สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์

Concentration Measurement of Sugar Solutions by Polarimeter

T123373

นางสาวมินรญา สงวนชีพ

นางสาวลดารัตน์ พุ่มพวง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 123373
วัน,เดือน,ปี 8 พย 2555

b.....
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์

นางสาวมินรญา สงวนชีพ

นางสาวลดารัตน์ พุ่มพวง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCENTRATION MEASUREMENT OF SUGAR SOLUTIONS BY POLARIMETER

MISS MINRAYA SA-NGUAN-CHEEP

MISS LADARATH POOMPOUNG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS-SCIENCE AND INDUSTRY INSTRUMENTATION

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์ Concentration Measurement of Sugar Solutions by Polarimeter
ชื่อนักศึกษา	นางสาวมินรญา สงวนชีพ นางสาวลดารัตน์ พุ่มพวง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วรการ นียากร	
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์
ชื่อนักศึกษา นางสาวมินรญา สงวนชีพ
นางสาวลดารัตน์ พุ่มพวง
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2553
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์ โดยใช้หลักการที่ว่าแนวโพราไรซ์ของแสงจะบิดไปมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย โดยการวัดมุมของแนวโพลาไรซ์ที่บิดไปจะสามารถนำไปคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายได้โพลาริมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในโครงงานพิเศษนี้ ประกอบด้วย เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น แผ่นวิเคราะห์แนวแสงโพลาไรซ์ทำหน้าที่วิเคราะห์แนวแสงโพลาไรซ์ที่บิดไปคิวเวตต์ควอตซ์ใส่สารละลายตัวอย่างและโฟโตดีเทคเตอร์แผ่นวิเคราะห์แนวแสงโพลาไรซ์ซึ่งติดตั้งอยู่บนแท่นหมุนจะถูกขับเคลื่อนให้หมุนด้วยสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิด 5 เฟส ซึ่งถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ความเข้มแสงซึ่งถูกวัดด้วยโฟโตดีเทคเตอร์จะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ จากระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่าความละเอียดในการหมุนมีค่า0.01องศา เมื่อเทียบกับ 0.08 องศา เมื่อหมุนด้วยมือการทดลองทำโดยการเปรียบเทียบผลการวัดด้วยมือกับคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทราย(ซูโครส) แลกโตส และกลูโคสที่ความเข้มข้นในช่วง0.1-0.35 กรัม/มิลลิลิตร พบว่าเมื่อทำการวัดด้วยมือมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง1% ถึง 13 %ตามลำดับ ส่วนการวัดด้วยระบบคอมพิวเตอร์พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง0.1% ถึง 5%ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Concentration Measurement of Sugar Solutions by Polarimeter

Students Miss Minraya Sa-nguan-cheep

Miss Ladarath Poompoung

Degree Bachelor of Science

Programme Applied Physics-Science and Industry Instrument

Academic Year 2010

Advisor Associate Professor Dr. Warawoot Thowladda

ABSTRACT

This special project proposes a study of a polarimeter for measuring of sugar solutions concentration. Polarimetry measures the rotation of polarized light as it passes through a sugar solution. The measured rotation can be used to calculate the value of solution concentrations. A developed polarimeter consists of a helium neon laser as a polarized light source, an analyzer mounted on a rotation stage with a graduated scale for measuring the rotation angle, quartz cuvette and photodetector. The rotation stage was driven by computer controlled 5-phases stepper motor. By computer controlled angular measurement, the resolution of 0.01 degree can be achieved compared to 0.08 degree by manual measurement. The light intensity was measured by photodetector and transferred to the computer. The measurement of sucrose, lactose and glucose solutions of concentration between0.1 g/ml and 0.35 g/ml were carried out by manual and computer controlled angular measurements. The error of manual measurements was found to be in range between 1% and 13%. The error of computer controlled measurements was found to be in range between 0.1% and 5%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ คุณสมพบ แซ่เจี่ย ที่เป็นที่ปรึกษา กรุณาสละเวลา ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำโครงงาน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่า

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่น่ารักทุกๆคนที่เป็นเพื่อนที่ดีตลอดมา

นางสาวมินรญา สงวนชีพ

นางสาวลดารัตน์ พุ่มพวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1หลักการโพลาไรซ์ของแสง	4
2.2 สถานะโพลาไรเซชันของแสง (Polarization state)	4
2.2.1 โพลาไรซ์เชิงเส้นหรือโพลาไรซ์เชิงระนาบ (linear or plane polarization)	4
2.2.2 โพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)	6
2.2.3 โพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)	6
2.3 การทำแสงไม่โพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรซ์	7
2.4 การทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์โดยการดูดกลืน (absorption or dichroism	7
2.5 การทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์โดยใช้แผ่นโพลารอยด์	8
2.6 การย้ายแกนโพลาไรซ์	13
2.7 Optical Acitivity	14
2.8 การวัด Optical Activity	16
2.9 การประยุกต์ใช้เครื่อง polarimeter	17
2.10 การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ในอุตสาหกรรมต่างๆ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานพิเศษ 20

3.1.1แหล่งกำเนิดแสงจาก He-Ne Laser 20

3.1.2 แผ่นโพลารอยด์ 20

3.1.3 Photodetector 21

3.1.4 คิวเวตต์ (Cuvette) 22

3.1.5 สารละลายน้ำตาล 23

3.1.6 IEE-488 Cable 24

3.1.7 USB to GPIB 25

3.1.8 Driver ขับมอเตอร์ (MMC-2) 26

3.1.9 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 26

3.1.10 มอเตอร์ 27

3.1.11 หม้อแปลง 28

3.2 ทำการติดตั้ง Polarimeter 29

3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย 34

3.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่มีผลต่อมุมบิด Polarizer 36

3.4.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 37

3.4.2 การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ 37

3.4.3 ขั้นตอนการใช้หน้าต่างโปรแกรม 38

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การหาความเข้มข้นของสารละลายด้วยโพลาริมิเตอร์ 41

4.2 การนำเครื่องโพลาริมิเตอร์ไปใช้กับคอมพิวเตอร์ 46

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 61

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1.1 การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทราย (ซูโครส) 41

ตารางที่ 4.1.2 การวัดความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส 42

ตารางที่ 4.1.3 การวัดความเข้มข้นของสารละลายแลกโตส 43

ตารางที่ 4.2.1 การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทราย (ซูโครส) 46

ตารางที่ 4.2.2 การวัดความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส 51

ตารางที่ 4.2.3 การวัดความเข้มข้นของสารละลายแลกโตส 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.21 ขวดน้ำเชื่อมและแผ่นพลาสติกวางอยู่ระหว่างแผ่นโพลาไรซ์เพื่อสาธิตสมบัติ optical activity ของวัสดุ 16

รูปที่ 2.22 เทปกาวใสที่ปิดทับให้มีความหนาต่างกัน วางอยู่ระหว่างแผ่นโพลาไรซ์ 16

รูปที่ 2.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง α และความเข้มข้น (c) ของสารละลายมาตรฐาน 18

รูปที่ 2.24 เครื่อง polarimeter 19

รูปที่ 3.1 แผนภาพ ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน 20

รูปที่ 3.2 ระนาบโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์ 21

รูปที่ 3.3 Photodetector และวงจรของ Photodetector 22

รูปที่ 3.4 ที่ใส่สารตัวอย่าง 22

รูปที่ 3.5 การใช้คิวเวตต์ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ 23

รูปที่ 3.6 IEEE-488 Cable 25

รูปที่ 3.7 USB to GPIB (Agilent 82357B) 26

รูปที่ 3.8 Driver ขับมอเตอร์ (MMC-2) 26

รูปที่ 3.9 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (DMM) 26

รูปที่ 3.10 สเต็ปมอเตอร์ 27

รูปที่ 3.11 หม้อแปลง 28

รูปที่ 3.12 He-Ne laser 29

รูปที่ 3.13 คิวเวตต์ (Cuvette) 29

รูปที่ 3.14 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 30

รูปที่ 3.15 มอเตอร์ 30

รูปที่ 3.16 สเต็ปมอเตอร์ที่ติดกับแผ่นโพลารีมิเตอร์ 30

รูปที่ 3.17 Driver ขับมอเตอร์ (MMC-2) 31

รูปที่ 3.18 Detector 31

รูปที่ 3.19 IEE-488 Cable 31

รูปที่ 3.20 USB to GPIB 32

รูปที่ 3.21 Diagram ของระบบ polarimeter 32

รูปที่ 3.22 ระบบ polarimeter ที่ใช้ 33

รูปที่ 3.23 การนำน้ำตาลทรายไปชั่ง 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.24 คนให้น้ำตาลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน 35
รูปที่ 3.25 นำสารละลายที่ได้นี้ใส่ลงในคิวเวตต์ (Cuvette) 35
รูปที่ 3.26 การจัดอุปกรณ์ทดลอง เมื่อมีสารละลายมาวาง 36
รูปที่ 3.27 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ 37
รูปที่ 3.28 หน้าต่างโปรแกรม 38
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลทรายกับมุมบิด 44
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสกับมุมบิด 44
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับมุมบิด 45
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference (ความเข้มข้น 0.1 g/ml) 47
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference (ความเข้มข้น 0.15 g/ml) 48
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference (ความเข้มข้น 0.20 g/ml) 48
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference (ความเข้มข้น 0.25 g/ml) 49
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference (ความเข้มข้น 0.30 g/ml) 49
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference (ความเข้มข้น 0.35 g/ml) 50
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับมุมบิด 50
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference (ความเข้มข้น 0.1 g/ml) 52
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference (ความเข้มข้น 0.15 g/ml) 53
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference (ความเข้มข้น 0.2 g/ml) 53
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference (ความเข้มข้น 0.25 g/ml) 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference (ความเข้มข้น 0.3 g/ml) 54

รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference (ความเข้มข้น 0.35 g/ml) 55

รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับมุมบิด 55

รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference (ความเข้มข้น 0.1 g/ml) 57

รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference (ความเข้มข้น 0.15 g/ml) 58

รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference (ความเข้มข้น 0.2 g/ml) 58

รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference (ความเข้มข้น 0.25 g/ml) 59

รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference (ความเข้มข้น 0.3 g/ml) 59

รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference (ความเข้มข้น 0.35 g/ml) 60

รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับมุมบิด 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการศึกษาในเรื่องของแสงมีอย่างต่อเนื่องและแพร่หลาย ในการดำรงชีวิตของมนุษย์นั้น แสงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยแสงได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทุกๆด้าน ทั้งในด้านของการนำเทคโนโลยีด้านแสงมาใช้ในการติดต่อสื่อสารและด้านอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคต่างทางแสง โดยเทคนิคทางแสงที่หน้าสนใจอีกอย่างหนึ่งซึ่งนิยมนำมาประยุกต์ใช้กันคือ การควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสงเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการทดสอบสมบัติของสิ่งต่าง ๆ

ในอุตสาหกรรมอาหารบางอย่าง เช่น การผลิตน้ำผลไม้และไวน์ เป็นต้น การควบคุมปริมาณน้ำตาลในผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลผลิต หรือในกรณีของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ราคาอ้อยจะถูกกำหนดด้วยความหวานของอ้อยซึ่งก็คือความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำอ้อยนั่นเอง การวัดความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายจึงมีความสำคัญต่ออุสาหกรรมดังกล่าวอย่างสูง การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีหลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมเนื่องจากใช้ง่าย ราคาไม่แพงแต่มีความแม่นยำสูง ได้แก่ การวัดด้วยเครื่องโพลาริมิเตอร์

โพลาริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการบิดไปของแนวโพลาไรซ์ของแสงเมื่อเดินทางผ่านของเหลวที่มีสมบัติว่องไวเชิงแสง (optically active fluid) โดยการวัดมุมที่แสงโพลาไรซ์บิดไปจะสามารถคำนวณความเข้มข้นของสารละลายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารละลายน้ำตาลและน้ำมันระเหย (volatile oils) โพลาริมิเตอร์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ หลอดใส่สารละลาย แผ่นวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์ (analyzer) และสเกลสำหรับวัดมุม เมื่อแสงโพลาไรซ์ถูกฉายผ่านสารละลายในหลอดแนวโพลาไรซ์ของแสงจะบิดไปทางซ้ายหรือทางขวาขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของสารละลาย ส่วนมุมที่บิดไปมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย โดยการหมุนแผ่นวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์จะทำให้ทราบมุมที่แสงโพลาไรซ์บิดไป จากนั้นนำค่ามุมที่วัดได้ไปคำนวณความเข้มข้นของสารละลายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานพิเศษนี้ ผู้จัดทำมีแนวคิดในการประดิษฐ์เครื่องโพลาริมิเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งสร้างขึ้นเพื่อวัดการบิดไปของระนาบของแสงโพลาไรซ์เนื่องจากสารละลาย โดยการหมุนแผ่นวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์จะถูกขับด้วยมอเตอร์ความละเอียดสูงซึ่งถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ความเข้มแสงที่ผ่านแผ่นวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์จะถูกวัดด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ ข้อมูลความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการหมุนของแผ่นวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์จะถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณมุมที่แสงโพลาไรซ์บิดไปพร้อมกับการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการของเครื่องโพลาริมิเตอร์

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องโพลาริมิเตอร์

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานทางด้านแสงและการเกิดโพลาไรซ์เซชัน

1.3.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการต่างๆ รวมถึงการใช้งานของเครื่อง โพลาริมิเตอร์

1.3.3 ทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้บังคับมอเตอร์ในการหมุนแผ่นโพราลอยด์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนทิศทาง ของแสงที่โพลาไรซ์

1.3.4 สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1.3.5 ทดสอบการใช้งานและประเมินผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการทำโครงงานพิเศษและวิธีการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
มิถุนายน – กรกฎาคม 2553	1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานทางด้านแสงและการเกิดโพลาไรซ์เซชัน รวมถึงหลักการใช้งานของเครื่องโพลาริมิเตอร์
สิงหาคม 2553	2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่จะใช้เพื่อทำการศึกษาทดลอง
กันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2553	3. ทดสอบการใช้งาน
พฤศจิกายน – ธันวาคม พ.ศ. 2553	4. ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ
มกราคม –กุมภาพันธ์ 2554	5. สรุปการทำโครงงานพิเศษ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำความรู้ในเรื่องของการโพลาไรซ์ของแสงมาประยุกต์ใช้กับเครื่องโพลาริมิเตอร์

1.5.2 เป็นการพัฒนาทางด้านทักษะในการคิดและแก้ปัญหาของงานต่างๆ ในการทำโครงงานพิเศษของผู้จัดทำโดยสามารถ นำมาต่อยอดโครงงานได้

1.5.3 สามารถนำหลักการในโครงงานพิเศษไปศึกษาและพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

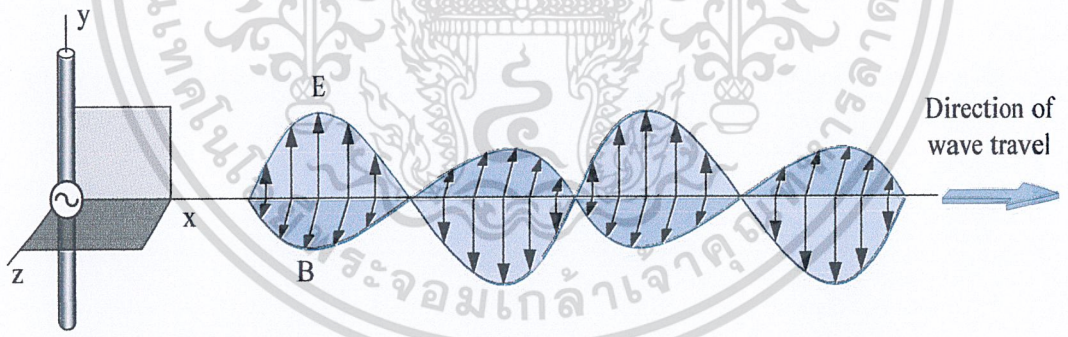
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

โพลาริมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดมุมของระนาบของแสงโพลาไรซ์ที่หมุนไปเมื่อผ่านสารละลายที่มีคุณสมบัติ optically active การหมุนระนาบของแสงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง อุณหภูมิ สูตรโครงสร้าง และความเข้มข้นของสารที่แสงผ่าน สำหรับส่วนประกอบของโพลาริมิเตอร์มีแหล่งกำเนิดแสง polarizer หลอดใส่สารละลายและ analyzer ซึ่งจะอาศัยหลักการของการ โพลาไรเซชัน

2.1 หลักการโพลาไรซ์ของแสง

การโพลาไรซ์เป็นสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสง ที่อธิบายทิศทางการแกว่งของสนามไฟฟ้าตามขวางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (คลื่นตามยาว เช่น คลื่นเสียง ไม่มีสมบัติการโพลาไรซ์ เนื่องจากการแกว่งมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 2.1 ทิศทางการแกว่งของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

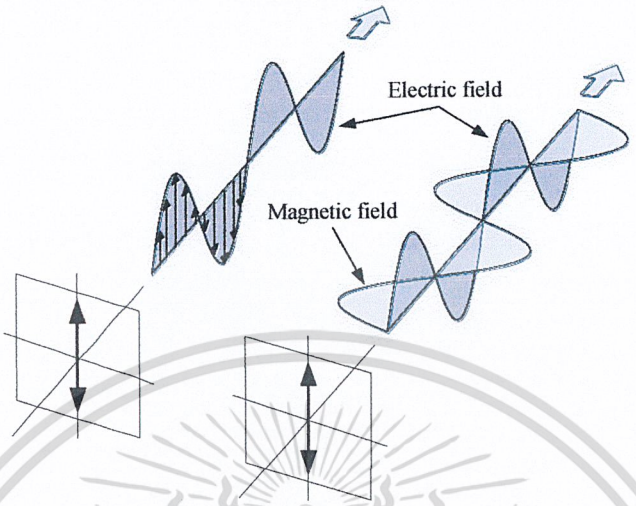
2.2 สถานะโพลาไรเซชันของแสง (Polarization state)

2.2.1โพลาไรซ์เชิงเส้นหรือโพลาไรซ์เชิงระนาบ (linear or plane polarization)

ถ้าสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงมีการแกว่งในระนาบใดระนาบหนึ่ง จะเรียกคลื่นแสงนี้ว่าเป็น แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นหรือแสงโพลาไรซ์เชิงระนาบ (linear or plane polarized light) ถ้าสนามไฟฟ้าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

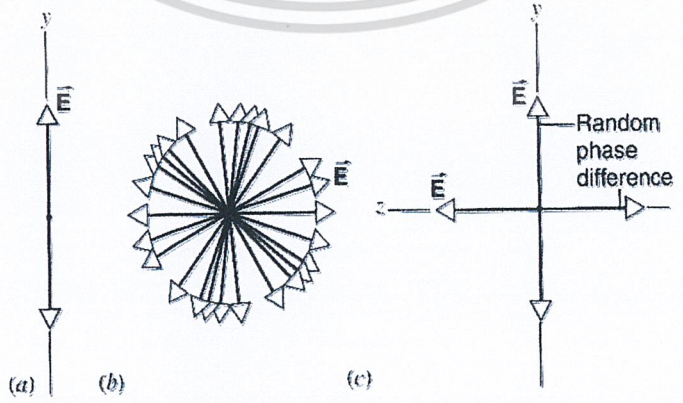
คลื่นแสงมีการแกว่งในทิศทางต่าง ๆ กันและมีเฟสต่างกันอย่างสุ่ม (randomly in time) เรียกว่าเป็นแสงไม่โพลาไรซ์หรือแสงโพลาไรซ์แบบสุ่ม (unpolarized light or random polarized light)



รูปที่ 2.2 แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นหรือแสงโพลาไรซ์เชิงระนาบ

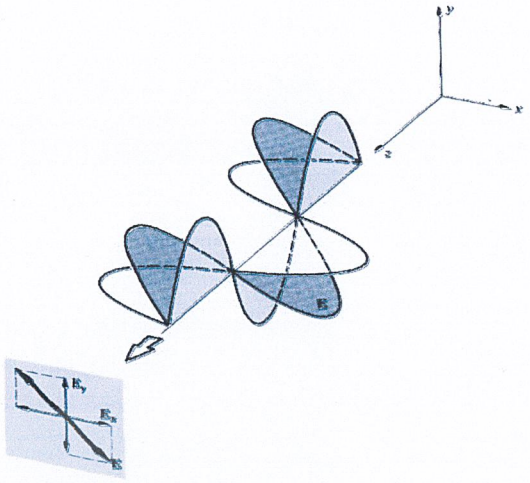
สัญลักษณ์ของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น สัญลักษณ์ของแสงไม่โพลาไรซ์

รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นและแสงไม่โพลาไรซ์



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์ของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวดิ่ง (a) และแสงไม่โพลาไรซ์ (b) และ (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวเฉียงที่เกิดจากสนามไฟฟ้า
ในแนวดิ่งและแนวนอนที่มีเฟสตรงกัน

2.2.2 โพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

ถ้าคลื่นแสงที่มีสนามไฟฟ้าในระนาบที่หมุนไปรอบๆทิศทางการเคลื่อนที่ของแอมปลิจูดมีขนาดไม่คงที่ ทำให้เวกเตอร์สนามไฟฟ้ากวาดเป็นวงรี เมื่อแยกสนามไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนที่ตั้งฉากกันเป็นสนาม x และสนาม y จะพบว่าสนามทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศาและมีแอมปลิจูดไม่เท่ากัน

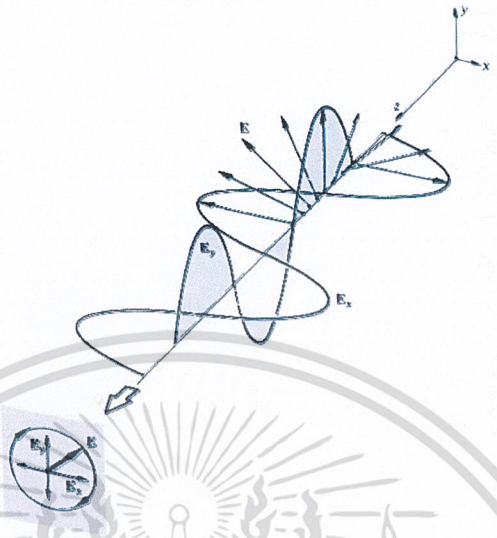
รูปที่ 2.6 ลักษณะของโพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

2.2.3 โพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นซึ่งมีสนามไฟฟ้าอยู่บนระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น ในบางกรณีแสงอาจมีสนามไฟฟ้าอยู่ในระนาบสองระนาบที่ตั้งฉากกัน ถ้าสนามไฟฟ้าของแต่ละระนาบมีเฟสตรงกันและมีแอมปลิจูดเท่ากันอาจกล่าวได้ว่าแสงนั้นเป็นแสงโพลาไรซ์เชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแต่ถ้าสนามไฟฟ้าในระนาบทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศา โดยที่สนามไฟฟ้าทั้งสองที่ทแอมปลิจูดเท่ากัน เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้ารวมจะหมุนเป็นวงกลม เรียกว่า แสงโพลาไรซ์วงกลม



รูปที่ 2.7 ลักษณะของโพลาไรซ์วงกลม **(Circular Polarization)**

2. 3 การทำแสงไม่โพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรซ์

การเกิดโพลาไรเซชันของแสง หรือการทำให้แสงธรรมชาติเป็นแสงโพลาไรซ์ทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การเกิดโพลาไรเซชันโดยการสะท้อน
2. การเกิดโพลาไรเซชันจากการดูดกลืนแสงของผลึกไดโครอิก
3. การเกิดโพลาไรเซชันโดยการหักเหสองแนว
4. การเกิดโพลาไรเซชันโดยการกระเจิง

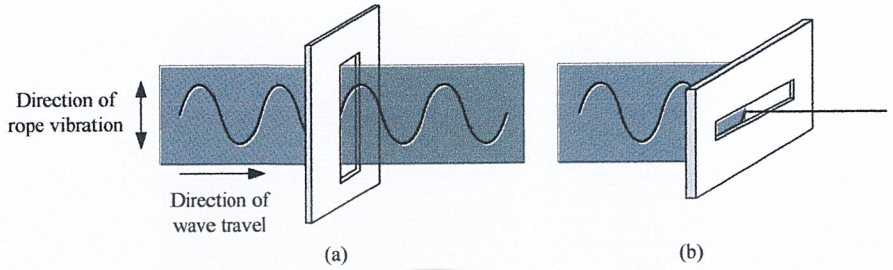
สำหรับโครงงานนี้ จะกล่าวถึงปรากฏการณ์โพลาไรเซชันของแสงโดยการดูดกลืนเท่านั้น

2.4 การทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์โดยการดูดกลืน (absorption or dichroism)

Dichroism เป็นสมบัติที่วัสดุเลือกดูดกลืนแสงเฉพาะแนวใดแนวหนึ่งของแสงโพลาไรซ์ โดยให้อีกแนวหนึ่งสามารถทะลุผ่านไปได้ คล้ายกับคลื่นในเส้นเชือกที่สามารถเดินทางผ่านช่องเปิดแคบ ๆ ได้เมื่อคลื่นในเส้นเชือกแกว่งในแนวเดียวกับช่องเปิดนั้นและจะผ่านไม่ได้ถ้าแกว่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวขวางกับช่องเปิด ดังรูปที่ 2.8 เมื่อแสงเดินทางผ่านวัสดุบางชนิด แนวโพลาไรซ์ของแสงบางแนวจะถูกดูดกลืนในขณะที่แนวโพลาไรซ์บางแนวที่ตั้งฉากกันจะสามารถทะลุผ่านไปได้โดยไม่ถูกดูดกลืน



รูปที่ 2.8 (a) คลื่นในเส้นเชือกจะเดินทางผ่านช่องเปิดแคบ ๆ ได้เมื่อคลื่นในเส้นเชือกแกว่งในแนวเดียวกับช่องเปิด

(b) คลื่นเดินทางผ่านไม่ได้ถ้าคลื่นในเส้นเชือกแกว่งในแนวขวางกับช่องเปิด

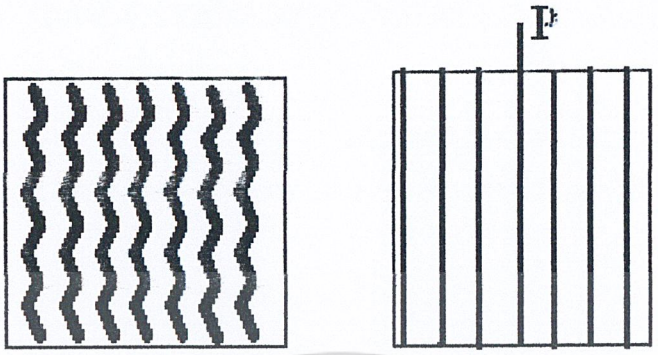
รูปที่ 2.9 สนามไฟฟ้าของแสงในบางแนวถูกดูดกลืนโดยวัสดุ dichroic แสงที่ผ่านออกมาจะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น

2. 5 การทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์โดยใช้แผ่นโพลารอยด์

เราใช้โพลารอยด์กรองแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ โพลารอยด์เป็นฟิล์มของสายโซ่โพลิเมอร์ที่เรียงตัวในแนวเดียว และสามารถดูดซับสนามไฟฟ้าในแนวขวางกับแนวสายโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลิเมอร์ ทำให้เหลือสนามไฟฟ้าในแนวเดียว ที่ขนานกับสายโซ่โพลิเมอร์ ดังนั้นเราจึงเรียกแนวนี้ว่า “แนวโพลาไรซ์” ของโพลารอยด์

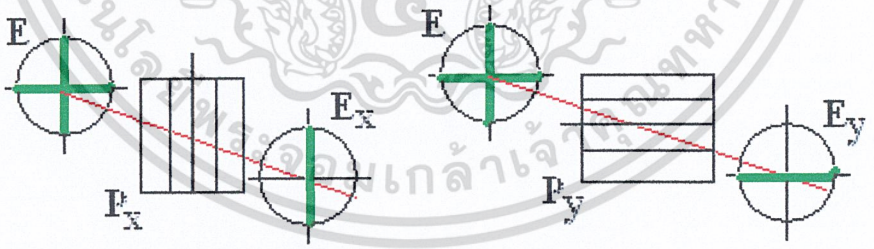


รูปที่ 2.10 แนวโพลาไรซ์ ของแผ่นโพลารอยด์

กำหนดให้ P_a $(a = x, y)$ เป็นโพลารอยด์ที่มีแกนโพลาไรซ์ a และ $\vec{E}$ เป็นแสงไม่โพลาไรซ์ (มีการโพลาไรซ์ในทุกทิศทาง) และกำหนดให้ $P_a\vec{E} = \vec{E}_a$ เป็นการ (กระทำการ) กรองแสงของโพลารอยด์ เช่น

