

การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการตรวจสอบกลูโคส
ในเลือดโดยใช้วิธีการทางแสง



นางสาวจุลดา แซ่เตี้ยว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2564

STUDY OF INFLUENT PARAMETERS ON BLOOD GLUCOSE
MONITERIING USING OPTICAL METHOD



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Master of Engineering Program in Mechanical and Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2021

การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการตรวจสอบกลูโคสในเลือดโดยใช้วิธีการทางแสง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นหน่วยงานหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.กীরติ สุกข์ขันธ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.จันทกานต์ กาญจนเวทวงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ)

กรรมการ

(ดร.พิจิตรา เอื่องไพโรจน์)

กรรมการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

จุลลดา แซ่เตี๋ยว : การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการตรวจสอบกลูโคสในเลือดโดยใช้
วิธีการทางแสง (STUDY OF INFLUENT PARAMETERS ON BLOOD GLUCOSE
MONITERING USING OPTICAL METHOD) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
กิริติ สุกข์กษณ์, 118 หน้า.

คำสำคัญ : เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โรคเบาหวาน การตรวจวัดระดับน้ำตาล

บทความฉบับนี้นำเสนอการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการตรวจสอบกลูโคสในเลือด
โดยใช้วิธีการทางแสง เนื่องจาก วิธีการตรวจวัดระดับน้ำตาลในปัจจุบันใช้การเจาะเลือดทำให้เกิด
ความเจ็บปวดและไม่สามารถติดตามผลเลือดของผู้ป่วยแบบต่อเนื่องได้ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ
วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่าน
ใกล้ โดยดำเนินการทดสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส ความยาวคลื่น
สารเจือปน อุณหภูมิของสารละลาย ทั้งแบบใช้น้ำ DI เป็นตัวทำละลายและใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัว
ทำละลาย เงื่อนไขในการทดสอบแต่ละปัจจัยอ้างอิงจากระดับสารในร่างกายของคนปกติและผู้ป่วย
โรคเบาหวาน จากผลการทดสอบพบว่าความยาวคลื่นแสงในช่วง 1600-1800 nm สามารถแยกความ
เข้มข้นของสารละลายกลูโคสได้ในความเข้มข้นมากกว่า 300 mg/dL สำหรับที่ความเข้มข้นต่ำ
สามารถปรับปรุงการดูดกลืนแสงได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นสารจากสารละลายเดิมหรือสารอื่นมาใช้
เป็นตัวกรองค่าการดูดกลืนแสงได้ กรณีสารเจือปนพบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารลดลงเมื่อความ
เข้มข้นของสารเจือปนสูงขึ้น เช่นเดียวกับอุณหภูมิของสารละลายพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการ
ดูดกลืนแสงของสารลดลง ผลการทดสอบเมื่อใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลายพบว่า การดูดกลืน
แสงของสารมีค่าต่ำกว่าเมื่อที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย แต่สามารถแยกระดับความเข้มข้นของกลูโคสได้
ดีกว่า

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา จุลลดา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา กิริติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม กิริติ

JULLADA SAETIAW : STUDY OF INFLUENT PARAMETERS ON BLOOD GLUCOSE MONITERING USING OPTICAL METHOD. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KEERATI SULUKSNA, Ph.D., 118 PP.

Keyword : NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY DIABETES GLUCOSE MONITORING

This paper presents a study of influent parameters on blood glucose monitoring using optical method, because current methods of blood glucose monitoring are painful and cannot be monitored by the patient's blood, can be continuous. The objective of this research was to analyze factors affecting glucose measurement using near-infrared light technique. The related factors were tested for glucose solution concentration, wavelength, impurity, solution temperature. Both using DI water as a solvent and using a blood substitute as a solvent. The test conditions for each factor are based on the levels of substances in the body of normal people and people with diabetes. From the test results, it was found that with wavelengths in the 1600-1800 nm range, the concentration of glucose solutions was greater than 300 mg/dL for low concentrations. The absorbance can be improved by increasing the concentration of the original solution or another substance as an absorbance filter. In the case of impurities, it was found that the absorbance of the substance decreased when the concentration of the additive was increased. as well as the temperature of the solution. As the temperature increases, the absorbance of the substance decreases. The results of the test when using a blood substitute as a solvent found that. The absorbance of a substance is lower than when using water as a solvent. but can separate the glucose concentration better.

School of Mechanical Engineering
Academic year 2021

Student's Signature จตุรดา
Advisor's Signature Keerati
CO-Advisor's Signature Keerati

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการตรวจสอบกลูโคสในเลือดโดยใช้วิธีการทางแสงฉบับนี้ กำเนิดขึ้นและสำเร็จได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ กาญจนเวทวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีราพร จุลยุเสน อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร อุปกรณ์ รวมไปถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มอบโอกาสในการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าอาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูทิวาทิตาคคุณ แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านสำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

จุลลดา แซ่เตี๋ย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การตรวจวินิจฉัยโรคเบาหวาน.....	4
2.1.1 การตรวจน้ำตาลในเลือดในทางการแพทย์.....	4
2.1.2 การแยกประเภทโรคเบาหวาน.....	6
2.1.3 โรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์.....	6
2.2 หน่วยในการวัดระดับน้ำตาลในเลือด.....	7
2.3 ทฤษฎีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้.....	7
2.3.1 รูปแบบที่วัดภูมิปฏิกิริยาต่อแสงอินฟราเรดย่านใกล้.....	8
2.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแสงอินฟราเรดย่านใกล้.....	10
2.3.3 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์.....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	วิธีการสร้างสมการสอบเทียบ	11
2.4.1	Wavelength selection	11
2.4.2	Full spectrum method	12
2.5	วิธีทดสอบสมการ	13
2.5.1	Full cross validation	13
2.5.2	การทดสอบผลการประเมิน	13
2.6	ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้	13
2.6.1	ขนาดของอนุภาค	13
2.6.2	อุณหภูมิของสารตัวอย่าง	14
2.6.3	ความชื้น	14
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้วิธีการทางแสงตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด	14
3	วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	25
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย	26
3.3	การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นสารละลายกลูโคส กับค่าความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้	27
3.3.1	การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขในการเตรียมสารละลายกลูโคสและช่วงความยาว คลื่นแสงที่ใช้ในการทดสอบ	27
3.3.2	การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน	28
3.4	การทดสอบการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารอื่นเจือปน	31
3.5	การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิสารเพิ่มขึ้น	36
3.6	การทดสอบการดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายอยู่ในสารทดแทนเลือด	40
3.7	การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้	43
3.7.1	การออกแบบค่าการวัด	43
3.7.2	การดำเนินการวัดด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้	45
3.7.3	การจัดการตัวอย่างและการเก็บข้อมูล	48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8 การเก็บรักษาและการวัดเทียบค่าคุณภาพของสารละลาย	49
4 ผลการดำเนินการวิจัย	50
4.1 การวิเคราะห์ความยาวคลื่นกับการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	50
4.1.1 การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	52
4.1.2 การเปรียบเทียบช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจวัด	57
4.1.3 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นสารละลายกลูโคส	58
4.1.4 สมการทำนายพฤติกรรม การดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย	59
4.1.5 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อระดับความเข้มข้นสูงขึ้น	63
4.2 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปน	66
4.2.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อมีสารเจือปน	69
4.2.2 สมการทำนายพฤติกรรม การดูดกลืนแสงของสารเมื่อมีสารเจือปน	70
4.2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูง	79
4.2.4 สมการทำนายพฤติกรรม การดูดกลืนแสงของสารเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูง	80
4.3 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิของสารแตกต่างกัน	82
4.3.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น	84
4.3.2 สมการทำนายพฤติกรรม การดูดกลืนแสงเมื่ออุณหภูมิของสารสูงขึ้น	85
4.4 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด	87
4.4.1 การวิเคราะห์ทางสถิติการดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด	89
4.4.2 สมการทำนายพฤติกรรม การดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด	91

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการวิจัย	94
5.2 ข้อเสนอแนะ	94
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้เครื่องสเปกโตรสโคปี UV-VIS และ NIR ในการ ตรวจสอบกลูโคส	98
ภาคผนวก ข. การดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm.....	102
ภาคผนวก ค. การดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายเมื่ออุณหภูมิสารเพิ่มขึ้น ช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm.....	108
ภาคผนวก ง. การดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายในสารทดแทนเลือด ช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm.....	110
ภาคผนวก จ. การจัดเก็บสารเคมีและการจัดการเครื่องมือในการเตรียมสารตัวอย่าง	112
ประวัติผู้เขียน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งช่วงระดับน้ำตาลในเลือด.....	5
2.2 การแบ่งช่วงคลีนยานอินฟราเรด	8
2.3 ผลจากการทดสอบตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย	23
3.1 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่นำมาทดสอบค่าการดูดกลืนแสง.....	27
3.2 ส่วนประกอบของสารที่อยู่ในเลือด	32
3.3 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสและความเข้มข้นสารเจือปนที่นำมาพิจารณา ค่าการดูดกลืนแสง.....	33
3.4 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสและความเข้มข้นสารเจือปนที่นำมาพิจารณา ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารเจือปนคงที่ ในช่วง 5,000-20,000 mg	33
3.5 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสและความเข้มข้นสารเจือปนที่นำมาพิจารณา ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	37
3.6 ปริมาณและคุณสมบัติสำคัญของสารประกอบสำคัญของสารทดแทนเลือด	41
3.7 ปริมาณและคุณสมบัติของสารอื่นๆที่ประกอบสำคัญของสารทดแทนเลือด.....	41
3.8 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลาย.....	42
4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm	53
4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm	55
4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วงความยาวคลื่น 1,800-2,000 nm	57
4.4 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสลดความแปรปรวนจากผลกระทบของน้ำ.....	58
4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงจากสมการทำนายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	63
4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น	65
4.7 ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 300 และ 500 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน.....	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงจากสมกรทำนายสารละลายกลูโคส เมื่อมีสารเจือปน.....	74
4.9 ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนที่ความเข้มข้นคงที่ระดับสูง.....	79
4.10 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงจากสมกรทำนายสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปน ความเข้มข้นสูง.....	81
4.11 ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน.....	84
4.12 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน.....	87
4.13 ค่าการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือด เป็นตัวทำละลาย.....	89
4.14 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็น ตัวทำละลาย.....	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปแบบการวัดด้วยเทคนิคทางแสง..... 9
2.2	ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้..... 10
2.3	เทคนิคการวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกราน..... 15
2.4	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบเผาผลาญความร้อนของบริษัท Hitachi..... 15
2.5	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงสำหรับน้ำตาลกลูโคสด้วยแสงอินฟราเรดย่านกลาง..... 17
2.6	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงสำหรับน้ำตาลกลูโคสด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้..... 17
2.7	รูปแบบการใช้เครื่องมือของเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกราน..... 18
2.8	(A) ภาพถ่ายและ (B) การวาดแผนผังของโพรบตรวจสอบระดับน้ำตาลที่ไม่รุกรานจาก อุปกรณ์ NBM ของ OrSense..... 19
2.9	สัญญาณที่บันทึกโดยอุปกรณ์ NBM..... 20
2.10	คำอธิบายแผนผังของอิทธิพลของกลูโคสที่มีต่อการแพร่กระจายของแสง..... 21
2.11	การวิเคราะห์ตารางข้อผิดพลาดของ Clarke..... 22
2.12	แสดงค่าโพลาริเซชันเฉลี่ยของกลูโคสที่มุมต่างๆ..... 23
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเตรียมสารละลายกลูโคส..... 29
3.2	ขั้นตอนการชั่งสารกลูโคสด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล..... 30
3.3	การกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารโดยไม่ต้องทำการเพิ่มความร้อนให้สารละลาย..... 30
3.4	สารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 31
3.5	ขั้นตอนการเตรียมสารละลายกลูโคสผสมกับสารโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 35
3.6	สารละลายกลูโคสผสมโซเดียมคลอไรด์..... 36
3.7	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนย้าย และ โพรบวัดอุณหภูมิชนิด K..... 39
3.8	เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน..... 39
3.9	วิธีกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน..... 40
3.10	สารทดแทนเลือด Haemacel..... 43
3.11	เครื่องวัดแสงอินฟราเรดย่านใกล้รุ่น BUCHI NIR Flex N-500..... 45
3.12	ผลการทดสอบวัดค่ามาตรฐานของเครื่องวัด (Perform System Suitability Test)..... 46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13	47
3.14	47
3.15	48
4.1	51
4.2	52
4.3	52
4.4	54
4.5	56
4.6	59
4.7	60
4.8	61
4.9	62
4.10	64
4.11	66
4.12	67
4.13	68
4.14	70
4.15	71
4.16	72
4.17	75
4.18	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL ที่มีสารเจือปนความเข้มข้นสูง	77
4.20 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 10,000 mg/dL ที่มีสารเจือปนความเข้มข้นสูง	78
4.21 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสสารเจือปนความเข้มข้นสูงที่ระดับต่างๆ	80
4.22 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน ...	82
4.23 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน ...	83
4.24 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน	85
4.25 การดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด	88
4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	89
4.27 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 1,680 nm	91
4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือดที่ความเข้มข้น 0-100 mg/dL	91
4.29 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือดที่ความเข้มข้น 100 -500 mg/dL	92

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

I	=	ความเข้มของแสงหลังผ่านตัวกลางหรือวัตถุ
I_0	=	ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางหรือวัตถุเมื่อ b เท่ากับ 0
ϵ	=	สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง
b	=	ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร
b_0	=	ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0
b_1	=	ค่าคงที่การถดถอย
b_n	=	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่น n ตำแหน่ง
c	=	ความเข้มข้นของสารในหน่วยโมลต่อลิตร
X	=	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตำแหน่งเดียว
X_n	=	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น n ตำแหน่ง
Y	=	ค่าองค์ประกอบทางเคมี
A_b	=	ค่าการดูดกลืนแสง
C_G	=	ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสหน่วยมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
C_N	=	มวลสารเจือปนหน่วยมิลลิกรัม
$C_{G/H}$	=	ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลาย หน่วยมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
T	=	อุณหภูมิของสารละลายในหน่วยองศาเซลเซียส
mg/dL	=	หน่วยความเข้มข้นน้ำตาลในเลือด มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
mmol/L	=	หน่วยความเข้มข้นสาร มิลลิโมลต่อลิตร
mg	=	หน่วยน้ำหนักสาร มิลลิกรัม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

โรคเบาหวานเป็นหนึ่งในโรคที่มีผู้เสียชีวิตจากอาการป่วยเป็นอันดับต้น ๆ ของผู้ป่วยจากทั่วโลก โรคเบาหวานไม่สามารถติดต่อกันได้แต่ จำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานในปัจจุบันมีเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากการสำรวจจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานและการคาดการณ์แนวโน้มของผู้ป่วยโรคเบาหวานในอนาคตของ สหพันธ์นานาชาติเบาหวาน (International Diabetes Federation) พบว่า มีผู้ป่วยโรคเบาหวานประมาณ 382 ล้านคนในปี พ.ศ. 2556 และคาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 592 ล้านคน ภายในปี พ.ศ. 2573 (Yadav et al., 2015) ส่งผลให้มีจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคนี้เป็นจำนวนมาก ในสหรัฐอเมริกาปี พ.ศ. 2545 โรคเบาหวานเป็นสาเหตุอันดับที่ 6 ของการเสียชีวิต (Srivastava et al., 2013) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพจิตใจของคนในครอบครัวผู้เสียชีวิตและกระทบต่อเศรษฐกิจตั้งแต่ระดับครอบครัวจนถึงระดับประเทศ ส่งผลต่องบประมาณในการใช้รักษาผู้ป่วยเหล่านี้ตามไปด้วย โดยในปี พ.ศ. 2523 ที่ผ่านมามีสหรัฐอเมริกาใช้งบประมาณ 12% ของค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพไปกับโรคเบาหวาน และอาจสูงถึง 612 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2573 (Yadav et al., 2015) นอกจากนี้โรคเบาหวานยังส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการรักษาโรคอื่นๆ ที่เป็นสภาวะแทรกซ้อนอีกด้วย เช่น โรคหัวใจ ภาวะแทรกซ้อนทางไต ดวงตา ปลายประสาท และเท้า เป็นต้น สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมีประชากรวัยผู้ใหญ่ประสบปัญหาป่วยเป็นโรคเบาหวานถึง 4.8 ล้านคน (สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย, 2560) และหลายรายเกิดภาวะแทรกซ้อนร้ายแรงจนถึงสูญเสียชีวิตในเวลาต่อมา

ผู้ป่วยโรคเบาหวานคือกลุ่มผู้ที่มีระดับน้ำตาลในเลือดผิดปกติ ปัจจุบันจำแนกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเกิดโรคเบาหวาน ประเภทที่ 1 เป็นโรคเบาหวานที่มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของร่างกายของผู้ป่วย โดยตับอ่อนของผู้ป่วยทำงานผิดปกติ กระบวนการสร้างอินซูลินในร่างกายก็จะผิดปกติไปด้วย ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้ป่วยเบาหวานประเภทนี้จึงต้องฉีดอินซูลินเพื่อควบคุมน้ำตาลในเลือด ประเภทที่ 2 เป็นเบาหวานที่พบเห็นกันเป็นส่วนใหญ่ มีสาเหตุเกี่ยวข้องกับพันธุกรรม น้ำหนักตัวที่มากเกินไป ขาดการออกกำลังกาย และวัยที่เพิ่มขึ้น การรักษาอาจโดยใช้ยาปรับปรุชานและบางรายต้องใช้อินซูลินฉีดเพื่อควบคุมน้ำตาลในเลือด โดยอันตรายของโรคเบาหวานเกิดจากภาวะน้ำตาลในเลือดสูง ส่งผลให้ความดันโลหิตสูง ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบ

เส้นประสาทและไต เสี่ยงต่อโรคหัวใจเต้นผิดจังหวะ และส่งผลต่อผู้ที่ตั้งครรภ์ (Lin, 2017) จึงเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดเป็นอย่างมาก

การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดถือเป็นเรื่องสำคัญอย่างมากในการรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวาน การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดอย่างเข้มงวดนั้น สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการรักษา และช่วยลดภาวะแทรกซ้อนของโรคอื่น ๆ ได้ (Lin, 2017) ซึ่งการตรวจน้ำตาลในเลือดและการประเมินระดับน้ำตาลแบบต่อเนื่องส่งผลดีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วย ปัจจุบันผู้ป่วยสามารถตรวจน้ำตาลในเลือดและติดตามผลระดับน้ำตาลในเลือดได้ด้วยตนเองโดยใช้วิธี SMBG ซึ่งเป็นวิธีตรวจประเมินระดับน้ำตาลเลือดโดยการเจาะที่ปลายนิ้วมือ การเจาะตรวจในแต่ละครั้ง ใช้ปริมาณเลือดอยู่ที่ 0.002-0.01 cc (Srivastava et al., 2013) อย่างไรก็ตามการประเมินระดับน้ำตาลในเลือดโดยการเจาะปลายนิ้วนี้ พบปัญหาเกี่ยวกับการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องในเด็ก ผู้ป่วยที่ตั้งครรภ์ และผู้ป่วยบางรายที่รู้สึกเบื่อหน่ายในการเจาะ แต่เนื่องจากในผู้ป่วยบางรายหรือในผู้ป่วยที่ตั้งครรภ์ที่จำเป็นต้องควบคุมระดับน้ำตาลแบบเข้มงวด อาจต้องเจาะเพื่อตรวจสอบระดับน้ำตาลหลายครั้งต่อวัน ส่งผลให้เนื้อเยื่อที่ปลายนิ้วเกิดความเสียหายหรืออาจเกิดการติดเชื้อในระหว่างของการตรวจได้ เพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาแนวทางการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดด้วยวิธีการทางแสง ซึ่งผลที่ได้ช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยและยังสามารถช่วยในการติดตามผล ประเมินอาการของผู้ป่วยเพื่อรักษาได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วย

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า มีการนำเอาเทคนิคทางแสงเข้ามาตรวจหาปริมาณน้ำตาลในเลือด เทคนิคดังกล่าวไม่สร้างความเจ็บปวดต่อผู้ป่วยเพราะไม่ต้องเจาะ อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาในการประยุกต์ใช้เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพของผู้ป่วย อาทิ อุณหภูมิร่างกาย การเผาผลาญระดับน้ำตาลในร่างกาย ระดับแรงดันในเลือด ที่ส่งผลให้ผลการตรวจวัดน้ำตาลในเลือดทำได้ไม่แม่นยำนัก งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นวิธีการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดโดยยังไม่ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตรวจวัดน้ำตาลในเลือดแต่อย่างใด งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการตรวจวัดกลูโคสในสารละลายโดยใช้เทคนิคทางแสง ซึ่งช่วยให้คาดการณ์ความเป็นไปได้ในการนำไปขยายผลสู่การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยเทคนิคทางแสงและสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจวัดน้ำตาลในเลือดต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในส่วนของวัตถุประสงค์ของงานวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิคทางแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR Spectroscopy)

1.2.2. เพื่อทดสอบผลกระทบของปัจจัยต่อการวิเคราะห์ระดับน้ำตาลกลูโคส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1. ปัจจัยกระทบที่สนใจวิเคราะห์ ได้แก่ ความเข้มข้นของกลูโคส ความยาวคลื่นของแสง สารเจือปน และอุณหภูมิของสาร

1.3.2. ใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้แบบ Transmittance บริเวณที่ทำการตรวจวัด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. เพื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในสารละลายด้วยเทคนิคทางแสงอินฟราเรดย่านใกล้

1.4.2. เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกราน



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดโดยใช้วิธีการทางแสง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวินิจฉัยโรคเบาหวาน หน่วยที่ใช้ในการวัดระดับน้ำตาลในเลือด ทฤษฎีการดูดกลืนแสงแสงอินฟราเรดย่านใกล้ วิธีการสร้างสมการทดสอบ รวมถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการตรวจวัดด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การตรวจวินิจฉัยโรคเบาหวาน

โรคเบาหวาน เป็นภาวะที่ระดับน้ำตาลหรือระดับกลูโคสในเลือดสูงกว่าเกณฑ์ปกติที่กำหนด โดยกลูโคสจะถูกนำเข้าสู่ร่างกายได้ด้วยการรับประทานอาหารจำพวกโปรตีน แป้ง และไขมันซึ่งจะทำให้ระดับน้ำตาลในกระแสเลือดสูงขึ้น ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นต้องรักษาความสมดุลของระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะต่างๆของร่างกาย ตับอ่อนจะผลิตฮอร์โมนที่ชื่อว่า อินซูลิน เพื่อนำเอากลูโคสที่อยู่ในกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ไปเผาผลาญให้ได้พลังงาน ส่งผลให้ระดับกลูโคสในเลือดจะลดระดับลง ถ้าตับอ่อนผลิตฮอร์โมนอินซูลินไม่ได้ ผลิตได้ไม่เพียงพอหรืออินซูลินมีการทำงานที่ผิดปกติกล่าวคือไม่สามารถนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์ได้ ร่างกายก็จะไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติและส่งผลให้เกิดโรคเบาหวานหรือระดับน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) ตามมา ดังนั้นการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดจึงมีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาและป้องกันอันตรายจากโรคเบาหวาน ซึ่งการตรวจหาระดับน้ำตาลในเลือด (ซัลลิต, 2560) ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีดังนี้

2.1.1 การตรวจน้ำตาลในเลือดในทางการแพทย์

การตรวจหาระดับน้ำตาลด้วยวิธีการเจาะเลือดส่งตรวจ เป็นการตรวจแบบลุกล้ำ (invasive method) ที่ให้ผลการตรวจแม่นยำที่สุด แต่ผู้ป่วยจะรู้สึกเจ็บจากการถูกเจาะเลือดด้วยวิธีที่แตกต่างกันตามประเภทของการตรวจ โดยเฉพาะในหญิงตั้งครรภ์ที่เป็นเบาหวานและต้องควบคุมระดับน้ำตาลให้อยู่ในเกณฑ์ปกติด้วยการฉีดยาอินซูลิน เพื่อป้องกันอัตราต่อทารกในครรภ์จากภาวะน้ำตาลในเลือดของมารดาสูงผิดปกติ ซึ่งหญิงตั้งครรภ์กลุ่มนี้จะต้องเจาะเลือดที่ปลายนิ้วเพื่อตรวจน้ำตาลด้วยตนเองวันละ 3-4 ครั้งนอกเหนือจากการตรวจระดับน้ำตาลจากการเจาะที่เส้นเลือดตามแพทย์นัด การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดในทางการแพทย์ แบ่งได้ดังนี้

2.1.1.1) การตรวจหาน้ำตาลในเลือดด้วยวิธี Fasting plasma glucose test (FPG) คือการเจาะตรวจหาน้ำตาลในเลือดหลังทำการอดอาหาร 8 h เป็นการเจาะเลือดเพื่อตรวจวินิจฉัยหาโรคเบาหวาน มีค่าปกติอยู่ระหว่าง 70-100 mg/dL หากค่าระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในช่วง 100-125 mg/dL ถือว่าเป็นภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน ถ้าระดับน้ำตาลในเลือดมากกว่า 126 mg/dL จะวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน และถ้าในกรณีที่พบค่าน้ำตาลสูงถึง 500 mg/dL จะทำให้หมดสติจนเสียชีวิตได้โดยระดับน้ำตาลในเลือดที่มีผลกระทบต่อร่างกายแบ่งได้ดังตารางที่ 2.1 บางรายอาจตรวจพบระดับน้ำตาลไม่สูงแต่มีภาวะเสี่ยงต่อเป็นเบาหวานสูง ซึ่งจำเป็นต้องตรวจด้วยวิธีการอื่นร่วมด้วย

ตารางที่ 2.1 การแบ่งช่วงระดับน้ำตาลในเลือด

ช่วงระดับน้ำตาลในเลือด (mg/dL)	การประเมินระดับน้ำตาลในเลือด
0-69	ต่ำ
70-100	ปกติ
101-125	เสี่ยงเบาหวาน
126-500	เบาหวาน
มากกว่า 500	อันตราย(อาจหมดสติ/เสียชีวิต)

2.1.1.2) การตรวจหาน้ำตาลในเลือดด้วยวิธี Casual plasma glucose คือการเจาะตรวจหาน้ำตาลในเลือดโดยไม่ต้องอดอาหารหากระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่า 200 mg/dL แสดงว่ามีความเสี่ยงสูงที่เป็นโรคเบาหวาน

2.1.1.3) การตรวจหาน้ำตาลในเลือดด้วยวิธี Hemoglobin A1c (HbA1c) คือการตรวจหาน้ำตาลที่อยู่ในเซลล์เม็ดเลือด การตรวจด้วยวิธีนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากเป็นการตรวจวัดผลระดับน้ำตาลในเลือดที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการควบคุมอาหารในช่วง 6-12 week

2.1.1.4) การตรวจหาน้ำตาลในเลือดด้วยวิธี The oral glucose tolerance test (OGTT) คือการวัดความทนทานต่อน้ำตาล เป็นการตรวจเพื่อวินิจฉัยโรคเบาหวาน หรือ กลุ่มที่เสี่ยงต่อโรคเบาหวาน และตรวจหาภาวะโรคเบาหวานในขณะตั้งครรภ์

2.1.1.5) การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดจากการตรวจปัสสาวะ เป็นการตรวจหาระดับน้ำตาลที่รั่วออกมาในน้ำปัสสาวะ วิธีนี้เป็นการคัดกรองเบื้องต้นที่สะดวกและได้ผลรวดเร็วแต่มีความคลาดเคลื่อนสูง จึงเป็นเพียงวิธีการคัดกรองกลุ่มเสี่ยงต่อเบาหวานเท่านั้น ไม่ใช่วิธีการตรวจเพื่อวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน

2.1.2 การแยกประเภทโรคเบาหวาน

โรคเบาหวานสามารถแยกประเภทได้ดังนี้

2.1.2.1) โรคเบาหวานประเภทที่ 1 เกิดจากการแพ้ภูมิตัวมันในร่างกายนเองอย่างรุนแรงตั้งแต่กำเนิดหรือเกิดได้ในผู้ป่วยตั้งแต่อายุน้อย โดยระบบภูมิตัวมันในร่างกายนจะทำลายตัวเองจนทำให้เซลล์ เบต้า ในตับอ่อนถูกทำลายส่งผลให้เกิดความผิดปกติในการผลิตฮอร์โมนอินซูลิน

2.1.2.2) โรคเบาหวานประเภทที่ 2 เกิดจากร่างกายขาดฮอร์โมนอินซูลินอย่างรุนแรงตั้งแต่กำเนิด หรือเกิดได้ในผู้ป่วยตั้งแต่อายุน้อยเหมือนกับเบาหวานประเภทแรก แต่ไม่ได้มีความผิดปกติในระบบภูมิตัวมัน

2.1.2.3) โรคเบาหวานประเภทที่ 3 เกิดจากภาวะต้านทานอินซูลินสูง เนื่องจากมีน้ำหนักเกิน โดยร่างกายสามารถผลิตฮอร์โมนอินซูลินได้ตามปกติแต่ร่างกายไม่สามารถตอบสนองการใช้อินซูลิน

2.1.2.4) โรคเบาหวานประเภทที่ 4 เกิดจากโรคอ้วน และการรับประทานอาหารที่เกินจากร่างกายต้องการแต่การทำงานของระบบเผาผลาญนั้นใกล้เคียงกับคนปกติมากกว่าผู้ป่วยเบาหวานประเภทที่ 3 ผู้ป่วยมักจะมีน้ำหนักตัวเกิน

2.1.2.5) โรคเบาหวานประเภทที่ 5 เกิดจากอายุเพิ่มขึ้น เกิดในผู้ป่วยสูงอายุ เนื่องจากร่างกายไม่สามารถเผาผลาญน้ำตาลได้อย่างปกติ เบาหวานประเภทนี้ไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับเบาหวานประเภทอื่น ๆ (สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ, 2561)

2.1.3 โรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์

การตั้งครรภ์ โดยทั่วไปมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เป็นเบาหวาน (diabetogenic effect) เพิ่มขึ้น เนื่องจากภาวะ diabetogenic effect นี้มีผลมาจากฮอร์โมนการตั้งครรภ์ที่สร้างจากเนื้อรก ได้แก่ human placental lactogen (HPL), estrogen, progesterone, cortisol และ insulinase ดังนั้นมารดาตั้งครรภ์ที่มีแนวโน้มจะเป็นเบาหวานอยู่แล้วก็จะมีเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น หรือปรากฏอาการของเบาหวานมากขึ้นตามอายุครรภ์ที่เพิ่มขึ้น (วิบูลย์ เรืองชัยนิค, 2555) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ ส่งผลให้ร่างกายไม่สามารถนำอินซูลินไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เรียกว่า ภาวะดื้ออินซูลิน หญิงตั้งครรภ์ทุกคนจะมีภาวะดื้ออินซูลินเล็กน้อยในช่วงท้ายของการตั้งครรภ์ อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่ของหญิงตั้งครรภ์จะสามารถผลิตอินซูลินชดเชยได้เพียงพอต่อภาวะดื้ออินซูลินดังกล่าว มีเพียงบางรายที่ไม่สามารถทำได้ จึงทำให้เกิดโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ขึ้น หญิงตั้งครรภ์ที่มีน้ำหนักเกิน จะเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเบาหวานขณะตั้งครรภ์ เพราะจะมีภาวะดื้ออินซูลินอยู่ก่อนที่จะตั้งครรภ์อยู่แล้ว การตั้งครรภ์ที่ทำให้น้ำหนักตัวมากกว่าเดิมนั้น จึงยังเป็นปัจจัยเสริมขึ้นไปอีก นอกจากนี้หากประวัติครอบครัวเป็นโรคเบาหวานก็จะยิ่งเพิ่มโอกาสที่หญิงตั้งครรภ์คนนั้นจะเป็นโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ เพราะโรคนี้เกี่ยวข้องกับยีนที่

ถ่ายทอดทางพันธุกรรมด้วย ควรตรวจคัดกรองโรคเบาหวานในช่วงอายุครรภ์ 24-28 week หากพบว่าแม่มีความเสี่ยงต่อการพัฒนาเป็นภาวะเบาหวานขณะตั้งครรภ์ แพทย์จะให้คำแนะนำเป็นการควบคุมที่ปลอดภัย ซึ่งโรคนี้ต้องได้รับการดูแลเพื่อให้แม่และทารกในครรภ์ปลอดภัย ผลของโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ต่อทารกคือระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดที่สูงระหว่างตั้งครรภ์อาจทำให้ทารกคลอดก่อนกำหนด น้ำหนักแรกคลอดมากกว่าปกติ ทารกตัวใหญ่ ส่งผลต่อทารกเกิดปัญหาในระบบต่างๆเมื่อแรกเกิดเช่น ระบบหายใจ ระดับน้ำตาลที่ต่ำ และอาจเสียชีวิตในครรภ์ได้ นอกจากนี้ทารกมีโอกาที่จะเป็นโรคเบาหวานประเภทที่ 2 ได้ในอนาคต (สุจิตรา และคณะ, 2557)

2.2 หน่วยในการวัดระดับน้ำตาลในเลือด

การวัดระดับน้ำตาลในเลือดจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบด้วยกันคือ ในสหรัฐอเมริกาวัดด้วยน้ำหนักของกลูโคสหน่วยมิลลิกรัมต่อปริมาณน้ำเลือด 1 dL (mg/dL) ในส่วนมาตรฐานระดับนานาชาติจะระบุหน่วยเป็นความเข้มข้น โมลาร์ (molar concentration) เช่น mmol/L (มิลลิโมลต่อลิตร) โดยน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคส $C_6H_{12}O_6$ อยู่ที่ 180 g/mol เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 หน่วยคือ 1 mmol/L ของกลูโคสจะเท่ากับ 18 mg/dL (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2564)

2.3 ทฤษฎีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้

การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยหลักการแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ถือว่าเป็นการวัดค่าระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่ลุกล้ำ (non-invasive method) เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดความเจ็บปวดหรือการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ แสงอินฟราเรดย่านใกล้เป็นแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780 - 2,500 nm เมื่อส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะเกิดการดูดกลืนแสง ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง การสั่นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับไฮโดรเจน C-H, ไนโตรเจนกับไฮโดรเจน N-H และออกซิเจน กับไฮโดรเจน O-H เกิดการยืด-หดหรือบิด-งอ ในรูปแบบต่าง ๆ (ปิยะพร เนียมมณี, 2559) จากนั้นทำการตรวจวัดคลื่นแสงที่สะท้อนหรือส่องผ่านออกมา ด้วย Detector จากนั้นประมวลผลเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เกิดเป็นสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะ ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติจากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้นอย่างไรก็ตาม เมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปพลังงานความร้อนพบปริมาณที่ดูดกลืนเข้าไป

ตามกฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer- Lambert) กล่าวถึงพลังงานทางแสงเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$A_b = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad (2.1)$$

เนื่องจาก T คือ Transmittance

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.2)$$

ดังนั้น

$$A_b = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

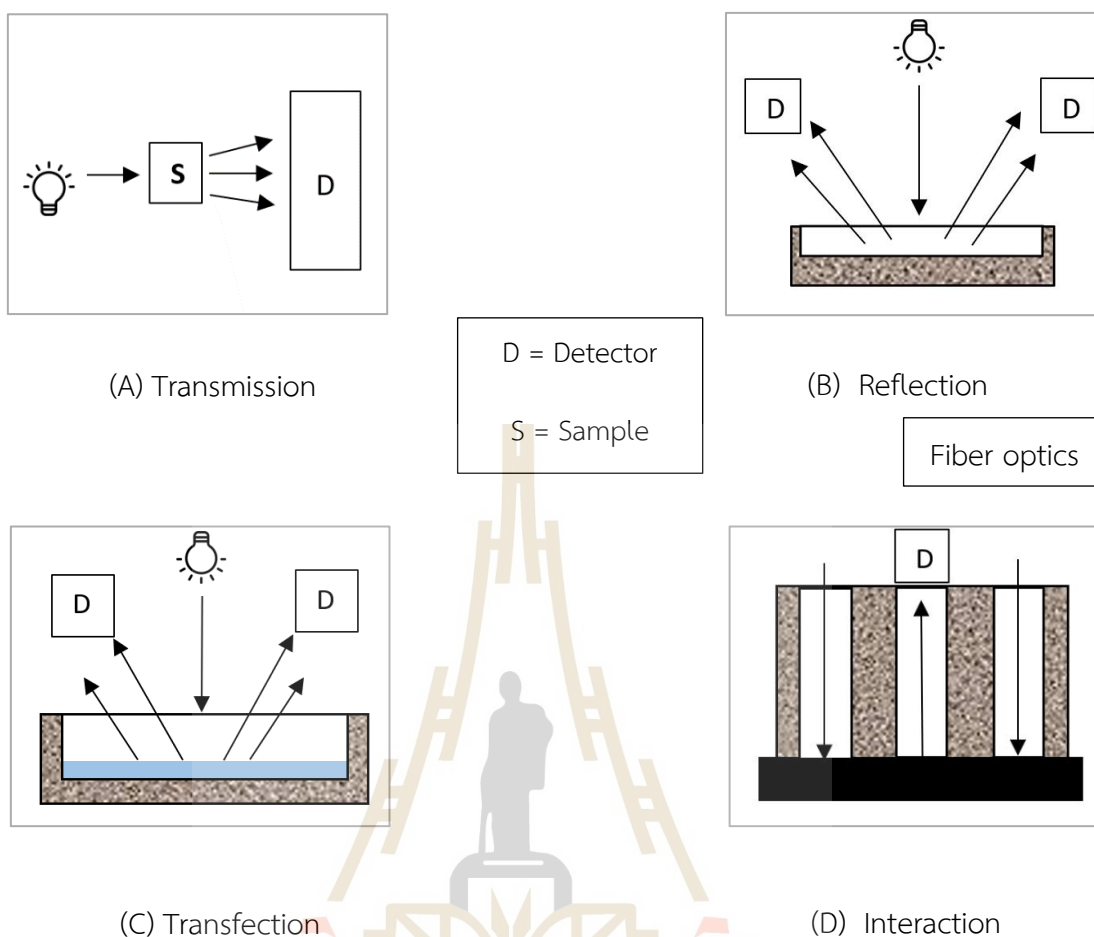
ตารางที่ 2.2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด (นิพนธ์ ตั้งคณาภุรักษ์, 2547)

