยนต์ นอกจากนี้ตะกั่วยังมีในส่วนผสมของยาแก้ปวดที่ซื้อหาได้ง่าย ซึ่งสารตะกั่วเหล่านี้จะมีอนุภาคนาโนขนาดเล็กสามารถลอยอยู่ในอากาศไปตกค้างอยู่ในธรรมชาติทั้งในดิน น้ำ และอากาศ (Abadin *et al.*, 2007) สารตะกั่วเหล่านี้อาจจะไปตกค้างในอาหารหรือพืชผักผลไม้ได้ เมื่อผู้บริโภครับประทานอาหารหรือ ผักผลไม้ที่มีสารตะกั่วตกค้างเข้าไปปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการจุกเสียด เป็นโรคโลหิตจาง และยังส่งผลต่อสุขภาพในระยะยาวอีกด้วย นอกจากนี้ยังจัดตะกั่วให้เป็นสารอินทรีย์ที่อาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Norton *et al.*, 2015) ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดปริมาณตะกั่วที่ยอมรับได้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขของไทยฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 กำหนดให้พบตะกั่วปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม (FDA, 2003)

วิธีทั่วไปที่ใช้ในการตรวจวัดตะกั่ว ได้แก่ เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) (Zhao *et al.*, 2015) โครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) (Zhou *et al.*, 2017) อินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมาแมสสเปกโทรเมทรี (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry; ICP-MS) (Li *et al.*, 2016) ซึ่งวิธีที่กล่าวมาเป็นวิธีตรวจวัดทั่วไป ซึ่งผู้วิเคราะห์จะต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือ เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดต่อตัวอย่างสูง การเตรียมตัวอย่างในการตรวจวัดยุ่งยาก ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน และเป็นวิธีที่ไม่สามารถตรวจวัดตะกั่วได้ในภาคสนาม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสร้างกระดาษทดสอบตะกั่ว เพื่อให้สามารถวัดตะกั่วได้ในภาคสนาม ใช้งานง่าย ราคาไม่แพงและตรวจได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะลิซารินเรดเอสกับตะกั่ว เกิดเป็นสารละลายสีน้ำตาลแดง ดังสมการที่ 1 อะลิซารินเรดเอสจะจับกับตะกั่วด้วยพันธะโคออดิเนต โคเวเลนต์ โดยออกซิเจนของอะลิซาริน

เรดเฮลจะให้อิเล็กทรอนิกส์โคเวเลนต์กับตะกั่ว (Khalaf, 2011) ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ใช้อะลิซารินเรดเฮลในการตรวจวัดตะกั่วในเส้นผมด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยนำตัวอย่างเส้นผมมาสกัดด้วย กรดไนตริกเข้มข้น และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปตรวจวัดโดยเดิมสารละลายอะลิซารินเรดเฮล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายสีชมพูแดง นำวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร สามารถตรวจวัดตะกั่วได้ที่มีความเข้มข้น 1.50-9.00 ppm (Khalaf, 2011) โดยในงานวิจัยสนใจที่จะพัฒนาวิธีการตรวจวัดตะกั่วให้อยู่ในรูปของกระดาษทดสอบ ซึ่งกระดาษทดสอบตะกั่วที่พัฒนาขึ้นจะเป็นกระดาษทดสอบที่สามารถตรวจวัดได้ทั้งแบบเชิงปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative) โดยนำกระดาษทดสอบ ที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วและค่าความเข้มสี และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของตะกั่วจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน และตรวจวัดเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์ (Semi-quantitative) โดยการเปรียบเทียบสีที่ได้จากกระดาษทดสอบกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น จะได้ความเข้มข้นโดยประมาณของตะกั่ว

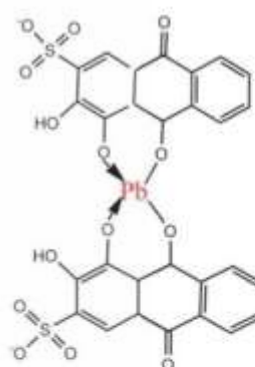


อะลิซารินเรดเฮล

(สีเหลือง)

 Pb^{2+}

ตะกั่ว



อะลิซารินเรดเฮล + ตะกั่ว

(สีน้ำตาลแดง)

(1)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ

เลด (II)ไนเตรด (Ajax Finechem Pty., Ltd, New Zealand) อะลิซารินเรดเฮล (Sigma-Aldrich, USA) พอลิแลกติก (LLC, USA) ไคคลอโรมีเทน (RCI Labscan Ltd., Thailand) เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner) รุ่น CanoScan Lide 120 (Canon Marketing (Thailand) Co., Ltd., Vietnam) และกระดาษโครมาโทกราฟี เบอร์ 4 (Whatman, UK)

2. สร้างกระดาษทดสอบตะกั่วด้วยการพิมพ์สกรีน

2.1 ออกแบบและสร้างกระดาษทดสอบตะกั่ว

ออกแบบกระดาษทดสอบตะกั่วด้วยโปรแกรมอะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ (Adobe Illustrator) โดยออกแบบให้บริเวณตรวจวัดมีพื้นที่ที่แตกต่างกัน 4 แบบดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1 จากนั้นนำรูปแบบที่ได้ไปสร้างบล็อกสกรีน นำบล็อกสกรีนที่ได้มาทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 2)

