

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง

FIBER OPTIC SENSOR



T123380



เลขหมู่.....123380
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี- 8 ม.ค. 2555

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2553 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ปีการศึกษา 2553** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIBER OPTIC SENSOR



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ชื่อนักศึกษา

ปริญญา

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง

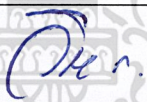
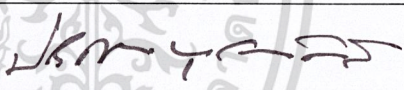
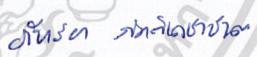
นางสาวชนนิกานต์ พรมษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรียา กิตติเดชาชาญ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา
2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา	
รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ	
ดร. ประธาน บุรณศรี	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรียา กิตติเดชาชาญ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง
นักศึกษา	นางสาวชนนิกานต์ พรหมยา
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทริยา กิตติเดชาชาญ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาและพัฒนาระบบวัดความเข้มข้นของน้ำตาลโดยใช้สายใยแก้วนำแสง ผู้วิจัยได้จัดเตรียมสารละลายน้ำตาลที่มีปริมาณความเข้มข้น 0.05 , 0.10 , 0.15 , 0.20 และ 0.25 กรัมต่อมิลลิลิตร และศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งของสายใยแก้วนำแสงและความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นหรือความหนาแน่นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น

Title	Fiber optic sensor
Student	Miss Chonnikant Phromsa
Degree	Bachelor of Science
Program	Applied Physics – Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2010
Advisor	Asst.Prof.Dr. Pattareeya Kittidachachan

ABSTRACT

This special project were studied and development a measurement system concentration of sugar by fiber optic . The prepared of sugar for a range of concentrations of 0.05 , 0.1 , 0.15 , 0.2 และ 0.25 g/ml and voltage changes are studied. The results show that the voltage changes to fiber optic probe displacement and solution of concentration. The voltage increase corresponding to concentration or density of solute increases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากการได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินการทดลอง จากบุคคลหลายฝ่ายดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรียา กิตติเดชาชาญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่ดีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และดูแลเอาใจใส่ต่อโครงการพิเศษนี้ทั้งด้านการจัดหาอุปกรณ์ด้านการทดลอง และข้อมูลที่เป็นจำเป็นสำหรับโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุฒิ เกาสัตดา อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและให้คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ บิดา - มารดา ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมาและสนับสนุนทุกอย่างที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการพิเศษนี้

สำหรับโครงการพิเศษที่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนี้ ผู้จัดทำขอมอบความดีให้กับ บิดา - มารดาซึ่งเป็นที่ยรักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้จัดทำเสมอมา

ชนนิกานต์ พรหมษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 หลักการพื้นฐานทางแสง	4
2.2 กำเนิดเส้นใยแสง	7
2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสง	7
2.4 ชนิดของใยแก้วนำแสง	8
2.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเส้นใยแสง	9
2.6 สาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงในสายใยแก้วนำแสง	11
2.7 ข้อดีของสายใยแก้วนำแสงในการนำไปประยุกต์ใช้งาน	13
2.8 เลเซอร์ (Laser)	13
2.9 โฟโอดีไดโอด (Photo Diode)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การออกแบบระบบสำหรับการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้น ที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว	16
3.2 ส่วนประกอบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้น ที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว	18
3.3 ขั้นตอนการประกอบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้น ที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว	23
3.4 วิธีการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปริมาณความเข้มข้น ที่แตกต่างกันของน้ำตาล	24
3.5 วิธีการทดลองการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่า pH ของของเหลว	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ปริมาณความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาลที่แตกต่างกันในน้ำ 300 ml โดยใช้ LDR	26
4.2 ผลการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ปริมาณความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาลที่แตกต่างกันในน้ำ 300 ml โดยใช้โฟโตไดโอด	37
4.3 ผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน	51
4.4 ผลการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ของของเหลว ที่มีค่า pH ต่างกันในน้ำ 300 ml	56
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 แนวทางการพัฒนา	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันเมื่อ $n_2 > n_1$ โดยที่ θ_1 เป็นมุมตกกระทบ และ θ_2 เป็นมุมหักเห	4
รูปที่ 2.2 กรณีที่แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่ทึบกว่า (มีค่าดัชนีหักเหสูง) ไปยังตัวกลางที่เบาบางกว่า (มีค่าดัชนีหักเหต่ำ) โดยทำมุมเป็น θ_1 เมื่อตกกระทบกับตัวกลางก็จะเกิดการหักเหเป็นมุม θ_2	5
รูปที่ 2.3 เมื่อแสงตกกระทบทำมุมเป็นมุมเท่ากับมุมวิกฤตแล้วแสงส่วนหนึ่งจะเดินทางเป็นมุมหักเหขนานกับผิวตัวกลาง	6
รูปที่ 2.4 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสง	6
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของใยแก้วนำแสง	7
รูปที่ 2.6 สายใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว (single – mode)	9
รูปที่ 2.7 สายใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมด (multi – mode)	9
รูปที่ 2.8 แสดงรังสีของแสงตามกฎของสเนลล์10	
รูปที่ 3.1 แผนผังการออกแบบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว	16
รูปที่ 3.2 แสดงระบบที่ใช้ในการทดลองการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว	17
รูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Probe)	18
รูปที่ 3.4 เลเซอร์ (Laser)	18
รูปที่ 3.5 LDR (Light dependent Resistor)	19
รูปที่ 3.6 โฟโตไดโอด (Photo Diode)	19
รูปที่ 3.7 Displacement Stage	20
รูปที่ 3.8 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)	21
รูปที่ 3.9 พื้นผิวที่ทำการสะท้อน (Reflecting Surface)	21
รูปที่ 3.10 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)	22
รูปที่ 3.11 กล้องบรรจุสาร	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm)กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml	27
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml	29
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g/ml	31
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g / ml	33
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g / ml	35
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกัน ในน้ำ 300 ml	36
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำเปล่า 300 ml	38
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g / ml	40
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g / ml	42
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g / ml	44
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.)ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g / ml	46
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g / ml	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกัน ในน้ำ 300 ml	49
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย ที่แตกต่างกันกับระยะการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งสูงสุด (mm.)	50
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำอุณหภูมิ 35 ° c	52
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำอุณหภูมิ 27 ° c	54
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำอุณหภูมิ ต่างกัน	55
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำมะนาว 5 cc ต่อ น้ำ 300 ml	57
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำสบู 5 cc ต่อ น้ำ 300 ml	59
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะ ที่เคลื่อนที่ (mm.) ในของเหลวที่มีค่า pH ต่างกัน ในน้ำ 300 ml	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย3	
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml	26
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml	28
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g/ml	30
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g/ml	32
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g /ml	34
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ในน้ำเปล่า	37
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml	39
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml	41
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาล 0.15 g / ml	43
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาล 0.20 g / ml	45
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้น ของสารละลายน้ำตาล 0.25 g/ml	47
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิ 35 °c	51
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 ° c	53
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของน้ำมะนาว 5 cc ในน้ำ 300 ml	56
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของน้ำสับู่ 5 cc ในน้ำ 300 ml	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ความต้องการในการใช้เซนเซอร์เพื่อตัววัดปริมาณและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ใด ๆ มีแนวโน้มเพิ่มอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีการพัฒนาเซนเซอร์หลากหลายรูปแบบเพื่อการใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งเซนเซอร์ที่ดีจะต้องมีคุณลักษณะดังนี้คือมีความไว มีความละเอียด มีความแม่นยำ มีความเชื่อถือได้ และมีความเป็นเชิงเส้น เนื่องจากสายใยแก้วนำแสงสามารถนำสัญญาณแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ จึงมีการนำคุณลักษณะที่ดีของเซนเซอร์และสายใยแก้วนำแสงมารวมกันเป็นเซนเซอร์ใยแก้วนำแสง ทำให้ปัญหาการสูญเสียของสัญญาณน้อยลง เพราะเซนเซอร์ใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียของสัญญาณแสงน้อยมาก จึงนิยมนำมาใช้งานในด้านการสื่อสาร ด้านเคมี ด้านการแพทย์ รวมไปถึงใช้ศึกษาและทดลองในห้องปฏิบัติการต่าง ๆ

ซึ่งหลักการที่สำคัญของสายใยแก้วนำแสงที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเซนเซอร์ใยแก้วนำแสงคือการสะท้อนกลับหมดของแสงที่เดินทางผ่านเข้ามาในแกน ทำให้แสงไม่สามารถผ่านออกจากแกนของใยแก้วนำแสงได้จึงมีการสูญเสียของสัญญาณต่ำ เนื่องจากมีการลดทอนน้อยกว่าและมีคุณลักษณะที่เพิ่มเติมจากเซนเซอร์ทั่วไป คือสามารถวัดการเคลื่อนที่สำหรับการหมุน วัดความเร่ง การวัดทางไฟฟ้า วัดสนามแม่เหล็ก วัดอุณหภูมิ วัดความดัน วัดเสียง วัดการสั่นสะเทือน วัดความเป็นเชิงเส้น วัดตำแหน่งเชิงมุม วัดความเครียด วัดความชื้นสัมพัทธ์ วัดความหนืด ใช้วัดทางเคมี ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมี มีน้ำหนักเบากว่าสายโลหะหรือทองแดง มีขนาดเล็ก กินไฟน้อย ปราศจากการรบกวนโดยแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากใยแก้วนำแสงสร้างจากแก้วหรือซิลิกอนทำให้ไม่ต้องใช้เทคนิคป้องกันด้วยวิธีการชิลด์ มีความไวสูง ช่วงแบนด์วิธกว้างเนื่องจากการใช้คลื่นพาห้ที่มีความถี่สูงทำให้ได้สัญญาณที่เท่ากัน มีความคงทนไม่ถูกรบกวนโดยสภาพดินฟ้าอากาศและมีความปลอดภัยในการใช้งาน

โครงการพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการจัดสร้างระบบเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำตาลและระดับค่า pH ของของเหลวที่ต่างกันโดยใช้เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง ซึ่งผลการศึกษาจะทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสร้างระบบวัดทางแสงและได้ชุดการทดลองต้นแบบสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ใยแก้วนำแสงในการวัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว
2. เพื่อจัดสร้างระบบที่ใช้ในการวัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว
3. เป็นการนำระบบที่จัดสร้างขึ้นมาศึกษา
 - 3.1 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาล
 - 3.2 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ที่ค่า pH ของของเหลวชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำสบู่ น้ำมะนาว เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานทางด้านแสง
2. จัดสร้างระบบที่ใช้ในการวัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว
3. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ศึกษาจากการวัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล และค่า pH ของของเหลว

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับใยแก้วนำแสงและเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด เช่น หลักการพื้นฐานทางแสง คุณสมบัติของใยแก้วนำแสง เป็นต้น
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษารายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 4 เซตระบบที่ต้องใช้ในการทดลอง และทดสอบระบบ
- ขั้นตอนที่ 5 จัดทำรายงานความคืบหน้าของโครงการพิเศษ
- ขั้นตอนที่ 6 ทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้าในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและบันทึกผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 7 ทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ค่า pH ของของเหลวและบันทึกผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 9 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 10 จัดทำรูปเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.
ขั้นตอน 1										
ขั้นตอน 2										
ขั้นตอน 3										
ขั้นตอน 4										
ขั้นตอน 5										
ขั้นตอน 6										
ขั้นตอน 7										
ขั้นตอน 8										
ขั้นตอน 9										
ขั้นตอน 10										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1. มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของใยแก้วนำแสง
- 2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสร้างระบบที่ทดลองโดยใยแก้วนำแสง
- 3. สามารถสร้างระบบที่ใช้ในการทดลองได้จริง
- 4. มีทักษะเรียนรู้การแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

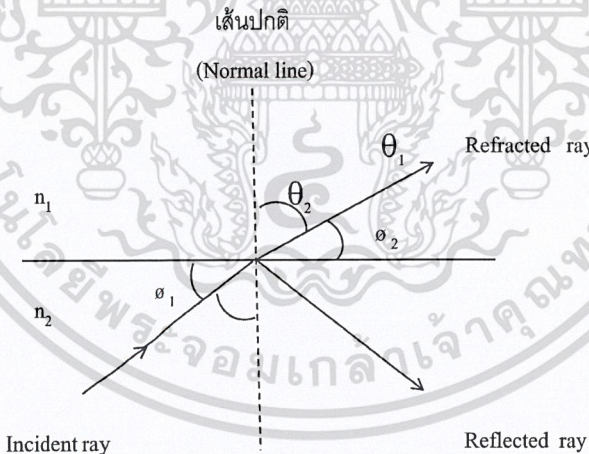
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการพื้นฐานทางแสง

เมื่อพิจารณาการเดินทางของแสงผ่านตัวกลางใด ๆ จะพบว่าแสงมีความเร็วที่แตกต่างกันไป เนื่องจากค่าดัชนีหักเหในตัวกลางนั้นแตกต่างกัน ซึ่งค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางจะนิยามได้ว่า “ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศและความเร็วของแสงในตัวกลางที่แสงผ่าน ” ถ้าให้ n เป็นดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางใด ๆ จะได้ว่า

$$n = \frac{c}{v} \tag{1.1}$$

เมื่อ c เป็นค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศซึ่งมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที และ v เป็นความเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ โดยค่า n จะมีค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ



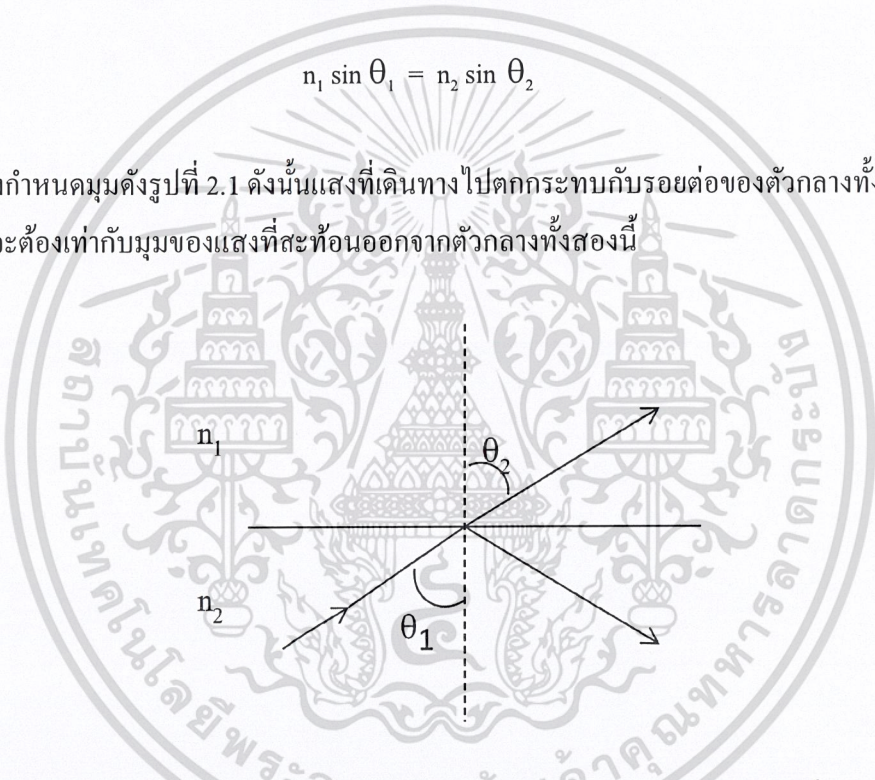
รูปที่ 2.1 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันเมื่อ $n_2 > n_1$ โดยที่ θ_1 เป็นมุมตกกระทบและ θ_2 เป็นมุมหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

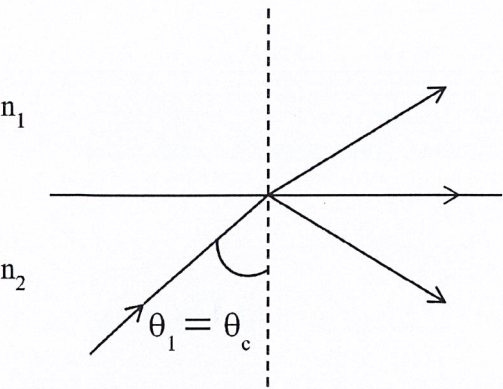
เพื่อให้เข้าใจแนวคิดของการสะท้อนและการหักเหของแสงได้ง่ายขึ้นจะพิจารณาคุณสมบัติของรังสีของแสง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเดินทางของแสงผ่านตัวกลาง นั่นคือเมื่อรังสีของแสงเดินทางไปตามกระทบตัวกลางที่ต่างกันสองชนิด แสงส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อน (Reflection) กลับเข้าไปในตัวกลางแรกและจะมีแสงอีกส่วนหนึ่งที่เหลืออยู่จะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) เข้าไปในตัวกลางที่สองดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อกำหนดให้ $n_2 > n_1$ แล้วการเลี้ยวเบนหรือการหักเหของแสงที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสองตัวกลางนี้เกิดขึ้น เนื่องจากผลต่างของความเร็วแสงในตัวกลางทั้งสอง โดยมีความสัมพันธ์จากรอยต่อของตัวกลางทั้งสองเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law) และกำหนดจาก

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \tag{1.2}$$

ซึ่งกำหนดมุมดังรูปที่ 2.1 ดังนั้นแสงที่เดินทางไปตกกระทบกับรอยต่อของตัวกลางทั้งสองซึ่งทำมุม θ_1 จะต้องเท่ากับมุมของแสงที่สะท้อนออกจากตัวกลางทั้งสองนี้