$P_x\vec{E} = \vec{E}_x = E_x\hat{x}$ แสงโพลาไรซ์ในแนว x

$P_y\vec{E} = \vec{E}_y = E_y\hat{y}$ แสงโพลาไรซ์ในแนว y

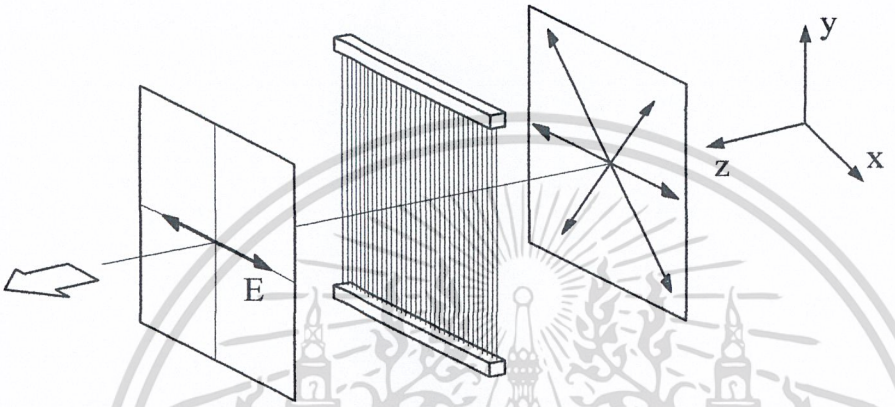


รูปที่ 2.11 แนวแกนโพลาไรซ์

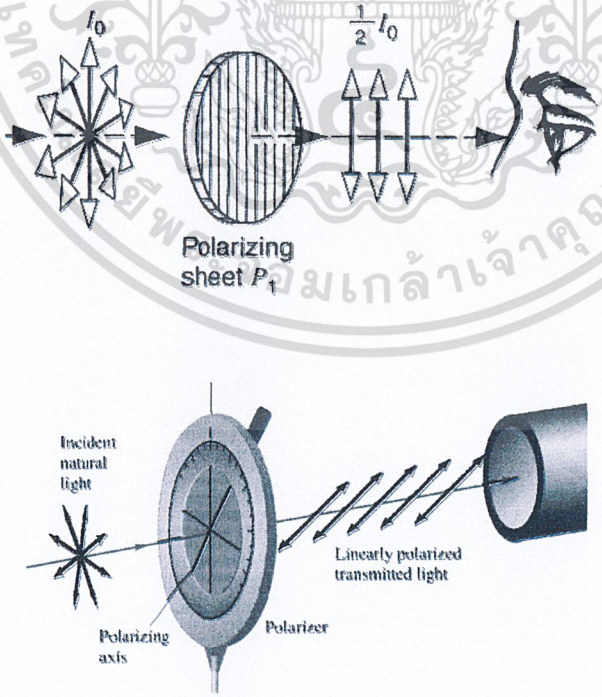
แผ่นโพลาไรซ์หรือโพลาไรเซอร์ (polarized plate or polarizer)(โพลารอยด์ เป็นชื่อทางการค้าของแผ่นโพลาไรซ์) เป็นตัวอย่างหนึ่งของวัสดุ dichroic (dichroic material) ทำจากสารอินทรีย์ (organic material) ที่มีโมเลกุลเป็นสายยาวคล้ายโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 แสงที่มีแนวโพลาไรซ์ในทิศขนานกับแนวยาวของโมเลกุลจะถูกดูดกลืน ส่วนแนวโพลาไรซ์ในทิศตั้งฉากกับแนวยาวของโมเลกุลจะสามารถผ่านไปได้โดยไม่ถูกดูดกลืน ดังนั้นแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์จึงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโพลาไรซ์ตั้งฉากกับแนวโมเลกุลของแผ่นโพลาไรซ์ จะเรียกแกนที่ตั้งฉากกับแนวโมเลกุลของแผ่นโพลาไรซ์หรือแกนที่ให้แสงโพลาไรซ์ผ่านได้ว่า แกนโพลาไรซ์ (polarizing axis หรือ transmission axis) ดังนั้นแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์จะมีแนวโพลาไรซ์ขนานกับแกนโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 2.13

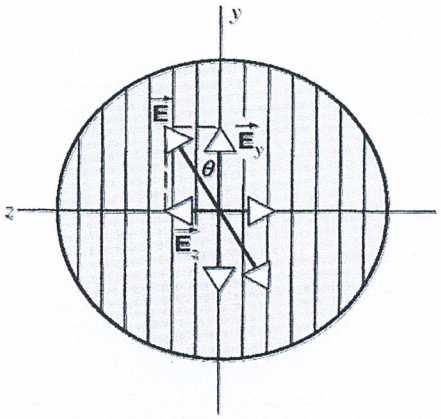


รูปที่ 2.12 ในความจริงแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากกับแนวโมเลกุลจะไม่ถูกดูดกลืนและสามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์ได้



รูปที่ 2.13 แนวโพลาไรซ์ของแสงที่เกิดจากแผ่นโพลาไรซ์

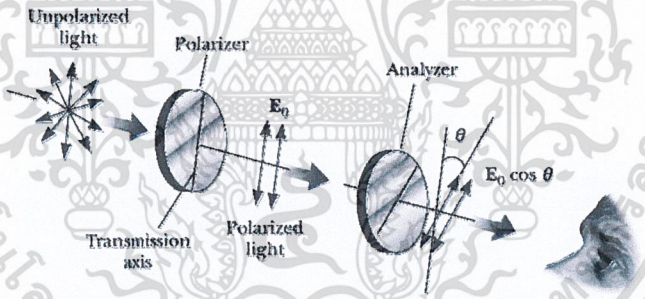
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แนวโพลาไรซ์ของแสงทำมุม θ กับแกนโพลาไรซ์

ถ้าแสงโพลาไรซ์ตกทำมุม θ กับแกนแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 2.14 เวคเตอร์สนามไฟฟ้าของแสงที่ถูกแตกมาขนานกับแนวแกนแสงโพลาไรซ์คือ $E_0 \cos\theta$ ดังรูปที่ 2.15 ดังนั้น ความเข้มแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ จะมีค่าดังนี้

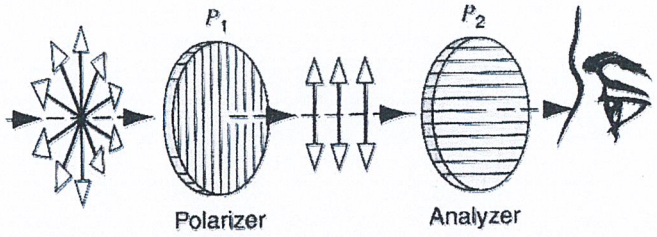
$I = E_0^{\,2} \cos^2\theta = I_0 \cos^2\theta$ Malus' Law .....(1)

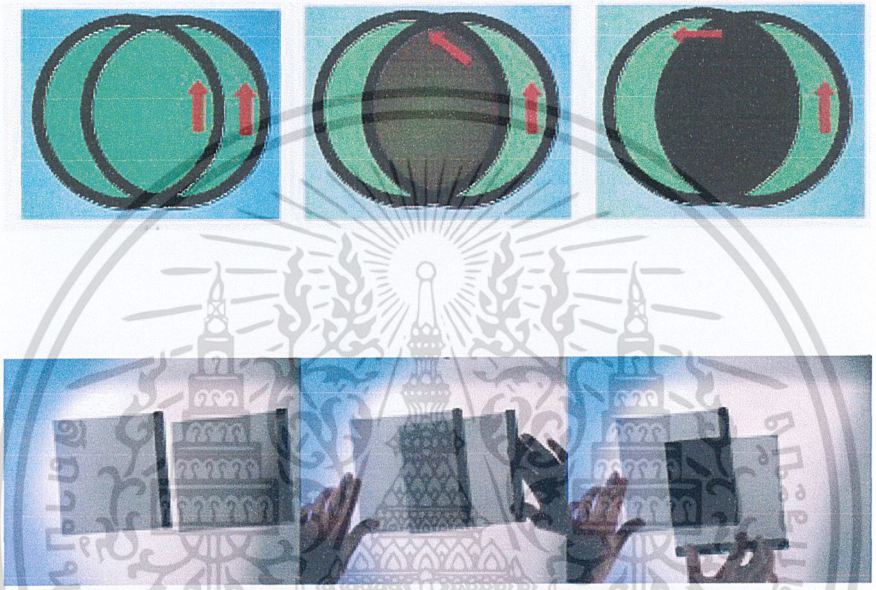


รูปที่ 2.15 แนวโพลาไรซ์ของแสงทำมุม θ กับแกนโพลาไรซ์ของโพลาไรเซอร์ (แผ่นโพลาไรซ์ที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดแสง) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่ผ่านแผ่นแอนาไลเซอร์ (แผ่นโพลาไรซ์ที่อยู่ใกล้ผู้สังเกตุ) มีค่า $E_0 \cos\theta$

ถ้าวางแกนโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นทำมุมกัน ความเข้มของแสงจะลดลง คำนวณได้โดยกฎของมาลูส์ เมื่อแกนโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นทำมุมกัน 90° แสงจะผ่านแผ่นโพลาไรซ์นี้ไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 แต่ถ้าแทรกแผ่นโพลาไรซ์โดยให้แกนโพลาไรซ์ทำมุม 45° ระหว่างแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองนี้ แสงจะผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.16 แกนโพลาไรซ์ของโพลาไรเซอร์และอนาไลเซอร์ตั้งฉากกัน

รูปที่ 2.17 เงาสะท้อนของรูปปั้นเมื่อมองผ่านแผ่นโพลาไรซ์ จะมองเห็นเงาสะท้อน (ซ้าย) และเมื่อเมื่อหมุนโพลาไรซ์ไป 90° จะมองไม่เห็นเงาสะท้อน (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงาสะท้อนของรูปปั้นที่ผิวน้ำเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิด S (บางส่วน) เมื่อมองผ่านแผ่นโพลารอยด์ที่มีแกนโพลาไรซ์ขนานกับพื้นจะมองเห็นเงารูปปั้น (ซ้าย) เมื่อหมุนโพลารอยด์ไป 90° แกนโพลาไรซ์จะตั้งฉากกับพื้นจึงมองไม่เห็นเงารูปปั้น (ขวา) ดังรูปที่ 2.17

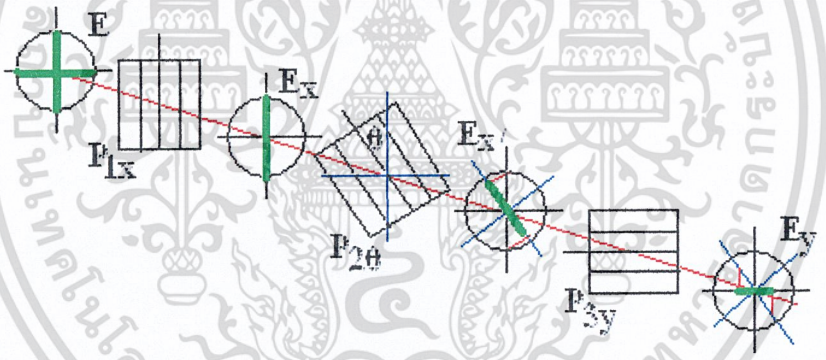
2. 6 การย้ายแกนโพลาไรซ์

การกระทำ $P_{1x}\vec{E} = E_x\hat{x}$ ดูเหมือนเป็นการตัดทอน $E_y\hat{y}$ ทิ้งไป และไม่สามารถนำกลับมาได้ใหม่ แต่จากการใช้โพลารอยด์แผ่นที่ 2 และ 3 เราสามารถนำ $E_y\hat{y}$ กลับมาได้อีกครั้งหนึ่ง ดังนี้

$$P_{3y}P_{2\theta}P_{1x}\vec{E} = P_{3y}P_{2\theta}(P_{1x}\vec{E}) = P_{3y}P_{2\theta}E_x\hat{x} = \ldots$$

$$\ldots = P_{3y}(P_{2\theta}E_x\hat{x}) = P_{3y}E_x\cos\theta\,\hat{x}' = \ldots$$

$$\ldots = E_x\sin\theta\cos\theta\,\hat{y} \qquad \ldots\ldots\ldots(2)$$



รูปที่ 2.18 การย้ายแกนของแผ่นโพลาไรซ์

ความเข้มแสงที่ลดลงจากแสงไม่โพลาไรซ์ ผ่านขั้นตอนของโพลารอยด์ทั้งสาม มีค่าเท่ากับ

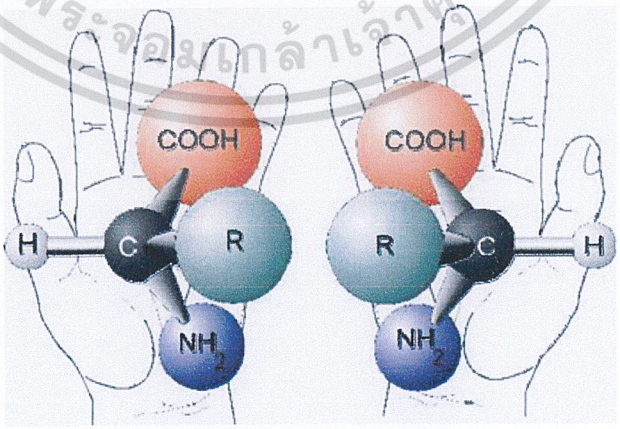
$$I_y = \tfrac{1}{2}\sin^2\theta\cos^2\theta I_0 \qquad \ldots\ldots\ldots(3)$$

การตรวจสอบการโพลาไรซ์ และการย้ายแกนโพลาไรซ์ด้วยโพลารอยด์ นั้นแสดงให้เห็นว่า แกนโพลาไรซ์ $\{\hat{x},\hat{y}\}$ นั้นเป็นคุณสมบัติประจำตัวภายในของแสง เราสามารถแสดงการโพลาไรซ์ในแนว x โดยตัดการโพลาไรซ์ในแนว y แล้วย้ายแกนโพลาไรซ์จากแนว x ไปเป็นแนว y (ซึ่งถูกตัดออกไปแล้ว) ได้อีก นั่นหมายความว่าการโพลาไรซ์ในแนวทั้งสองไม่ได้หายไปไหน เพียงแต่ว่าการใช้โพลารอยด์ ทำให้เราสามารถมองเห็นการโพลาไรซ์ในแนวที่ต้องการเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. 7 Optical Acitivity

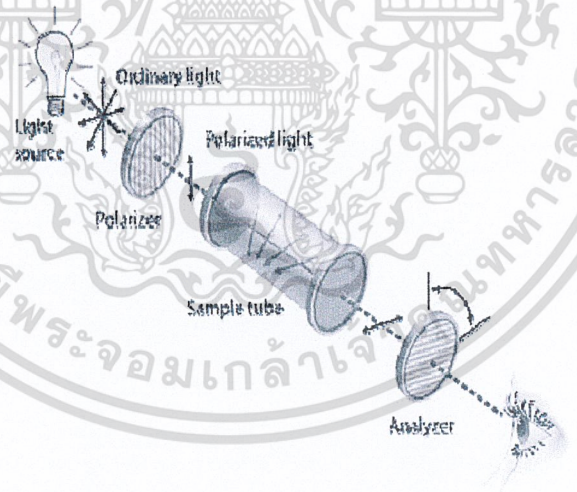
ผลึกบางชนิดรวมทั้งของเหลวบางชนิด มีสมบัติในการบิดแนวโพลาไรซ์ของแสงได้ สมบัติทางกายภาพนี้เรียกว่า optical activity หรือ optical rotation ตัวอย่างเช่น แสงโพลาไรซ์เชิงเส้น เมื่อตกตั้งฉากกับแผ่นผลึก quartz ที่ถูกตัดในระนาบที่ตั้งฉากกับแกนแสง แสงที่ผ่านผลึกออกมายังคงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นแต่จะมีแนวของสนามไฟฟ้าหรือแนวโพลาไรซ์บิดไป ระนาบของแสงโพลาไรซ์จะบิดตามเข็มนาฬิกา (สังเกตจากทางด้านแสงออก) ถ้าผลึกนั้นเป็นผลึกชนิดมือขวา (right-handed หรือ dextrorotatory crystal) และจะบิดทวนเข็มนาฬิกาถ้าผลึกนั้นเป็นผลึกชนิดมือซ้าย (left-handed หรือ laevorotatory crystal) มุมของแนวโพลาไรซ์ที่บิดไปขึ้นกับความหนาของแผ่นผลึกและความยาวคลื่นของแสง เช่น แสงจากหลอดโซเดียมเมื่อผ่านผลึก quartz หนา 1 mm แนวโพลาไรซ์จะบิดไป 21.7° แต่จะบิดไป 3.67° ถ้าผ่านผลึกโซเดียมคลอเรต (sodium chlorate) หนา 1 mm วัสดุที่มีสมบัติ optical activity จะมีโครงสร้างผลึกที่เป็นเกลียว เช่น ผลึก quartz หรือมีโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนซึ่งจับอยู่กับอะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่แตกต่างกันสี่ชนิด ซึ่งจะมีโครงสร้างได้สองแบบคือแบบมือซ้ายและแบบมือขวา ดังรูปที่ 2.19 โครงสร้างโมเลกุลทั้งสองนี้เป็นเสมือนภาพสะท้อนกระจกซึ่งกันและกัน โมเลกุลทั้งสองนี้จะไม่สามารถซ้อนทับได้ ไม่ว่าจะหมุนหรือเลื่อนตำแหน่งอย่างไร เรียกว่าโมเลกุลลักษณะนี้ว่าโมเลกุลไครัล (chiral molecule, chiral หมายถึงมือ) (เช่น มือขวาจะเหมือนกับภาพในกระจกของมือซ้าย ซึ่งมือทั้งสองข้างไม่สามารถซ้อนทับกันได้ โดยให้นิ้วโป้งและนิ้วก้อยทับซึ่งกันและกัน เมื่อหันฝ่ามือไปทางเดียวกัน) วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบนี้จะมีสมบัติ optical activity



รูปที่ 2.19 โมเลกุลมือซ้ายและมือขวาจะมีสมบัติ optical activity

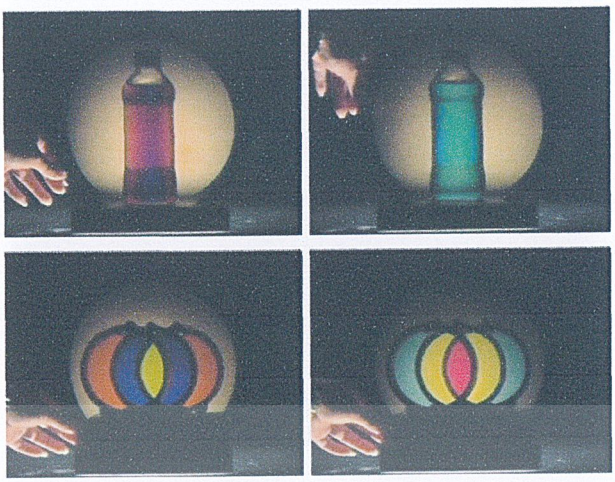
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติ optical activity อธิบายได้โดยการพิจารณาว่า แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นประกอบขึ้นด้วยแสงโพลาไรซ์วงกลมสองลำที่มีทิศทางการหมุนตรงกันข้าม (หมุนขวาและหมุนซ้าย) และในผลึกที่มีสมบัติ optical activity นี้ ดัชนีหักเหของแสงโพลาไรซ์วงกลมชนิดหมุนขวาและชนิดหมุนซ้ายมีค่าต่างกัน คือ n_r และ n_l ตามลำดับ ดังนั้น ความเร็วของแสงโพลาไรซ์วงกลมชนิดหมุนขวาจึงไม่เท่ากับแสงโพลาไรซ์วงกลมชนิดหมุนซ้าย จึงเกิดความต่างเฟสเมื่อเดินทางผ่านผลึก (ขึ้นกับความหนาของผลึก) เมื่อพิจารณาแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่เกิดจากแสงโพลาไรซ์วงกลมที่มีเฟสต่างกันนี้ จะได้แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแนวโพลาไรซ์บิดไป โดยจะบิดไปทางขวาหรือซ้ายขึ้นกับผลึกว่ามี n_r มากหรือน้อยกว่า n_l ของเหลวบางชนิดมีสมบัติ optical activity เช่น สารละลายน้ำตาล (เช่น น้ำเชื่อมและน้ำผลไม้ เป็นต้น) มุมที่บิดไปของแนวโพลาไรซ์ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย ถ้าสามารถวัดมุมของแนวโพลาไรซ์ที่บิดไปได้ก็สามารถหาความเข้มข้นของสารละลายได้ เครื่องมือประเภทนี้เรียกว่า โพลาริมิเตอร์ (polarimeter) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.20 การสาธิตสมบัติ optical activity ของวัสดุแสดง ดังรูปที่ 2.21– 2.22

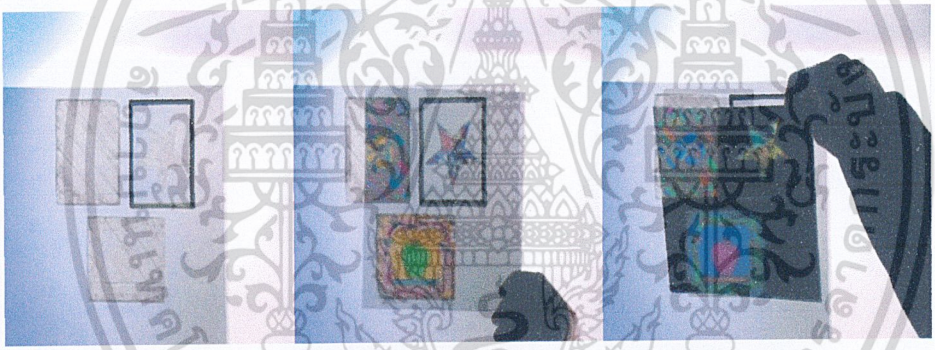


รูปที่ 2.20 โครงสร้างของโพลาริมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ขวดน้ำเชื่อมและแผ่นพลาสติกวางอยู่ระหว่างแผ่นโพลาไรซ์เพื่อสาธิตสมบัติ optical activity ของวัสดุ



รูปที่ 2.22 เทปกาวใสที่ปิดทับให้มีความหนาต่างกัน วางอยู่ระหว่างแผ่นโพลาไรซ์จะมีสีเปลี่ยนไปเมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์

2.8 การวัด Optical Activity

การวัดค่า optical activity โดยใช้ polarimeter จะบอกออกมาในรูป observed rotation เนื่องจากการบิด plane polarized light จะขึ้นกับระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ผ่าน ตัวอย่าง (path length,l) และความเข้มข้นของตัวอย่าง (c) เมื่อปัจจัยเหล่านี้ถูกกำจัดจะ สามารถเปรียบเทียบเป็นค่ามาตรฐานสำหรับโมเลกุลต่างๆโดยใช้ค่า specific rotation, α^{T}_{D}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$\alpha^{T}_{D} = \alpha / cl \qquad \text{.....(4)}$$

α = Observed rotation

T = อุณหภูมิที่ทำการวัด (^{o})

D = sodium D line (589.3 nm)

c = ความเข้มข้น (g/ml)

l = ความยาวของหลอดบรรจุตัวอย่าง (dm)

Specific rotation จะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับ จุดเดือดของตัวอย่าง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด สารที่มีคุณสมบัติในการบิด plane of polarized light ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะจัดอยู่ ในกลุ่ม Dextrorotatory (+) สารที่มีคุณสมบัติในการบิด plane of polarized light ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะจัดอยู่ ในกลุ่ม Levorotatory (-)

2.9 การประยุกต์ใช้เครื่อง polarimeter

2.9.1 ใช้หาค่าความเข้มข้นของสารละลาย

ถ้าทราบค่า specific rotation ของ pure enantiomer สามารถใช้ค่า observed rotation (α) ของตัวอย่างเพื่อคำนวณหา ความเข้มข้นของสารละลายได้ โดย

$$C = \frac{\alpha}{\alpha_D^T \times l} \qquad \text{.....(5)}$$

เมื่อ c คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (g/ml)

(α)คือ มุมที่สังเกตได้ observed rotation (องศา)

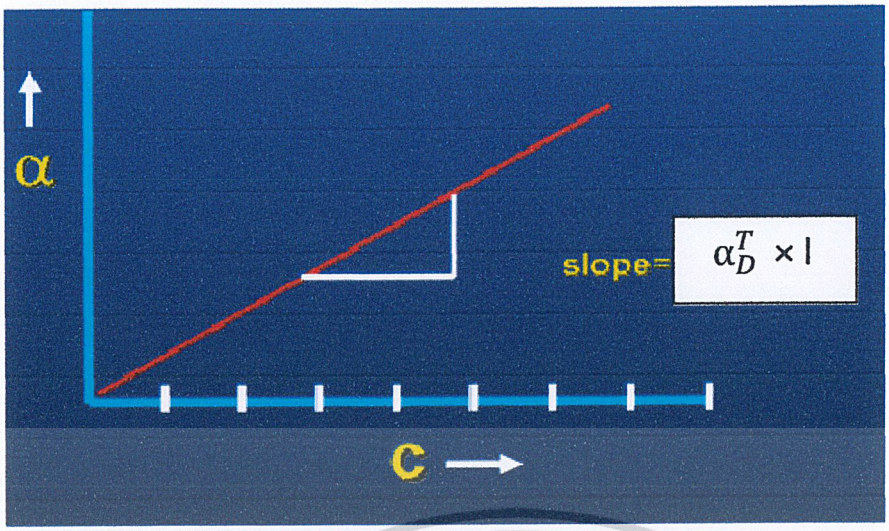
α_D^T คือ ค่าการเบนแสงจำเพาะ specific rotation (องศา)

L คือระยะทางที่แสงผ่าน (dm)

ถ้า plot ความสัมพันธ์ระหว่าง observed rotation (α) และ ความเข้มข้น (c) ของ สารละลายมาตรฐานจะได้ calibration curve ดังภาพที่ 2.23

123373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง α และความเข้มข้น (c) ของสารละลายมาตรฐาน

2.9.2 ใช้หาค่า optical purity

ถ้าทราบค่า specific rotation ของ chiral สามารถใช้ค่า observed rotation ของตัวอย่างเพื่อคำนวณหา optical purity

$$\text{Optical purity} = \frac{observed\ \alpha}{\alpha\ of\ chiral} \times 100 \quad \text{.....(6)}$$

ตัวอย่างเช่น α-D-(+)- glucose บริสุทธิ์มีค่า specific rotation เท่ากับ + 113.40 ตัวอย่าง สารละลาย glucose มีค่า observed rotation เท่ากับ + 55.20 ให้คำนวณหา % optical purity ของสารละลาย glucose

$$\text{Optical purity} = \frac{+55.2^\circ}{+113.4^\circ} \times 100 = 48.68\%$$

2.10 การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.10.1การประยุกต์ใช้ เทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง polarimeter ในอุตสาหกรรมยาใช้หา product purity ของ amino acid, amino sugars, antibiotics, cocaine, dextrose, vitamin

2.10.2 การประยุกต์ใช้ เทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง polarimeter ใน flavor, fragrance และ essential oil industry

ใช้ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ เช่น การบูร (camphor), น้ำมันส้ม (orange oil), spearmint oil, lemon oil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 การประยุกต์ใช้ เทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง polarimeter ใน อุตสาหกรรมอาหาร

ใช้ตรวจสอบคุณภาพโดยหาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของ carbohydrate, fructose, glucose, lactose, maltose, sucrose และ xylose

2.10.4 การประยุกต์ใช้ เทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง polarimeter ในอุตสาหกรรม เคมี

ใช้ตรวจหาชนิดของ biopolymer, natural polymer และ synthetic polymer

รูปที่ 2.24 เครื่อง polarimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

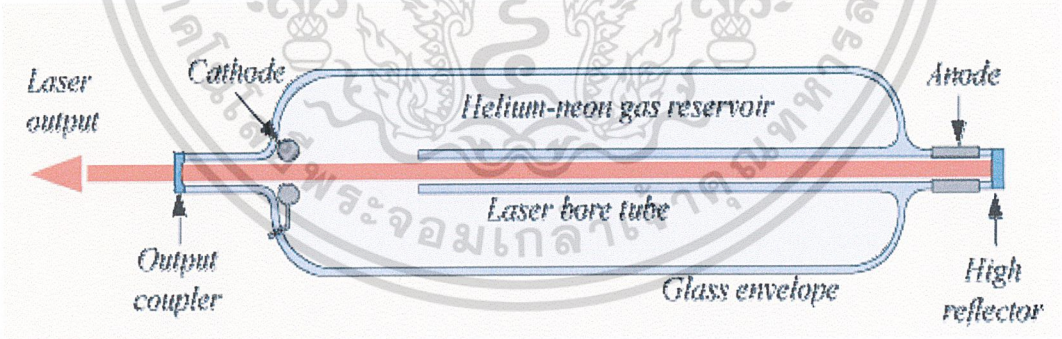
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

3.1.1แหล่งกำเนิดแสงจาก He-Ne Laser

ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ เป็นเลเซอร์ก๊าซชนิดแรก ประกอบด้วยก๊าซฮีเลียม (He) และนีออน (Ne) ในอัตรา ส่วนประมาณ 10:1แหล่งกำเนิดพลังงานที่กระตุ้นให้เกิดประชากรผกผัน (มักเรียกอีกชื่อว่า pumping source) ที่ใช้จะเป็น electrical discharge คือทำให้มีอิเล็กตรอนวิ่งผ่านและชนกับก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดเลเซอร์ แสงเลเซอร์ที่ได้จะเป็นสี แดง ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร (หรือ 632.8 x 10^{-9} เมตร) และมีกำลังประมาณ 0.5 – 50 มิลลิวัตต์ ผู้สร้างสามารถเลือกการเปลี่ยนชั้นพลังงานของอะตอมให้เกิดเป็นเลเซอร์สี เขียว และอินฟราเรด ได้ แต่ไม่นิยม เพราะแสงดังกล่าวเกิดยากกว่าและต้องใช้ต้นทุนสูง มีการใช้งาน ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ มากในงานศึกษาวิจัย โดยมากใช้ในการสอบเทียบ การวัด การสร้างภาพโฮโลแกรม ในงานอุตสาหกรรมใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบการวัดเชิงมิติ



รูปที่ 3.1 แผนภาพ ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

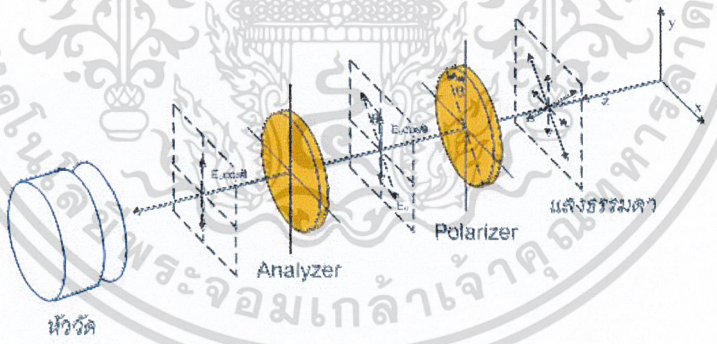
3.1.2 แผ่นโพลารอยด์

แผ่นโพลารอยด์ มีสมบัติยอมให้แสงที่มีระนาบสนามไฟฟ้าทิศเดียวกับระนาบโพลาไรซ์ (หรือแนวแกนส่งผ่าน) ของแผ่นโพลารอยด์ผ่านไปได้ดีที่สุด ซึ่งอธิบายได้ด้วย

ความสัมพันธ์ เมื่อ คือสนาม ไฟฟ้าเริ่มต้น และ คือมุมระหว่างระนาบสนามไฟฟ้าของแสงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 หรือพิจารณาในเทอมความเข้มของแสงได้เป็น ดังนั้นจึงสามารถ อธิบายปรากฏการณ์ที่ท่านเห็นในชุดสาธิตนี้ได้ว่าสนามไฟฟ้าในแสงเลเซอร์ที่ ใช้นี้มีระนาบเดียว เรียกแสงที่มีสมบัติเช่นนี้ว่าแสงโพลาไรซ์ ถ้าเป็นแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าโดยทั่วไปหรือแสงอาทิตย์ เมื่อให้ผ่านแผ่นโพลารอยด์แล้ว พบว่าความเข้มของแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ไปจะไม่ขึ้นกับการหมุนแผ่นโพลา รอยด์เลย อธิบายได้ว่าแสงดังกล่าวมีสนามไฟฟ้าอยู่ทุกระนาบ ดังนั้นไม่ว่าจะหมุนแผ่นโพลารอยด์ให้อยู่ในทิศใด ก็จะยังมีสนามไฟฟ้าผ่านไปได้เสมอ จึงเรียกแสงเช่นนี้ว่าแสงไม่โพลาไรซ์ มีข้อสังเกตคือประโยชน์เบื้องต้นของแผ่นโพลารอยด์นั้น นอกจากจะใช้ตรวจสอบสมบัติโพลาไรเซชันของแสง และใช้ลดความเข้มของแสงแล้ว ยังสามารถใช้ทำแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ได้อีกด้วย กล่าวคือแสงไม่โพลาไรซ์ที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ไปแล้ว จะเป็นแสงโพลาไรซ์ที่มีระนาบสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์ นั้น เรียกแผ่นโพลารอยด์ที่ใช้ทำหน้าที่นี้ว่า Polarizer นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องโพลาริมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบความหวานของน้ำผลไม้ เช่นน้ำอ้อย ในทางการแพทย์ใช้ตรวจหาปริมาณน้ำตาลในปัสสาวะหรือน้ำตาลในเลือด

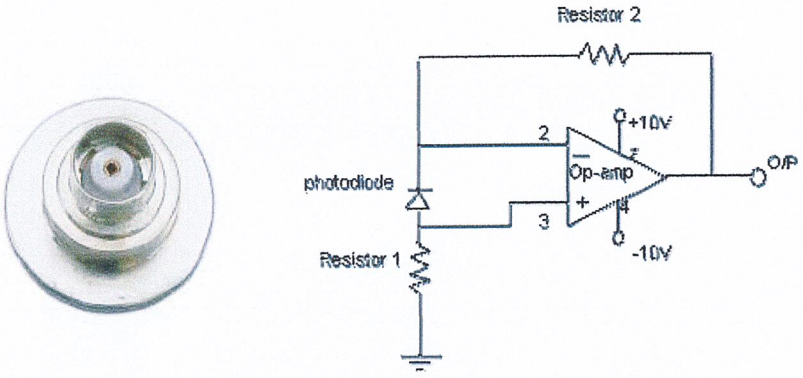


รูปที่ 3.2 ระนาบโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์

3.1.3 Photodetector

อุปกรณ์ รับสัญญาณแสงหรือโฟโต้ดีเทคเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า โดยเราจะวัดค่าออกงมาในรูปของโวลต์โดยต่อเข้ากับโวลต์มิเตอร์ ค่าที่แสดงจะเป็นค่าความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Photodetector และวงจรของ Photodetector

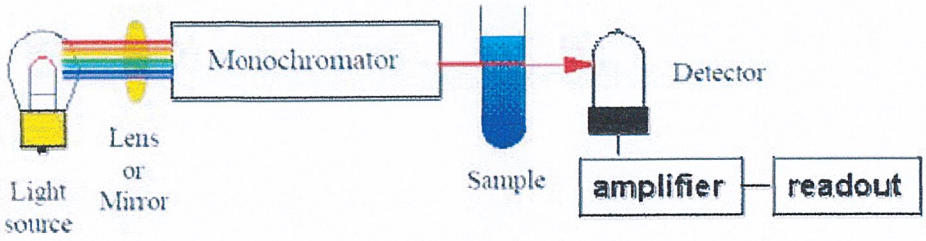
3.1.4 คิวเวตต์ (Cuvette)

ใช้สำหรับใส่สารละลายน้ำตาลเพื่อใช้ในการทำการทดลอง ซึ่งcuvette ที่ทำ จาก Quartz นั้นสามารถใช้ได้ตลอดช่วง UV-Visible เช่น ตั้งแต่ 190 – 1000 นาโนเมตร เป็นต้น ส่วน optical glass ใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 300 นาโนเมตร และสำหรับพลาสติกจะใช้ได้ในช่วง Visible เท่านั้น คือตั้งแต่ 350 นาโนเมตร

รูปที่ 3.4 ที่ใส่สารตัวอย่าง

โดยทั่วไปจะพบได้ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งการวัดสารตัวอย่างจะใช้ cuvette ซึ่งลักษณะเป็นหลอดสี่เหลี่ยมเล็กทำจากแก้ว พลาสติก หรือควอตซ์ ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีแตกต่างกัน คือ cuvette ที่ทำจากควอตซ์จะมีราคาแพงแต่สามารถวัดได้ที่ความยาวคลื่นได้ทั้ง UV-vis ขณะที่ cuvette ที่ทำจากพลาสติก หรือแก้วจะวัดได้แค่แสงสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การใช้คิวเวตต์ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

3.1.5 สารละลายน้ำตาล

เราจะใช้น้ำกลั่น double-distilled water (ddH2O) เพราะพฤติกรรมของแสงไม่มีการเปลี่ยนมุมการโพลาไรเซชันเป็น 0 ผสมกับน้ำตาล เพื่อให้ง่ายต่อการทำการทดลอง

ความเข้มข้นของสารละลายเป็นการบอกถึงอัตราส่วนปริมาณตัวถูกละลายกับปริมาณตัวทำละลายในสารละลายหนึ่ง ๆ อัตราส่วนดังกล่าวจะมีได้ 2 ลักษณะ คือ

- ปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายทั้งหมด
- ปริมาณของตัวถูกละลายในตัวทำละลายทั้งหมด

ในปัจจุบันหน่วยที่นิยมใช้สำหรับระบุความเข้มข้นของสารละลายมีหลายระบบด้วยกัน ได้แก่ ร้อยละ เศษส่วนโมล โมลาริตี โมแลลิตี ฯลฯ

ตัวอย่างของมุมบิดจำเพาะ(Specific rotation) ของสารละลายต่างๆ

- Sucrose $+66.47^{\circ}$
- Lactose $+52.3^{\circ}$
- Glucose $+52.7^{0}$ ถึง $+112.2^{0}$
- Cholesterol -31.5°
- Camphor $+44.26^{\circ}$
- Penicillin $+223^{\circ}$
- Taxol -49°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (S)-bromobitane $+23.1^{\circ}$
- (R)- bromobitane -23.1°
- (+)-cavicularin $+168.2^{\circ}$

การหาค่า Specific Rotation

$$\text{specific rotation } \left(\alpha_D^T\right) = \frac{\alpha}{C \times l} \quad \text{.....(7)}$$

3.1.6 IEE-488 Cable

ในระบบพื้นฐานของอุป IEE-488 จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น ผู้ส่ง(Talker) ผู้รับ (Listener) และผู้ควบคุม(Controller)

- Talker ทำหน้าที่ส่งของมูล โดยในระบบสามารถมีได้หลายตัว แต่จะมีเพียงตัวเดียงเท่านั้นที่กำลังทำงานอยู่

- Listiner ทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล โดยในระบบเดียวกันสามารถมี Listener ได้หลายตัว และสามารถทำงานได้ครั้งละหลาย ๆ ตัวได้

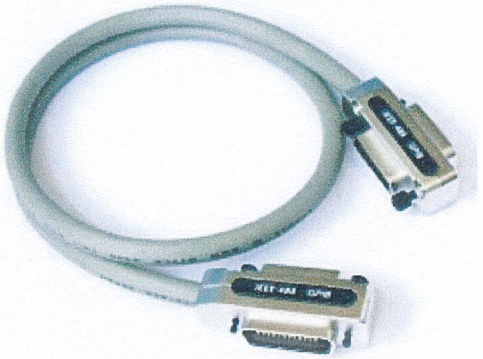
- Controller ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยจะกำหนดให้ Talker ทำการส่งข้อมูล หรือกำหนดให้ Listener ทำการรับข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้กับ IEEE-488 สามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้

1. ทำหน้าที่เป็น Talker เท่านั้น เช่น เครื่องมือวัด เป็นต้น
2. ทำหน้าที่เป็น Listener เท่านั้น เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องพล็อต เป็นต้น
3. ทำหน้าที่เป็นทั้ง Talker และ Listener เช่น เครื่องมือวัดที่สามารถควบคุมได้จากภายนอก เป็นต้น
4. ทำหน้าที่เป็น Controller เช่น คอมพิวเตอร์, ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น

ลักษณะทางกายภาพของ IEEE-488 คือ เป็นสายสัญญาณ 24 เส้นขนานกัน และมีขั้วต่ออยู่ทางปลายทั้งสองสาย เพื่อต่ออุปกรณ์หรือต่อกันเพื่อให้สายสัญญาณมีความยาวเพิ่มขึ้น ในจำนวนสายสัญญาณ 24 เส้นนี้ มีเพียง 16 เส้นเท่านั้นที่ทำหน้าที่นำสัญญาณส่วนที่เหลืออีก 8 เส้น ทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



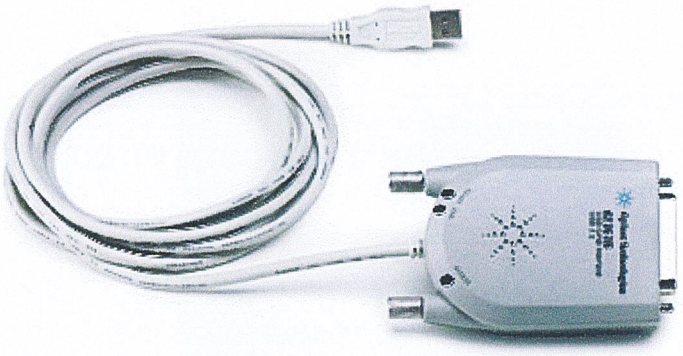
รูปที่ 3.6 IEEE-488 Cable

3.1.7 USB to GPIB

General Purpose Interface Bus เป็นการขนถ่ายข้อมูลระบบใหม่ที่พึ่งได้รับความนิยม แม้ว่าจะได้รับการพัฒนาตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1960 และได้พัฒนาจนกระทั่งได้รับมาตรฐานจาก Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) ในปี 1975 ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อ IEEE 488 standard จุดประสงค์แรกของ GPIB คือใช้ในการควบคุมเครื่องมือวัดโดยคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตาม จุดประสงค์ได้เปลี่ยนแปลงไปบ้างแล้ว โดยการนำ GPIB มาใช้ควบคุมและติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกันหรือระหว่างคอมพิวเตอร์ กับ scanner หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ในระยะ 1-2 ปี ที่ผ่านมาเราจะพบว่าเครื่องคอมพิวเตอร์บางรุ่นเริ่มมี GPIB ติดมาเป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องแล้ว GPIB เป็นการติดต่อแบบใหม่ที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายชิ้นเข้ากับ GPIB Port ตัวเดียวได้ โดยสามารถต่ออุปกรณ์ได้สูงถึง 15 ชิ้น โดยใช้ bus เพียงตัวเดียว ทำให้ประหยัด (และป้องกันเรื่องปวดหัวในการ set อุปกรณ์) ส่วนข้อดีอื่นๆ มีดังนี้

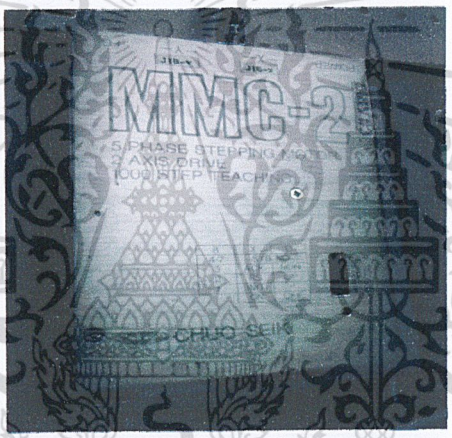
1. ส่งผ่านข้อมูลด้วยวิธีแบบขนาน ครั้งละ 1 byte (8-bits)
2. Hardware จะเป็นผู้จัดการเรื่อง Handshaking, timing และอื่นๆ
3. อัตราการส่งผ่านข้อมูล 800 Kbytes/sec หรือมากกว่า ซึ่งนับว่าเร็วมากเมื่อเทียบกับ port แบบเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



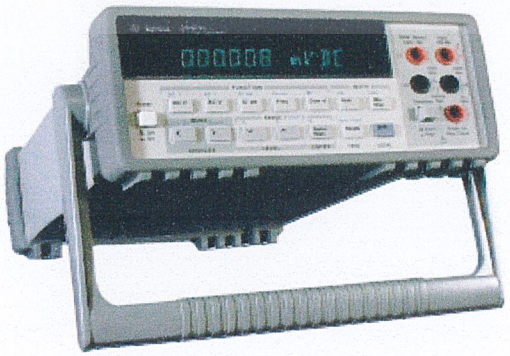
รูปที่ 3.7 USB to GPIB

3.1.8 Driver ขับมอเตอร์ (MMC-2)



รูปที่ 3.8 MMC-2

3.1.9 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (DMM) ใช้ในการวัดค่าความเข้มแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ใน รูปของความต่างศักย์ (โวลต์)

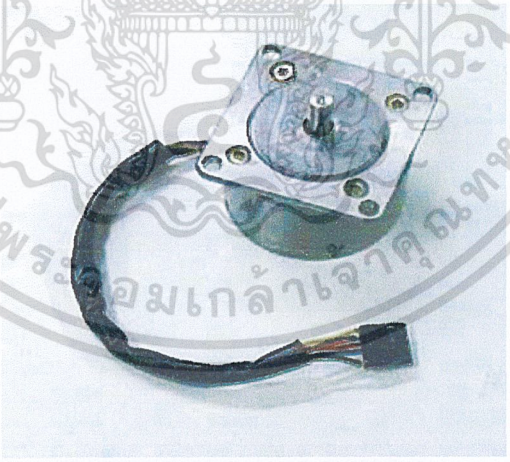


รูปที่ 3.9 DMM (hp 34401A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.10 มอเตอร์

มอเตอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ 1 rotor ซึ่งเป็นส่วนที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้ 2.คือ stator ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ สำหรับ stepping motor ก็เช่นเดียวกันที่ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนนี้(ดูรูปด้านล่างประกอบ) โดยที่ส่วนที่เป็น stator ของ stepping motor นี้จะเป็นส่วนซึ่งมีขดลวดพันล้อมอยู่บนแกนเหล็ก(ส่วนที่เขียน 1,2,3 ที่เป็นส่วนนอก ของ stepping motor นั่นแหละคือส่วนที่เป็น stator) เมื่อเราจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดที่พันอยู่บน stator ที่ขด 1 ก่อน ก็จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ตำแหน่ง 1 นี้ และผลักให้ rotor (จากรูปส่วนที่เขียน x-y นั่นแหละคือ rotor) เกิดการเคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่นี้เรียกว่ามันเคลื่อนที่ไป 1 stepนั่นเอง(นี่แหละที่เรียกว่า stepping motor เพราะมันเคลื่อนที่เป็น step นั่นเอง) ซึ่งการที่มันจะเคลื่อนที่ไปเป็นมุมเท่าไหร่นั้นก็ขึ้นอยู่กับ spec ของ stepping motor ตัวนั้นว่ามันสามารถที่จะหมุนได้ step ละกี่องศา และต่อไปถ้าเราหยุดจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด1 และไปจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด 2 แทนก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่บริเวณ 2 บน stator และก็จะทำให้สนามแม่เหล็กนี้ผลัก rotor ให้เคลื่อนที่ต่อไปได้ และถ้าเราหยุดจ่ายกระแสเข้าที่ 2 และไปจ่ายเข้าที่ขด 3 แทนก็จะทำให้สนามแม่เหล็กมาเกิดที่บริเวณ 3 และผลักให้ rotor เคลื่อนที่ต่อไปได้อีก



รูปที่ 3.10 สเต็ปมอเตอร์

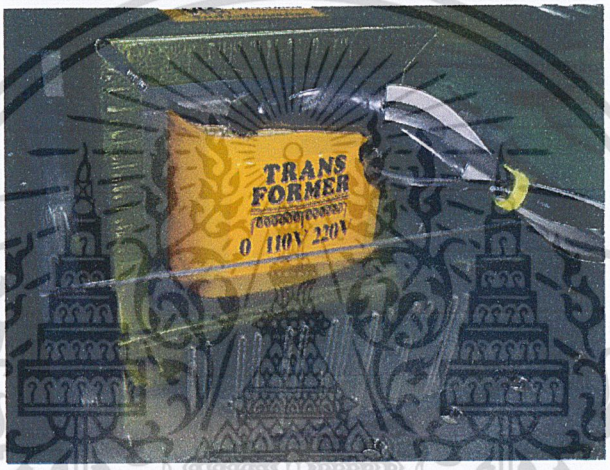
สำหรับในโครงงานพิเศษนี้เราจะใช้สเตปมอเตอร์ในการหมุนแผ่นโพลาไรซ์เซอร์เพราะให้ค่ามุมที่ละเอียด โดยเราจะติดตั้งแผ่นโพลาไรซ์ไว้กับมอเตอร์ ทั้งนี้เพราะมุมบิดของน้ำตาลมีค่าน้อยมากไม่สามารถอ่านสเกลจากแผ่นโพลาไรซ์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องใช้มอเตอร์ในการหมุน สำหรับมอเตอร์ที่เราใช้จะเป็น step motor คือ เป็นมอเตอร์ที่ขับเครื่องด้วย พัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็น สเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1,1.5,1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ลักษณะที่ นำมอเตอร์ไปใช้จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ

ในโครงงานพิเศษนี้มอเตอร์ที่เราใช้ คือ VEXTA STEPPING Motor แบบ 5 เฟส 0.72^{0}/Step โดยใช้ Driver ขับ 500 รอบ/Step โดย 1 รอบของมอเตอร์หมุนแท่นโพลาไรซ์ได้ประมาณ 6.5 องศา ทำให้มีค่าความละเอียดในการวัดมุมอยู่ที่ 0.0133 องศา/step

3.1.11หม้อแปลง ใช้สำหรับแปลงไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ เป็น 110 โวลต์



รูปที่ 3.11 หม้อแปลง

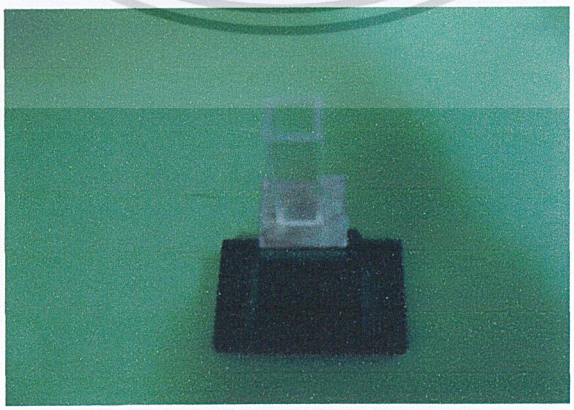
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ทำการติดตั้ง Polarimeter

อุปกรณ์การทดลอง

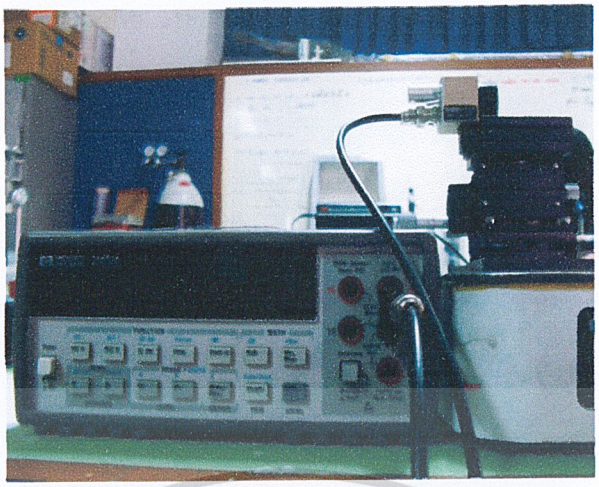
1. He-Ne laser (โพลาไรซ์)
2. แผ่น Polarizer
3. Photodetector
4. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
5. สเต็ปมอเตอร์
6. **Driver** ขับมอเตอร์ (MMC-2)
7. IEE-488 Cable
8. USB to GPIB
9. หม้อแปลง

รูปที่3.12 He-Ne laser

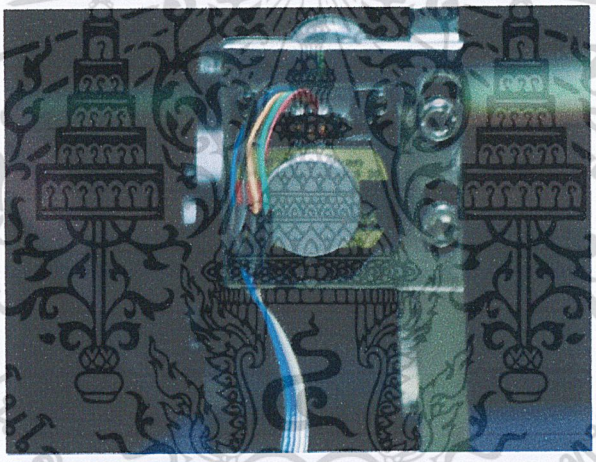


รูปที่ 3.13 คิวเวตต์ (Cuvette)

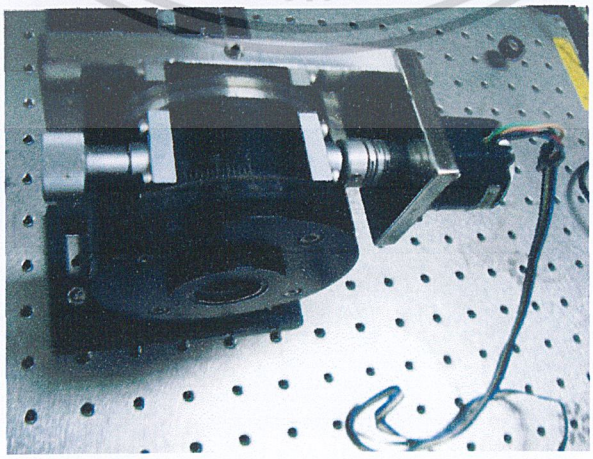
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์



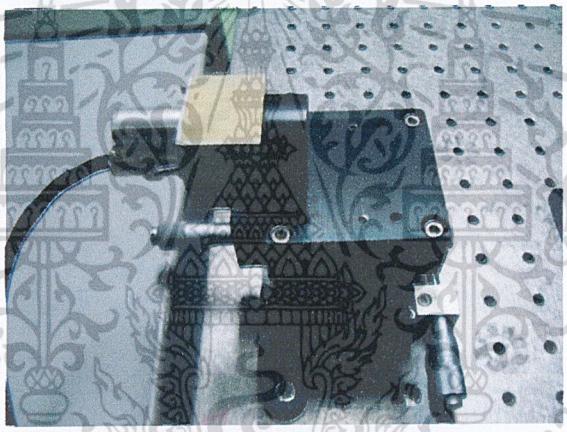
รูปที่ 3.15 มอเตอร์



รูปที่ 3.16 สเต็ปมอเตอร์ที่ติดกับแผ่นโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

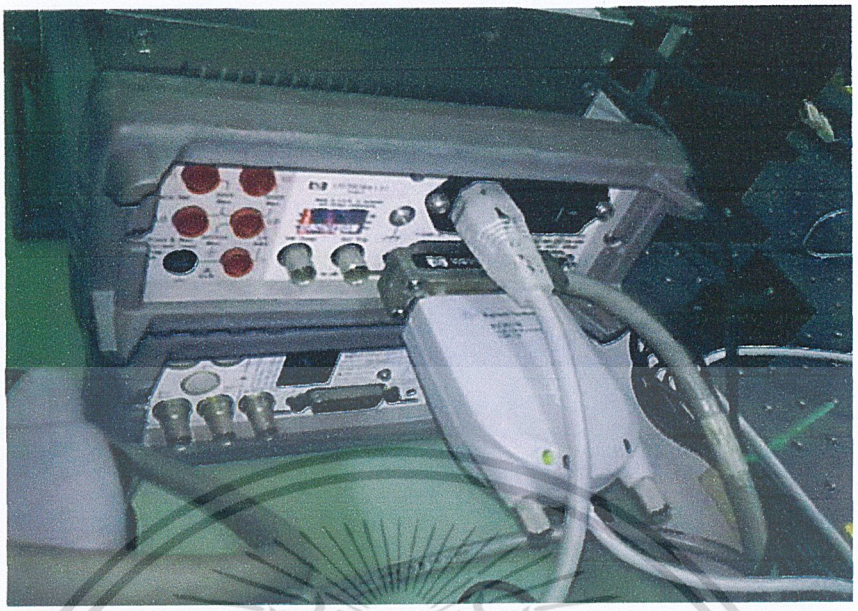
รูปที่ 3.17 Driver ขับมอเตอร์ (MMC-2)



รูปที่ 3.18 Detector

รูปที่ 3.19 IEE-488 Cable

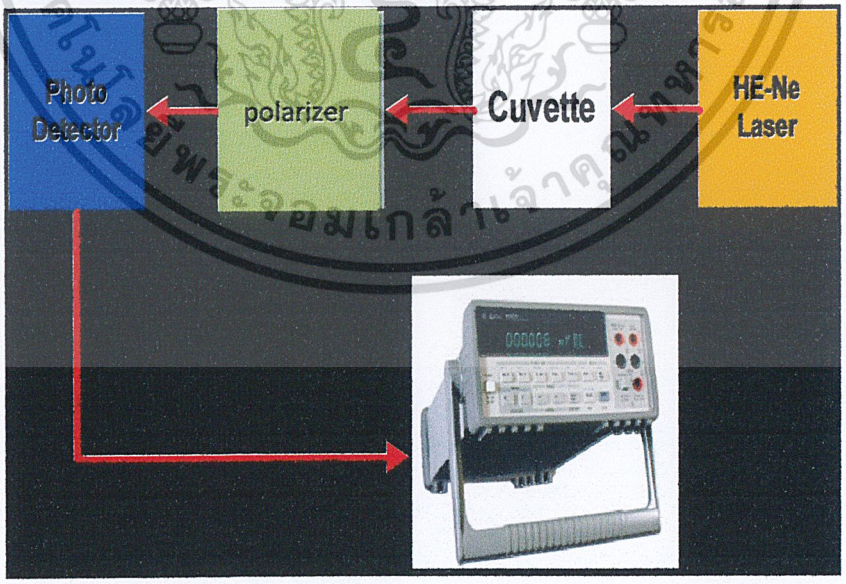
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 USB to GPIB

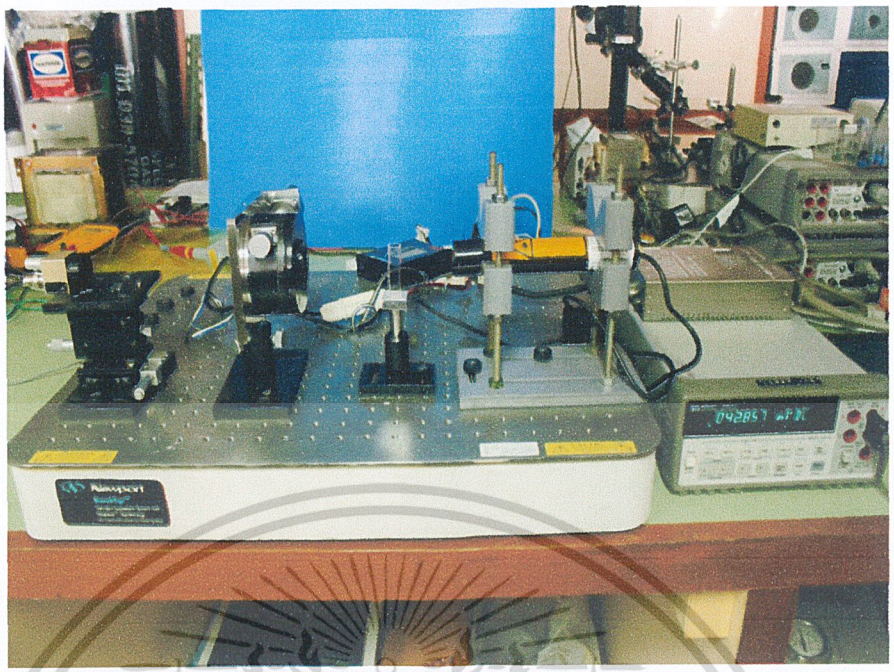
วิธีการทดลอง

1 ทำการจัดอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.21 Diagram ของระบบ polarimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ระบบ polarimeter ที่ใช้