ขั้นที่ 1 นำบล็อกสกรีนมาวางบนกระดาษโครมาโทกราฟี เทสารละลายพอลิแลกติกที่ละลายในตัวทำละลายไคคลอโรมีเทนลงบนบล็อกสกรีน

ขั้นที่ 2 ปาดสารละลายพอลิแลกติกที่อยู่ในบล็อกสกรีนด้วยอุปกรณ์ปาดบล็อก

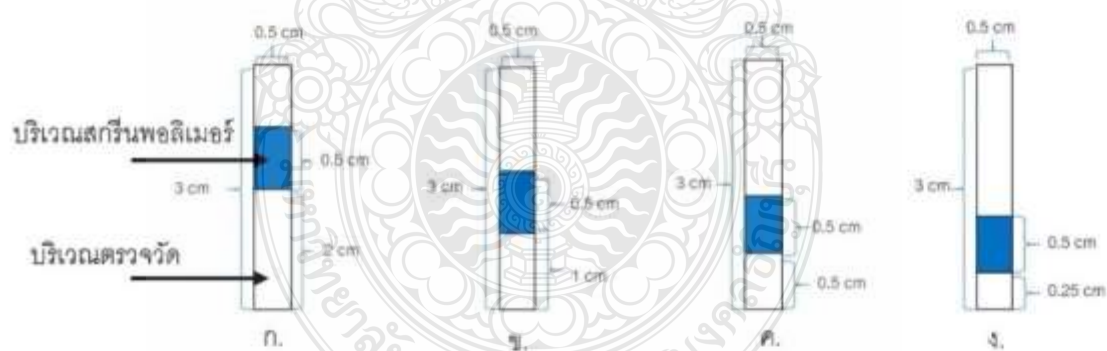
ขั้นที่ 3 วางกระดาษโครมาโทกราฟีที่สกรีนด้วยสารละลายพอลิแล็กติกไว้จนแห้ง

ขั้นที่ 4 ตัดตามรูปแบบกระดาษให้มีขนาดตามตารางที่ 1

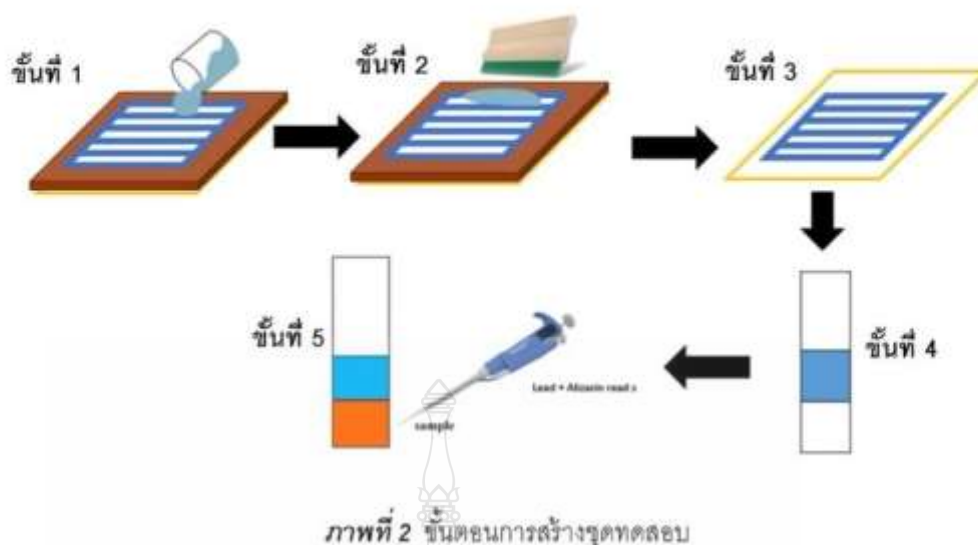
ขั้นที่ 5 ปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษทดสอบบริเวณตรงจุด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยากัน 1 นาที เกณฑ์การพิจารณาจะเลือกรูปแบบกระดาษทดสอบที่ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาเต็มบริเวณตรงจุดและมีความเข้มสีชัดเจน

ตารางที่ 1 ตารางรูปแบบการสร้างกระดาษทดสอบ

รูปแบบ	ขนาด (ความกว้าง x ความยาว (เซนติเมตร))		
	บริเวณตรงจุด	บริเวณสกรีน	กระดาษทดสอบ
แบบที่ 1	0.5x2	0.5 x 0.5	0.5 x 3
แบบที่ 2	0.5 x 1	0.5 x 0.5	0.5 x 3
แบบที่ 3	0.5 x 0.5	0.5 x 0.5	0.5 x 3
แบบที่ 4	0.5 x 0.25	0.5 x 0.5	0.5 x 3



ภาพที่ 1 รูปแบบการสร้างกระดาษทดสอบ ก. แบบที่ 1 ข. แบบที่ 2 ค. แบบที่ 3 ง. แบบที่ 4