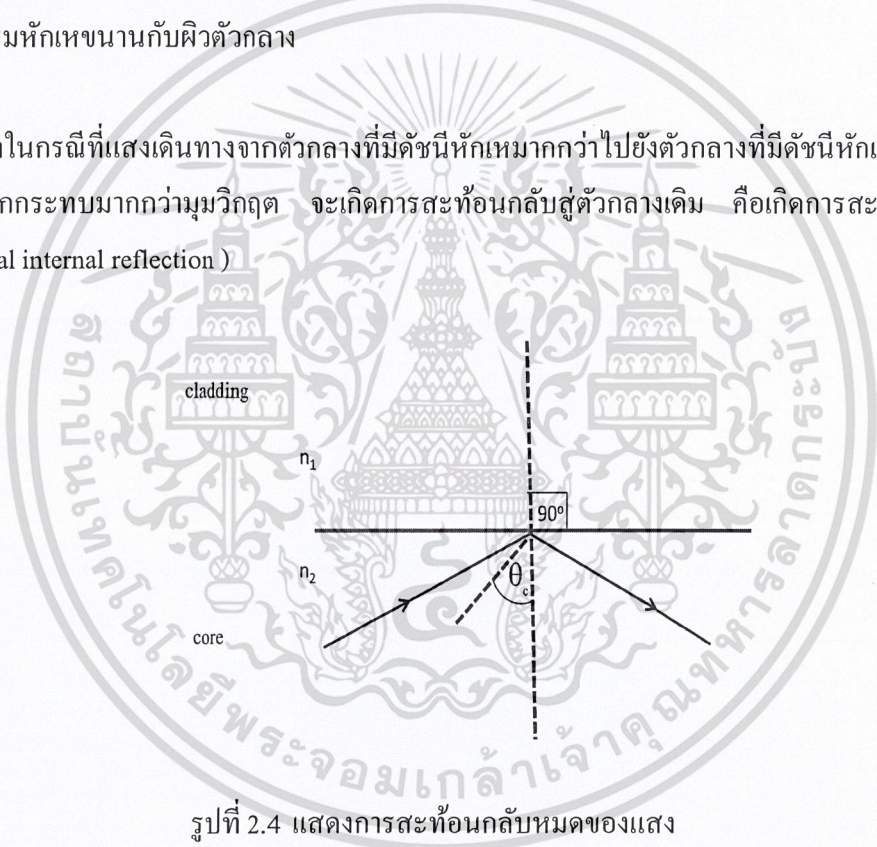


รูปที่ 2.2 กรณีที่แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่ทึบกว่า (มีค่าดัชนีหักเหสูง) ไปยังตัวกลางที่เบาบางกว่า (มีค่าดัชนีหักเหต่ำ) โดยทำมุมเป็น θ_1 เมื่อตกกระทบกับตัวกลางก็จะเกิดการหักเหเป็นมุม θ_2



รูปที่ 2.3 เมื่อแสงตกกระทบทำมุมเป็นมุมเท่ากับมุมวิกฤตแล้วแสงส่วนหนึ่งจะเดินทางเป็นมุมหักเหขนานกับผิวตัวกลาง

ถ้าในกรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากกว่าไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อยกว่า และมีมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤต จะเกิดการสะท้อนกลับสู่ตัวกลางเดิม คือเกิดการสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection)



รูปที่ 2.4 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสง

ซึ่งค่ามุมวิกฤตหาได้จาก

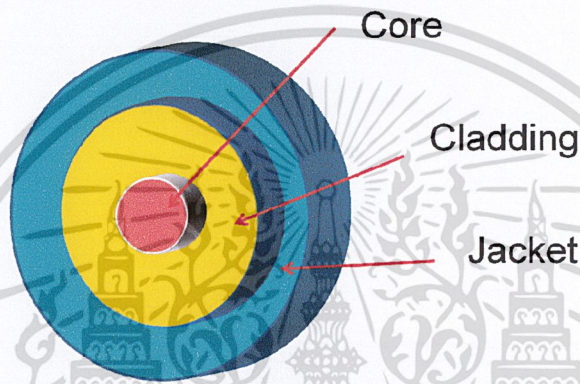
$$\theta_c = \sin^{-1} (n_1/n_2)$$

(1.3)

2.2 กำเนิดเส้นใยแสง

เส้นใยแสงเป็นตัวกลางที่มีโครงสร้างกักลำแสงเอาไว้ข้างในและส่งไปยังปลายทางได้กล่าวคือเป็นท่อนำแสงนั่นเอง ในการที่จะกักลำแสงเอาไว้ในตัวของมันนั้นทำได้โดยเปลี่ยนค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงกลับไปกลับมาอยู่ในตัวกลางนอกจากนั้นในการทำให้แสงถูกบั่นทอนน้อยลงนั้นจะต้องทำให้ตัวกลางใสมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งเป็นที่มาของการผลิตสายใยแก้วนำแสง

2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสง



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของใยแก้วนำแสง

ใยแก้วนำแสงสร้างขึ้นจากแก้วหรือสารที่เป็นไดอิเล็กทริกโดยมีโครงสร้างเป็นตัวทรงกระบอกซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. **Core** มีหน้าที่สำคัญคือเป็นตัวกลางนำแสง เป็นส่วนตรงกลางของใยแก้วนำแสง มีดัชนีการหักเหของแสงสูง มักทำมาจากแก้ว
2. **Cladding** มีหน้าที่ลดการสูญเสียกำลังแสง เนื่องจากการสะท้อนแสงแบบกลับหมดและป้องกันการดูดกลืนกำลังแสง เมื่อแกนของแก้วไปสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันมิให้แกนของใยแก้วโค้งงอหรือหักได้ง่าย และ Cladding จะมีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่า Core
3. **Jacket** ส่วนมากมักทำด้วยพลาสติก มีหน้าที่เป็นตัวสร้างความแข็งแรงให้แก่ใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ชนิดของใยแก้วนำแสง

การแบ่งชนิดของใยแก้วนำแสง ได้มีการแบ่งชนิดของใยแก้วนำแสงออกเป็นหลายแบบเช่น แบ่งตามวัสดุที่ทำ แบ่งตามคุณสมบัติการสูญเสียกำลังแสง แบ่งตามองค์ประกอบของใยแก้วเป็นต้น อย่างไรก็ตามในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแบ่งชนิดใยแก้วนำแสงตามคุณสมบัติการสูญเสียความเข้มแสงของตัวกลางที่นำมาสร้างใยแก้วนำแสง และการแบ่งตามองค์ประกอบของแกนใยแก้วนำแสง

2.4.1 การแบ่งชนิดของใยแก้วนำแสงตามการสูญเสียความเข้มแสง

เป็นผลสืบเนื่องมาจากตัวกลางแสงที่นำมาทำใยแก้วนำแสงซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

3 ชนิดคือ

2.4.1.1 ชนิดที่สูญเสียความเข้มแสงต่ำ (Low – Loss)

2.4.1.2 ชนิดที่มีการสูญเสียความเข้มแสงปานกลาง (Medium – Loss)

2.4.1.3 ชนิดที่มีการสูญเสียความเข้มแสงสูง (Higher – Loss)

โดยสองชนิดแรกมักจะใช้แก้วทำเป็น Core ของใยแก้ว และใช้แก้วหรือพลาสติกทำเป็น Cladding ส่วนชนิดที่สามมักใช้พลาสติกทำ Core และ Cladding ของใยแก้วนำแสง

2.4.2 การแบ่งชนิดของใยแก้วนำแสงตามองค์ประกอบของใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

2.4.2.1 ชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ (Step – Index Fiber) เส้นทางเดินแสงตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของใยแก้วนำแสงเรียกว่า Meridional Ray เมื่อเข้าสู่ใยแก้วนำแสงแบบ Step – Index จะเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในที่รอยต่อระหว่าง Core กับ Cladding โดยแสงจะมีทางเดินอยู่บนระนาบใดระนาบหนึ่ง เป็นชนิดที่มีความสูญเสียทางแสงน้อยสุด

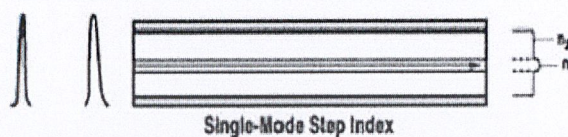
2.4.2.2 ชนิดเกรดอินเด็กซ์ (Graded – Index Fiber) เป็นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด จุดเด่นของใยแก้วนำแสงแบบ Graded – Index คือมี Inter – Modal Dispersion ต่ำกว่าแบบ Step – Index มาก อย่างไรก็ตามเส้นทางเดินแสงในใยแก้วนำแสงแบบนี้มีความซับซ้อน นอกจากนี้ยังแบ่งใยแก้วนำแสงทั้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์และเกรดอินเด็กซ์ได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) แบบโหมดเดียว (Single – Mode) คือใยแก้วนำแสงที่มีเพียงโหมดเดียวเท่านั้น ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในท่อใยแก้วนำแสง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core และ Cladding ประมาณ 5 - 10 และ 125 ไมครอนตามลำดับ ซึ่งส่วนของ Core มีขนาดเล็กกว่า Fiber Optic ชนิด Multi – Mode มาก และให้แสงออกมาเพียง Mode เดียว

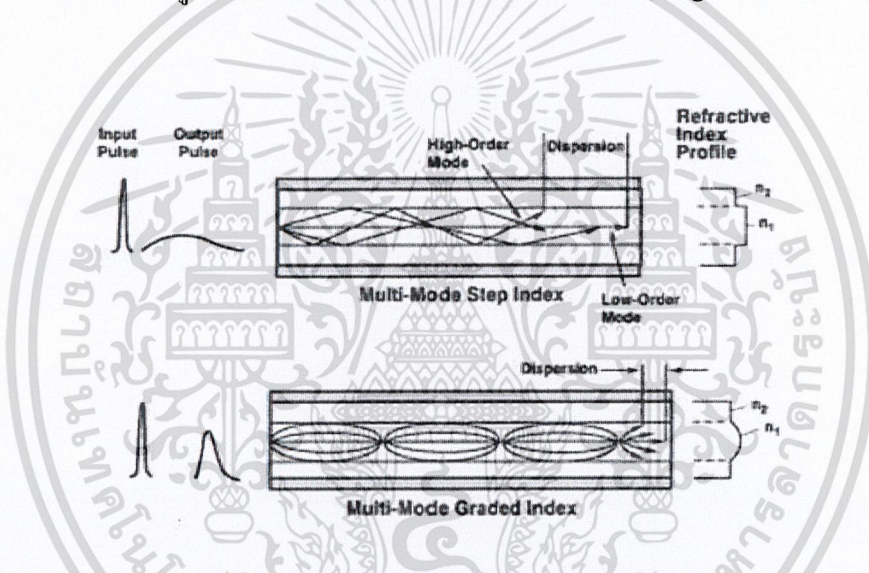
2) แบบหลายโหมด (Multi – Mode) คือใยแก้วนำแสงที่มีอย่างน้อยสองโหมดที่สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในท่อใยแก้วนำแสง ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core และ Cladding โดยประมาณ 50 ไมครอน 62.5 ไมครอน โดยมี Cladding ขนาด 125 ไมครอน เนื่องจากขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core มีขนาดใหญ่ ดังนั้นแสงที่ตกกระทบที่ด้านปลาย Input ของสาย Fiber Optic จะมีมุมตกกระทบที่ต่างกันหลายค่า และจากหลักการสะท้อนแสงกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นภายในส่วนของแกนทำให้มีแนวของลำแสงเกิดขึ้นหลาย Mode โดยแต่ละ Mode ใช้ระยะเวลาในการเดินทางที่แตกต่างกัน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกกระจายของแสง (Mode Dispersion) Multimode



รูปที่ 2.6 สายใยแก้วนำแสงแบบ โหมดเดียว (single – mode)



รูปที่ 2.7 สายใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมด (multi – mode)

2.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเส้นใยแสง

2.5.1 พารามิเตอร์ทางแสง

2.5.1.1 ดัชนีหักเหสัมพัทธ์ (Relative Refractive Index Difference)

เป็นปริมาณที่แสดงค่าความแตกต่างของค่าดัชนีหักเหระหว่างแกนและเคลด ดิงซึ่งมีค่าเท่ากับ

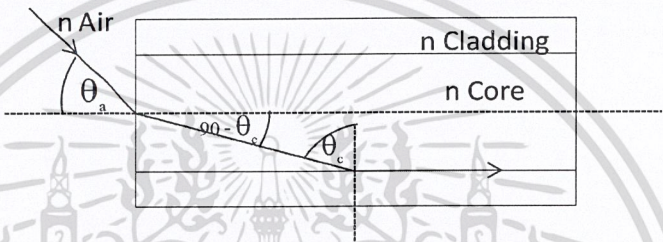
$$\Delta = \frac{n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}}{n_{\text{core}}} \quad (1.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วค่า Δ เมื่อเปรียบเทียบกับ 1 แล้วจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงนิยามคูณด้วย 100 เพื่อแสดงค่าเป็น % ค่า Δ นี้ถ้าหากมีค่ามากจะทำให้มุมวิกฤตมีค่าน้อย (มุมประกอบของมุมวิกฤตจะมีค่ามาก) ทำให้ยากต่อการป้อนแสงเข้าไปใน Core

2.5.1.2 กรวยรับแสง (Accepted Cone)

มุมรับแสง (acceptance angle , $2\theta_a$) คือมุมที่ฉายแสงเข้าไปยังแกนของใยแก้วนำแสงแล้วทำให้แสงที่ตกกระทบผิวรอยต่อระหว่างแกนกับแคลดดิ้ง มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับมุมวิกฤต ในกรณี 3 มิติมุมรับแสงก็คือกรวยรับแสง



รูปที่ 2.8 แสดงรังสีของแสงตามกฎของสเนลล์

2.5.1.3 นิวเมอริกัลแอปเจอร์ (Numerical Aperture)

เป็นปริมาณที่บอกถึงความสามารถในการรับแสง (light – collecting ability) ของใยแก้วนำแสงซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่าดัชนีหักเหของตัวกลางตกกระทบ (incident medium) กับค่าไซน์ (sine) ของครึ่งมุมรับแสง (half acceptance angle) การที่จะทำให้แสงเข้าไปในเส้นใยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพดีนั้นจะต้องใช้เลนส์ที่มีค่า NA เท่ากันกับของเส้นใยแสงทำการรวมแสง ซึ่งค่า NA จะสามารถหาได้จาก

$$NA = n_{core} \sqrt{2\Delta} \tag{1.5}$$

2.5.2 พารามิเตอร์ทางโครงสร้าง

2.5.2.1 Core Diameter

Core Diameter แสดงขนาดความโตของ Core ที่แสงส่วนใหญ่ถูกกักอยู่ใน Core เมื่อทำให้แสงเดินทางไปในเส้นใยแสง ในกรณีที่ทำการศึกษาสภาพการเดินทางของแสงนั้น Core Diameter จะเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกันกับค่าดัชนีการหักเห

2.5.2.2 Cladding Diameter

Cladding Diameter แสดงขนาดความโตของเส้นใยแสง ในกรณีที่ทำกรพิจารณาการสูญเสียของแสง ที่เกิดจากการบิดงอของเส้นใยแสงนั้น Cladding Diameter จะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญเช่นเดียวกันกับ Core Diameter และค่าดัชนีหักเห นอกจากนั้นยังมีความสำคัญต่อกรณีทำการประเมินค่าความแข็งแรงทางแมคคานิกส์ และคุณสมบัติการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงอีกด้วย

2.5.2.3 เปอร์เซนต์ความผิดเพี้ยนจากวงกลมของ Core และ Cladding

เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงการผิดเพี้ยนจากการความเป็นวงกลมของ Core และ Cladding กำหนดจากผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดหารด้วยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานแล้วคูณด้วย 100 พารามิเตอร์นี้เป็นสิ่งสำคัญในการประเมินค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อ

2.5.2.4 เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางร่วม

กำหนดจากระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของ Core กับ Cladding หารด้วยค่ามาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core กับ Cladding แล้วคูณด้วย 100 พารามิเตอร์นี้เป็นสิ่งสำคัญในการประเมินค่าการสูญเสียของการเชื่อมต่อเส้นใยแสง

2.6 สาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงในสายใยแก้วนำแสง

การสูญเสียแสงในสายใยแก้วนำแสง เป็นการแสดงว่าส่วนหนึ่งของพลังงานแสงที่เดินทางไป ในสายใยแก้วนำแสงนั้นทะลุออกไปนอกสายใยแก้วนำแสงบ้างและถูกดูดภายในสายใยแก้วนำแสงบ้าง ทำให้พลังงานของแสงลดน้อยลง

สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.6.1 Fixed Loss (การสูญเสียอันเนื่องมาจากการดูดแสงของสารที่มีอยู่แล้วในสายใยแก้วนำแสง)

2.6.1.1 Rayleigh Scattering Loss

เป็นปรากฏการณ์ที่เมื่อแสงไปกระทบกับอนุภาคเล็กๆ แล้วแตกกระจายออกไปหลายทิศทาง การดึงให้เป็นเส้นใยแสงในขั้นตอนการผลิตจะทำให้เย็นลงทันทีจากอุณหภูมิสูง 2000 °C เป็นอุณหภูมิปกติประมาณ 20 °C ดังนั้นความหนาแน่นและความไม่สมบูรณ์ของส่วนประกอบที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 2000 °C จะตกค้างอยู่อย่างนั้นภายในเส้นใยแสงและจากความหนาแน่นของอนุภาคเล็กๆ และความไม่สม่ำเสมอของส่วนประกอบของสารเหล่านี้จะทำให้เกิด Rayleigh Scattering Loss ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 Absorption Loss (การสูญเสียแสงเนื่องจากการดูดแสง)