ช่วงคลื่น	Characteristic, transition	ความยาวคลื่น (nm)	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ประโยชน์
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	Overtone, combination	780-2500	12,800-4,000	วิเคราะห์ปริมาณของกลุ่มฟังก์ชัน คีตาษา โครงสร้างพันธะของโมเลกุล
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR, MIR or Fundamental IR)	Fundamental vibration	2,500-5x10 ⁴	4,000-200	วิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชัน
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	Rotation	5x10 ⁴ -10 ⁶	200-100	ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโมเลกุล

เมื่อคลื่นแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมี โดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของสารนั้นๆ คลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้แบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังตารางที่ 2.2

2.3.1 รูปแบบที่วัดถุมีปฏิกิริยาต่อแสงอินฟราเรดย่านใกล้

แสงอินฟราเรดย่านใกล้เมื่อผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างจะเกิดพฤติกรรมได้หลายแบบ ดังนั้น จึงควรมีการจัดการสารวางตัวอย่างให้เหมาะสม การใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้สามารถให้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจ ได้แก่



รูปที่ 2.1 รูปแบบการวัดด้วยเทคนิคทางแสง (ศุมาพร, 2545)

2.3.1.1) Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบบสารตัวอย่างและส่งผ่านไปยังตัว Detector ดังรูปที่ 2.1 (A)

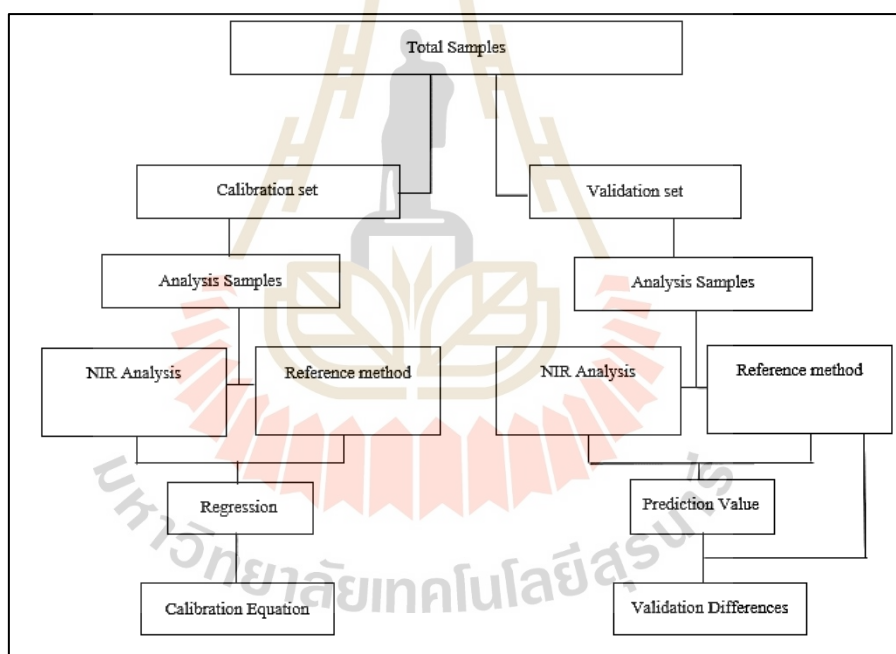
2.3.1.2) Reflection เป็นการวัดปริมาณแสงตกกระทบบที่พื้นผิวของสารตัวอย่างแล้วจึงวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมอดังรูปที่ 2.1 (B)

2.3.1.3) Transfection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบบสารตัวอย่างผ่านลงไปตกกระทบบแผ่นเซรามิก ท่อ หรืออะลูมิเนียมในชั้นล่างสุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังรูปที่ 2.1 (C)

2.3.1.4) Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่งผ่านลงมายังสารตัวอย่างในวงแหวนด้านนอกมาตกกระทบบสารตัวอย่าง แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากสารตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังรูปที่ 2.1 (D)

2.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแสงอินฟราเรดย่านใกล้

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัมแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนได้แก่ (1) ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration set) และ (2) ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation set) ขั้นตอนที่ (1) เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะสารตัวอย่างที่ต้องการทราบ จากนั้น จะมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้ไป ตรวจสอบความถูกต้อง ตามขั้นตอนที่ (2) เพื่อให้เกิดความมั่นใจ แล้วจึงนำสมการไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา อย่างไรก็ตามเนื่องจากสมการได้มาจากการทดลอง ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ดี และมีจำนวนตัวอย่างเพียงพอจะช่วยให้ได้สมการที่ครอบคลุม ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะต้องมีค่าครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุด และสูงสุดของมีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ที่ถูกต้องเพียงพอและเป็นตัวแทนที่ของประชากร การสุ่มตัวอย่างถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้สมการทำนาย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ (Iwamoto et al., 1995)

2.3.3 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ค่าสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่วัดได้ด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้ สามารถนำมาใช้ได้เลยหรืออาจนำไปปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อจัดการข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง เนื่องจากการแสดงผลค่าสเปกตรัมของสารตัวอย่างแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติการกระเจิง

แสงและความแตกต่างความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัด โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัมของตัวอย่างได้แก่ ความชื้น และขนาดอนุภาค ในสารตัวอย่างที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอาจทำให้ค่าสเปกตรัมของสารถูกบดบังด้วยสเปกตรัมของน้ำ ซึ่งทำให้เกิดพิกไม่ชัดเจน นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ มีการเหลื่อมซ้อนทับกัน (Overlapping band) เกิดความซับซ้อนของข้อมูล โดยวิธีการจัดการข้อมูลที่นิยมใช้ มีหลายวิธีด้วยกันและนำไปใช้งานในวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น ทำสเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวนให้มีความราบเรียบขึ้น โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยของช่วงคลื่นสั้นๆต่อเนื่องกันด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล (Mean centering, MC) การทำอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง เพื่อแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของเส้นสเปกตรัม (Baseline shift) การทำอนุพันธ์ลำดับที่สอง แก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นและการที่มีพิกซ้อนทับกัน (Overlapping peaks) การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization) ทำเพื่อกำจัดความแปรปรวนจากปัจจัยที่ไม่ต้องการ การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction, MSC) แก้ปัญหาการกระเจิงแสงที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดอนุภาคที่ไม่เท่ากันหรือผลจากความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดแสง เป็นต้น การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard normal variate, SNV) และการปรับแนวโน้ม (Detrending) ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นสิ่งที่ช่วยให้ข้อมูลสเปกตรัมเกิดการผิดพลาดน้อยลงเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนต่อไป (Cen and He, 2007)

2.4 วิธีการสร้างสมการสอบเทียบ (Calibration equation)

สมการสอบเทียบประกอบไปด้วยตัวแปร 2 ชนิด คือ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม การหาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามเป็นสิ่งสำคัญของการสร้างสมการสอบ ซึ่งแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ

2.4.1 Wavelength selection

วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ ในความยาวคลื่นที่เฉพาะ เทคนิคในการคัดเลือกอาจมีเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับตัวแปรที่ทำกรวิเคราะห์หรือพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

2.4.1.1) Simple Linear Regression (SLR) เป็นการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรสองชนิดอย่างละ 1 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน เลือกพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของสารตัวอย่างที่ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว แต่เนื่องจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้ไม่สามารถพิจารณาใช้ความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่งในการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลจากหลายความยาวคลื่น เพื่อทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง สมการ SLR สามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$Y = b_0 + b_1X \quad (2.4)$$

2.4.1.2) Multiple Linear Regression (MLR) เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่มีการประมาณค่าตัวแปรตามด้วยตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว สามารถนำไปใช้กับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้เนื่องจากว่าการใช้งานจริงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตามมักมีหลายปัจจัยที่เข้ามาส่งผลกระทบต่อ ข้อเสียคือการคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือค่าการดูกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับ องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างต้องใช้เวลาอันยาวนาน ทำให้การทดสอบต้องมีตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้ สมการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและแม่นยำสมการ MLR สามารถเขียนได้ ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \dots + b_nX_n \quad (2.5)$$

2.4.2 Full spectrum method

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มี ในทุกความยาวคลื่นเพื่อแก้ปัญหาในการเลือกความยาวคลื่นผิดพลาด การใช้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดหรือในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจจะช่วยให้สมการ Calibration ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น เลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมดในสเปกตรัม มาสร้างสมการโดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระและสร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ 2 วิธี คือ Principle component regression (PCR) และ Partial least square regression (PLSR) ทั้งสองวิธีนี้ต้องใช้ในการสร้างตัวแปรใหม่ที่ เรียกว่า Factor หรือ องค์ประกอบ

2.4.2.1) PCR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรโดยการแบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่องค์ประกอบให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ต่อกันซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วย PCR เมื่อทำการหาองค์ประกอบ เรียบร้อยแล้ว นำองค์ประกอบ ที่ได้มาทำ Regression กับค่าองค์ประกอบทางเคมีทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ก็จะได้ค่า Calibration coefficient

2.4.2.2) PLSR เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรโดยการสร้างตัวแปรใหม่จากตัวแปรต้นเดิมและนำข้อมูลตัวแปรตาม เข้ามาร่วมสร้างตัวแปรใหม่ ในการใช้งานวิธี PLSR มีการใช้ในการทำนายตัวแปรตามเพียงตัวเดียวใช้ 1 สมการ หรือเป็นการทำนายตัวแปรตามแบบหลายตัวได้โดยใช้เพียงสมการเดียวก็ได้ อย่างไรก็ตามการใช้สมการเพียงสมการเดียวใช้ทำนายค่าตัวแปรตามหลายตัวนั้นอาจเกิดข้อผิดพลาดได้

2.5 วิธีการทดสอบสมการ

เมื่อได้สมการสอบเทียบ แล้วจะต้องนำสมการที่ได้มาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมใช้ในเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ คือ

2.5.1 Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายในคือ สารตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการคือสารตัวอย่างชุดเดียวกันกับใช้สร้างสมการขึ้นมาโดย ตัดตัวอย่างออก 1 ตัวอย่างแล้วนำตัวอย่างที่เหลือสร้างสมการขึ้นมา จากนั้นนำสมการที่ได้มาประเมินค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่ถูกตัดออกมา แล้วใส่ตัวอย่างกลับเข้าไปในชุดทดสอบเหมือนเดิม จากนั้นทำการตัดสารตัวอย่างตัวที่ 2 ออกจากชุดทดสอบแล้วทำขั้นตอนเหมือนเดิมซ้ำจนครบทุกตัวแล้วจะวัดผลโดยการดูค่า RMSECV (Root mean square error of cross validation) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการสอบเทียบ กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (Measured value or true value) ให้ค่าที่ยอมรับได้

2.5.2 การทดสอบผลการประเมิน

เป็นการทดสอบสมการภายนอกโดยนำกลุ่มตัวอย่างชุดใหม่มาประเมินค่าจากสมการสอบเทียบ ที่ได้โดยตัวอย่างชุดใหม่ที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่างการวัดสเปกตรัมต้องเหมือนกับกลุ่มที่สร้างสมการสอบเทียบ ข้อควรระวังคือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่จะต้องมีค่าที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วงของกลุ่มสอบเทียบการทดสอบลักษณะนี้มีวิธีการ คือ นำตัวอย่างกลุ่มใหม่มาวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการ โดยมีค่าทางสถิติที่ใช้วัดคือ SEP (Standard error of prediction) หรือ RMSEP (Root mean square error of prediction) และ Bias ซึ่งค่าสถิติเหล่านี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ Calibration ถ้าผลการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทางสถิติที่ดีแสดงว่า สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้

2.6.1 ขนาดของอนุภาค

ขนาดของอนุภาคเป็นปัจจัยมีผลทำให้แสงอินฟราเรดย่านใกล้ NIR Spectroscopy อาจเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากขนาดของตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติขององค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยองค์ประกอบสารตัวอย่างที่มีขนาดเล็กสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าองค์ประกอบสารตัวอย่างขนาดใหญ่ และขนาดของอนุภาคยังขึ้นอยู่กับ

เตรียมสารตัวอย่าง การวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีได้ต่างกัน จึงควรใช้การเตรียมตัวอย่างแบบเดียวกันทุกครั้งที่ทำการวัดและควรให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

2.6.2 อุณหภูมิของสารตัวอย่าง

ระหว่างการวัดโดยใช้แสงอินฟราเรดย่านใกล้อาจเกิดข้อผิดพลาดในการวัดองค์ประกอบทางเคมีเนื่องจากมีอุณหภูมิจากภายนอกมารบกวนทำการแก้ไขโดยควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองให้คงที่

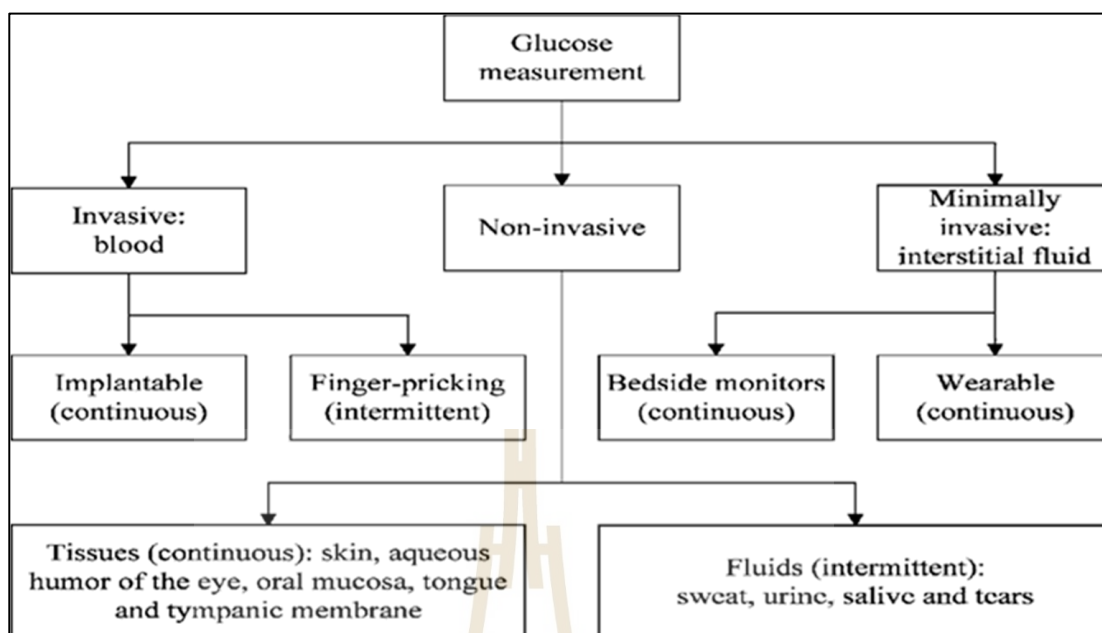
2.6.3 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าองค์ประกอบทางเคมีเนื่องจากความชื้นอาจสูญเสียหรือเพิ่มขึ้นได้ จากการเตรียมสารตัวอย่างและการเก็บสารตัวอย่าง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้วิธีการทางแสงในการตรวจวัดน้ำตาลในเลือด

การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกรานเป็นการตรวจวัดโดยไม่เจาะผิวหนัง ดังนั้นจึงไม่เกิดความเจ็บปวดกับผู้ถูกตรวจวัด การตรวจวัดลักษณะนี้จึงเป็นแนวทางที่ช่วยเหลือให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดได้ด้วยตัวเองโดยไม่มีอาการบาดเจ็บจากการเจาะส่งผลดีในการติดตามอาการและการดำเนินการรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวานได้อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสร้างวิธีการตรวจวัดหลายรูปแบบ อาทิ เทคนิคทางแสง เทคนิคทางความร้อน การตรวจวัดทางผิวหนัง โดยเทคนิคทางแสงแสงอินฟราเรดย่านใกล้ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดได้ แต่ต้องคำนึงถึงผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดเพื่อให้ผลการวัดมีความน่าเชื่อถือทางการแพทย์

Ferrante do Amaral et al. (2008) ได้รวบรวมวิธีการตรวจวัดระดับน้ำตาลในร่างกายแบบไม่รุกราน การตรวจระดับน้ำตาลในร่างกายสามารถวัดได้จากสมบัติการดูดซับแสงของโครงสร้างทางโมเลกุลของน้ำตาลในร่างกาย หรือแม้แต่การแผ่รังสีความร้อนของร่างกาย การศึกษามีการตรวจวัดค่าระดับน้ำตาลในของเหลวอื่นๆในร่างกายที่อาจมีน้ำตาลกลูโคส เพื่อทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจวัดระดับน้ำตาลในร่างกายโดยมีแนวคิดอธิบายภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เทคนิคการวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกราน
(Ferrante do Amaral et al., 2008)

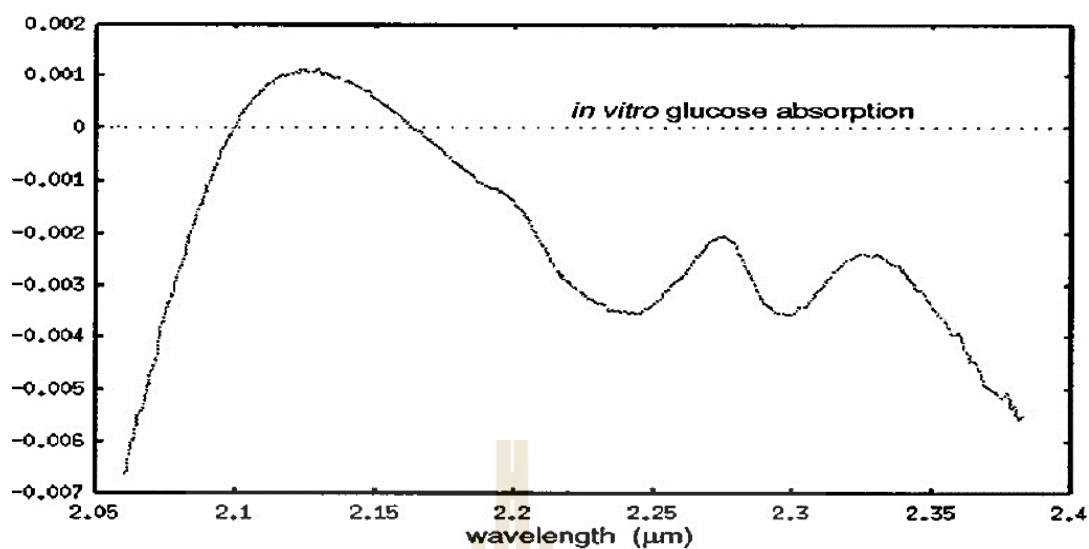
ในงานวิจัยยังกล่าวถึงเทคนิค Thermal emission spectroscopy โดยวัดการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคส เทคโนโลยีนี้ใช้แนวคิดที่คล้ายกันกับเทอร์โมมิเตอร์เมมเบรน โดยการเพิ่มความยาวคลื่นให้เหมาะสมกับลายนิ้วมือที่ใช้ตรวจวัดกลูโคส (9.8 mm และ 10.9 mm) แต่ก็ต้องคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิโดยรอบในการตรวจวัดด้วย



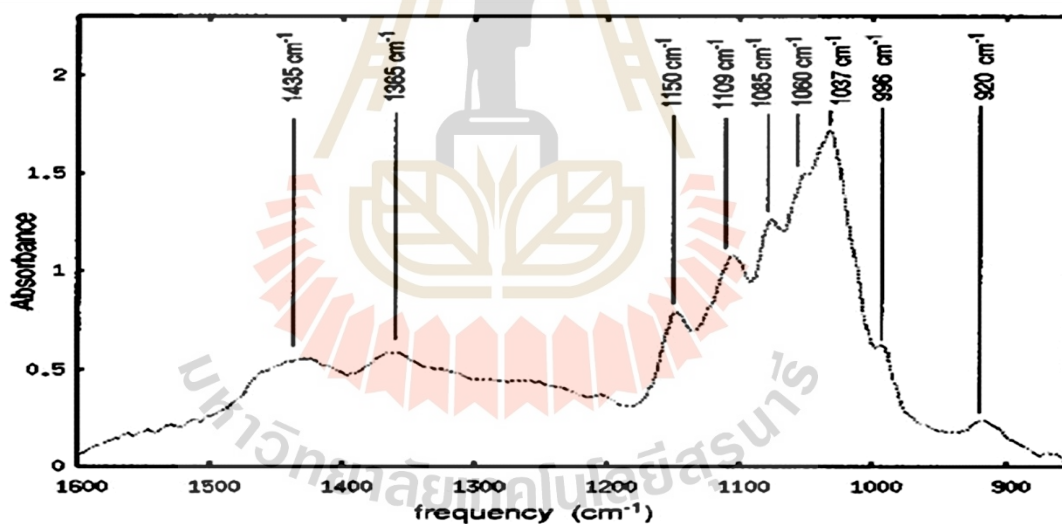
รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบเผาผลาญความร้อนของบริษัท Hitachi
(Ferrante do Amaral et al., 2008)

จากตรวจวัดน้ำตาลกลูโคสในร่างกายด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่าเทคนิคทางแสงมีความเป็นไปได้สูงในทางการแพทย์ เนื่องจากบ่งบอกความเฉพาะเจาะจงของสารได้ แต่ยังคงคำนึงถึงปัจจัยทางกายภาพอื่นๆประกอบด้วยเพื่อให้เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดมีความแม่นยำและเชื่อถือ (So et al., 2012)

สมบัติการตอบสนองทางแสงของสารที่ต่างกันเป็นหลักการที่ใช้ในการออกแบบการตรวจวัดน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกราน Srivastava et al. (2013) ได้วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยเทคนิคทางแสงอินฟราเรดย่านใกล้ พบว่าปัญหาด้านความแม่นยำของเครื่องมือในการเก็บรวบรวมสเปกตรัมที่ถูกต้อง การสร้างรูปแบบสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลมีความแปรปรวนของสภาพ Human-Spectrometer และเวลาในการทำการตรวจวัด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคทางแสงทั้งสิ้น การตรวจวัดน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกรานด้วยเซนเซอร์ทางแสง มักถูกใช้ในวงการแพทย์ ในการวินิจฉัยโรคจากเลือดและเนื้อเยื่อตัวอย่างของผู้ป่วย ถึงแม้ว่าเทคนิคทางแสงมีความเป็นไปได้โดยใช้การตรวจวัด แต่เนื่องจากกลูโคสในร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง สัญญาณสเปกตรัมทางแสงที่ตรวจวัดได้จึงไม่คงที่ ข้อจำกัดการตรวจวัดกลูโคสในเลือดแบบไม่รุกราน สรุปได้ดังนี้ กลูโคสในร่างกายมีความเข้มข้นเพียง 0.1% ของปริมาณน้ำในร่างกาย การเปลี่ยนแปลงสัญญาณสเปกตรัมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคสจึงตรวจจับได้ยากและไม่ชัดเจน นอกจากนี้ การวัดกลูโคสด้วยเทคนิคทางแสงอินฟราเรดย่านใกล้ มักมีผลกระทบจากปัจจัยต่างร่วมด้วยๆ อาทิ สภาพแวดล้อม, ความผันผวนทางสรีรวิทยาของผู้ถูกตรวจวัด ส่งผลให้การสร้างสมการสอบเทียบผลการวัดมีความซับซ้อนปัญหา ความแปรปรวนสภาพร่างกายของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ตำแหน่งตรวจวัด เคลื่อนที่ของผู้ถูกตรวจวัด การกำหนดลำแสง และเวลาที่ตรวจวัดปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการตรวจวัดได้ทั้งสิ้น สำหรับการตรวจวัดปริมาณกลูโคสใช้เทคนิคทางแสงโดยทั่วไปใช้แสงอยู่ในช่วงอินฟราเรดย่านกลาง หรือ อินฟราเรดย่านใกล้ แสดงดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 เป็นตัวอย่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ อินฟราเรดย่านกลาง และอินฟราเรดย่านใกล้ สำหรับกลูโคสในน้ำหลังจากทำการแยกกลูโคสจากน้ำ

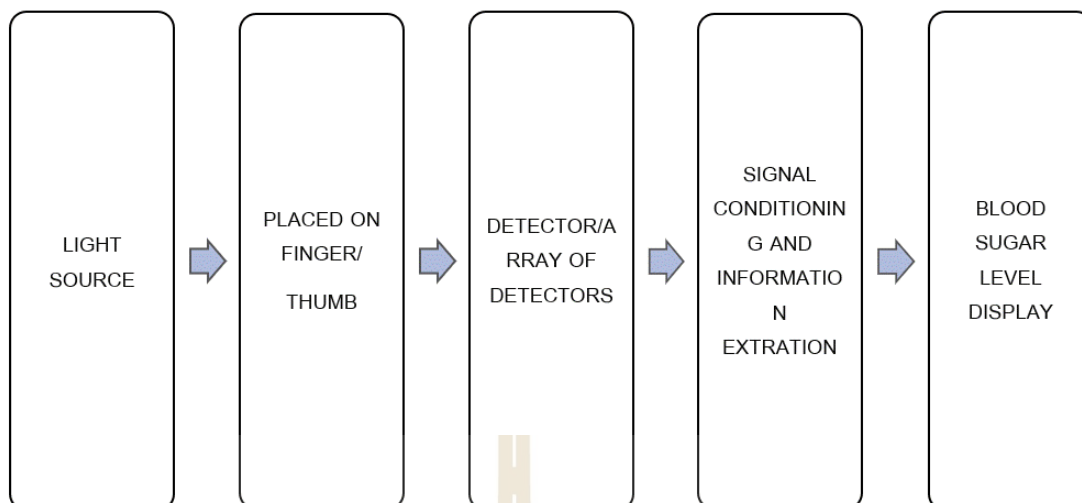


รูปที่ 2.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงสำหรับน้ำตาลกลูโคสด้วยแสงอินฟราเรดย่านกลาง
(Srivastava et al., 2013)



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงสำหรับน้ำตาลกลูโคสด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้
(Srivastava et al., 2013)

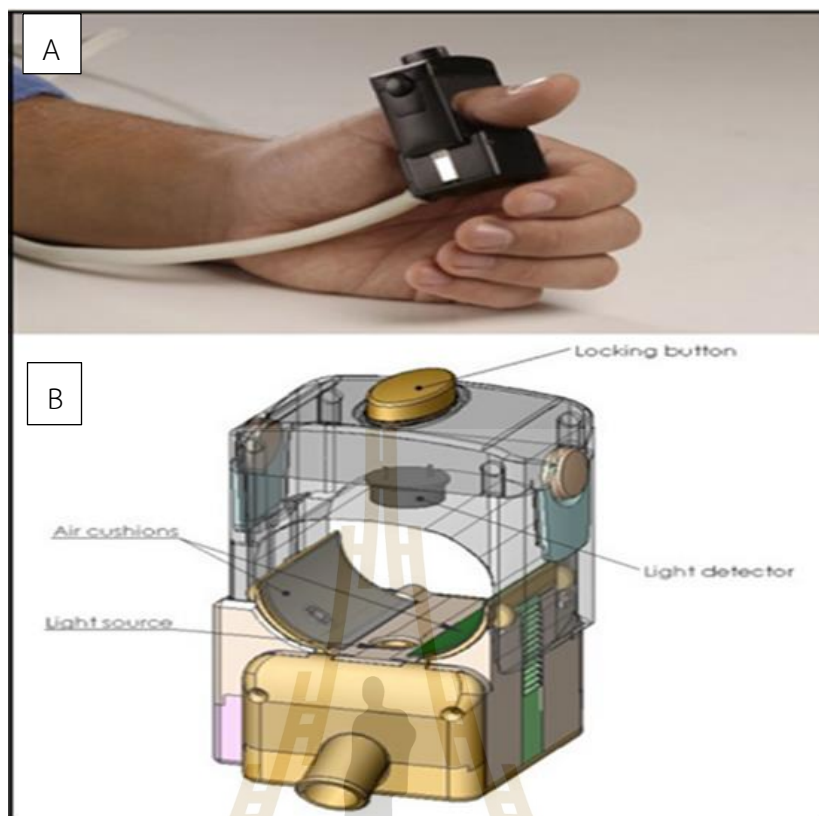
การตรวจวัดกลูโคสมีการออกแบบใช้โหมดการส่งสัญญาณเพื่อตอบสนองการวัดแบบโพรมิเตอร์ตรวจวัดที่ปลายนิ้วมือ ที่มักพบกลูโคสจำนวนมากเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีเส้นเลือดมากและผิวหนังไม่หนา เพื่อสร้างสมการในการสอบเทียบ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ต้องคำนึงถึงสีผิวและความหนาของชั้นผิวหนังที่ส่งผลต่อการสะท้อนกลับของแสงด้วยโดยการออกแบบการทดลองได้ตั้งขั้นตอนรูปที่



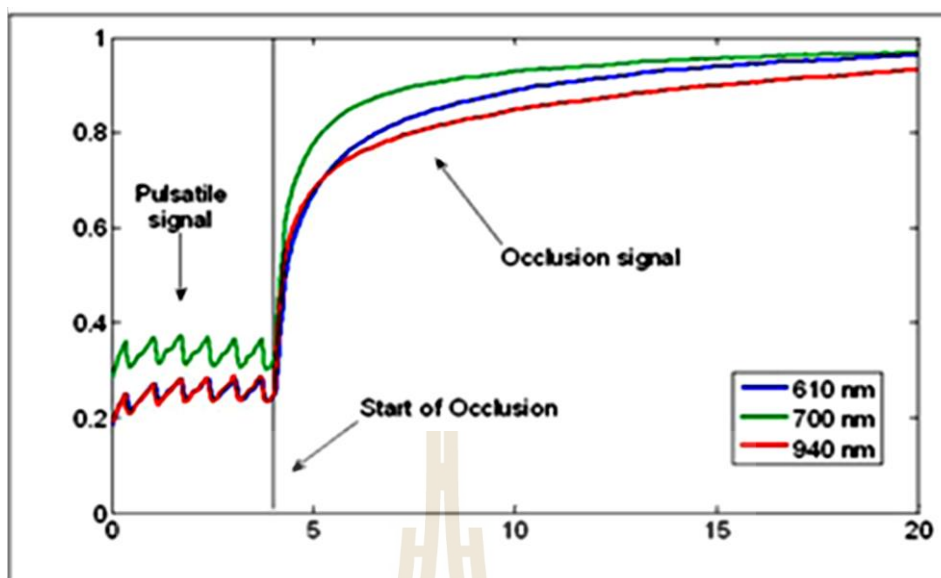
รูปที่ 2.7 รูปแบบการใช้เครื่องมือของเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกราน (Srivastava et al., 2013)

การตรวจวัดน้ำตาลกลูโคสด้วยเทคนิคทางแสงมีข้อจำกัดในการใช้ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับระบบในร่างกายของมนุษย์ หากต้องการเพิ่มความแม่นยำในการออกแบบเครื่องมือ อาจจะต้องมีการออกแบบการทดลองที่ดี เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

Amir et al. (2007) ได้ศึกษาเทคนิคทางแสงและออกแบบการทดลองเพื่อตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด ด้วยเครื่อง NBM (OrSense Ltd.) ของผู้ป่วยจำนวน 23 คน ตัวเครื่องให้ลำแสงในย่านความยาวคลื่น 610, 700 และ 940 nm พบว่าสามารถตรวจวัดระดับกลูโคสได้และและมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการตรวจกลูโคสแบบเดิม การวัดด้วยเครื่องนี้ใช้โพรบแบบวงแหวนครอบบนนิ้วมือตามรูปที่ 2.8 (A) โพรบมีแหล่งกำเนิดแสงในย่านที่สเปกตรัมสีแดงหรือช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ ตัวเครื่องมืออุปกรณ์ Oversystolic เพื่อสร้างแรงดันลมกดนิ้วป้องกันการไหลเวียนของเลือด ช่วยลดปัญหาสัญญาณแบบไดนามิกที่เกิดจากแรงดันเลือดตามรูปที่ 2.8 (B) หัววัดออกแบบให้ใช้งานง่ายมีด้ามจับที่เหมาะสมสำหรับขนาดนิ้วที่หลากหลาย

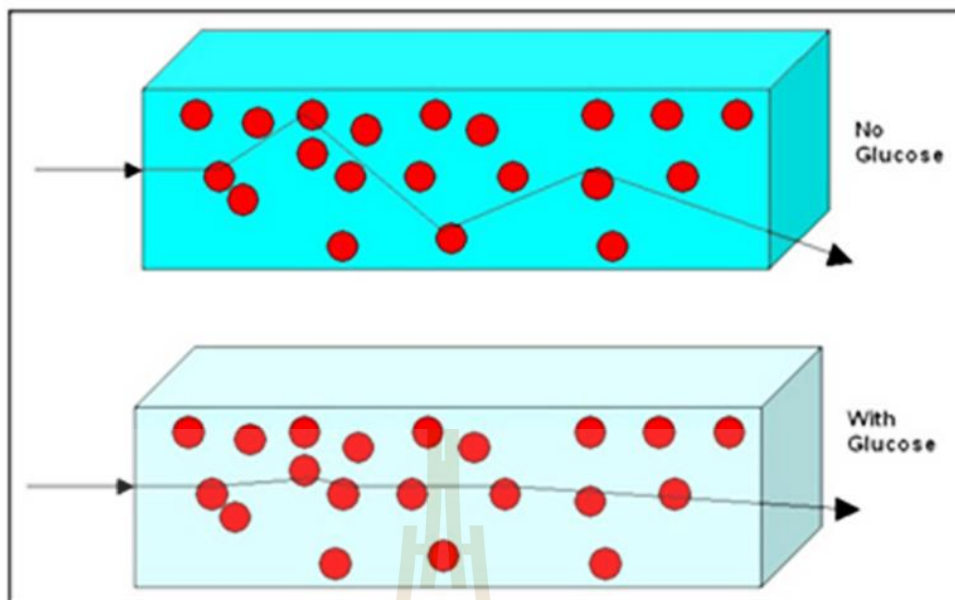


รูปที่ 2.8 (A) ภาพถ่ายและ (B) การวาดแผนผังของโพรบตรวจสอบระดับน้ำตาลที่ไม่รุกรานจากอุปกรณ์ NBM ของ OrSense (Amir et al., 2007)



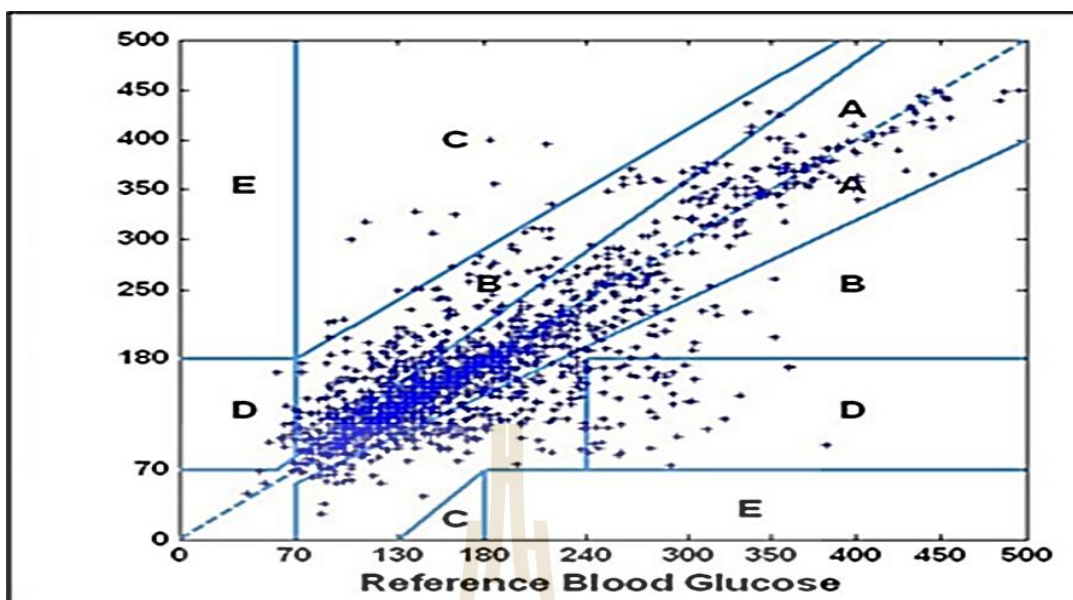
รูปที่ 2.9 สัญญาณที่บันทึกโดยอุปกรณ์ NBM (Amir et al., 2007)

จากรูปที่ 2.9 ในช่วงเวลา 0-4 สัญญาณเป็นแบบ pulsatile จากแรงดันเนื่องจากการเต้นของหัวใจแต่หลังจากเวลา 4 s มีการใช้ Oversystolic กดเข้ากับนิ้วมือเพื่อลดผลกระทบจากแรงดันเลือดดังกล่าว สัญญาณที่วัดได้จากเวลา 4 – 20 s จึงไม่แกว่งไปมาได้เส้นโค้งที่ต่างกันอย่างชัดเจนกับความยาวคลื่นที่ต่างกันไป เทคนิคนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติการดูดกลืนแสงของน้ำตาลกลูโคสในเนื้อเยื่อของผู้ถูกตรวจวัด โดยกลูโคสจะลดดัชนีการหักเหของแสงระหว่างกลูโคสและสิ่งอื่น ๆ ที่รวมอยู่ในบริเวณที่แสงผ่าน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงน้อยลงและทำให้เส้นทางแสงที่สั้นลงแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