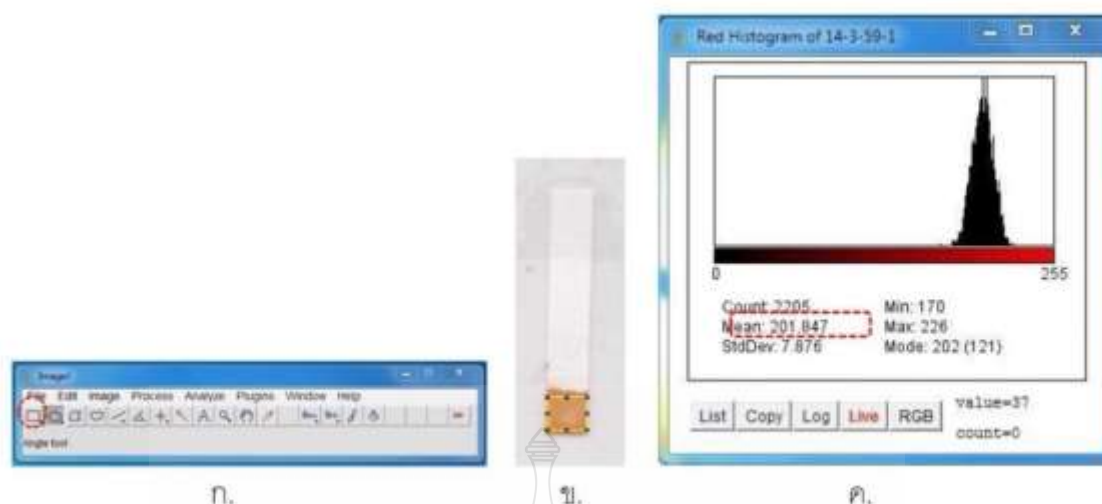


2.2 ศึกษาความเข้มข้นของพอลิแล็กติก

นำรูปแบบกระดาษทดสอบที่ได้จากข้อ 1 ไปสร้างบล็อกสกรีน เมื่อได้บล็อกสกรีนแล้วจึงทำการศึกษาความเข้มข้นของพอลิแล็กติกที่ใช้สกรีนเพื่อสร้างบริเวณขอบน้ำและไม่ขอบน้ำบนกระดาษ โดยเตรียมพอลิแล็กติกความเข้มข้น 2 4 6 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรซึ่งมีไดคัลโรวโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำมาตรวจวัดตะกั่ว 1 ppm เกณฑ์การพิจารณาจะเลือกจากการทดลองที่พอลิแล็กติกสามารถกันบริเวณขอบน้ำและไม่ขอบน้ำบนกระดาษได้ดีที่สุด

3. วิเคราะห์ตะกั่วด้วยกระดาษทดสอบ

ขั้นแรกบีบตะกั่วจากวุ้นเรซินปริมาตร 6 ไมโครลิตร ความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นบีบกระดาษละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ (กรณีตรวจวัดแบบเชิงปริมาณวิเคราะห์) วัดค่าความเข้มสีบนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ ได้โดยนำอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษไปสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้นทำการวัดค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรม ImageJ ดังภาพที่ 3 ก. โดยเลือกไอคอนสี่เหลี่ยม และนำไอคอนไปวางบริเวณตรวจวัด ดังภาพที่ 3 ข. จากนั้นโปรแกรมจะอ่านค่าความเข้มสีเฉลี่ย (Mean) ดังภาพที่ 3 ค. หรือกรณีตรวจวัดแบบเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์ นำกระดาษมาเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐานความเข้มสีตะกั่ว



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการวัดความเข้มข้นของสีด้วยโปรแกรม ImageJ ก. ภาพแสดงโปรแกรม ImageJ ข.ภาพแสดงการวางไอคอนสีเหลือง และค. ภาพแสดงการอ่านค่าความเข้มข้น

4. หาสภาวะที่เหมาะสมของกระดวยทดสอบตะกั่ว

ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระดวยทดสอบตะกั่ว ได้แก่ ความเข้มข้นของอะลิควินเรดเอส พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิควินเรดเอส เวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา สรุปสภาวะที่จะศึกษา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะที่ศึกษาในการสร้างกระดวยทดสอบ

สภาวะที่ศึกษา	ช่วงที่ศึกษา
1. ความเข้มข้นของอะลิควินเรดเอส	7 ถึง 27 มิลลิโมลาร์
2. พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิควินเรดเอส	3.50 ถึง 6.00
3. เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	0.5 ถึง 4 นาที

5. การสร้างแถบสีมาตรฐาน

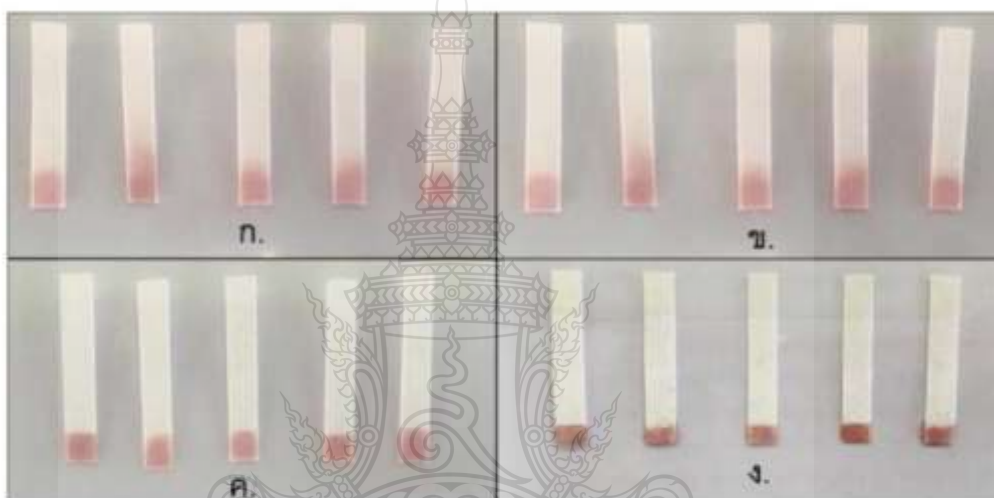
สร้างแถบสีมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับตรวจวัดตะกั่วในเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์ โดยใช้ตะกั่วความเข้มข้น 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.1 1.3 1.5 1.7 และ 1.9 ppm ทำการทดลองโดยนำเปปเตสสารละลายอะลิควินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัดจากนั้นนำเปปเตสสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร หักให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที บันทึกสีที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของตะกั่ว เพื่อนำไปสร้างแถบสีมาตรฐาน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการออกแบบและสร้างกระดาษทดสอบตะกั่ว