1. ทำการฉายแหล่งกำเนิดแสงลงบนแผ่น Polarizer
2. ปรับแกน Polarizer ให้อยู่ที่มุม 0 องศา
3. ปรับมุมของ Polarizer ให้ได้ค่าความเข้มแสงต่ำสุด โดยทำการหมุนจาก สเต็ปมอเตอร์แล้วดูค่าจาก Digital multimeter ที่เชื่อมต่อกับ photodetector
4. ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุด He laser (Polarize) และ Polarizer จะมีแกน Polarize ตั้งฉากกัน ทำให้จุดนั้นเป็นจุดมืด ได้ค่าโวลต์ต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

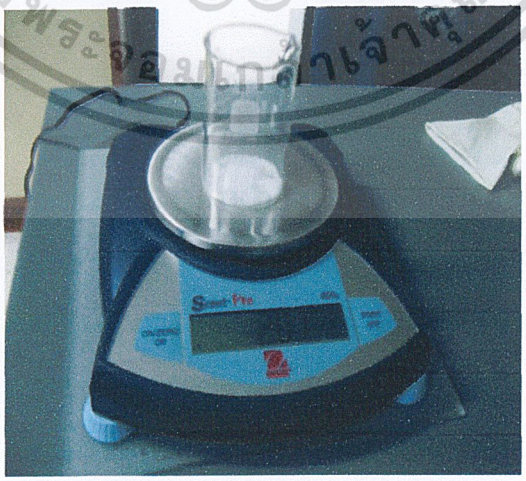
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

อุปกรณ์การทดลอง

1. น้ำ (H_2O)
2. น้ำตาล
   2.1 น้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทราย)
   2.2 น้ำตาลกลูโคส
   2.3 น้ำตาลแลกโตส
3. คิวเวตต์ (Cuvette)
4. เครื่องชั่ง

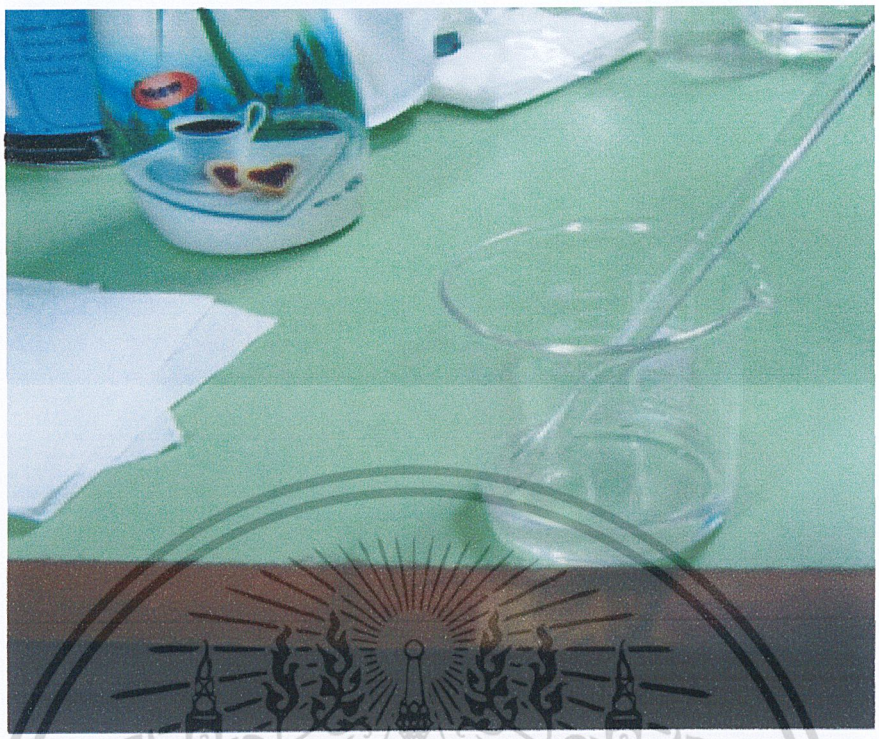
วิธีการทดลอง

1. นำน้ำตาลทรายไปชั่งในปริมาณที่เราต้องการ
2. นำน้ำตาลทรายละลายในน้ำ แล้วทำการคนให้น้ำตาลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำสารละลายที่ได้นี้ใส่ลงในคิวเวตต์ (Cuvette) เพื่อนำไปทำการทดลอง
4. เพิ่มความเข้มของสารละลายโดยการเพิ่มปริมาณน้ำตาลให้มากขึ้นหรืออาจเจือจางความเข้มข้นของสารละลายให้ลดลงโดยการเติมน้ำ ผสมลงไป แล้วนำไปทำการทดลอง

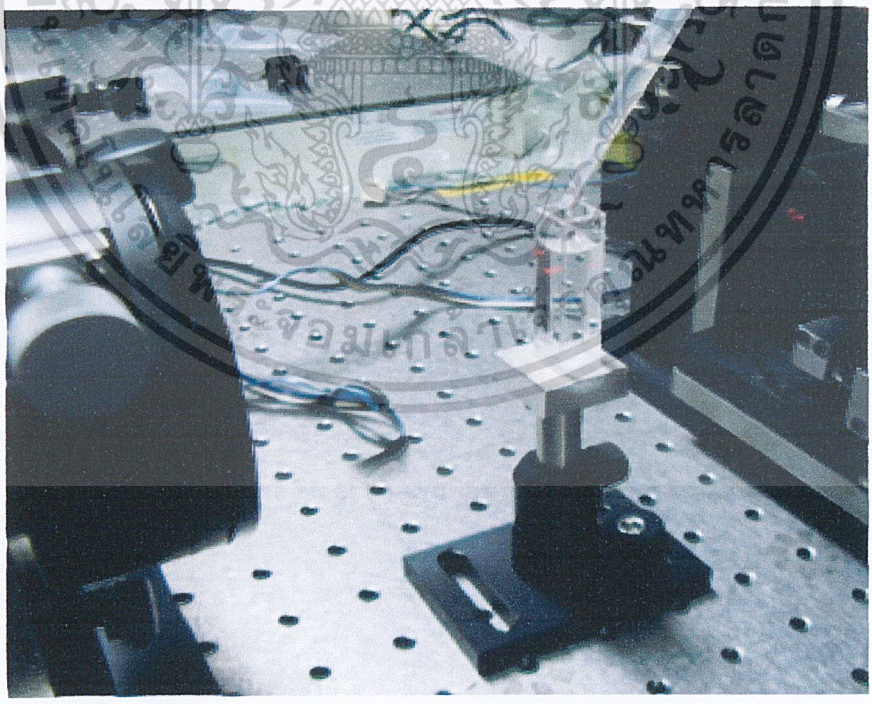


รูปที่ 3.23 การนำน้ำตาลทรายไปชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



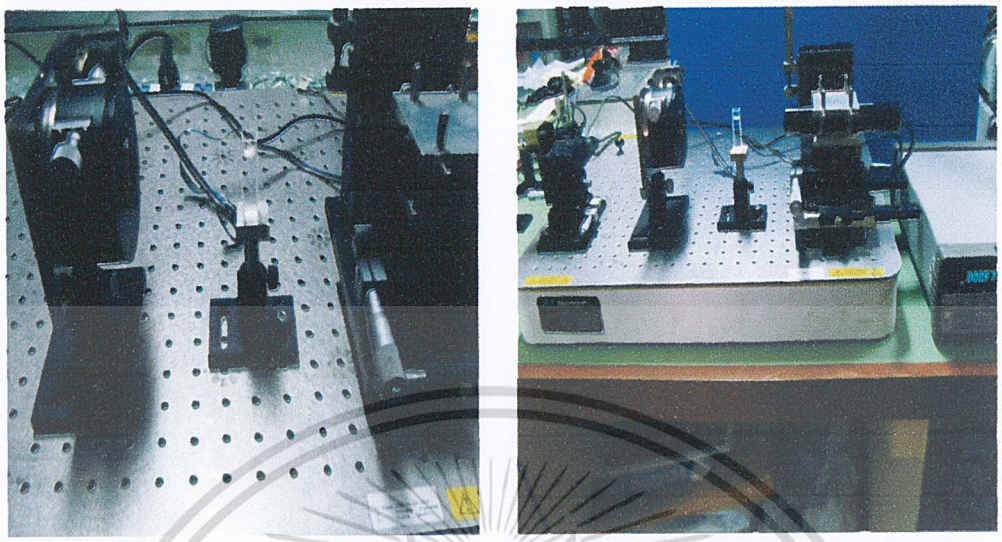
รูปที่ 3.24 การคนให้น้ำตาลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 3.25 นำสารละลายที่ได้นี้ใส่ลงในคิวเวตต์ (Cuvette)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่มีผลต่อมุมบิด Polarize



รูปที่ 3.26 การจัดอุปกรณ์ทดลอง เมื่อมีสารละลายมาวาง

อุปกรณ์การทดลอง

1. He-Ne laser (โพลาไรซ์)
2. แผ่น Polarizer
3. Photodetector
4. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
5. สเต็ปมอเตอร์
6. คิวเวตต์ (Cuvette)
7. สารละลายน้ำตาล
8. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
9. **Driver** ขับมอเตอร์ (MMC-2)
10. IEEE-488 Cable
11. USB to GPIB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

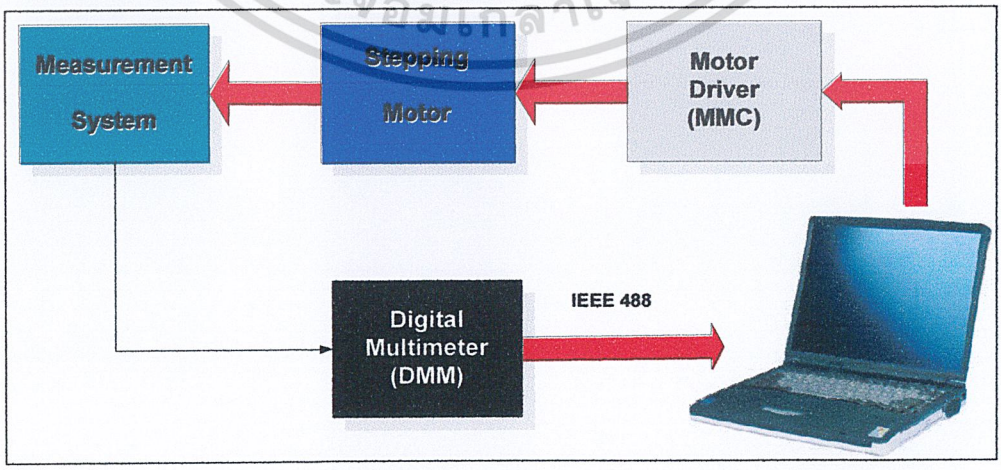
3.4.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

1. ทำการจัดชุดอุปกรณ์ Polarimeter
2. ทำการฉายแสงลงบน Polarizer ที่ถูกจัดแนว Polarizer ไว้แล้ว
3. วางสารละลายซูโครสที่เตรียมไว้ให้อยู่ระหว่างแผ่น Polarizer
4. สังเกตค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนไป และวัดมุมโดยหมุนจากสเต็ปมอเตอร์ โดยใช้มือหมุนมอเตอร์ให้หมุนมุมกลับไปที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุดโดยดูจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโฟโต้ดีเทคเตอร์ แล้วบันทึกผล
5. จากนั้นเราจึงพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย (g/ml) กับมุมที่สังเกตได้ observed rotation α ของตัวอย่าง เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

$$C = \frac{\alpha}{\alpha_D^T \times l}$$

3.4.2 การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์

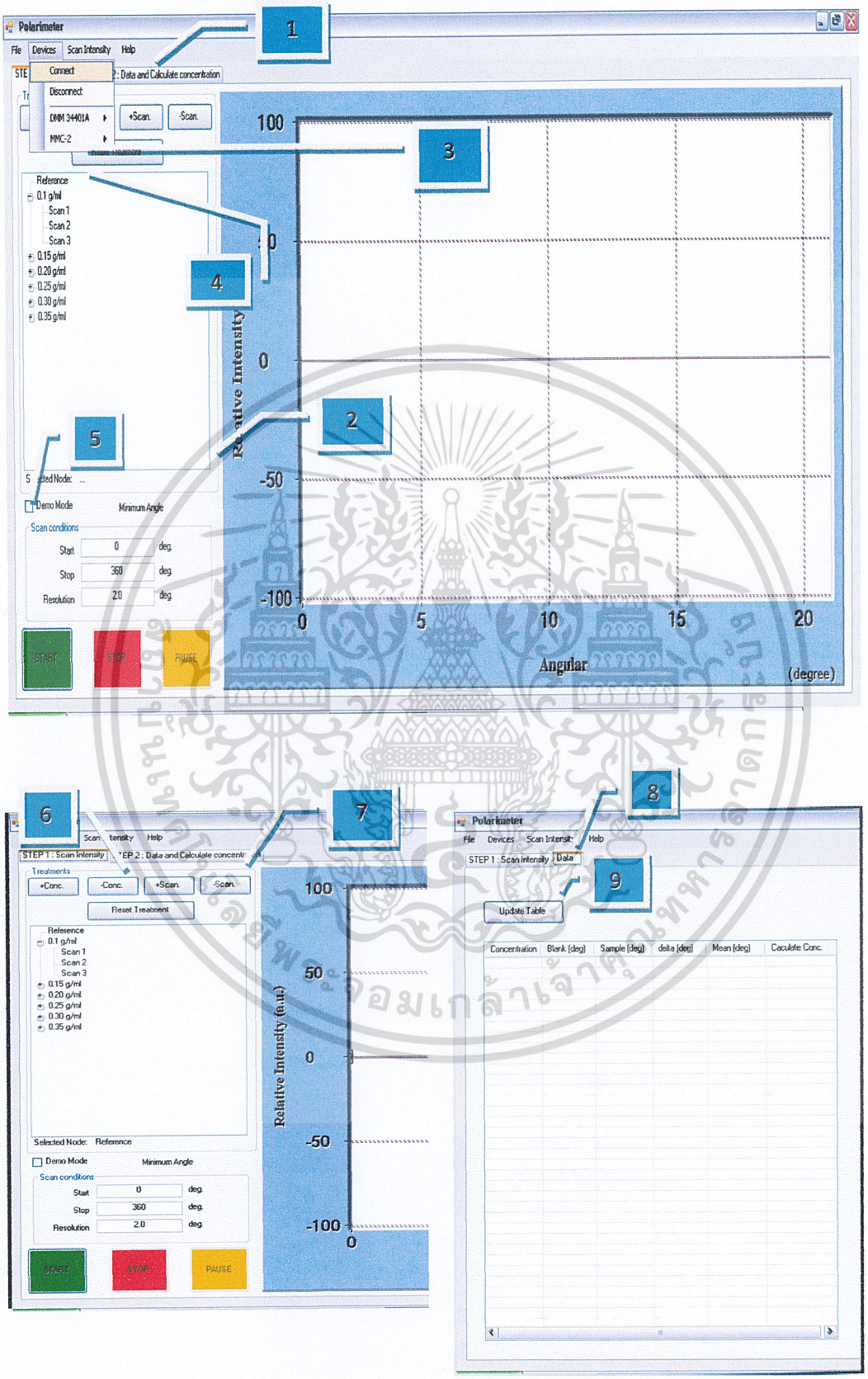
1. ทำการจัดชุดอุปกรณ์ Polarimeter
2. ทำการฉายแสงลงบน Polarizer ที่ถูกจัดแนว Polarizer ไว้แล้ว
3. ทำการเชื่อมต่อมอเตอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้โปรแกรมสั่งให้มอเตอร์หมุน และบันทึกกราฟระหว่างความเข้มแสงกับมุมต่างๆ เทียบระหว่าง น้ำและสารละลายพร้อมทั้งคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 3.27 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ขั้นตอนการใช้หน้าต่างโปรแกรม



รูปที่ 3.27 หน้าต่างโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้หน้าต่างโปรแกรม

1. 1 คลิ๊ก Device เลือก Connect เพื่อทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

2. 2 เลือกช่วงข้อมูล และความละเอียดในการ scan

3. 3 คลิ๊กเลือก Reference เพื่อ Scan หาค่าความเข้มแสงกับมุม แล้วกด 5 เพื่อเริ่มต้นการวัด

4. 4 จากนั้นคลิ๊กเลือกความเข้มข้นที่ต้องการวัดและเลือก scan จากนั้นกด 5 เพื่อเริ่มต้นการวัด

5. เราสามารถใส่ค่าความเข้มข้นที่เราต้องการได้โดยกด 6 + - Con เพื่อทำการเพิ่ม และลบความเข้มข้นที่ไม่ต้องการได้ และสามารถเลือกครั้ง scan ได้ด้วยเช่นกันโดยกด 7 + - Scan

6.เมื่อทำการวัดข้อมูลแล้วเราสามารถดู ข้อมูล ความเข้มแสงที่มุมต่างๆ ได้โดย กด 8 เพื่อดูข้อมูล แล้วกด 9 เพื่อทำการ update ข้อมูลใหม่ในการวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์ เพื่อใช้วัดมุมของระนาบของแสงโพลาไรซ์ที่หมุนไปเมื่อผ่านสารละลายที่มีคุณสมบัติ optically active และนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในการหามุมโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่านสารละลายน้ำตาล ซึ่งการนำเสนอผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ตอนคือ

4.1 การหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์โดยใช้มือหมุนแท่นโพลาไรซ์ ซึ่งใช้สารละลายชนิดต่างๆ ดังนี้

1.1 น้ำตาลทราย (ซูโครส)

1.2 กลูโคส

1.3 แลกโตส

4.2 การนำเครื่องโพลาริมิเตอร์ไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ ดังนี้

1.4 น้ำตาลทราย (ซูโครส)

1.5 กลูโคส

1.6 แลกโตส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยโพลาริมิเตอร์ โดยใช้มือหมุนแท่นโพลาไรซ์ ซึ่งใช้สารละลายชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.1.1 การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทราย (ซูโครส)

ผลทดลอง ตอนที่ 1								
น้ำตาลทราย (ซูโครส)								
ปริมาณน้ำตาล (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ความเข้มข้นที่ที่วัดได้ (g/ml)	Theta A (deg.)	Theta B (deg.)	Theta (A-B)	Mean Theta (A-B)	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการทดลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
2	20	0.10	90.42	89.67	0.75	0.86	0.13	12.81
			90.33	89.25	1.08			
			90.25	89.50	0.75			
3	20	0.15	90.42	89.42	1.00	1.09	0.16	4.30
			90.42	89.33	1.09			
			90.5	89.33	1.17			
4	20	0.20	90.33	89.00	1.33	1.42	0.21	3.18
			90.33	89.00	1.33			
			90.42	88.83	1.59			
5	20	0.25	90.5	89.00	1.50	1.61	0.24	-1.58
			90.17	88.83	1.34			
			90.42	88.43	1.99			
6	20	0.30	90.33	88.42	1.91	1.80	0.27	-5.02
			90.25	88.67	1.58			
			90.42	88.5	1.92			
7	20	0.35	90.33	88.58	1.75	1.92	0.29	-9.66
			90.25	88.33	1.92			
			90.5	88.42	2.08			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2 การวัดความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส

ผลทดลอง ตอนที่ 1								
กลูโคส								
ปริมาณน้ำตาล (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (g/ml)	Theta A (deg.)	Theta B (deg.)	Theta (A-B)	Mean Theta (A-B)	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการทดลอง (g/ml)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
2	20	0.10	90.42	89.42	1.00	0.83	0.12	9.11
			90.33	89.42	0.91			
			90.33	89.75	0.58			
3	20	0.15	90.25	89.17	1.08	1.11	0.16	3.39
			90.33	89.17	1.16			
			90.42	89.33	1.09			
4	20	0.20	90.17	88.67	1.50	1.55	0.23	5.80
			90.25	88.67	1.58			
			90.25	88.67	1.58			
5	20	0.25	90.33	88.42	1.91	2.00	0.29	7.20
			90.33	88.25	2.08			
			90.25	88.25	2.00			
6	20	0.30	90.42	88.17	2.25	2.50	0.36	9.24
			90.83	88.17	2.66			
			90.83	88.25	2.58			
7	20	0.35	90.33	87.83	2.50	2.69	0.39	5.34
			90.33	87.75	2.58			
			90.42	87.42	3.00			

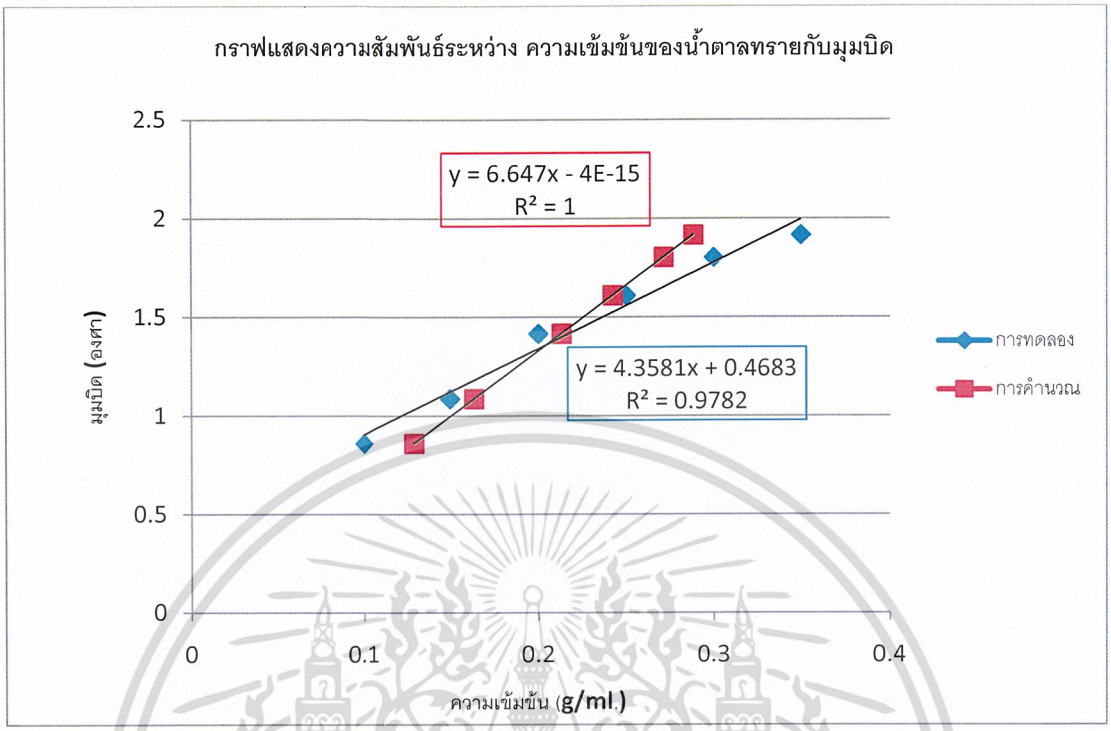
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.3 การวัดความเข้มข้นของสารละลายแลกโตส

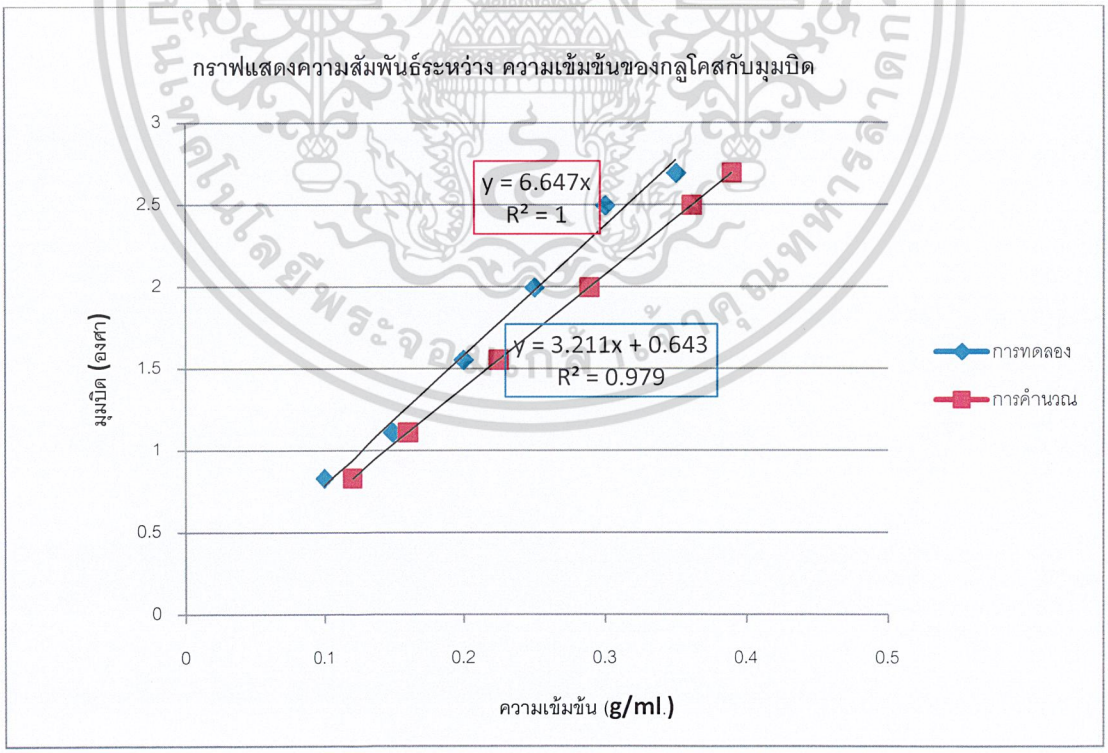
ผลทดลอง ตอนที่ 1								
แลกโตส								
ปริมาณน้ำตาล (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (g/ml)	Theta A (deg.)	Theta B (deg.)	Theta (A-B)	Mean Theta (A-B)	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการทดลอง (g/ml)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1.5	10.0	0.10	90.33	89.67	0.66	0.69	0.13	11.17
			90.25	89.58	0.67			
			90.33	89.58	0.75			
1.5	10.0	0.15	90.42	89.58	0.84	0.89	0.16	3.24
			90.33	89.42	0.91			
			90.33	89.42	0.91			
2.0	10.0	0.20	90.42	89.25	1.17	1.05	0.19	-2.53
			90.33	89.42	0.91			
			90.33	89.25	1.08			
2.5	10.0	0.25	90.42	88.83	1.59	1.58	0.29	6.68
			90.42	88.92	1.50			
			90.33	88.67	1.66			
3.0	10.0	0.30	90.42	88.33	2.09	1.97	0.36	8.56
			90.42	88.50	1.92			
			90.33	88.42	1.91			
3.5	10.0	0.35	90.33	88.17	2.16	2.11	0.38	4.14
			90.33	88.25	2.08			
			90.25	88.17	2.08			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟผลการทดลองการวัดความเข้มข้นของสารละลายชนิดต่างๆ

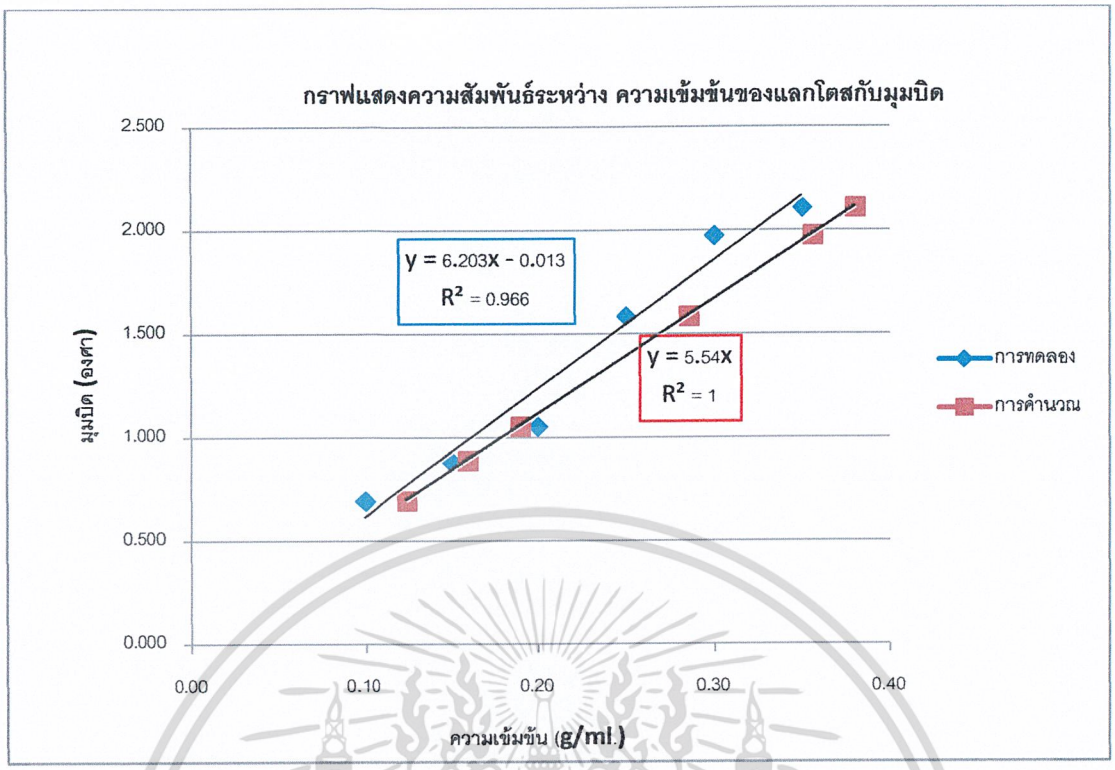


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลทรายกับมุมบิด



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสกับมุมบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับมุมบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

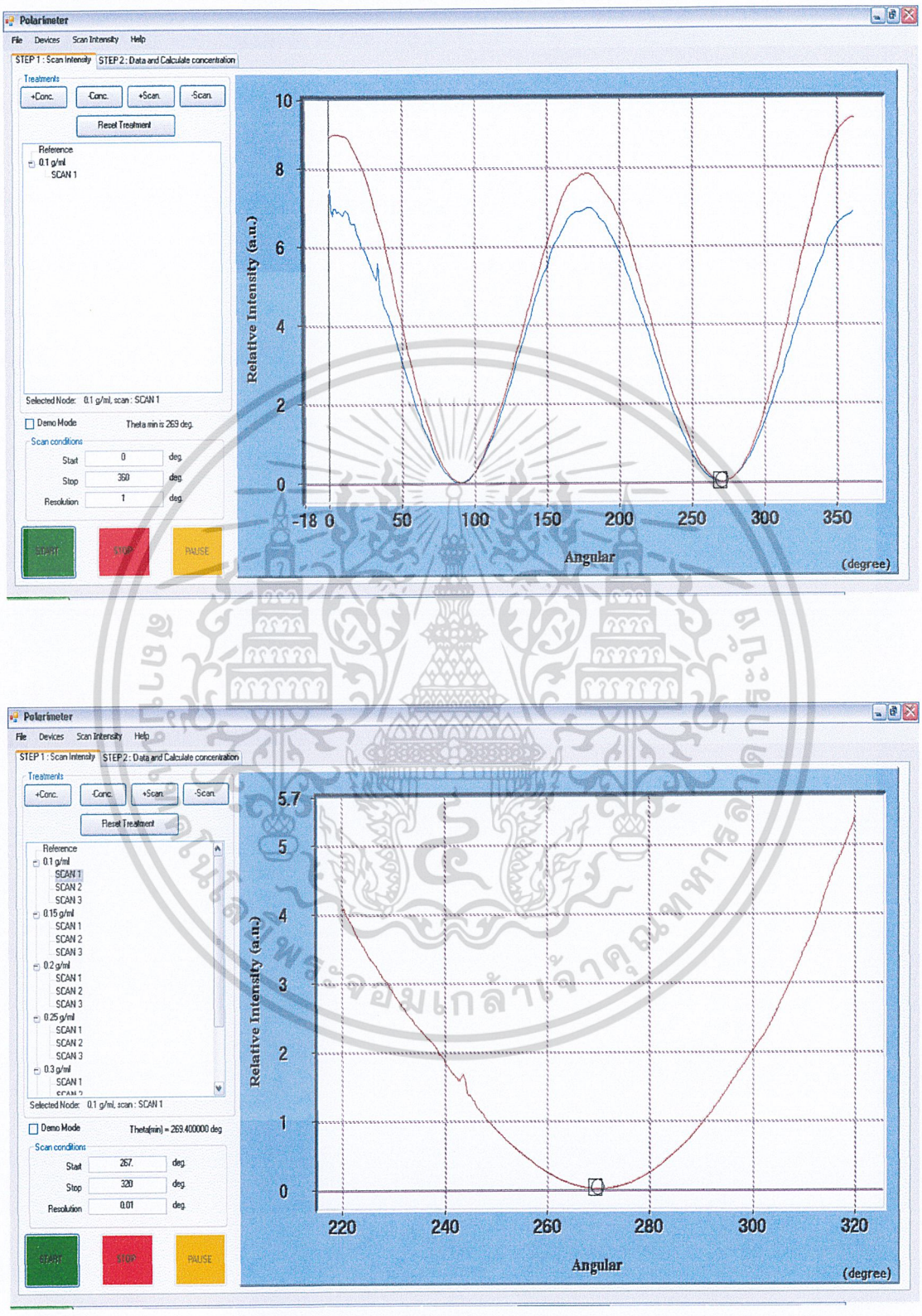
4.2 การนำเครื่องโพลาริมิเตอร์ไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.2.1 การวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทราย (ซูโครส)

ผลทดลอง								
น้ำตาลทราย (ซูโครส)								
ปริมาณน้ำตาล (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (g/ml)	Theta A (deg.)	Theta B (deg.)	Theta (A-B)	Mean Theta (A-B)	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการทดลอง (g/ml)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
2	20	0.10	270	269.40	0.60	0.62	0.09	-3.48
			270	269.27	0.73			
			270	269.47	0.53			
3	20	0.15	270	269.10	0.90	0.94	0.14	-3.12
			270	269.05	0.95			
			270	269.04	0.96			
4	20	0.20	270	268.85	1.15	1.26	0.19	-2.68
			270	268.68	1.32			
			270	268.69	1.31			
5	20	0.25	270	268.36	1.64	1.64	0.25	-0.66
			270	268.33	1.67			
			270	268.39	1.61			
6	20	0.30	270	268.15	1.85	1.83	0.28	-4.20
			270	268.16	1.84			
			270	268.19	1.81			
7	20	0.35	270	267.87	2.13	2.17	0.33	-3.48
			270	267.60	2.40			
			270	268.02	1.98			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

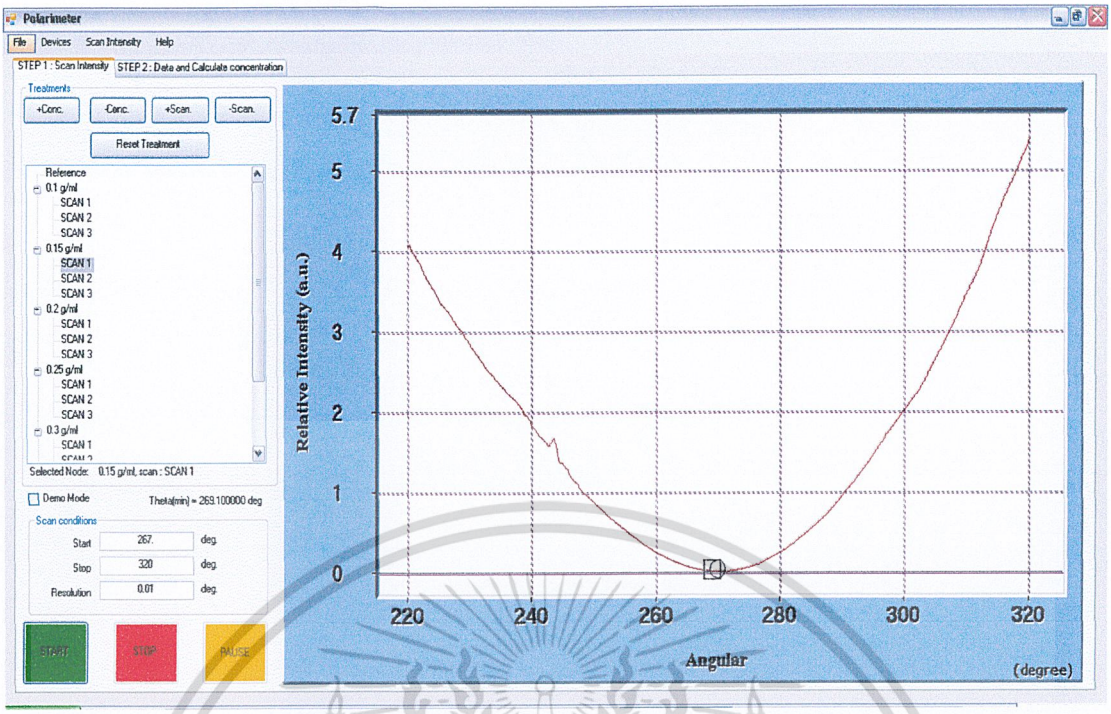
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆของซูโครส(น้ำตาลทราย) กับ Reference



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference

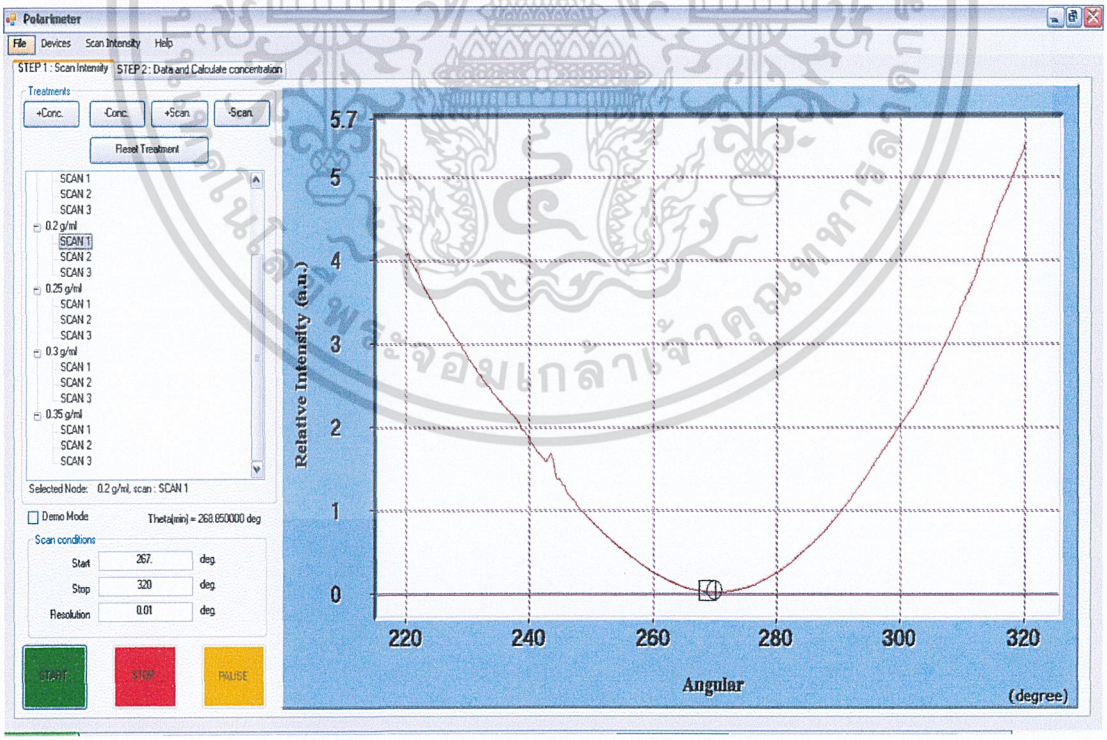
(ความเข้มข้น 0.1 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference

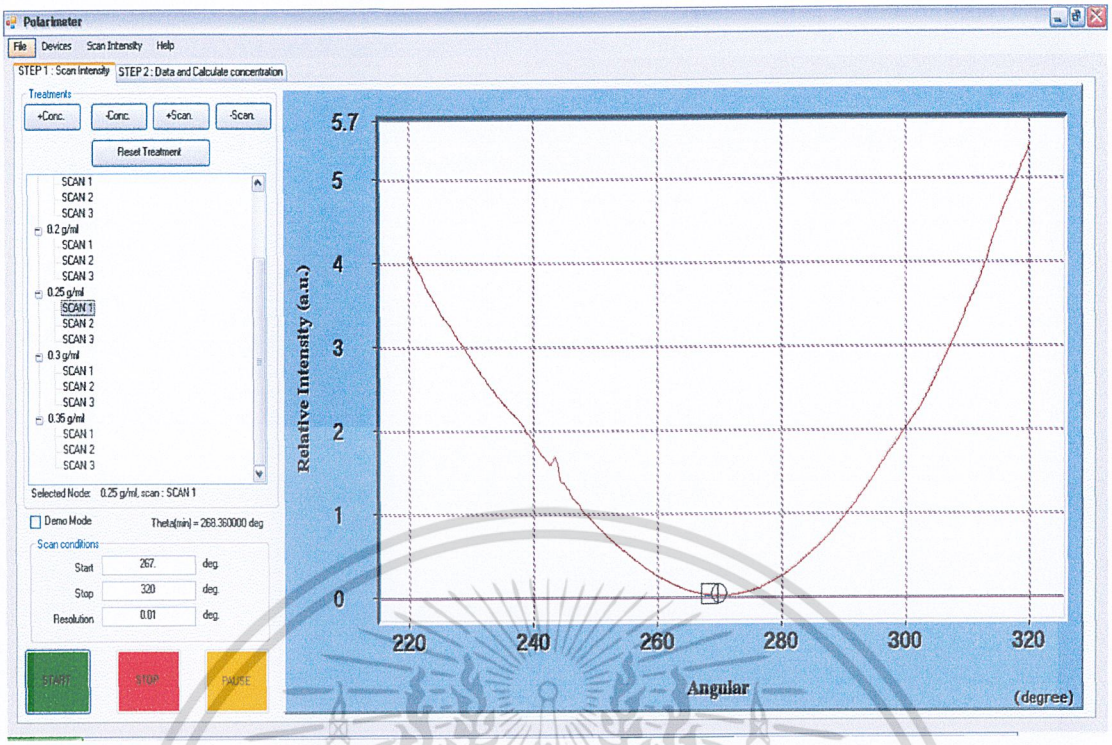
(ความเข้มข้น 0.15 g/ml)



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference

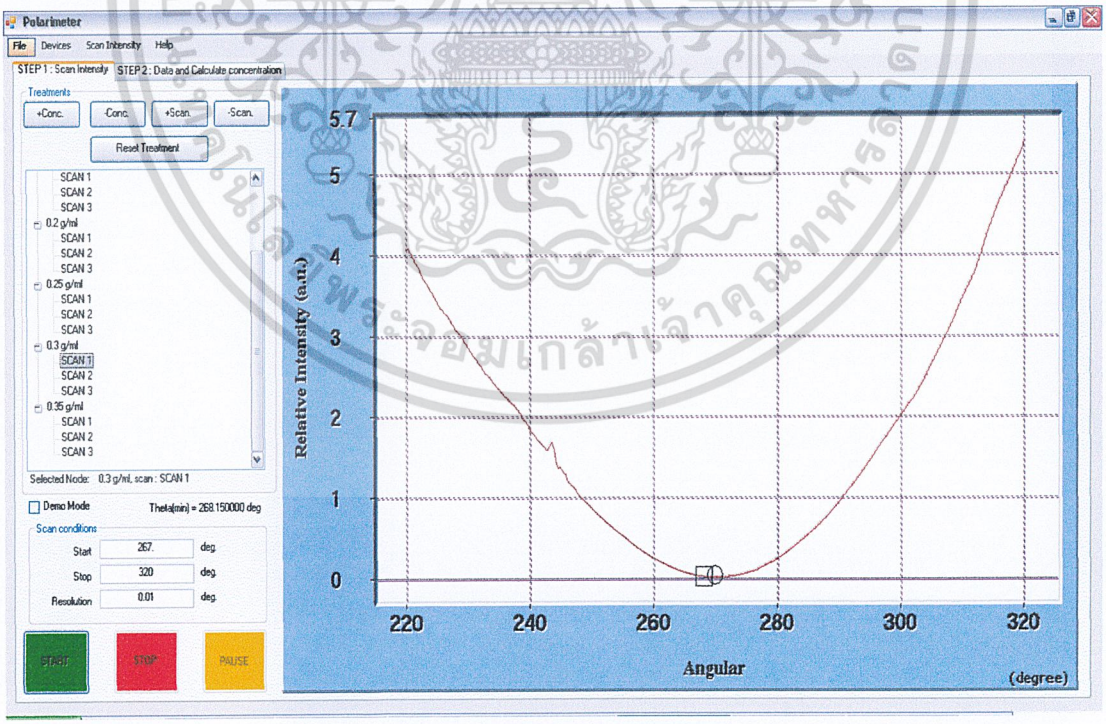
(ความเข้มข้น 0.20 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference

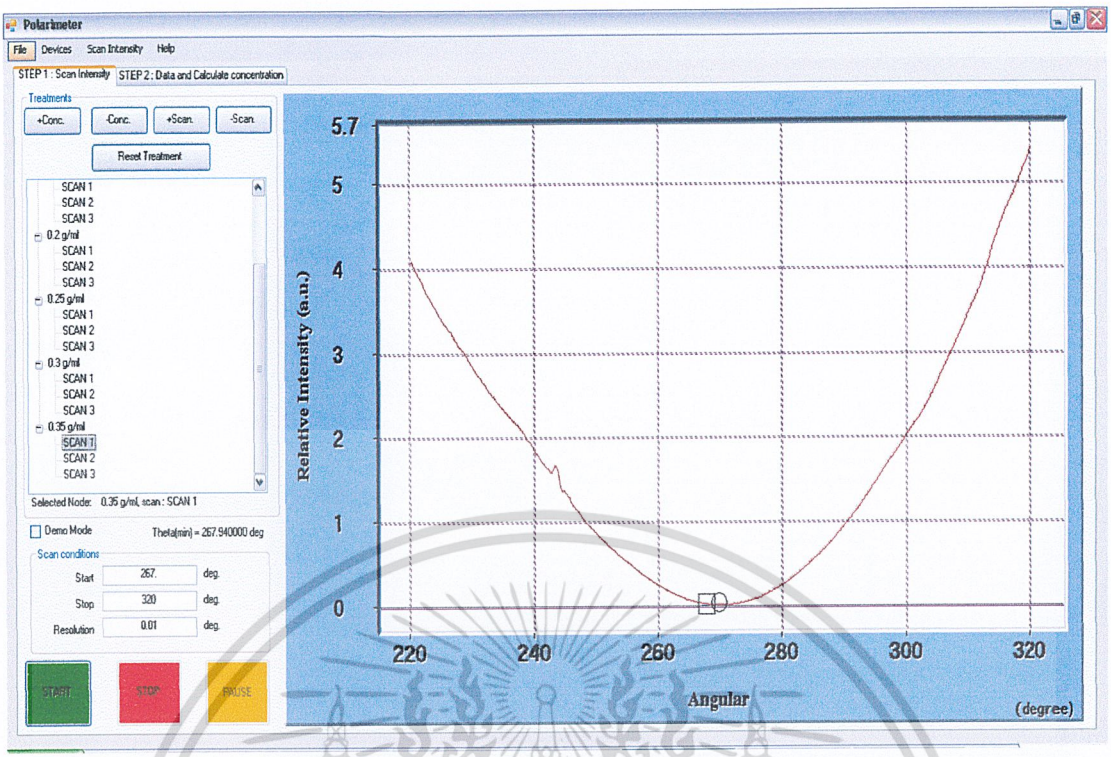
(ความเข้มข้น 0.25 g/ml)



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference

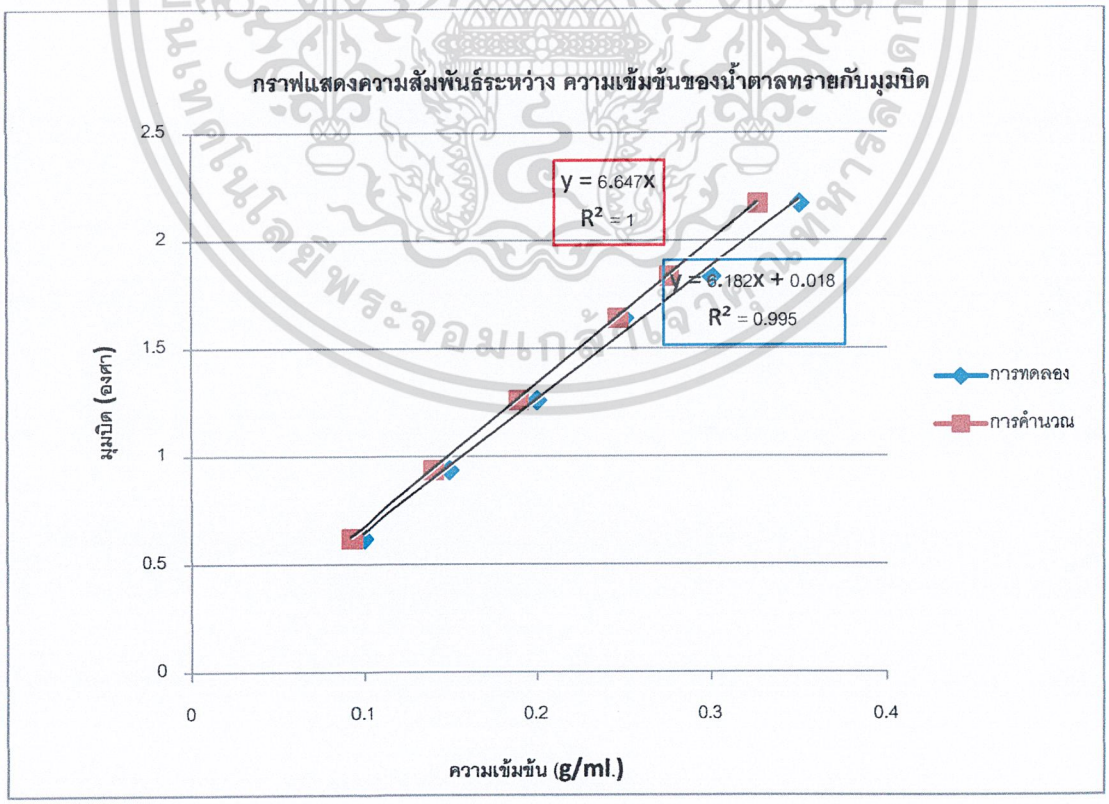
(ความเข้มข้น 0.30 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับ Reference

(ความเข้มข้น 0.35 g/ml)



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซูโครส (น้ำตาลทราย) กับมุมบิด

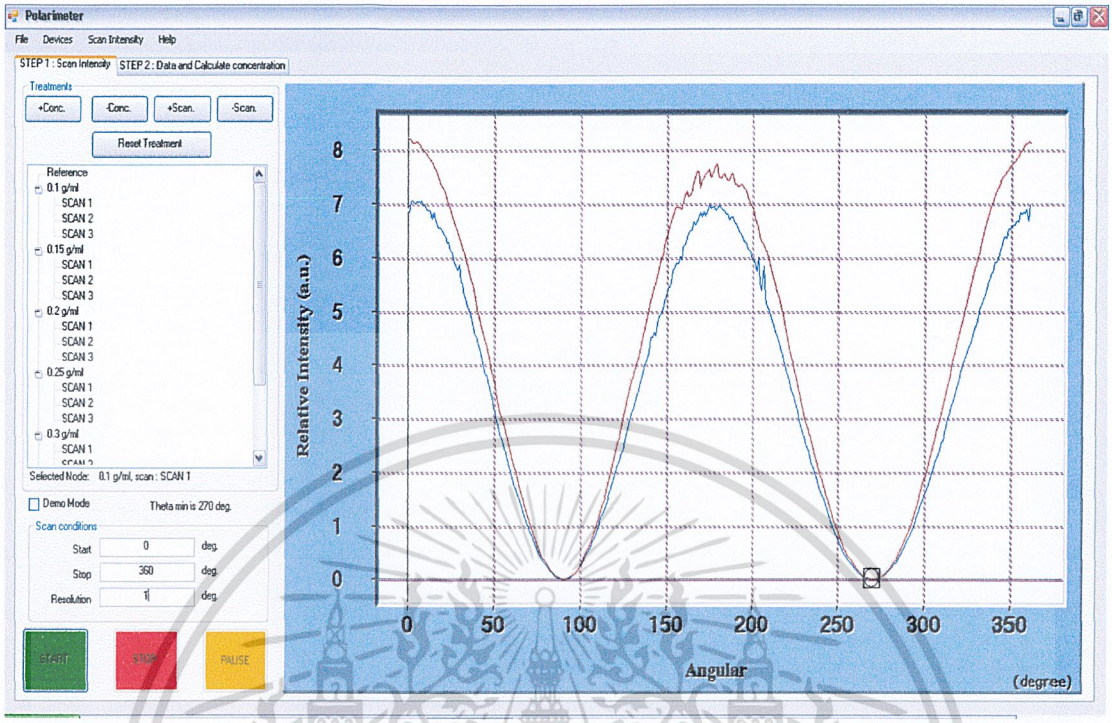
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

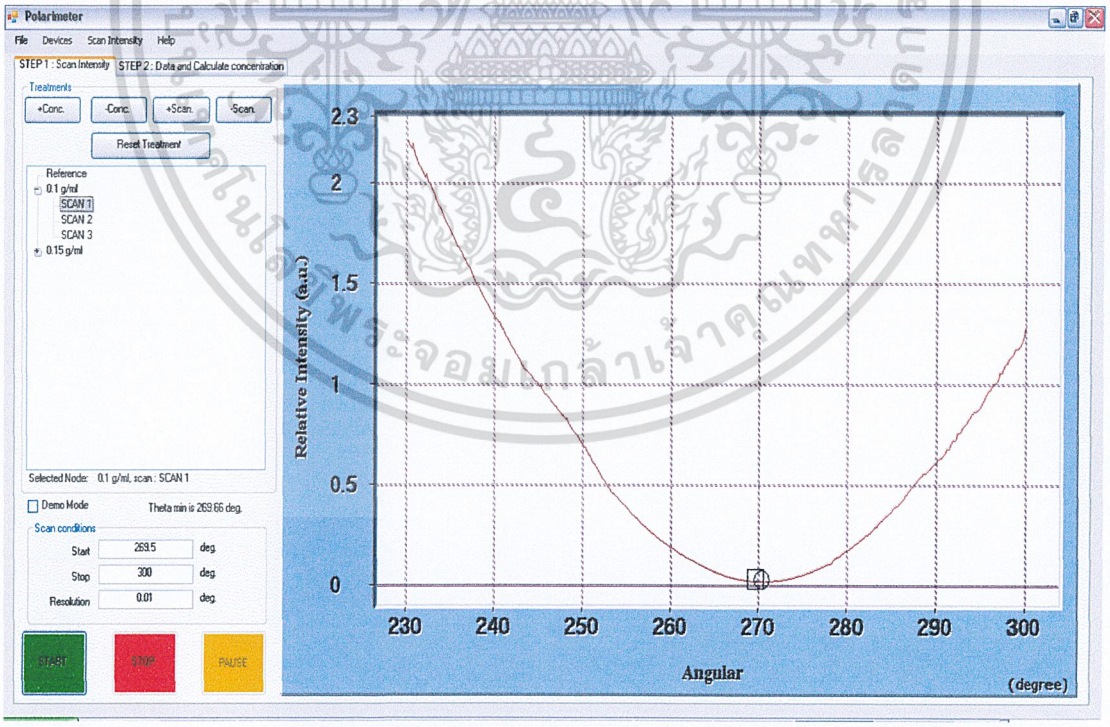
ตารางที่ 4.2.2 การวัดความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส

ผลทดลอง ตอนที่ 2								
กลูโคส								
ปริมาณน้ำตาล (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (g/ml)	Theta A (deg.)	Theta B (deg.)	Theta (A-B)	Mean Theta (A-B)	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการทดลอง (g/ml)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
2	20	0.10	270.40	269.66	0.74	0.69	0.10	-0.11
			270.40	269.61	0.79			
			270.40	269.86	0.54			
3	20	0.15	270.40	269.35	1.05	1.02	0.15	-0.84
			270.40	269.37	1.03			
			270.40	269.42	0.98			
4	20	0.20	270.40	268.95	1.45	1.40	0.20	0.61
			270.40	269.11	1.29			
			270.40	268.94	1.46			
5	20	0.25	270.40	268.71	1.69	1.61	0.23	-3.45
			270.40	268.53	1.87			
			270.40	269.12	1.28			
6	20	0.30	270.40	268.14	2.26	2.17	0.31	2.25
			270.40	268.21	2.19			
			270.40	268.34	2.06			
7	20	0.35	270.40	268.13	2.27	2.34	0.34	-1.61
			270.40	267.98	2.42			
			270.40	268.06	2.34			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆของกลูโคสกับ Reference

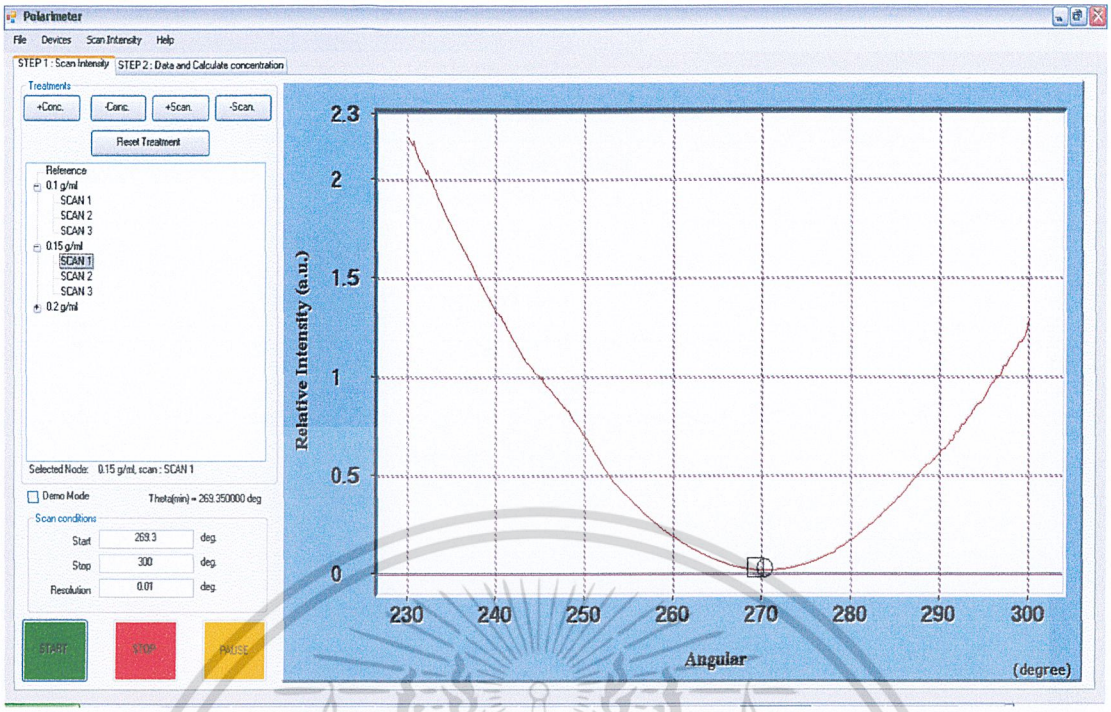




รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference

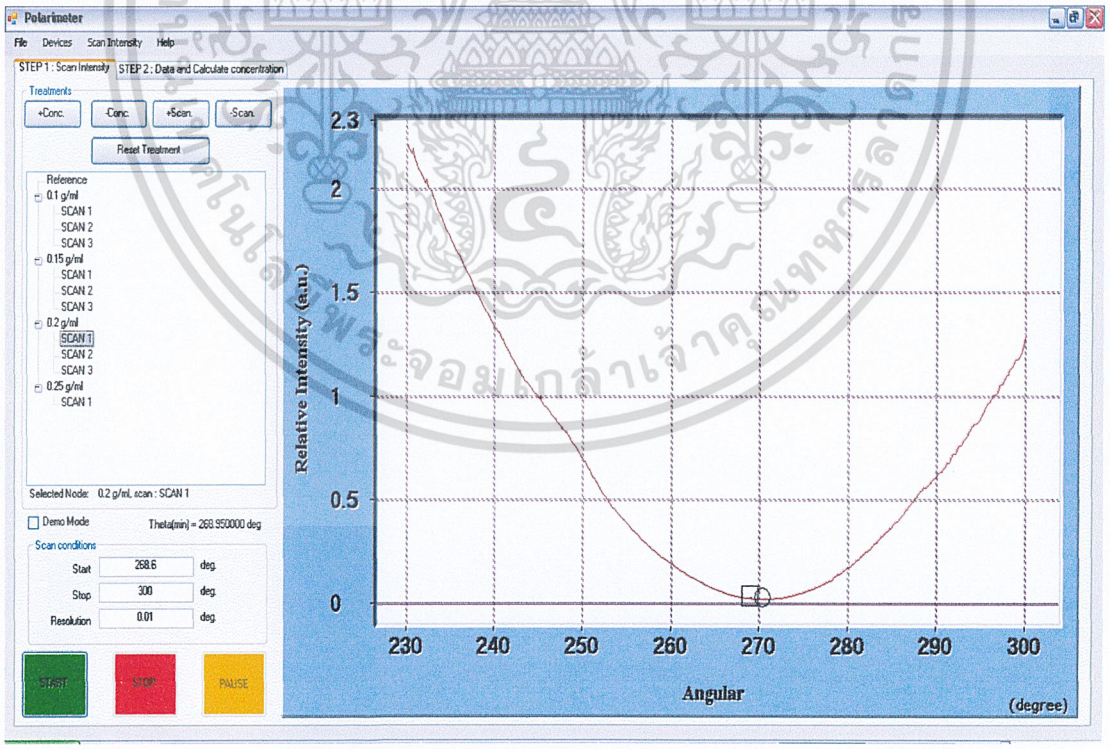
(ความเข้มข้น 0.1 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference

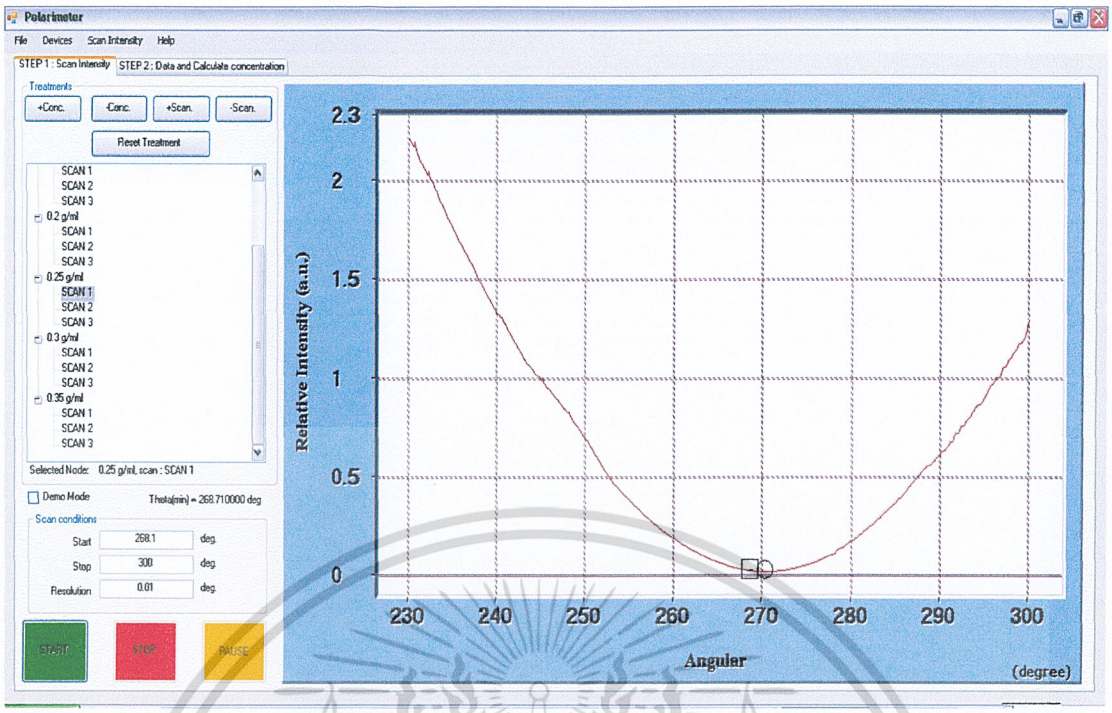
(ความเข้มข้น 0.15 g/ml)



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference

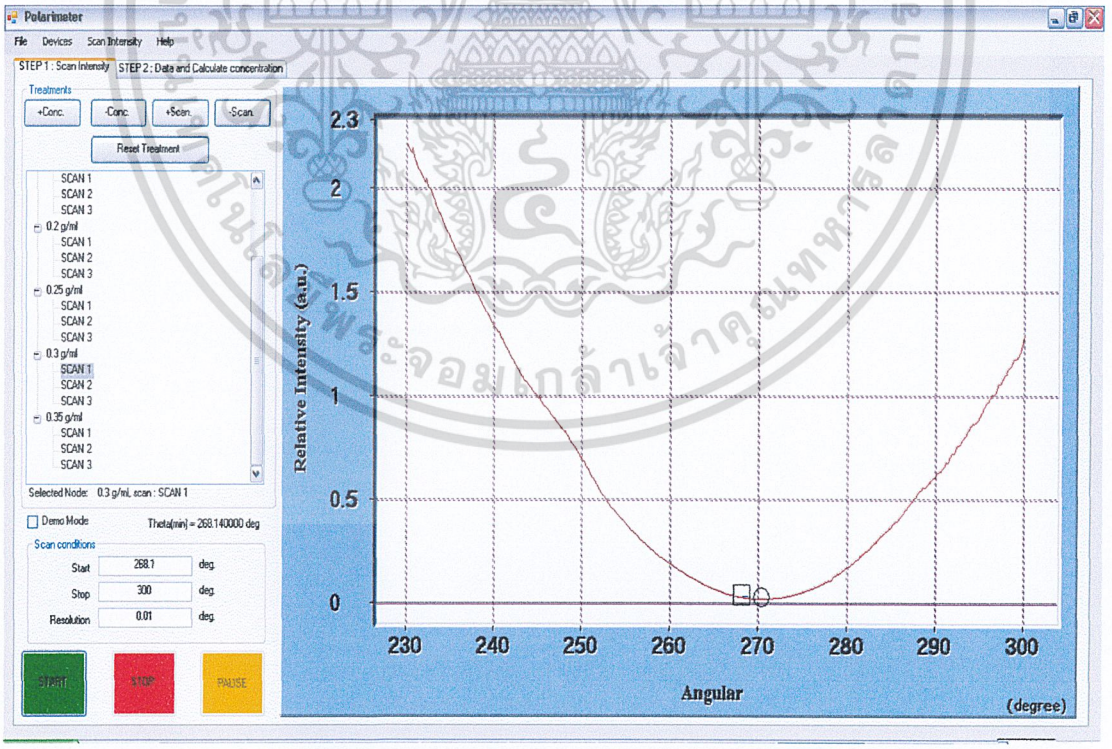
(ความเข้มข้น 0.2 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference

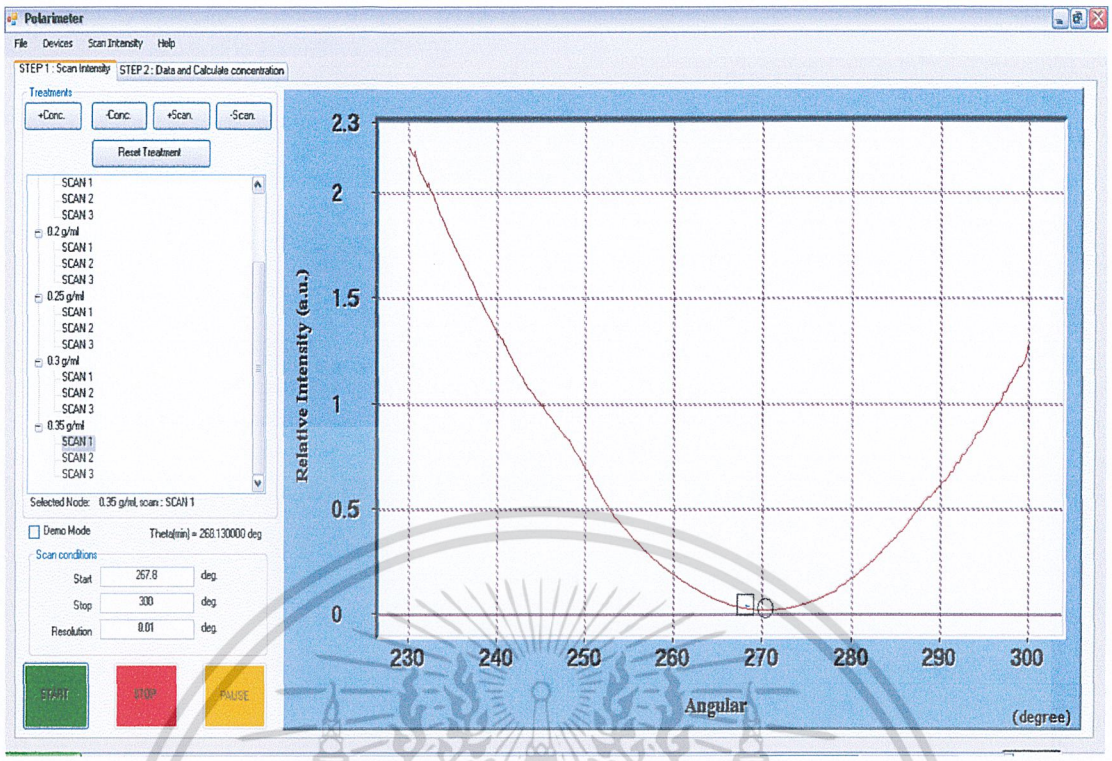
(ความเข้มข้น 0.25 g/ml)



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference

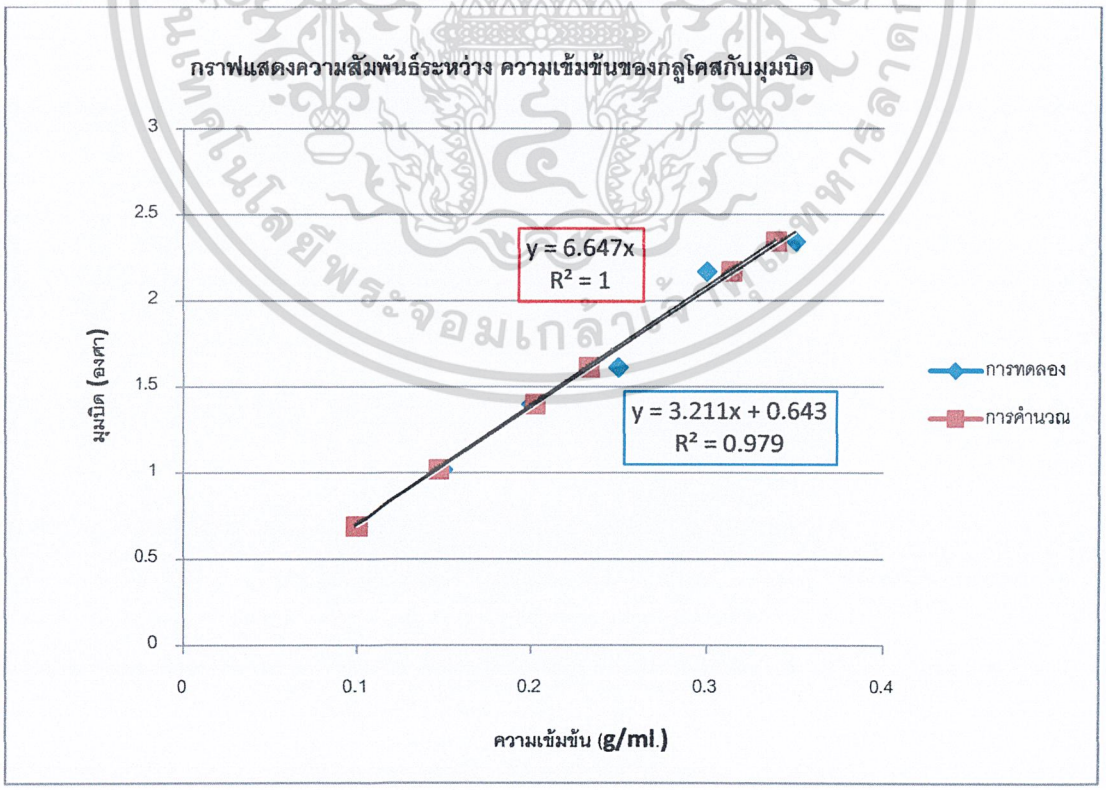
(ความเข้มข้น 0.3 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับ Reference

(ความเข้มข้น 0.35 g/ml)



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคส กับมุมบิด

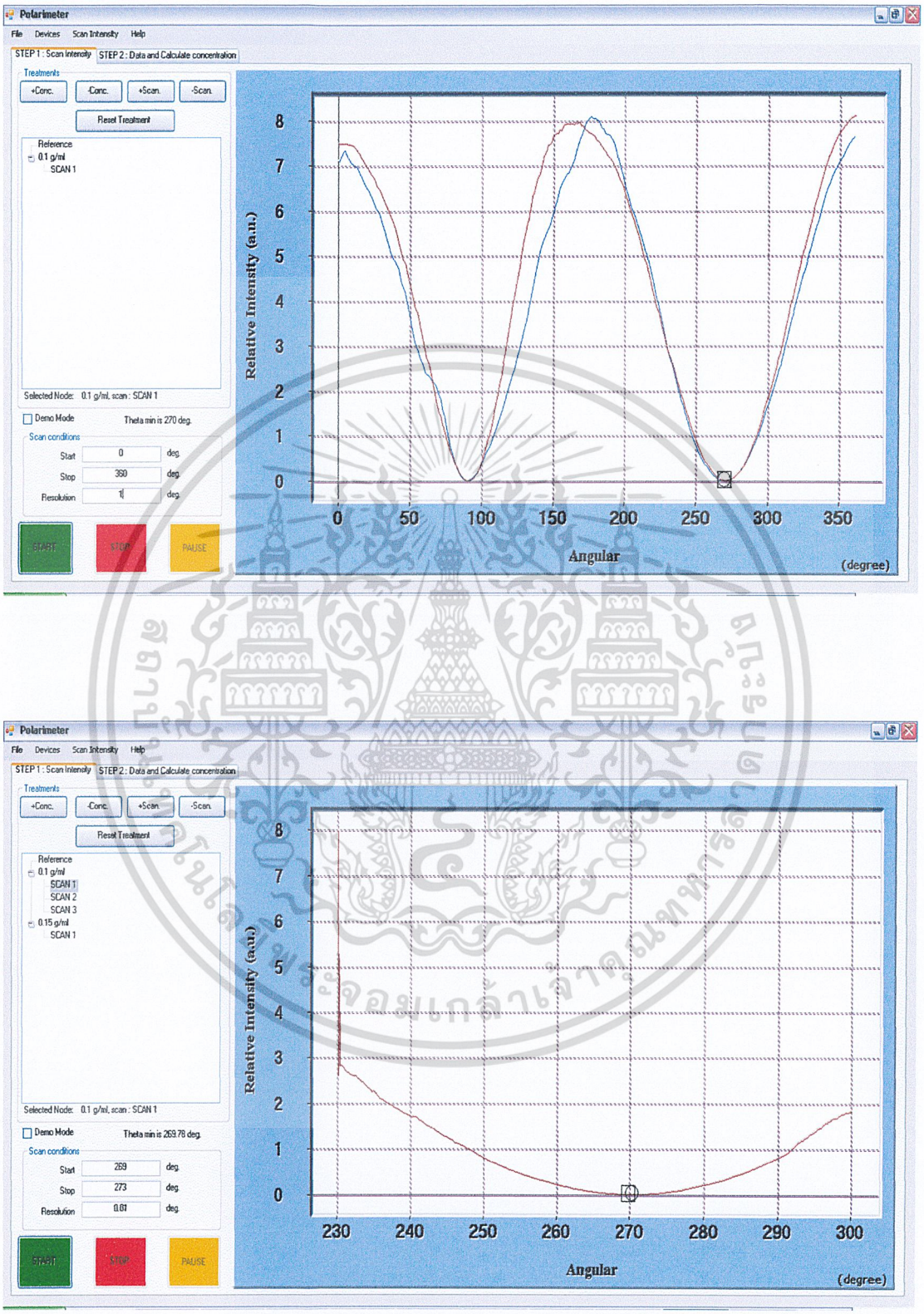
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.3 การวัดความเข้มข้นของสารละลายแลกโตส

ผลทดลอง ตอนที่ 2								
แลกโตส								
ปริมาณน้ำตาล (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (g/ml)	Theta A (deg.)	Theta B (deg.)	Theta (A-B)	Mean Theta (A-B)	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการทดลอง (g/ml)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1.0	10.0	0.10	270.30	269.78	0.52	0.57	0.10	1.42
			270.30	269.73	0.57			
			270.30	269.68	0.62			
1.5	10.0	0.15	270.30	269.42	0.88	0.87	0.16	1.91
			270.30	269.43	0.87			
			270.30	269.46	0.84			
2.0	10.0	0.20	270.30	269.24	1.06	1.07	0.20	-1.90
			270.30	269.33	0.97			
			270.30	269.13	1.17			
2.5	10.0	0.25	270.30	268.74	1.56	1.41	0.26	0.78
			270.30	269.07	1.23			
			270.30	268.87	1.43			
3.0	10.0	0.30	270.30	268.65	1.65	1.65	0.30	-0.46
			270.30	268.61	1.69			
			270.30	268.70	1.60			
3.5	10.0	0.35	270.30	268.24	2.06	2.06	0.37	3.03
			270.30	268.18	2.12			
			270.30	268.30	2.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

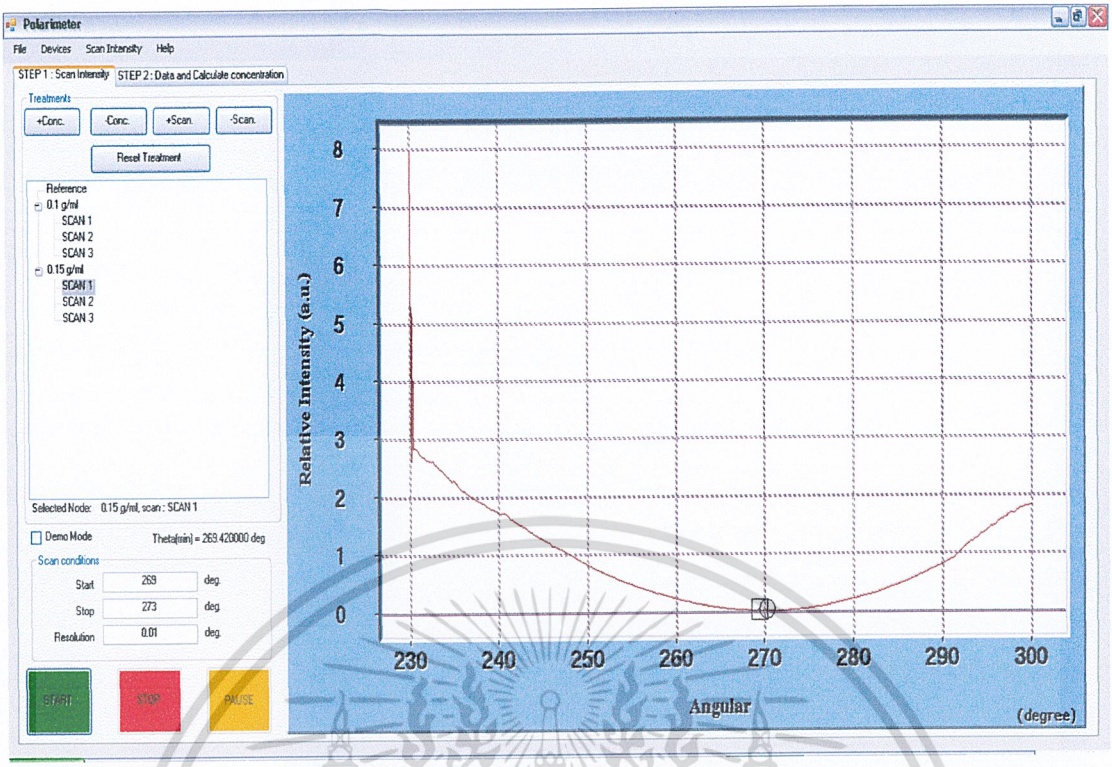
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆของแลกโตสกับ Reference



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

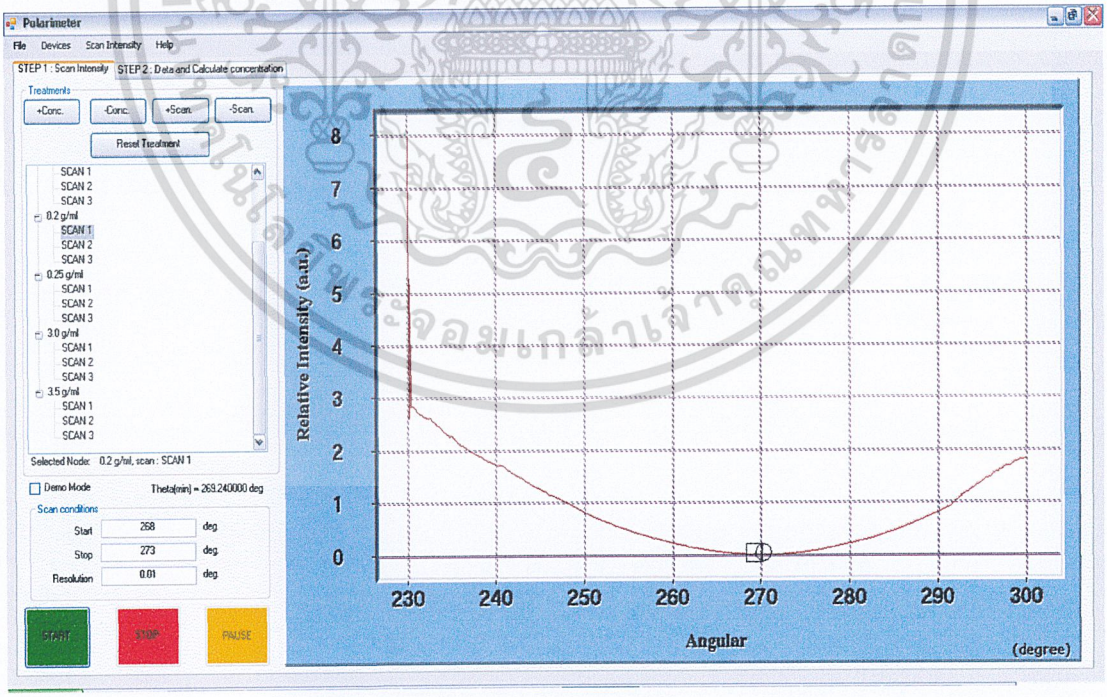
(ความเข้มข้น 0.1 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

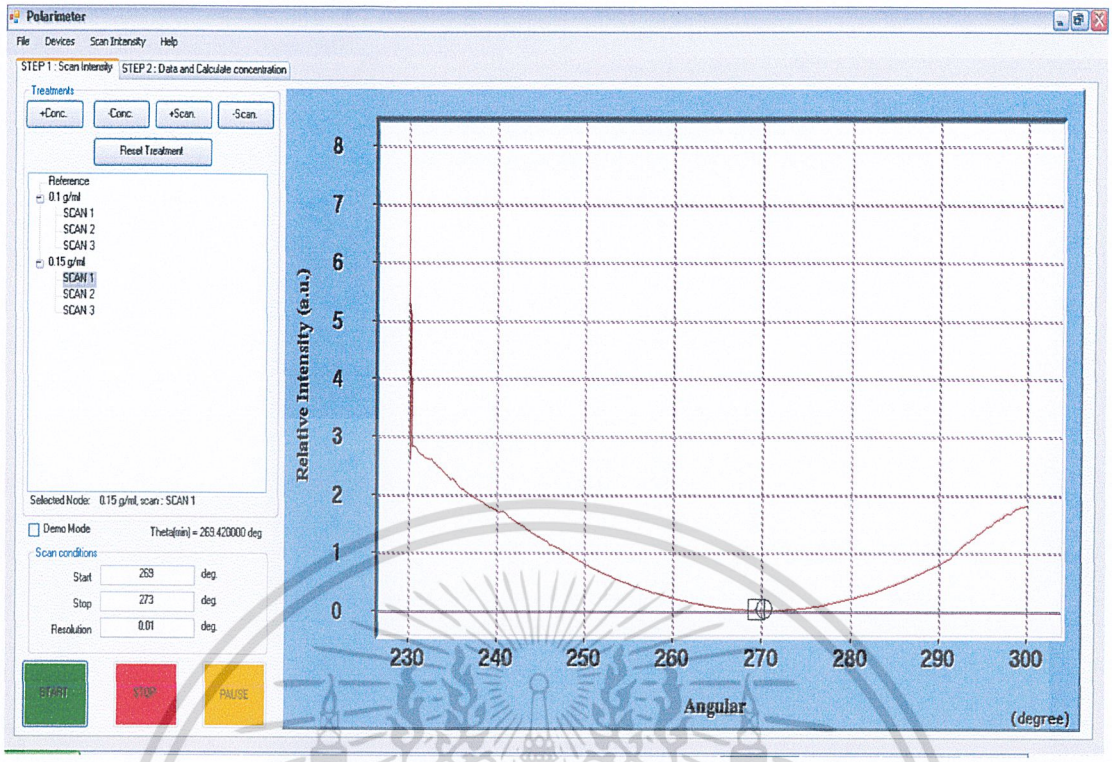
(ความเข้มข้น 0.15 g/ml)



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

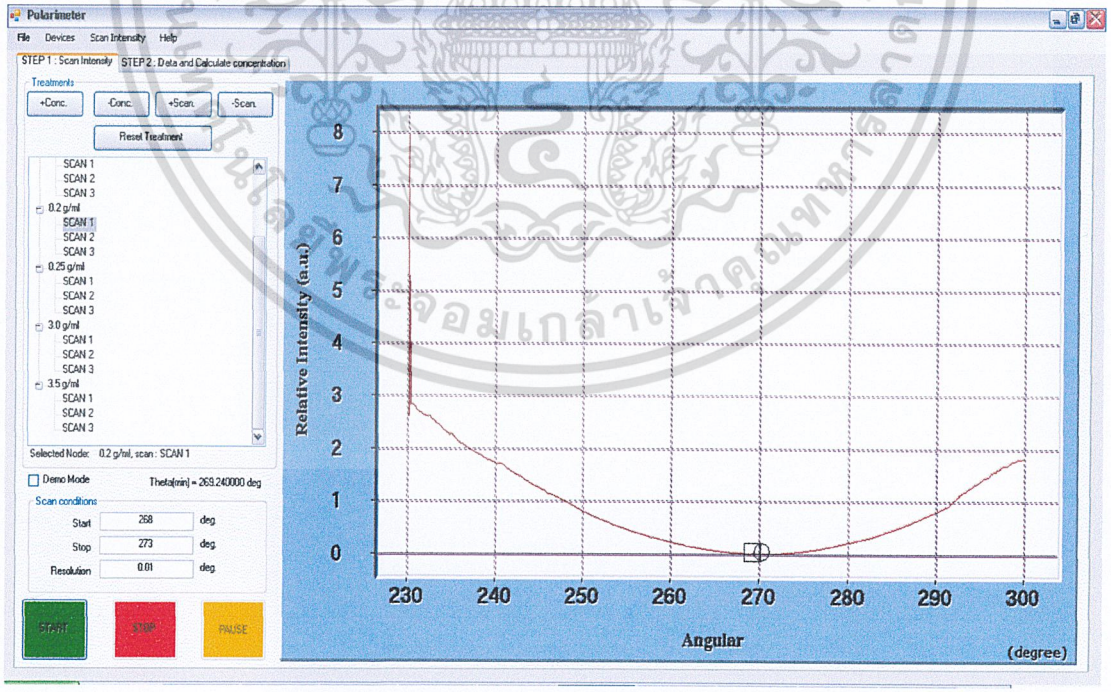
(ความเข้มข้น 0.2 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

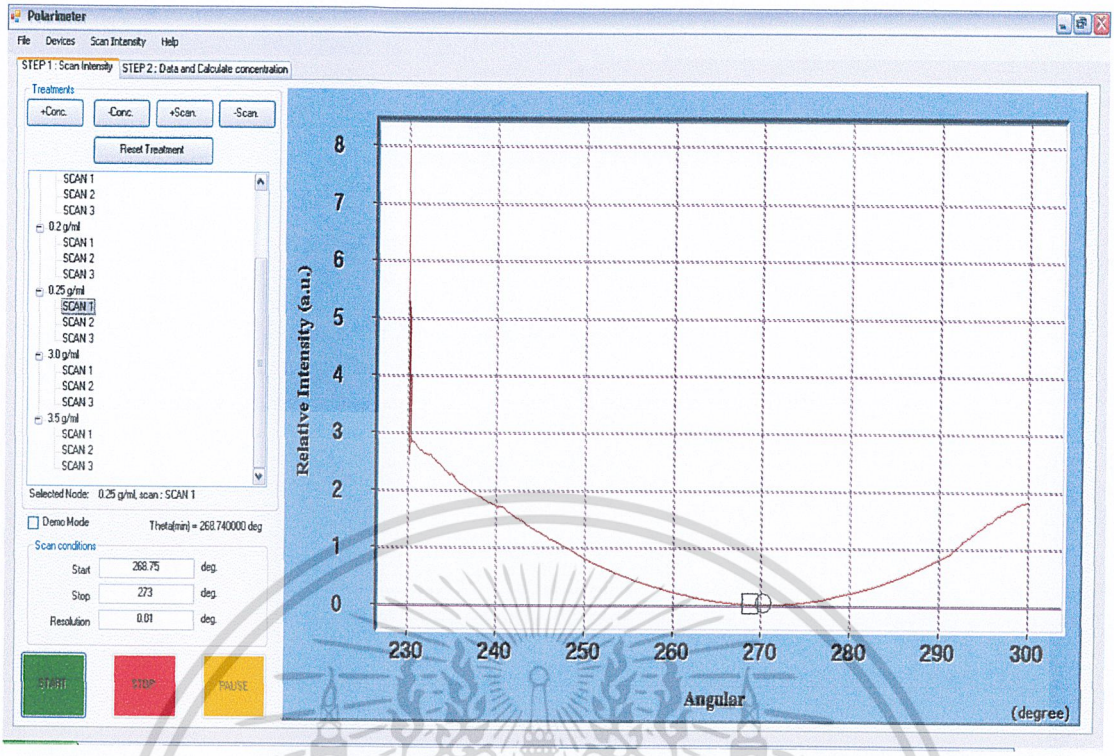
(ความเข้มข้น 0.15 g/ml)



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

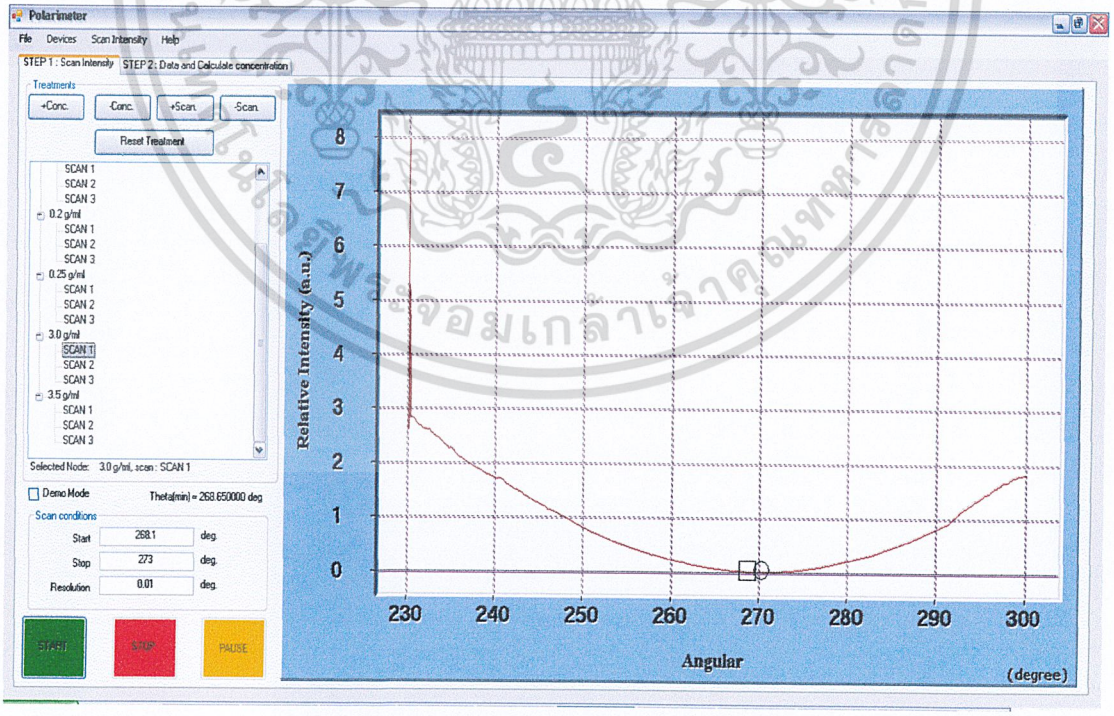
(ความเข้มข้น 0.2 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

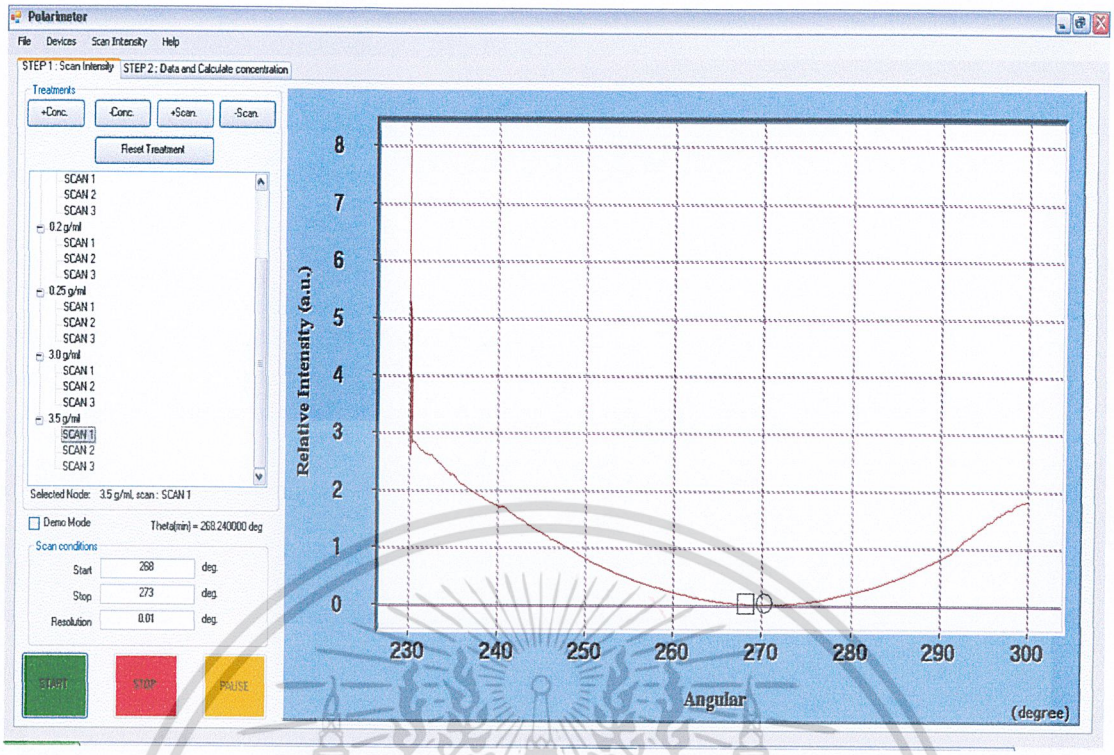
(ความเข้มข้น 0.25 g/ml)



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

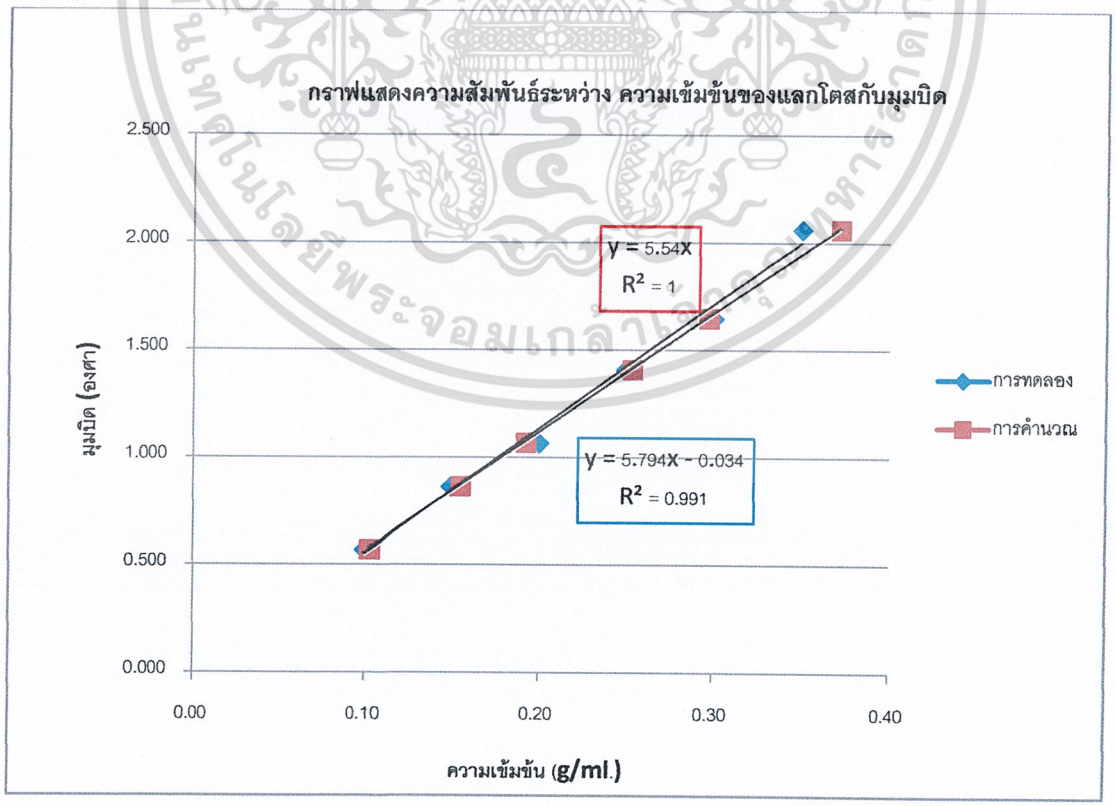
(ความเข้มข้น 0.3 g/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับ Reference

(ความเข้มข้น 0.35 g/ml)



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแลกโตสกับมุมบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากหลักการของโพลาริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการบิดไปของแนวโพลาไรซ์ของแสงเมื่อเดินทางผ่านของเหลวที่มีสมบัติว่องไวเชิงแสง (optically active fluid) โดยการวัดมุมที่แสงโพลาไรซ์บิดไปจะสามารถคำนวณความเข้มข้นของสารละลายได้ ซึ่งทำการทดลองเป็น 2 ตอนคือ

การทดลองตอนที่ 1 แท่นโพลาไรซ์จะถูกหมุนโดยใช้มือ แล้วสังเกตค่าความเข้มแสงโดยใช้ตาดูที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโฟโต้ดีเทคเตอร์ แล้วทำการอ่านค่ามุมที่แสงโพลาไรซ์บิด ซึ่งความละเอียดในการอ่านค่ามุมบิดแนวโพลาไรซ์ 0.08 องศา พบว่า

สารละลายน้ำตาลทราย(ซูโครส) เมื่อทำการวัดความเข้มข้น และจากการคำนวณความเข้มข้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 1.58 % และสูงสุดอยู่ที่ 12.81%

สารละลายน้ำตาลกลูโคส เมื่อทำการวัดความเข้มข้น และจากการคำนวณความเข้มข้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 3.39 % และสูงสุดอยู่ที่ 9.23%

สารละลายน้ำตาลแลกโตส เมื่อทำการวัดความเข้มข้น และจากการคำนวณความเข้มข้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 2.53 % และสูงสุดอยู่ที่ 11.17%

การทดลองตอนที่ 2 มีการพัฒนาโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ซึ่งติดตั้งไว้กับแท่นโพลาไรซ์ความเข้มแสงที่ผ่านแท่นโพลาไรซ์จะถูกวัดด้วยโฟโตดีเทคเตอร์เข้า ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะอ่านค่ามุมที่แสงโพลาไรซ์บิดไปโดยมีความละเอียดอยู่ที่ 0.01 องศา/step พบว่า

สารละลายน้ำตาลทราย(ซูโครส) เมื่อทำการวัดความเข้มข้น และจากการคำนวณความเข้มข้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.66 % และสูงสุดอยู่ที่ 4.20%

สารละลายน้ำตาล เมื่อทำการวัดความเข้มข้น และจากการคำนวณความเข้มข้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.11 % และสูงสุดอยู่ที่ 3.45%

สารละลายน้ำตาลแลกโตส เมื่อทำการวัดความเข้มข้น และจากการคำนวณความเข้มข้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.46 % และสูงสุดอยู่ที่ 3.03%

จากการทดลองทั้ง 2 ตอนพบว่า การพัฒนาโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์มีความสามารถในการอ่านค่ามุมที่แสงโพลาไรซ์บิดดีกว่าเนื่องจากมีความละเอียดสูงกว่าการอ่านค่ามุมที่แสงโพลาไรซ์บิดด้วยตัวเองถึง 8 เท่า ทำให้ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์พบว่าระบบที่พัฒนายังมีความคลาดเคลื่อนในการสั่งมอเตอร์ให้หมุนกลับ ซึ่งจะต้องมีการใช้มือหมุนแท่นโพลาไรซ์กลับไปจุดเริ่มต้นทุกครั้งที่ทำการทดลอง ดังนั้นจึงควรพัฒนาระบบให้มีการหน่วงเวลาในการสั่งมอเตอร์ให้หมุนกลับ เพื่อให้ระบบมีความสามารถดีขึ้น

และในการเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ควรจะทำการวัดความเข้มข้นโดยใช้เครื่องวัดความเข้มข้นมาตรฐานเพื่อที่จะดูว่าสารละลายที่เราทำการผสมเองมีค่าความเข้มข้นที่แท้จริงเท่าไร เพราะในการเตรียมสารละลายเองนั้นจะมีผิดพลาดซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ผศ.ดรวราวุฒิ เถาลัดดา.เอกสารคำสอนวิชา 05354210 ออปโตอิเล็กทรอนิกส์, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาสาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพ

นางสาวพลอยพิรุร บุญประเสริฐ.2551. ผลกระทบของสถานะโพลาไรซ์เซชันที่มีต่อแสงทะลุผ่านฟิล์มบางสำหรับสารกึ่งตัวนำดปร่งแสง.วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม คณะวิทยาสาสตร์ สถาบันเทคโนคลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพ

Mohrig, J. R.; Hammond, C. N.; Schatz, P. F.(2010). Techniques in Organic Chemistry (Third ed.). W. H. Freeman and Company. pp. 209–210.

รศ.ธีระวัฒน์ ประกอบผล.2550.การวิเคราะห์และออกแบบระบบ.กรุงเทพฯ: ซัคเซส มีเดีย.

บัญชา ปะสีละเตสัง. 2552. พัฒนาแอปพลิเคชันด้วย Visual Basic 2008. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Code โปรแกรม Visual basic

Code โปรแกรม Visual basic

```
Imports System
Imports System.IO
Imports System.Text

Public Class Form1

#Region "DECRALATION"
    'Structure
    Structure strucData
        Dim X() As Double
        Dim Y() As Double
        Dim MinimizingAngle As Double
        Dim MinimumIntensity As Double
    End Structure
    Structure strucTreatment
        Dim Concentration As Double
        Dim Repreat() As strucData
    End Structure

    '******MAIN PRIMARY INFORMATION*************
    Dim Reference As strucTreatment
    Dim Treatments() As strucTreatment
    Dim ReferenceCurve As DYNAPLOT3Lib.Curve
    Dim TreatmentCurve As DYNAPLOT3Lib.Curve
    Dim TreatmentMinMarker As DYNAPLOT3Lib.Marker
    Dim ReferenceMinMarker As DYNAPLOT3Lib.Marker
    Dim Imin As Double
    Dim ThetaMin As Double
    '*****************************************

    'CONSTANTS
    Const StepFactor = 0.013325 'Deg/Step

    'SCAN PROCECURE
    Dim IsScanning As Boolean = False
    Dim CurrentPointIndex As Integer = 0

    'IDENTIFY TREATMENT AND SCAN
    Dim TreatmentIndex As Integer
    Dim ScanIndex As Integer

#End Region
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#Region "DEVICES"

    Private DMM As Ivi.Visa.Interop.IFormattedIO488
    Private MMC As Ivi.Visa.Interop.IFormattedIO488

#End Region

#Region "Control Panel"
    Private Sub btnStart_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnStart.Click
        'Add curve
        Dim x(0) As Double
        Dim y(0) As Double

        ResetDynaplot()

        PlotReferenceCurve()

        'SET UPPER LIMIT OF MINIMUM LIGHT INTENSITY
        Imin = 9999999

        '-------------------------------------
        '1. Update buttons
        '-------------------------------------
        btnStart.Enabled = False
        btnStop.Enabled = True
        btnPause.Enabled = True

        '-------------------------------------
        '2. start Test loop of reading light intensity
        '-------------------------------------
        CurrentPointIndex = 0
        IsScanning = True
        DoScanLightIntensity()

    End Sub

    Private Sub btnStop_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnStop.Click
        '-------------------------------------
        '1. stop Test loop of reading light intensity
        '-------------------------------------
        StopScanning()

        '-------------------------------------
        '2. Update buttons
        '-------------------------------------
        btnStart.Enabled = True
        btnStop.Enabled = False
        btnPause.Enabled = False
        btnPause.Text = "PAUSE"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End Sub

    Private Sub btnPause_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnPause.Click
        '---------------------------------------
        '1. pause/continue Test loop of reading light intensity
        '---------------------------------------
        If btnPause.Text = "PAUSE" Then
            DoPauseScanning()
        Else
            DoContinueScanning()
        End If

        '---------------------------------------
        '2. Update buttons
        '---------------------------------------
        btnStart.Enabled = False
        btnStop.Enabled = True
        btnPause.Enabled = True
        If btnPause.Text = "PAUSE" Then
            btnPause.Text = "CONTINUE"
        Else
            btnPause.Text = "PAUSE"
            DoScanLightIntensity()
        End If
    End Sub

#End Region

#Region "Scanning Procedure"
    Private Sub DoScanLightIntensity()
        Try
            '---------------------------------------
            'INITIALIZATION
            '---------------------------------------
            '0.1 Get node id
            Dim i As Integer = TreatmentIndex - 1
            Dim j As Integer = ScanIndex - 1
            '0.2 Redimension Treatments
            If i = -1 Then 'Blank
                ReDim Preserve Reference.Repreat(0 To 0)
            Else
                'Treatments
                If Treatments Is Nothing Then 'Check null array
                    ReDim Preserve Treatments(0 To i)
                Else 'Not nuul array
                    If Treatments.Length - 1 < i Then 'Index correction
                        ReDim Preserve Treatments(0 To i)
                    End If
                End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Treatments(i).Concentration = tvTreaments.Nodes(i + 1).Tag 'Define concentration
        'Each repreat in treatements(i)
        If Treatments(i).Repreat Is Nothing Then 'Check null array
            ReDim Preserve Treatments(i).Repreat(0 To j)
        Else 'Not null
            If Treatments(i).Repreat.Length - 1 < j Then 'Index correction
                ReDim Preserve Treatments(i).Repreat(0 To j)
            End If
        End If
    End If
    '0.3 Read conditions
    Dim ThetaA As Double = CDbl(txtStart.Text)
    Dim ThetaB As Double = CDbl(txtStop.Text)
    Dim Delta As Double = CDbl(txtResolution.Text)
    '-------------------------------------------------------

    '-------------------------------------------------------
    'REAL INTERFACE YES OR NOT (Theta,I)
    '-------------------------------------------------------
    Dim CurrentLightIntensity As Double
    Dim StepNumber As Integer
    Dim MSG As String
    Dim CurrentTheta As Double = ThetaA + CurrentPointIndex * Delta
    'check demo mode
    If chkDemo.Checked = False Then
        '0.4 GOTO Theta A
        StepNumber = CInt(CurrentTheta / StepFactor) 'step
        MSG = "A:XP-" & StepNumber.ToString
        MMC.WriteString(MSG)
        '0.5 Read first
        DMM.WriteString("READ?")
        CurrentLightIntensity = DMM.ReadNumber
    Else 'IN DEMO MODE
        CurrentLightIntensity = Rnd() * 10
    End If
    '-------------------------------------------------------

    '-------------------------------------------------------
    'CHECK MINIMUM VALUE
    '-------------------------------------------------------
    If CurrentLightIntensity < Imin Then
        Imin = CurrentLightIntensity
        ThetaMin = CurrentTheta
    Else
        'DO NOTHING
    End If
    '-------------------------------------------------------

    '-------------------------------------------------------
    'STORE DATA AND PLOT
    '-------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        '0.6 Save to memory
        If i = -1 Then 'Blank
            Reference.Repreat(0).MinimizingAngle = ThetaMin
            Reference.Repreat(0).MinimumIntensity = Imin
            ReDim Preserve Reference.Repreat(0).X(0 To CurrentPointIndex)
            ReDim Preserve Reference.Repreat(0).Y(0 To CurrentPointIndex)
            Reference.Repreat(0).X(CurrentPointIndex) = CurrentTheta
            Reference.Repreat(0).Y(CurrentPointIndex) = CurrentLightIntensity
            ReferenceCurve.UpdateData(Reference.Repreat(0).X, Reference.Repreat(0).Y,
CurrentPointIndex)
            ReferenceMinMarker.PositionX = Reference.Repreat(0).MinimizingAngle
            ReferenceMinMarker.PositionY = Reference.Repreat(0).MinimumIntensity
        Else 'Treatments
            Treatments(i).Repreat(j).MinimizingAngle = ThetaMin
            Treatments(i).Repreat(j).MinimumIntensity = Imin
            ReDim Preserve Treatments(i).Repreat(j).X(0 To CurrentPointIndex)
            ReDim Preserve Treatments(i).Repreat(j).Y(0 To CurrentPointIndex)
            Treatments(i).Repreat(j).X(CurrentPointIndex) = CurrentTheta
            Treatments(i).Repreat(j).Y(CurrentPointIndex) = CurrentLightIntensity
            TreatmentCurve.UpdateData(Treatments(i).Repreat(j).X, Treatments(i).Repreat(j).Y,
CurrentPointIndex)
            TreatmentMinMarker.PositionX = Treatments(i).Repreat(j).MinimizingAngle
            TreatmentMinMarker.PositionY = Treatments(i).Repreat(j).MinimumIntensity
        End If
        '----------------------------------------

        '----------------------------------------
        'MAIN READING LOOP (^0^)
        '----------------------------------------
        While IsScanning

            Application.DoEvents()

            '0. Update point index and current THETA
            '***Here can control TEHTA!
            CurrentPointIndex += 1

            CurrentTheta = ThetaA + CurrentPointIndex * Delta

            '----------------------------------------
            'CHECK DEMO MODE
            '----------------------------------------
            If chkDemo.Checked = False Then

                '----------------------------------------
                'REAL INTERFACING
                '----------------------------------------
                '1. Move polarizer
                StepNumber = CInt(CurrentTheta / StepFactor) 'step
                MSG = "A:XP-" & StepNumber.ToString
                MMC.WriteString(MSG)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        '2. delay
        Dim sw As New Stopwatch
        sw.Start()
        Do
            'do nothing
        Loop Until sw.ElapsedMilliseconds > 1000 'ms
        '3. Read light intensity
        DMM.WriteString("READ?")
        CurrentLightIntensity = DMM.ReadNumber
        '----------------------------------------
    Else

        '----------------------------------------
        'DEMO MODE
        '----------------------------------------
        '1. Do not move polarizer
        '2. Delay.
        '3. Do not read light intensity
        '***But simulate the light intensity
        Dim sw As New Stopwatch
        sw.Start()
        Do
            'do nothing
        Loop Until sw.ElapsedMilliseconds > 200 'ms
        CurrentLightIntensity = Rnd() * 10
        '----------------------------------------

    End If

'------------------------------------------------------------
    'CHECK MINIMUM VALUE
    '------------------------------------------------------------
    If CurrentLightIntensity < Imin Then
        Imin = CurrentLightIntensity
        ThetaMin = CurrentTheta
        lblMinimumValue.Text = "Theta min is " & ThetaMin.ToString & " deg."
    Else
        'DO NOTHING
    End If
    '------------------------------------------------------------

    '----------------------------------------
    'FINALIZATION
    '----------------------------------------
    '4. Save to memory and update curve
    If i = -1 Then 'Blank
        Reference.Repreat(0).MinimizingAngle = ThetaMin
        Reference.Repreat(0).MinimumIntensity = Imin
        ReDim Preserve Reference.Repreat(0).X(0 To CurrentPointIndex)
        ReDim Preserve Reference.Repreat(0).Y(0 To CurrentPointIndex)
        Reference.Repreat(0).X(CurrentPointIndex) = CurrentTheta
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Reference.Repreat(0).Y(CurrentPointIndex) = CurrentLightIntensity
            ReferenceCurve.UpdateData(Reference.Repreat(0).X, Reference.Repreat(0).Y,
CurrentPointIndex)
            ReferenceMinMarker.PositionX = Reference.Repreat(0).MinimizingAngle
            ReferenceMinMarker.PositionY = Reference.Repreat(0).MinimumIntensity
          Else 'Treatments
            Treatments(i).Repreat(j).MinimizingAngle = ThetaMin
            Treatments(i).Repreat(j).MinimumIntensity = Imin
            ReDim Preserve Treatments(i).Repreat(j).X(0 To CurrentPointIndex)
            ReDim Preserve Treatments(i).Repreat(j).Y(0 To CurrentPointIndex)
            Treatments(i).Repreat(j).X(CurrentPointIndex) = CurrentTheta
            Treatments(i).Repreat(j).Y(CurrentPointIndex) = CurrentLightIntensity
            TreatmentCurve.UpdateData(Treatments(i).Repreat(j).X,
Treatments(i).Repreat(j).Y, CurrentPointIndex)
            TreatmentMinMarker.PositionX = Treatments(i).Repreat(j).MinimizingAngle
            TreatmentMinMarker.PositionY = Treatments(i).Repreat(j).MinimumIntensity
          End If
          AxDynaPlot1.Axes.Autoscale()
          '5. check stop condition
          If ThetaB < CurrentTheta Then IsScanning = False
          '----------------------------------------
End While
        '----------------------------------------(^0^)

        'if stop update buttons to a new start
        If btnPause.Text <> "CONTINUE" Then
          btnStart.Enabled = True
          btnStop.Enabled = False
          btnPause.Enabled = False
          btnPause.Text = "PAUSE"
        Else 'if pause update buttons to continue
          btnStart.Enabled = False
          btnStop.Enabled = True
          btnPause.Enabled = True
        End If

    Catch ex As Exception

        MsgBox(ex.Message)

        '---------------------------------------
        '1. stop Test loop of reading light intensity
        '---------------------------------------
        StopScanning()

        '---------------------------------------
        '2. Update buttons
        '---------------------------------------
        btnStart.Enabled = True
        btnStop.Enabled = False
        btnPause.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            btnPause.Text = "PAUSE"

        End Try

    End Sub

    Private Sub StopScanning()
        IsScanning = False
    End Sub

    Private Sub DoPauseScanning()
        IsScanning = False
    End Sub

    Private Sub DoContinueScanning()
        IsScanning = True
    End Sub

#End Region

#Region "Menus"

    Private Sub OpenDataToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles OpenDataToolStripMenuItem.Click
        OpenFile()
    End Sub

    Private Sub SaveDataToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles SaveDataToolStripMenuItem.Click
        SaveFile()
    End Sub

    Private Sub ExitToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ExitToolStripMenuItem.Click
        Close()
    End Sub

    Private Sub ConnectToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ConnectToolStripMenuItem.Click

        Try
            '----------------------------------------
            'CONNECT DMM
            '----------------------------------------
            Dim mgr1 As Ivi.Visa.Interop.ResourceManager
            Dim DMMAddress As String
            DMMAddress = txtDMMAddress.Text
            mgr1 = New Ivi.Visa.Interop.ResourceManager
            DMM = New Ivi.Visa.Interop.FormattedIO488
            DMM.IO() = mgr1.Open(DMMAddress)
            DMM.IO.Timeout = 7000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        '-----------------------------------------
        'CONNECT MMC
        '-----------------------------------------
        Dim mgr2 As Ivi.Visa.Interop.ResourceManager
        Dim MMCAddress As String
        MMCAddress = txtMMCAddress.Text
        mgr2 = New Ivi.Visa.Interop.ResourceManager
        MMC = New Ivi.Visa.Interop.FormattedIO488
        MMC.IO() = mgr2.Open(MMCAddress)
        MMC.IO.Timeout = 7000

        MsgBox("Connect devices are successful.")

      Catch ex As Exception
        MsgBox("InitIO Error:" & vbCrLf & ex.Message)
      End Try

    End Sub

    Private Sub DisconnectToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles DisconnectToolStripMenuItem.Click
      Try

        DMM.IO.Close()
        DMM.IO = Nothing
        MMC.IO.Close()
        MMC.IO = Nothing
        MsgBox("Devices have been disconnected.")

      Catch ex As Exception
        MsgBox("IO Error: " & ex.Message, MsgBoxStyle.Critical)
      End Try
    End Sub

#End Region

#Region "Form Event"

    Private Sub Form1_FormClosing(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.FormClosingEventArgs) Handles Me.FormClosing
      IsScanning = False
    End Sub

#End Region

#Region "Tree view control panel"

    Private Sub btnResetTreatment_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnResetTreatment.Click
      tvTreaments.Nodes.Clear()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        tvTreaments.Nodes.Add("R", "Reference")
        Dim NODE As TreeNode = tvTreaments.Nodes.Add("T1", "1.0 mg/l")
        NODE.Nodes.Add("S1", "SCAN 1")
    End Sub

    Private Sub tvTreaments_AfterSelect(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.TreeViewEventArgs) Handles tvTreaments.AfterSelect
        Try
            If tvTreaments.SelectedNode.Parent Is Nothing Then
                If tvTreaments.SelectedNode.Index = 0 Then
                    TreatmentIndex = 0
                    ScanIndex = 0
                    lblSelectedNode.Text = "Reference"
                    'Show reference only
                    ResetDynaplot()
                    PlotReferenceCurve()
                Else
                    TreatmentIndex = tvTreaments.SelectedNode.Index
                    ScanIndex = 0
                End If
            Else
                If tvTreaments.SelectedNode.Parent IsNot Nothing Then
                    TreatmentIndex = tvTreaments.SelectedNode.Parent.Index
                    ScanIndex = tvTreaments.SelectedNode.Index + 1
                    Dim trtNODE As TreeNode = tvTreaments.Nodes(TreatmentIndex)
                    Dim scanNODE As TreeNode = trtNODE.Nodes(ScanIndex - 1)
                    lblSelectedNode.Text = trtNODE.Text & ", scan : " & scanNODE.Text
                    'Show Treatment Graph of (i,j) with reference
                    ResetDynaplot()
                    PlotReferenceCurve()
                    PlotSelectedTreatmentCurve()
                End If
            End If
        Catch ex As Exception
            'do nothing
        End Try
    End Sub

    Private Sub btnRemoveScan_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnRemoveScan.Click
        If TreatmentIndex > 0 And ScanIndex > 0 Then
            'Here this is a treatment.
            Dim NODE As TreeNode = tvTreaments.Nodes(TreatmentIndex)
            NODE.Nodes(ScanIndex - 1).Remove()
        Else
            'This is not the treatment.
            MsgBox("Please select treatment and scan to remove the scan.")
        End If
    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub btnAddScan_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnAddScan.Click
        If TreatmentIndex <= 0 Then
            'This is not the treatment.
            MsgBox("Please select treatment to add a new scan.")
        Else
            'Here this is a treatment.
            Dim NODE As TreeNode = tvTreaments.Nodes(TreatmentIndex)
            Dim OldScanCount As Integer = NODE.Nodes.Count
            NODE.Nodes.Add("SCAN " & (OldScanCount + 1).ToString)
        End If
    End Sub

    Private Sub btnAddConc_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnAddConc.Click
        Dim str As String = InputBox("Please enter value of concentration in g/ml unit:", "Input
Concentration", "2.0")
        Dim Concentration As Double = CDbl(str)
        str = str & " g/ml"
        If str <> "" Then
            Dim NODE As TreeNode = tvTreaments.Nodes.Add(str, str)
            NODE.Tag = Concentration
            NODE.Nodes.Add("SCAN 1")
        End If
    End Sub

    Private Sub btnRemoveConc_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnRemoveConc.Click
        If TreatmentIndex <= 0 Then
            MsgBox("Please select treatment to be removed.")
        Else
            Dim trtNODE As TreeNode = tvTreaments.Nodes(TreatmentIndex)
            If MsgBox("Are you sure?", MsgBoxStyle.YesNo) = MsgBoxResult.Yes Then
                trtNODE.Remove()
            End If
        End If
    End Sub

#End Region

#Region "PLOT"

    Private Sub ResetDynaplot()
        Dim x(0) As Double
        Dim y(0) As Double

        AxDynaPlot1.DataCurves.RemoveAll()
        AxDynaPlot1.Markers.RemoveAll()

        ReferenceCurve = AxDynaPlot1.DataCurves.Add("REF", x, y, 0, False).Curve
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ReferenceMinMarker = AxDynaPlot1.Markers.Add(0.0, 0.0, 0,
DYNAPLOT3Lib.dpsMARKERTYPE.dpsMARKER_CIRCLE)

        TreatmentCurve = AxDynaPlot1.DataCurves.Add("TRT", x, y, 0, False).Curve
        TreatmentMinMarker = AxDynaPlot1.Markers.Add(0.0, 0.0, 0,
DYNAPLOT3Lib.dpsMARKERTYPE.dpsMARKER_SQUARE)
    End Sub

    Private Sub PlotReferenceCurve()
        If Reference.Repreat IsNot Nothing Then
            ReferenceCurve.UpdateData(Reference.Repreat(0).X, Reference.Repreat(0).Y,
Reference.Repreat(0).X.Length)
            ReferenceMinMarker.PositionX = Reference.Repreat(0).MinimizingAngle
            ReferenceMinMarker.PositionY = Reference.Repreat(0).MinimumIntensity
            lblMinimumValue.Text = _
                "Theta(min) = " & _
                Reference.Repreat(0).MinimizingAngle.ToString("0.000000") & _
                " deg"
            AxDynaPlot1.Axes.Autoscale()
        End If
    End Sub

    Private Sub PlotSelectedTreatmentCurve()
        If Treatments Is Nothing Then
            Exit Sub
        Else
            If Treatments(TreatmentIndex - 1).Repreat IsNot Nothing Then
                TreatmentCurve.UpdateData(Treatments(TreatmentIndex - 1).Repreat(ScanIndex -
1).X, _
                                          Treatments(TreatmentIndex - 1).Repreat(ScanIndex - 1).Y, _
                                          Treatments(TreatmentIndex - 1).Repreat(ScanIndex - 1).X.Length)
                TreatmentMinMarker.PositionX = Treatments(TreatmentIndex -
1).Repreat(ScanIndex - 1).MinimizingAngle
                TreatmentMinMarker.PositionY = Treatments(TreatmentIndex -
1).Repreat(ScanIndex - 1).MinimumIntensity
                lblMinimumValue.Text = _
                    "Theta(min) = " & _
                    Treatments(TreatmentIndex - 1).Repreat(ScanIndex -
1).MinimizingAngle.ToString("0.000000") & _
                    " deg"
                AxDynaPlot1.Axes.Autoscale()
            End If
        End If
    End Sub

#End Region

#Region "FILE ROUTINE"

    Private Sub SaveFile()
        Dim dlg As New SaveFileDialog
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        dlg.Filter = "Text File (*.txt)|*.txt|CSV File (*.csv)|*.csv|Polarimeter software file
(*.pmf)|*.pmf|All File (*.*)|*.*"
        Dim redlg As DialogResult = dlg.ShowDialog()
        If redlg <> Windows.Forms.DialogResult.OK Then Exit Sub

        '----------Save--------------------

        Dim path As String = dlg.FileName

        ' Delete the file if it exists.
        If File.Exists(Path) Then
            File.Delete(Path)
        End If

        'Create the file.
        Dim fs As FileStream = File.Create(Path)

        'Date, Time
        AddText(fs, Now.ToString() & Environment.NewLine)

        'Header
        AddText(fs, "Polarimeter software" & Environment.NewLine)
        AddText(fs, "(Copy Right)2011, CIID, KMITL" & Environment.NewLine)

        'Number of treatments
        AddText(fs, "[Treatment]" & Environment.NewLine)
        AddText(fs, (tvTreaments.Nodes.Count - 1).ToString)

        '-->> ?? How about the file format or structure ???

        fs.Close()

        '----------Save--------------------
    End Sub

    Private Sub AddText(ByVal fs As FileStream, ByVal value As String)
        Dim info As Byte() = New UTF8Encoding(True).GetBytes(value)
        fs.Write(info, 0, info.Length)
    End Sub

    Private Sub OpenFile()
        Dim dlg As New OpenFileDialog
        dlg.Filter = "Text File (*.txt)|*.txt"
        Dim redlg As DialogResult = dlg.ShowDialog()
        If redlg <> Windows.Forms.DialogResult.OK Then Exit Sub
        '----------Open--------------------

        '----------Open--------------------
    End Sub

#End Region
```

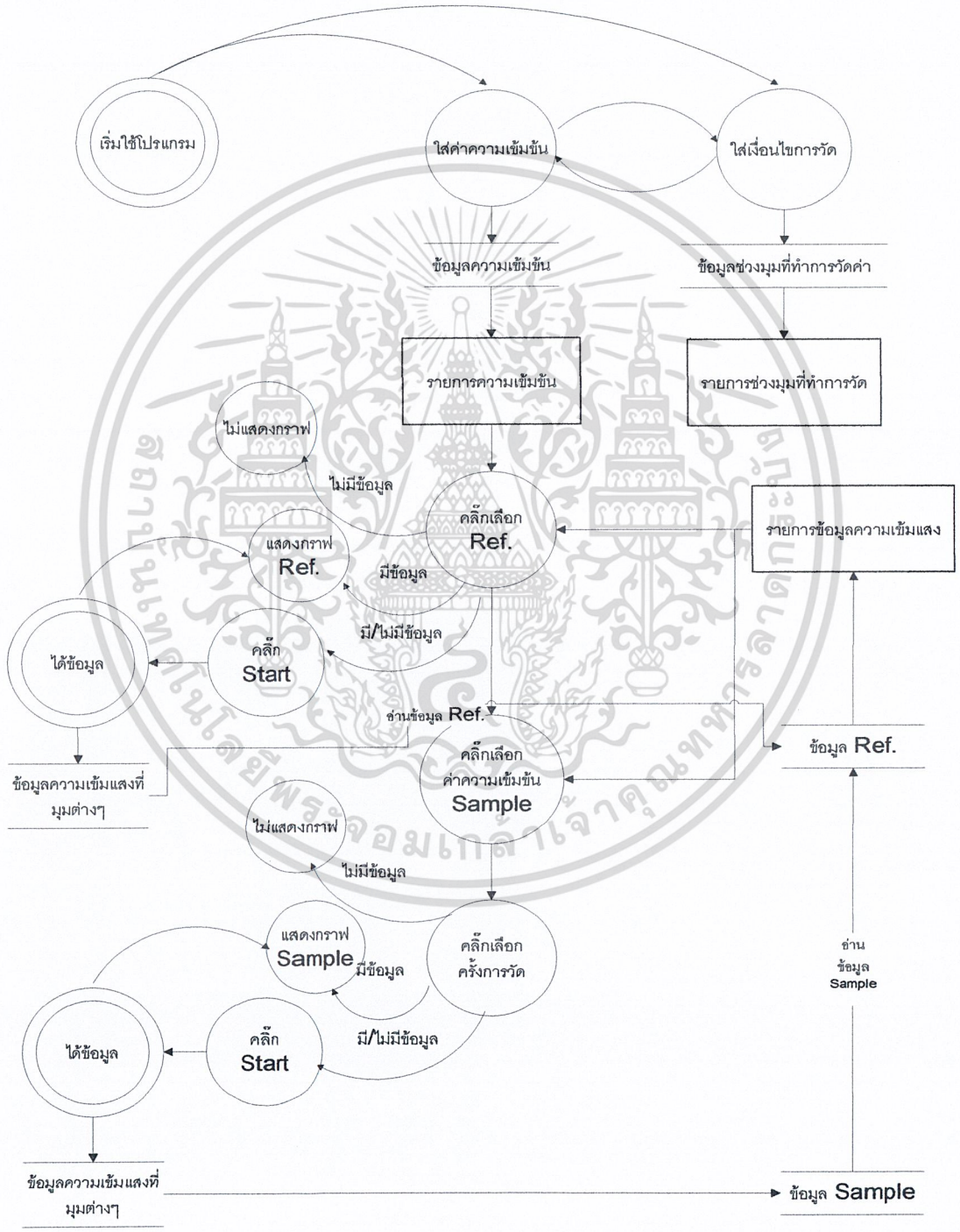
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#Region "CALCULATE CONCENTRATION"

    Private Sub btnUpdateTable_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnUpdateTable.Click
        UpdateTable()
    End Sub

    Sub UpdateTable()
        Try
            Dim X() As Double
            Dim Y() As Double
            Dim PointCount As Integer = 0

            Dim ReferenceAngle As Double = Reference.Repreat(0).MinimizingAngle

            ListView1.Items.Clear()
            For Each t As strucTreatment In Treatments
                If t.Repreat IsNot Nothing Then
                    For Each scan As strucData In t.Repreat
                        If scan.X IsNot Nothing Then
                            If t.Concentration <> 0 Then
                                Dim lvi As New ListViewItem
                                lvi = ListView1.Items.Add(t.Concentration.ToString)
                                lvi.SubItems.Add(ReferenceAngle.ToString)
                                lvi.SubItems.Add(scan.MinimizingAngle.ToString)
                                lvi.SubItems.Add((ReferenceAngle - scan.MinimizingAngle).ToString)
                                ReDim Preserve X(0 To PointCount)
                                ReDim Preserve Y(0 To PointCount)
                                X(PointCount) = t.Concentration
                                Y(PointCount) = ReferenceAngle - scan.MinimizingAngle
                                PointCount += 1
                            End If
                        End If
                    Next
                End If
            Next

            'Do fitting curve
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
    End Sub

    Private Sub btnCalculate_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnCalculate.Click

    End Sub
#End Region

End Class
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

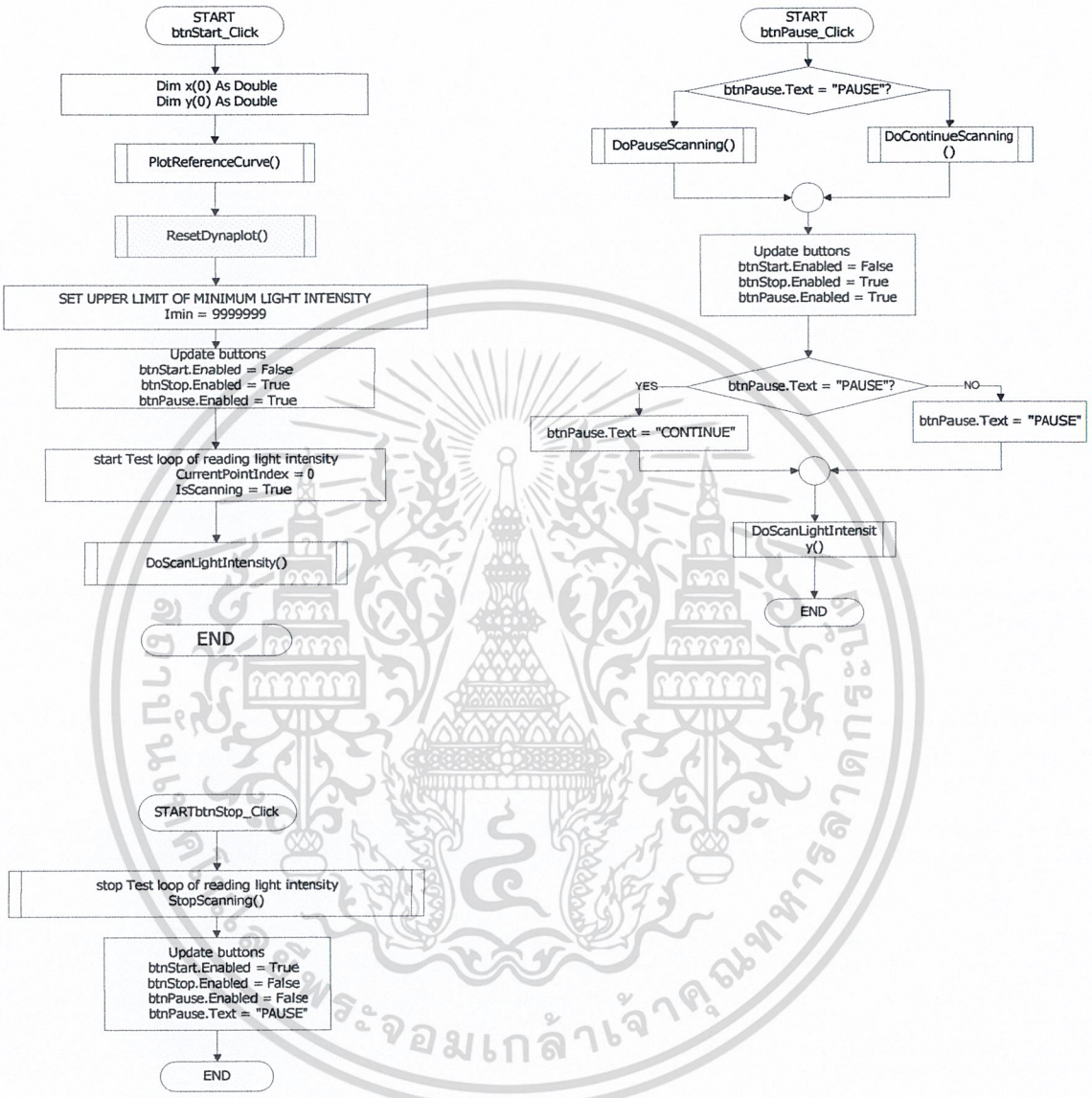
โฟร์ชาร์ต User



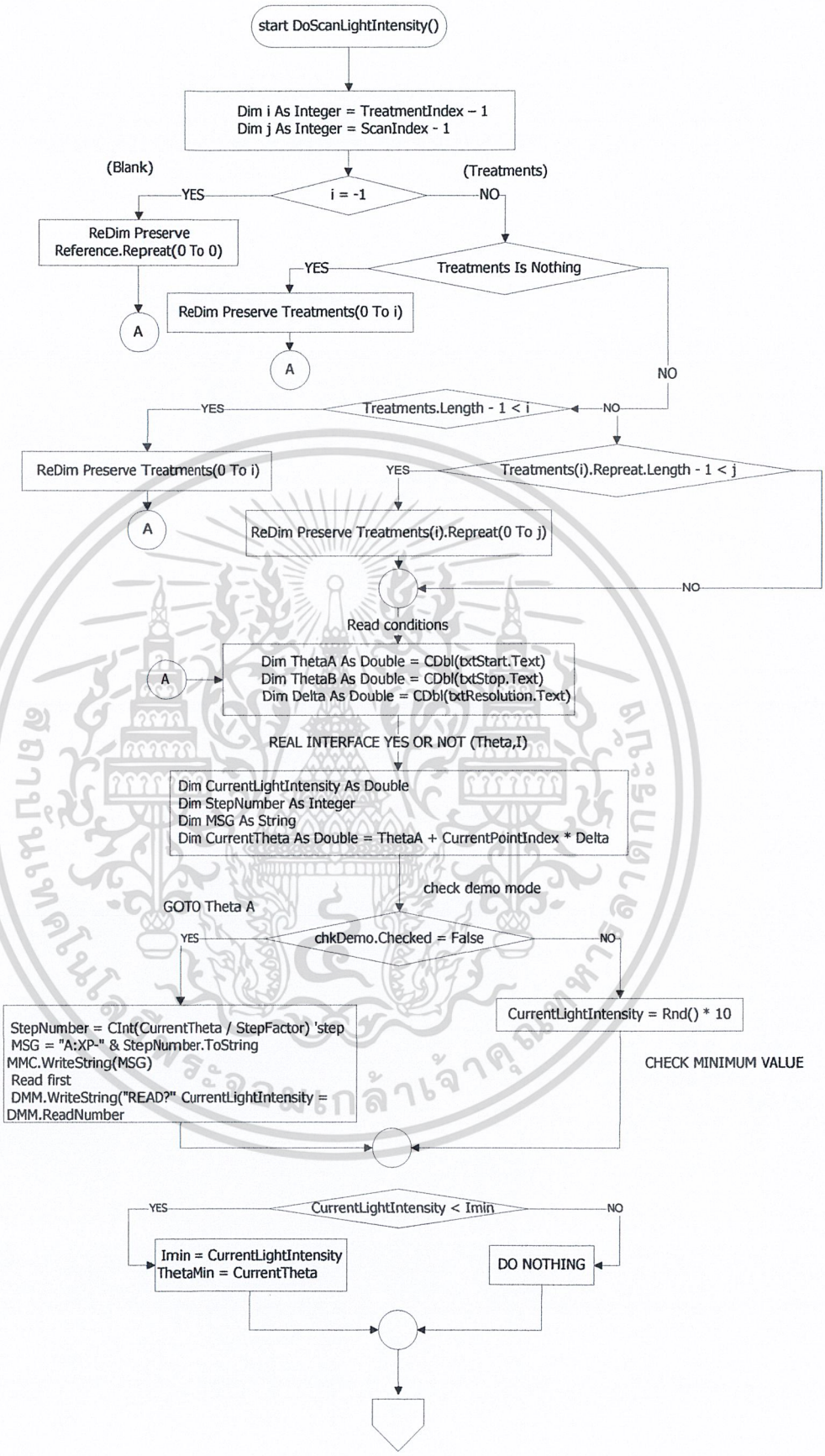
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

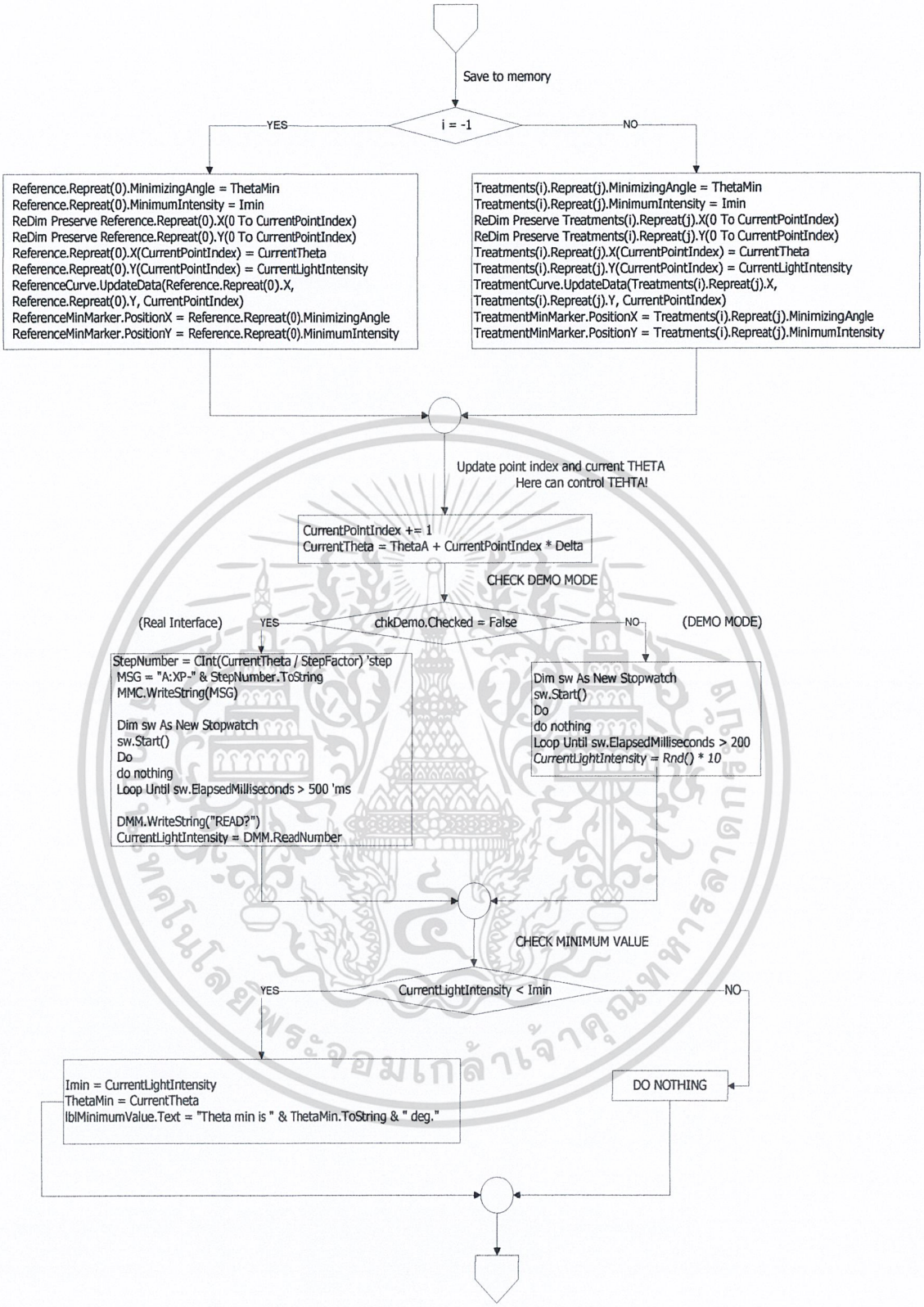
โฟร์ชาร์ต Bottom and Scanlight Intensity



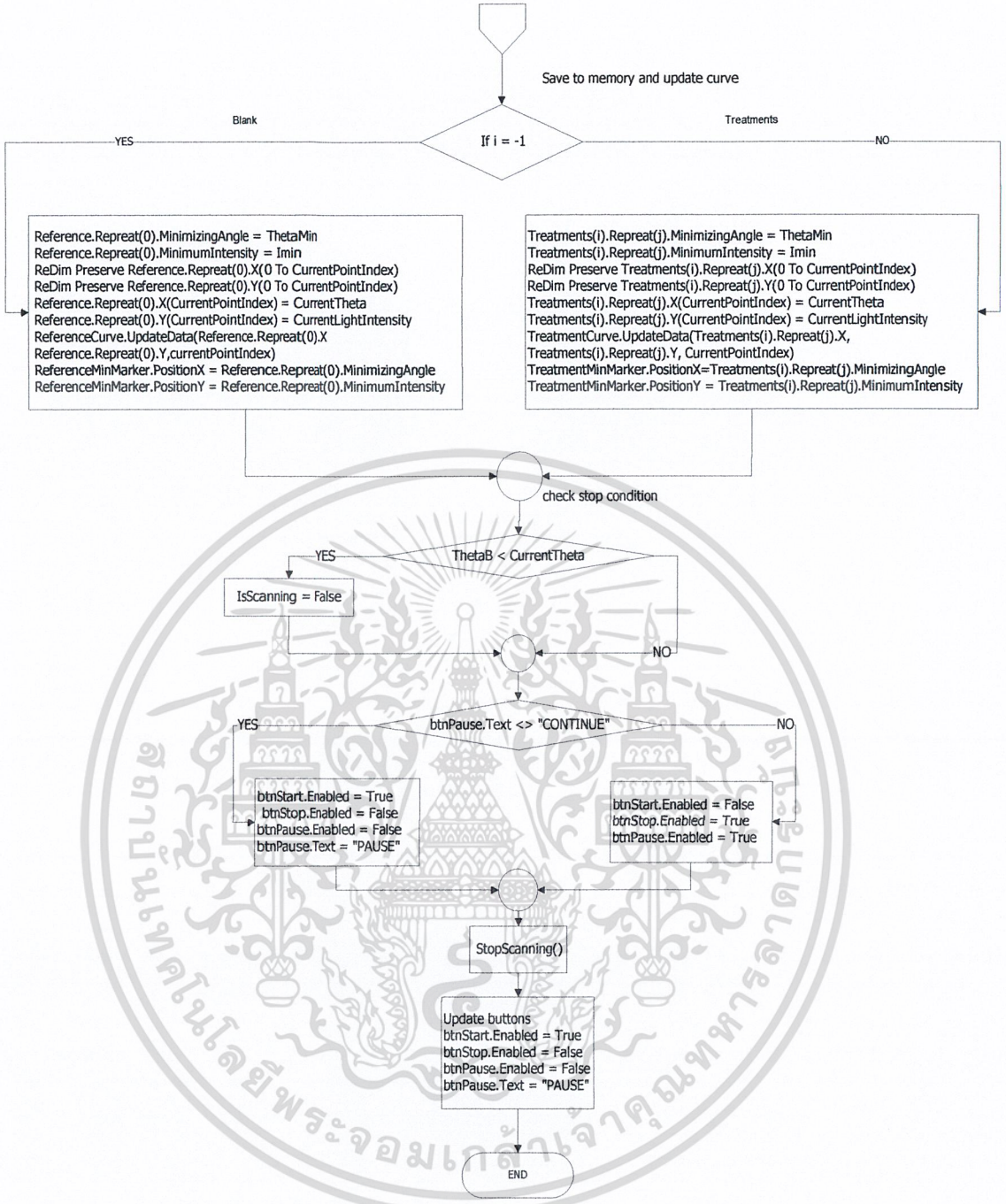
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวมินรญา สงวนชีพ เกิดเมื่อวันที่ 28 เดือนมกราคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนอุตรดิตถ์ดรุณี ปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2550

นางสาวลดารัตน์ พุ่มพวง เกิดเมื่อวันที่ 4 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดจันทบุรี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนศรียานุสรณ์ ปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้