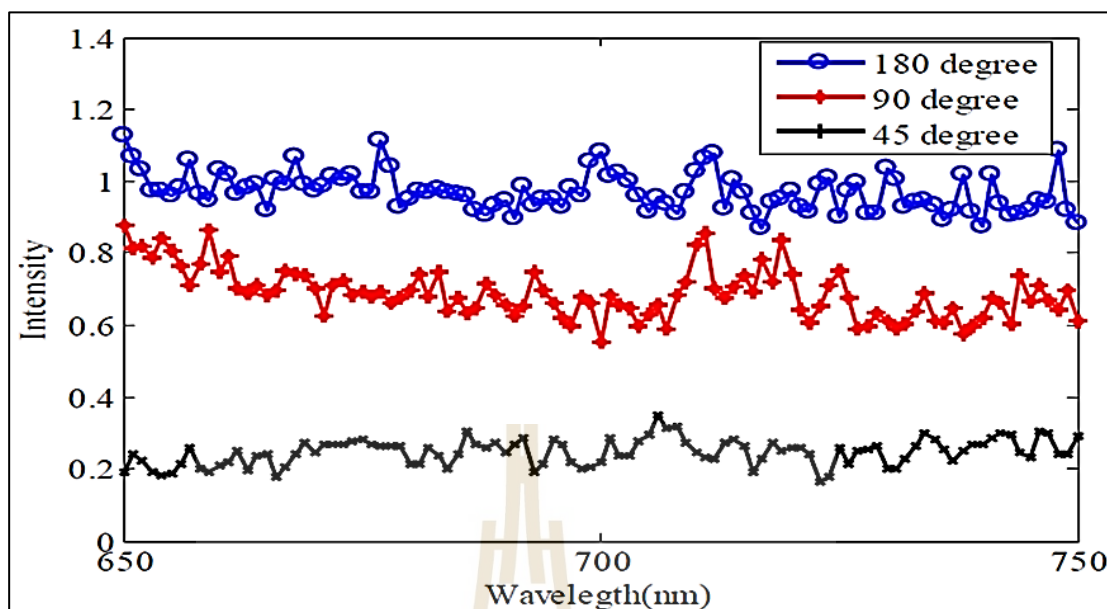
รูปที่ 2.10 คำอธิบายแผนผังของอิทธิพลของกลูโคสที่มีต่อการแพร่กระจายของแสง (Amir et al., 2007)

จากรูปที่ 2.10 กลูโคสที่มากขึ้นส่งผลให้มีการกระเจิงน้อยลงทำให้เส้นทางแสงสั้นลงดังนั้นจึงมีการดูดซับน้อยลง เป็นผลให้เมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้นโฟตอนจะถูกดูดซับน้อยลงและความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น เพื่อให้การวัดถูกต้องมีความจำเป็นต้องปรับความเร็วของแสงให้มีความเหมาะสม การใช้แรงดันลมกดนิ้วมือขณะทำการตรวจวัดส่งผลให้สัญญาณตอบสนองระดับน้ำตาลในเลือดกับแสงชัดเจนขึ้น โดยการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจวัดในห้องทดลองกับการตรวจวัดด้วยการเจาะที่ปลายนิ้วมือ ด้วยทฤษฎีของ Clarke (Amir et al., 2007) พบว่า 95.5 % ของการวัดเปรียบเทียบกัน ผลการวัดอยู่ในพื้นที่บริเวณ A และ B เป็นผลส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานหรืออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยผลที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบวิธีการตรวจวัดแบบดั้งเดิมเป็นยอมรับได้ทางการแพทย์



รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ตารางข้อผิดพลาดของ Clarke (Amir et al., 2007)

นอกจากเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดส่งผลต่อความชัดเจนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในการแสดงผลในการทดลอง ยังต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่เหมาะสมในการตรวจวัดน้ำตาลกลูโคสในเลือดให้ได้ผลชัดเจนยิ่งขึ้น Yadav et al. (2015) ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลกลูโคส กับ มุมของแหล่งกำเนิดแสงและบริเวณที่สามารถตรวจวัดน้ำตาลกลูโคส โดยใช้มุมของแหล่งกำเนิดแสงที่ 45, 90 และ 180 ° ความยาวคลื่นช่วง 640 – 740 nm นอกจากนี้ตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดได้นอกจากปลายนิ้ว เช่น แขน และ หู โดยการออกแบบโพรบให้เหมาะสมกับการทดลองที่ตำแหน่งต่างๆ โดยได้ผลการทดลองดังกราฟรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงค่าโพลาไรเซชันเฉลี่ยของกลูโคสที่มุมต่างๆ (Yadav et al., 2015)

เมื่อมุมที่แตกต่างกัน (45, 90 และ 180 °) เพื่อกระตุ้นการตอบสนองของกลูโคสต่อแสงในมุมที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์แสดงโพลาไรซ์สูงสุด เมื่อแสงถูกส่งผ่านมุม 180 ° กลูโคสมิโพลาไรเซชันสูงสุด 1.12 และที่ 90 และ 45 ° มีโพลาไรซ์น้อยกว่าคือ 0.9 และ 0.35 ตามลำดับ นอกจากนี้การทดลองวางแสงที่มุมต่างกันแล้วยังมีการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งในการวัดได้ผลดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลจากการทดสอบตำแหน่งต่างๆของร่างกาย (Yadav et al., 2015)

Subject No.	Ear voltage(mv)		Arm voltage(mv)		Finger voltage (mv)		Commercial gluco- meter(mg/dL)	
	Before Food	After Food	Before Food	After Food	Before Food	After Food	Before Food	After Food
1	1670	1882	1560	1364	1675	1863	111	133
2	1642	1851	1622	1558	1957	1831	117	139
3	1639	1845	1527	1341	1656	1866	119	138
4	1764	1942	1541	1338	1771	1943	105	132
5	1673	1893	1662	1453	1672	1856	109	130
6	1604	1757	1429	1302	1593	1788	120	145
7	1667	1871	1581	1370	1675	1852	105	131
8	1703	1919	1603	1407	1702	1939	98	133
9	1640	1832	1510	1335	1670	1830	113	147
10	1679	1885	1572	1384	1690	1861	116	153

การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ในกรณีของดิงหุพบสัญญาณที่ชัดเจนกว่าตำแหน่งอื่นๆ เพราะใบหูเป็นตำแหน่งที่ไม่มีกระดูกซึ่งมีความยาวเส้นทางสั้นกว่าตำแหน่งอื่น ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดได้ชัดเจนกว่าตำแหน่งอื่น

Jintao et al. (2017) พัฒนาให้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้มีแนวโน้มเป็นเทคนิคที่เป็นไปได้ในการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น โดยมุ่งเน้นพิจารณาแบบจำลองการสอบเทียบโดยใช้ตัวแปรสองตัวที่มีความแตกต่างกันมาเปรียบเทียบและใช้โมเดลในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันคือวิธีการ PLS เป็นวิธีการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นและเครือข่ายประสาทเทียม ANN เป็นวิธีการสร้างสมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น จากการทดสอบพบว่าผลลัพธ์ความแม่นยำในการสร้างสมการถดถอยของทั้งสองโมเดลมีความถูกต้องแม่นยำและทำซ้ำได้ โดยประสิทธิภาพของวิธีการ PLS มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบเครือข่ายประสาทเทียม ANN จากค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่าของ RMSEP ซึ่งเป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่า R เท่ากับ 96.22 % เป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางเทคนิค แต่ถึงอย่างไรก็ตามการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดมีการคิดค้นและทดลองด้วยวิธีการต่างๆ แต่บางเทคนิคที่นำมาใช้ยังไม่เหมาะสมกับการตรวจวัดกับผู้ป่วยแบบต่อเนื่องได้ ดังนั้นเทคนิคทางแสงเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้มากกว่าเทคนิคอื่น เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีการรบกวนผู้ที่ถูกตรวจวัดน้อยกว่าเทคนิคอื่น ในทางการแพทย์นำเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ในการตรวจวัดด้านอื่นเช่นกัน อาทิ การตรวจวัดระดับออกซิเจนในเลือด เป็นต้น

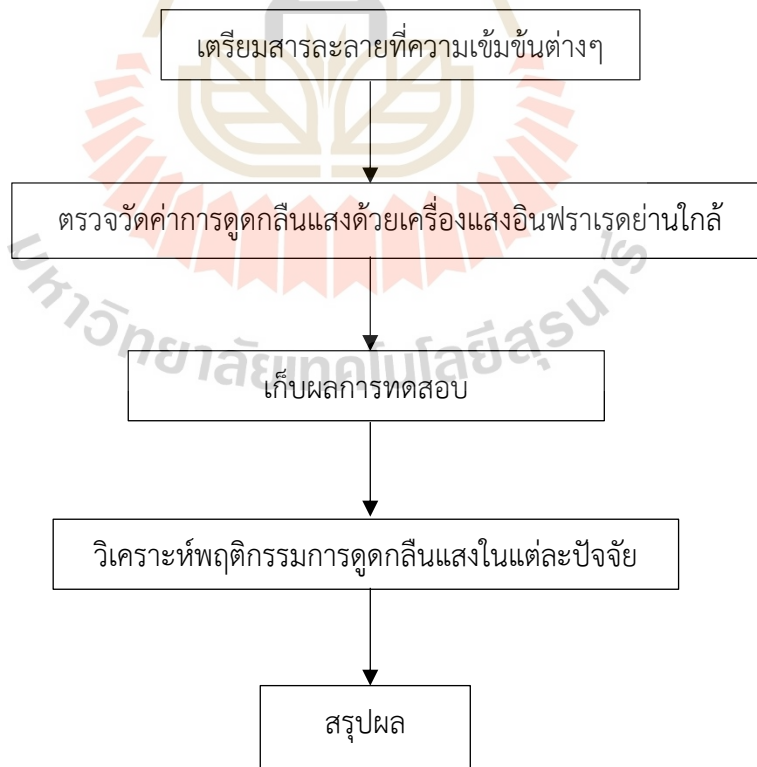
โดยในการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกรานมีวิธีการหรือเทคนิคที่นำมาตรวจวัดได้หลากหลายเทคนิค ในการตรวจวัดต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลกระทบในการตรวจวัด เพื่อควบคุมให้การวัดมีความแม่นยำ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจวัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการสร้างสมการและการสอบเทียบที่ได้ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง และเงื่อนไขของการเตรียมตัวอย่าง (Conditions of Equipment) รวมถึงขั้นตอนการดำเนินการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดระดับน้ำตาลด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ในการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการทดสอบมีดังนี้ ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส ความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้ สารเจือปน อุณหภูมิ และการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายกลูโคสกับสารละลายทดแทนเลือด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย



งานวิจัยเป็นการตรวจวัดค่าการดูดกลืนของสารละลายกลูโคสเพื่อศึกษาพฤติกรรม การตอบสนองของค่าการดูดกลืนแสงต่อปัจจัยที่นำมาทดสอบ โดยการทดสอบจะทดสอบความเกี่ยวข้อง ทั้งหมด 4 ปัจจัย จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์พฤติกรรม การตอบสนองของค่าการดูดกลืนแสงในปัจจัยต่าง ๆ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย

ในการเตรียมสารละลายกลูโคส ต้องเตรียมอุปกรณ์ในการเตรียมสารมีดังนี้

- 1) ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
- 2) ช้อนตักสาร
- 3) กระจกตวง ขนาด 100 mL
- 4) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 mL
- 5) เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
- 6) เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน
- 7) กระดาษชั่งสาร
- 8) พาราฟิล์ม
- 9) หลอดหยดสาร
- 10) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนย้าย
- 11) โพรบวัดอุณหภูมิ ชนิด K
- 12) ขาดังสำหรับวางหลอดทดลอง
- 13) กระจกนิตยาสำหรับดูดสาร
- 14) ตู้อุ่นความชื้น

3.3 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นสารละลายกลูโคสกับค่าความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาค่าความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดระดับกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เทคนิคทางแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

3.3.1 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขในการเตรียมสารละลายกลูโคสและช่วงความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการทดสอบ

ในช่วงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้ในการทดสอบ กำหนดด้วยค่าความเข้มข้นในการเตรียมสารละลายกลูโคสให้สัมพันธ์กับผู้มีระดับน้ำตาลในเลือดปกติ ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน ไปจนถึงค่าความเข้มข้นน้ำตาลระดับสูงเพื่อต้องการตรวจสอบพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส โดยกำหนดค่าความเข้มข้นตั้งแต่ช่วง 50 mg/dL – 10,000 mg/dL โดยเตรียมจำนวนตัวอย่างที่ความเข้มข้นละ 30 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องแสงอินฟราเรดย่านใกล้ รุ่น NIR-Flex N 500 ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1,000-2,500 nm แล้วมีการกำหนดการวัดซ้ำที่ 3 รอบ ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่นำมาทดสอบค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	จำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
50	30
100	30
150	30
200	30
300	30
500	30
10,000	30

3.3.2 การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

การเตรียมสารละลายกลูโคสนั้นใช้สารกลูโคสบริสุทธิ์ชนิดผง (Glucose Anhydrous Powder) และใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์ไร้ไอออน (Deionized Water : DI) เป็นตัวทำละลาย ในแต่ละความเข้มข้นจะตักออกมาเตรียมไว้ปริมาณอย่างน้อย 100 mL เพื่อให้เพียงพอต่อการทดสอบ ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมีรายละเอียดดังนี้

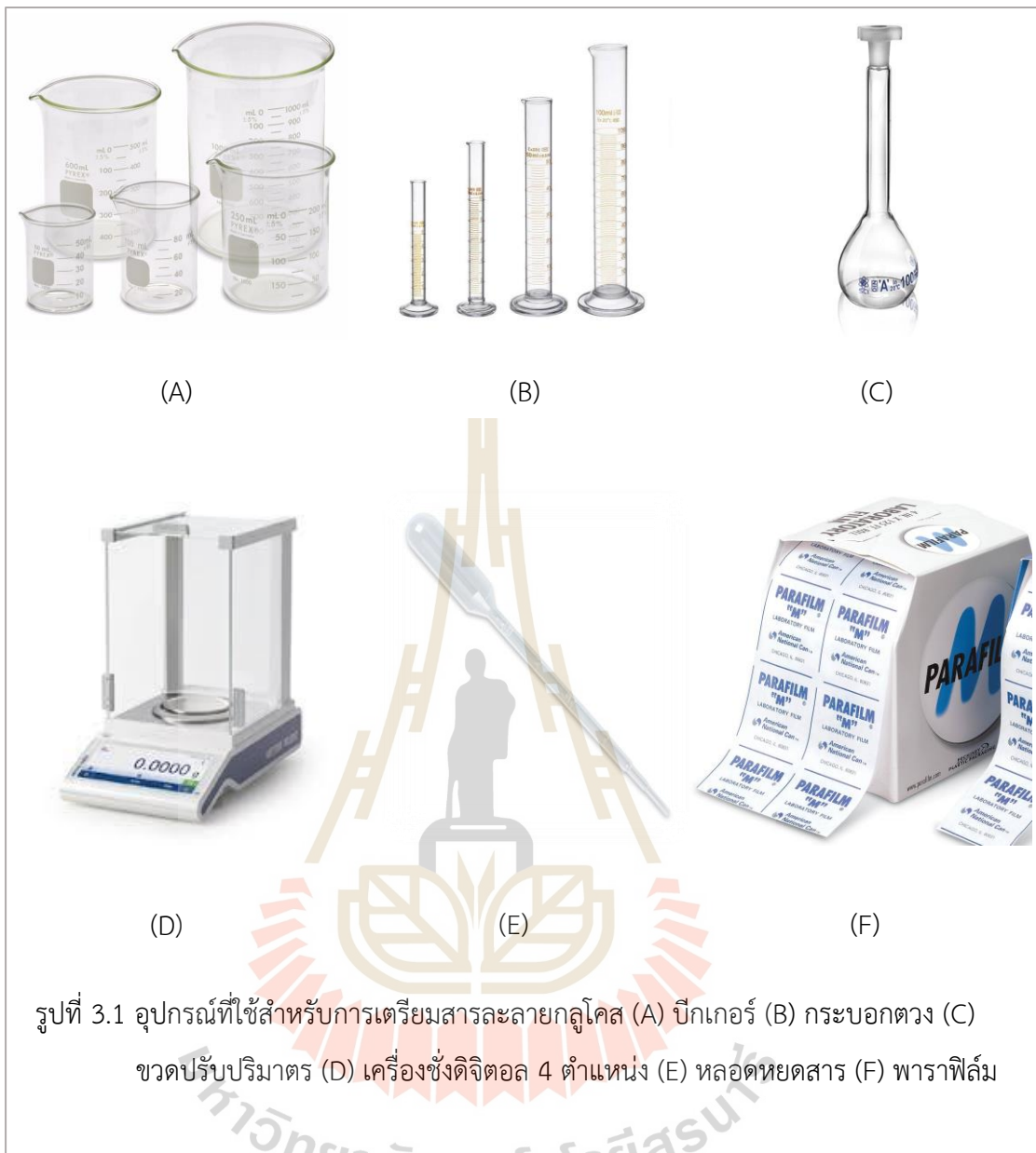
3.3.2.1) ตักสารกลูโคสชนิดผงออกจากขวดเก็บสารเคมีใส่ลงในปิកเกอร์ขนาดใหญ่ ต้องทำการคำนวณปริมาณสารที่ต้องการ เช่น หากต้องการเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้น 100 mg/dL และความเข้มข้นสารละลายที่ความเข้มข้น 300 mg/dL จะต้องทำการตักสารซึ่งที่น้ำหนักที่ 400-450 mg เพื่อให้เพียงพอต่อการเตรียมสารในแต่ละครั้ง ทำการตักสารในตู้ดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าจับตัวกับสาร หลังจากการตักสารออกจากขวดเก็บสารแล้วต้องปิดฝาขวดให้สนิททันที และต้องเก็บสารในตู้เก็บสารเคมีเพื่อให้สารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

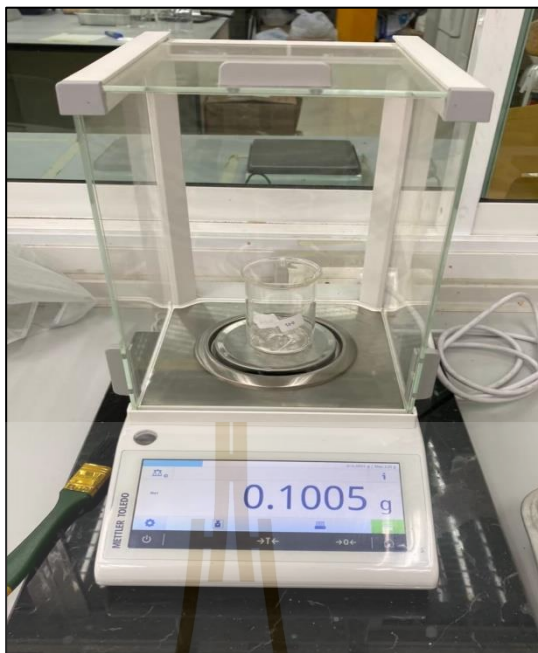
3.3.2.2) เมื่อนำสารออกจากขวดเก็บสารแล้วเปิดเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ก่อนทำการชั่งไว้ 30 min นำสารกลูโคสไปชั่งให้ได้น้ำหนักตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้ โดยกำหนดความคลาดเคลื่อนในการชั่งอยู่ที่ ± 0.5 mg เช่น ต้องการเตรียมสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 300 mg/dL จะต้องชั่งสารกลูโคสในปริมาณ 300 ± 0.5 mg ในระหว่างการชั่งสารจะต้องระวังไม่ให้เศษผงหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อนลงไปในสาร

3.3.2.3) จากนั้นนำแยกใส่ไว้ในปิกเกอร์แต่ละใบ โดยปิกเกอร์แต่ละใบนั้นต้องปิดแผ่นป้ายระบุงความเข้มข้นกลูโคสไว้ เมื่อชั่งสารเสร็จทำการปิดปากปิกเกอร์ด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมเจือปนลงไปในสารกลูโคส ในการชั่งตวงสารไปจนถึงการผสมสารละลายทำในห้องเตรียมสารที่มีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25°C และความชื้นที่ 30 %RH

3.3.2.4) การผสมสารละลายกลูโคสจะเตรียมสารละลายในหน่วย mg/dL นั้นจะต้องนำน้ำ DI ที่เป็นตัวทำละลายปริมาณ 100 mL ต่อความเข้มข้นนั้นๆทำการตวงน้ำ (DI Water) ด้วยกระบอกตวง ปริมาตร 100 mL จากนั้นเทใส่ลงในปิกเกอร์ที่มีสารกลูโคสอยู่ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเทใส่ขวดวัดปริมาตร ปรับให้ปริมาณสารแต่ละความเข้มข้นอยู่ที่ 100 mL โดยใช้หลอดหยดสาร เพื่อช่วยปรับปริมาตรจากนั้นทำการเทใส่ปิกเกอร์เดิมที่ตวงสาร

3.3.2.5) นำไปสารละลายกลูโคสไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลาย โดยไม่ต้องให้ความร้อนแก่สารละลายเมื่อสารละลายเข้ากันแล้ว สังเกตจากสารจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่มีตะกอนหรือเกล็ดสีขาวของสารกลูโคส จากนั้นปิดปากปิกเกอร์อีกครั้งด้วยพาราฟิล์ม เพื่อนำไปทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนแสงในขั้นตอนต่อไป

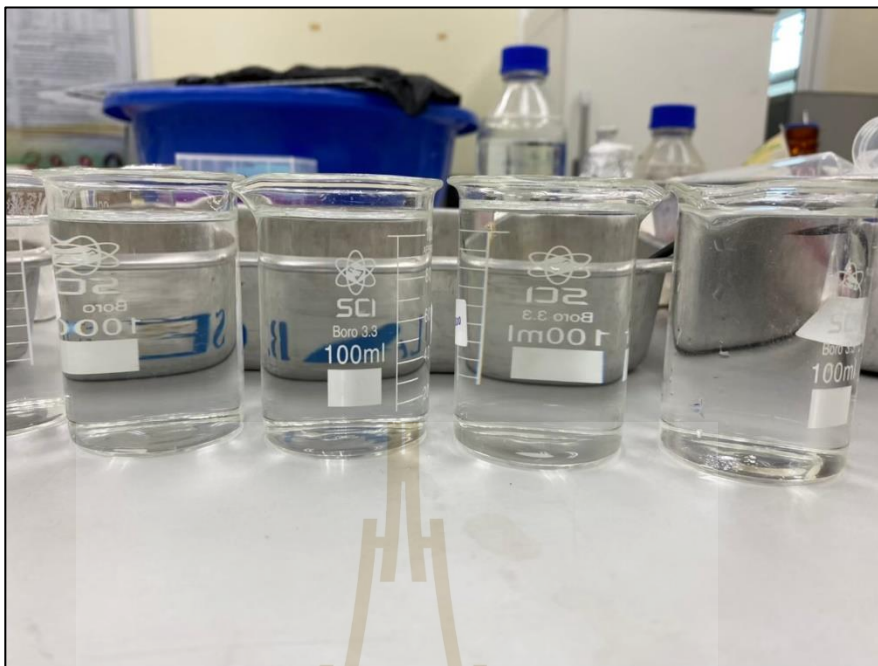




รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการชั่งสารกลูโคสด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล



รูปที่ 3.3 การกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารโดยไม่ต้องทำการ
เพิ่มความร้อนให้สารละลาย



รูปที่ 3.4 สารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.4 การทดสอบการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารอื่นเจือปน

เนื่องจากในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานที่ต้องการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดนั้น มีองค์ประกอบของสารหลายชนิดด้วยกัน จึงนำปัจจัยนี้มาทดสอบเพื่อทำการศึกษาผลกระทบของสารเจือปนในสารละลายกลูโคสที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

ในการทดสอบการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารอื่นเจือปนนั้น ในการทดสอบนี้จะพิจารณาเลือกสารที่มีเจือปนอยู่ในเลือด เลือดในร่างกายมีปริมาณ 5 L หรือ 7-8 % ของน้ำหนักตัวมีองค์ประกอบดังตารางที่ 3.2 โดยสารที่ได้นำมาทำการทดสอบ คือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ เป็นสารในกลุ่มของเกลือแร่ที่เจือปนอยู่ในเลือด มีความสำคัญคือ เป็นสารที่ช่วยในการรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย เส้นประสาท และกล้ามเนื้อ เป็นส่วนช่วยควบคุมความดันโลหิต และยังผสมอยู่ในอาหารที่รับประทานเพื่อเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นจึงนำโซเดียมคลอไรด์มาผสมกับกลูโคสเพื่อทดสอบพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส โดยกำหนดช่วงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 3 ช่วงความเข้มข้นดังตารางที่ 3.3 ผสมสารโซเดียมคลอไรด์สัมพันธ์กับความเข้มข้นกลูโคสโดยกำหนดที่ 0.5-2 เท่าของสารละลายกลูโคสและยังทดสอบในช่วงโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงในช่วง 5000-20,000 mg ดังตารางที่ 3.4 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายเหล่านี้เมื่อถูกผสมปะปนไปกับสารละลายกลูโคส

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของสารที่อยู่ในเลือด (วรพรรณ และคณะ, 2564)

ส่วนประกอบของเลือด	คุณลักษณะและสารที่เจือปนอยู่
น้ำเลือด (Plasma)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นส่วนประกอบของเลือดมีลักษณะสีเหลืองใส มีอยู่ร้อยละ 55 ของปริมาณเลือดทั้งหมด - สารเจือปนมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักมีร้อยละ 91 โปรตีนร้อยละ 7 และสารอื่นๆร้อยละ 2 (วิตามิน เอนไซม์ แกลีโพรตีน ฮอร์โมน ก๊าซ)
เม็ดเลือด	<ul style="list-style-type: none"> - เม็ดเลือดแดง มีลักษณะคล้ายโดนัท ขนาด 7 μm โดยมีองค์ประกอบหลักคือ ฮีโมโกลบิน มีหน้าที่ช่วยในการลำเลียงก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ - เม็ดเลือดขาว มีลักษณะใหญ่กว่าเม็ดเลือดแดง โดยจำนวนจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการติดเชื้อของร่างกาย มีหน้าที่ทำลาย ตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกายรวมถึงการสร้างภูมิคุ้มกัน
เกล็ดเลือด	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือด จึงมีขนาดเล็กมีหน้าที่ช่วยให้เลือดหยุดไหลหากเกิดแผลในบริเวณต่างๆทั้งในร่างกาย และภายนอกในร่างกาย

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสและความเข้มข้นสารเจือปนที่นำมาพิจารณาค่าการ
ดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นสารละลาย กลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปน โซเดียมคลอไรด์ (mg)	จำนวนตัวอย่างที่ นำมาทดสอบ
100	50	30
	100	30
	200	30
300	150	30
	300	30
	600	30
500	250	30
	500	30
	1,000	30

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสและความเข้มข้นสารเจือปนที่นำมาพิจารณาค่าการ
ดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารเจือปนคงที่ ที่ช่วง 5,000-20,000 mg

ความเข้มข้นสารละลาย กลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปน โซเดียมคลอไรด์ (mg)	จำนวนตัวอย่างที่ นำมาทดสอบ
100	5,000	30
	10,000	30
	15,000	30
	20,000	30
300	5,000	30
	10,000	30
	15,000	30
	20,000	30
10,000	5,000	30
	10,000	30
	15,000	30
	20,000	30

การเตรียมสารโซเดียมคลอไรด์จะใช้สารชนิดผงแบบบริสุทธิ์ใช้น้ำ DI เป็นตัวทำละลายสารทั้ง 2 ชนิดโดยการเตรียมจะต้องเตรียมสารละลาย 2 ชนิดรวมกันในปริมาณ 100 mL เป็นอย่างน้อย เพื่อให้เพียงพอต่อการวัดด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ โดยในขั้นตอนการเตรียมสารละลายมีรายละเอียดการเตรียมดังนี้

3.4.1) นำสารทั้งสองชนิดออกจากตู้จัดเก็บสารเคมี แล้วนำไปพักไว้ในตู้ดูดความชื้น

3.4.2) ใช้ช้อนตักสารกลูโคสชนิดผงและสารโซเดียมคลอไรด์ ออกจากขวดเก็บสารเคมีใส่ปิកเกอร์ขนาดใหญ่แยกกัน โดยในสารแต่ละชนิดจะต้องคำนวณปริมาณในการเตรียมให้เพียงพอต่อการทดสอบ เช่น ทำการทดสอบที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 300 mg/dL ผสมกับสารโซเดียมคลอไรด์ตามความเข้มข้นตารางที่ 3.3 จะต้องชั่งปริมาณสารกลูโคสที่น้ำหนัก 900-950 mg สารโซเดียมคลอไรด์ที่น้ำหนัก 900-950 mg เช่นเดียวกันหลังจากการตักสารออกจากขวดสารแล้วปิดฝาขวดให้สนิททันทีในขณะที่ทำให้ทำในตู้ดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้ามาจับตัวกับสาร นำขวดสารเคมีเข้าเก็บในตู้เก็บสารเคมีหลังจากการตักสารแล้วเสร็จ

3.4.3) เมื่อทำการนำสารออกจากขวดเก็บสารแล้ว นำสารกลูโคสไปชั่งให้ได้น้ำหนักตามความเข้มข้นที่กำหนดดังตารางที่ 3.3 และ 3.4 แล้วนำแบ่งใส่ปิกเกอร์ขนาด 100 mL แยกไว้ในแต่ละความเข้มข้น เช่น หากต้องการเตรียมความเข้มข้นที่ 300 mg/dL ตามตารางที่ 3.3 ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่งก่อนซึ่งต้องทำการเปิดเครื่องชั่งเตรียมไว้ 30 min โดยนำสารกลูโคสจากขวดสารรวมที่มีสารกลูโคส 900-950 mg มาชั่งแยกใส่ปิกเกอร์ 100 mL จำนวน 3 ใบโดยในแต่ละใบชั่งให้สารมีน้ำหนัก 300 ± 0.5 mg ปิดปากปิกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม นำเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอเข้าขั้นตอนการผสมสาร ในระหว่างการชั่งสารจะต้องระวังไม่ให้เศษผงหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อนลงไปในสาร เปลี่ยนกระดาษชั่งสารเพื่อไม่ให้สารมีน้ำหนักที่คลาดเคลื่อน และปิดแผ่นป้ายระบุความเข้มข้น

3.4.4) นำสารโซเดียมคลอไรด์ไปชั่งให้ได้น้ำหนักตามความเข้มข้นที่กำหนดดังตารางที่ 3.3 และ 3.4 แล้วนำแบ่งใส่ปิกเกอร์ขนาด 100 mL แยกไว้ในแต่ละความเข้มข้น เช่น หากต้องการเตรียมความเข้มข้นที่ผสมกับสารกลูโคสที่ความเข้มข้น 300 mg/dL ตามตารางที่ 3.3 ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง นำสารโซเดียมคลอไรด์จากขวดสารรวม มาชั่งแยกใส่ปิกเกอร์ 100 mL จำนวน 3 ใบโดยในแต่ละใบชั่งให้สารมีน้ำหนักตามกำหนดโดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ ± 0.5 mg คือ 150 ± 0.5 mg, 300 ± 0.5 mg และ 600 ± 0.5 mg ปิดปากปิกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม นำเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอเข้าขั้นตอนการผสมสาร ในระหว่างการชั่งสารจะต้องระวังไม่ให้เศษผงหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อนลงไปในสาร เปลี่ยนกระดาษชั่งสารเพื่อไม่ให้สารมีน้ำหนักที่คลาดเคลื่อน และปิดแผ่นป้ายระบุความเข้มข้น

3.4.5) จากนั้นผสมสารสองชนิดเข้าด้วยกันตามความเข้มข้นที่ได้กำหนดดังตารางที่ 3.3 และ 3.4 คนสารทั้งสองให้เข้ากัน ทำการปิดปากปิกเกอร์ด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ เข้าปนลง

3.4.6) ทำการเตรียมสารละลาย โดยนำสารที่ผสมเข้ากันแล้วมาละลายด้วยน้ำ DI ให้อยู่ในหน่วย mg/dL ทำการตวงน้ำ DI ด้วยกระบอกตวงปริมาตร 100 mL จากนั้นเทใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารผสมอยู่ คนให้เข้ากันจากนั้นนำไปเทใส่ขวดวัดปริมาตรปรับให้ปริมาณสารแต่ละความเข้มข้นอยู่ที่ 100 ml จากนั้นทำการเทใส่บีกเกอร์เดิมที่ตวงสาร

3.4.7) นำสารละลายไปคนให้ละลายเข้ากันด้วยเครื่องผสมสารเคมีแบบไม่ให้ความร้อน เมื่อสารละลายเข้ากันแล้วโดยสังเกตจากสารจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่มีตะกอนหรือเกล็ดสีขาวของกลูโคสหรือผลึกสีขาวของสารโซเดียมคลอไรด์ จากนั้นปิดปากบีกเกอร์อีกครั้งด้วยพาราฟิล์ม เพื่อนำไปทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนแสงในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายกลูโคสผสมกับสารโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 3.6 สารละลายกลูโคสผสมโซเดียมคลอไรด์

3.5 การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิสารเพิ่มขึ้น

มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด ในการทดสอบนี้จึงนำความเข้มข้นสารละลายกลูโคสมาทำการควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

ในการทดสอบการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยนำเอาสารละลายกลูโคสที่ผสมกับสารโซเดียมคลอไรด์มาทำการเพิ่มอุณหภูมิ กำหนดอุณหภูมิโดยอ้างอิงจากอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์คือช่วง 25-40 °C แทนสถานะ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิร่างกายปกติ และ อุณหภูมิร่างกายสูง โดยกำหนดช่วงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 100 และ 300 mg/dL ผสมสารโซเดียมคลอไรด์กำหนดที่ 5,000 และ 15,000 mg ดังตารางที่ 3.5 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายเหล่านี้เมื่อถูกพิจารณาวัตที่ค่าอุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสและความเข้มข้นสารเจือปนที่นำมาพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ (mg)	อุณหภูมิของสาร (°C)	จำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
100	5,000	25	30
		37	30
		40	30
	15,000	25	30
		37	30
		40	30
300	5,000	25	30
		37	30
		40	30
	15,000	25	30
		37	30
		40	30

การเตรียมสารละลายจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของสารตามตารางที่ 3.5 เตรียมปริมาณ 100 mL เป็นอย่างน้อยเพื่อให้เพียงพอต่อการวัดด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านไกลโดยในขั้นตอนการเตรียมสารละลายมีรายละเอียดการเตรียมดังนี้

3.5.1) ใช้ช้อนตักสารกลูโคสชนิดผงและสารโซเดียมคลอไรด์ ออกจากขวดเก็บสารเคมีใส่ปิกรเกอร์ขนาดใหญ่แยกกัน โดยในสารแต่ละชนิดจะต้องคำนวณปริมาณในการเตรียมให้เพียงพอต่อการทดสอบ เช่น ทำการทดสอบที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 300 mg/dL ผสมกับสารโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5,000 mg ตามความเข้มข้นตารางที่ 3.5 จะต้องชั่งปริมาณสารกลูโคสที่น้ำหนัก 900-950 mg สารโซเดียมคลอไรด์ที่น้ำหนัก 15,050 mg หลังจากการตักสารออกจากขวดสารแล้วปิดฝาขวดให้สนิททันทีในขณะที่ตักให้ทำในตู้ดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้ามาจับตัวกับสารนำขวดสารเคมีเข้าเก็บในตู้เก็บสารเคมีหลังจากการตักสารแล้วเสร็จ

3.5.2) เมื่อทำการนำสารออกจากขวดเก็บสารแล้ว นำสารกลูโคสและสารโซเดียมคลอไรด์ไปชั่งให้ได้น้ำหนักตามความเข้มข้นที่กำหนดดังตารางที่ 3.5 แล้วนำแบ่งใส่ปิกรเกอร์ขนาด 100 mL แยกไว้ในแต่ละความเข้มข้น เช่น หากต้องการเตรียมความเข้มข้นกลูโคสที่ 300 mg/dL ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ 5,000 mg ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่งก่อนซึ่งต้องทำการเปิดเครื่อง

ซึ่งเตรียมไว้ 30 min โดยนำสารกลูโคสจากขวดสารรวมที่มีสารกลูโคส 900-950 mg มาซึ่งแยกใส่บีกเกอร์ 100 mL จำนวน 3 ใบโดยในแต่ละใบซึ่งให้สารมีน้ำหนัก 300 ± 0.5 mg ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม ซึ่งสารโซเดียมคลอไรด์ให้น้ำหนัก 500 ± 0.5 mg แบ่งใส่บีกเกอร์จำนวน 3 ใบเช่นกัน จากนั้นนำเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอเข้าขั้นตอนการผสมสาร ในระหว่างการซึ่งสารจะต้องระวังไม่ให้เศษผงหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อนลงไปในการ เพลี่ยนกระดาษซึ่งสารเพื่อไม่ให้สารมีน้ำหนักที่คลาดเคลื่อน และปิดแผ่นป้ายระบุความเข้มข้น ในการซึ่งดวงสารไปจนถึงการผสมสารละลายจะทำในห้องเตรียมสารที่มีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25°C

3.5.3) จากนั้นผสมสารสองชนิดเข้าด้วยกันตามความเข้มข้นที่ได้กำหนดดัง ตารางที่ 3.5 คนสารทั้งสองให้เข้ากัน ทำการปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ เจือปนลงไป

3.5.4) ทำการเตรียมสารละลาย โดยนำสารที่ผสมเข้ากันแล้วมาละลายด้วยน้ำ DI ให้อยู่ในหน่วย mg/dL ทำการตวงน้ำ DI ด้วยกระบอกตวงปริมาตร 100 mL จากนั้นเทใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารผสมอยู่ คนให้เข้ากันจากนั้นนำไปเทใส่ขวดวัดปริมาตรปรับให้ปริมาณสารแต่ละความเข้มข้นอยู่ที่ 100 mL จากนั้นทำการเทใส่บีกเกอร์เดิมที่ดวงสาร