เป็นการสูญเสียแสงที่เกิดจากสารของสายใยแก้วนำแสงเองดูดแสงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การดูดกลืนแสงนี้เกิดจากสารที่เป็นส่วนประกอบของแก้วและเกิดจากสารแปลกปลอมที่รวมอยู่ในแก้ว

2.6.1.3 การสูญเสียแสงเนื่องมาจากโครงสร้างของสายใยแก้วนำแสงไม่สมบูรณ์

สำหรับสายใยแก้วนำแสงที่ผลิตจริงนั้น รอยต่อของ Core กับ Cladding ไม่ได้เป็นผิวของทรงกระบอกที่แบนราบเหมือนในทฤษฎี แต่มีรอยตะปุ่มตะป่ำขนาดเล็กมากอยู่ เมื่อผิวไม่ราบเรียบ จะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณแสงเพิ่มมากขึ้น การสูญเสียนี้เรียกว่าการสูญเสียอันเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของโครงสร้าง การสูญเสียนี้สามารถทำให้ลดลงได้น้อย

2.6.2 Addition Loss (การสูญเสียที่เกิดจากโครงสร้างของสายใยแก้วนำแสงไม่สมบูรณ์)

2.6.2.1 Bending Loss (การสูญเสียที่เกิดจากสายใยแก้วนำแสงบิดงอ)

เป็นการสูญเสียแสงที่เกิดขึ้นเมื่อสายใยแก้วนำแสงถูกบิดงอโค้งภายในเส้นใย แสงที่ถูกบิดงอโค้งให้มีรัศมีความโค้งเล็กนั้น มุมของแสงที่ตกกระทบมีรอยต่อของ Core กับ Cladding จะเกิดกรณีที่มามีค่ามากกว่ามุมประกอบของมุมวิกฤต เมื่อเป็นเช่นนั้นแสงจะรั่วเข้าไปใน Cladding ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น

2.6.2.2 Micro Bending Loss

เป็นการสูญเสียเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของรอยต่อของ Core กับ Cladding เช่นเดียวกับการสูญเสียที่เกิดจากโครงสร้างไม่สมบูรณ์แต่ Micro Bending Loss เกิดขึ้นภายหลังการผลิตสายใยแก้วนำแสง อันเนื่องมาจากมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอกระทำทางด้านข้างของสายใยแก้วนำแสง ทำให้แกนของสายใยแก้วนำแสงบิดงอไปขนาด 2-3 ไมครอน (10^{-6} m) นั่นคือปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดึงให้แก่เส้นใยแสงขณะทำการม้วนเส้นใยแสงเข้ากับหลอดม้วน (Bobbin) หรือทำการหุ้มพลาสติกเข้ากับเส้นใยแสงอย่างไม่เหมาะสมหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิอย่างมากต่อเส้นใยแสงหลังจากทำการหุ้มพลาสติกแล้ว

2.6.2.3 Connection Loss

สาเหตุของการสูญเสียจากการต่อสายใยแก้วนำแสงได้แก่ Core Diameter ของสายใยแก้วนำแสงมีขนาดต่างกัน ทำให้เกิดการสูญเสียที่มีอัตราส่วนผลต่างค่าดัชนีหักเหต่างกัน และจากความบกพร่องในการปฏิบัติงานการเชื่อมต่อเส้นใยแสงได้แก่ แกนคลาดเคลื่อน , เกิดช่องว่าง , หักงอ , ด้านปลายไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ข้อดีของสายใยแก้วนำแสงในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

- 1) มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาสามารถบำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ง่าย
- 2) ไม่เกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
- 3) มีการสูญเสียสัญญาณต่ำทำให้ข้อมูลมีการคลาดเคลื่อนน้อย
- 4) มี Transmission Bandwidth กว้างทำให้ส่งสัญญาณข้อมูลได้มาก
- 5) ทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี
- 6) มีความไวสูงข้อมูลสามารถเชื่อถือได้
- 7) ปราศจากการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- 8) มีความปลอดภัยทางข้อมูลเนื่องจากใช้แสงเดินทาง
- 9) ใช้ได้กับเทคโนโลยีที่หลากหลายและรองรับสิ่งที่จะเกิดใหม่ในอนาคตได้มาก

2.8 เลเซอร์ (Laser)

Laser ย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีสมบัติพิเศษแตกต่างจากแสงทั่ว ๆ ไป สมบัตินี้มีลักษณะประกอบด้วย

- เป็นแสงสีเดียว (monochromaticity)
- มีความพร้อมเพรียง (coherence)
- มีทิศทางที่แน่นอน (directionality)
- มีความเข้ม (Intensity หรือ Brightness) สูงมาก

2.8.1 ชนิดของเลเซอร์

สามารถแบ่งชนิดของเลเซอร์ตามลักษณะของตัวกลางเลเซอร์ได้ดังนี้

2.8.1.1 Gas Laser : สารตัวกลางเลเซอร์มีลักษณะเป็นก๊าซ เช่น CO₂ Laser, Argon Laser, Xenon Laser, He-Ne Laser สำหรับเลเซอร์เหล่านี้เนื่องจากการถ่ายเทระดับพลังงาน ดังนั้นจึงมีความบริสุทธิ์ของค่าความยาวคลื่นสูงมาก

2.8.1.2 Solid State Laser : ใช้สารตัวกลางเลเซอร์ที่เป็นแท่งผลึกแข็ง เช่น Nd:YAG Laser, Ruby Laser

2.8.1.3 Dye Laser : สารตัวกลางมีลักษณะเป็นของเหลว เช่น Rhodamin 6G Laser มักใช้ในวงที่มีแบนด์วิธกว้าง

2.8.1.4 Semiconductor Laser : เป็นเลเซอร์ที่ใช้สารตัวกลางเลเซอร์เป็นสารกึ่งตัวนำ เช่น Diode Laser ชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเป็น Semiconductor Laser ที่ใช้ P-N JUNCTION และทำการกระตุ้นด้วยการฉีดอิเล็กตรอน มีคุณสมบัติพิเศษคือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ความเร็วในการตอบสนองสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การประยุกต์ใช้งานเลเซอร์

สามารถนำเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน ดังนี้

2.8.2.1 งานอุตสาหกรรม ได้แก่

2.8.2.1.1 Marking and Cutting คือการนำแสงเลเซอร์ไปทำให้เกิดเป็นรอยหรือตัดวัสดุโดยการควบคุมให้ลำแสงเลเซอร์ไปตกยังชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะมีระบบเลเซอร์ Marking and Cutting แบ่งออกเป็น 2 แบบหลัก คือ

(1) แบบให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถทำการ mark หรือตัดวัสดุที่มีความละเอียดสูงได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่นการ mark บนตัวไอซี เป็นต้น

(2) แบบระบบลำแสงเคลื่อนที่ (Flying Optics) ซึ่งจะนิยมใช้ในระบบที่มีพื้นที่การทำงานขนาดใหญ่และเลเซอร์กำลังสูง

ข้อดีของการใช้เลเซอร์ในงานประเภทนี้คือไม่มีการสะสมความร้อนในวัสดุ ทำให้วัสดุไม่เกิดการบิดงอหลังจากทำการตัดแล้ว

2.8.2.1.2 Welding หรือ การเชื่อม คือการใช้ความร้อนของลำแสงเลเซอร์มาหลอมละลายวัสดุ 2 ชิ้น ให้เป็นเนื้อเดียวกันในบริเวณที่ถูกลำแสงเลเซอร์

ข้อดีของการใช้เลเซอร์ในการเชื่อมคือ จุดที่เชื่อมสามารถกำหนดให้มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้ เช่น การเชื่อมเส้นทองจากแผ่นชิปวงจรไอซี และระบบเลเซอร์เชื่อม นอกจากนี้ความร้อนที่สะสมในวัสดุมีน้อยมาก เนื่องจากการใช้พลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นมาก ๆ จึงสามารถควบคุมและกำหนดคุณลักษณะของบริเวณผิวรอยเชื่อมได้เป็นอย่างดี

2.8.2.1.3 Drilling หรือการเจาะ โดยทั่วไปจะใช้เจาะรูที่มีขนาดเล็กมาก ๆ หรือใช้กับวัสดุที่มีความแข็งสูง เช่น เซรามิก เพชร

2.8.2.2 งานด้านการแพทย์ เช่น การผ่าตัดผิวหนัง การผ่าตัดแก้ไขสายตา และแม้กระทั่งการกำจัดมะเร็งที่ผิวหนัง

2.8.2.3 งานด้านการทหาร เช่น ระบบการนำวิถีของจรวด

2.8.2.4 งานด้านการค้นคว้าวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ขั้นสูง

2.9 โฟโตไดโอด (Photo Diode)

เป็นอุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้ซึ่งถ้าเป็นประเภทสารกึ่งตัวนำจะแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือ

2.9.1 โฟโตไดโอด (Photo Diode , PD) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินฟราเรด ในการใช้งานจะต้องต่อโฟโอดีไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ โฟโอดีไดโอด จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโอดีไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มากกระทบบมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มากกระทบบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้

2.9.2 อะวาลานซ์โฟโอดีไดโอด (Avalanche Photodiode , APD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนปริมาณแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก การเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงแบบ PIN หรือ APD นั้น ตามปกติจะขึ้นอยู่กับราคาและความไวของเครื่องรับที่ต้องการ (Receiver Sensitivity) กระบวนการอะวาลานซ์ใน APD มีเทรชโฮลด์ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่า PIN เนื่องจาก APD มีการขยายกำลังได้สูงจึงจะทำให้ความไวของเครื่องรับได้ถึงปริมาณ -15 dB ซึ่งมากกว่า ไดโอด PIN นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงระดับสัญญาณระดับต่ำสุดที่จะรับได้ด้วย

การใช้งานของโฟโอดีไดโอด

- วัดความเข้มแสง
- ชัตเตอร์แสง
- กำหนดตำแหน่งของเครื่องมือกล
- การวัดระยะทางไกลด้วยแสงอินฟราเรด
- ตรวจจับสัญญาณแสงที่มีความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

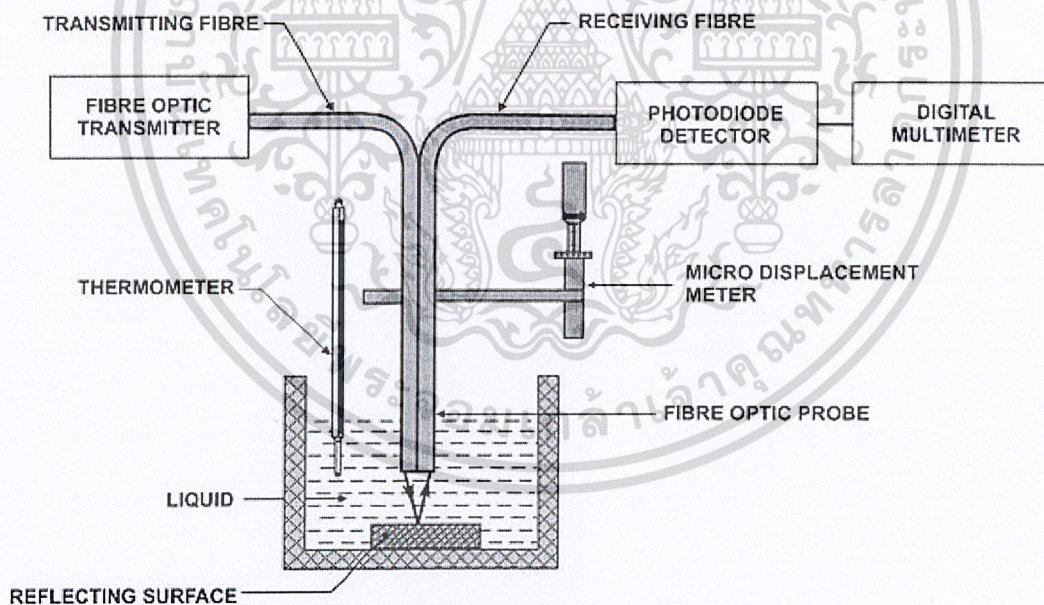
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการจัดสร้างระบบเพื่อตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าในความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว โดยใช้เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง ซึ่งตัวเซนเซอร์ใยแก้วนำแสงจะประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสง สายใยแก้วนำแสงและตัวตรวจวัดแสง (Photodiode Detector) หรือ LDR (Light dependent Resistor)

3.1 การออกแบบระบบสำหรับการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว

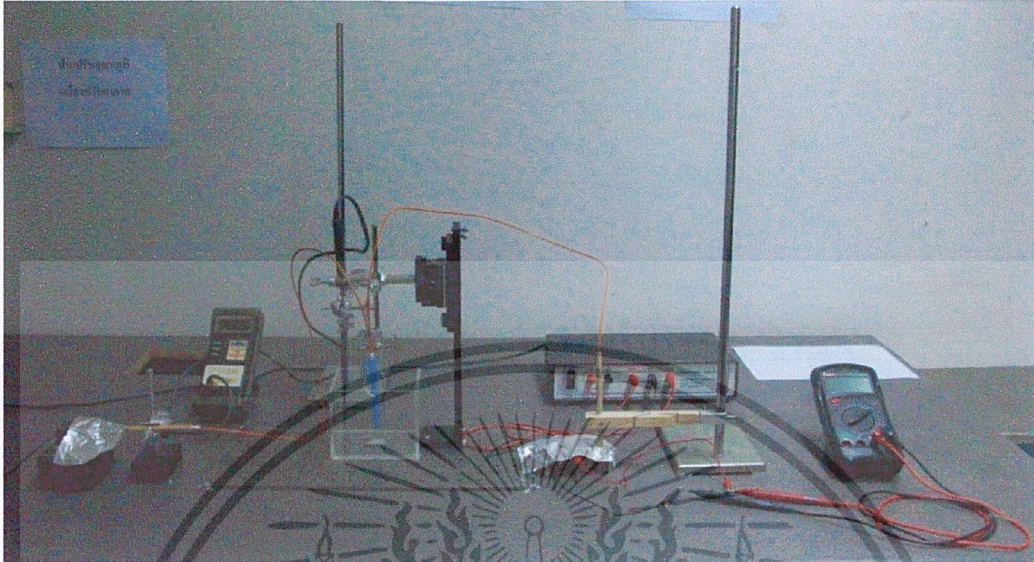
3.1.1 แผนผังการออกแบบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว



รูปที่ 3.1 แผนผังการออกแบบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การจัดสร้างระบบที่ใช้ในการทดลองการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว



รูปที่ 3.2 แสดงระบบที่ใช้ในการทดลองการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว

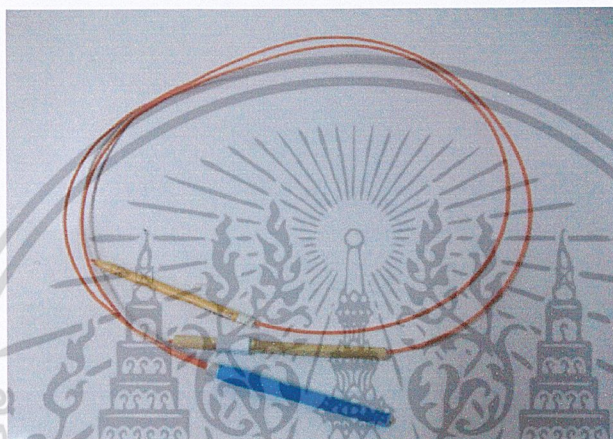
3.2 ส่วนประกอบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH

ของของเหลว

1) สายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Probe)

เป็นสายเส้นเล็กสองสายคู่กันที่ปลายข้างหนึ่ง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งสายจะแยกออกจากกัน สายใยแก้วนำแสงจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาว มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

ทำหน้าที่นำสัญญาณแสงจากจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยสายข้างหนึ่งจะทำหน้าที่เป็น Transmitting Fiber และสายอีกข้างหนึ่งจะทำหน้าที่เป็น Receiving Fiber



รูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Probe)

2) เลเซอร์ (Laser)

เป็นเลเซอร์สีแดงที่มีความยาวคลื่น 656 nm ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง

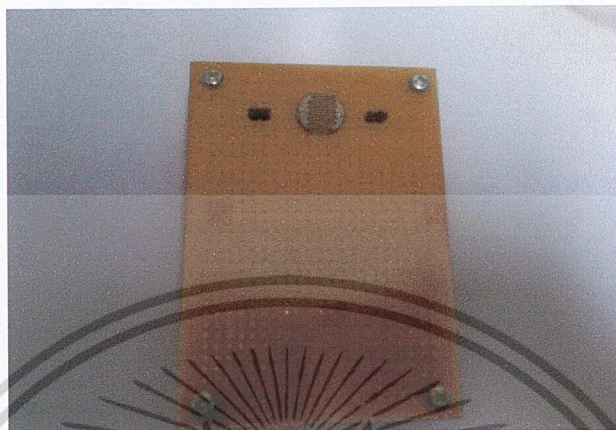


รูปที่ 3.4 เลเซอร์ (Laser)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) LDR (Light dependent Resistor) หรือโฟโต้ไดโอด (Photo Diode)

LDR ทำหน้าที่ ในการแปลงสัญญาณข้อมูลทางแสงที่ได้รับจาก Receiving Fiber เป็นความต้านทานทางไฟฟ้า (โอห์ม)