1.1 ออกแบบกระดาษทดสอบ

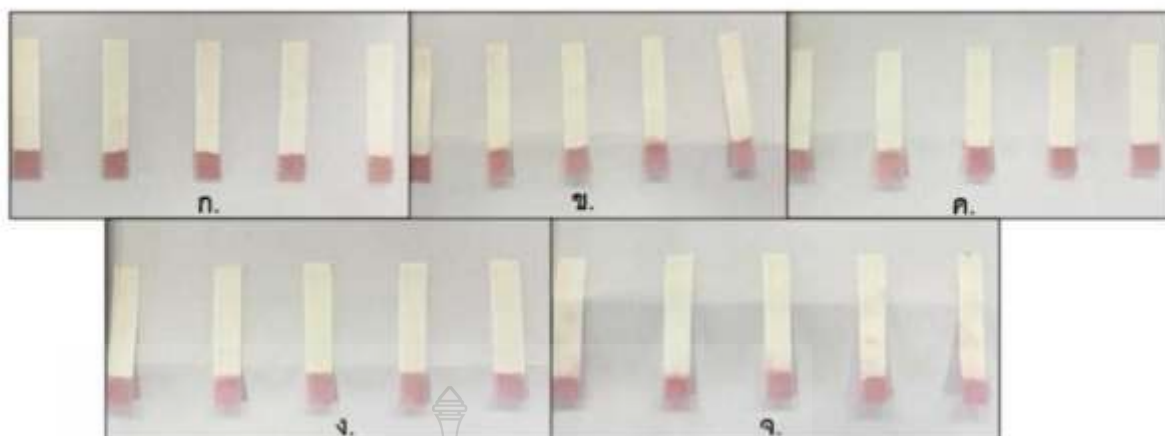
ผลการออกแบบกระดาษทดสอบตะกั่ว เมื่อหยดสารละลายอะลิซารินเรดเฮลงไปบนกระดาษทดสอบทั้ง 4 แบบ จากผลการทดลองเป็นดังภาพที่ 4 พบว่าแบบที่ 1 (ภาพที่ 4 ก.) และแบบที่ 2 (ภาพที่ 4 ข.) มีบริเวณตรวจวัดที่กว้าง ทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไม่เต็มบริเวณตรวจวัด แบบที่ 3 (ภาพที่ 4 ค.) ผลิตภัณฑ์เต็มบริเวณตรวจวัด และให้สีสม่ำเสมอและชัดเจน และแบบที่ 4 (ภาพที่ 4 ง.) เป็นบริเวณที่มีพื้นที่ตรวจวัดน้อยที่สุด ทำให้ได้ความเข้มสีชัดเจน แต่เนื่องจากพื้นที่ตรวจวัดน้อยสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเกินพื้นที่บริเวณตรวจวัด ทำให้สีไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกกระดาษทดสอบแบบที่ 3 ที่ เพื่อไปสร้างบล็อกสกรีนเพื่อทำการทดลองต่อไป



ภาพที่ 4 รูปแบบกระดาษทดสอบ ก. แบบที่ 1 ข. แบบที่ 2 ค. แบบที่ 3 ง. แบบที่ 4

1.2 ศึกษาความเข้มข้นของพอลิแลกติก

ผลการศึกษาความเข้มข้นของพอลิแลกติกที่ความเข้มข้นพอลิแลกติก 2 4 6 8 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่ละลายในไตรคลอโรมีเทน ภาพที่ 5 แสดงผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นพอลิแลกติกที่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ไม่สามารถกั้นบริเวณตรวจวัดได้เนื่องจากพอลิแลกติกที่ความเข้มข้นต่ำ จะมีเนื้อสารพอลิแลกติกน้อย ทำให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านได้ง่าย ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของพอลิแลกติก 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (ภาพที่ 5 ง) เนื่องจากสามารถกั้นบริเวณตรวจวัดได้ดี

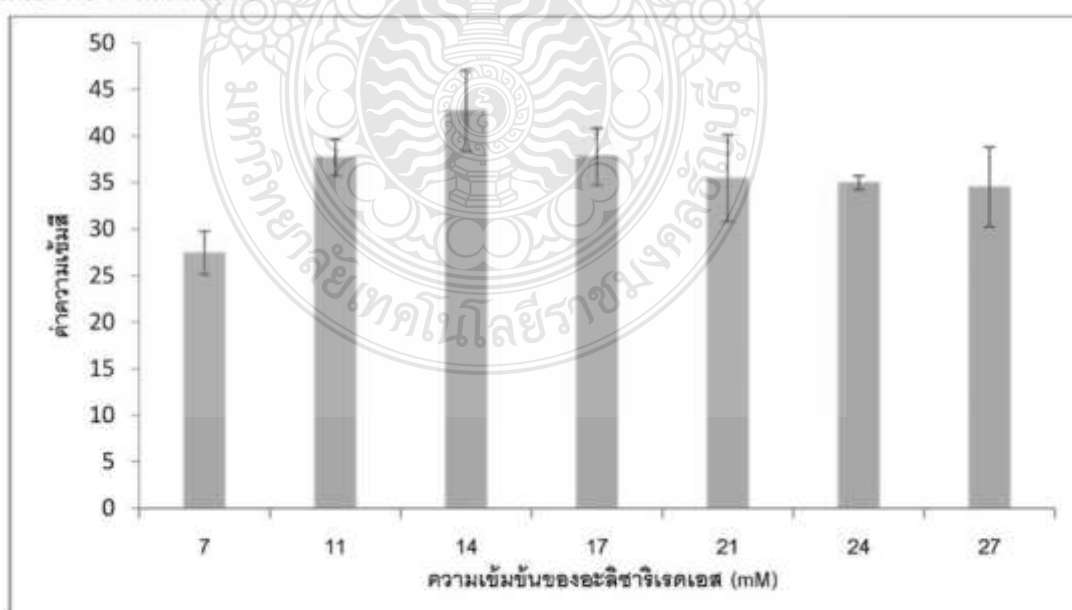


ภาพที่ 5 ความเข้มข้นของพอลิแลคติกในสารละลายไดคลอโรมีเทน ก. 2 เปอร์เซ็นต์ ข. 4 เปอร์เซ็นต์ ค. 6 เปอร์เซ็นต์ ง. 8 เปอร์เซ็นต์ และ จ. 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

2. ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระดานทดสอบตะกั่ว

2.1 ผลของความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส

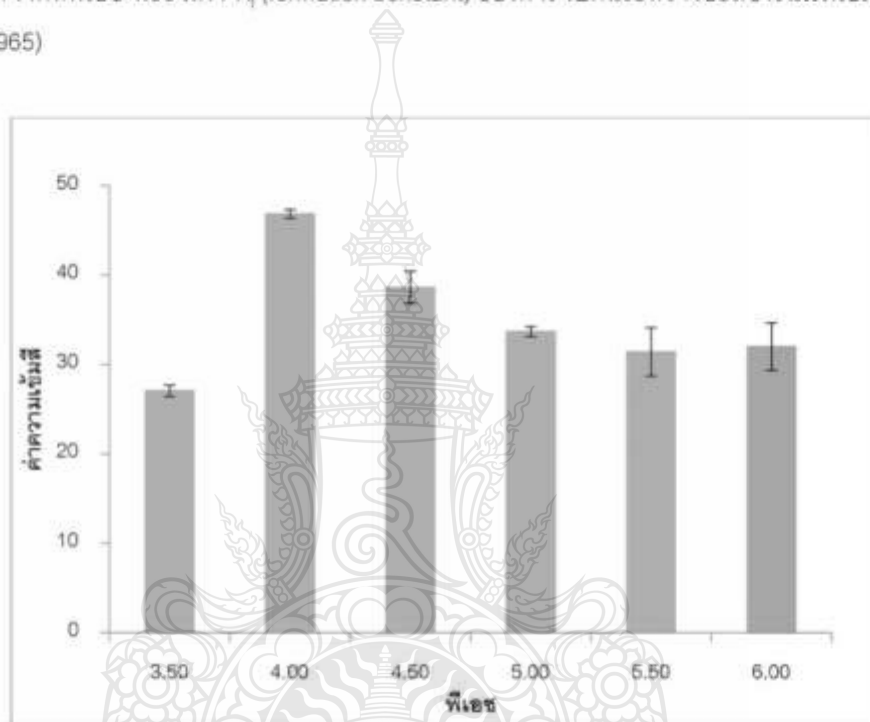
ความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากับตะกั่ว ดังนั้นจึงทำการศึกษาความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส 7 11 14 17 21 24 และ 27 มิลลิโมลาร์ โดยเปิดอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบริเวณตรวจวัด จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ที่เลข 4.00 ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ พบว่าค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอสเพิ่มขึ้นและความเข้มสีสูงสุดที่ความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส 14 มิลลิโมลาร์ (ภาพที่ 6) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของอะลิซารินเรดเอส คือ 14 มิลลิโมลาร์



ภาพที่ 6 ผลของความเข้มข้นของอะลิซารินเรดเอส

2.2 ผลของพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

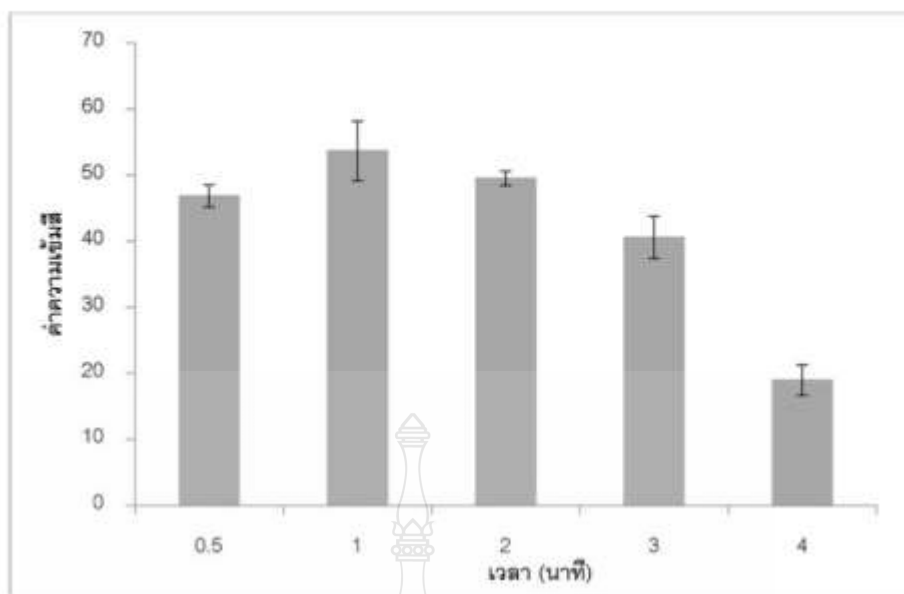
การเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสขึ้นอยู่กับพีเอชที่เหมาะสมของสารละลาย โดยเตรียมสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ คือ 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 และ 6.00 โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ที่พีเอชต่างๆ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร จึงให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ ผลการทดลองเป็นดังภาพที่ 7 จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชที่ให้ความเข้มสีสูงสุด คือพีเอช 4.00 ซึ่งพีเอช 4.00 เป็นพีเอชที่ทำให้ตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสจับกันได้ดีที่สุด เนื่องจากจากที่พีเอช 4.00 มีค่า K_f (formation constant) ของการจับกันระหว่างอะลิซารินเรดเอสกับตะกั่วสูงสุด (Satendra, 1965)



ภาพที่ 7 ผลของพีเอชต่อค่าความเข้มสีที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอส

2.3 ผลของเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสต้องอาศัยเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ จึงทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 0.5 1 2 3 และ 4 นาที โดยปีเปตสารละลายอะลิซารินเรดความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 6 ไมโครลิตร จึงให้เกิดปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ จากนั้นวัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จะพบว่าค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น จนถึงเวลา 1 นาที (ภาพที่ 8) ตั้งแต่เวลา 1 นาที เป็นต้นไปค่าความเข้มสีลดลง แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ที่เวลา 1 นาที ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 1 นาที



ภาพที่ 8 ผลของเวลาในการการเกิดปฏิกิริยาต่อค่าความเข้มข้น

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของกระตาดทดสอบตะกั่ว

3.1 ความเที่ยงของกระตาดทดสอบตะกั่ว

ศึกษาการทำซ้ำ (Repeatability) และการทวน (Reproducibility) ของกระตาดทดสอบตะกั่ว ศึกษาการทำซ้ำของกระตาดทดสอบตะกั่วจะทำการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน โดยตรวจวัดตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระตาดที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percent Relative Standard Deviation ; % RSD) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.6 สำหรับการศึกษการทำซ้ำของกระตาดทดสอบตะกั่ว ศึกษาการทวนซ้ำทำการทดลองภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน คือ ผู้วิเคราะห์ต่างกัน โดยตรวจวัดตะกั่วความเข้มข้น 1 ppm ทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้ง จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้ โดยนำกระตาดที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 1.5 จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระตาดทดสอบตะกั่วมีความเที่ยงสูง (Taverniers *et al.*, 2004)

3.2 ผลการศึกษาความแม่นยำของกระตาดทดสอบตะกั่ว

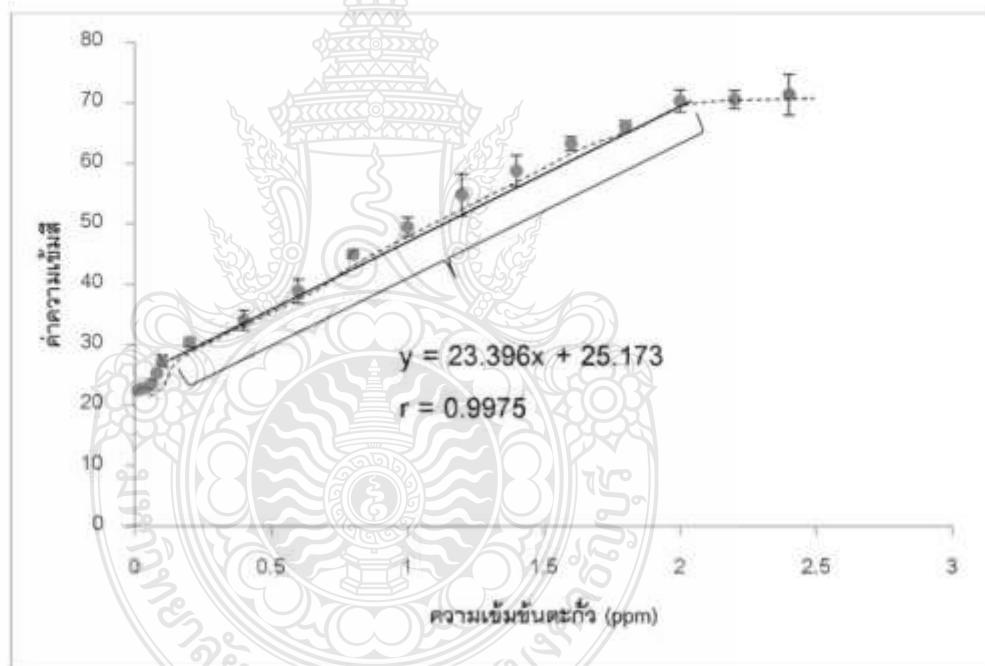
ศึกษาความถูกต้องของกระตาดทดสอบตะกั่ว โดยการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (% Recovery) โดยเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วลงในตัวอย่าง โดยใช้ล้าโยเป็นตัวอย่างกรณีศึกษา ที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น 0.5 1.0 และ 1.5 ppm จากนั้นทำการตรวจวัดตะกั่ว และนำกระตาดที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำข้อมูลที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน พบว่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนอยู่ในช่วง 87-116 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ช่วงที่ยอมรับได้คือ 80-120%) (Taverniers *et al.*, 2004) ดังตารางที่ 3 แสดงว่ากระตาดทดสอบมีความแม่นยำสูง

ตารางที่ 3 แสดงผลการหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน

ลำดับ	ความเข้มข้นของตะกั่ว			เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน
	ก่อนเติม	เติม	หลังเติม	
1	0	0.50	0.58	116
2	0.26	1.00	1.21	95
3	0	1.50	1.31	87

3.3 ช่วงความเป็นเส้นตรง

ในกรณีตรวจวัดแบบเชิงปริมาณวิเคราะห์ จะต้องศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง ทำการศึกษาโดยวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยกระดาษทดสอบที่ความเข้มข้น 0.01-2.40 ppm (ภาพที่ 9) วัดความเข้มสีที่ได้ โดยนำกระดาษที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มสีด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการนำข้อมูลไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มสีกับความเข้มข้นของตะกั่ว จากผลการทดลองพบว่ากระดาษทดสอบช่วงความเป็นเส้นตรงคือ 0.08-2.00 ppm ($r = 0.9975$)



ภาพที่ 9 ช่วงความเป็นเส้นตรงของตะกั่ว

3.4 ขีดจำกัดในการตรวจวัด

ศึกษาหาการขีดจำกัดในการตรวจวัดของกระดานทดสอบตะกั่วในกรณีตรวจวัดแบบเชิงปริมาณวิเคราะห์ ทำการทดลองโดยวัดสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดของช่วงความเป็นเส้นตรง ทำการวัด 7 ข้าง จากนั้นวัดความเข้มข้นที่ได้โดยนำกระดานที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องสแกนและวัดความเข้มข้นด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณได้ไปคำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจพบด้วยสูตร $3SD/m$ (SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ และ m คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.06 ppm

3.5 ความจำเพาะเจาะจงของกระดานทดสอบตะกั่ว

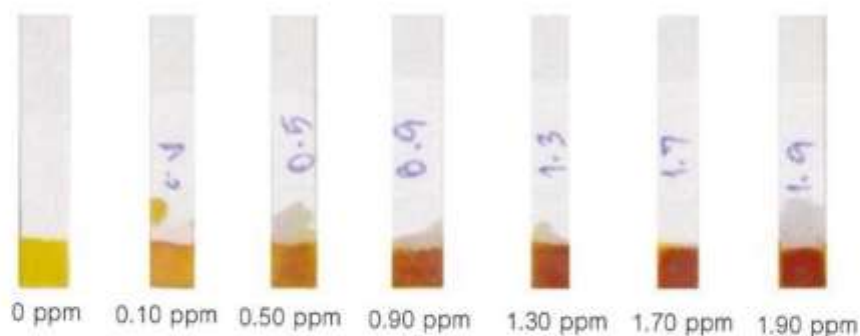
ศึกษาผลของตัวรบกวนที่คาดว่าจะมีผลรบกวนต่อการเกิดปฏิกิริยาของอะลิซารินเรดเอส ได้แก่ ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี ทำการทดลองโดยปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตตัวรบกวนที่ต้องการศึกษาความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที จากการทดลองพบว่าทองแดง แคดเมียม สังกะสี ไม่มีผลต่อกระดานทดสอบ แสดงว่ากระดานทดสอบมีความจำเพาะต่อตะกั่วสูง (ภาพที่ 10)



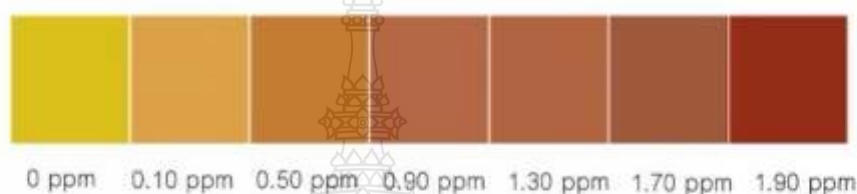
ภาพที่ 10 ผลการศึกษาตัวรบกวน ก. ทองแดง ข. แคดเมียม ค. สังกะสี และ ง. ตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 1 ppm

4. ผลการสร้างแถบสี

สร้างแถบสีมาตรฐานตะกั่วกรณีตรวจวัดแบบกึ่งปริมาณวิเคราะห์ ที่ความเข้มข้น 0 0.10 0.50 0.90 1.30 1.70 และ 1.90 ppm โดยปิเปตสารละลายอะลิซารินเรดเอสความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรที่ 6 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณตรวจวัด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 1 นาที ผลการทดลองเป็นดังภาพที่ 11 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารตะกั่วเพิ่มมากขึ้นสีของสารละลายอะลิซารินเรดเอสจะเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น จากนั้นนำความเข้มข้นของตะกั่วสีที่มีความเข้มข้นต่างๆ ไปสร้างแถบสีมาตรฐานได้แถบสีมาตรฐานดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 ความเข้มสีของตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 12 แถบสีมาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว

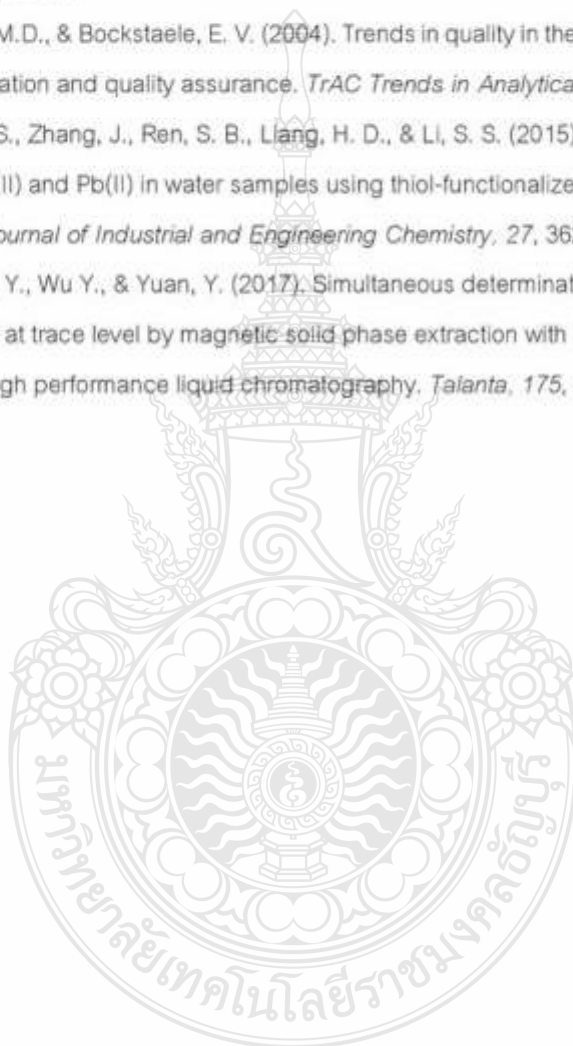
สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างกระดาษทดสอบตะกั่ว จากปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับอะลิซารินเรดเอสบนกระดาษโครมาโทกราฟฟี เกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลแดง โดยกระดาษทดสอบตะกั่วที่พัฒนาขึ้นจะเป็นกระดาษทดสอบที่สามารถตรวจวัดได้ทั้งแบบเชิงปริมาณวิเคราะห์ และเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์ พบว่าสามารถวัดตะกั่วที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (1 ppm) จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาตะกั่วในตัวอย่างจริงได้ กระดาษทดสอบตะกั่วที่พัฒนาขึ้นมามีข้อดี ได้แก่ มีความเที่ยงและความแม่นยำสูง ให้ผลวิเคราะห์รวดเร็ว จึงเหมาะสมสำหรับนำไปตรวจหาตะกั่วในภาคสนามต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Abadin H., Ashizawa, A., & Stevens, Y.W. (2007). Toxicological Profile for Lead. *Lead*. 1-47.
- Coco, F. L., Monotti, P., Cozzi, F., & Adami, G. (2006). Determination of cadmium and lead in fruit juices by stripping chronopotentiometry and comparison of two sample pretreatment procedures. *Food Control*, 17, 966-970.
- FDA. (2003). Notification of the Ministry of Public Health (No. 273), 2003, Re: Food Standards Containing Contaminants (No. 2). *Government Gazette*, 273, 10. (in Thai)
- Khalaf F. A. (2011). Spectrophotometric Assay of Lead in Human Hair Samples by using alizarin red(S) in Samarra area. *Journal of university of Anbar for pure science*, 5(3).

- Li, J.X., Sun, C.J., Zheng, L., Jiang, F.H., Yin, X.F., & Chen J.H. (2016). Determination of Lead Species in Algae by Capillary Electrophoresis-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 44, 1659-1664.
- Norton, G. J., Deacon, C. M., Mestrot, A., Feldmann, J., Jenkins, P., & Baskaran, C. (2015). Cadmium and lead in vegetable and fruit produce selected from specific regional areas of the UK. *Science of The Total Environment*, 533, 520-527.
- Satendra P. S. (1965). Composition and Stability of Lead-Alizarin Red S Chelate. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 30, 60-62.
- Taverniers, I., Loose, M.D., & Bockstaele, E. V. (2004). Trends in quality in the analytical laboratory. II. Analytical method validation and quality assurance. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 23, 535-552.
- Zhao, S. L., Chen, F. S., Zhang, J., Ren, S. B., Liang, H. D., & Li, S. S. (2015). On-line flame AAS determination of traces Cd(II) and Pb(II) in water samples using thiol-functionalized SBA-15 as solid phase extractant. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 362-367.
- Zhou, Q., Lei, M., Liu, Y., Wu Y., & Yuan, Y. (2017). Simultaneous determination of cadmium, lead and mercury ions at trace level by magnetic solid phase extraction with Fe@Ag@Dimercaptobenzene coupled to high performance liquid chromatography. *Talanta*, 175, 194-199.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวสุนิสา มินนท์
วัน เดือน ปีเกิด	11 สิงหาคม 2535
ที่อยู่	24 หมู่ 7 ตำบลบัววัฒนา อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67140
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	081-6587681
อีเมล	kea-11@hotmail.co.th