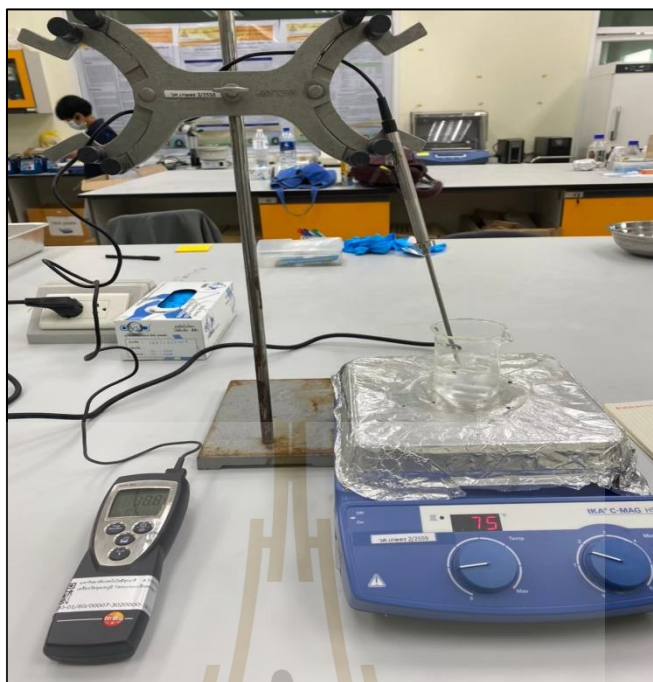
3.5.5) นำสารคนให้ละลายเข้ากันด้วยเครื่องผสม เมื่อสารละลายเข้ากันแล้วโดยสังเกตจากสารจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่มีตะกอนหรือเกล็ดสีขาวของกลูโคสหรือโซเดียมคลอไรด์ ทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายโดยใช้ เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน ดังรูปที่ 3.8 เพิ่มความร้อนให้สารวัดควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่อง เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนย้ายดังรูปที่ 3.7 โดยสารในบีกเกอร์ใบแรกกำหนดค่าอุณหภูมิที่ 25°C ใบที่ 2 อยู่ที่ 37°C และใบที่ 3 ให้อุณหภูมิที่ 40°C เมื่อสารมีอุณหภูมิตามต้องการแล้วให้นำไปวัดด้วยเครื่อง อินฟราเรดย่านใกล้ทันที โดยในการวัดค่าดูดกลืนแสงต้องทำการวัดอุณหภูมิตลอดการวัดเพื่อให้ได้อุณหภูมิของสารตามที่กำหนด



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนย้ายและโพรบวัดอุณหภูมิชนิด K



รูปที่ 3.8 เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน



รูปที่ 3.9 วิธีกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน

3.6 การทดสอบการดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายอยู่ในสารทดแทนเลือด

ทำการศึกษาการดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายในสารทดแทนเลือด เพื่อให้ใกล้เคียงกับการวัดระดับน้ำตาลในเลือดยิ่งขึ้นจึงใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลายมีรายละเอียดดังนี้

ในการทดสอบการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นสารละลายกลูโคสเปรียบเทียบกับค่าสารทดแทนเลือด โดยสารทดแทนเลือด คือน้ำยาทดแทนน้ำเลือดใช้สำหรับการทดแทนปริมาตรเลือด เพื่อป้องกันการไหลเวียนเลือดไม่เพียงพอ จากการเสียเลือดมากหรือกรณีการถ่ายเลือด โดยทำการให้เข้าที่หลอดเลือดดำปริมาณการให้ต้องปรับให้เหมาะสมกับสภาวะของผู้ป่วยในแต่ละราย มีคุณสมบัติสารสำคัญดังตารางที่ 3.6 และ 3.7

ตารางที่ 3.6 ปริมาณและคุณสมบัติสำคัญของสารประกอบสำคัญของสารทดแทนเลือด
(Pongsittisak, 2016)

ปริมาณคุณสมบัติของตัวยาสำคัญ	
คุณสมบัติตัวยาสำคัญ	<p>โพลีเจลลีน</p> <ul style="list-style-type: none"> - น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 30,000 u - ความหนืดสัมพัทธ์ 1.7-1.8 - ค่า pH ของน้ำยาสำหรับหยดเข้าหลอดเลือด 7.3 ± 0.3 - จุดเป็นเจล ต่ำกว่า +3 °C - ออสโมแลลลิตี 293 mOsm/kg - ออสโมลาริตี 301 mOsm/L - ความจุบัฟเฟอร์ 1 mval/L ที่ค่า pH 7.0-7.6
ปริมาณตัวยาสำคัญ	สารทดแทนเลือด 1,000 mL ประกอบด้วย โพลีเจลลีน 35 g

ตารางที่ 3.7 ปริมาณและคุณสมบัติของสารอื่นๆที่ประกอบสำคัญของสารทดแทนเลือด
(Pongsittisak, 2016)

รายการสารอื่นๆ	mmol	g
คลอไรด์ไอออน	145	5.14
โปแตสเซียมไอออน	5.1	0.2
แคลเซียมไอออน	6.25	0.25
โซเดียมไอออน	145	3.33

การกำหนดช่วงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกันมี 3 ค่าความเข้มข้นคือ 100-500 mg/dL ดังตารางที่ 3.8 และเตรียมกลูโคสในความเข้มข้นเดียวกันแล้วใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 3.8 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลาย

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	จำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
0	30
100	30
300	30
500	30

การเตรียมสารละลายจะต้องมีการใช้ตัวทำละลายที่ความแตกต่าง 2 ชนิดคือ น้ำ DI และ สารทดแทนเลือดปริมาณ 100 mL เป็นอย่างน้อยเพื่อให้เพียงพอต่อการวัดด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ โดยในขั้นตอนการเตรียมสารละลายมีรายละเอียดดังนี้

3.6.1) นำไซริงค์ดูดสารกลูโคสชนิดน้ำออกจากขวดเก็บสารเคมี และต้องทำการคำนวณปริมาณสารที่ต้องการใช้ให้เพียงพอต่อการเตรียมสารในแต่ละครั้ง วิธีการคำนวณจะเตรียมจากความเข้มข้นเดิมสารกลูโคสจากขวดเก็บสารโดยสารกลูโคสจากขวดเก็บสารเคมี มีความเข้มข้นกลูโคสที่ทุก 100 mL จะมีน้ำตาลกลูโคสที่ 50 g ดังนั้นหากต้องการเตรียมความเข้มข้นสารละลายที่ 500 mg/dL จะต้องทำการดูดสารออกจากขวดที่ 1 mL หลังจากทำการดูดสารออกจากขวดใช้พาราฟิล์มปิดปากขวดสารในตำแหน่งที่ทำการเจาะให้สนิท และนำขวดสารเก็บไว้ในช่องความเย็นที่มีอุณหภูมิในช่วง 0-4 °C ทันที

3.6.2) เมื่อทำการนำสารออกมาจากขวดเก็บสารแล้ว ให้ทำการตวงสารกลูโคสให้ได้ความเข้มข้นตามตารางที่ 3.8 คือปริมาณ 0.2 mL, 0.6 mL และ 1 mL ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL แยกกัน 3 ใบ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม ปิดแผ่นป้ายระบุความเข้มข้น และนำเข้าสู่ตู้ดูดความชื้นเพื่อรอการผสม ในห้องเตรียมสารมีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25 °C

3.6.3) ทำการผสมสารในหน่วย mg/dL โดยนำสารทดแทนเลือดตวงด้วยกระบอกตวงปริมาตร 100 mL จากนั้นเทใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีกลูโคสอยู่ ผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปเทใส่ขวดวัดปริมาตรปรับให้ปริมาณสารแต่ละความเข้มข้นอยู่ที่ 100 mL จากนั้นทำการเทใส่บีกเกอร์เดิมที่ตวงสาร

3.6.4) นำไปคนสารให้ละลายเข้ากันด้วยเครื่องผสมสารเคมีแบบไม่ให้ความร้อนเมื่อสารละลายเข้ากันแล้วโดยสังเกตจากสารจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่มีการแยกชั้นกันระหว่างสารแล้วนำพาราฟิล์มปิดปากบีกเกอร์ เพื่อรอการนำไปวัดด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ต่อไป



รูปที่ 3.10 สารทดแทนเลือด Haemacel

3.7 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้

นำตัวอย่างสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆตามที่กำหนดมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยในการวัดจะใช้แสงอินฟราเรดย่านใกล้รุ่น BUCHI NIR-Flex N500 ในการวัดจะใช้โหมด Transmittance โดยรายละเอียดในการวัดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.7.1 การออกแบบค่าการวัด

การออกแบบค่าการวัดจะทำการกำหนดลักษณะในการวัด และส่วนคุณสมบัติในส่วนต่างๆของเครื่องวัดรวมถึงการกำหนดจำนวนตัวอย่างในการวัดโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.7.1.1 ชื่อสารตัวอย่าง

ในการวัดตัวอย่างสารละลายจะต้องมีการกำหนดชื่อสารตัวอย่างให้สอดคล้องกับสารที่ทำการวัดเพื่อให้ง่ายต่อการบันทึก และนำมาใช้งานในการวัดครั้งต่อไป

3.7.1.2 ประเภทของการวัด

ประเภทของการวัดเป็นชี้วัดว่าการวัดค่าสารตัวอย่างนั้นเป็นไปในเชิงคุณภาพหรือในเชิงปริมาณ และทำการเลือกในส่วนของหมวดหมู่ลักษณะการให้แหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดย่านใกล้ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดด้วย

3.7.1.3 ประเภทของตัวอย่าง

การกำหนดประเภทของตัวอย่างในการตรวจวัดคือการระบุลักษณะของสารตัวอย่างเป็น ของแข็ง ของเหลว หรือในรูปแบบอื่นๆ โดยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้นี้ สามารถตรวจวัดตัวอย่างได้หลากหลายประเภทด้วยกัน ดังนั้นการระบุประเภทของตัวอย่างจะทำให้การตรวจวัดได้ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3.7.1.4 ภาชนะที่การบรรจุตัวอย่าง

ในการนำตัวอย่างไปวัดด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบใกล้ จะต้องทำการบรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะตามลักษณะของสารตัวอย่าง และจะต้องระบุชนิดของภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างลงไปด้วย ในการตรวจวัดสารละลายกลูโคสนั้นเป็นของเหลว จะต้องทำการบรรจุใส่ในคิวเวตสำหรับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Cuvette Standard Q Quartz) ที่มีความยาวทางเดินแสง 10 mm สามารถทดสอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่น 200-2,500 nm

3.7.1.5 จำนวนตัวอย่างที่ทำการตรวจวัด

จำนวนตัวอย่างในการตรวจวัดจะต้องทำการระบุเพื่อกำหนดเวลาในการวัดตัวอย่างในแต่ละรอบโดยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ สามารถตรวจวัดตัวอย่างได้พร้อมกันรอบละ 6 ตัวอย่างและใช้เวลาในการสแกนตัวอย่างละ 2-4 s

3.7.1.6 การกำหนด Internal Reference Mode กับ External Reference Mode

การกำหนด Internal Reference Mode กับ External Reference Mode เป็นกำหนดระยะเวลาของการเทียบวัดระหว่างสารตัวอย่างกับ สภาวะอากาศแวดล้อมภายในเครื่องวัด และภายนอกเครื่องวัด โดยสามารถกำหนดได้ว่าจะระยะเวลาในการให้เครื่องวัด วัดสิ่งเหล่านี้ได้

3.7.1.7 จำนวนซ้ำในวัด (Number of Measurement Sequences)

ในการตรวจวัดสารตัวอย่างจะต้องทำการระบุการตรวจวัดซ้ำในแต่ละตัวอย่างเพื่อให้เกิดความแม่นยำของค่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นโดยในการวัดจำเป็นจะต้องมีการวัดซ้ำในแต่ละตัวอย่างจำนวน 3-5 ซ้ำเป็นอย่างน้อย



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดแสงอินฟราเรดย่านใกล้รุ่น BUCHI NIR Flex N-500

3.7.2 การดำเนินการวัดด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้

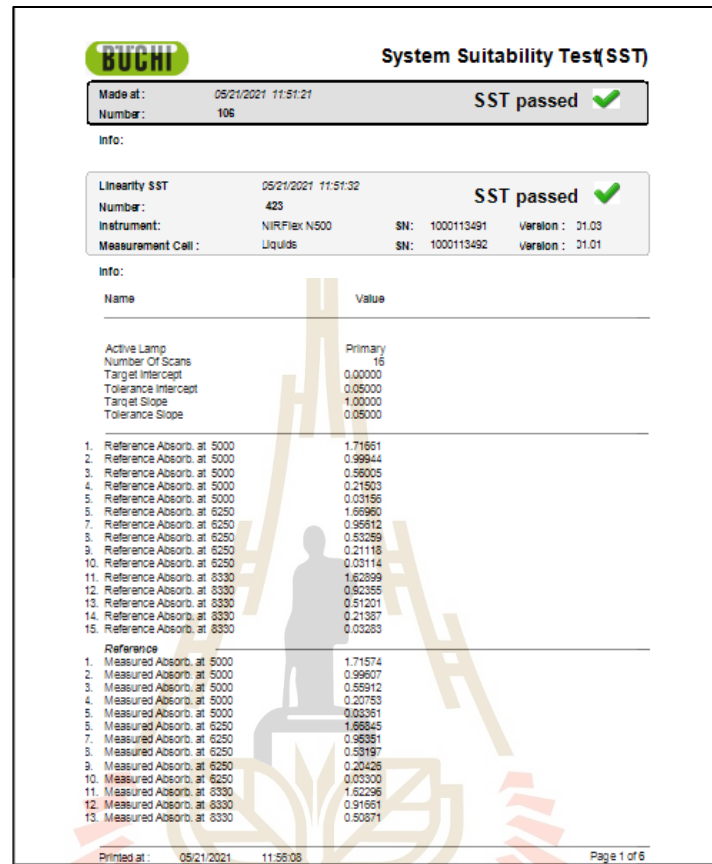
ขั้นตอนของการดำเนินการวัดด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้เป็นการนำตัวอย่างสารละลายที่เตรียมไว้มาทำการวัดโดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

3.7.2.1 ทำการโหลด Application ที่กำหนดค่าขอบเขตในการวัดมาสู่ขั้นตอนของการวัด โดยทำการดาวน์โหลดเข้าสู่ระบบโดยการค้นหาจากชื่อสารตัวอย่างที่ได้ทำการกำหนดไว้ และยังสามารถเลือกข้อมูลจากลำดับการวัดครั้งล่าสุด และทำการกรอกชื่อสารละลายในแต่ละหลอดทดลอง

3.7.2.2 เมื่อทำการโหลด Application ในการวัดแล้ว จะต้องทำการวัดค่ามาตรฐานของเครื่องวัด (Perform System Suitability Test) เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องวัดทำงานได้อย่างปกติ โดยระบบจะทำการเช็คส่วนต่างๆของเครื่องวัดว่ามีส่วนใดเกิดความเสียหายหรือไม่ และแสดงผลออกมาตามภาพที่ 3.12 หากผลการทดสอบแสดงดังภาพหมายความว่า การทดสอบระบบของเครื่องสามารถใช้งานได้ตามปกติ แต่หากการทดสอบวัดค่ามาตรฐานของเครื่องเกิดผิดปกติจะต้องหยุดการทดสอบทันที

3.7.2.3 จากนั้นทำการนำวัดสารตัวอย่างในเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ โดยดูตัวอย่างสารละลายกลูโคสจากหลอดที่เตรียมไว้ด้วยไมโครปิเปตปริมาณ 4 mL ให้ปริมาณสารเท่ากันทุกหลอด เช็ดหลอดคิวเวตด้วยกระดาษเพื่อกำจัดคราบแล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ในส่วนของการวัดค่า

การดูคลื่นแสงในส่วนของการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิจะต้องนำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนย้ายวัดอุณหภูมิควบคู่ไปด้วยตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.12 ผลการทดสอบวัดค่ามาตรฐานของเครื่องวัด (Perform System Suitability Test)



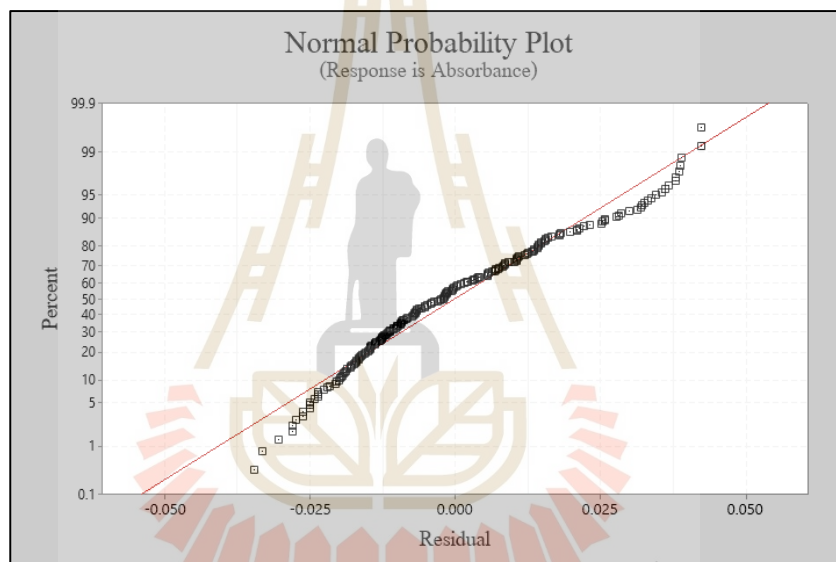
รูปที่ 3.13 คิวเวทสำหรับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



รูปที่ 3.14 การบรรจุหลอดและการวัดอุณหภูมิของสารละลาย

3.7.3 การจัดการตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

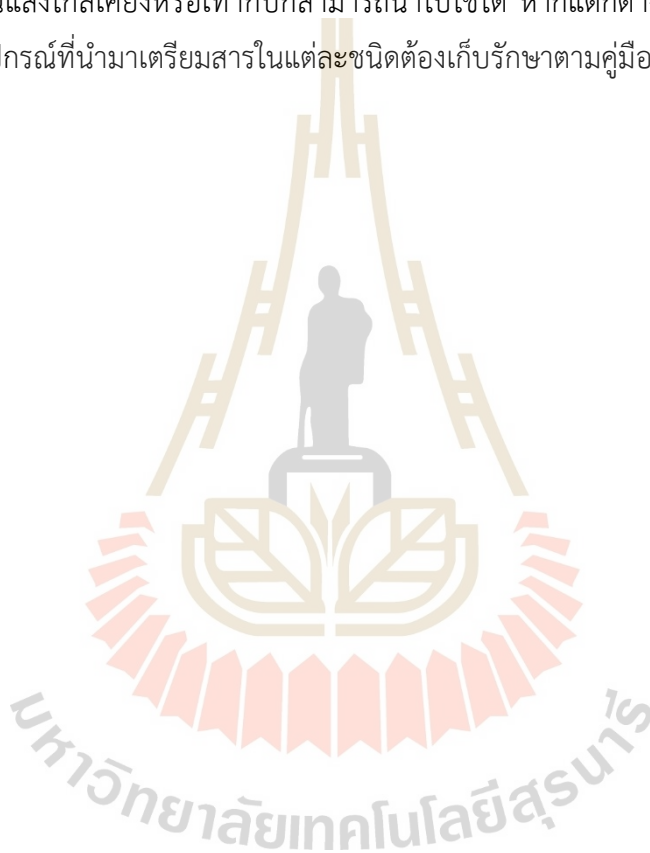
เมื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วจากนั้นทำการกำหนดค่าคุณสมบัติของสารละลายเพื่อใช้ในการคำนวณค่าทางสเปกตรัม เมื่อระบบทำการประมวลค่าสเปกตรัมแล้วจึงนำผลจากเครื่องมือวิเคราะห์พฤติกรรมดูดกลืนแสงในความเข้มข้นต่างๆด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนตัวแสง (Mean) ของตัวอย่างโดย กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่มีค่าน้อยกว่า 1 เพื่อคงคุณภาพของตัวอย่างที่นำมาทำการทำนายพฤติกรรมดูดกลืนแสง และการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าการดูดกลืนแสง หากค่าการดูดกลืนแสงมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง แสดงว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมีการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าการดูดกลืนแสง

3.8 การเก็บรักษาและการวัดเทียบค่าคุณภาพของสารละลาย

การเก็บรักษาสารตัวอย่างและการวัดเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย เนื่องจากการเตรียมสารตัวอย่างควรต้องเตรียมให้เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละครั้ง หากมีสารตัวอย่างเหลือให้เก็บเพื่อใช้ในการทดลองในครั้งต่อไปได้โดยไม่ต้องเก็บนานเกิน 3 day เพื่อให้ได้ตัวอย่างสารคงคุณภาพ การเก็บสารตัวอย่างให้เก็บใส่ในหลอดชนิดพีวีพลาสติกขนาด 50 mL ไว้ในช่องแช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -21°C เพื่อให้สารละลายยังคงสมบัติเหมือนเดิม เมื่อนำมาใช้ก็นำออกจากช่องแช่แข็งทิ้งไว้ 30-60 min ให้ละลายก่อนมาใช้ จากนั้นให้วัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสารตัวอย่างใหม่ หากการดูดกลืนแสงใกล้เคียงหรือเท่ากับก็สามารถนำไปใช้ได้ หากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ไม่ควรนำไปใช้ อุปกรณ์ที่นำมาเตรียมสารในแต่ละชนิดต้องเก็บรักษาตามคู่มือของอุปกรณ์ในแต่ละชนิดนั้น



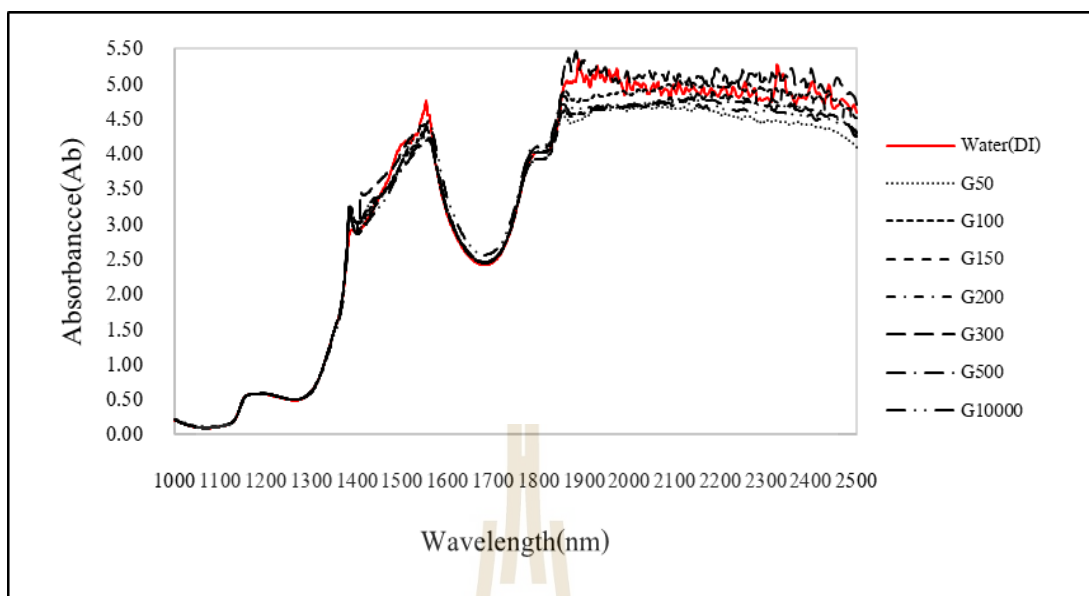
บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในสารละลาย ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสกับช่วงความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงที่เหมาะสม วิเคราะห์การดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปน และวิเคราะห์การดูดกลืนแสงเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป รวมถึงการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงเมื่อสารละลายเป็นสารทดแทนเลือด

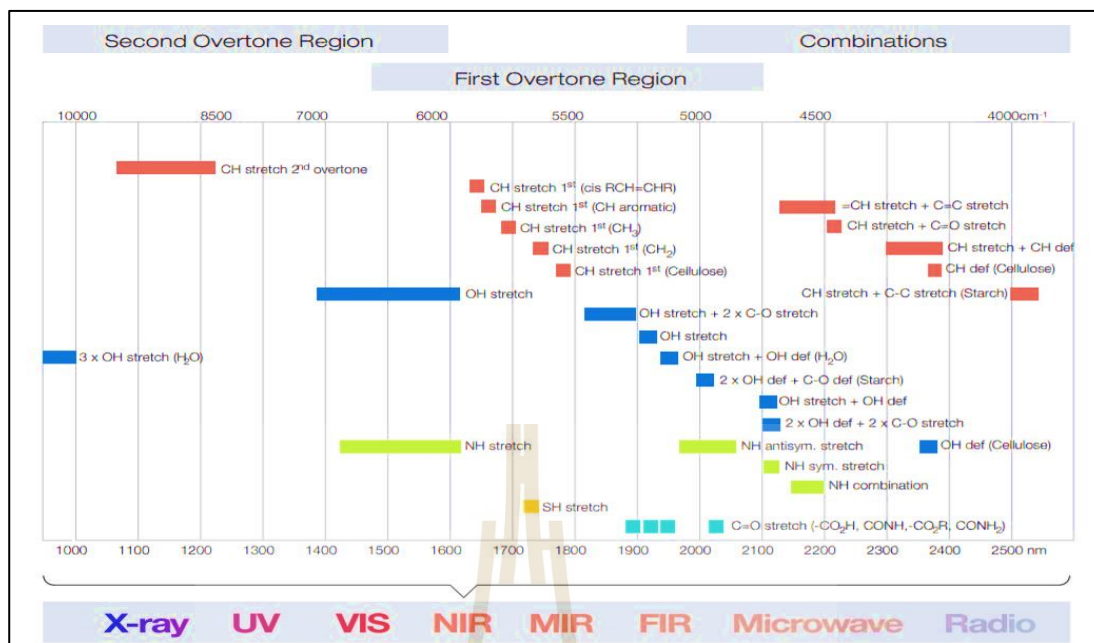
4.1 การวิเคราะห์ความยาวคลื่นกับการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

การดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสแสดงดังกราฟรูปที่ 4.1 ในแต่ละเส้นกราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดตั้งแต่ 1,000-2,500 nm โดยเส้นกราฟ G50 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 50 mg/dL เส้น G100 แสดงการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL ที่ เส้น G150 แสดงการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 150 mg/dL เส้น G200 แสดงการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 200 mg/dL เส้น G300 แสดงการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL เส้น G500 แสดงการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 500 mg/dL และเส้น G10000 แสดงการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 10,000 mg/dL



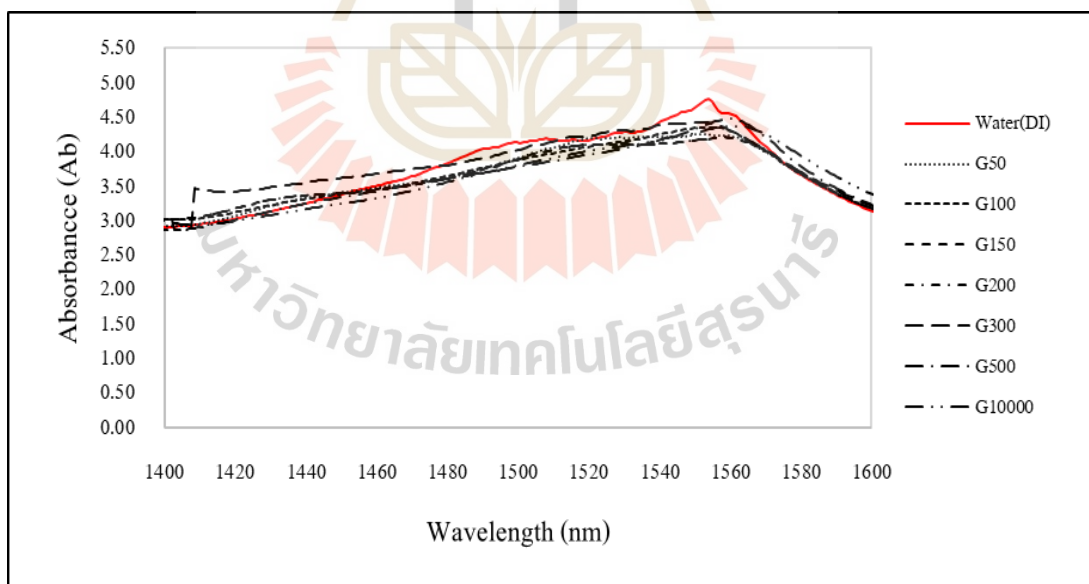
รูปที่ 4.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆนี้ใช้เทคนิคการวัดแบบ Transmittance แสดงดังกราฟรูปที่ 4.1 พบว่าเส้นสเปกตรัมของสารละลายกลูโคสมีความใกล้เคียงกับค่าสเปกตรัมของน้ำเนื่องจากองค์ประกอบหลักของสารละลายคือน้ำ ดังนั้นจึงนำสเปกตรัมของสารละลายกลูโคสมาวิเคราะห์พิจารณาเป็นช่วงเพื่อหาความยาวคลื่นที่สามารถแยกความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสได้ พบว่ามีการตอบสนองค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่น 3 ช่วงด้วยกัน ช่วงความยาวคลื่นแรกในช่วง 1,400-1,600 nm สัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ O-H ภายในโมเลกุล บ่งชี้ถึงโครงสร้างของ Starch และ H₂O (ปิยะพร, 2559) ช่วง 1,600-1,800 nm สัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ C-H ภายในโมเลกุลบ่งชี้ถึงโครงสร้าง กลุ่มไฮโดรคาร์บอน และ เซลลูโลส (Osborne, 1993) และช่วง 1,800-2,000 nm สัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ O-H ภายในโมเลกุลบ่งชี้ถึงโครงสร้างของ H₂O (Rodriguez-Saona et al., 2001)



รูปที่ 4.2 การดูดกลืนแสงของพันธะต่าง ๆ ของสาร

4.1.1 การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ



รูปที่ 4.3 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm

รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ O-H ภายในโมเลกุลแป้งซึ่งถึงโครงสร้างของ Starch และ H₂O พบว่า

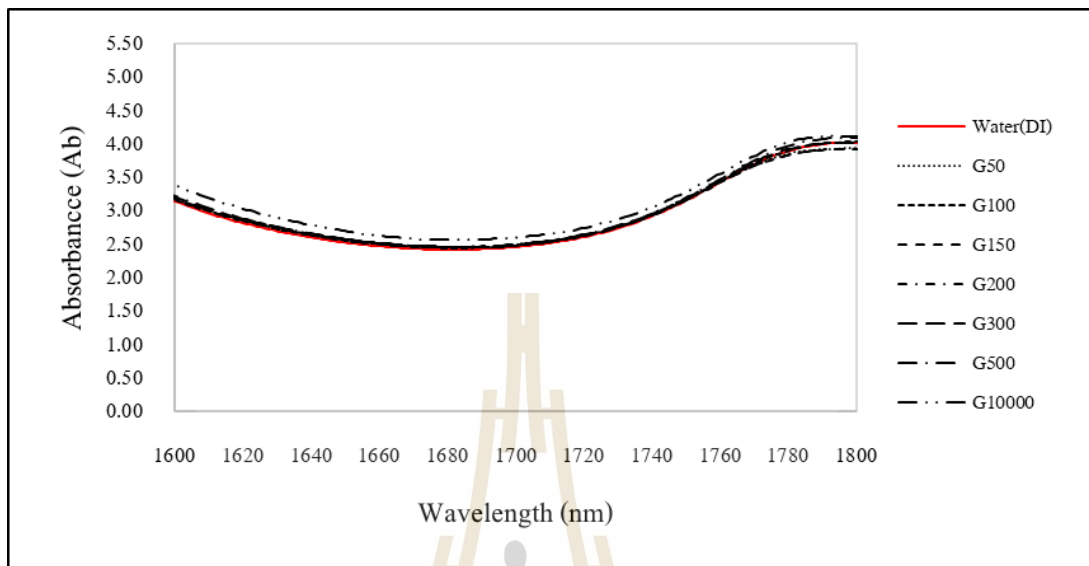
ในช่วงความยาวคลื่นนี้ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ (Water) มีการตอบสนองค่าพีคที่ 4.7500 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1,540-1560 nm และสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเส้นสเปกตรัม G50-G10000 มีการตอบสนองค่าพีคที่แตกต่างกันสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง (Ab) ที่พีค 1,550 nm
0 (Pure Water)	4.7500
50	4.2954
100	4.3529
150	4.2042
200	4.2042
300	4.4156
500	4.4749
10,000	4.3768

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่นนี้มีการดูดกลืนแสงได้ต่ำกว่าน้ำและมีค่าการดูดกลืนแสงไม่สัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้นสังเกตได้จากค่าความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 10,000 mg/dL มีค่าพีคการดูดกลืนแสงที่ต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 500 mg/dL และในช่วงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 50 และ 100 mg/dL มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าความเข้มข้นสารละลายที่ 150 และ 200 mg/dL และยังมีค่าใกล้เคียงกันอีกด้วย ดังนั้นพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm ไม่สามารถแยกความเข้มข้นที่ต่างกันของสารละลายกลูโคสได้ เนื่องจากในช่วงความยาวคลื่นนี้เป็นช่วงการตอบสนองของพันธะ O-H ภายในโมเลกุล ซึ่งไม่บ่งบอกความเฉพาะเจาะจงของโมเลกุลกลูโคส แต่จะตอบสนองที่พันธะของน้ำได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยะพร เนียมมณี (2559) ที่ใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบคอลลาเจนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพพบว่าในสารละลายที่มีองค์ประกอบของน้ำเป็นหลักในช่วงความยาวคลื่นนี้จะมีการดูดกลืนโมเลกุลของน้ำจะเด่นชัดกว่าสารอื่นๆ และเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเมื่อเทียบกับตัวทำละลายแล้วทำให้โมเลกุลของกลูโคสเบาบางไม่

สามารถบดบังการตอบสนองของน้ำได้ การวัดด้วยคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้จึงไม่สามารถบ่งบอกความเฉพาะเจาะจงของกลูโคสได้



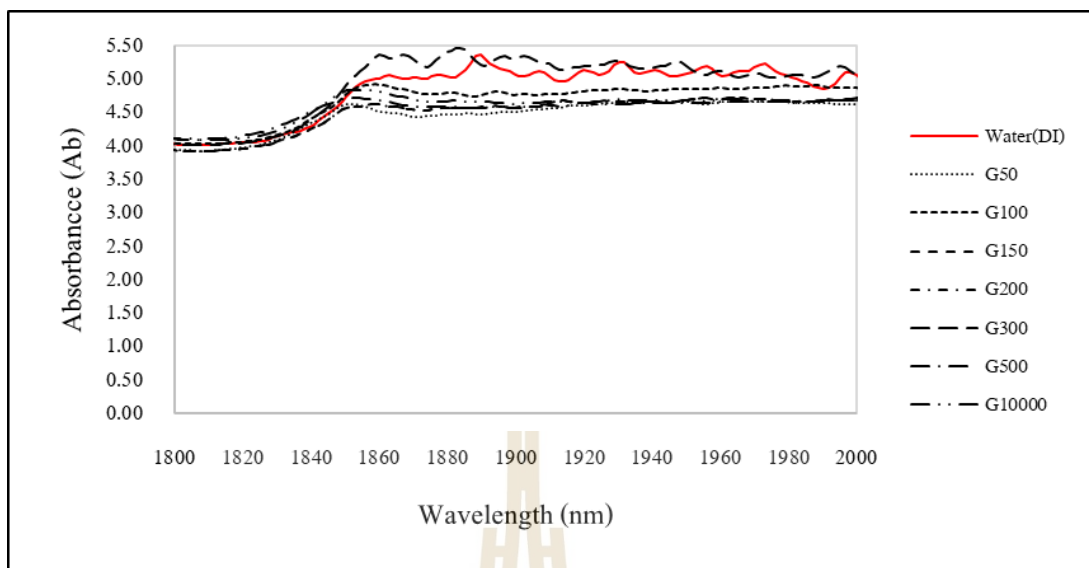
รูปที่ 4.4 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm

รูปที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ C-H ภายในโมเลกุลบ่งชี้ถึงโครงสร้าง กลุ่มไฮโดรคาร์บอน และ เซลลูโลส (Osborne, 1993) พบว่าในช่วงความยาวคลื่นนี้การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเส้นสเปกตรัม G50-G10000 มีค่าการดูดกลืนสูงกว่าน้ำ (Water) ที่ช่วงความยาวคลื่น 1,660-1,700 nm โดยมีค่าพีคการดูดกลืนแสงสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง (Ab) ที่พีค 1,680 nm
0 (Pure Water)	2.4196
50	2.4448
100	2.4451
150	2.4480
200	2.4481
300	2.4605
500	2.4626
10,000	2.5615

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่นนี้มีค่าการดูดกลืนแสงที่แปรผันโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น พิจารณาสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้น 10,000 mg/dL มีค่าพีคการดูดกลืนแสงสูงกว่าที่ความเข้มข้น 500 และ 300 mg/dL ตามลำดับ ในช่วงสารละลายกลูโคสความเข้มข้นที่ 500 และ 300 mg/dL มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าที่ 50, 100, 150 และ 200 mg/dL อีกด้วย ดังนั้นการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm สามารถนำมาแยกความเข้มข้นที่ต่างกันของสารละลายกลูโคสได้ เนื่องจากช่วงความยาวคลื่นนี้มีการตอบสนองของพันธะ C-H ภายในโมเลกุลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Osborne (1993); Osborne (2001) และ นารินาถ พวงจีน (2559) ที่นำแสงอินฟราเรดย่านใกล้ตรวจหาน้ำตาลในผลไม้พบว่าในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm มีพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของโมเลกุลของกลูโคสอยู่ ซึ่งโมเลกุลน้ำที่มีโครงสร้างพันธะ O-H เป็นหลักไม่สามารถรบกวนหรือบดบังการดูดกลืนแสงโมเลกุลกลูโคสได้เนื่องจากไม่สามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นนี้และในช่วงความเข้มข้นกลูโคสสูงจะสังเกตได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงจะสูงกว่าที่สารละลายเข้มข้นต่ำและที่ค่าพีคการดูดกลืนแสงไม่สามารถแยกกันได้ชัดเจนมากนักที่ความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมีความเบาบางของพันธะ C-H จึงส่งผลให้แสงอินฟราเรดย่านใกล้ตรวจพบโมเลกุลของกลูโคสน้อยลง ส่งผลให้เส้นสเปกตรัมแยกกันไม่ชัดเจน เกิดความซ้อนทับกันของสเปกตรัมกลูโคสที่ความเข้มข้นใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.5 การดูดกลืนแสงของสารละลายกอลลูโคสในช่วงความยาวคลื่น 1,800-2,000 nm

รูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,800-2,000 nm ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ O-H ในโมเลกุลของน้ำ (Rodriguez-Saona et al., 2001) พบว่าในช่วงความยาวคลื่นนี้ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ (Water) ดูดกลืนแสงสูงกว่าสารละลายกอลลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่จะมีการตอบสนองที่ค้ำ-ลง ไม่พบพีคที่แน่นอนและไม่เป็นแนวโน้ม โดยการดูดกลืนแสงสารละลายกอลลูโคสสเปกตรัม G50-G10000 พบพีคในช่วงความยาวคลื่น 1,850-1,900 nm สรุปลค่าได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วงความยาวคลื่น 1,800-2,000 nm

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง (Ab) ที่พีค 1,855 nm
0 (Pure Water)	5.0109
50	4.5115
100	4.9151
150	4.6179
200	4.6179
300	5.3598
500	4.6858
10,000	4.8123

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในช่วงความยาวคลื่น 1,800-2,000 nm ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ช่วง 50-10,000 mg/dL มีขั้วลงของค่าพีคที่ความเข้มข้นแตกต่างกันไม่เป็นแนวโน้มเนื่องจากความยาวคลื่นนี้ไม่สามารถตรวจจับโมเลกุลของกลูโคสได้ ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นนี้จึงไม่สามารถแยกความเข้มข้นที่ต่างๆของสารละลายกลูโคสได้ ในช่วงความยาวคลื่นนี้มีค่าความแปรปรวนของสเปกตรัมค่อนข้างสูง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสาร

4.1.2 การเปรียบเทียบช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจวัด

จากการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสตามกราฟรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ร่วมกับตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ใน 3 ช่วงความยาวคลื่น พบว่าการดูดกลืนแสงแปรผันโดยตรงกับค่าความเข้มข้นสารละลายกลูโคสเมื่อค่าความเข้มข้นสูงขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็สูงขึ้นตามลำดับพบอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm เนื่องจากในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงความยาวคลื่นที่โมเลกุลของกลูโคสสามารถดูดกลืนแสงได้อย่างเฉพาะเจาะจง (Osborne, 1993) โดยมีการตอบสนองที่พันธะ C-H ซึ่งเป็นส่วนที่กลูโคสมีความแตกต่างจากน้ำ จึงทำให้แสดงผลสเปกตรัมมีความชัดเจนและสามารถแยกความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสได้ที่ค่าพีค 1,680 nm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm และ 1,800-2,000 nm ที่เป็นช่วงคลื่นที่ดูดกลืนสารโครงสร้าง O-H ในโมเลกุลของน้ำและ O-H ของกลูโคสแต่เมื่อตัวทำละลายของสารคือน้ำจึงทำให้การบ่งบอกความเฉพาะเจาะจงของโมเลกุลของกลูโคสและน้ำนั้นเป็นไปได้ยากเมื่อเปรียบเทียบช่วงคลื่นที่ตอบสนองที่พันธะที่แตกต่างอย่างชัดเจน แต่จะสังเกตได้ว่าเมื่อพบ

การตอบสนองในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm นั้นยังพบปัญหาการดูดกลืนแสงที่ซ้อนทับกัน ในช่วงความเข้มข้นที่ 50 -200 mg/dL เนื่องจากความเข้มข้นในช่วงนี้มีพันธะ C-H เบบางเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายน้ำและปัญหาการซ้อนทับกันจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวัดการดูดกลืนแสงด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้จะต้องมีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการตรวจวัดเพื่อให้ค่าการดูดกลืนแสงชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสารละลายผ่านการตอบสนองที่พันธะที่เฉพาะเจาะจงของสารแต่ละชนิด นั้นหมายถึงหากสารละลายนั้นมีความเข้มข้นของพันธะที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้ในความยาวคลื่นนั้นตอบสนองได้ก็สามารถบ่งบอกความเข้มข้นของสารนั้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

4.1.3 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นสารละลายกลูโคส

เนื่องจากสารละลายที่นำมาวิเคราะห์พฤติกรรมมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักจึงทำให้เส้นสเปกตรัมของสารละลายกลูโคสถูกบดบังด้วยน้ำ จึงสามารถนำมาปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีการปรับค่ามาตรฐาน (Normalization) เพื่อกำจัดความแปรปรวนจากผลกระทบของน้ำและพิจารณาค่าความแตกต่างค่าการดูดกลืนแสงทางสถิติด้วย One-way ANOVA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

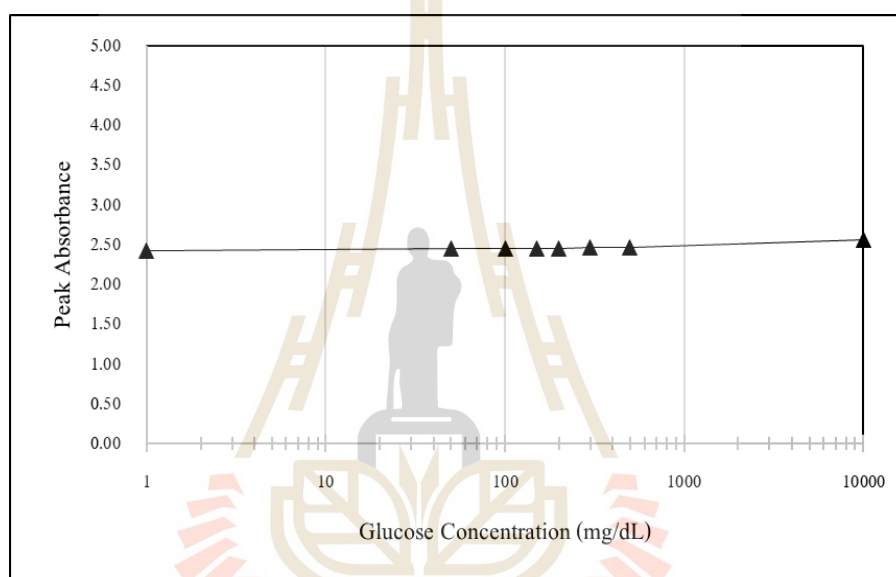
ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสลดความแปรปรวนจากผลกระทบของน้ำ

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง (Ab) ที่พีค 1,680 nm
50	0.2958 ± 0.0179 ^c
100	0.2905 ± 0.0176 ^c
150	0.3016 ± 0.0176 ^c
200	0.2958 ± 0.0195 ^{bc}
300	0.3116 ± 0.0149 ^b
500	0.3130 ± 0.0170 ^b
10,000	0.6760 ± 0.0195 ^a

¹ ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดความแปรปรวนของน้ำจำนวน 30 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

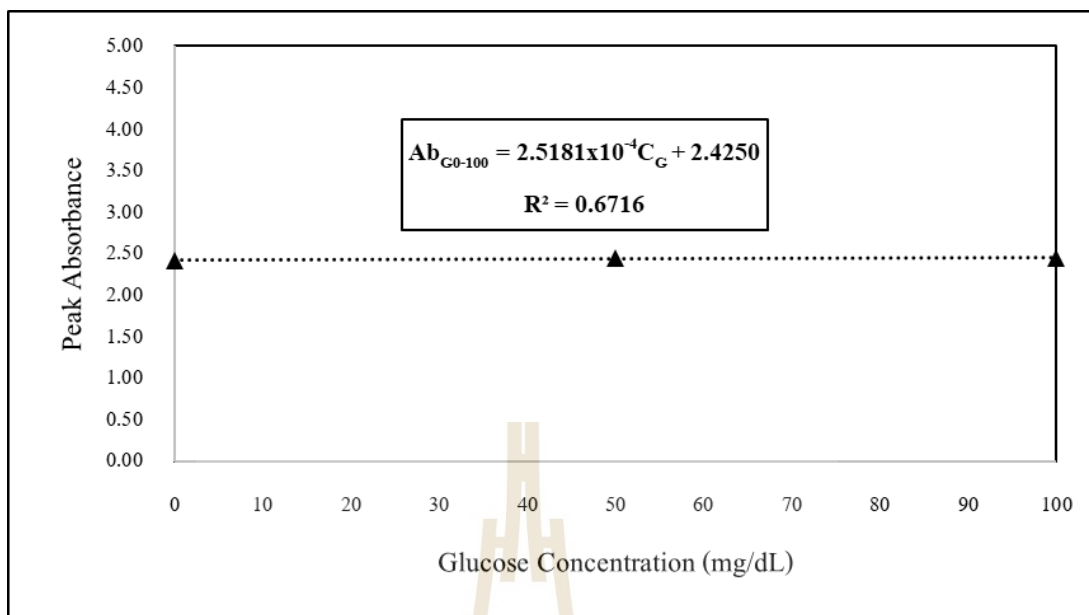
จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดความแปรปรวนของน้ำจำนวน 30 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ นำค่าการดูดกลืนแสงมาพิจารณา Grouping information ของค่าการดูดกลืนแสงทางสถิติพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารในแต่ละช่วงความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย แบ่งเป็นที่ความเข้มข้น 10,000 mg/dL มีความแตกต่างทางสถิติแบบมีนัยสำคัญกับความเข้มข้น 300-500 mg/dL และความเข้มข้น 50-200 mg/dL และแสดงกลุ่มความเข้มข้นที่ 50-200 mg/dL ที่มีค่าการดูดกลืนแสงของสารน้อยมากหรือไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.1.4 สมการทำนายพฤติกรรมของการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย



รูปที่ 4.6 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่จุดพีคความยาวคลื่น 1,680 nm

พฤติกรรมของการดูดกลืนแสงของสารกับความเข้มข้นของสารละลายสามารถแสดงความสัมพันธ์แบ่งออกตามพฤติกรรมของการดูดกลืนแสงเป็น 3 ช่วง ได้ดังนี้

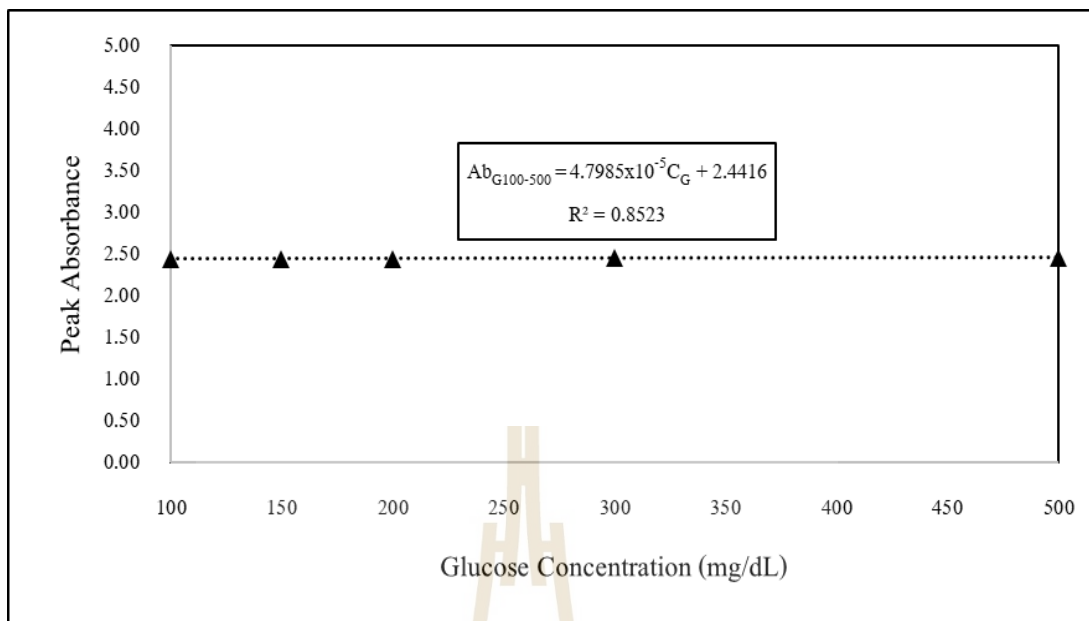


รูปที่ 4.7 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส 0-100 mg/dL
ที่ความยาวคลื่น 1,680 nm

- ที่ช่วงความเข้มข้นกลูโคส 0-100 mg/dL (ระดับน้ำตาลปกติ) ความสัมพันธ์แสดงได้ดังสมการ

$$Ab_{G0-100} = 2.5181 \times 10^{-4} C_G + 2.4250 \quad (4.1)$$

โดยค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $0 \text{ mg/dL} < C_G < 50 \text{ mg/dL}$

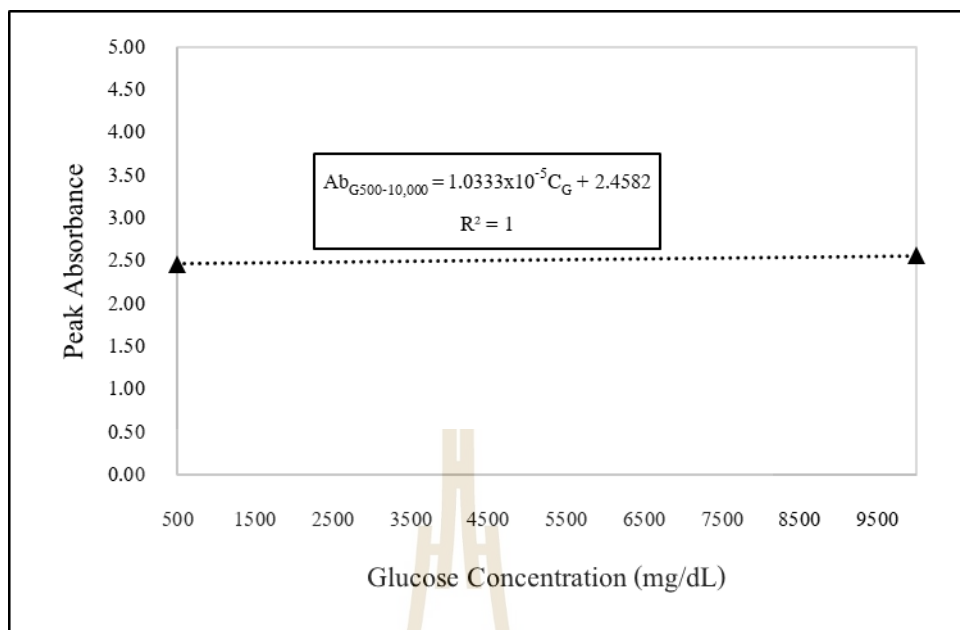


รูปที่ 4.8 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส 100-500 mg/dL
ที่ความยาวคลื่น 1,680 nm

- ที่ช่วงความเข้มข้นกลูโคส 100 – 500 mg/dL (ระดับน้ำตาลเสี่ยงเบาหวาน/เบาหวาน) ความสัมพันธ์แสดงได้ดังสมการ

$$Ab_{G100-500} = 4.7985 \times 10^{-5} C_G + 2.4416 \quad (4.2)$$

โดยค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $100 \text{ mg/dL} < C_G < 500 \text{ mg/dL}$



รูปที่ 4.9 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส 500-10,000 mg/dL ที่ความยาวคลื่น 1,680 nm

- ที่ช่วงความเข้มข้นกลูโคส 500 – 10,000 mg/dL (ระดับน้ำตาลช่วงอันตราย) ความสัมพันธ์แสดงได้ดังสมการ

$$Ab_{G500-10,000} = 1.0333 \times 10^{-5} C_G + 2.4582 \quad (4.3)$$

โดยค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $C_G \geq 500$ mg/dL : ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าไม่เกิน 4.670

เมื่อ Ab_{Gn} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1,680 nm

C_G คือ ความเข้มข้นกลูโคสในหน่วย (mg/dL)

จากการสมการความสัมพันธ์ที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) มีค่าเท่ากับ 0.6716, 0.8523 และ 1 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ และสามารถนำสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมในแต่ละช่วงความเข้มข้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ได้จากสมการทำนาย(predicted)และจากการทดลอง(experimental)เปรียบกันได้ดังตารางที่ 4.5

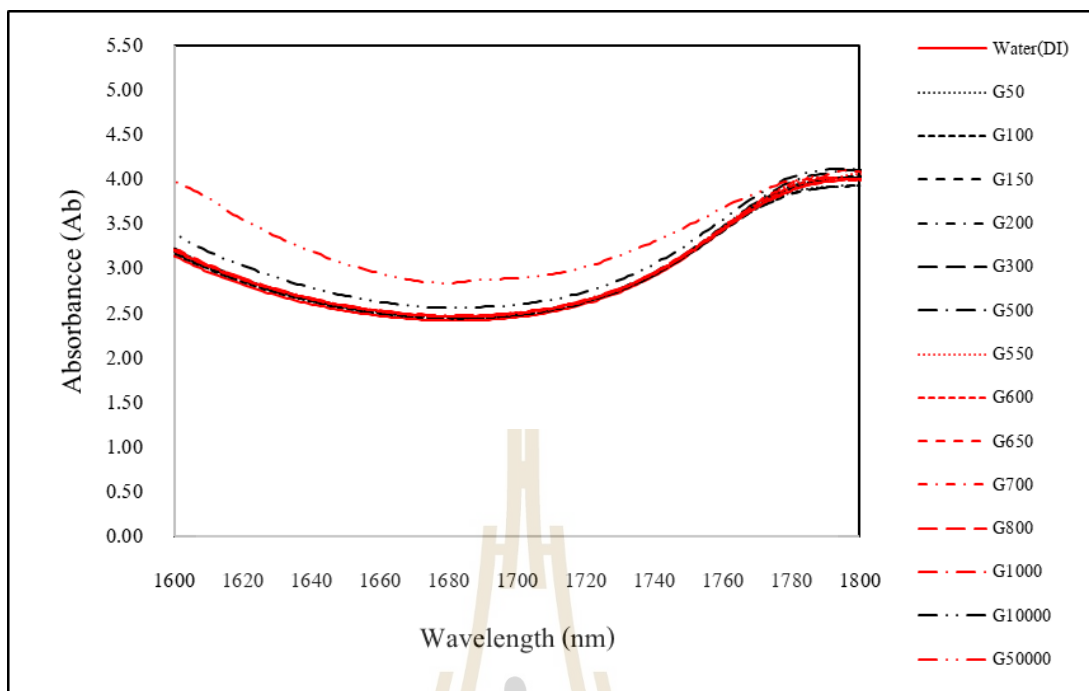
ตารางที่ 4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงจากสมการทำนายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นสารละลาย กลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง จากสมการควบคุม	ค่าการดูดกลืน แสงจากการ ทดลอง	%ค่าความคลาด เคลื่อน
0 (Pure Water)	2.4250	2.4196	0.21
50	2.4376	2.4478	0.42
100	2.4502	2.4451	0.21
150	2.4488	2.4490	0.01
200	2.4512	2.4490	0.09
300	2.4560	2.4613	0.22
500	2.4656	2.4634	0.09
10,000	2.5633	2.5615	0.07

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการดูดกลืนแสงของสารเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่า 5% ดังนั้นสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้ทำนายการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

4.1.5 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อระดับความเข้มข้นสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสมีการแยกความเข้มข้นได้ในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm แต่ยังมีปัญหาในช่วงความเข้มข้นที่ต่ำทำให้การแยกความเข้มข้นไม่ชัดเจนดังนั้นจึงทำการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกลูโคส โดยอ้างอิงจากกราฟรูปที่ 4.4 การดูดกลืนแสงของสารเริ่มมีความชัดเจนที่ค่าความเข้มข้นช่วง 500 mg/dL เป็นต้นไป ดังนั้นหากลองพิจารณาความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 500 mg/dL แล้วทำการเพิ่มความเข้มข้นให้สารละลายที่ 50-500 mg กล่าวคือทำการเพิ่มความเข้มข้นทั้งหมด 7 ความเข้มข้นโดยมีความเข้มข้นที่ 550, 600, 650 700, 800 และ 50,000 mg/dL โดย 50,000 mg/dL นี้คือความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสทั่วไปที่ยังไม่ได้นำมาผสมเพื่อฉีดเข้าร่างกาย เพื่อเป็นแนวทางในการกรองความเข้มข้นต่ำด้วยสารละลายความเข้มข้นสูงที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ชัดเจน ได้ผลดังกราฟรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นสูงขึ้น

รูปกราฟที่ 4.10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่มีการเพิ่มระดับความเข้มข้นให้สูงขึ้นเพื่อตรวจสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส ค่าดูดกลืนแสงได้ผลดังตารางที่ 4.6

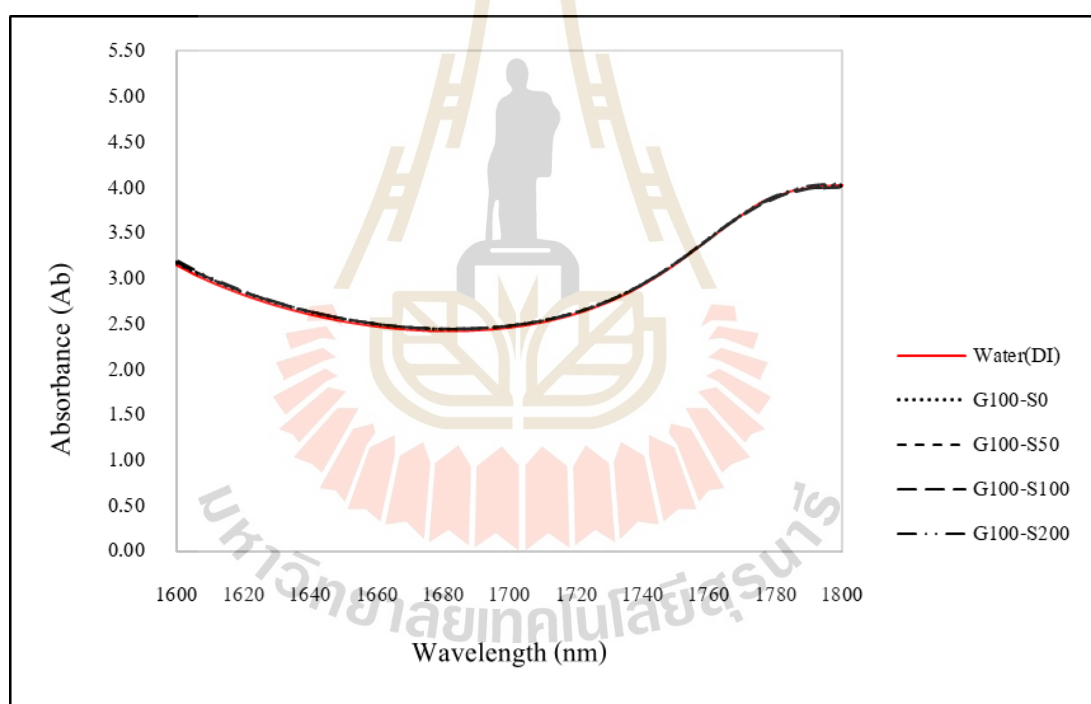
ตารางที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง (Ab) ที่ค่าพีค 1,680 nm
0 (Pure Water)	2.4196
550	2.4630
600	2.4632
650	2.4655
700	2.4666
800	2.4702
1,000	2.4767
50,000	2.8398

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการดูดกลืนแสงเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็สูงขึ้นตาม แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของสารส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงด้วย เมื่อเปรียบเทียบความชัดเจนค่าการดูดกลืนแสงจากความเข้มข้นสารละลายที่ 50, 100, 150 และ 200 mg/dL มีค่าพีคตารางที่ 4.4 คือ 2.4448, 2.4451, 2.4480 และ 2.4481 ตามลำดับ เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 550, 600, 650 และ 700 mg/dL มีค่าพีคตามตารางที่ 4.6 คือ 2.4630 2.4632, 2.4655 และ 2.4666 จากค่าการดูดแสงของสารละลาย พบว่าสามารถแก้ไขปัญหาการซ้อนทับกันที่ช่วงความเข้มข้น 150-200 mg/dL เมื่อถูกเพิ่มเข้าไปในความเข้มข้นตั้งต้น 500 mg/dL เป็น 650-700 mg/dL แต่ก็ยังพบปัญหาการซ้อนทับกันที่ช่วง 550-600 mg/dL แสดงให้เห็นว่าถ้าหากต้องการเพิ่มความสามารถในการแยกความเข้มข้นสารละลายในช่วงความเข้มข้นต่ำให้ชัดเจนจำเป็นต้องหาสารที่สามารถเพิ่มความเป็นไปได้ในการตรวจเจอพันธะ C-H เพื่อให้แสงอินฟราเรดย่านใกล้ตรวจจับโมเลกุลได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นกลูโคสนี้คือการเพิ่มความเป็นไปได้ในการที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้จะตรวจเจอโมเลกุลของกลูโคสเพิ่มขึ้น เพื่อใช้พัฒนาการตรวจวัดและลดปัญหาความเบาบางของโมเลกุลกลูโคสในช่วงความเข้มข้นของสารละลายต่ำได้

4.2 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปน

ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนแบ่งออกเป็น 3 ความเข้มข้นโดยมีความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่ 100, 300 และ 500 mg/dL โดยความเข้มข้นที่ 100 mg/dL แสดงดังกราฟรูปที่ 4.11 กราฟในแต่ละเส้นแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่มีสารโซเดียมคลอไรด์เจือปนอยู่ เส้นกราฟ G100 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 100 mg/dL เส้น G100-S50 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL ที่มีสารโซเดียมคลอไรด์ปะปนอยู่ 50 mg เส้น G100-S100 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL ที่มีสารโซเดียมคลอไรด์ปะปนอยู่ 100 mg และเส้น G100-S200 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL ที่มีสารโซเดียมคลอไรด์ปะปนอยู่ 200 mg ในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm

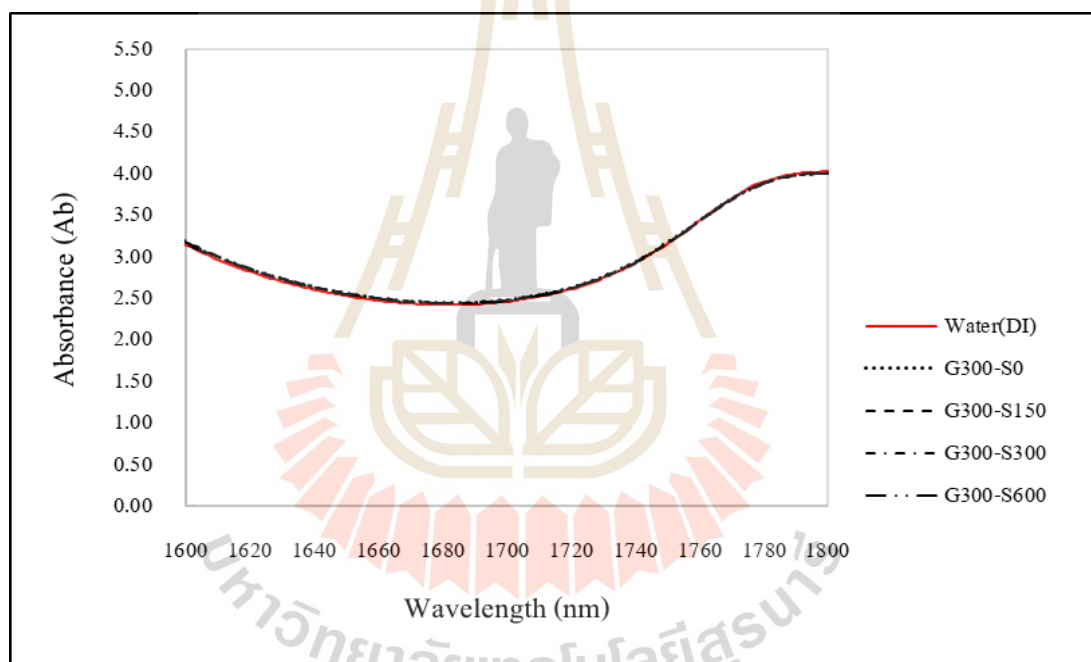


รูปที่ 4.11 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน

จากรูปที่ 4.11 พบว่าที่พีคการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ 1,680 nm เมื่อมีสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันมีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าน้ำ (Water) ค่าพีคการดูดกลืนแสงของน้ำที่ค่า 2.4196 การดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปน

โซเดียมคลอไรด์มีการดูดกลืนแสงมีความใกล้เคียงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 100 mg/dL ดังนั้นการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์สามารถนำมาพิจารณาได้ว่าสารเจือปนที่ถูกผสมลงในสารละลายกลูโคส ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การดูดกลืนแสงโมเลกุล C-H อย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเข้มข้นนี้ เนื่องจากสารละลายกลูโคสและสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์มีค่าความเข้มข้นที่ค่อนข้างเบาบางส่งผลต่อการตรวจจับโมเลกุลกลูโคส จะเห็นค่าความแตกต่างของเส้นสเปกตรัมไม่มากและไม่มีแนวโน้ม

ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 300 mg/dL แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยเส้นกราฟ G300-S0; G300-S150; G300-S300; G300-S600 แทนค่าความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 300 mg/dL ที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ 0, 150, 300 และ 600 mg ตามลำดับ

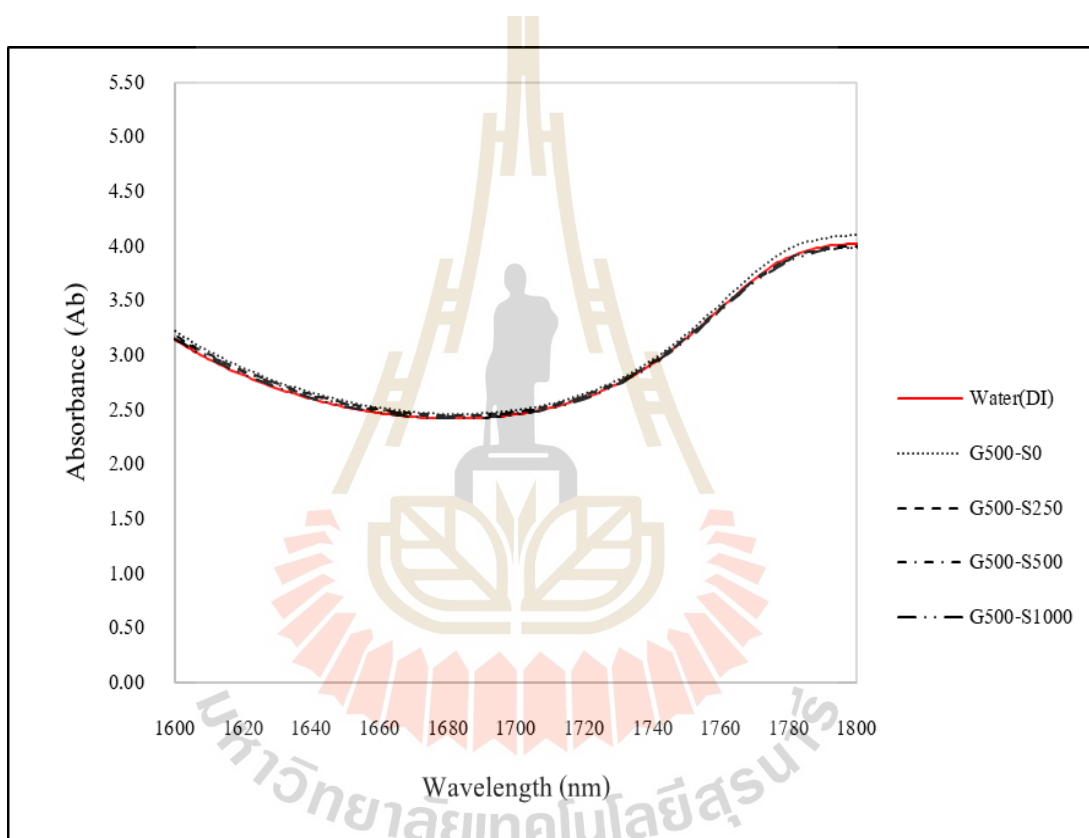


รูปที่ 4.12 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน

จากรูปที่ 4.12 พบว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าน้ำ (Water) ที่ค่า 2.4196 แต่มีพีคที่ลดลงกว่าพีคการดูดกลืนแสงที่สารละลายกลูโคสที่มีสารโซเดียมคลอไรด์เจือปนอยู่และลดลงตามลำดับตามความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ที่สูงขึ้น ดังนั้นการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ สามารถพิจารณาได้ว่าสารเจือปนที่ถูกผสมลงในสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 300 mg/dL มีความสัมพันธ์คือเมื่อทำการเติมสารเจือปนความเข้มข้นสูงขึ้นไปในสารละลายกลูโคส ส่งผลให้การ

ดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสถูกบดบังได้ จากโมเลกุลของสารเจือปนที่โมเลกุลของสารไม่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ทำให้เกิดการกระเจิงแสงมากยิ่งขึ้น การดูดกลืนของสารละลายกลูโคสจึงลดลงดังนั้นจะเห็นค่าความแตกต่างของเส้นสเปกตรัมที่ลดลงจากความเข้มข้นสารละลายกลูโคสเดิม

ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 500 mg/dL แสดงดังรูปที่ 4.13 โดยเส้นกราฟ G500-S0; G500-S250; G500-S500; G500-S1000 แทนค่าความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 500 mg/dL ที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ 0, 250, 500 และ 1,000 mg ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 500 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน

จากรูปที่ 4.13 พบว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ค่าดูดกลืนแสงที่สเปกตรัม G500-S250 และ G500-S500 มีค่าพีคที่สูงกว่าน้ำที่ค่า 2.4196 ในขณะที่ค่าพีคการดูดกลืนแสงที่สเปกตรัม G500-S1000 ลดลงใกล้เคียงกับน้ำ แต่มีค่าพีคการดูดกลืนแสงลดลงกว่าพีคการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 500 mg/dL สเปกตรัม G500-S0 และลดลงตามลำดับตามความเข้มข้นสารเจือปนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าสารเจือปนที่ถูกผสมลงในสารละลายกลูโคสมีความสัมพันธ์

เหมือนกับผลค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส 300 mg/dL คือเมื่อความเข้มข้นสารเจือปนที่ผสมลงไปในการละลายกลูโคสมีความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสถูกบดบังจากโมเลกุลสารเจือปน ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเนื่องจากไม่ได้ดูดกลืนด้วยโมเลกุลของกลูโคส

4.2.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อมีสารเจือปน

พิจารณาค่าทางสถิติด้วย One-way ANOVA เมื่อเติมสารเจือปนที่น้ำหนักต่างๆ ได้ผลแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าพิกัดดังตารางที่ 4.7

จากการนำค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนมาพิจารณา Grouping information ของค่าการดูดกลืนแสงทางสถิติพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารในแต่ละช่วงความเข้มข้นสารเจือปนมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ช่วงสารเจือปนความเข้มข้นสูงจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ชัดเจนกว่าความเข้มข้นสารเจือปนต่ำ

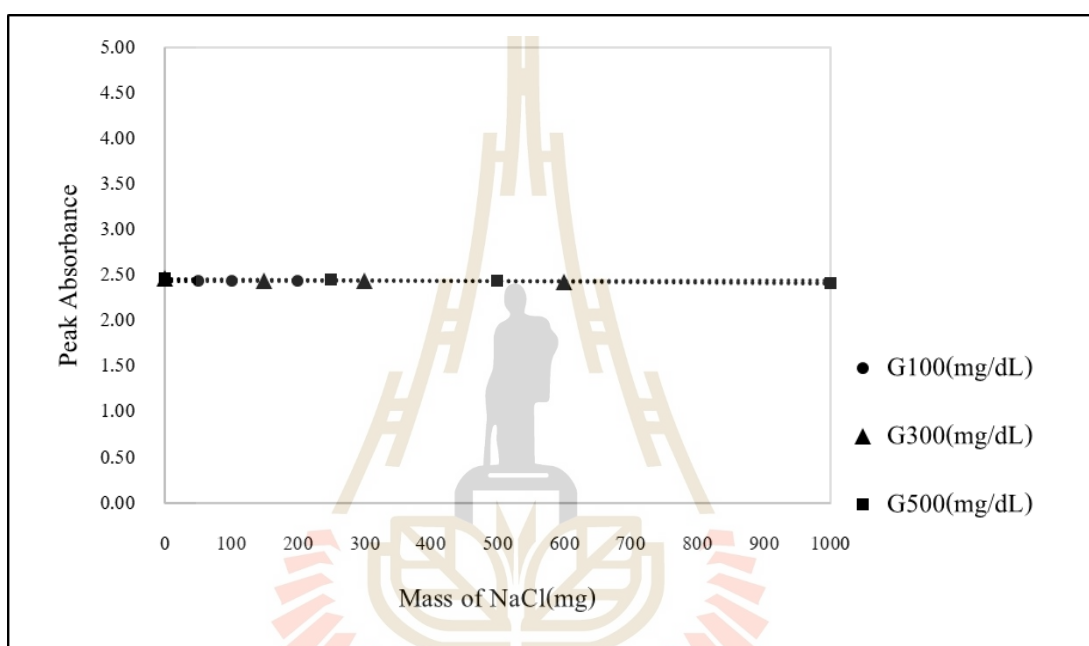
ตารางที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 300 และ 500 mg/dL
เมื่อมีสารเจือปน