รูปที่ 3.5 LDR (Light dependent Resistor)

หรือ โฟโต้ไดโอด ทำหน้าที่ ในการแปลงสัญญาณข้อมูลทางแสงที่ได้รับจาก Receiving Fiber เป็นแรงดันทางไฟฟ้า (โวลต์)

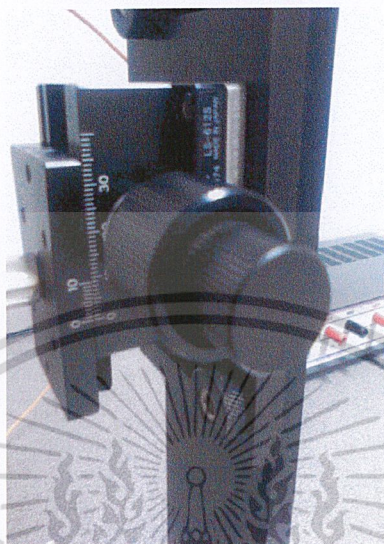


รูปที่ 3.6 โฟโต้ไดโอด (Photo Diode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Displacement stage

จะถูกยึดติดอยู่กับ Fiber Optic Probe ทำหน้าที่ในการวัดการเคลื่อนที่ของ Fiber Optic Probe



รูปที่ 3.7 Displacement Stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)

ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT 51 Multimeter ทำหน้าที่เป็นตัวแสดงผลเมื่อมีแสงมาตกกระทบ LDR หรือโฟโตไดโอด



รูปที่ 3.8 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)

6) พื้นผิวที่ทำการสะท้อน (Reflecting Surface)

ยี่ห้อ 3M เป็นแผ่นสะท้อนแสงมีความมันวาว ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงจาก Transmitting Fiber และส่งการสะท้อนของแสงกลับไปยัง Receiving Fiber



รูปที่ 3.9 พื้นผิวที่ทำการสะท้อน (Reflecting Surface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

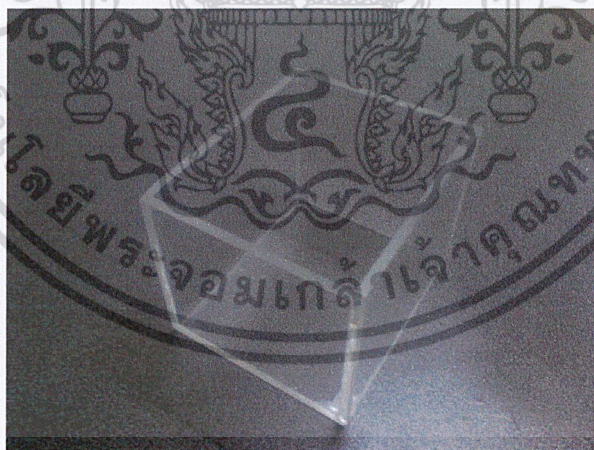
รุ่น FLUKE 51 ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิเพื่อสังเกตอุณหภูมิให้คงที่ ขณะที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.10 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

8) กล่องบรรจุสาร

ทำมาจากแผ่นอะคริลิกขนาด 12x10x10 cm. ใช้เป็นภาชนะในการใส่สารละลายน้ำตาลหรือของเหลวที่มีค่า pH ต่างๆ



รูปที่ 3.11 กล่องบรรจุสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการประกอบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว

- 1) ออกแบบระบบสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำตาลที่แตกต่างกันและค่า pH ของของเหลว
- 2) ประกอบภาชนะบรรจุสารเปิดด้านบน โดยใช้แผ่นอะคริลิกขนาด 12 x 10 x 10 เซนติเมตร เพื่อเป็นภาชนะสำหรับใส่สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันและค่า pH ของของเหลว
- 3) ยึด Displacement stage ติดกับ Fiber Optic Probe
- 4) สาย Fiber Optic ด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็น Transmitting Fiber จะถูกยึดให้อยู่กับที่โดยตัวล็อกเพื่อให้สายใยแก้วนำแสงอยู่นิ่ง สามารถรับแสงจากเลเซอร์ได้มาก
- 5) ต่อตัว LDR ลงบนแผ่นปริ้นท์หรือต่อวงจรโฟโต้ไดโอด
- 6) สาย Fiber Optic อีกด้านที่ทำหน้าที่เป็น Receiving Fiber จะถูกยึดให้อยู่กับที่โดยคีมคิ๊ป เพื่อให้สายอยู่นิ่ง โดยสาย Receiving Fiber จะถูกจ่อติดอยู่กับตัวโฟโต้ไดโอด
- 7) นำดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาต่อเข้ากับ LDR หรือโฟโต้ไดโอด
- 8) นำเลเซอร์มาวางให้ได้ระดับเดียวกับสาย Transmitting Fiber ปรับให้แสงส่องผ่านเข้าไปในสาย Transmitting Fiber ได้
- 9) นำเทอร์โมมิเตอร์มายึดโดยใช้คีมคิ๊ป ส่วนที่ใช้วัดอยู่ในกล่องบรรจุสาร
- 10) นำพื้นผิวที่ทำการสะท้อนมาติดบนกล่องบรรจุสาร ที่จะใช้ในการใส่สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกันและค่า pH ของของเหลว
- 11) จัดให้แสงจาก Fiber Optic Probe ตกลงบนพื้นผิวที่ทำการสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาล

- 1) ประกอบระบบสำหรับการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาล
- 2) เตรียมน้ำเปล่าปริมาตร 300 ml
- 3) เตรียมน้ำตาลที่มีน้ำหนัก 15 , 30 , 45 , 60 และ 75 กรัม ตามลำดับ
- 4) นำน้ำเปล่าปริมาตร 300 ml กับน้ำตาลน้ำหนัก 15 กรัม มาผสมเข้าด้วยกันจะได้สารละลายน้ำตาล
- 5) นำสารละลายน้ำตาลที่ได้เทใส่ในกล่องบรรจุสารที่จะทำการวัด
- 6) เสียบปลั๊กตัวเลเซอร์
- 7) เปิดเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยปรับไปที่โอห์มถ้าใช้ LDR ในการวัด แต่ถ้าใช้โฟโตไดโอดในการวัดให้ปรับไปที่โวลต์
- 8) เปิดเครื่องเทอร์โมมิเตอร์
- 9) วัดระยะการเคลื่อนที่ของ Fiber Optic Probe โดยการเคลื่อนที่ของ Displacement stage ตั้งแต่ 0 – 20 mm.
- 10) บันทึกผลค่าโอห์มหรือค่าโวลต์ที่แสดงบนดิจิตอลมัลติมิเตอร์
- 11) ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ให้ทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและหาค่า $1/R$ ถ้าใช้ LDR ในการวัด แต่ถ้าใช้โฟโตไดโอดในการวัดให้นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยอย่างเดียว
- 12) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/R$ และระยะทางการเคลื่อนที่ของ Displacement Stage (mm.) ถ้าใช้ LDR ในการวัด แต่ถ้าใช้โฟโตไดโอดในการวัดให้พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะทางการเคลื่อนที่ของ Displacement Stage (mm.)
- 13) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 5 – 12 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเป็น 30 , 45 , 60 และ 75 กรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลองการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่า pH ของของเหลว

- 1) ประกอบระบบสำหรับการตรวจวัดค่า pH ของของเหลว
- 2) นำน้ำมะนาวและน้ำสบู่ไปตรวจวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัดค่า pH แบบดิจิตอล
- 3) นำน้ำที่ทราบค่า pH แล้วไปใส่ในกล่องบรรจุสารที่จะทำการวัด
- 4) เสียบปลั๊กตัวเลเซอร์
- 5) เปิดเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยปรับไปที่โอห์มถ้าใช้ LDR ในการวัด แต่ถ้าใช้โฟโต้ไดโอดในการวัดให้ปรับไปที่โวลต์
- 6) เปิดเครื่องเทอร์โมมิเตอร์
- 7) วัดระยะการเคลื่อนที่ของ Fiber Optic Probe โดยการเคลื่อนที่ของ Displacement Stage ตั้งแต่ 0 – 20 mm.
- 8) บันทึกผลค่าโอห์มหรือค่าโวลต์ที่แสดงบนดิจิตอลมัลติมิเตอร์
- 9) ในแต่ละค่า pH ให้ทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและหาค่า $1/R$ ถ้าใช้ LDR ในการวัด แต่ถ้าใช้โฟโต้ไดโอดในการวัดให้นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยอย่างเดียว
- 10) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/R$ และระยะทางการเคลื่อนที่ของ Displacement Stage (mm.) ถ้าใช้ LDR ในการวัด แต่ถ้าใช้โฟโต้ไดโอดในการวัดให้พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะทางการเคลื่อนที่ของ Displacement Stage (mm.)
- 11) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 – 10 แต่เปลี่ยนเป็นน้ำที่มีค่า pH แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ที่แตกต่างกันในน้ำ 300 ml โดยใช้ LDR

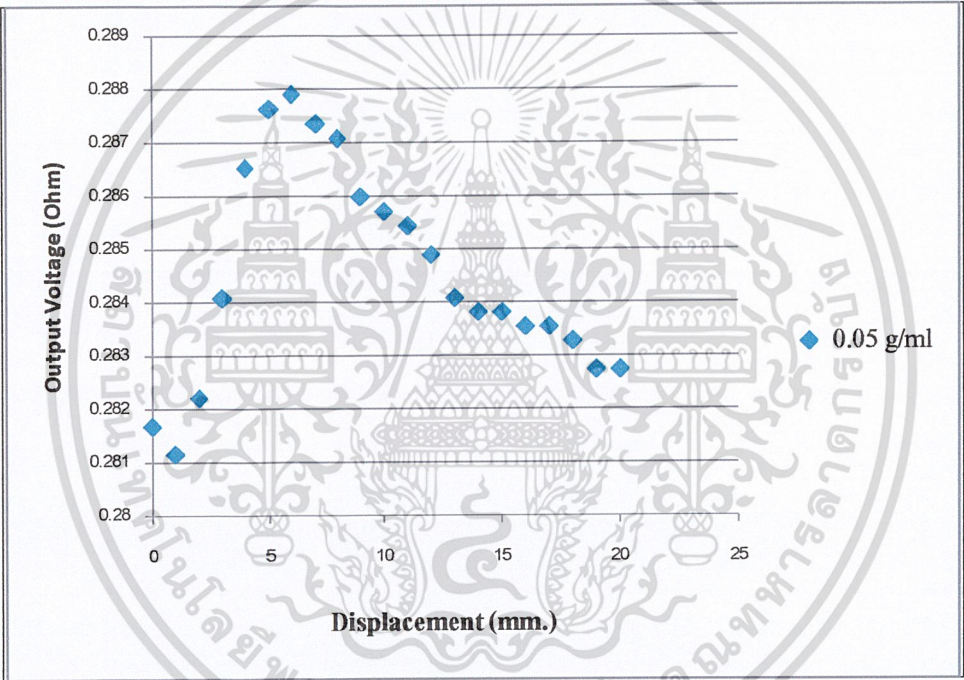
4.1.1 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05g/ml ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย น้ำตาล 0.05 g/ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm)	แรงดันไฟฟ้า (โอห์ม)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	1/R
0	3.52	3.56	3.57	3.550	0.2817
1	3.53	3.57	3.57	3.557	0.2811
2	3.51	3.56	3.56	3.543	0.2823
3	3.51	3.53	3.52	3.520	0.2841
4	3.48	3.50	3.49	3.490	0.2865
5	3.47	3.48	3.48	3.477	0.2876
6	3.46	3.48	3.48	3.473	0.2879
7	3.46	3.49	3.49	3.480	0.2874
8	3.47	3.49	3.49	3.483	0.2871
9	3.49	3.50	3.50	3.497	0.2860
10	3.49	3.51	3.50	3.500	0.2857
11	3.50	3.51	3.50	3.503	0.2855
12	3.51	3.51	3.51	3.510	0.2849
13	3.51	3.53	3.52	3.520	0.2841
14	3.52	3.53	3.52	3.523	0.2838
15	3.52	3.53	3.52	3.523	0.2838
16	3.52	3.53	3.53	3.527	0.2835

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm)	แรงดันไฟฟ้า (โอห์ม)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	1/R
17	3.52	3.53	3.53	3.527	0.2835
18	3.52	3.53	3.54	3.53	0.2833
19	3.53	3.54	3.54	3.537	0.2827
20	3.53	3.54	3.54	3.537	0.2827

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml



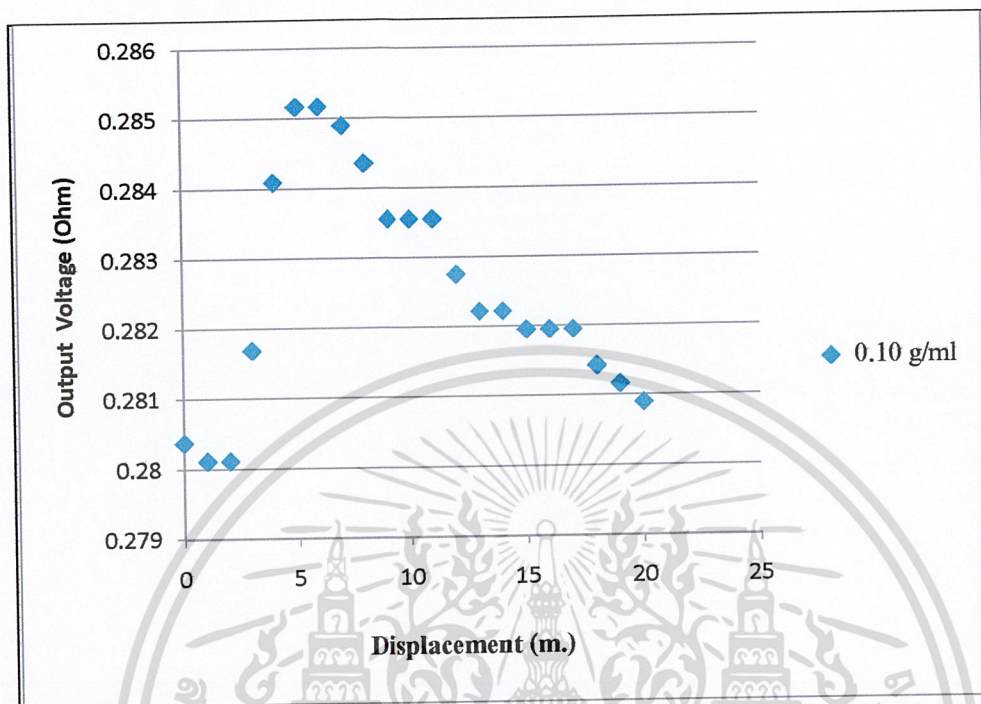
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml

4.1.2 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.10 g/ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (Ohm)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	1/R
0	3.57	3.56	3.57	3.567	0.2803
1	3.57	3.57	3.57	3.570	0.2801
2	3.57	3.56	3.58	3.570	0.2801
3	3.55	3.54	3.56	3.550	0.2817
4	3.52	3.51	3.53	3.520	0.2841
5	3.50	3.50	3.52	3.507	0.2851
6	3.50	3.50	3.52	3.507	0.2851
7	3.51	3.51	3.51	3.510	0.2849
8	3.52	3.51	3.52	3.517	0.2843
9	3.53	3.52	3.53	3.527	0.2835
10	3.53	3.52	3.53	3.527	0.2835
11	3.53	3.52	3.53	3.527	0.2835
12	3.53	3.53	3.55	3.537	0.2827
13	3.54	3.53	3.56	3.543	0.2822
14	3.54	3.53	3.56	3.543	0.2822
15	3.54	3.54	3.56	3.547	0.2819
16	3.54	3.54	3.56	3.547	0.2819
17	3.54	3.54	3.56	3.547	0.2819
18	3.55	3.54	3.57	3.553	0.2815
19	3.55	3.55	3.57	3.557	0.2811
20	3.56	3.55	3.57	3.560	0.2809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g / ml



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10g /ml

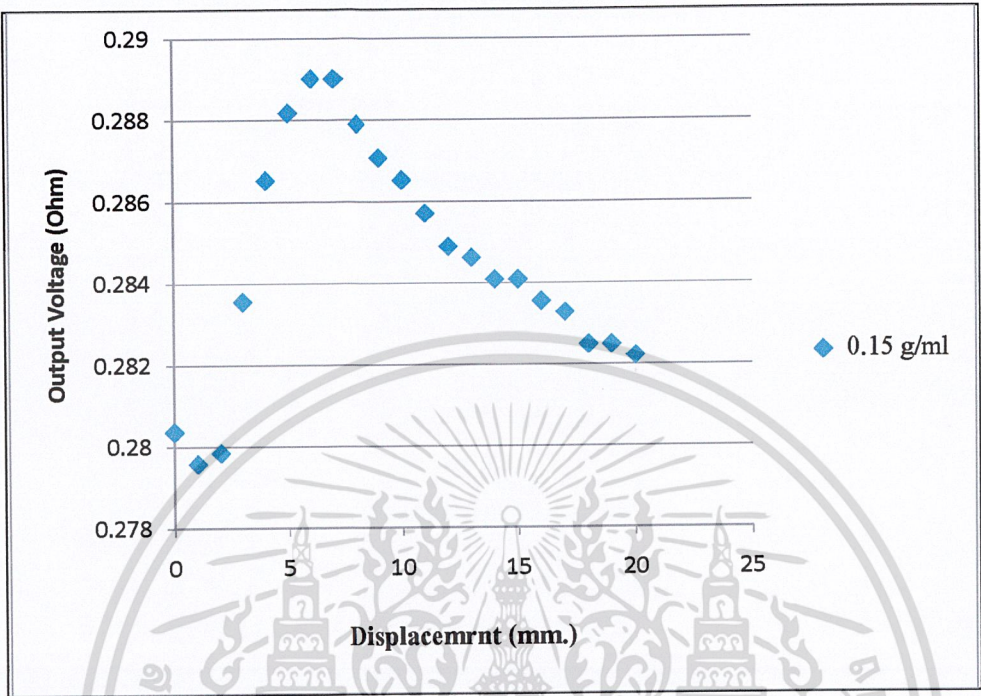
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15g/ml
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.15 g / ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (Ohm)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	1/R
0	3.56	3.57	3.57	3.567	0.2803
1	3.57	3.58	3.58	3.577	0.2796
2	3.57	3.58	3.57	3.573	0.2799
3	3.53	3.52	3.53	3.527	0.2835
4	3.48	3.49	3.50	3.490	0.2865
5	3.47	3.47	3.47	3.470	0.2882
6	3.46	3.46	3.46	3.460	0.2890
7	3.46	3.46	3.46	3.460	0.2890
8	3.48	3.47	3.47	3.473	0.2879
9	3.49	3.49	3.47	3.483	0.2871
10	3.50	3.49	3.48	3.490	0.2865
11	3.51	3.50	3.49	3.500	0.2857
12	3.52	3.51	3.50	3.510	0.2849
13	3.52	3.51	3.51	3.513	0.2846
14	3.52	3.52	3.52	3.520	0.2841
15	3.52	3.52	3.52	3.520	0.2841
16	3.53	3.53	3.52	3.527	0.2835
17	3.53	3.53	3.53	3.530	0.2833
18	3.54	3.54	3.54	3.540	0.2825
19	3.54	3.54	3.54	3.540	0.2825
20	3.54	3.54	3.55	3.543	0.2822

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g/ml



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g /ml

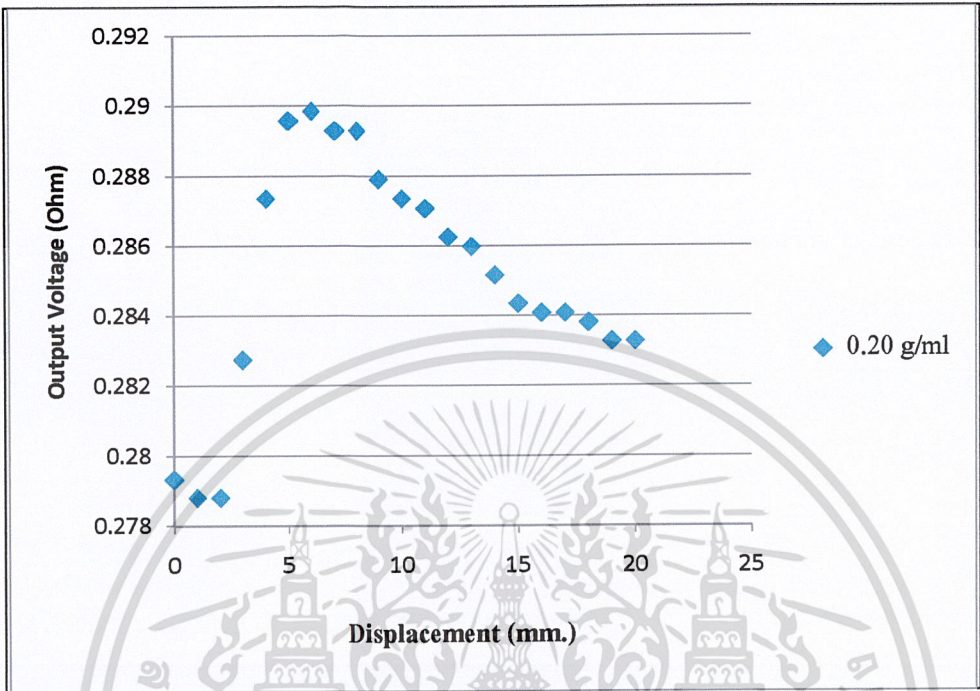
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g/ml
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.20 g/ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (Ohm)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	1/R
0	3.59	3.59	3.56	3.580	0.2793
1	3.61	3.58	3.57	3.587	0.2788
2	3.61	3.58	3.57	3.587	0.2788
3	3.56	3.53	3.52	3.537	0.2827
4	3.50	3.47	3.47	3.480	0.2874
5	3.47	3.45	3.44	3.453	0.2896
6	3.48	3.45	3.42	3.450	0.2899
7	3.48	3.45	3.44	3.457	0.2893
8	3.48	3.45	3.44	3.457	0.2893
9	3.49	3.47	3.46	3.473	0.2879
10	3.50	3.47	3.47	3.480	0.2874
11	3.50	3.48	3.47	3.483	0.2871
12	3.52	3.48	3.48	3.493	0.2863
13	3.52	3.49	3.48	3.497	0.2860
14	3.54	3.49	3.49	3.507	0.2851
15	3.54	3.51	3.50	3.517	0.2843
16	3.55	3.51	3.50	3.520	0.2841
17	3.55	3.51	3.50	3.520	0.2841
18	3.56	3.51	3.50	3.523	0.2838
19	3.56	3.52	3.51	3.530	0.2833
20	3.56	3.52	3.51	3.530	0.2833

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g / ml



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g / ml

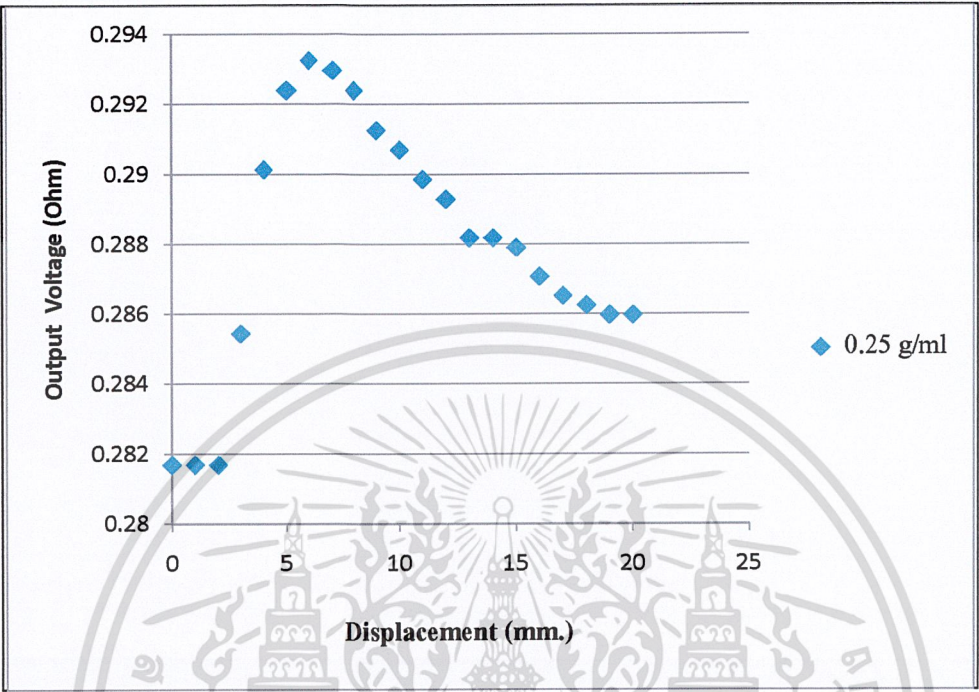
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g/ml
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (Ohm) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.25 g /ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (Ohm)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	1/R
0	3.55	3.55	3.55	3.550	0.2817
1	3.55	3.55	3.55	3.550	0.2817
2	3.56	3.55	3.54	3.550	0.2817
3	3.52	3.50	3.49	3.503	0.2855
4	3.45	3.45	3.44	3.447	0.2901
5	3.42	3.42	3.42	3.420	0.2924
6	3.41	3.42	3.40	3.410	0.2933
7	3.41	3.42	3.41	3.413	0.2930
8	3.43	3.42	3.41	3.420	0.2924
9	3.44	3.43	3.43	3.433	0.2913
10	3.44	3.44	3.44	3.440	0.2907
11	3.46	3.44	3.45	3.450	0.2899
12	3.46	3.46	3.45	3.457	0.2893
13	3.47	3.47	3.47	3.470	0.2882
14	3.47	3.47	3.47	3.470	0.2882
15	3.47	3.47	3.48	3.473	0.2879
16	3.48	3.48	3.49	3.483	0.2871
17	3.48	3.49	3.50	3.490	0.2865
18	3.49	3.49	3.50	3.493	0.2863
19	3.49	3.50	3.50	3.497	0.2860
20	3.49	3.50	3.50	3.497	0.2860

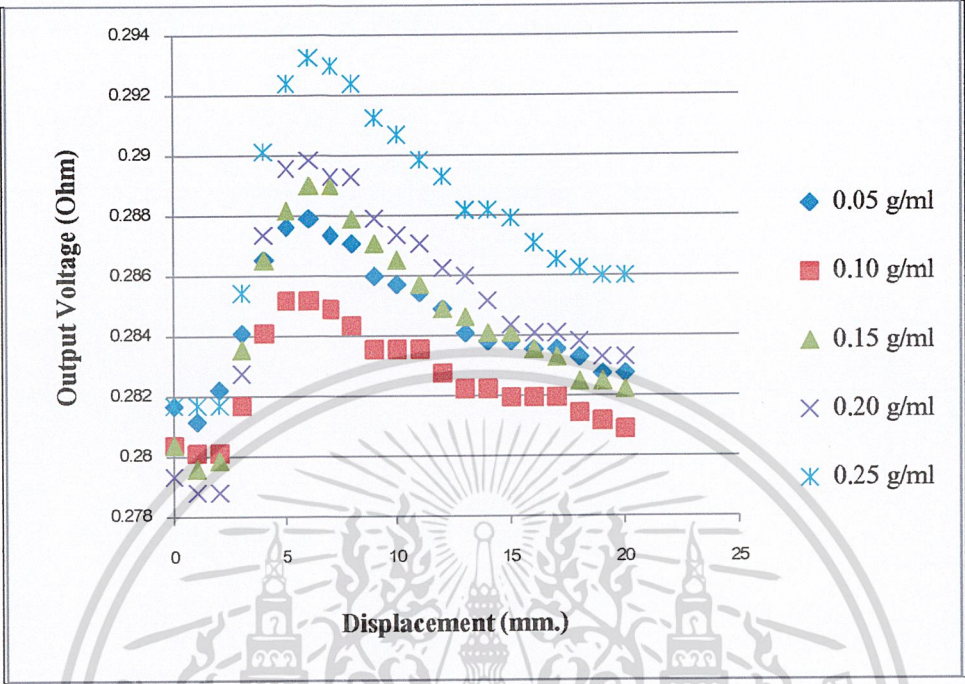
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g / ml



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g / ml

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าที่สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันทุกความเข้มข้นมาพลอตกราฟจะได้ลักษณะกราฟดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (Ohm) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)
ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกันในน้ำ 300 ml

4.2 ผลการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่แตกต่างกันในน้ำ 300 ml โดยใช้โพโต้ไดโอด

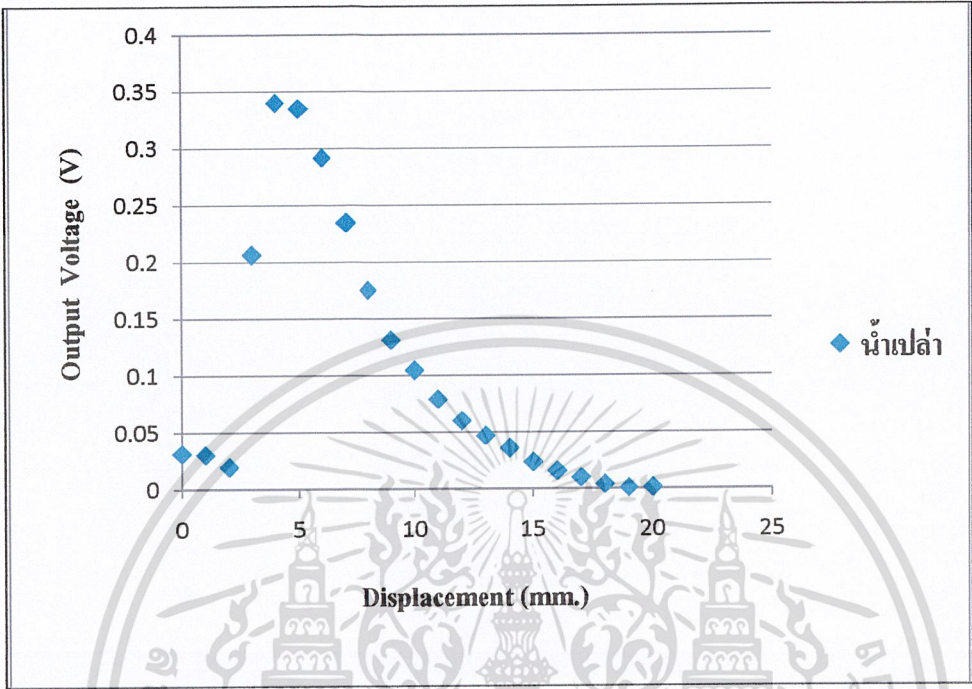
4.2.1 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ในน้ำเปล่า 300 ml

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ในน้ำเปล่า

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	น้ำเปล่า
0	0.032	0.032	0.032	0.032
1	0.031	0.031	0.031	0.031
2	0.020	0.015	0.026	0.020
3	0.204	0.225	0.191	0.207
4	0.342	0.353	0.326	0.340
5	0.326	0.358	0.322	0.335
6	0.283	0.308	0.285	0.292
7	0.225	0.257	0.223	0.235
8	0.176	0.194	0.157	0.176
9	0.127	0.144	0.124	0.132
10	0.110	0.110	0.095	0.105
11	0.085	0.081	0.072	0.079
12	0.064	0.062	0.055	0.060
13	0.050	0.049	0.043	0.047
14	0.040	0.038	0.031	0.036
15	0.024	0.026	0.022	0.024
16	0.019	0.014	0.016	0.016
17	0.010	0.010	0.011	0.010
18	0.004	0.005	0.004	0.004
19	0.002	0.001	0.001	0.001
20	0.001	0.002	0.002	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V)และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำเปล่า 300 ml



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำเปล่า 300 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

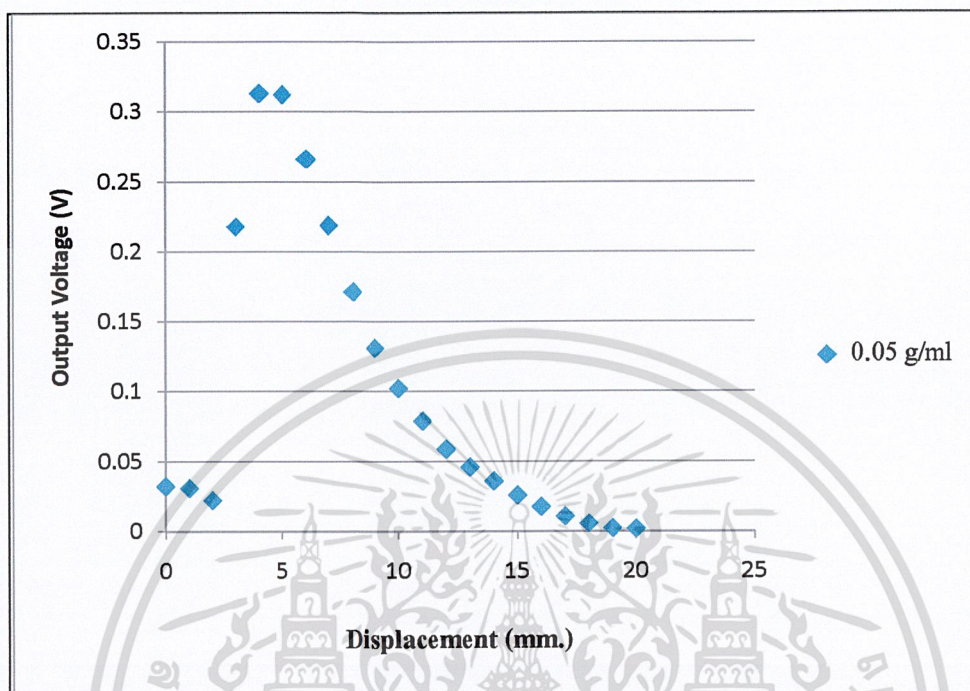
4.1.2 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	0.05 g/ml
0	0.033	0.032	0.032	0.032
1	0.031	0.031	0.031	0.031
2	0.025	0.028	0.014	0.022
3	0.220	0.233	0.201	0.218
4	0.284	0.336	0.320	0.313
5	0.289	0.323	0.325	0.312
6	0.248	0.263	0.288	0.266
7	0.197	0.226	0.234	0.219
8	0.152	0.186	0.176	0.171
9	0.119	0.148	0.127	0.131
10	0.098	0.110	0.099	0.102
11	0.076	0.083	0.078	0.079
12	0.060	0.061	0.056	0.059
13	0.048	0.048	0.042	0.046
14	0.036	0.037	0.035	0.036
15	0.025	0.027	0.026	0.026
16	0.017	0.017	0.019	0.018
17	0.010	0.011	0.012	0.011
18	0.005	0.005	0.007	0.006
19	0.003	0.001	0.003	0.002
20	0.002	0.003	0.001	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.05 g/ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

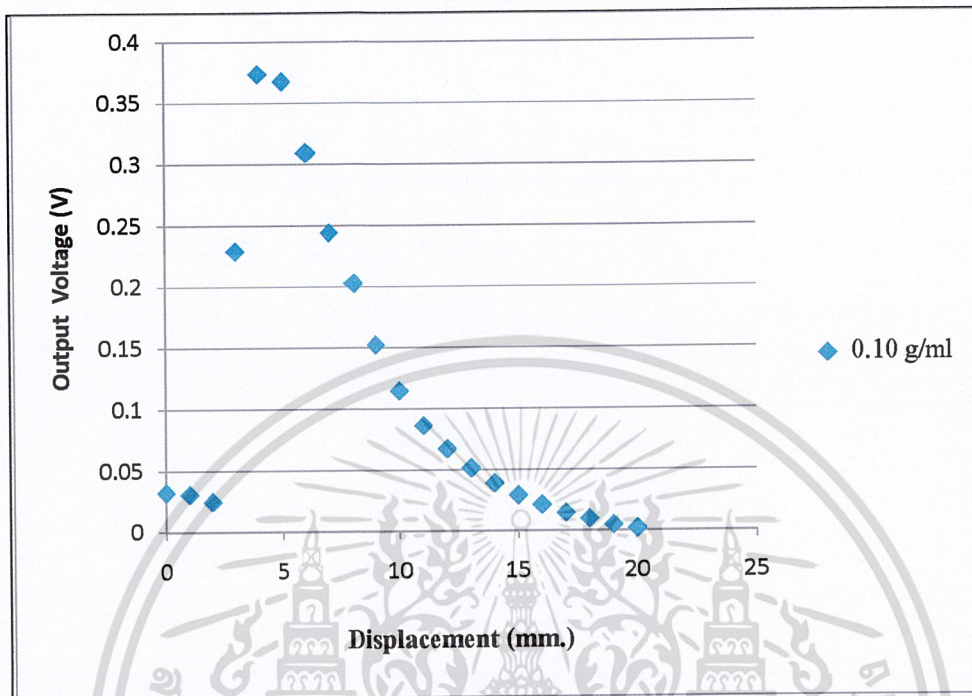
4.1.3 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	0.10 g/ml
0	0.032	0.033	0.032	0.032
1	0.030	0.031	0.031	0.031
2	0.026	0.024	0.024	0.025
3	0.219	0.242	0.227	0.229
4	0.366	0.382	0.374	0.374
5	0.363	0.363	0.378	0.368
6	0.302	0.297	0.330	0.310
7	0.234	0.245	0.254	0.244
8	0.207	0.202	0.200	0.203
9	0.154	0.148	0.156	0.153
10	0.123	0.105	0.117	0.115
11	0.093	0.080	0.086	0.086
12	0.069	0.067	0.066	0.067
13	0.054	0.052	0.048	0.051
14	0.043	0.040	0.034	0.039
15	0.032	0.029	0.026	0.029
16	0.025	0.021	0.018	0.021
17	0.020	0.015	0.009	0.015
18	0.015	0.010	0.004	0.010
19	0.008	0.005	0.001	0.005
20	0.004	0.001	0.001	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.10 g/ml

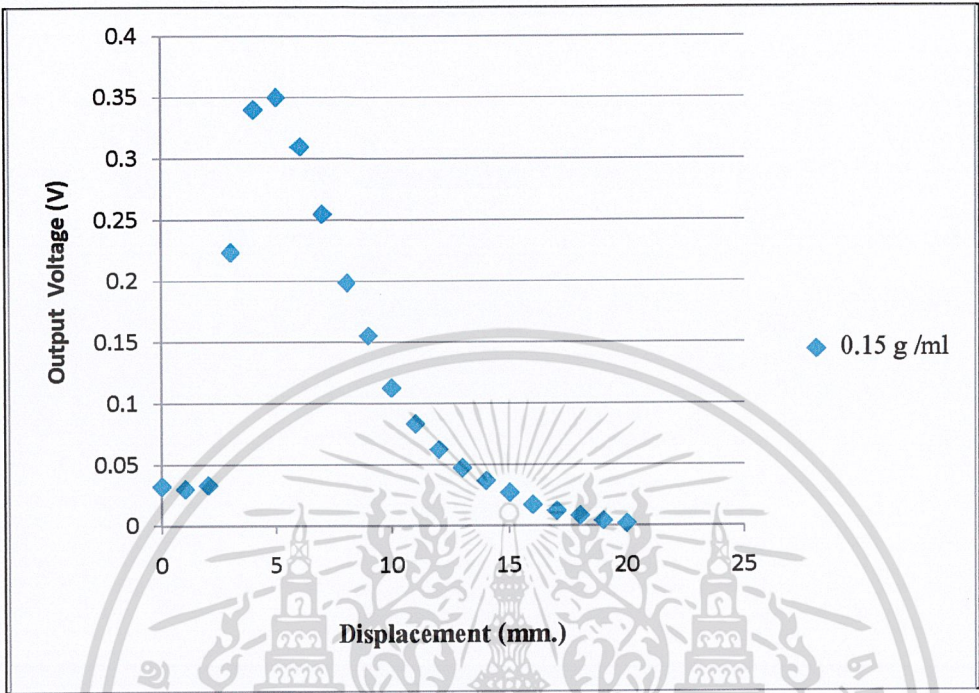
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล0.15 g/ml
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.15 g / ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	0.15 g/ml
0	0.033	0.032	0.032	0.032
1	0.030	0.030	0.030	0.030
2	0.033	0.026	0.041	0.033
3	0.220	0.216	0.235	0.224
4	0.338	0.326	0.356	0.340
5	0.365	0.330	0.355	0.350
6	0.334	0.290	0.305	0.310
7	0.283	0.233	0.249	0.255
8	0.217	0.181	0.198	0.199
9	0.168	0.144	0.154	0.155
10	0.119	0.104	0.115	0.113
11	0.087	0.077	0.086	0.083
12	0.060	0.059	0.068	0.062
13	0.042	0.046	0.054	0.047
14	0.038	0.033	0.039	0.037
15	0.029	0.023	0.029	0.027
16	0.012	0.020	0.019	0.017
17	0.011	0.013	0.012	0.012
18	0.005	0.009	0.010	0.008
19	0.001	0.005	0.006	0.004
20	0.001	0.001	0.003	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V)และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g / ml



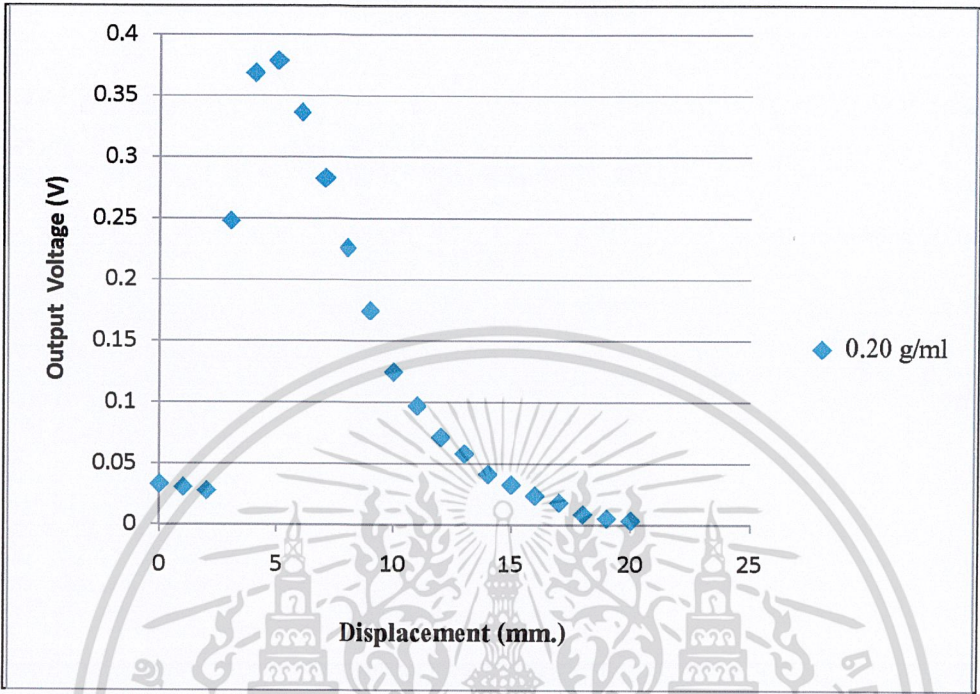
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.15 g / ml

4.1.5 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g/ml
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.20 g / ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	0.20 g/ml
0	0.033	0.033	0.033	0.033
1	0.030	0.031	0.031	0.031
2	0.039	0.021	0.023	0.028
3	0.280	0.220	0.245	0.248
4	0.412	0.323	0.372	0.369
5	0.427	0.356	0.354	0.379
6	0.381	0.323	0.306	0.337
7	0.311	0.283	0.255	0.283
8	0.236	0.223	0.220	0.226
9	0.184	0.174	0.166	0.175
10	0.139	0.109	0.126	0.125
11	0.113	0.084	0.094	0.097
12	0.084	0.062	0.068	0.071
13	0.062	0.057	0.055	0.058
14	0.048	0.041	0.035	0.041
15	0.036	0.032	0.030	0.033
16	0.027	0.023	0.021	0.024
17	0.021	0.015	0.018	0.018
18	0.011	0.006	0.009	0.009
19	0.008	0.003	0.005	0.005
20	0.003	0.003	0.004	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V)และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g /ml



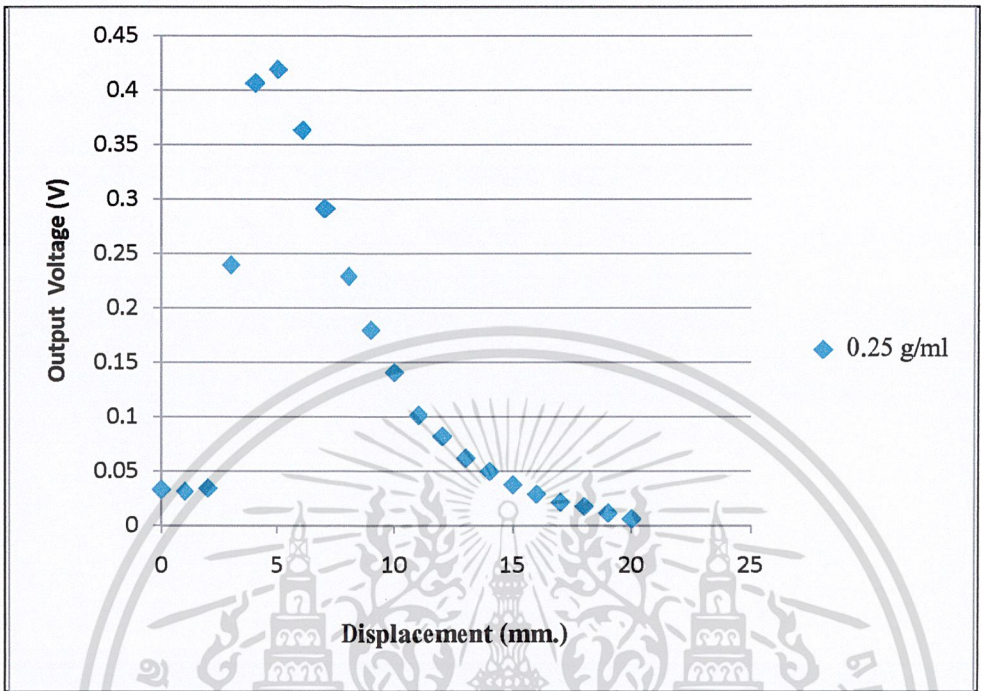
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.20 g /ml

4.1.6 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g/ml
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย
น้ำตาล 0.25 g/ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	0.25 g/ml
0	0.034	0.033	0.033	0.033
1	0.032	0.031	0.032	0.032
2	0.043	0.040	0.021	0.035
3	0.262	0.220	0.237	0.240
4	0.415	0.415	0.390	0.407
5	0.431	0.426	0.401	0.419
6	0.376	0.369	0.346	0.364
7	0.298	0.297	0.279	0.291
8	0.240	0.238	0.209	0.229
9	0.183	0.187	0.169	0.180
10	0.143	0.146	0.134	0.141
11	0.108	0.102	0.094	0.101
12	0.087	0.084	0.076	0.082
13	0.067	0.064	0.055	0.062
14	0.054	0.051	0.045	0.050
15	0.042	0.038	0.033	0.038
16	0.031	0.031	0.025	0.029
17	0.024	0.023	0.017	0.021
18	0.021	0.019	0.013	0.018
19	0.012	0.012	0.010	0.011
20	0.007	0.007	0.005	0.006

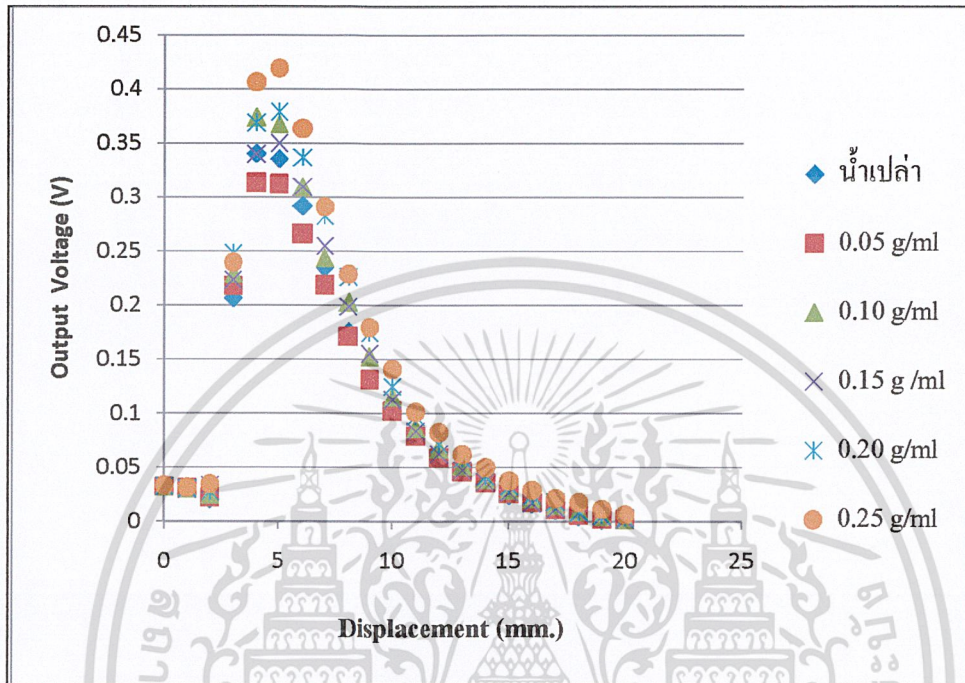
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V)
และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g / ml



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)
ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 0.25 g / ml

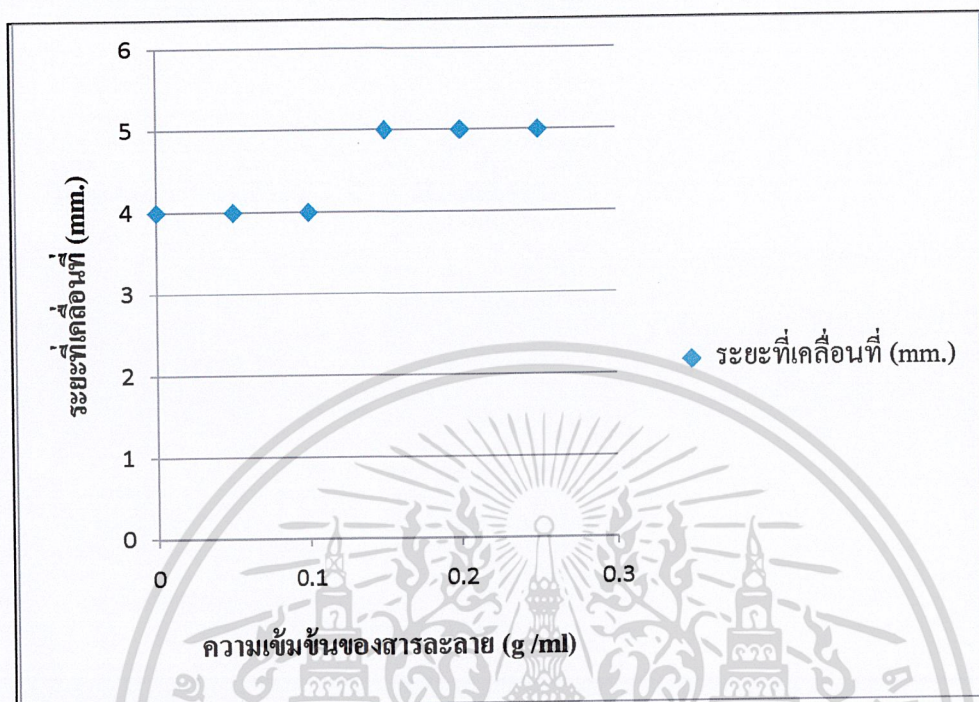
นำข้อมูลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าที่สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันทุกความเข้มข้นมาพลอตกราฟจะได้ลักษณะกราฟดังนี้



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)
ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกัน ในน้ำ 300 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกันกับระยะการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งสูงสุด



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกันกับระยะการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งสูงสุด (mm.)

จากกราฟทั้งหมดจะสังเกตได้ว่าในทุกค่าความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกันจะได้กราฟที่มีลักษณะเหมือนกัน คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดจะอยู่ในช่วง slope ด้านหน้าที่มีลักษณะสูงชัน ขณะที่ slope ด้านหลังเกือบจะมีความสัมพันธ์แบบกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) หลังจากเอาที่พหุไปถึงจุดสูงสุดแล้วค่าเอาที่พหุจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อการเคลื่อนที่ของ Displacement Stage เพิ่มขึ้น ซึ่งการวัดโดยใช้โฟโต้ไดโอดจะให้ผลการทดลองที่ดีกว่าการวัดโดย LDR เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นจะทำให้วัดแรงดันไฟฟ้าได้มากขึ้น รวมถึงตำแหน่งของจุดสูงสุดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 0.25 g/ml จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด โดยการวัดด้วยโฟโต้ไดโอด เท่ากับ 0.419 V ที่ตำแหน่ง 5 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน

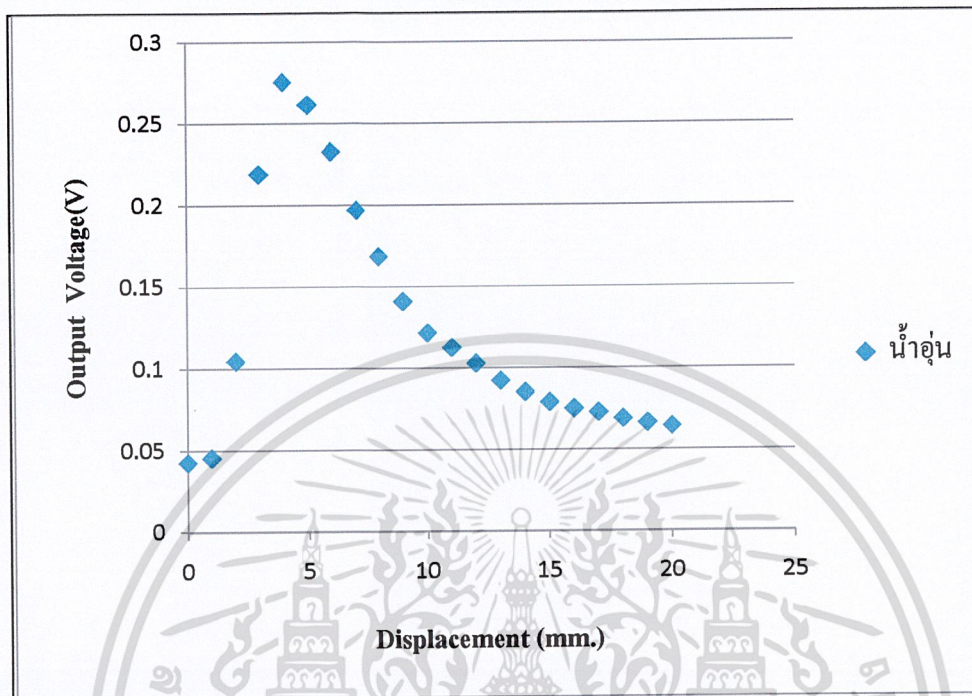
4.3.1 น้ำอุณหภูมิ 35 °c

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิ 35 °c

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	35 °c
0	0.043	0.044	0.041	0.043
1	0.046	0.047	0.043	0.045
2	0.108	0.097	0.109	0.105
3	0.220	0.210	0.228	0.219
4	0.275	0.260	0.292	0.276
5	0.259	0.239	0.287	0.262
6	0.237	0.206	0.256	0.233
7	0.198	0.170	0.223	0.197
8	0.170	0.161	0.175	0.169
9	0.155	0.144	0.124	0.141
10	0.130	0.126	0.109	0.122
11	0.114	0.121	0.103	0.113
12	0.106	0.111	0.092	0.103
13	0.098	0.093	0.086	0.092
14	0.087	0.088	0.081	0.085
15	0.082	0.081	0.074	0.079
16	0.077	0.077	0.071	0.075
17	0.074	0.077	0.067	0.073
18	0.069	0.074	0.064	0.069
19	0.066	0.071	0.062	0.066
20	0.064	0.068	0.061	0.064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)
ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 35 °c

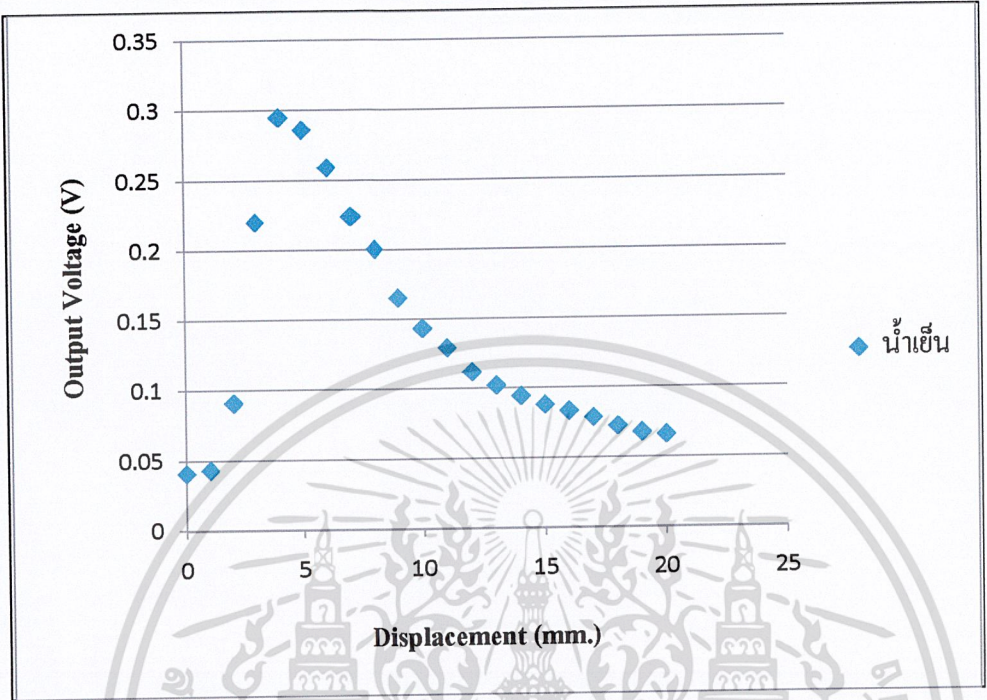
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 น้ำอุณหภูมิ 27 ° c
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 ° c

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	27 ° c
0	0.041	0.041	0.041	0.041
1	0.042	0.043	0.044	0.043
2	0.074	0.083	0.116	0.091
3	0.210	0.195	0.255	0.220
4	0.288	0.266	0.330	0.295
5	0.275	0.257	0.326	0.286
6	0.259	0.228	0.290	0.259
7	0.222	0.196	0.254	0.224
8	0.195	0.205	0.201	0.200
9	0.166	0.162	0.168	0.165
10	0.139	0.146	0.145	0.143
11	0.133	0.130	0.125	0.129
12	0.115	0.108	0.113	0.112
13	0.105	0.103	0.099	0.102
14	0.094	0.096	0.093	0.094
15	0.086	0.092	0.086	0.088
16	0.084	0.085	0.081	0.083
17	0.079	0.080	0.077	0.079
18	0.071	0.075	0.071	0.072
19	0.066	0.071	0.066	0.068
20	0.064	0.068	0.066	0.066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

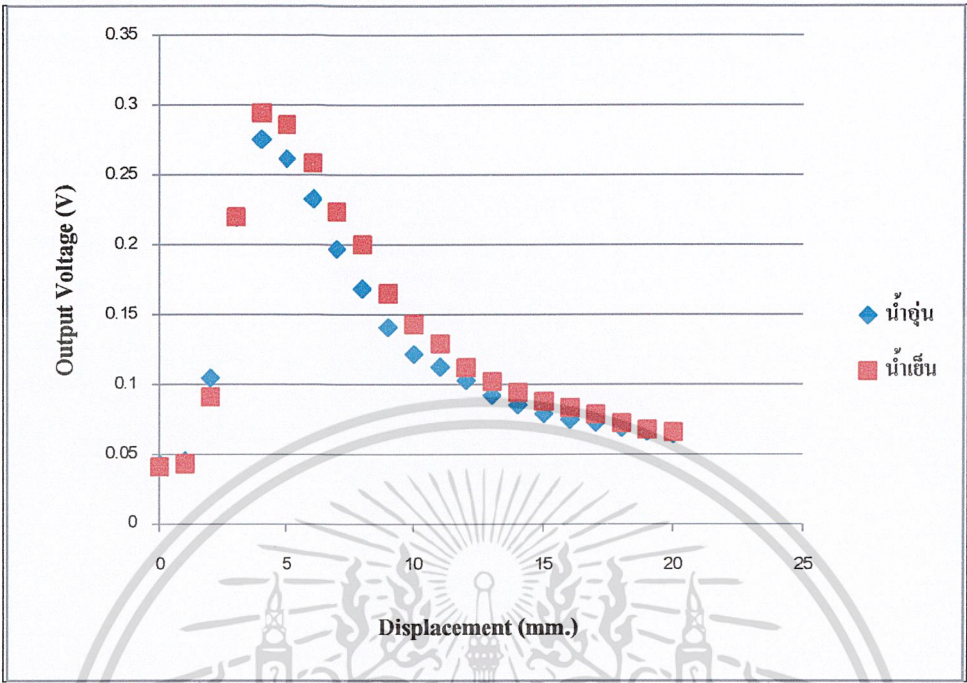
จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V)และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)
ในน้ำอุณหภูมิ 27 ° c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าในน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกันมาพลอตกราฟจะได้ลักษณะกราฟดังนี้



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำอุณหภูมิ ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V) ของของเหลวที่มีค่า pH ต่างกันในน้ำ 300 ml

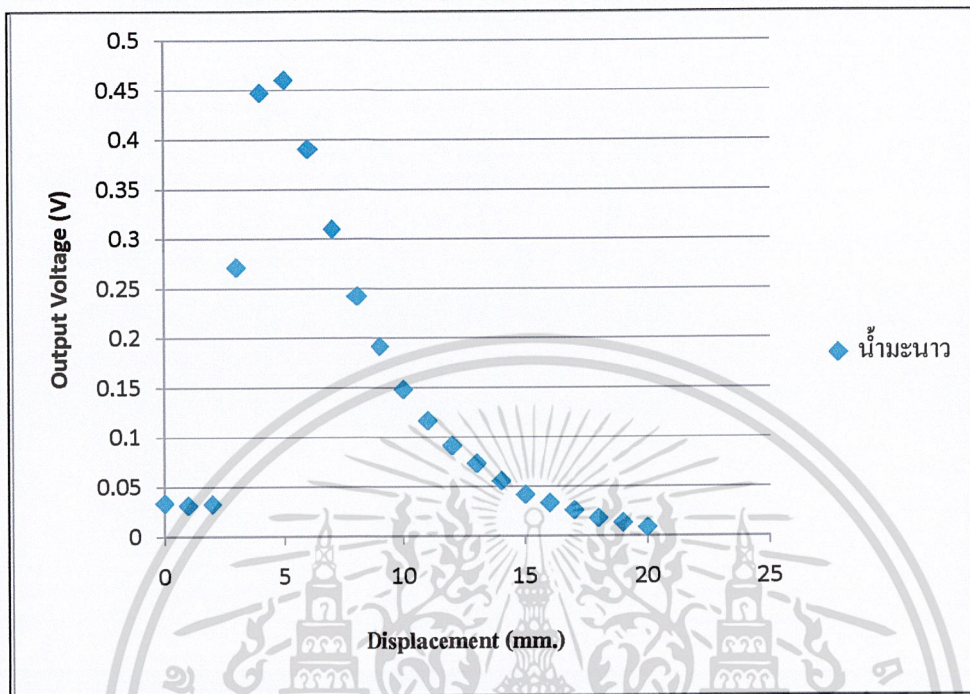
4.4.1 น้ำมะนาว ค่า pH 2.27

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของน้ำมะนาว 5 cc ในน้ำ 300 ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	น้ำมะนาว
0	0.034	0.034	0.034	0.034
1	0.033	0.031	0.031	0.032
2	0.023	0.036	0.040	0.033
3	0.269	0.274	0.272	0.272
4	0.445	0.458	0.440	0.448
5	0.454	0.485	0.443	0.461
6	0.414	0.406	0.353	0.391
7	0.309	0.318	0.304	0.310
8	0.235	0.254	0.239	0.243
9	0.194	0.211	0.171	0.192
10	0.150	0.162	0.134	0.149
11	0.118	0.128	0.105	0.117
12	0.091	0.102	0.083	0.092
13	0.077	0.077	0.067	0.074
14	0.059	0.059	0.050	0.056
15	0.044	0.046	0.037	0.042
16	0.036	0.036	0.029	0.033
17	0.028	0.027	0.024	0.026
18	0.020	0.020	0.015	0.018
19	0.015	0.013	0.013	0.014
20	0.009	0.008	0.010	0.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำเปล่า 300 ml



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำมะนาว 5 cc ต่อ น้ำ 300 ml

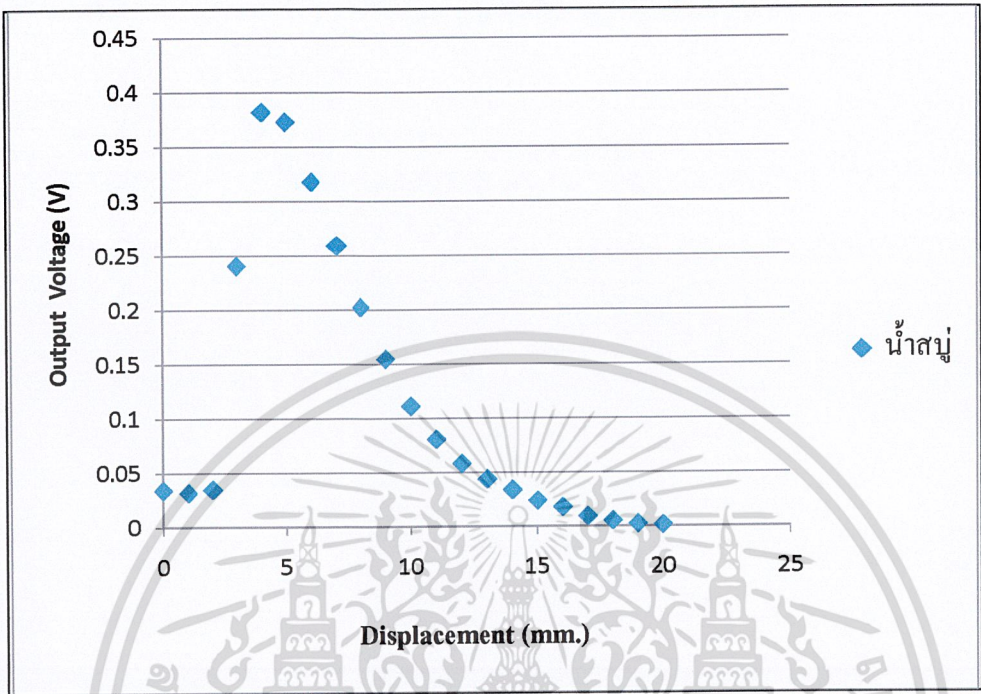
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 น้ำสบู่ ค่า pH 8.68
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของน้ำสบู่ 5 cc ในน้ำ 300 ml

ระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	น้ำสบู่
0	0.035	0.034	0.034	0.034
1	0.033	0.032	0.031	0.032
2	0.023	0.024	0.058	0.035
3	0.216	0.242	0.264	0.241
4	0.348	0.388	0.410	0.382
5	0.364	0.358	0.397	0.373
6	0.314	0.285	0.355	0.318
7	0.261	0.246	0.271	0.259
8	0.198	0.196	0.213	0.202
9	0.154	0.148	0.162	0.155
10	0.117	0.097	0.120	0.111
11	0.074	0.083	0.085	0.081
12	0.057	0.053	0.065	0.058
13	0.044	0.042	0.046	0.044
14	0.029	0.038	0.035	0.034
15	0.023	0.027	0.022	0.024
16	0.020	0.018	0.016	0.018
17	0.011	0.007	0.011	0.01
18	0.006	0.003	0.007	0.005
19	0.003	0.001	0.003	0.002
20	0.001	0.002	0.002	0.002

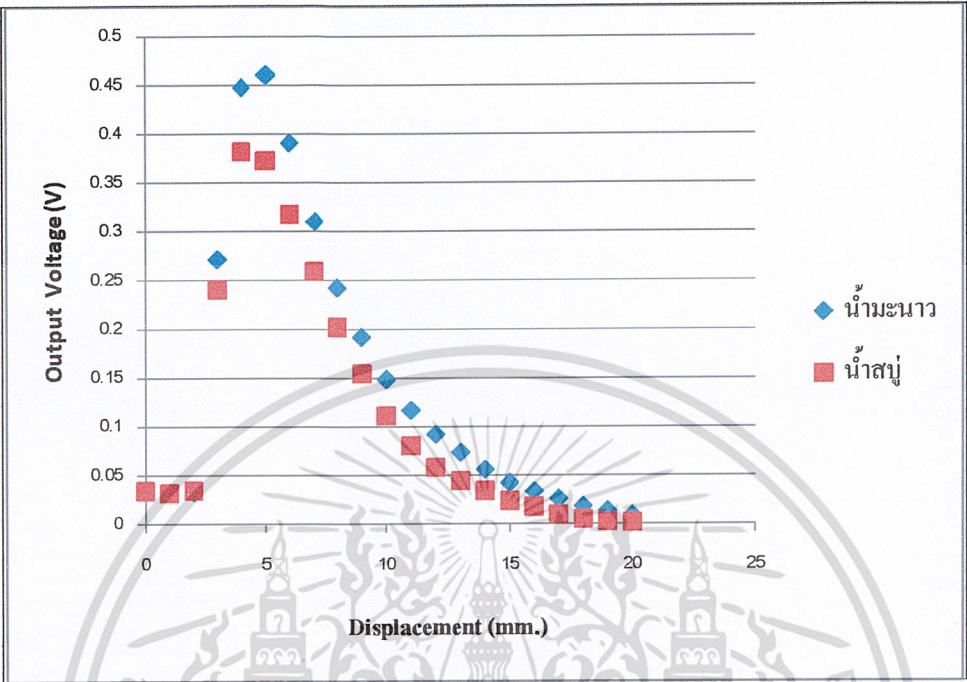
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำเปล่า 300 ml



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ในน้ำสบู่ 5 cc ต่อ น้ำ 300 ml

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าของเหลวที่มีค่า pH ต่างกันมาพลอตกราฟจะได้ลักษณะกราฟดังนี้



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.)
ในของเหลวที่มีค่า pH ต่างกัน ในน้ำ 300 ml

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) ใน ของเหลวที่มีค่า pH ต่างกันในน้ำ 300 ml จะพบว่ากราฟน้ำมะนาวจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้ามากกว่าน้ำสบู โดยน้ำมะนาวจะให้แรงดันไฟฟ้า (V) สูงสุดที่ 0.461 V ที่ระยะการเคลื่อนที่ 5 mm.

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการจัดสร้างระบบที่ใช้ในการวัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลและค่า pH ของของเหลว พบว่าสามารถใช้งานได้จริง ซึ่งในการนำระบบที่จัดสร้างขึ้นมาศึกษาแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาล คือ 0.05 , 0.1 , 0.15 , 0.20 และ 0.25 กรัม / มิลลิลิตร พบว่าโฟโตรีโอดมีความสามารถในการวัดค่าเมื่อมีแสงมาตกกระทบได้ดีกว่า LDR จากการทดลองเราจะทำการเลื่อนตัว Displacement Stage ที่ยึดติดอยู่กับตัว Fiber Optic Probe ที่ระยะ 0 – 20 mm. ทำการบันทึกค่าที่ปรากฏในดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (V) ซึ่งในแต่ละค่าความเข้มข้นจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย นำค่าที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำตาลมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับระยะที่เคลื่อนที่ (mm.) กราฟที่ได้จะมีลักษณะสูงขึ้นในช่วง Slope ด้านหน้า ส่วน Slope ด้านหลังเกือบจะมีความสัมพันธ์แบบกำลังสองผกผัน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าและตำแหน่งของจุดสูงสุดก็จะเพิ่มตามด้วย ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ 0.25 g/ml จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 0.419 V ที่ระยะการเคลื่อนที่ 5 mm. โดยอุณหภูมิขณะทดลองส่งผลต่อความผิดพลาดของข้อมูลค่อนข้างน้อย

จากการนำระบบที่จัดสร้างขึ้นมาศึกษาแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในของเหลวที่มีค่า pH ต่าง ๆ ในการทดลองนี้จะใช้น้ำมะนาว และน้ำสบู่ ซึ่งมีปริมาตรเท่ากันคือ 5 cc ต่อ น้ำ 300 ml ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้นจะพบว่า น้ำมะนาวสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่าน้ำสบู่ ซึ่งน้ำมะนาวจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 0.461 V ที่ระยะการเคลื่อนที่ 5 mm.

จากการทดลองการนำระบบที่จัดสร้างขึ้นมา เพื่อศึกษาแรงดันไฟฟ้าที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันของน้ำตาลและแรงดันไฟฟ้าของของเหลวที่ค่า pH ต่างกัน เช่น น้ำสบู่และน้ำมะนาว พบว่าสายใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติที่ดีคือ มีการสูญเสียของสัญญาณแสงน้อยมาก มีความไวสูงสามารถเชื่อถือได้ และปลอดภัยในการใช้งาน จึงสามารถนำสายใยแก้วนำแสงมาประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการทดลองต่าง ๆ ได้หลากหลาย

เนื่องจากสายใยแก้วนำแสงที่ใช้ในการทดลองเป็นสายใยแก้วนำแสงที่ซื้อจากร้านขายของเก่าจึงทำให้ไม่สามารถระบุยี่ห้อ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ Core และ Cladding รวมถึงโหมดทางเดินของแสงได้ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างระบบ เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วและนำมาประยุกต์ใช้จัดสร้างเป็นระบบที่ใช้ทดลองโดยใช้สายใยแก้วนำแสง ทำให้ในการทดลองถ้าจัดอุปกรณ์ไม่ดี มีการสั่นสะเทือนของโต๊ะหรือระบบเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลได้ ซึ่งถ้าอุปกรณ์ที่ใช้เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เฉพาะสำหรับการจัดสร้างระบบโดยใช้สายใยแก้วนำแสงโดยเฉพาะ อาจทำให้ได้ผลการทดลองที่ละเอียดกว่านี้มาก

5.2 แนวทางการพัฒนา

ในอนาคตข้างหน้าเราสามารถพัฒนาระบบที่ใช้ในการวัดด้วยสายใยแก้วนำแสงได้ เช่นระบบการวัดทางด้านเคมี หรือทางด้านการแพทย์ และอาจนำผลที่ได้จากการทดลองไปจัดสร้างเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดหรือจัดสร้างเครื่องมือที่มีขนาดกะทัดรัดแต่สามารถเชื่อถือได้และมีราคาถูก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ปรีชา ยูพาพิน. 2544. วิศวกรรมใยแก้วนำแสง. พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ปรีชา ยูพาพิน. 2544. เทคโนโลยีคลื่นและแสง (Lightwave Technology) .
พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว

อนันต์ มัณยานนท์ . 2534. ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง. พิมพ์ครั้งที่ 1 .

กรุงเทพมหานคร: Japan International Cooperation Agency (JICA)

อนันต์ มัณยานนท์ . 2538 . รวมคำถาม – คำตอบ เทคโนโลยีการสื่อสารเส้นใยแสง .

พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร: Japan International Cooperation Agency
(JICA)

S. Binu , V.P. Mahadevan Pillai , V. Pradeepkumar , B.B. Padhy , C.S. Joseph , N.

Chandrasekaran . 2009. Fibre optic glucose sensor . Materials Science and

Engineering C . 183-186 . Elsevier Journal.

<http://www.bluerr.com>

<http://www.phchitchai.wbvschool.net>

<http://www.telebyteusa.com>

<http://www.thailandindustry.com>

<http://www.tice.ac.th/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Vikuiti™ Enhanced Specular Reflector (ESR)

A reflector for a brighter, more efficient display

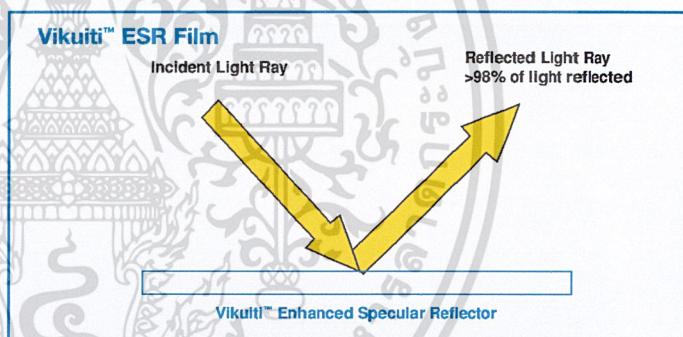
Features:

- 98% reflectance across the visible spectrum
- Non-metallic, 100% polymer film
- Thin polymer film
- Specular surface reflector
- Vikuiti™ ESR Film can be used with all Vikuiti™ Brightness Enhancement Films and Vikuiti™ Dual Brightness Enhancement Films



How it works

Vikuiti ESR film utilizes multi-layer optical film technology to create a highly efficient, specular, reflector. Vikuiti ESR film can be used alone or combined with other Vikuiti™ Display Enhancement Films for even greater performance improvement.

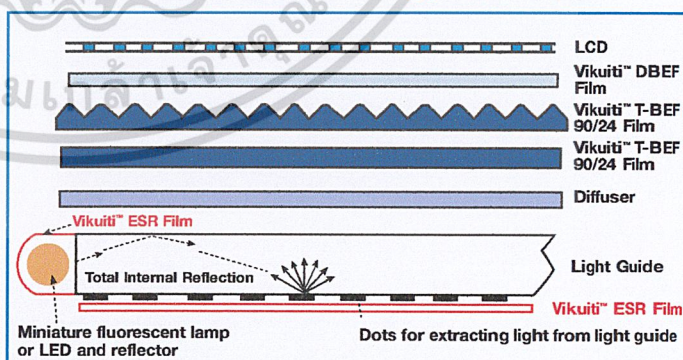


Nominal film properties

Film properties	Vikuiti™ ESR Film
Reflectance	>98%
Physical Characteristics	
• Thickness (microns)	65µm (2.6 mils)
• Shrinkage (15 minutes @ 150°C)	<1%
• Specific Gravity	1.29

The technical data for the products are typical, based on information accumulated during their life, and are not to be used in the generation of purchase specifications, which define property limits rather than typical performance.

Vikuiti™ ESR Film in a typical LCD



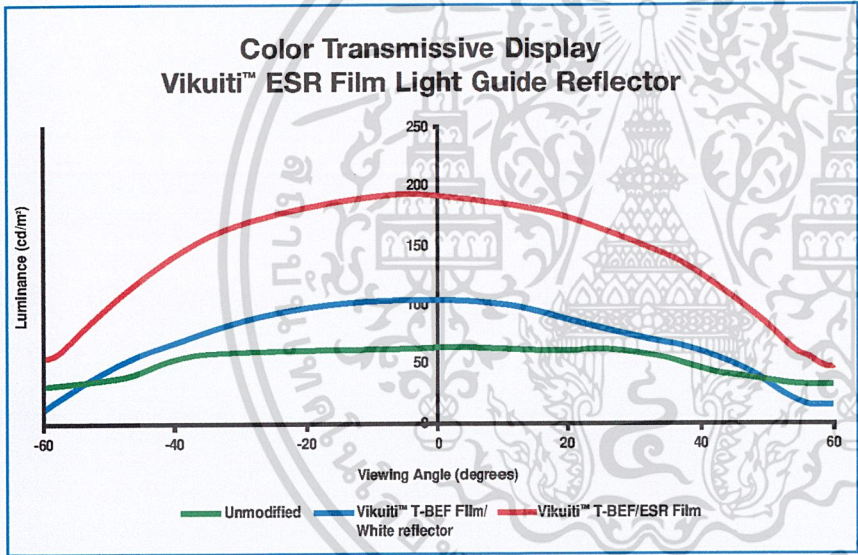
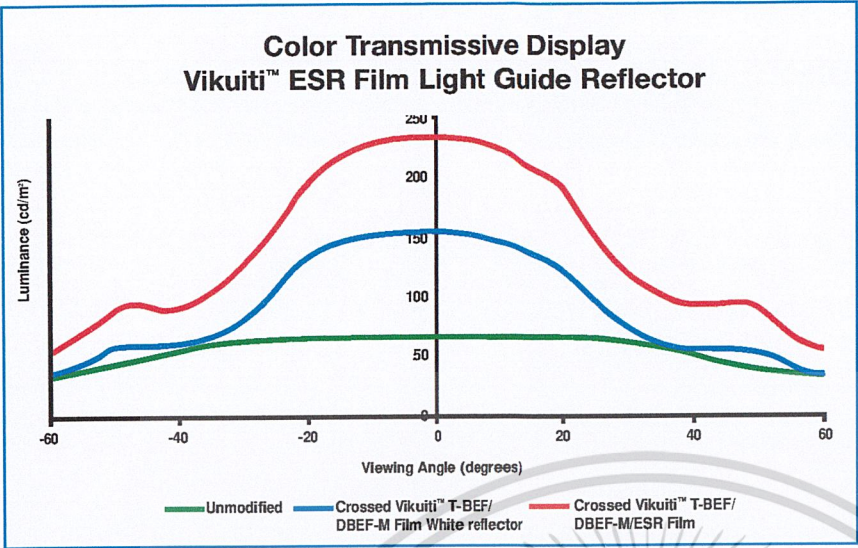
Product Size Offering

- Custom Sizes – Converted to Customer Size
- Product Kits – 30 Sheets 11" x 11"

3M Innovation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vikuiti™ Enhanced Specular Reflector (ESR)



For ordering information on Vikuiti™ Display Enhancement Films from 3M, please call: **1-800-553-9215**
For more information, visit us at: www.3M.com/Vikuiti

Important Notice to Purchaser
The following is made in lieu of all warranties, express or implied, including any implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. 3M warrants that, at the time of shipment, product will meet 3M's published specification or that specification agreed in writing between 3M and purchaser. Should product not meet specifications at time of shipment, 3M will replace or refund the purchase price of such quantity of the product found not to meet

specifications. Purchaser shall determine the suitability of the 3M product for purchaser's application. 3M shall not be liable under any legal theory, including in contract or in tort, for any injury, loss, or damage, whether direct, indirect, incidental, special or consequential, arising out of the use of or the inability to use the product. **The warranties and remedies set forth herein are purchaser's sole and exclusive warranties and remedies.**



Electronic Display Lighting
Optical Systems Division
3M Center, Building 260-5N-10
St. Paul, MN 55144-1000
www.3M.com/Vikuiti



Minimum 10% Post-Consumer Fiber

Vikuiti and the Vikuiti "Eye" symbol are trademarks of 3M.

Printed in U.S.A.

© 3M 2002, 2005
75-0500-4182-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maintenance

Replacing the Batteries

Refer to the safety information in Table 1 before replacing the batteries.

1. Turn off the thermometer if necessary.
2. Loosen the screw and remove the battery door.
3. Replace the three AA batteries.
4. Replace the battery door and tighten the screw.

Cleaning the Case and Holster

Use soap and water or a mild commercial cleaner.

Wipe with a damp sponge or soft rag.

Calibration

To ensure that the thermometer performs to its accuracy specifications, Fluke recommends that you calibrate the thermometer annually, starting one year after purchase.

To calibrate the thermometer, contact Fluke for the Service Center nearest you or follow the calibration procedure in the service manual listed in "Replacement Parts and Accessories."

Specifications

Environmental

Operating Temperature	-10 °C to 50 °C (14 °F to 122 °F)
Storage Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Humidity	Non condensing <10 °C (<50 °F) 95% RH: 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F) 75% RH: 30 °C to 40 °C (86 °F to 104 °F) 45% RH: 40 °C to 50 °C (104 °F to 122 °F)

51 & 52 Series II
Users Manual

General

Weight	280 g (10 oz)
Dimensions (without holster)	2.8 cm × 7.8 cm × 16.2 cm (1.1 in × 3 in × 6.4 in)
Battery	3 AA batteries
Certification	CE,  
Safety	CSA C22.2 No. 1010.1 1992 EN 61010 Amendments 1, 2
CAT I	OVERVOLTAGE (Installation) CATEGORY I, Pollution Degree 2 per IEC1010-1*
* Refers to the level of Impulse Withstand Voltage protection provided. Equipment of OVERVOLTAGE CATEGORY I is equipment for connection to circuits in which measures are taken to limit the transient over voltages to an appropriate low level. Example include protect electronic circuits.	

**80 PK-1 Thermocouple (supplied with
thermometer)**

Type	Type K, Chromel Alumel, bead style
Temperature Range	–40 °C to +260 °C (–40 °F to +500 °F)
Accuracy	± 1.1 °C (± 2.0 °F)

Electrical

Measurement Range	J-type: –210 °C to +1200 °C (–346 °F to + 2192 °F)
	K-type: –200 °C to +1372 °C (–328 °F to +2501 °F)
	T-type: –250 °C to +400 °C (–418 °F to +752 °F)
	E-type: –150 °C to +1000 °C (–238 °F to +1832 °F)
Display Resolution	0.1 °C / °F / K < 1000° 1.0 °C / °F / K ≥ 1000°

Electrical (cont.)

Measurement Accuracy, T1, T2, or T1-T2 (Model 52)	J-, K-, T-, and E-type: $\pm 0.05\%$ of reading + $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0.5\text{ }^{\circ}\text{F}$) [below $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-148\text{ }^{\circ}\text{F}$): add 0.15% of reading for J-, K-, E-, and N-type; and 0.45% of reading for T-type]
Temperature Coefficient	0.01% of reading + $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ per $^{\circ}\text{C}$ ($0.05\text{ }^{\circ}\text{F}$ per $^{\circ}\text{F}$) outside the specified $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+64\text{ }^{\circ}\text{F}$ to $+82\text{ }^{\circ}\text{F}$) range [below $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-148\text{ }^{\circ}\text{F}$): add 0.04% of reading for J-, K-, E-, and N-type; and 0.08% of reading for T-type]
Electromagnetic Compatibility	Susceptibility: $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3.6\text{ }^{\circ}\text{F}$) for 80 MHz to 200 MHz in 1.5 V/m field, for 200 MHz to 1000 MHz in 3 V/m field. Emissions: Commercial Limits per EN50081-1
Maximum Differential Common Mode Voltage	1 V (Maximum voltage difference between T1 and T2)
Temperature Scale	ITS-90

Applicable Standards	NIST-175
Accuracy is specified for ambient temperatures between $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($64\text{ }^{\circ}\text{F}$) and $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($82\text{ }^{\circ}\text{F}$) for a period of 1 year. The above specifications do not include thermocouple error.	

Replacement Parts and Accessories

Accessory	Part Number
Holster and Flex Stand™ Assembly	1272438
AA NEDA 15A IEC LR6 batteries	376756
80PK-1 K-Type Bead Thermocouple	773135
CD-ROM	1276106
Service Manual	1276123