ความเข้มข้นสารละลาย กลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปน โซเดียมคลอไรด์ (mg)	ค่าการดูดกลืนแสง(Ab) ที่ค่าพิกัด 1,680 nm ¹
100	0	2.4451 ± 0.0176 ^a
	50	2.4466 ± 0.0218 ^a
	100	2.4455 ± 0.0176 ^a
	200	2.4465 ± 0.0185 ^a
300	0	2.4605 ± 0.0149 ^a
	150	2.4427 ± 0.0171 ^b
	300	2.4400 ± 0.0174 ^b
	600	2.4326 ± 0.0080 ^b
500	0	2.4626 ± 0.0170 ^a
	250	2.4476 ± 0.0177 ^b
	500	2.4400 ± 0.0183 ^b
	1,000	2.4190 ± 0.0202 ^c

¹ ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนจำนวน 30 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p<0.05

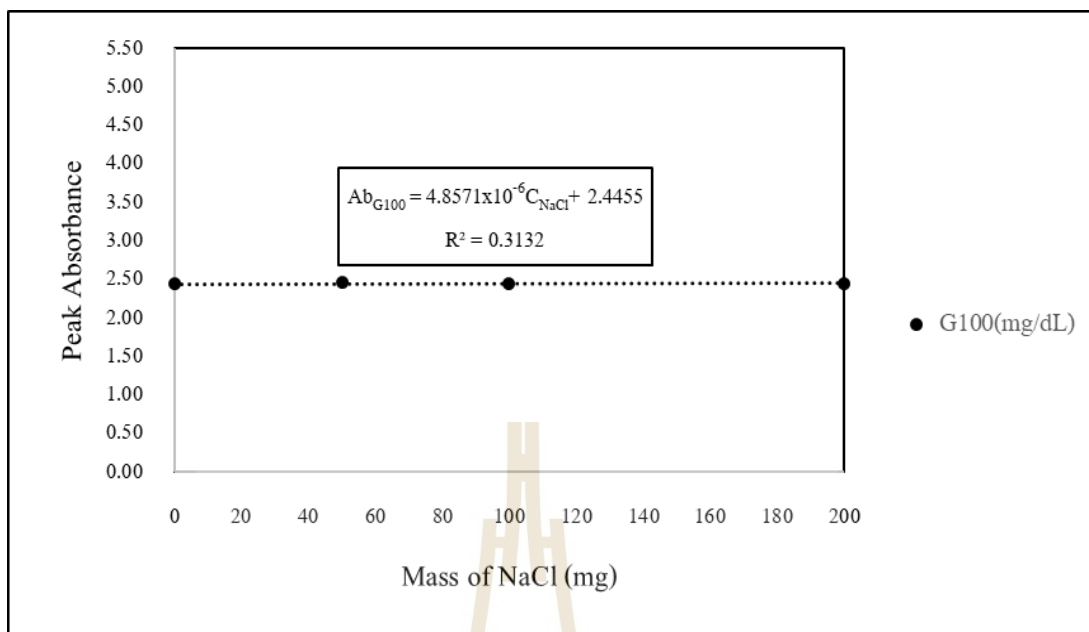
จากตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนจำนวน 30 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ นำค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนมาพิจารณา Grouping information ของค่าการดูดกลืนแสงทางสถิติพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารในแต่ละช่วงความเข้มข้นสารเจือปนมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ช่วงสารเจือปนความเข้มข้นสูงจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ชัดเจนกว่าความเข้มข้นสารเจือปนต่ำ

4.2.2 สมการทำนายพฤติกรรมของการดูดกลืนแสงของสารเมื่อมีสารเจือปน



รูปที่ 4.14 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนที่พีคความยาวคลื่น 1,680 nm

จากพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่มีสารเจือปนตามตารางที่ 4.7 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ 2 ช่วงดังนี้



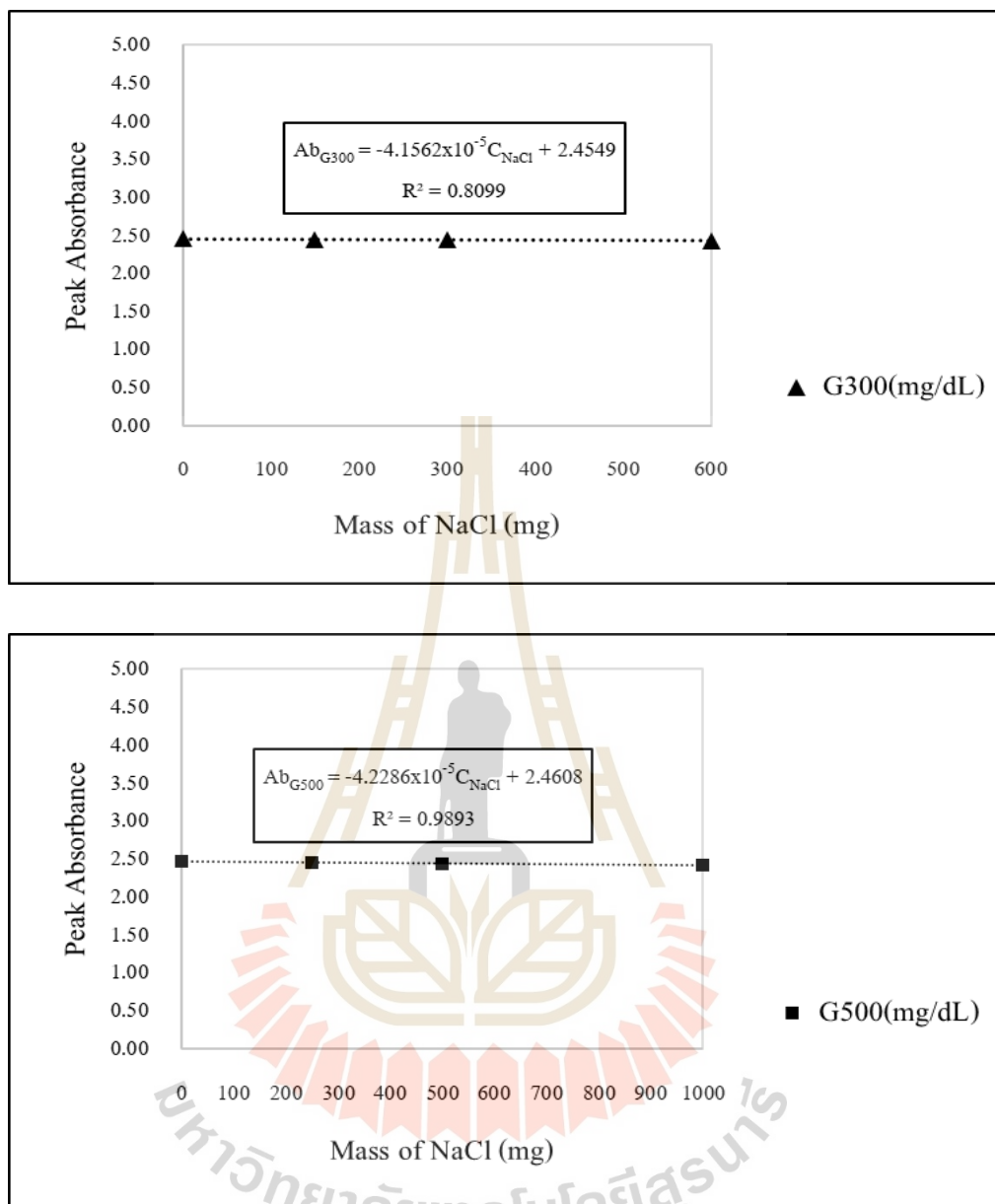
รูปที่ 4.15 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส 100 mg/dL เมื่อมีสารเจือปนที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ความยาวคลื่น 1,680 nm

- ช่วงความเข้มข้นกลูโคสที่ 100 mg/dL เมื่อมีสารเจือปนสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$Ab_{G100} = 4.857 \times 10^{-6} C_{NaCl} + 2.4455 \quad (4.4)$$

โดย คำนวณค่าของสารเจือปน NaCl ในช่วง $0 \text{ mg} \leq C_{NaCl} \leq 200 \text{ mg}$

ค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $0 \text{ mg/dL} \leq C_G \leq 100 \text{ mg/dL}$



รูปที่ 4.16 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส 300-500 mg/dL เมื่อมีสารเจือปนที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ความยาวคลื่น 1,680 nm

- ช่วงความเข้มข้นกลูโคสที่ 300-500 mg/dL เมื่อมีสารเจือปนสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$Ab_{G300-500} = (-3.5000 \times 10^{-9} C_G - 4.0550 \times 10^{-5}) C_{NaCl} + 5.0000 \times 10^{-5} C_G + 2.4350 \quad (4.5)$$

โดย ค่าน้ำหนักของสารเจือปน NaCl ในช่วง $0 \text{ mg} \leq C_{NaCl} \leq 600 \text{ mg}$

ค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $300 \text{ mg/dL} \leq \text{CG} \leq 500 \text{ mg/dL}$

เมื่อ Ab_{Gn} คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1680 nm

C_G คือ ความเข้มข้นกลูโคสในหน่วย (mg/dL)

C_{NaCl} คือ น้ำหนักของสารเจือปน NaCl ในหน่วย (mg)

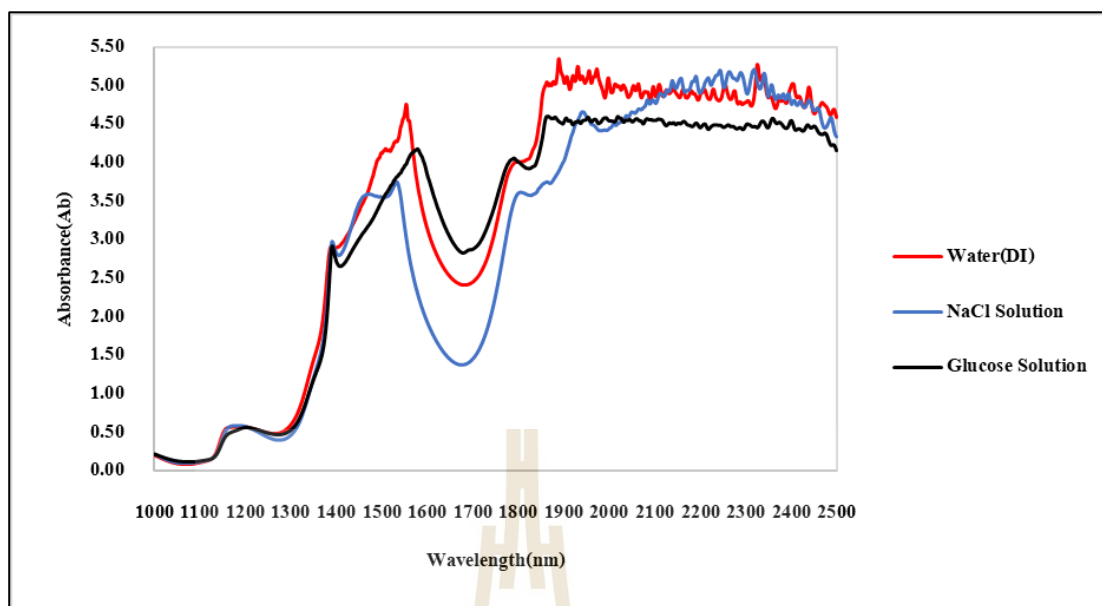
จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสีใจ (Coefficient of Determination) มีค่าเท่ากับ 0.3132, 0.8099 และ 0.9893 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นกลูโคสที่ 100 mg/dL ตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ ในระดับดีปานกลาง ในความเข้มข้นกลูโคสที่ช่วง $300 - 500 \text{ mg/dL}$ แสดงให้เห็นว่าตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ ในระดับถูกต้องและเหมาะสมค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนที่ได้จากสมการทำนาย (Predicted) และจากการทดลองเปรียบเทียบ (Experimental) ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงจากสมการทำนายสารละลายกลูโคส
เมื่อมีสารเจือปน

ความเข้มข้น สารละลายกลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปน โซเดียมคลอ ไรด์(mg)	ค่าการดูดกลืน แสงจากสมการ ควบคุม	ค่าการ ดูดกลืนแสง จากทดลอง	%ค่า ความคลาด เคลื่อน
100	0	2.4500	2.4451	0.20
	50	2.4502	2.4466	0.15
	100	2.4505	2.4455	0.20
	200	2.4510	2.4465	0.18
300	0	2.4550	2.4605	0.22
	150	2.4488	2.4427	0.25
	300	2.4425	2.4400	0.10
	600	2.4300	2.4326	0.11
500	0	2.4650	2.4626	0.10
	250	2.4544	2.4476	0.28
	500	2.4438	2.4400	0.16
	1000	2.4227	2.4190	0.15

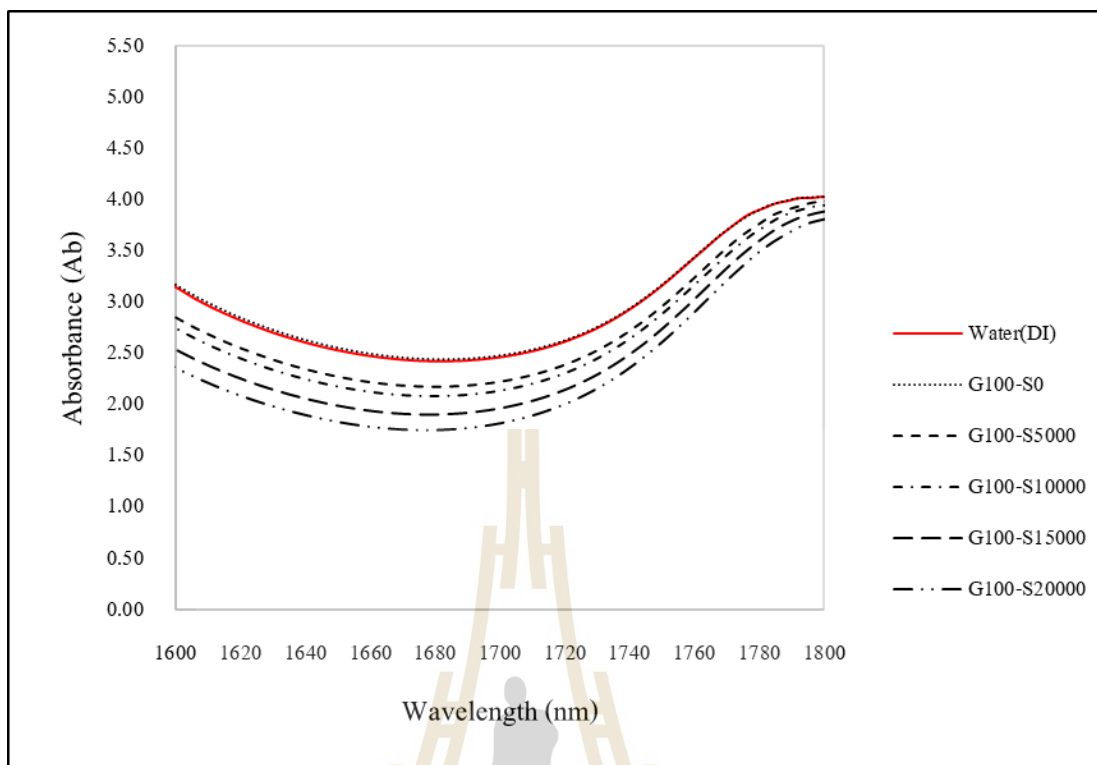
จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการดูดกลืนแสงของสารมีค่าน้อยกว่า 5% ดังนั้นสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้ทำนายการดูดกลืนแสงของสารละลายเมื่อมีสารเจือปนในเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นได้

จากผลการทดลองการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปน พบว่าความเข้มข้นของสารเจือปนส่งผลต่อการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อความเข้มข้นของสารเจือปนสูงขึ้นดังกราฟรูปที่ 4.17



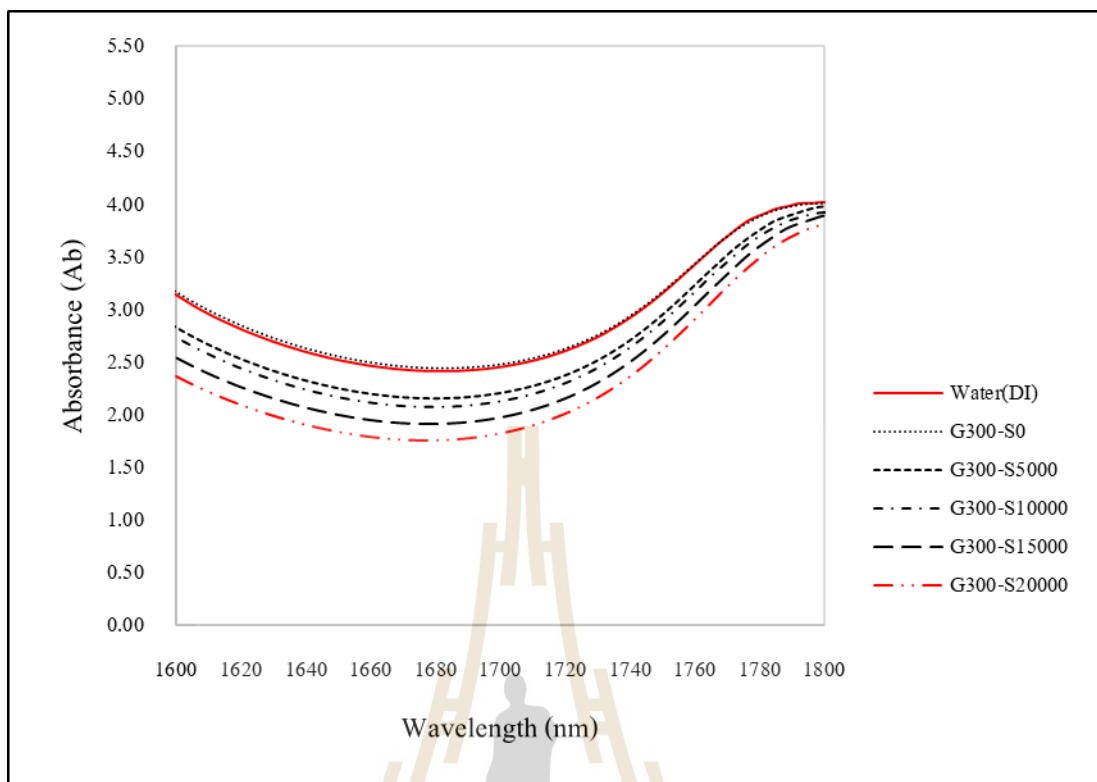
รูปที่ 4.17 การดูดกลืนแสงของสารละลาย Glucose และ NaCl เปรียบเทียบกับน้ำ

กราฟรูปที่ 4.17 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูง ดังนั้นจึงทำการทดสอบในช่วงความเข้มข้นสารเจือปนคงที่ ที่ระดับความเข้มข้น 5,000 10,000 15,000 และ 20,000 mg ลงในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100, 300 และ 10,000 mg/dL ได้ค่าพีคการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20



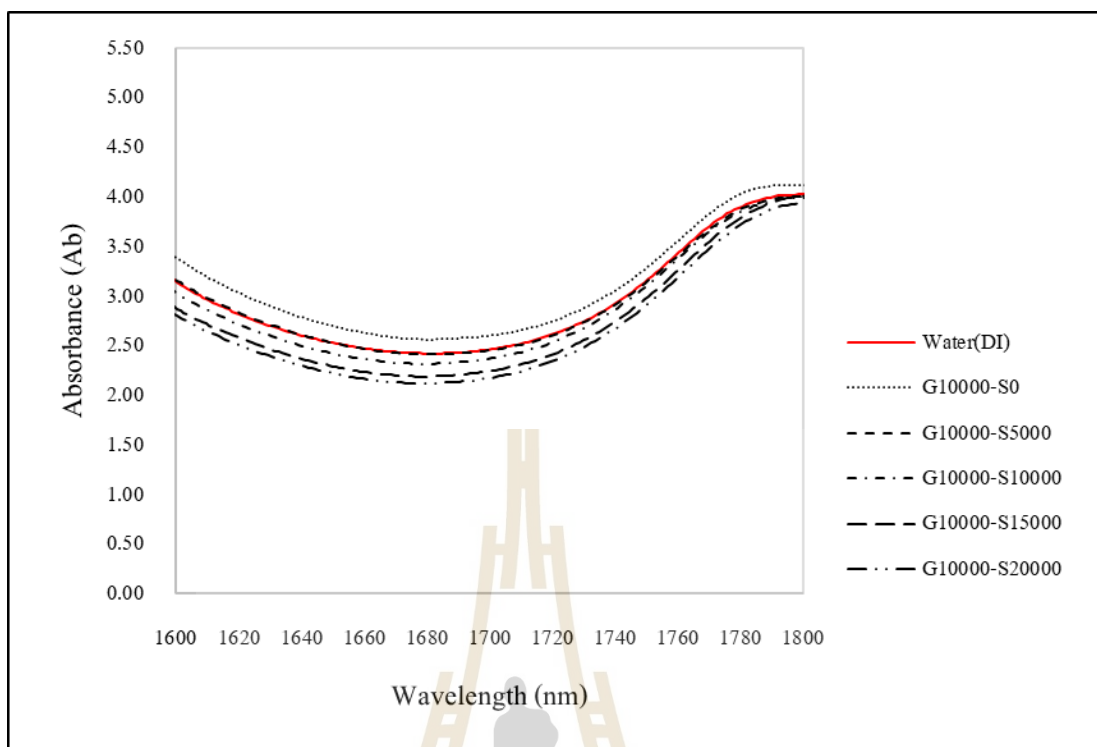
รูปที่ 4.18 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL ที่มีสารเจือปนความเข้มข้นสูง

รูปที่ 4.18 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 100 mg/dL ที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5,000 10,000 15,000 และ 20,000 mg แสดงด้วยเส้น G100-S0 G100-S5000 G100-S10000 G100-S15000 และ G100-S20000 ตามลำดับ และผลการทดสอบที่ความเข้มข้น 300 mg/dL แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL ที่มี สารเจือปนความเข้มข้นสูง

รูปที่ 4.19 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 300 mg/dL ที่ผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5,000 10,000 15,000 และ 20,000 mg แสดง ดัชนี G300-S0 G300-S5000 G300-S10000 G300-S15000 และ G300-S20000 ตามลำดับ และ ผลการทดสอบที่ความเข้มข้น 10,000 mg/dL แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 10,000 mg/dL ที่มีสารเจือปนความเข้มข้นสูง

รูปที่ 4.20 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 10,000 mg/dL ที่มีผสมสารโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5,000 10,000 15,000 และ 20,000 mg แสดงด้วยเส้น G10000-S0 G10000-S5000 G10000-S10000 G10000-S15000 และ G10000-S20000 ตามลำดับ

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่มีผสมสารโซเดียมคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้นที่สูงขึ้นการดูดกลืนแสงมีค่าที่ลดลงจนต่ำกว่าน้ำเนื่องจากสารเจือปนที่เติมลงไปในการละลายกลูโคสไม่มีพื้นที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm ดูดกลืนได้ และความเข้มข้นที่สูงส่งผลให้ความหนาแน่นในการบดบังการตรวจวัดของโมเลกุลของกลูโคสลดลง แต่จะสังเกตได้ว่าในช่วงความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่ 10,000 mg/dL ซึ่งเป็นค่าสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดของการดูดกลืนแสงถึงแม้จะลดลงจากความเข้มข้นที่ไม่ผสมสารเจือปน แต่มีค่าสูงกว่าพีคของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 100 และ 300 mg/dL เนื่องจากว่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นของสารละลายกลูโคสส่งผลให้ความหนาแน่นของโมเลกุลกลูโคสเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โอกาสในการที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้จะตรวจเจอโมเลกุลของกลูโคสได้มากกว่าจึงส่งผลให้พีคของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

4.2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูง

จากการดุดกลืนแสงดังรูปที่ 4.18 4.19 และ 4.20 นำค่าการดุดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงพิจารณาค่าความแตกต่างค่าการดุดกลืนแสงทางสถิติด้วย One-way ANOVA ที่ความเข้มข้นต่างๆได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าการดุดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนที่ความเข้มข้นคงที่ระดับสูง

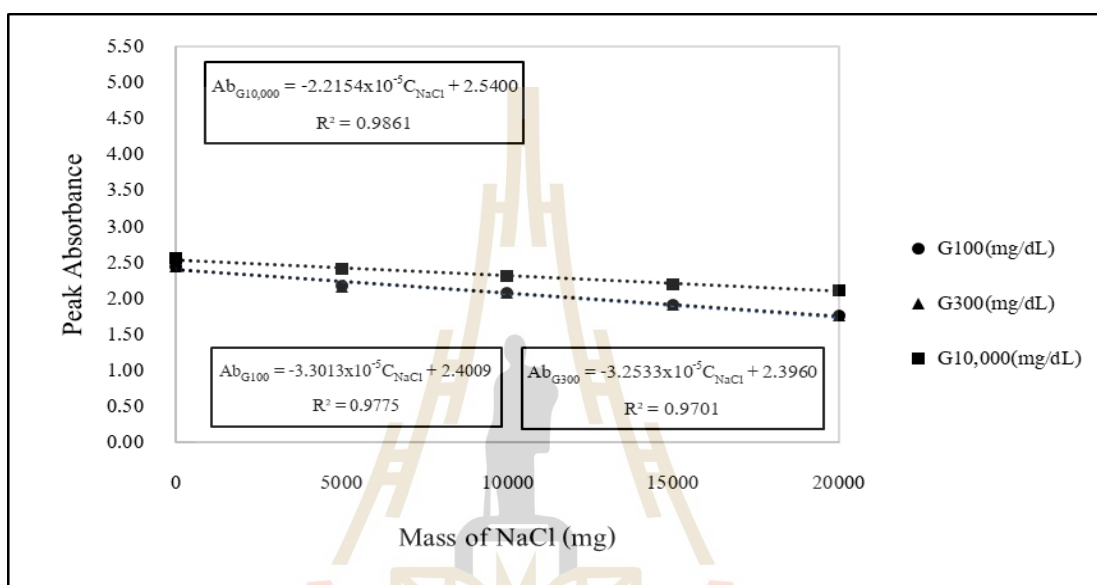
ความเข้มข้นสารละลาย กลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปน โซเดียมคลอไรด์ (mg)	ค่าการดุดกลืนแสง (Ab) ที่ค่าพิค 1,680 nm ¹
100	0	2.4451 ± 0.0134 ^a
	5,000	2.1720 ± 0.015 ^b
	10,000	2.0785 ± 0.0110 ^c
	15,000	1.9059 ± 0.0032 ^d
	20,000	1.7550 ± 0.0089 ^e
300	0	2.4605 ± 0.0144 ^a
	5,000	2.1598 ± 0.0021 ^b
	10,000	2.0788 ± 0.0200 ^c
	15,000	1.9115 ± 0.0210 ^d
	20,000	1.7577 ± 0.0270 ^e
10,000	0	2.5615 ± 0.0193 ^a
	5,000	2.4087 ± 0.0151 ^b
	10,000	2.3164 ± 0.011 ^c
	15,000	2.1880 ± 0.0010 ^d
	20,000	2.1180 ± 0.0088 ^e

¹ ค่าเฉลี่ยของค่าการดุดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูงจำนวน 30 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของค่าการดุดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูงจำนวน 30 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ นำค่าการดุดกลืนแสงเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูงขึ้นมาพิจารณา Grouping information ของค่าการดุดกลืนแสงทางสถิติพบว่าค่าการดุดกลืนแสงของสารในแต่ละ

ช่วงความเข้มข้นสารเจือปนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างชัดเจนตามระดับความเข้มข้นของสารเจือปนที่สูงขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้นที่สูงขึ้นการดูดกลืนแสงมีที่ค่าที่ลดลงจนต่ำกว่าน้ำเนื่องจากสารเจือปนที่เติมลงไปในการละลาย

4.2.4 สมการทำนายพฤติกรรมของการดูดกลืนแสงของสารเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูง



รูปที่ 4.21 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสสารเจือปนความเข้มข้นสูงที่ระดับต่าง ๆ

จากข้อมูลการดูดกลืนแสงจากตารางที่ 4.9 และกราฟที่ 4.21 ค่าการดูดกลืนแสงสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$Ab_{G100-10,000} = (-1.4527 \times 10^{-13} C_G^2 + 2.5581 \times 10^{-9} C_G - 3.3254 \times 10^{-5}) C_{NaCl} + 1.4579 \times 10^{-9} C_G^2 - 5.8315 \times 10^{-7} C_G + 2.4000 \quad (4.6)$$

โดยค่าน้ำหนักของสารเจือปน NaCl ในช่วง $0 \text{ mg} \leq C_{NaCl} \leq 20,000 \text{ mg}$

ค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $100 \text{ mg/dL} \leq C_G \leq 10,000 \text{ mg/dL}$

จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ 4.21 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) มีค่าเท่ากับ 0.9775, 0.9701 และ 0.9861 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนเข้มข้นสูง) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ ในระดับถูกต้องเหมาะสมในแต่ละระดับ

สารเจือปนได้จากสมการทำนาย (Predicted)และจากการทดลองเปรียบเทียบ (Experimental)ได้ดังตารางที่ 4.10

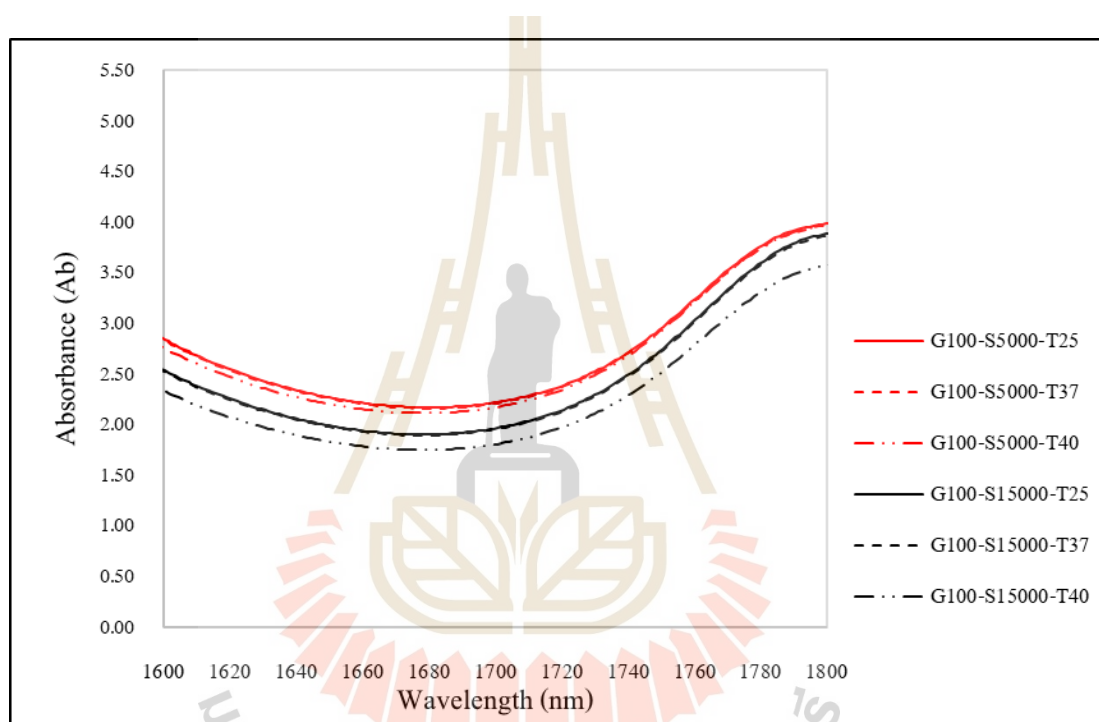
ตารางที่ 4.10 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงจากสมการทำนายสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนความเข้มข้นสูง

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dl)	น้ำหนักสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ (mg)	ค่าการดูดกลืนแสงจากสมการควบคุม	ค่าการดูดกลืนแสงจากทดลอง	%ค่าความคลาดเคลื่อน
100	0	2.4000	2.4451	1.88
	5,000	2.2347	2.1719	2.81
	10,000	2.0695	2.0782	0.42
	15,000	1.9043	1.9059	0.09
	20,000	1.7390	1.7528	0.79
300	0	2.4000	2.4464	1.93
	5,000	2.2372	2.1599	3.46
	10,000	2.0745	2.0784	0.19
	15,000	1.9118	1.9116	0.01
	20,000	1.7491	1.7572	0.47
10,000	0	2.5402	2.5615	0.84
	5,000	2.4292	2.4088	0.84
	10,000	2.3182	2.3159	0.10
	15,000	2.2072	2.1881	0.87
	20,000	2.0962	2.1181	1.05

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการดูดกลืนแสงของสารมีค่าน้อยกว่า 5% ดังนั้นสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้ทำนายการดูดกลืนแสงของสารละลายเมื่อมีสารเจือปนในเมื่อความเข้มข้นระดับสูงขึ้นได้

4.3 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิของสารแตกต่างกัน

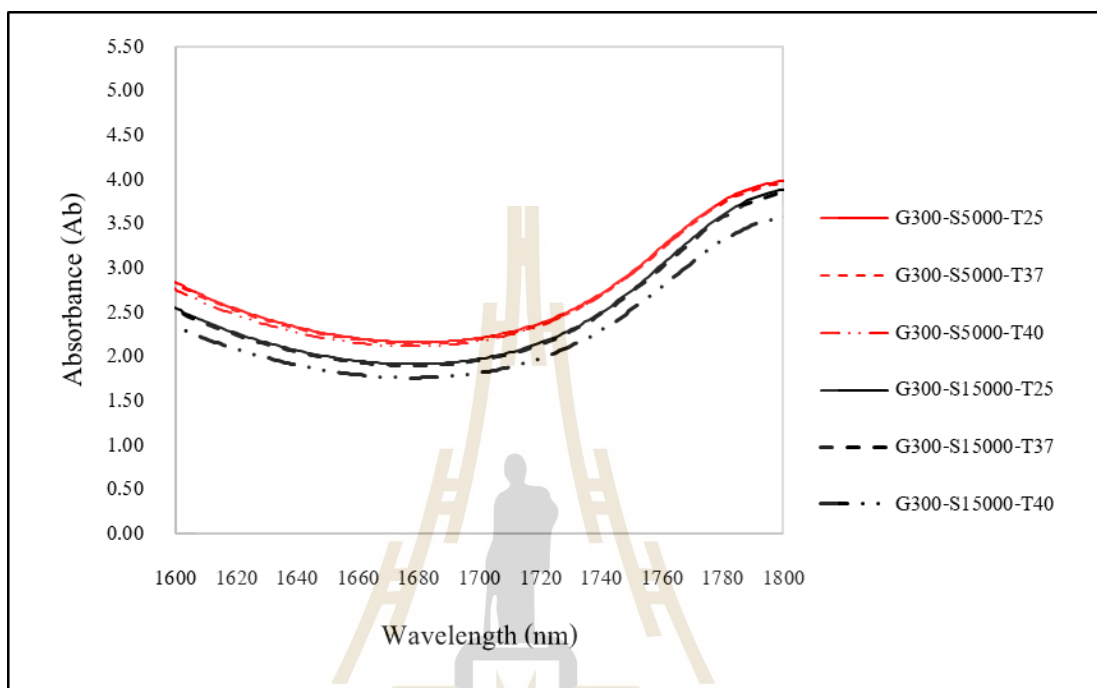
การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิของสารแตกต่างกันโดยมีความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่ 100 และ 300 mg/dL แทนด้วย G100 และ G300 ส่วนสารเจือปนที่ผสมอยู่แทนด้วย S5000 และ S15000 ความเข้มข้นสารเจือปนที่ 5,000 และ 15,000 mg และ T25, T37 และ T40 แทนอุณหภูมิของสารที่ 25, 37 และ 40 °C แสดงดังกราฟรูปที่ 4.22 และ 4.23 วิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm



รูปที่ 4.22 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.22 พบว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิต่างกันแตกต่างกัน ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ค่าการดูดกลืนแสงพีคจะลดลงกว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเดิมเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลทำให้แสงอินฟราเรดย่านใกล้ตรวจจับโมเลกุลของสารได้ลดลง และเมื่ออุณหภูมียิ่งสูงขึ้นโอกาสในการที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้จะตรวจเจอโมเลกุลของกลูโคสได้น้อยลง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 40 °C ค่าการดูดกลืนแสงจะต่ำกว่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 37 และ 25 ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิของสารที่ 40 °C ทำให้การเคลื่อนที่ของ

โมเลกุลมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ความเป็นไปได้ในการตรวจวัดโมเลกุลด้วยแสงอินฟราเรด ยานใกล้ลดลง และทำการทดสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 300 mg/dl ได้ผลดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.23 พบว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีค่าพีคการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน การดูดกลืนแสงมีพีคลดลงกว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเดิมที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ 100 mg/dL ค่าพีคการดูดกลืนแสงของสารที่ความเข้มข้นกลูโคส 300 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกันมีความลดลงของค่าพีคการดูดกลืนแสงเช่นเดียวกัน

จากผลการทดสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกันสรุปได้ว่า ค่าพีคการดูดกลืนแสงของสารมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของสารมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสาร หรือเกิดการสลายพันธะทำให้การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยแสงอินฟราเรดยานใกล้ ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจวัดการดูดกลืนของสารละลายได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าพีคลดลงด้วย แต่จากการทดสอบสังเกตได้ว่า สารละลายกลูโคสที่มีสารเจือปนที่

ความเข้มข้นสูงเมื่ออุณหภูมิของสารสูงขึ้น จะมีค่าพีคลดต่ำกว่าสารละลายกลูโคสที่ผสมสารเจือปนที่ความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเนื่องจากผลกระทบของอุณหภูมิ และการบดบังจากสารอื่นๆที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้ไม่สามารถตรวจจับได้ด้วย

4.3.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น

พิจารณาค่าทางสถิติด้วย One-way (ANOVA) สารละลายมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้ผลแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าพีคได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน

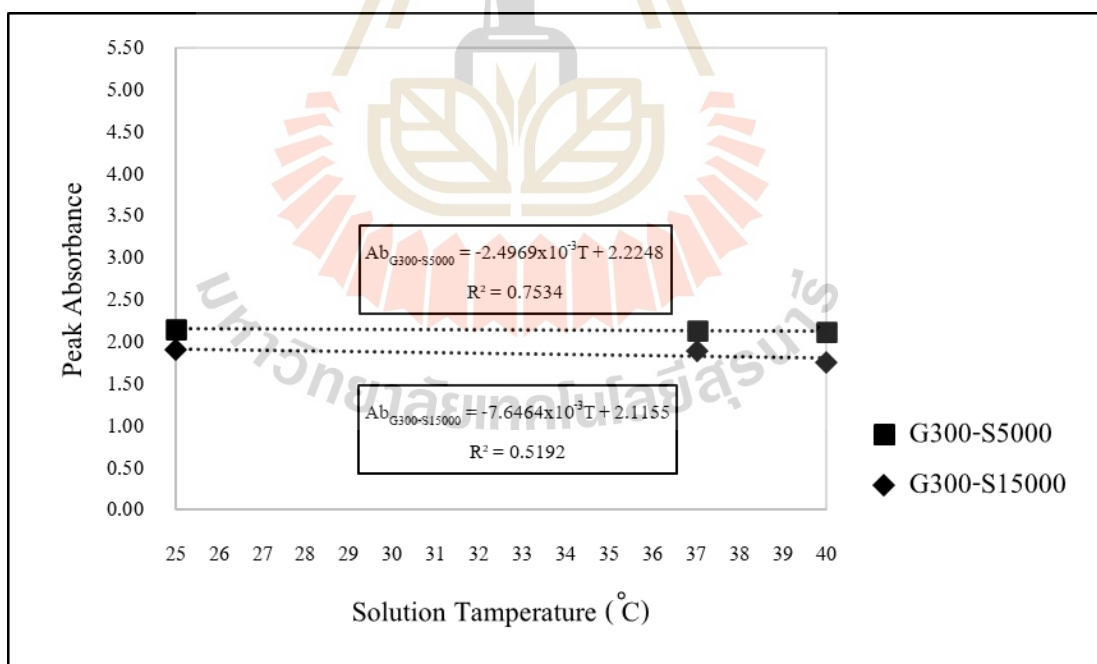
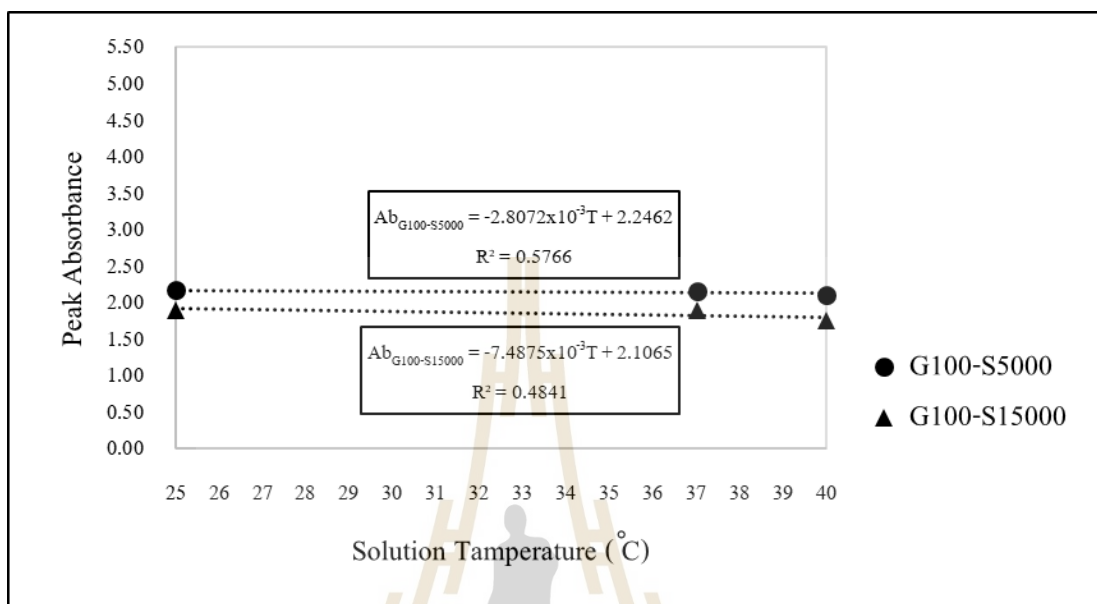
ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปนโซเดียมคลอไรด์ (mg)	อุณหภูมิของสาร (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง(A _b) ที่ค่าพีค 1,680 nm ¹
100	5,000	25.2	2.1720 ± 0.0006 ^a
		37.4	2.1638 ± 0.0005 ^b
		40.1	2.1172 ± 0.0030 ^c
	15,000	24.9	1.9059 ± 0.0005 ^a
		37.2	1.8963 ± 0.0009 ^b
		39.9	1.7534 ± 0.0001 ^c
300	5,000	24.8	2.1598 ± 0.0067 ^a
		37.1	2.1447 ± 0.0013 ^b
		40.2	2.1150 ± 0.0087 ^c
	15,000	25.2	1.9115 ± 0.0054 ^a
		37.2	1.8963 ± 0.0041 ^b
		40.1	1.7866 ± 0.0063 ^c

¹ ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงเมื่ออุณหภูมิสารเพิ่มขึ้น 30 °C ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p<0.05

จากตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงเมื่ออุณหภูมิสารเพิ่มขึ้น 30 °C ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p<0.05การนำค่าการดูดกลืนแสงเมื่ออุณหภูมิของสารสูงขึ้นมาพิจารณา Grouping information

ของค่าการดูดกลืนแสงทางสถิติพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารในแต่ละช่วงอุณหภูมิของสารมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างชัดเจนตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

4.3.2 สมการทำนายพฤติกรรมของการดูดกลืนแสงเมื่ออุณหภูมิของสารสูงขึ้น



รูปที่ 4.24 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.11 และกราฟรูปที่ 4.24 สามารถนำค่าการดูดกลืนแสงเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้นแสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการแบ่งตามความเข้มข้นได้ดังนี้

- ที่ความเข้มข้นกลูโคส 100 mg/dL ที่ผสมสารเจือปนในช่วง 5,000-15,000 mg แสดงดังสมการ

$$Ab_{G100} = (-4.6800 \times 10^{-7} C_{NaCl} - 4.7000 \times 10^{-4})T + (-1.4000 \times 10^{-5} C_{NaCl} + 2.3200) \quad (4.7)$$

- ที่ความเข้มข้นกลูโคส 300 mg/dL ที่ผสมสารเจือปนในช่วง 5,000-15,000 mg แสดงดังสมการ

$$Ab_{G300} = (-5.1800 \times 10^{-7} C_{NaCl} + 7.5000 \times 10^{-5})T + (-1.0000 \times 10^{-5} C_{NaCl} + 2.2700) \quad (4.8)$$

เนื่องการดูดกลืนแสงของสารละลายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีพฤติกรรมเหมือนทั้ง 2 ช่วงความเข้มข้นกลูโคสจากสมการที่ 4.7 และ 4.8 สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.9

$$Ab_{G100-300} = (2.3400 \times 10^{-9} - 7.0200 \times 10^{-7})C_{NaCl}T + (2.7250 \times 10^{-6} C_G - 7.4250 \times 10^{-4})T + (2.0000 \times 10^{-8} C_G - 1.6000 \times 10^{-5})C_{NaCl} + (-2.5000 \times 10^{-4} C_G + 2.3450) \quad (4.9)$$

โดย ค่าอุณหภูมิของสารอยู่ในช่วง $25^{\circ}C \leq T \leq 40^{\circ}C$

ค่าน้ำหนักของสารเจือปน NaCl ในช่วง $5,000 \text{ mg} \leq C_{NaCl} \leq 15,000 \text{ mg}$

ค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $100 \text{ mg/dL} \leq C_G \leq 300 \text{ mg/dL}$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของสารละลายในหน่วยองศาเซลเซียส

จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ 4.24 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) มีค่าเท่ากับ 0.5766, 0.4841, 0.7534 และ 0.5192 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสเมื่อมีสารเจือปนเข้มข้นสูง) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ ในระดับดีปานกลางในแต่ละระดับอุณหภูมิของสารได้จากสมการทำนาย (Predicted) และจากการทดลองเปรียบเทียบ (Experimental) ได้ดังตารางที่ 4.12

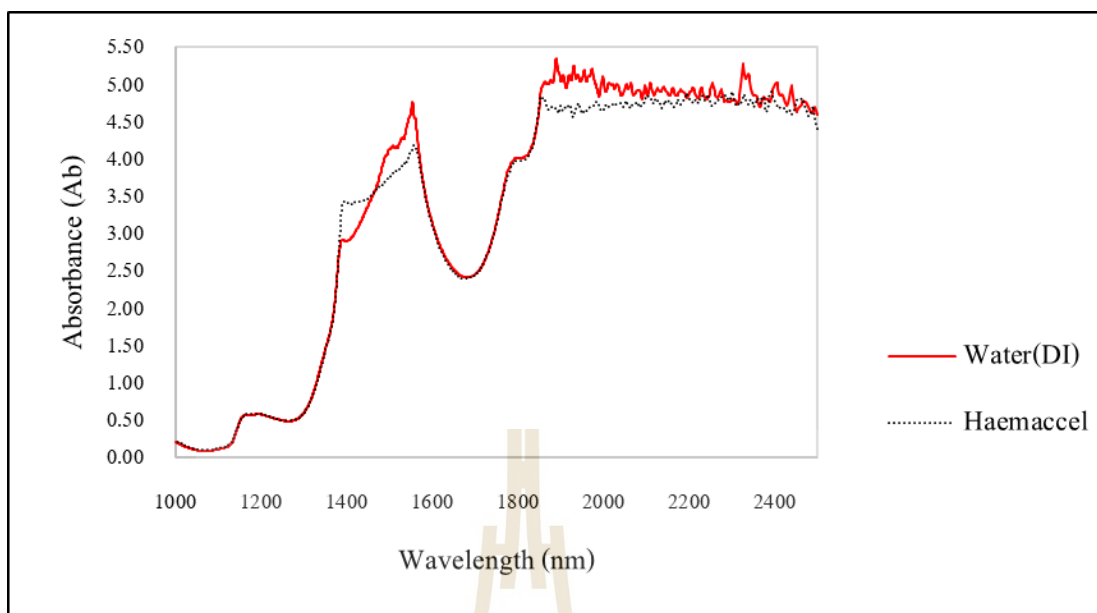
ตารางที่ 4.12 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน

ความเข้มข้น สาร ละลายกลูโคส (mg/dL)	น้ำหนักสารเจือปน โซเดียมคลอไรด์ (mg)	อุณหภูมิ ของสาร (°C)	ค่าการดูดกลืน แสงจากสมการ ควบคุม	ค่าการ ดูดกลืนแสง จากทดลอง	%ค่า ความคลาด เคลื่อน
100	5,000	25.2	2.1848	2.1599	1.14
		37.4	2.1510	2.1448	0.29
		40.1	2.1426	2.1150	1.29
	15,000	24.9	1.9278	1.9059	1.13
		37.2	1.8379	1.8964	3.18
		39.9	1.8154	1.7534	3.41
300	5,000	24.8	2.2269	2.1599	3.01
		37.1	2.2278	2.1448	3.73
		40.2	2.2280	2.1150	5.07
	15,000	25.2	2.1269	1.9116	10.12
		37.2	2.1278	1.8963	10.88
		40.1	2.1280	1.7587	17.36

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างการทำการทดสอบ และสมการทำนายค่าความคลาดเคลื่อนของการดูดกลืนแสงของสารมีค่ามากกว่า 5% เห็นได้ว่าสมการข้างต้นอาจไม่เพียงพอต่อการทำนายค่าการดูดกลืนแสงของสารเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่สารเจือปนมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงขึ้น

4.4 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด

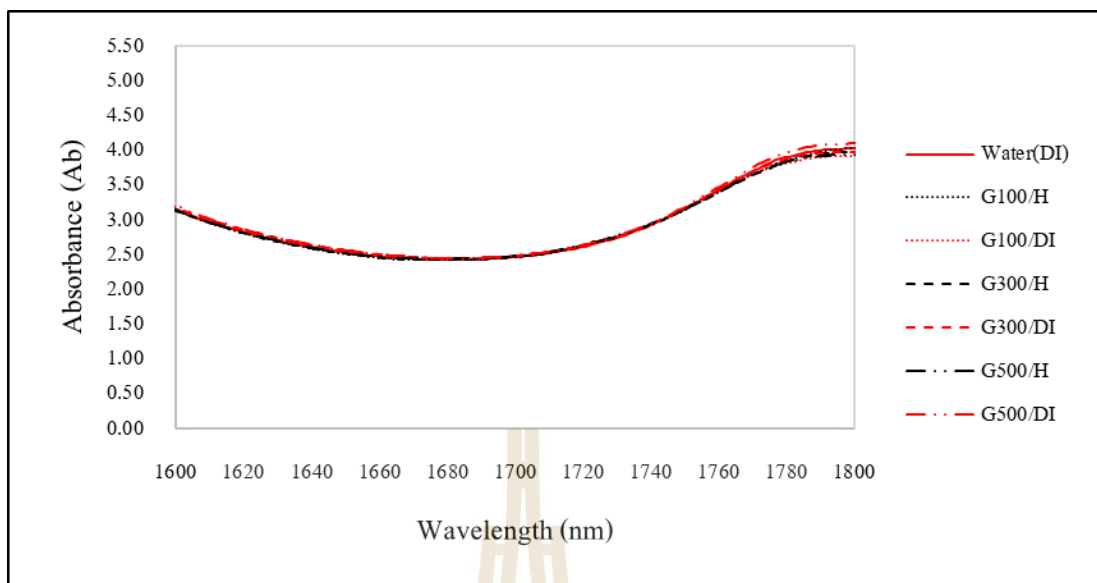
การดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายในสารทดแทนเลือดเพื่อให้ใกล้เคียงกับการวัดระดับน้ำตาลในเลือดยิ่งขึ้น โดยสารทดแทนเลือดแสดงด้วย Haemaccel เปรียบเทียบกับน้ำแสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด

จากรูปที่ 4.25 ค่าการดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือดเปรียบเทียบกับเทียบกับน้ำ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือดเกิดพีคอยู่ 3 ช่วงคือ ช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 nm 1,600-1,800 nm และ 1,800-2,000 nm ค่าพีคการดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือดจะมีค่าพีคที่ต่ำกว่าน้ำเนื่องจากสารทดแทนเลือดมีการประกอบอื่นๆ เจือปนอยู่หลากหลายชนิดจึงส่งผลเกิดการบดบังพื้นที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้ตรวจสอบได้ในช่วงความยาวคลื่นนั้น ๆ

การดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายในสารทดแทนเลือดโดยมีความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่ 100, 300 และ 500 mg/dL แทนด้วย G100/H, G300/H และ G500/H แสดงดังกราฟรูปที่ 4.24 วิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600-1,800 nm



รูปที่ 4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือด ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.4.1 การวิเคราะห์ทางสถิติการดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด

จากรูปที่ 4.26 พิจารณาค่าทางสถิติด้วย One-way ANOVA สารละลายมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้ผลแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าพิกัดดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลาย

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง (Ab)	
	ตัวทำละลาย : สารทดแทนเลือด	ตัวทำละลาย : น้ำ DI
0	2.4104 ± 0.0153 ^a	2.4199 ± 0.0175 ^a
100	2.4203 ± 0.0137 ^a	2.4451 ± 0.0175 ^a
300	2.4261 ± 0.0141 ^b	2.4613 ± 0.0148 ^b
500	2.4342 ± 0.0144 ^b	2.4633 ± 0.0170 ^b

หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนแสง (Ab) ของตัวทำละลายสารทดแทนเลือดและตัวทำละลายน้ำ DI ที่ค่าพิกัด 1,660 nm และ 1,680 nm ตามลำดับ

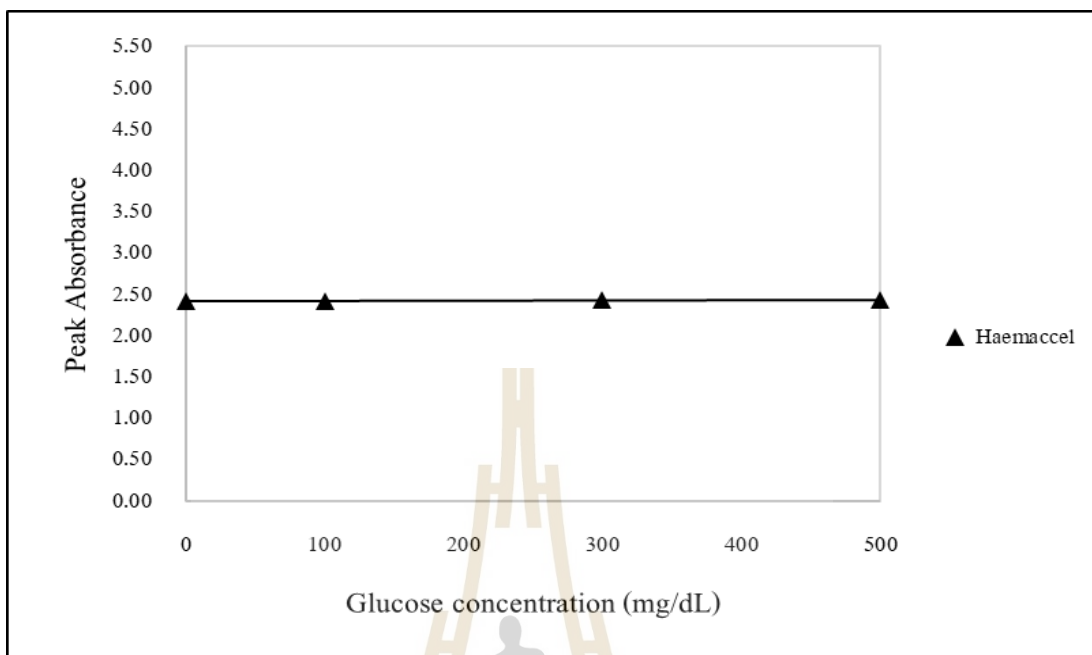
¹ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในสารทดแทนเลือดจำนวน 30 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

²ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในสารละลายน้ำจำนวน 30 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

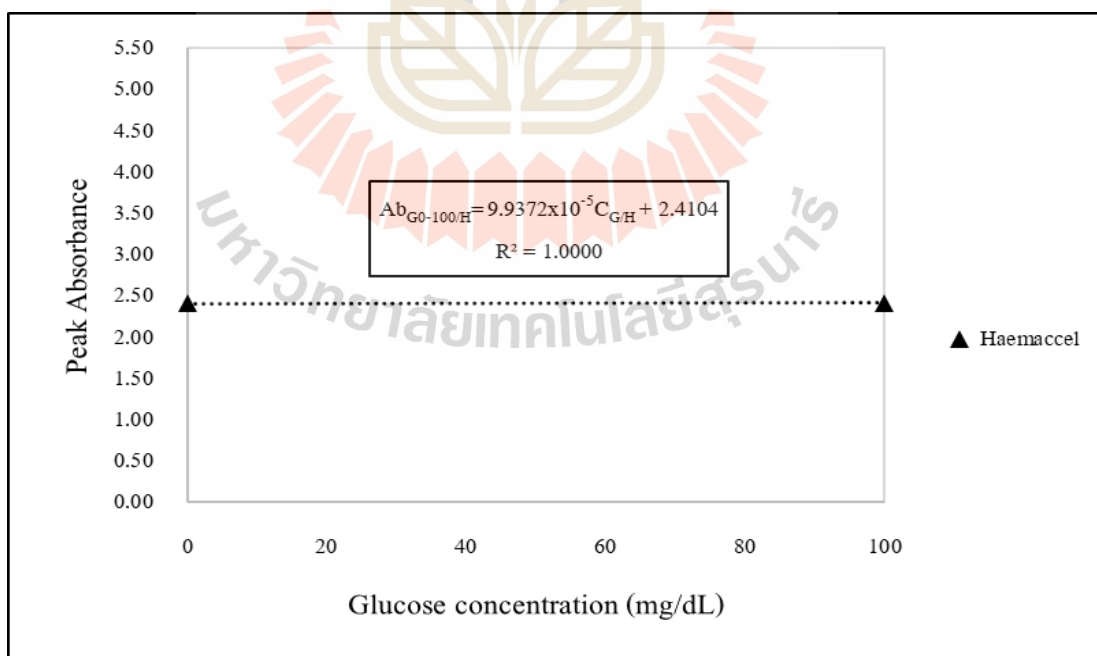
จากการนำค่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสในสารทดแทนเลือดมาพิจารณา Grouping information ของค่าการดูดกลืนแสงทางสถิติพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารในแต่ละช่วงความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยจะมีความแตกต่างในช่วงความเข้มข้น 300 -500 mg/dL

จากตารางที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลายที่ค่าเบี่ยงเบนจากเดิมที่สารละลายกลูโคสและน้ำตอบสนอง ที่ความยาวคลื่น 1,660 nm จากความยาวคลื่น 1,680 nm และพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลายมีพีคการดูดกลืนแสงที่ลดลงกว่าสารละลายกลูโคสที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากสารละลายทดแทนเลือดที่เป็นตัวทำละลายนี้มีองค์ประกอบของสารอื่นๆมากกว่าน้ำ ส่งผลให้พีคของสเปกตรัมลดลงจากเส้นความเข้มข้นเดิม เนื่องจากการบดบังจากโมเลกุลของสารอื่นๆที่เจือปนอยู่ในสารละลายทดแทนเลือด แต่หากพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงพบว่าช่วงความแตกต่างของสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 100 mg/dL, 300 mg/dL และ 500 mg/dL มีค่าการตอบสนองเส้นสเปกตรัมที่เป็นแบบแผนกว่าสารละลายกลูโคสที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากสารทดแทนเลือดมีองค์ประกอบของสารอื่นๆปะปนทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงเนื่องจากถูกบดบังจากสารอื่นแต่เมื่อสามารถตรวจเจอพันธะ C-H ก็ส่งผลให้เส้นสเปกตรัมระดับความเข้มข้นชัดเจนขึ้นเองจากองค์ประกอบสารที่อยู่ในสารทดแทนเลือดมีพันธะ C-H ที่ช่วยเสริมให้การแยกระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสชัดเจนขึ้นด้วย

4.4.2 สมการทำนายพฤติกรรมการดูดกลืนแสงของสารทดแทนเลือด



รูปที่ 4.27 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือด ที่ความเข้มข้นต่างๆ

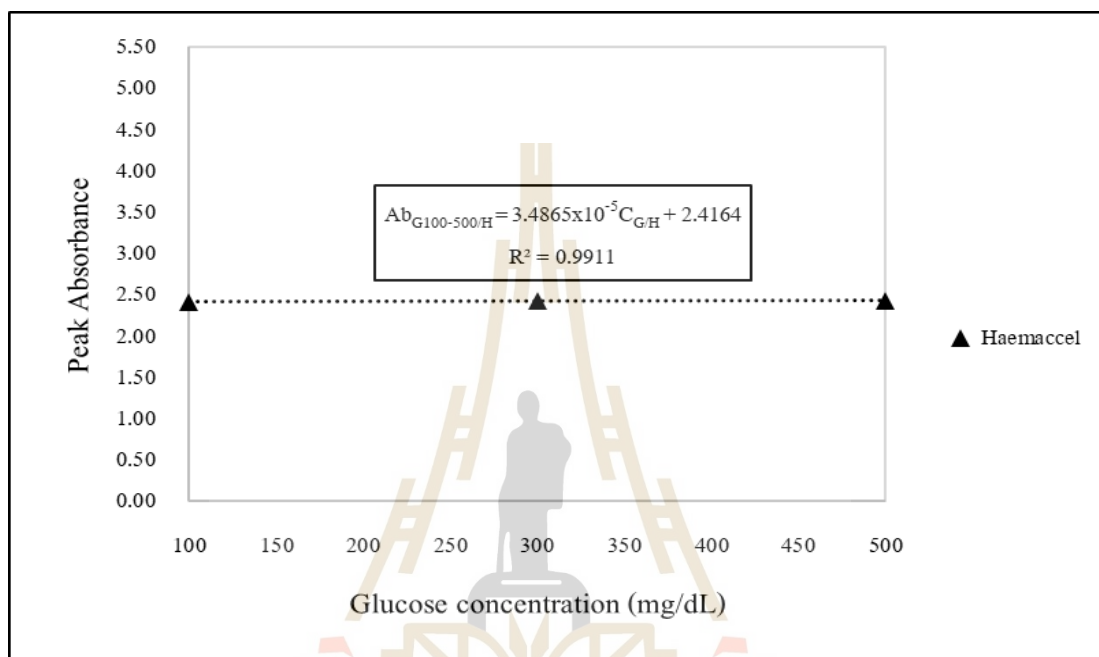


รูปที่ 4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือดที่ ความเข้มข้น 0-100 mg/dL

- ที่ความเข้มข้นกลูโคส 0-100 mg/dL ที่ละลายในสารทดแทนเลือดแสดงดังสมการ

$$Ab_{G0-100/H} = 9.9372 \times 10^{-5} C_{G/H} + 2.4104 \quad (4.10)$$

โดยค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $0 \text{ mg/dL} \leq C_{G/H} \leq 100 \text{ mg/dL}$



รูปที่ 4.29 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือด ที่ความเข้มข้น 100-500 mg/dL

- ที่ความเข้มข้นกลูโคส 100-500 mg/dL ที่ละลายในสารทดแทนเลือดแสดงดังสมการ

$$Ab_{G100-500/H} = 3.4865 \times 10^{-5} C_{G/H} + 2.4164 \quad (4.11)$$

โดยค่าความเข้มข้นกลูโคสในช่วง $100 \text{ mg/dL} \leq C_{G/H} \leq 500 \text{ mg/dL}$

จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) มีค่าเท่ากับ 1.0000 และ 0.9911 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสละลายในสารทดแทนเลือด) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ ในระดับถูกต้องเหมาะสมในแต่ละระดับอุณหภูมิของสารได้จากสมการทำนาย (Predicted) และจากการทดลอง (Experimental) เปรียบกันได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าความคลาดเคลื่อนการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลาย

ความเข้มข้น สารละลายกลูโคส (mg/dL)	ค่าการดูดกลืนแสง จากสมการควบคุม (สารทดแทนเลือด)	ค่าการดูดกลืนแสง จากทดลอง (สารทดแทนเลือด)	%ค่า ความคลาด เคลื่อน
0	2.4100	2.4104	0.02
100	2.4235	2.4203	0.13
300	2.4305	2.4261	0.18
500	2.4375	2.4342	0.13

จากตารางที่ 4.14 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการดูดกลืนแสงของสารมีค่าน้อยกว่า 5% ดังนั้นสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้ทำนายการดูดกลืนแสงของสารละลายเมื่อใช้สารทดแทนเลือดเป็นตัวทำละลายได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความยาวคลื่น 1600-1800 nm เป็นช่วงที่เหมาะสมในการตรวจวัดเนื่องจากเป็นช่วงที่แสงอินฟราเรดย่านใกล้

5.1.2 ค่าการดูดกลืนของสารละลายกลูโคสด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส แต่จะแปรผกผันกับปัจจัยความเข้มข้นของสารเจือปน และอุณหภูมิ

5.1.3 สารทดแทนเลือดเมื่อนำมาเป็นตัวทำละลายในสารละลายกลูโคส การดูดกลืนแสงมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากสารทดแทนเลือดมีองค์ประกอบทางเคมีของสารอื่นๆปะปนอยู่ แต่ส่งผลให้การแบ่งความเข้มข้นของสารละลายแสดงผลค่าเส้นสเปกตรัมที่เป็นแบบแผนมากกว่าเส้นสเปกตรัมของสารละลายกลูโคสที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้ สามารถศึกษาปัจจัยที่ผลต่อการตรวจวัดได้เพิ่มเติมเช่น ผลกระทบจากความหนาผิวหน้า สีมืด

5.2.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ยังพบปัญหาในส่วนของ การตรวจวัดระดับน้ำตาลในช่วงความเข้มข้นต่ำ หากต้องการนำแสงอินฟราเรดย่านใกล้ไปพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดควรต้องใช้สารเพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้ชัดเจนขึ้น อาจใช้กลูโคสความเข้มข้นสูงในการกรองความเข้มข้นต่ำ หรือใช้สารอื่นๆมาเป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัด

5.2.3 จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้ สามารถนำไปวัดระดับน้ำตาลในร่างกายด้วยตัวอย่างเลือดจริง เพื่อให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดในร่างกาย

รายการอ้างอิง

- ชัชลิต รัตตสาร. (2560). *สถานการณ์ปัจจุบันและความร่วมมือเพื่อปฏิรูปการดูแลรักษาโรคเบาหวานในประเทศไทย*. สืบค้นจาก <https://www.novonordisk.com>
- นารีนารถ พวงจิ้น. (2559). *การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในไซรัปลั้วยตากเพื่อสุขภาพ* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. (2545). *หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี*. น.39-61. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27 - 28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยะพร เนียมมณี. (2559). *การตรวจสอบคอลลาเจนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพด้วยเทคนิคแสงสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2564). *น้ำตาลในเลือด*. สืบค้นจาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%95%E0%B8%A5%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%94>
- วิบูลย์ เรืองชัยนิคม. (2555). *การตั้งครรภ์ในสตรีสูงอายุ. อ้างใน เยื่อน ต้นนิรันดร วรพงศ์ ภู่งศ์ และ เอกชัย โค้ววิสารัช. (บรรณาธิการ). เวชศาสตร์มารดาและทารกในครรภ์ : Maternal-Fetal Medicine ราชวิทยาลัยสูตินรีแพทย์แห่งประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ราชวิทยาลัยสูตินรีแพทย์แห่งประเทศไทย.*
- วรพรรณ ศิริวัฒนอักษร, ชัชวาล ศรีสวัสดิ์, นีโลบล เนื่องตัน, ภัทรบุตธ มาศรีตัน, และสมทรง เลขะกุล. (2562). *ชีวเคมีของเลือด*. สืบค้นจาก https://www.si.mahidol.ac.th/departament//biochemistry/home/md/lecture/biochemistry_of_blood.pdf
- ศุมาพร เกษมสำราญ. (2549). *การตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำนมวัวดิบแบบรวดเร็วและการหาปริมาณองค์ประกอบน้ำนมโดยไม่ทำลายด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี*. สืบค้นจาก http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=MRG4980149

- สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. (2560). *สถานการณ์โรคเบาหวานในภาคพื้นแปซิฟิก (Western Pacific)*. สืบค้นจาก <https://www.dmthai.org/index.php/knowledge/the-chart/the-chart-1/549-2018-02-08-14-52-46>
- สุจิตรา พงศ์ประสพชัย, อารมณ์ พิชิตการคำ, นุจรี ชื่นยงค์, และวรรณ หิมะสุข. (2557). *ขั้นตอนการตรวจคัดกรองเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์*. สืบค้นจาก <https://hdmall.co.th/c/diabetes-screening>
- สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ. (2561). *ลุยคัดกรองลดภาวะแทรกซ้อนเบาหวาน ปี 60-61 เกินเป้านับล้านราย*. สืบค้นจาก <https://www.nhso.go.th/frontend/NewsInformationDetail.aspx?newsid=MjQxNw==>
- Amir, O., Weinstein, D., Zilberman, S., Less, M., Perl-Treves, D., Primack, H., Weinstein, A., Gabis, E., Fikhte, B., & Karasik, A. (2007). Continuous noninvasive glucose monitoring technology based on "occlusion spectroscopy". *Journal of Diabetes Science and Technology*, 1(4), 463-469. doi:10.1177/193229680700100403
- Cen, H., & He, Y. (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 18(2), 72-83. doi:10.1016/j.tifs.2006.09.003
- De Quirós, A. R. B., Fernández-Arias, M., & López-Hernández, J. (2009). A screening method for the determination of ascorbic acid in fruit juices and soft drinks. *Food chemistry*, 116(2), 509-512. doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.013
- Do Amaral, C. E. F., & Wolf, B. (2008). Current development in non-invasive glucose monitoring. *Medical engineering & physics*. 30(5), 541-549. doi:10.1016/j.medengphy.2007.06.003
- Iwamoto, Mutsuo, Sumio Kawano, and Hideyuki Abe. "Analysis of Hydrogen Bonding Related to Water in Foods." *NIR news* 6.3 (1995): 10-12.
- Jintao, X., Liming, Y., Yufei, L., Chunyan, L., & Han, C. (2017). Noninvasive and fast measurement of blood glucose in vivo by near infrared (NIR) spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 179, 250-254. doi:10.1016/j.saa.2017.02.032

- Lin, T., Gal, A., Mayzel, Y., Horman, K., & Bahartan, K. (2017). Non-invasive glucose monitoring: a review of challenges and recent advances. *Curr. Trends Biomed. Eng. Biosci*, 6(5), 1-8. doi:10.19080/CTBEB.2017.06.555696.
- Osborne, B. G. (1993). Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis. *Longman Scientific & Technical*. 153.
- Pongsittisak, W. (2016). Fluid Therapy in Critically Ill Patients for Reduction of Acute Kidney Injury. *Vajira Medical Journal: Journal of Urban Medicine*, 60(4), 287-296. doi:10.14456/vmj.2016.31
- Rodriguez-Saona, L. E., Fry, F. S., McLaughlin, M. A., & Calvey, E. M. (2001). Rapid analysis of sugars in fruit juices by FT-NIR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 336(1), 63-74. doi:10.1016/S0008-6215(01)00244-0
- So, C. F., Choi, K. S., Wong, T. K., & Chung, J. W. (2012). Recent advances in noninvasive glucose monitoring. *Medical Devices: Evidence and Research*, 5, 45-52. doi:10.2147/MDER.S28134
- Srivastava, A., Chowdhury, M. K., Sharma, S., & Sharma, N. (2013). Blood glucose monitoring using non invasive optical method: Design limitations and challenges. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(1), 615-620.
- Yadav, J., Rani, A., Singh, V., & Murari, B. M. (2015). Comparative study of different measurement sites using NIR based non-invasive glucose measurement system. *Procedia Computer Science*, 70, 469-475. doi:10.1016/j.procs.2015.10.082

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a circular emblem. It features a central figure of a person sitting on a throne, surrounded by a decorative border. The text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี' is written in a curved path around the bottom of the emblem.

ภาคผนวก ก

การศึกษาเปรียบเทียบการใช้เครื่องสเปกโตรสโคปี UV-VIS และ NIR ในการ
ตรวจสอบกลูโคส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปี UV-VIS

การศึกษาเปรียบเทียบการใช้วิธีการทางแสงเพื่อตรวจหากลูโคสในสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นต่างๆ ถูกวัดโดยใช้เทคนิคทางแสง UV-VIS ด้วยเครื่อง UV-VIS spectroscopy รุ่น Hitachi UH5300 ดังรูปที่ ก.1



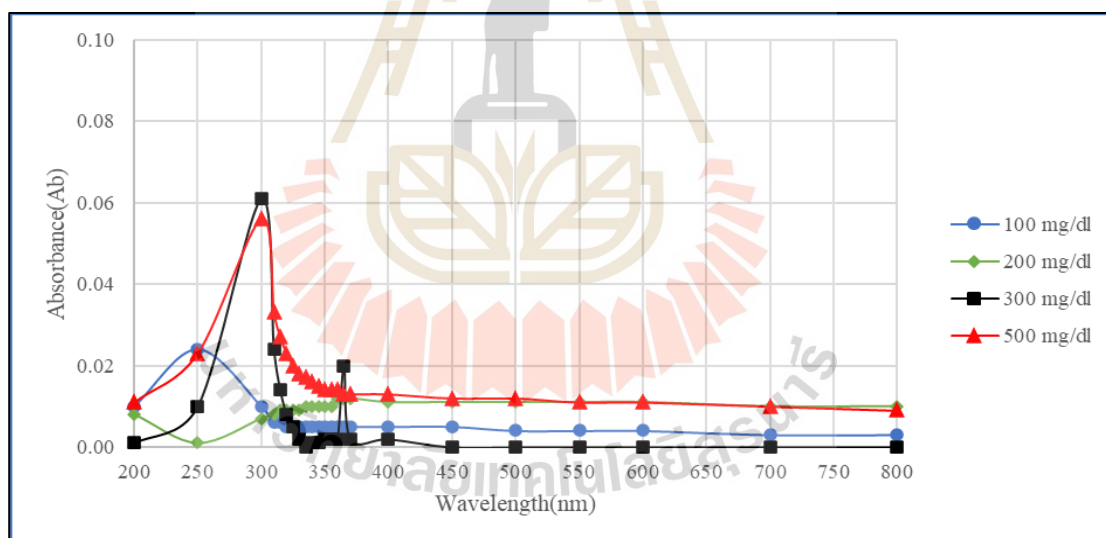
รูปที่ ก.1 เครื่อง UV-VIS spectroscopy รุ่น Hitachi UH5300

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคทางแสงที่เหมาะสมในการตรวจวัดน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะ การทดลองโดยการเตรียมสารละลายกลูโคส 100 mg/dL, 200 mg/dL, 300 mg/dL และ 500 mg/dL ในการทดลอง ตัวอย่างทั้งหมดถูกเตรียมด้วยอุณหภูมิห้อง 25 °C และควบคุมความชื้นที่ 30% RH เพื่อไม่ให้ความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อสารตัวอย่าง แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง UV-VIS ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 การวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสด้วยเครื่อง UV-VIS spectroscopy

การทดลองใช้ช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 200-800 nm ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วง UV-VIS

จากรูปที่ ก.3 พบว่าการดูดกลืนแสงสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างกัน จะมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ความยาวคลื่น 250 nm ค่าพีคความเข้มข้นสารละลาย 100 mg/dL มีค่า 0.024 ที่ความเข้มข้น 300 และ 500 mg/dL มีค่าพีคการดูดกลืนแสง 0.06 และ 0.056 ตามลำดับ ที่ความยาวคลื่น 300 nm และที่ความเข้มข้น 200 mg/dL ค่าพีค 0.012 ที่ความยาวคลื่น 360 nm

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบ พบว่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-VIS ไม่สามารถแยกแยะระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสได้เนื่องจากการตอบสนองไม่มีแบบแผนในแต่ละความเข้มข้น โดยค่าพีคของการตอบสนองในแต่ละความเข้มข้นตอบสนองที่ค่าความยาวคลื่นแตกต่างกัน และค่าการดูดกลืนแสงไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค NIR ซึ่งเทคนิค NIR สามารถแยกความเข้มข้นสารละลายที่แตกต่างกันได้ในช่วงความยาวคลื่น 1600-1800 nm และให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนกว่าเทคนิค UV-VIS เนื่องจากเทคนิค UV-VIS มีความยาวคลื่นที่สามารถทะลุถึงระดับนิเคลียของสารส่งผลต่อการตอบสนองในช่วงพันธะของโมเลกุลกลูโคส และยังส่งผลให้เกิดการสลายพันธะของสารในช่วงคลื่นแสง UV ทำให้พันธะของสารขาดออกจากกันได้ดังนั้นเทคนิค NIR จึงเหมาะสมที่จะนำมาตรวจโครงสร้างกลูโคสระดับโมเลกุลมากกว่าเนื่องจากเป็นช่วงแสงที่ทะลุได้ระดับพันธะและไม่ส่งผลอันตรายต่อเซลล์ในร่างกายด้วย





ภาคผนวก ข

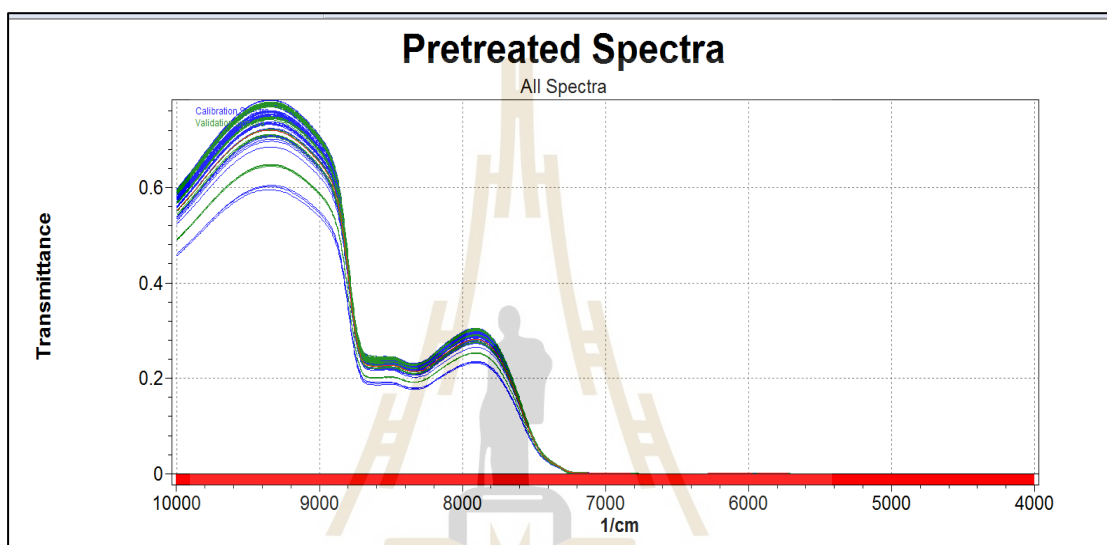
การดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆที่ความยาวคลื่นช่วง 1000-2500 nm

ความยาวคลื่น(nm)	ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ (mg/dL)														
	Water	50	100	150	200	300	500	550	600	650	700	800	1000	10000	50000
1000.00	0.20953	0.20796	0.21279	0.20711	0.20711	0.21417	0.21939	0.2264	0.21702	0.21884	0.22126	0.22516	0.23172	0.22342	0.19639
1050.42	0.10218	0.10204	0.10601	0.10141	0.10141	0.10768	0.11216	0.11913	0.1098	0.11176	0.11452	0.11872	0.12528	0.12096	0.11077
1200.19	0.5809	0.58569	0.58608	0.58464	0.58464	0.58797	0.59079	0.59837	0.5874	0.59021	0.59386	0.59893	0.60549	0.59014	0.53829
1250.00	0.50076	0.50642	0.50755	0.50573	0.50573	0.51037	0.51249	0.51918	0.50933	0.51195	0.51571	0.52041	0.52697	0.51322	0.46918
1300.05	0.60798	0.61013	0.61234	0.60866	0.60866	0.61312	0.61522	0.62298	0.61168	0.61363	0.61719	0.62244	0.629	0.60128	0.50342
1350.62	1.4662	1.47161	1.46835	1.46606	1.46606	1.4689	1.46749	1.48387	1.45765	1.46238	1.46192	1.47102	1.47758	1.41015	1.1505
1400.56	2.90202	2.91618	3.01417	3.01911	3.01911	3.01911	2.86703	2.89506	2.86247	2.70804	3.09048	3.21494	3.22151	2.98219	2.9118
1450.12	3.38004	3.41269	3.38947	3.39496	3.39496	3.61876	3.33957	3.41042	3.71973	3.09619	3.28581	3.38902	3.39558	3.24492	3.09506
1500.60	4.13028	3.91774	3.88991	3.89827	3.89827	4.03496	3.78257	3.83072	3.85872	3.68543	3.76662	3.85545	3.86201	3.80824	3.55674
1550.87	4.67264	4.25052	4.34339	4.16882	4.16882	4.41756	4.3484	4.89734	4.25181	4.30393	4.24841	4.3914	4.39797	4.284	3.96191
1600.51	3.13623	3.16683	3.16535	3.17386	3.17386	3.20126	3.21512	3.20158	3.20343	3.22403	3.19832	3.19819	3.20475	3.37937	3.96994
1650.17	2.52673	2.56088	2.55645	2.5628	2.5628	2.5762	2.57947	2.57643	2.57981	2.58253	2.58168	2.58517	2.59174	2.69601	3.05392
1700.68	2.46128	2.48463	2.48346	2.48573	2.48573	2.49754	2.50047	2.49967	2.4996	2.50164	2.50318	2.50703	2.5136	2.60199	2.89611
1750.70	3.17242	3.18224	3.18686	3.17731	3.17731	3.20331	3.20973	3.20784	3.19913	3.20761	3.19557	3.19604	3.20261	3.30048	3.49871
1801.15	4.02038	3.93228	4.034	3.92766	3.92766	4.02656	4.09824	4.05717	3.99807	4.06888	3.99697	4.00504	4.0116	4.11701	3.99034
1850.48	4.74072	4.6213	4.7779	4.57133	4.57133	4.91721	4.71745	4.49485	5.29148	4.75285	4.63054	4.68301	4.68957	4.82564	4.09691
1901.14	5.03779	4.51157	4.7668	4.57915	4.57915	5.3279	4.56828	4.49485	4.77815	4.60789	4.77873	4.90795	4.91452	4.63447	4.32103
1950.08	5.07486	4.66047	4.84336	4.67435	4.67435	5.20066	4.6408	4.67778	4.98576	4.61979	4.7891	4.96546	4.97202	4.68149	4.33489
2000.00	5.05799	4.63125	4.8722	4.68692	4.68692	5.0655	4.70848	4.93305	4.76391	4.69897	4.79393	4.96756	4.97412	4.68774	4.35409
2050.86	4.96859	4.64302	4.90445	4.70811	4.70811	5.08267	4.70504	4.78693	4.69417	4.74473	4.82601	5.11347	5.12004	4.75022	4.3837
2100.84	4.89734	4.64143	4.97719	4.76479	4.76479	5.05061	4.78018	4.74473	4.83039	4.77815	4.81753	5.09229	5.09885	4.72097	4.42022
2151.46	4.87236	4.66254	4.97558	4.85129	4.85129	5.10977	4.76419	4.70627	4.96747	4.60789	4.83905	5.09458	5.10114	4.69794	4.36068
2200.70	4.89449	4.5673	4.94752	4.79531	4.79531	5.13077	4.72277	4.69179	4.80195	4.55804	4.82317	5.04545	5.05202	4.64075	4.38633
2250.23	4.93617	4.51481	4.91799	4.79531	4.79531	5.19609	4.73834	4.69897	4.90892	4.46009	4.81197	5.03495	5.04151	4.63827	4.37934
2302.03	4.79588	4.49372	4.89936	4.89936	4.67392	5.04737	4.68124	4.74473	4.92082	4.58503	4.76241	5.05027	5.05683	4.61785	4.41832
2351.83	4.85907	4.41879	4.86998	4.86998	4.69224	5.1211	4.63995	4.5477	5.1549	4.51808	4.75346	4.92037	4.92693	4.55247	4.39613
2401.54	5.01848	4.42022	4.83512	4.62168	4.62168	5.21944	4.61559	4.65105	4.83697	4.56331	4.68371	4.90543	4.91199	4.56692	4.39076
2450.98	4.64143	4.31895	4.76038	4.55187	4.55187	4.97333	4.54873	4.4728	4.68008	4.59631	4.63819	4.77609	4.78266	4.4878	4.3279
2500.00	4.59488	4.0951	4.51015	4.30236	4.31258	4.70922	4.2614	4.08619	4.41642	4.11351	4.3662	4.57849	4.58505	4.25163	4.0853

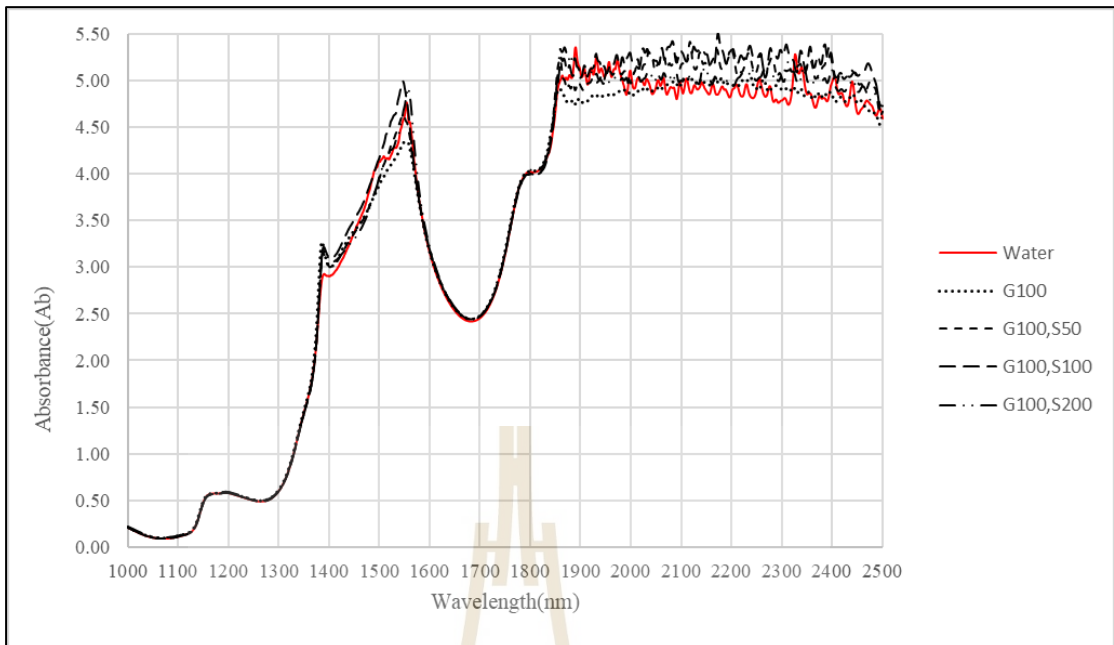
ค่าการดูดกลืนแสงด้วยแสงอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยเครื่อง NIR Spectroscopy BUCHI รุ่น NIR-Flex N 500

การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องแสงอินฟราเรดย่านใกล้ BUCHI รุ่น NIR-Flex N 500 จะวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความคลื่น 1000 -2500 nm โดยจะทำการประมาณผลในแต่ละโหมดการวัดโดยในการทดสอบจะวัดด้วยโหมด Transmittance ค่าการดูดกลืนแสงจะประมาณสเปกตรัมออกมาดังรูปที่ ค.1

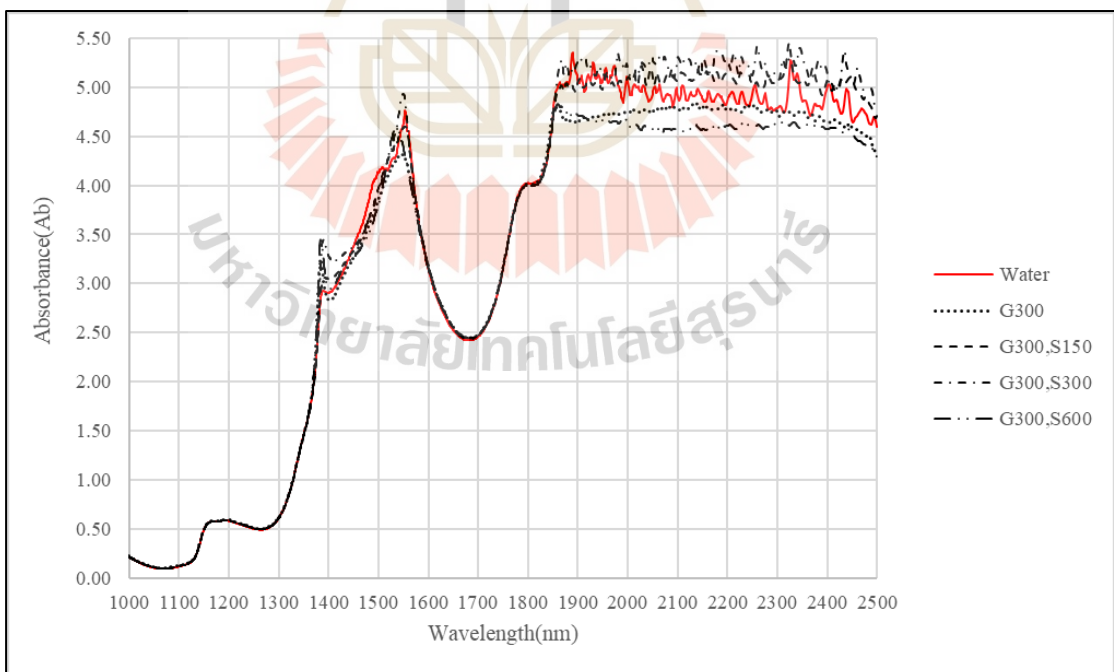


รูปที่ ค.1 การดูดกลืนแสงในโหมด Transmittance

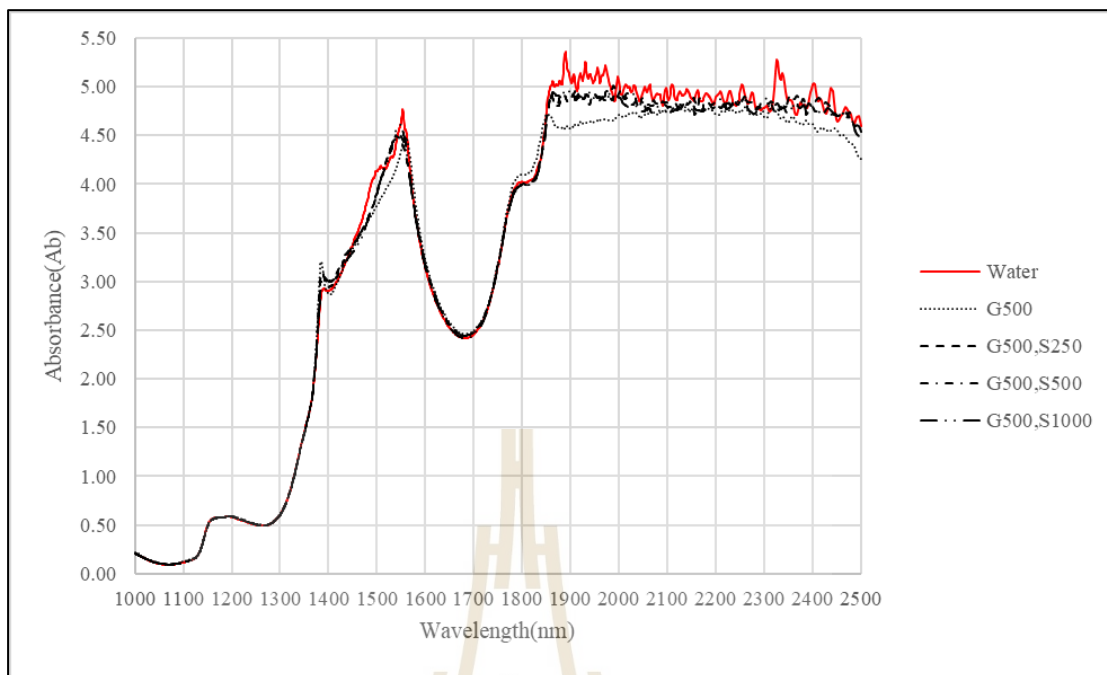
จากนั้นเครื่องมือวัดจะทำการประมาณผลเพื่อแสดงเส้นสเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงออกมาเพื่อนำไปวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ ค.2 ถึง ค.7



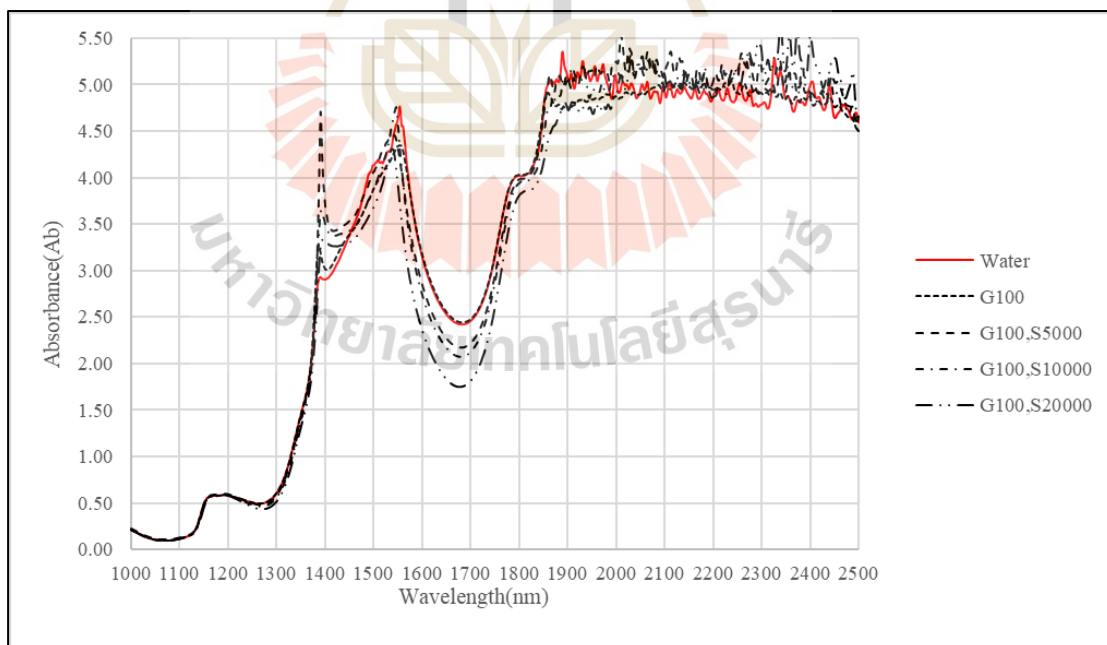
ตารางที่ ค.2 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm



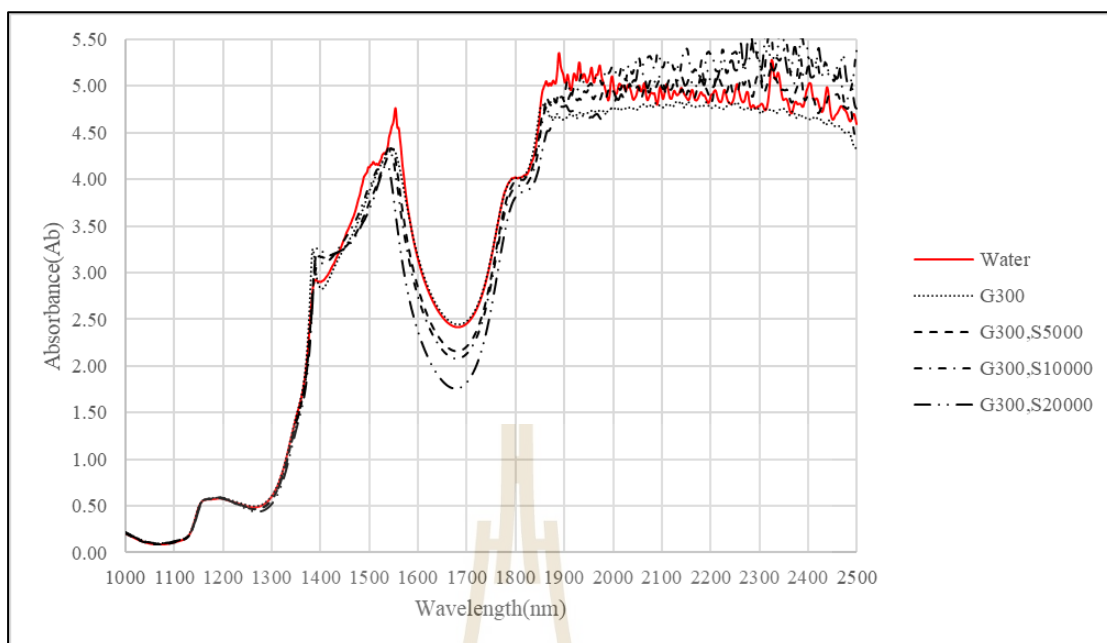
ตารางที่ ค.3 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm



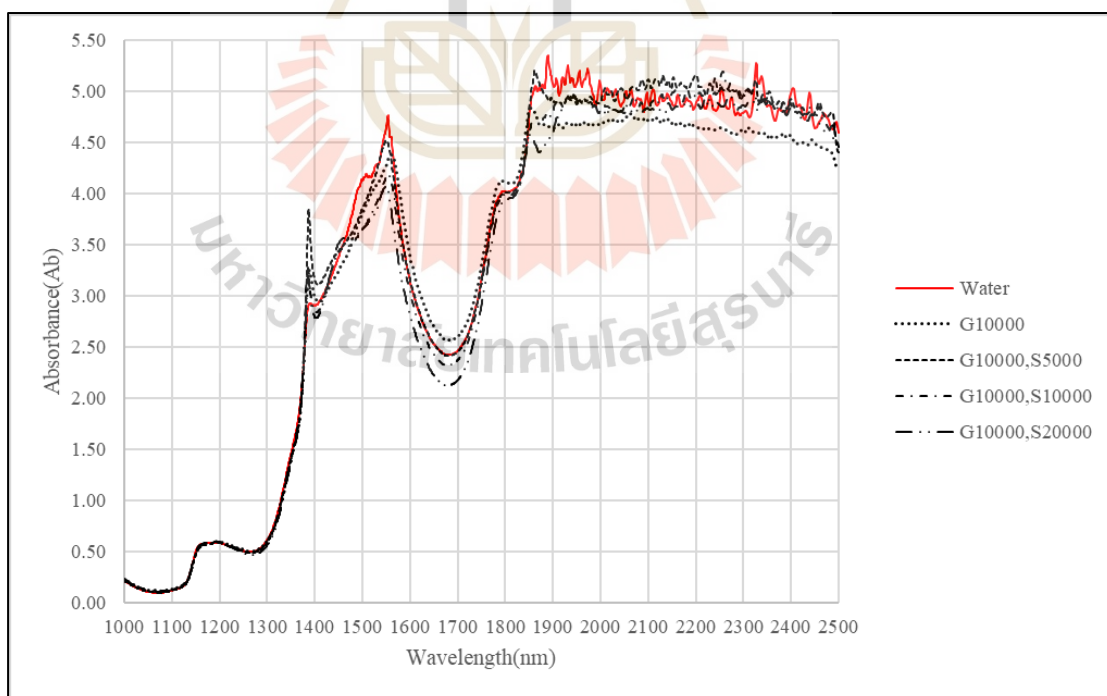
ตารางที่ ค.4 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 500 mg/dL เมื่อมีสารเจือปน ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm



ตารางที่ ค.5 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL ที่มีสารเจือปน ความเข้มข้นสูง ที่ช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm



ตารางที่ ค.6 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL ที่มีสารเจือปน ความเข้มข้นสูง ในช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm



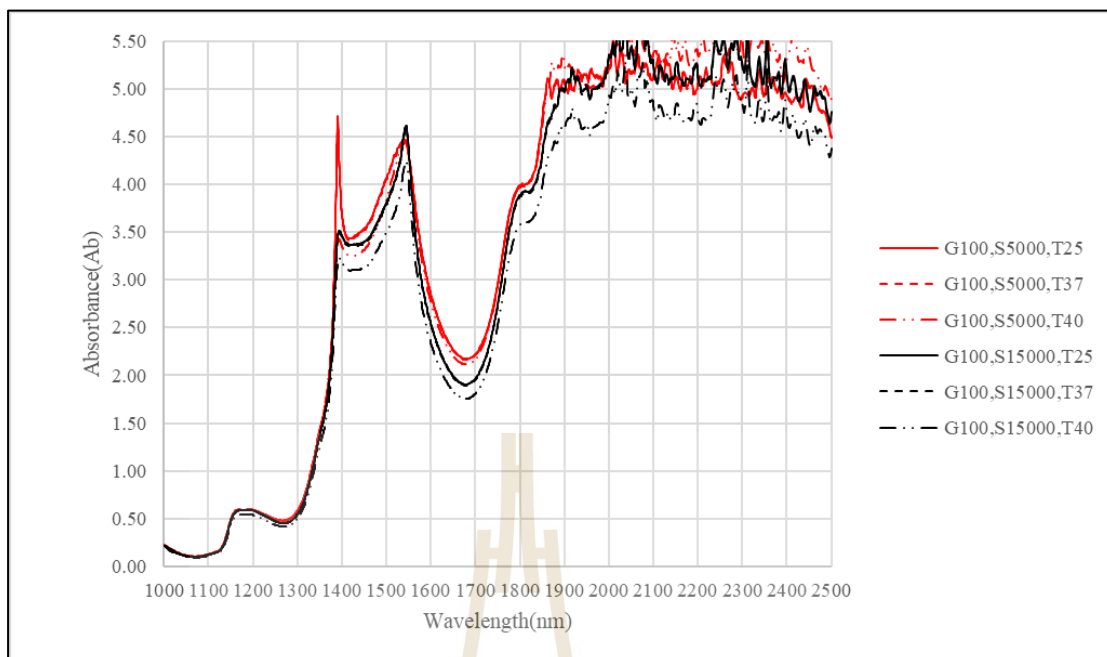
ตารางที่ ค.7 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 10000 mg/dL ที่มีสารเจือปน ความเข้มข้นสูง ในช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm

ภาคผนวก ค

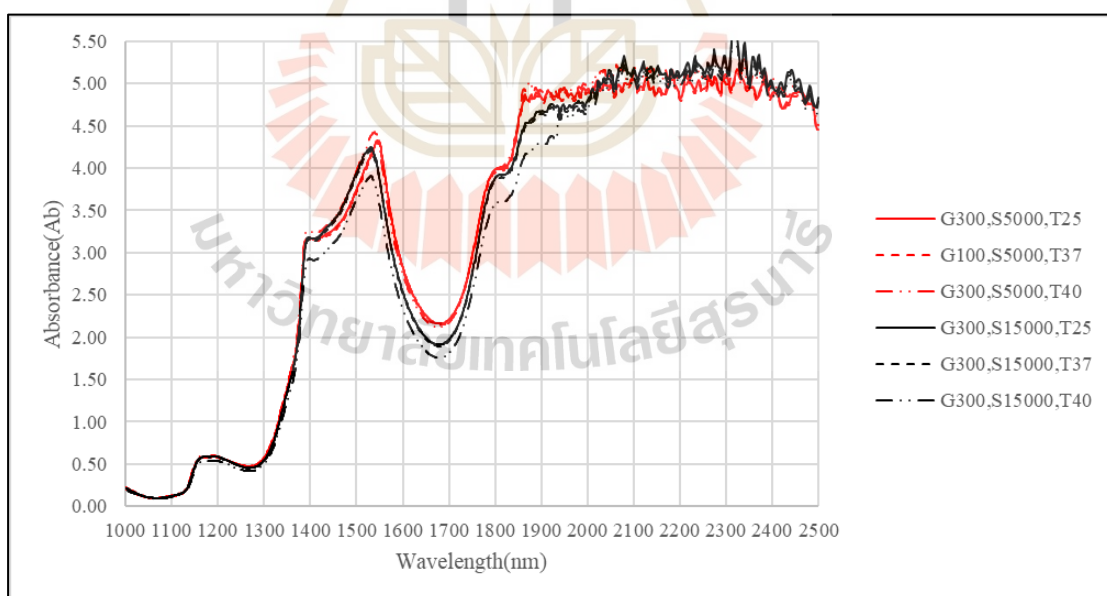
การดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสารละลายเมื่ออุณหภูมิสารเพิ่มขึ้น

ช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



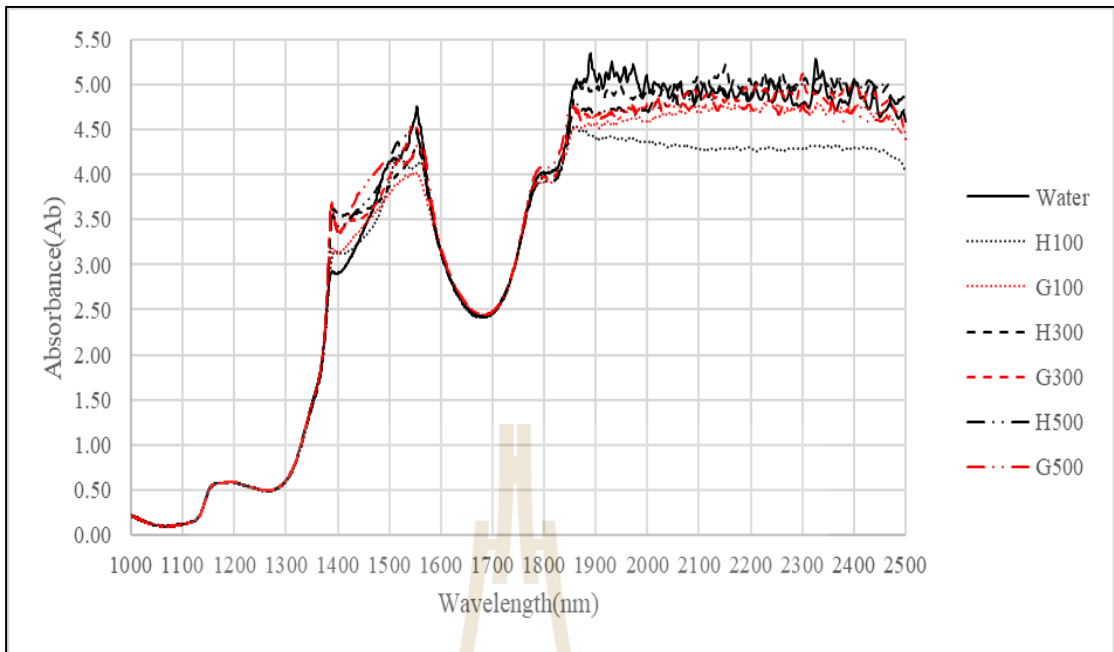
รูปที่ 1 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm



รูปที่ 2 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 300 mg/dL เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm



ภาคผนวก ง
การดูดกลืนแสงของกลูโคสที่ละลายในสารทดแทนเลือด
ช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm



รูปที่ จ.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสและสารทดแทนเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm



ภาคผนวก จ
การจัดเก็บสารเคมีและการจัดการเครื่องมือในการเตรียมตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

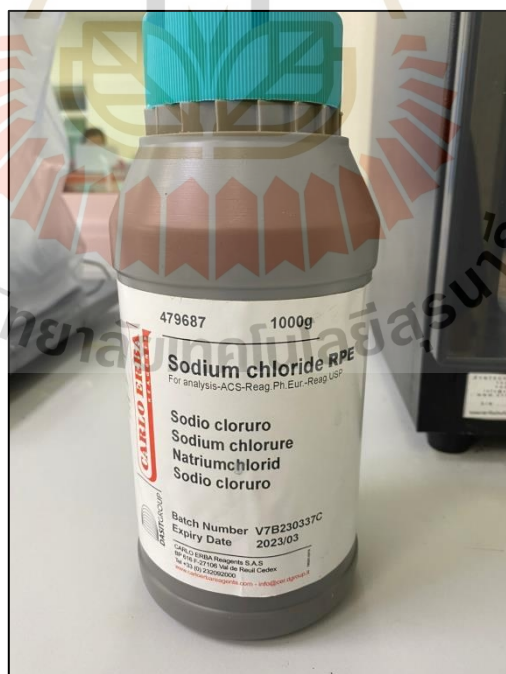
การจัดเก็บสารเคมีและการจัดการเครื่องมือในการเตรียมตัวอย่าง

ในการทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในปัจจัยต่างๆแล้ว การจัดเก็บสารเคมีและการจัดการเครื่องมือในการเตรียมสารตัวอย่างให้ถูกวิธีถือเป็นเรื่องสำคัญ หากไม่มีการจัดการอย่างถูกวิธีอาจส่งผลให้สารตัวอย่างในการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นได้เนื่องจากสารตกค้างและสารเคมีที่เสื่อมคุณภาพ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อใช้สารเคมีเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องปิดฝาให้สนิท และนำเก็บในตู้เก็บสารเคมีที่มีการควบคุมความชื้นที่ 30%RH หรือเก็บในช่องเก็บความเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า -21 °C
2. ทำความสะอาดในส่วนตู้ควบคุมความชื้นสำหรับตักสาร ตวงสาร หรือละลายสาร เพื่อไม่ให้มีสารอื่น หรือสิ่งสกปรกเจือปนลงไปในสารขณะเตรียมสาร
3. สารตัวอย่างเมื่อทำการทดสอบวัดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว เมื่อต้องการทิ้งควรทิ้งในที่ทิ้งสารเคมี และล้างหลอดบรรจุให้สะอาดด้วยน้ำยาสำหรับล้างหลอดทดลอง ตามด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด
4. หลอดคิวเวตที่ใช้ห้รับวัดด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้เมื่อทำการทดสอบแล้วให้ล้างด้วยน้ำยาสำหรับล้างหลอดทดลอง ตามด้วยน้ำเปล่าให้สะอาดโดยห้ามใช้แปรงหรือฟองน้ำที่ส่งผลให้หลอดเกิดรอยเพราะจะส่งผลต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้
5. เมื่อล้างด้วยน้ำเปล่าเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ล้างด้วยน้ำไร้ไอออน (DI Water) 1-2 รอบเพื่อให้สิ่งตกค้างที่ผิวอุปกรณ์ออกให้หมด
6. นำอุปกรณ์ที่เป็นประเภทหลอดแก้วทั้งหมด เข้าอบให้แห้งด้วยเครื่องอบหลอดทดลองที่อุณหภูมิ 40-50 °C จนแห้งแล้วจึงนำเก็บเข้าตู้สำหรับจัดเก็บอุปกรณ์



รูปที่ ฉ.1 สารกลูโคสบริสุทธิ์ชนิดผง



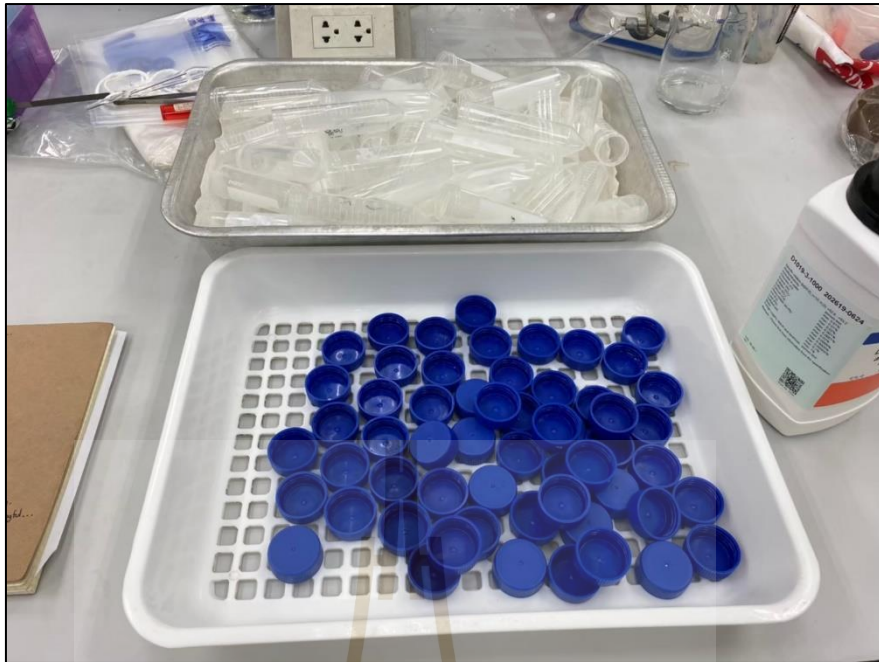
รูปที่ ฉ.2 สารโซเดียมคลอไรด์บริสุทธิ์ชนิดผง



รูปที่ ฉ.3 ตู้เก็บสารเคมีและตู้สำหรับตักสาร



รูปที่ ฉ.4 สารตัวอย่างที่บรรจุในหลอดเซนติฟิวส์



รูปที่ ๑.5 หลอดเซนตริฟิวส์เตรียมเพื่อการอบให้แห้ง



รูปที่ ๑.6 การนำคิวเวตอบเพื่อให้แห้ง



รูปที่ ๗.7 ตู้อบหลอดทดลอง

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจุลลดา แซ่เตี้ยว เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2535 ศึกษาในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนบุญวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2557

ปี พ.ศ.2561 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (วิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะที่ศึกษาได้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอน ในรายวิชาพื้นฐานวิศวกรรมเครื่องกล ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล และเขียนแบบวิศวกรรม

ผลงานวิจัย: ได้นำเสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering 2019. Sabah, Malaysia. August 14- 16, 2019 เรื่อง Comparative Study of Using UV-VIS and NIR Spectroscopy for Glucose Monitoring



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี