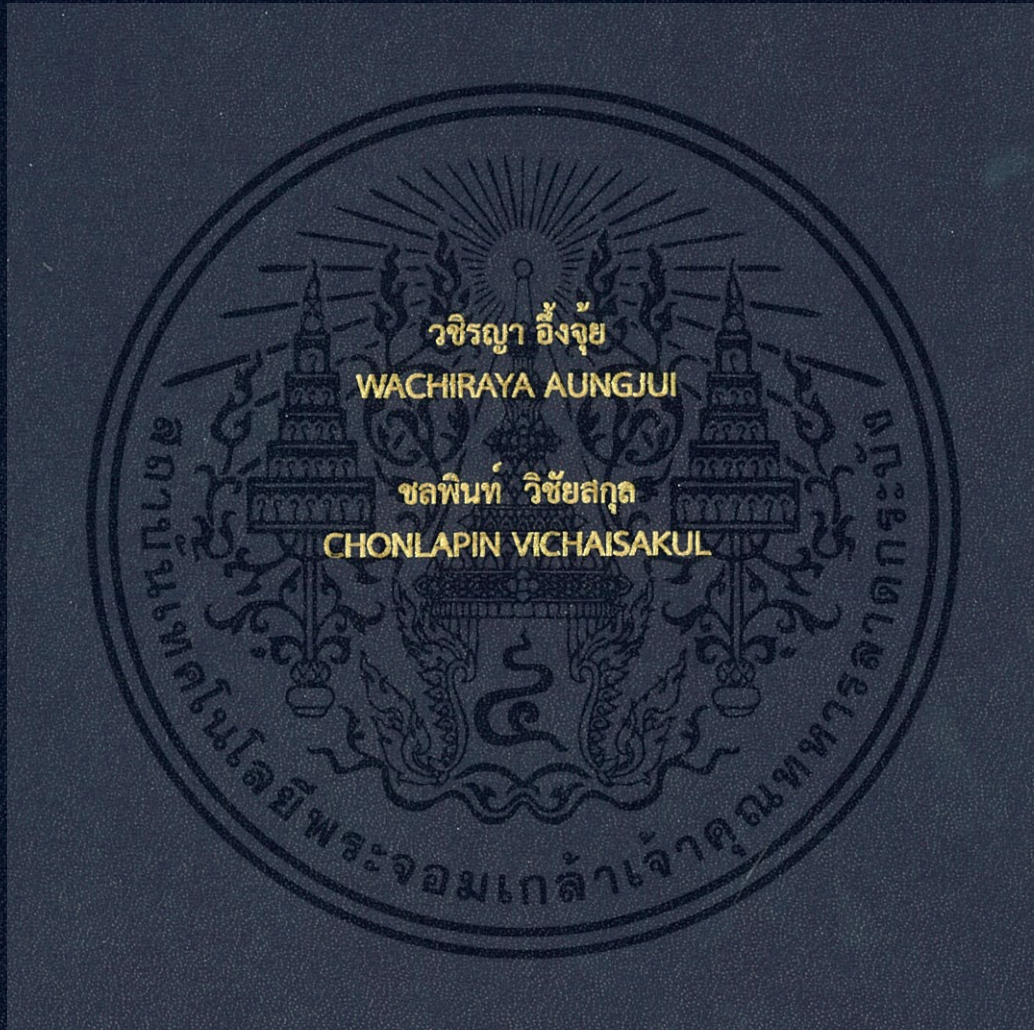


กลูโคสเซนเซอร์เชิงแสงชนิดพกพาด้วยสมาร์ตโฟน
โดยใช้วิธีตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
PORTABLE OPTICAL GLUCOSE SENSOR BY USING SMARTPHONE WITH
MESUREMENT CONCENTRATION OF HYDROGEN PEROXIDE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

กลูโคสเซนเซอร์เชิงแสงชนิดพกพาด้วยสมาร์ทโฟน
โดยใช้วิธีตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

PORTABLE OPTICAL GLUCOSE SENSOR BY USING SMARTPHONE WITH
MESUREMENT CONCENTRATION OF HYDROGEN PEROXIDE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2559

สาขาวิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง กลูโคสเซนเซอร์เชิงแสงชนิดพกพาด้วยสมาร์ทโฟนโดยใช้วิธีตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

PORTABLE OPTICAL GLUCOSE SENSOR BY USING SMARTPHONE WITH
MESUREMENT CONCENTRATION OF HYDROGEN PEROXIDE

ผู้จัดทำ

นาย วชิรญา อึ้งจู้ย

รหัสประจำตัว 56011043

นางสาว ชลพิณท์ วิชัยสกุล

รหัสประจำตัว 56010270

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร.เมทินี จรยาสุภาพ)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	กลูโคสเซนเซอร์เชิงแสงชนิดพกพาด้วยสมาร์ทโฟน โดยใช้วิธีตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	
นักศึกษา	นาย วชิรญา อึ้งจ้อย	รหัสประจำตัว 56011043
	นางสาว ชลพิณท์ วิชัยสกุล	รหัสประจำตัว 56010270
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.เมทีนี จรรยาสุภาพ	

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโรคเบาหวานถือเป็นโรคที่ถูกรับพบมากในประเทศไทยและมีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละปี โดยที่ยังมีผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ไม่เคยได้รับการตรวจคัดกรองอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งโรคเบาหวานนั้นยังเป็นสาเหตุของการเกิดโรคแทรกซ้อนหลายโรค อาทิ โรคไต โรคตา ฯลฯ

รูปแบบของการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายเคมี โดยทั่วไปมีอยู่หลายรูปแบบ ในโครงการนี้เลือกใช้การตรวจวัดความเข้มข้นสองรูปแบบคือ ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เป็นตัวตรวจวัดทางแสงและการตรวจวัดทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) โดยเครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat) ผ่านอิเล็กโทรดสองขั้วซึ่งจุ่มลงในสารตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจวัด

ในโครงการนี้ได้เน้นศึกษาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อการฟอกสีของเมทิลีนบลู (Methylene Blue) ซึ่งมีสีน้ำเงิน โดยที่เมทิลีนบลูจะเป็นตัวช่วยในการตรวจวัดทางแสงและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเกี่ยวข้องกับการวัดทางไฟฟ้าเคมี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกันอาจจะทำให้สีของเมทิลีนบลูถูกฟอกหรือจางออกไปไม่เท่ากัน สามารถตรวจหาค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ด้วยวิธีการทางแสงเรียกว่า สเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) นอกจากนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาออกแบบกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู ด้วยการใช้พอลิเมอร์ตัวนำ (Conductive Polymer) ในการตรึงเมทิลีนบลูและออกแบบอุปกรณ์การตรวจวัดโดยใช้ช่วงแสงที่มีความยาวคลื่น 660 นาโนเมตรและให้กล้องของสมาร์ทโฟนเป็นเซนเซอร์ ตรวจวัดความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เปลี่ยนไปหลังจากทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

เมื่อเมทิลีนบลูในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสงสีแดง จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนของแสงผ่านเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยิ่งไปกว่านั้นแล้วในโครงการนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณทางแสงโดยใช้อิเล็กโทรดสองขั้วจุ่มลงในสารตัวอย่างละลายที่ต้องการจะวัดค่าการดูดกลืนของแสง จากนั้นหลังการทำไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltammetry) ได้ปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง

ผลจากการวัดค่าการดูดกลืนของแสงจะพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนที่ลดลงในทุกๆระดับความเข้มข้น แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้มข้นมากกว่าจะทำให้ค่าการดูดกลืนมีค่าต่ำกว่าไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์ออกไซด์ที่เข้มข้นน้อยกว่า และเห็นได้ชัดว่ามีการแกว่งของสัญญาณมาก หลังจากการใส่ อิเล็กโทรดและป้อนกระแสไฟฟ้ากระตุ้นจะได้กราฟที่มีการแกว่งลดลงและเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องมาจากอิเล็กโทรดสองขั้วทำให้อิเล็กตรอนหรือโมเลกุลของสารละลายเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ และส่งผลให้การวัดทางแสงดีขึ้น

โครงการนี้เป็นเพียงต้นแบบของเซนเซอร์ทางแสงและวิธีการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณทางแสง โดยการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นสารละลายตัวอย่างที่ต้องการจะทำการวัด สามารถนำข้อมูลไปพัฒนาต่อไปเป็นไบโอเซนเซอร์ทางแสงและเคมีที่ใช้ตรวจวัดและบ่งชี้โรคได้ อาทิเช่น การตรวจวัดไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ในปัสสาวะเพื่อบอกค่าความเครียดของผู้ป่วย หรือผู้เข้ารับการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	PORTABLE OPTICAL GLUCOSE SENSOR BY USING SMARTPHONE WITH MESUREMENT CONCENTRATION OF HYDROGEN PEROXIDE	
Student	Mr. Wachiraya Aungjui	Student ID 56011043
	Miss. Chonlapin Vichaisakul	Student ID 56010270
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Biomedical Engineering	
Year	2016	
Thesis Advisor	Dr. Metini Janyasupab	

ABSTRACT

At present, diabetes is considered a very common disease in Thailand. Patients with diabetes are often followed by other diseases such as kidney failure, etc. While blood glucose testing process takes a long time to detect. This project has developed a process to detect blood sugar levels using the principle of bio-sensors called Glucose Sensor that generally use, the principle of Electrochemical to convert the amount of glucose into a readable signal. The electrical values are then displayed as values that allow the user to read the blood sugar. Typically, glucose sensors have a measurement method by dropping blood on a strip. Glucose in the blood is converted by glucose oxidase then become hydrogen peroxide. It gives an electron and generates electrical. Finally we can read electrical signal from the electrons. This project has focused on the concentration of hydrogen peroxide that has a negative effect on methylene blue, which is blue. At different concentrations of hydrogen peroxide, the color of methylene blue can be bleached or faded out. We can detect the remaining methylene blue intensity in a way called spectrophotometry. We designed the measurement method by using a glass slide, which was coated with methylene blue and used a conductive polymer as a methylene blue embed, and a detecting device use a mobile phone camera. Detector detects the intensity of methylene blue after reacting with hydrogen peroxide. In addition, this project offers ways to improve the signal from the spectrophotometer. By the quantum relationship of light and electrons, electrodes are inserted into the solutions, which containing hydrogen peroxide and methylene blue to measure absorbance and cyclic voltammetry to measure the electrical properties of the solution (Resistance of Solution) and then release the electricity to improve the optical measurement signal from the use of less swing period as well.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆท่านต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา และให้กำลังใจมาตลอดจนทุกวันนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เมทินี จรยาสุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำและให้การปรึกษา เป็นอย่างดี ตลอดจนเอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ อาจารย์ประธานหลักสูตรวิศวกรรมชีวการแพทย์ ผู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการให้ความอนุเคราะห์และเอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งให้ความอนุเคราะห์และเอื้อเฟื้อเครื่องมือและสารเคมีเพื่อใช้ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมชีวการแพทย์ทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและกำลังใจ จนสำเร็จสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วชิรญา อัจฉัย
ชลพิณฑ์ วิชัยสกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โรคเบาหวาน (Diabetes)	3
2.2 เทคโนโลยีไบโอเซนเซอร์	11
2.3 สเปกโตรโฟโตมิทรี (Spectrophotometry)	12
2.4 กลูโคสไบโอเซนเซอร์	14
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.2 วัสดุสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีผลต่อสีของเมทิลีนบลู	19
3.3 ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสงด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี	24
3.4 หาค่ากระแสอินพุตที่เหมาะสมต่อสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไซคลิกโวลทามเมทรี	26
3.5 ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสงด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี โดยให้กระแสอินพุตที่เหมาะสม หลังจากการทำไซคลิกโวลทามเมทรีและ เก็บค่าสัญญาณที่ได้	28
3.6 วิเคราะห์ผลค่าของสัญญาณ หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ	29
3.7 ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแบบใช้แสง	30
3.8 ทดลองเคลือบกระจกสไลด์ด้วยเมทิลีนบลู โดยใช้ Conductive Polymer	31
3.9 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัด	32
3.10 ทดลองใช้อุปกรณ์วัดร่วมกับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู	33
3.11 แผนการดำเนินงาน	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนของแสงกับสารตัวอย่าง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การเคลือบโลหะเงินด้วยคลอไรด์เพื่อนำไปทำขั้วอิเล็กโทรด เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณการวัดทางแสง	38
4.3 การทดลองวัดค่า E0 ของอิเล็กโทรด	38
4.4 การทดลองปรับปรุงค่าสัญญาณการดูดกลืนของแสงกับสารตัวอย่าง	38
4.5 การทดลองไซคลิกโวลทามเมทรี	39
4.6 การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณการวัดค่าทางแสงโดยการใส่อิเล็กโทรด และป้อนอินพุตที่เหมาะสม หลังจากการทำไซคลิกโวลทามเมทรี	41
4.7 การทดลองออกแบบอุปกรณ์ในการวัดความเข้มของเมทิลีนบลู	42
4.8 การตรวจสอบแสงโดยอุปกรณ์ตรวจวัด	44
4.9 ผลจากการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดและการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec เพื่อตรวจวัดสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	48
5.1 ปัญหาที่พบ	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก ก.	54
ภาคผนวก ข.	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบของผู้ป่วยโรคเบาหวานระหว่าง ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2	7
2.2 แสดงเกณฑ์การวินิจฉัยโรคเบาหวานขององค์การอนามัยโลก (WHO)	9
2.3 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนของแต่ละสี	13
3.1 แผนการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 1	34
3.2 แผนการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 2	35
4.1 แสดงค่าความชันของกราฟ และค่า R-square	37
4.2 แสดงค่าความชันของกราฟ และค่า R-square	42
5.1 แสดงค่า Absorbance ที่ได้จากการคำนวณระหว่าง Intensity at 608 nm ของ Reference (I ₀) และ Sample (I)	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบและขั้วของกลูโคสไบโอเซนเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี	15
2.2 แสดงกระบวนการที่ขั้วไฟฟ้ากลูโคสเซนเซอร์	16
2.3 แสดงหลักการในการตรวจวัดกลูโคส	16
3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้	19
3.2 แสดงสารละลายตัวอย่างในคิวเวตต์	19
3.3 เครื่อง spectrophotometer	20
3.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้บันทึกค่าการดูดกลืนแสงคู่กับ spectrophotometer	20
3.5 แสดงการสร้างกราฟจากข้อมูลที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรมออริจิน	21
3.6 แสดงการทำ Linear Fitting เพื่อหาค่าความชัน	23
3.7 แสดงการทำ Linear Fitting	23
3.8 แสดงการต่อโลหะเงินเข้ากับ ขาของเครื่อง Potentiostat	24
3.9 แสดงการให้ความต่างศักย์โดยใช้โปรแกรม E-chart ผ่านขาที่ต่อกับโลหะเงิน	24
3.10 แสดงการทำอิเล็กโทรด Ag/AgCl ขณะขั้วโลหะทั้งสองเกิดปฏิกิริยา	25
3.11 แสดงการต่ออิเล็กโทรด Ag/AgCl เทียบกับ Ag/AgCl มาตรฐาน	25
3.12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมและการเลือกใช้งาน Potentiostat	26
3.13 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมและการเลือกใช้งานฟังก์ชัน Cyclic Voltammetry	27
3.14 แสดงการใช้งาน และหน้าต่างของโปรแกรมออริจิน	27
3.15 แสดงฝาครอบเครื่อง Spectrophotometer ที่ออกแบบให้ใส่อิเล็กโทรดลงไปในสารตัวอย่างได้ขณะทำการวัดด้วยแสง	28
3.16 แสดงการเชื่อมต่ออิเล็กโทรดและการวัดโดย spectrophotometer	29
3.17 แสดงการใช้โปรแกรมออริจินเพื่อ fit linear	29
3.18 ภาพแสดงอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ออกแบบขึ้น	30
3.19 ภาพวงจรภายในอุปกรณ์ตรวจวัด	31
3.20 ภาพแสดงขั้นตอนการเคลือบเมทิลีนบลูลงบนกระดาษกาสไลด์	31
3.21 แสดงขั้นตอนการเคลือบเมทิลีนบลูบนกระดาษกาสไลด์	32
3.22 ภาพแสดงกระดาษกาสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู เสร็จสมบูรณ์แล้ว	32
3.23 แสดงการใช้มือถือร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัด	33
3.24 แสดงการใช้ CellPhoneSpec ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสี	33
4.1 แสดงกราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นเมื่อเทียบกับเวลา	36
4.2 แสดงกราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสง (A)	36
4.3 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะทำการเคลือบอิเล็กโทรด	38
4.4 ภาพแสดงสัญญาณหลังใช้อิเล็กโทรดจุ่มลงในสารละลาย	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงผลที่ได้จากการทำ Cyclic Voltammetry	39
4.6 แสดงค่ากระแสที่ได้จากการการใส่ความต่างศักย์ 0.5 โวลต์	40
4.7 แสดงค่ากระแสที่ได้จากการการใส่ความต่างศักย์ 0.6 โวลต์	40
4.8 แสดงกราฟปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ	41
4.9 แสดงกราฟปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ และการทำ linear fitting	41
4.10 ภาพแสดงการเคลือบสีเมทิลีนบลู	43
4.11 ภาพแสดงกระจกสไลด์ที่พร้อมใช้งาน	43
4.12 ภาพแสดงการทำปฏิกิริยาระหว่างสีเมทิลีนบลูกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	43
4.13 แสดงภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์สมาร์ตโฟน	44
4.14 ค่าสเปกตรัมและค่าintensity ที่ได้จากการวิเคราะห์	44
4.15 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยด H ₂ O ₂ 1mM	45
4.16 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยด H ₂ O ₂ 2mM	45
4.17 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยด H ₂ O ₂ 3mM	46
4.18 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยด H ₂ O ₂ 4mM	46
4.19 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยด H ₂ O ₂ 5mM	47
5.1 กราฟแสดงแนวโน้มการดูดกลืนแสงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เบาหวาน (Diabetes) เป็นหนึ่งกลุ่มโรค NCDs อันเกิดจากพฤติกรรมการดำเนินชีวิตของผู้ป่วย โดยตลอด 10 ปีที่ผ่านมาโรค NCDs เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับหนึ่งของคนไทยและยังมีแนวโน้มที่จะพบผู้ป่วยในกลุ่มนี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำหรับเบาหวานนั้นเป็นโรคที่ทำให้ตัวผู้ป่วยอ่อนแอลง และเป็นต้นเหตุของโรคแทรกซ้อนอื่นๆ ซึ่งผู้ป่วยบางคนต้องสูญเสียอวัยวะบางส่วนไปเนื่องจากโรคแทรกซ้อนหรือบางคนเสียชีวิต และในปัจจุบันวิทยาการทางการแพทย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างมากมาใช้ในการใช้ตรวจระดับน้ำตาลในเลือด (Blood Sugar Level) ของผู้ป่วยเบาหวาน เพื่อให้ผู้ป่วยได้รักษาระดับน้ำตาลในเลือดของตนให้คงที่ อาทิ เครื่องตรวจระดับน้ำตาลในเลือดทั่วไป (Commercial Blood Glucose monitor), เครื่องวัดระดับน้ำตาลแบบต่อเนื่อง (Continuous glucose monitor) เป็นต้น ถึงแม้การเข้าถึงเครื่องมือเหล่านี้จะง่ายขึ้น แต่ยังมีคนไทยอีกจำนวนมากที่เป็นเบาหวานแต่ไม่รู้ตัวและไม่เคยได้รับการตรวจคัดกรองความเสี่ยงนั้น จากสถิติผู้ป่วยเบาหวานทั่วโลก พบว่ากว่าร้อยละ 46.5 ของผู้ป่วยเบาหวานไม่ทราบว่าตนเองเป็นเบาหวาน ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ทั้งนี้ผู้จัดทำได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จึงเล็งเห็นว่าการบริจาคเลือดเป็นสถานการณ์ที่สะดวกและรวดเร็วในการจะใช้คัดกรองผู้ป่วย ทั้งนี้ยังมีเทคโนโลยีใหม่ๆที่สามารถทำให้เราเข้าถึงข้อมูลระดับน้ำตาลได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้จัดทำจึงต้องการที่จะสร้างไบโอเซนเซอร์ที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายยิ่งขึ้นสะดวกในการพกพา ให้ผลได้อย่างแม่นยำ รวดเร็วและราคาถูก

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาอัตราปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นในระดับ 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมทิลีนบลู อีกทั้งศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้มีคาบการแกว่งน้อยลงโดยวิธีแอมพีโรเมทรี (Amperometry) และต้องการทราบว่ากล้องสมาร์ตโฟนที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับที่ได้จัดทำขึ้น สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นของเมทิลีนบลูได้หรือไม่ เพื่อให้สามารถนำไปต่อยอดเป็นไบโอเซนเซอร์ทางแสงต่อไป

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เมื่อน้ำตาลที่อยู่ในเลือด ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (Glucose Oxidase) จะได้อิโพรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในเลือด จากนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารสี (color agent) ทำให้สารสีนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกับกล้องสมาร์ตโฟน แล้วนำไปภาพประมวลผลด้วยโปรแกรม เพื่อตรวจสอบสเปกตรัมที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับสีหรือความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เน้นศึกษาปฏิกิริยาช่วงที่กลูโคสถูกแปลงให้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้วตรวจสอบปริมาณหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยใช้เมทิลีนบลูซึ่งมีผลเมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งผู้จัดทำได้ศึกษาปฏิกิริยาในช่วง 0 วินาที ถึง 1200 วินาที โดยการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และการสร้างอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเพื่อให้มีค่าสัญญาณที่ชัดเจน โดยใช้เทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี และทำการวัดไซคลิกโวลทามเมทรี (Cyclic Voltammetry) เพื่อหาอินพุตที่เหมาะสมและป้อนให้แก่ระบบ จากนั้นออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยออกแบบในคอมพิวเตอร์และปรีน 3D model ออกมา และทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ลดช่องว่างการเข้าถึงสุขภาพที่ดีของประชาชน และใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากคุ้นเคยอยู่แล้ว
- 1.5.2 ประชาชนในพื้นที่ห่างไกลสามารถรู้ผลการตรวจเลือดของตนเองได้อย่างรวดเร็ว
- 1.5.3 เซนเซอร์มีขนาดเล็กกระทัดรัดแต่สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผลการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ
- 1.5.4 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีไบโอเซนเซอร์
- 1.5.5 ได้เป็นแนวทางที่จะนำไปพัฒนาต่อยอด แล้วสามารถนำออกสู่ตลาดได้จริง

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

โครงสร้างวิทยานิพนธ์จะอธิบายถึงขั้นตอนและรายละเอียดต่างๆในการทดลอง โดยแบ่งออกเป็นบทต่างๆ 5 บท ดังนี้

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 อธิบายถึงทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 อธิบายถึงระเบียบวิธีวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน และแผนการดำเนินงาน
- บทที่ 4 ผลการวิจัย
- บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคเบาหวาน (Diabetes)

เบาหวาน (Diabetes) เป็นกลุ่มโรคเกี่ยวกับการเผาผลาญอาหารซึ่งมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานาน น้ำตาลในเลือดสูงก่อให้เกิดอาการปัสสาวะบ่อย กระหายน้ำและความหิวเพิ่มขึ้น หากไม่ได้รับการรักษา เบาหวานอาจก่อให้เกิดอาการแทรกซ้อนจำนวนมาก ภาวะแทรกซ้อนเฉียบพลันได้แก่ ภาวะเลือดเป็นกรดจากคีโตนจากเบาหวาน (Diabetic Ketoacidosis) และโคม่าเนื่องจากออสโมลาร์สูงที่ไม่ได้เกิดจากคีโตน (Nonketotic Hyperosmolar Coma) ภาวะแทรกซ้อนระยะยาวที่ร้ายแรงรวมถึงโรคหัวใจ, โรคหลอดเลือดสมอง, ไตวาย, แผลที่เท้าและความเสียหายต่อตา

เบาหวาน เกิดจากตับอ่อนผลิตอินซูลิน (Insulin) ไม่เพียงพอ หรือเซลล์ร่างกายไม่ตอบสนองอย่างเหมาะสมต่ออินซูลินที่ผลิตได้อย่างใดอย่างหนึ่ง น้ำตาลที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานด้วยการควบคุมของอินซูลิน และเมื่ออินซูลินมีปัญหา ทำให้ไม่สามารถนำน้ำตาลออกไปใช้ได้ จึงมีน้ำตาลตกค้างในกระแสเลือดมาก จากนั้นไตขับของเสียออกมาทางปัสสาวะ อันเป็นเหตุให้ปัสสาวะหวานนั่นเอง เบาหวานมีสามชนิดหลัก ได้แก่

เบาหวานประเภทที่ 1 เกิดจากร่างกายผลิตอินซูลินได้ไม่เพียงพอเรียกว่า เบาหวานชนิดพึ่งอินซูลิน หรือเบาหวานวัยแรกรุ่น ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด และต้องได้รับการรักษาด้วยการฉีดอินซูลินอย่างสม่ำเสมอ

เบาหวานประเภทที่ 2 เกิดจากร่างกายดื้อต่ออินซูลินหรือ ภาวะที่เซลล์ไม่สามารถตอบสนองต่ออินซูลินอย่างเหมาะสม และอาจมีการขาดอินซูลินด้วย เรียกเบาหวานชนิดนี้ว่า เบาหวานชนิดไม่พึ่งอินซูลิน หรือเบาหวานที่เกิดในผู้ใหญ่ สาเหตุหลักเกิดจากน้ำหนักกายเกินและออกกำลังกายน้อย รับประทานยาพร้อมอินซูลินหรือไม่ก็ได้ เนื่องจากอินซูลินและยาบางชนิดสามารถทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำลงได้ ทั้งนี้การผ่าตัดลดน้ำหนักในผู้ป่วยโรคอ้วนเป็นการรับการรักษาที่มีประสิทธิภาพมากในผู้ป่วยเบาหวานประเภทที่ 2

เบาหวานประเภทที่ 3 เกิดในหญิงมีครรภ์ซึ่งไม่เคยมีประวัติเบาหวานมาก่อน แล้วมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเรียกว่า เบาหวานระหว่างมีครรภ์ เบาหวานระหว่างมีครรภ์โดยปกติหายได้เองหลังทารกคลอด

ดังนั้นผู้ป่วยจึงควรให้ความสำคัญในการป้องกันและรักษา รวมถึงรับประทานอาหารที่เหมาะสมและดีต่อสุขภาพ ออกกำลังกาย งดสูบบุหรี่ และรักษาน้ำหนักกายให้ปกติ ควบคุมความดันโลหิต และดูแลสุขภาพเท้าอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการป้องกันโรคแทรกซ้อน

2.1.1 สัญญาณและอาการ

ในผู้ป่วยเบาหวานที่ยังไม่ได้รับการรักษาจะมีอาการโดยทั่วไปดังนี้คือ น้ำหนักลด, ปัสสาวะบ่อย (Polyuria), กระหายน้ำเพิ่มขึ้น (Polydipsia) และรู้สึกหิวเพิ่มขึ้น (Polyphagia) อาการเหล่านี้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในโรคเบาหวานประเภทที่ 1 ขณะที่โรคเบาหวานประเภทที่ 2 อาการเหล่านี้จะพัฒนาอย่างเชื่องช้าและค่อนข้างน้อยหรือไม่มีอาการ ส่วนสัญญาณและอาการอื่นๆ นอกเหนือจาก

สัญญาณและอาการที่รู้จักกันข้างต้น ได้แก่ มองเห็นไม่ชัด ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย รักษาแผลหายช้า และคันที่ผิวหนังที่สามารถเกิดขึ้นได้ในผู้ป่วยโรคเบาหวานเป็นที่รู้จักกันว่าเป็น Dermatomes ของโรคเบาหวาน ระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการดูดซึมกลูโคสในเลนส์ของตา ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในรูปร่างของเลนส์เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสายตา

2.1.2 กรณีฉุกเฉินสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน

ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 1 อาจต้องพบกับปัญหาต่างๆได้แก่ ปัญหากรดเกิน เนื่องจากสารคีโตนจากโรคเบาหวาน (Diabetic Ketoacidosis) ปัญหาการเผาผลาญอาหารประเภทหนึ่งที่มีความโดดเด่นด้วยอาการคลื่นไส้, อาเจียนและปวดท้อง, กลิ่นของอะซิโตนออกมาที่ลมหายใจ การหายใจลึกๆแบบที่เรียกว่าการหายใจแบบ Kussmaul, และในกรณีที่รุนแรง ระดับของการมีสติลดลง อาการที่หาได้ยากแต่รุนแรงเท่ากันคือสภาวะน้ำตาลในเลือดสูงมากจนทำให้หมดสติ (Hyperosmolar Nonketotic State) ซึ่งเป็นเรื่องธรรมดาในผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 2 และส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการขาดน้ำ โรคนี้ถ้าเป็นคนใดคนหนึ่งอาจตกมาอยู่ในช่วงลูกหลานสืบไป

2.1.3 ภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน ทุกรูปแบบของโรคเบาหวานเพิ่มความเสี่ยงของภาวะแทรกซ้อนหลายอย่างในระยะยาว ภาวะแทรกซ้อนเหล่านี้มักจะพัฒนาเป็นเวลาหลายปี แต่อาจจะเป็นอาการแรกในบรรดาผู้ป่วยที่ไม่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นอย่างอื่นก่อนเวลานั้น

2.1.3.1 ภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญในระยะยาวจะเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่เกิดกับหลอดเลือด โรคเบาหวานมีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดถึงสองเท่า และประมาณร้อยละ 75 ของการเสียชีวิตในผู้ป่วยโรคเบาหวานเกิดจากโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคหลอดเลือด และโรคหลอดเลือดสมองและโรคหลอดเลือดส่วนปลาย

2.1.3.2 ภาวะแทรกซ้อนเนื่องจาก Microvascular หลักของโรคเบาหวานรวมถึงความเสียหายต่อตา ไต และเส้นประสาท ความเสียหายที่เกิดกับดวงตาหรือที่เรียกว่า Diabetic Retinopathy เกิดจากความเสียหายของหลอดเลือดในจอประสาทตาและสามารถส่งผลให้ค่อยๆสูญเสียการมองเห็นและอาจตาบอดในที่สุด ความเสียหายที่เกิดกับไตหรือที่เรียกว่า Diabetic Nephropathy อาจนำไปสู่การเกิดแผลบนเนื้อเยื่อ สูญเสียโปรตีนในปัสสาวะ และโรคไตเรื้อรังในที่สุด บางครั้งต้องฟอกไตหรือการปลูกถ่ายไต ความเสียหายที่เกิดกับเส้นประสาทของร่างกายที่เรียกว่า Diabetic Neuropathy เป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยที่สุดของโรคเบาหวาน อาการเหล่านี้อาจรวมถึงอาการชา เหน็บ ความเจ็บปวด และความรับรู้ในความเจ็บปวดมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายกับผิวหนัง ปัญหาเท้าที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวาน (เช่นแผลที่เท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน) อาจเกิดขึ้น และอาจเป็นเรื่องยากในการรักษา บางครั้งต้องมีการตัดแขนขา นอกจากนี้โรคเส้นประสาทเนื่องจากเบาหวาน (Proximal Diabetic Neuropathy) ยังทำให้เกิดการเจ็บปวดเนื่องจากการสูญเสียและความอ่อนแอของกล้ามเนื้อ

2.1.4 ผลต่อสติปัญญา

มีการเชื่อมโยงกันระหว่างการขาดองค์ความรู้กับโรคเบาหวาน เมื่อเทียบกับผู้ที่ไม่เป็นโรคเบาหวาน พวกที่เป็นโรคมีอัตราการลดลงในการทำงานของปัญญามากกว่า 1.2 - 1.5 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 สาเหตุของโรคเบาหวาน

โรคเบาหวานแบ่งออกเป็นสี่ประเภท ได้แก่ เบาหวานประเภทที่ 1 เบาหวานประเภทที่ 2 เบาหวานขณะตั้งครรภ์และประเภทเฉพาะอื่นๆ อันเป็นการรวบรวมของสาเหตุไม่กี่แบบของผู้ป่วยแต่ละคน

2.1.5.1 สาเหตุของโรคเบาหวานประเภทที่ 1 เกิดจากการสูญเสียเบต้าเซลล์ (β -cells) ของ Islet of Langerhans ในตับอ่อนที่ผลิตอินซูลินซึ่งนำไปสู่การขาดอินซูลิน เบาหวานประเภทนี้สามารถแบ่งเป็นแบบภูมิคุ้มกันหรือแบบไม่ทราบสาเหตุได้อีกด้วย ส่วนใหญ่ของผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 1 จะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เนื่องจากภูมิคุ้มกันที่สร้างโดยอัตโนมัติเข้าโจมตีทำให้เกิดการสูญเสียของเบต้าเซลล์และทำให้สูญเสียอินซูลินไปด้วย มันเป็นสาเหตุให้เกิดประมาณ 10% ของผู้ป่วยโรคเบาหวานในทวีปอเมริกาเหนือและยุโรป ผู้ที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่กลับกลายเป็นว่ามีสุขภาพดีและมีน้ำหนักที่มีสุขภาพดีเมื่อเริ่มต้นมีอาการของโรค ความไวและการตอบสนองต่ออินซูลินมักจะปกติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นเริ่มต้น โรคเบาหวานประเภทที่ 1 เกิดได้กับทั้งเด็กหรือผู้ใหญ่ แต่ถูกเรียกว่า โรคเบาหวานเด็กและเยาวชน เพราะส่วนใหญ่ของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ในประเภทนี้สามารถเกิดความผิดปกติและคาดเดาไม่ได้ของสภาวะน้ำตาลในเลือดสูง มักมีสารพวกคีโตนในเลือดและปัสสาวะ จนบางครั้งอาจมีภาวะน้ำตาลในเลือดสูงอย่างรุนแรง หรือภาวะแทรกซ้อนอื่นๆ รวมทั้งการตอบสนองเพื่อต่อต้านความไม่แน่นอนของภาวะน้ำตาลในเลือดสูงบกพร่อง การติดเชื้อ อัมพาตกระเพาะ (Gastro Paresis) ซึ่งนำไปสู่การดูดซึมผิดปกติของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต และความผิดปกติของระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrinopathies) เช่น โรคแอดดีสัน ปรากฏการณ์เหล่านี้เชื่อว่าจะเกิดขึ้นไม่บ่อยนักเพียง 1% ถึง 2% ของผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 1 ซึ่งจะสืบทอดได้บางส่วนด้วยยีนหลายตัว รวมทั้งยีนรูปแบบพันธุกรรม HLA บางอย่าง ที่รู้จักกันว่ามีผลต่อความเสี่ยงของการเป็นโรคเบาหวาน ในคนที่ไวต่อทางพันธุกรรม การเริ่มมีอาการของโรคเบาหวานสามารถถูกกระตุ้นโดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมหนึ่งอย่างหรือมากกว่า เช่นการติดเชื้อไวรัสหรืออาหาร มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างโรคเบาหวานประเภทที่ 1 กับ Coxsackie B4 Virus ซึ่งแตกต่างจากโรคเบาหวานประเภทที่ 2 อาการเริ่มต้นของโรคเบาหวานประเภทที่ 1 ไม่มีความเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิต

2.1.5.2 สาเหตุของโรคเบาหวานประเภทที่ 2 เกิดจากการต้านต่ออินซูลิน ซึ่งอาจรวมกับการลดลงที่สัมพันธ์กันของการหลั่งอินซูลิน การตอบสนองที่บกพร่องของเนื้อเยื่อของร่างกายต่ออินซูลินเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับตัวรับอินซูลิน เป็นประเภทที่ถูกพบมากที่สุด ในช่วงแรกความผิดปกติที่เห็นได้ชัดคือความไวต่ออินซูลินจะลดลง ในช่วงนี้ภาวะน้ำตาลในเลือดจะสูง ซึ่งสามารถรักษาด้วยความหลากหลายของมาตรการและยาที่เพิ่มความไวต่ออินซูลินหรือลดการผลิตกลูโคสโดยตับ เบาหวานประเภทที่ 2 ส่วนใหญ่เป็นเพราะปัจจัยการดำเนินชีวิตและพันธุกรรม ปัจจัยการดำเนินชีวิตหลายอย่างเป็นที่รู้กันว่ามีผลต่อการพัฒนาของโรคเบาหวานประเภทที่ 2 รวมทั้งโรคอ้วนกำหนดโดยดัชนีมวลกายมากกว่าสามสิบ การขาดกิจกรรมออกกำลังกาย อาหารที่ไม่ดี ความเครียด และความสะอึกส่ายในเมือง ไขมันในร่างกายส่วนเกินจะเกี่ยวข้องกับ 30% ของกรณีสำหรับผู้สืบเชื้อสายจากจีนและญี่ปุ่น 60 - 80% ของกรณีในบรรดาผู้สืบเชื้อสายจากยุโรปและแอฟริกัน และ 100% ของชาวอินเดียและชาวเกาะแปซิฟิก ผู้ที่ไม่ได้เป็นโรคอ้วนมักจะมีอัตราส่วนเอวต่อสะโพกสูงปัจจัยของอาหารยังมีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการเป็นโรคเบาหวานประเภท 2 การบริโภคเครื่องดื่มที่มี

ความหวานด้วยน้ำตาลส่วนเกินจะเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น ชนิดของไขมันในอาหารก็เป็นสิ่งสำคัญ ด้วยไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันทรานส์จะเพิ่มความเสี่ยงและไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและหลายเชิงช่วยลดความเสี่ยง การบริโภคข้าวขาวจำนวนมากดูเหมือนจะยังมีบทบาทในการเพิ่มความเสี่ยง การขาดการออกกำลังกายเชื่อว่าจะทำให้เกิด 7% ของกรณี

2.1.5.3 สาเหตุของโรคเบาหวานประเภทที่ 3 หรือโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ (GDM) คล้ายกับโรคเบาหวานประเภท 2 ในหลายประการ เกี่ยวข้องกับการรวมกันของการหลังอินซูลินและการตอบสนองที่ค่อนข้างไม่เพียงพอ มันเกิดขึ้นในประมาณ 2 - 10% ของการตั้งครรภ์ทั้งหมดและอาจปรับปรุงหรือหายไปหลังคลอด อย่างไรก็ตามหลังตั้งครรภ์ประมาณ 5-10% ของผู้หญิงที่มีโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์จะถูกพบว่าเป็นผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่พบมากที่สุดคือประเภทที่ 2 ในประเภทนี้สามารถรักษาให้หายขาดได้ แต่ต้องมีการดูแลทางการแพทย์อย่างระมัดระวังตลอดการตั้งครรภ์ การบริหารจัดการอาจรวมถึงการเปลี่ยนแปลงอาหาร การตรวจสอบระดับน้ำตาลในเลือด และในบางกรณีอาจจำเป็นต้องใช้อินซูลิน แม้ว่าจะเป็นเพียงชั่วคราว แต่เบาหวานขณะตั้งครรภ์ที่ไม่ได้รับการรักษาสามารถสร้างความเสียหายต่อสุขภาพของทั้งทารกในครรภ์และมารดา โดยมีความเสี่ยงมากมายต่อเด็ก อาทิ น้ำหนักแรกเกิดสูง (Macrosomia) การเต้นของหัวใจขณะเกิดและระบบประสาทกลางมีความผิดปกติ และกล้ามเนื้อโครงร่างผิดปกติ การเพิ่มอินซูลินให้กับทารกในครรภ์อาจยับยั้งการผลิตสารลดแรงตึงผิวของทารกและก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ อาจเกิดภาวะตัวเหลืองขึ้นจากการทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดง ในกรณีที่รุนแรง อาจมีการตายของทารกก่อนคลอดหรือแรกเกิดอาจเกิดขึ้น อันเป็นผลจากการกระจายของรก (Placental perfusion) ที่ไม่ดีเนื่องจากการบกพร่องของหลอดเลือด รวมถึงการกระตุ้นการคลอดแบบประดิษฐ์ (Labor induction) แสดงถึงการทำงานของรกที่ลดลง ดังนั้น การคลอดแบบผ่าออก (Caesarean section) อาจต้องดำเนินการถ้าเห็นความทุกข์ทรมานของทารกในครรภ์หรือความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของการบาดเจ็บที่เกี่ยวข้องกับ macrosomia เช่น การคลอดยากเพราะติดไหล่ (Shoulder Dystocia) เป็นต้น

2.1.5.4 เบาหวานประเภทอื่นๆ

สภาวะก่อนเบาหวาน (Prediabetes) เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำตาลในเลือดของคนที่สูงกว่าปกติ แต่ไม่สูงพอสำหรับจะวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวานประเภท 2 มีหลายคนที่ถูกกิลิซิดว่า จะพัฒนาเป็นโรคเบาหวานประเภท 2 จะใช้เวลาหลายปีในสภาวะก่อนเบาหวาน

โรคเบาหวานภูมิแฝงของผู้ใหญ่ (Latent Autoimmune Diabetes of Adults; LADA) เป็นสภาวะที่เบาหวานประเภทที่ 1 ได้พัฒนาในผู้ใหญ่ ดังนั้นผู้ใหญ่ที่มีอาการ LADA มักจะได้รับการวินิจฉัยผิดพลาดบ่อยครั้งในตอนแรกว่าเป็นโรคเบาหวานประเภทที่ 2 โดยพิจารณาจากอายุมากกว่าสาเหตุและต้นกำเนิดของโรค ในบางกรณีของโรคเบาหวานเกิดจากตัวรับเนื้อเยื่อของร่างกายไม่ตอบสนองต่ออินซูลิน แม้ระดับอินซูลินจะเป็นปกติ ซึ่งเป็นสิ่งที่แยกมันออกจากโรคเบาหวานประเภทที่ 2 รูปแบบนี้เป็นเรื่องไม่ธรรมดา มาก การกลายพันธุ์ทางพันธุกรรม (Autosomal หรือ Mitochondrial) สามารถนำไปสู่ข้อบกพร่องในการทำงานของเซลล์เบต้า การกระทำของอินซูลินที่ผิดปกติก็อาจได้รับการกำหนดทางพันธุกรรมในบางกรณี โรคใดๆที่ทำให้เกิดความเสียหายอย่างกว้างขวางต่อบริเวณตับอ่อนอาจนำไปสู่โรคเบาหวาน เช่น ตับอ่อนอักเสบเรื้อรังและพังผืดในถุงน้ำดี โรคที่เกี่ยวข้องกับการหลังที่มากเกินไปของฮอร์โมนอินซูลินปฏิปักษ์ (Insulin-Antagonistic Hormone) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบของผู้ป่วยโรคเบาหวานระหว่าง ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2

ลักษณะอาการ	โรคเบาหวานประเภทที่ 1	โรคเบาหวานประเภทที่ 2
การเริ่มต้น	ทันที	ค่อยๆเป็น
อายุที่เริ่มมีอาการ	ส่วนใหญ่ในเด็ก	ส่วนใหญ่ในผู้ใหญ่
ขนาดร่างกาย	ผอมหรือปกติ	มักจะน้ำหนักเกิน
กรดเกินเนื่องจากสารคีโตน (Ketoacidosis)	พบทั่วไป	พบได้ยาก
ภูมิกู้มกันต่อเนื้อเยื่อตนเอง (Autoantibodies)	มักจะปรากฏ	ไม่ปรากฏ
อินซูลินเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อ	ต่ำหรือไม่ปรากฏ	ปกติ, ลดลง หรือเพิ่มขึ้น
เป็นโรคเหมือนกันในคู่แฝดเหมือน (Concordance in identical twins)	50%	90%
ความชุกของโรค	~10%	~90%

2.1.6 พยาธิสรีรวิทยา

อินซูลินเป็นฮอร์โมนหลักที่ควบคุมการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคสจากเลือดเข้าสู่เซลล์ของร่างกาย, โดยเฉพาะตับ, กล้ามเนื้อ, และเนื้อเยื่อไขมัน ดังนั้นการขาดอินซูลินหรือการไม่รับรู้ของตัวรับของมันมีบทบาทที่เป็นศูนย์กลางในทุกรูปแบบของโรคเบาหวาน

ร่างกายได้รับน้ำตาลกลูโคสมาจากสามแหล่งหลัก ได้แก่ การดูดซึมอาหารของลำไส้ การแตกตัวของไกลโคเจน และ Gluconeogenesis หรือการผลิตกลูโคสจากสารตั้งต้นที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตในร่างกาย โดยอินซูลินมีบทบาทวิกฤตในการสมดุระดับน้ำตาลในร่างกาย เช่น อินซูลินสามารถยับยั้งการแตกตัวของไกลโคเจนหรือกระบวนการของ Gluconeogenesis ด้วยการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลร่างกายของสัตว์กลูโคสให้เป็นไขมันและเซลล์กล้ามเนื้อ และยังกระตุ้นให้เกิดการสะสมของน้ำตาลกลูโคสในรูปแบบของไกลโคเจน อินซูลินจะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดโดยเซลล์เบต้า (β -cells) ที่พบในตับอ่อน สำหรับการตอบสนองกับระดับที่เพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคสในเลือด ปกติหลังจากการรับประทานอาหาร อินซูลินจะถูกใช้โดยเซลล์ของร่างกายประมาณสองในสามของเซลล์ทั้งหมดในการดูดซึมกลูโคสจากเลือดเพื่อใช้เป็นพลังงาน เพื่อใช้สำหรับการแปลงให้เป็นโมเลกุลอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือการสะสม ระดับน้ำตาลที่ลดลงส่งผลในการปล่อยอินซูลินจากเบต้าเซลล์ลดลงและส่งผลในการแตกตัวไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส กระบวนการนี้จะถูกควบคุมส่วนใหญ่โดยฮอร์โมนกลูคาгонซึ่งทำหน้าที่ในลักษณะที่ตรงข้ามกับอินซูลิน ถ้าปริมาณของอินซูลินที่มีอยู่ไม่เพียงพอ ถ้าเซลล์ตอบสนองกับผลกระทบของอินซูลินได้ไม่ดี การไม่รับรู้อินซูลินหรือความต้านทานอินซูลิน หรือถ้าตัวอินซูลินเองมีข้อบกพร่อง ดังนั้นน้ำตาลจะไม่ถูกดูดซึมได้อย่างเหมาะสมโดยเซลล์ของร่างกายที่ต้องการใช้มัน และมันจะไม่ถูกเก็บสะสมไว้อย่างเหมาะสมในตับและกล้ามเนื้อ ผลกระทบสุทธิก็คือระดับที่สูงของน้ำตาลในเลือด การสังเคราะห์โปรตีนไม่ดีและการเผาผลาญอาหารอื่นๆผิดปกติ เช่นภาวะเลือดเป็นกรด ผลกระทบสุทธิดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสในเลือดยังคงสูงตลอดช่วง ไตจะเข้าสู่เส้นแบ่งของการดูดซึมซ้ำ (Threshold of Reabsorption) และน้ำตาลกลูโคสจะถูกขับออกมาในปัสสาวะ (Glycosuria) ปรากฏการณ์นี้จะเพิ่มแรงดันของสารละลายที่ไหลผ่านเนื้อเยื่อ (Osmotic pressure) ของปัสสาวะและยับยั้งการดูดซึมซ้ำของน้ำโดยไต ส่งผลในการผลิตปัสสาวะเพิ่มขึ้น (Polyuria) และเพิ่มการสูญเสียน้ำ ปริมาณเลือดที่หายไปจะถูกแทนที่แบบแฉี่มจากน้ำที่ถูกเก็บไว้ในเซลล์ร่างกายและช่องอื่นๆของร่างกายทำให้เกิดการคายน้ำและกระหายเพิ่มขึ้น (Polydipsia)

2.1.7 การวินิจฉัย

โรคเบาหวานเป็นสภาวะที่มีน้ำตาลในเลือดสูงเป็นระยะๆหรือสม่ำเสมอ และได้รับการวินิจฉัยโดยแสดงให้เห็นอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

2.1.7.1 ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดขณะอดอาหาร มีค่ามากกว่าเท่ากับ 126 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

2.1.7.2 พลาสมากลูโคส มีค่ามากกว่าเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร สองชั่วโมงหลังจากป้อนกลูโคส 75 กรัมในปาก ซึ่งเป็นการทดสอบความทนทานต่อกลูโคส

2.1.7.3 อาการที่เกิดจากน้ำตาลในเลือดสูงและพลาสมากลูโคสขณะสบาย 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

2.1.7.4 Glycated hemoglobin (Hb_{A1C}) มีค่ามากกว่าร้อยละ 6.5

ผลที่เป็นบวก (Positive) ในกรณีที่ขาดความชัดเจนของการมีน้ำตาลในเลือดสูง ควรได้รับการยืนยันโดยการทำซ้ำในวันที่แตกต่างกัน นิยมวัดระดับน้ำตาลหลังการอดอาหารเพราะความสะดวกในการวัดและความมุ่งมั่นของเวลาที่จะต้องใช้ที่นานมากของการทดสอบความทนทานต่อกลูโคสอย่างเป็นทางการซึ่งจะใช้เวลาสองชั่วโมงกว่าจะเสร็จสมบูรณ์และไม่ได้แนะนำประโยชน์ที่ดีว่าการทดสอบแบบการอดอาหารตามความหมายปัจจุบัน การวัดค่าน้ำตาลในเลือดแบบอดอาหารที่สูงกว่า 126 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร สองครั้งจะมีการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน ตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก บุคคลที่มีระดับน้ำตาลในเลือดขณะอดอาหารที่ 110 - 125 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร จะมีการพิจารณาที่จะมีน้ำตาลในเลือดบกพร่อง คนที่มีน้ำตาลในเลือดที่ 140 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือสูงกว่า แต่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร สองชั่วโมงหลังจากนำกลูโคส 75 กรัมเข้าไปในช่องปากได้รับการพิจารณาว่ามีความทนทานต่อกลูโคสบกพร่อง ในทั้งสองสภาวะก่อนเบาหวานดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะตัวหลังเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญสำหรับการพัฒนาไปสู่โรคเบาหวานเต็มตัว และเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดด้วย ผลการตรวจจาก Glycated hemoglobin จะดีกว่ากลูโคสการอดอาหารสำหรับการกำหนดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจและสาเหตุการเสียชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์การวินิจฉัยโรคเบาหวานขององค์การอนามัยโลก (WHO)

สภาวะ	กลูโคส 2 ชม.	กลูโคสอดอาหาร	HbA _{1c}
หน่วย	mmol/L(mg/dl)	mmol/L(mg/dl)	%
ปกติ	<7.8 (<140)	<6.1 (<110)	<6.0
กลูโคสบกพร่องขณะอดอาหาร	<7.8 (<140)	≥ 6.1 (≥110) & <7.0 (<126)	6.0–6.4
ความทนทานต่อกลูโคสบกพร่อง	≥7.8 (≥140)	<7.0 (<126)	6.0–6.4
เบาหวานโดยสมบูรณ์	≥11.1 (≥200)	≥7.0 (≥126)	≥6.5

2.1.8 การป้องกัน

ไม่มีวิธีการป้องกันที่ดีที่สุดในการเป็นผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 แต่มักนิยมป้องกันด้วยการควบคุมน้ำหนักให้ปกติ, ออกกำลังกาย, และรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพอย่างต่อเนื่อง อาหารที่เหมาะสมจึงเป็นอาหารที่อุดมด้วยธัญพืชและเส้นใย และเลือกไขมันที่ดีเช่น ไขมันไม่อิ่มตัวหลายจุดที่พบในถั่ว น้ำมันพืชและน้ำมันปลา หลีกเลี่ยงและควบคุมปริมาณการบริโภคเครื่องดื่มที่มีน้ำตาล เนื้อแดงและแหล่งไขมันอิ่มตัวอื่นๆให้น้อยลง เพื่อช่วยในการป้องกันโรคเบาหวานได้อีกด้วย ทั้งนี้การสูบบุหรี่นั้นก็เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความเสี่ยงของโรคเบาหวาน ฉะนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการสูบบุหรี่เพื่อลดความเสี่ยงนี้ ส่วนการดูแลและป้องกันโรคเบาหวานขั้นตานั้นทำได้ไม่ยาก ควรตรวจสุขภาพตาโดยจักษุแพทย์อย่างน้อยปีละครั้ง และหากมีอาการผิดปกติ เช่น ตามัว มีเงาดำลอยไปมา ควรรีบปรึกษาแพทย์ทันที

2.1.9 วิธีการดำเนินชีวิต

ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถได้รับประโยชน์จากการศึกษาเกี่ยวกับโรคและการรักษา ภาวะโภชนาการที่ดีเพื่อให้บรรลุน้ำหนักตัวปกติ และการออกกำลังกายที่เหมาะสม ที่มีเป้าหมายของการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดทั้งในระยะสั้นและระยะยาวให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้โรคเบาหวานมีความเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่สูงขึ้นของโรคหัวใจและหลอดเลือด การปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตจึงได้รับการแนะนำให้ควบคุมความดันโลหิต

2.1.10 เบาหวานในสัตว์อื่นๆ

ในสัตว์ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน พบมากที่สุดคือในสุนัขและแมว สัตว์วัยผู้ใหญ่ได้รับผลกระทบมากที่สุด สุนัขเพศเมียมีแนวโน้มเป็นสองเท่าที่จะได้รับผลกระทบมากกว่าเพศผู้, ในขณะที่บางแหล่งอ้างอิง แมวเพศชายยังมีแนวโน้มมากกว่าเพศเมีย ในสัตว์ทั้งสองชนิด ทุกสายพันธุ์อาจได้รับผลกระทบ แต่บางสายพันธุ์ของสุนัขขนาดเล็กที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเป็นโรคเบาหวานเช่นพุด

ได้ขนาดเล็กอาการต่างๆอาจเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำและภาวะปัสสาวะมาก แต่ทิศทางอาจจะร้ายกาจ สัตว์ที่เป็นโรคเบาหวานมีแนวโน้มสูงที่จะติดเชื้อ ภาวะแทรกซ้อนในระยะยาวที่ได้รับการยอมรับในมนุษย์หาได้ยากกว่าในสัตว์ หลักการของการรักษาการสูญเสียน้ำหนัก, ยาต้านโรคเบาหวานทางปาก, การให้อินซูลินใต้ผิวหนัง และการจัดการของกรณีฉุกเฉิน เช่น กรดเกินเนื่องจากสารคีโตน มีความคล้ายคลึงกับในมนุษย์

2.1.11 ภาวะแทรกซ้อน

2.1.11.1 ภาวะแทรกซ้อนทางสายตา (Diabetic Retinopathy)

เกิดจากการที่น้ำตาลเข้าไปใน Endothelium ของ หลอดเลือดเล็กๆ ในลูกตา ทำให้ หลอดเลือดเหล่านี้มีการสร้างไกลโคโปรตีนซึ่งจะถูกขยับออกมาเป็น Basement membrane มากขึ้น ทำให้ Basement membrane หนา แต่เพราะ หลอดเลือดเหล่านี้จะฉีกขาดได้ง่าย เลือดและสารบางอย่างที่อยู่ในเลือดจะรั่วออกมา และมีส่วนทำให้ Macula บวม ซึ่งจะทำให้เกิด Blurred vision หลอดเลือดที่ฉีกขาดจะสร้างแขนงของหลอดเลือดใหม่ออกมามากมายจนบดบังแสงที่มาตกกระทบยัง Retina ทำให้การมองเห็นของผู้ป่วยแยลง

2.1.11.2 ภาวะแทรกซ้อนทางไต (Diabetic Nephropathy)

พยาธิสภาพของหลอดเลือดเล็กๆ ที่ Glomeruli จะทำให้ Nephron ยอมให้ albumin รั่วออกไปกับ Filtrate ได้ Proximal tubule จึงต้องรับภาระในการดูดกลับสารมากขึ้น ซึ่งถ้าเป็นนานๆ ก็จะทำให้เกิด Renal failure ได้ ซึ่งผู้ป่วยมักจะเสียชีวิตภายใน 2-3 ปี นับเข้าสู่ภาวะไตวายระยะสุดท้าย หากไม่ได้รับการรักษาอย่างถูกวิธี

2.1.11.3 ภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาท (Diabetic Neuropathy)

หากหลอดเลือดเล็กๆ ที่มาเลี้ยงเส้นประสาทบริเวณปลายมือปลายเท้าเกิดพยาธิสภาพ ก็จะทำให้เส้นประสาทนั้นไม่สามารถนำความรู้สึกต่อไปได้ เมื่อผู้ป่วยมีแผล ผู้ป่วยก็จะไม่รู้ตัว และไม่ดูแลแผลดังกล่าว ประกอบกับเลือดผู้ป่วยมีน้ำตาลสูง จึงเป็นอาหารอย่างดีให้กับเหล่าเชื้อโรค และแล้วแผลก็จะเน่า และนำไปสู่ Amputation ในที่สุด

1. โรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary vascular disease)
2. โรคหลอดเลือดสมอง (Cerebrovascular disease)
3. โรคของหลอดเลือดส่วนปลาย (Peripheral vascular disease)
4. แผลเรื้อรังจากเบาหวาน (Diabetic ulcer)

2.1.12 การรักษา

โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรัง ซึ่งไม่มีหนทางรักษาถาวรในบางกรณี การรักษามุ่งรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้ใกล้เคียงเกณฑ์ปกติให้มากที่สุด โดยไม่ก่อให้เกิดน้ำตาลในเลือดต่ำ ซึ่งอาจบรรลุโดยอาหาร การออกกำลังกายและการใช้ยาที่เหมาะสม ควบคุมน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติและแก้ไขปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ การรักษาจำเป็นจะต้องทำงานร่วมกันระหว่างผู้ป่วย แพทย์ ผู้ให้คำแนะนำเรื่องโรคเบาหวาน โภชนาการและยา การรักษาจะช่วยให้เกิดความสมดุลทั้งในด้านโภชนาการ การออกกำลังกายและการใช้ยารักษา ควรเจาะระดับน้ำตาลในเลือดสม่ำเสมอ ให้ปรึกษาแพทย์ว่าควรเจาะในช่วงใดและมีความถี่เท่าไรถึงจะดีที่สุด การรักษาโรคเบาหวานในผู้สูงอายุ มีเป้าหมายดังนี้

2.1.12.1 ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดชีวิต คือประมาณ 140 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ซึ่งเป็นระดับที่ผู้ป่วยมีความเสี่ยงน้อยต่อการเกิดภาวะน้ำตาลต่ำในเลือด ใช้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลแบบฮีโมโกลบินเอวันซีในการประเมินผู้ป่วยเบาหวาน ค่าฮีโมโกลบินเอวันซี ที่เหมาะสมคือต่ำกว่าร้อยละ 7

2.1.12.2 ป้องกันหรือชะลอโรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น

2.1.12.3 เพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย คือให้มีชีวิตอยู่ได้อย่างปกติสุขและมีคุณภาพ

2.1.12.4 ควบคุมระดับความดันโลหิต โดยระดับความดันโลหิตที่เหมาะสม คือ น้อยกว่า 130/90 มิลลิเมตรปรอท และระดับไขมันในเลือดให้อยู่ในระดับปกติอีกด้วย โดยดูจากระดับไขมัน ความหนาแน่นต่ำ ต้องน้อยกว่า 100 มิลลิกรัม/เดซิลิตร

ดังนั้นการรักษาโรคเบาหวานจะต้องอาศัยการควบคุมอาหาร การออกกำลังกาย และการใช้ยา ซึ่งทั้งนี้ต้องการกำลังใจของผู้สูงอายุและความร่วมมือจากญาติพี่น้องหรือผู้ดูแล การใช้ยารักษาจะเริ่มเมื่อผู้ป่วยสูงอายุไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้บรรลุเป้าหมายด้วยการควบคุมอาหารและการออกกำลังกาย โดยทั่วไปแพทย์จะให้ยาที่เหมาะสมคือออกฤทธิ์ไม่แรงและหมดฤทธิ์เร็ว เริ่มจากขนาดยาต่ำๆ ก่อน มีวิธีการใช้ยาที่ง่ายและเกิดผลข้างเคียงน้อยที่สุด ผู้ป่วยที่ใช้ยาจะต้องควบคุมอาหารและออกกำลังกายร่วมด้วยเสมอ

ผู้ป่วยต้องใช้ยาลดชีวิตเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลและอาการของโรคเบาหวานตามเป้าหมายที่กำหนดมีสมุนไพรไทยหลายชนิด ที่ช่วยลดน้ำตาลในเลือด ได้แก่ ตำลึง มะระขี้นก ว่านหางจระเข้ กะเพรา ใบหม่อน หล้าหวาน ปอกะบิด เจียวกู่หลาน ผักจืดดา

2.2 เทคโนโลยีไบโอเซนเซอร์

การพัฒนาเทคนิคสำหรับตรวจวัดวินิจฉัยโรค ที่เรียกว่า ไบโอเซนเซอร์ (Biosensor) ในปัจจุบัน กำลังได้รับความสนใจจากนักวิจัยและนักประดิษฐ์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ขณะที่มีวิธีแบบเดิมเช่น เทคนิค GC, HPLC, Microsphere-based arrays, Radioimmunoassay (RIA) และ ELISA ยังมีข้อจำกัดในแง่ของระยะเวลา การตรวจวัด ค่าใช้จ่าย ขั้นตอนที่ยุ่งยาก และเกี่ยวข้องกับสารเคมีอันตรายเป็นต้น นอกจากนี้แม้จะมีการพัฒนาชุดทดสอบอย่างง่าย (Test kit) เช่น ชุดตรวจการตั้งครรภ์ ซึ่งสามารถใช้ได้ง่ายและสะดวก แต่ใช้ได้เฉพาะ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ สำหรับการตรวจวัดเพื่อวินิจฉัยโรคหรือสารเคมีบางชนิด ในบางครั้งจำเป็นต้องตรวจวัดเชิงปริมาณเพื่อบ่งบอกความแตกต่างของระดับสารได้แม้ในปริมาณที่น้อย หรือสามารถบ่งชี้โรคได้ในระยะปฐมภูมิ เช่น สาร Fetoprotein ในซีรัมมนุษย์ ตัวบ่งชี้มะเร็งตับปฐมภูมิและ Carcinoembryonic ตัวบ่งชี้มะเร็งลำไส้ เป็นต้น เพื่อเป็นการปรับปรุงข้อบกพร่องดังกล่าว จึงได้มีการวิจัยและพัฒนางานด้านไบโอเซนเซอร์หรือชุดตรวจขนาดเล็กที่มีความไวสูงอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ การประดิษฐ์เครื่องมือแปลผลแบบพกพาเพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับ Test strip การพัฒนาเซนเซอร์ด้านเคมีไฟฟ้า การสร้างห้องแล็บจิ๋วบนชิป ห้องแล็บจิ๋วบนกระดาษ ตลอดจนสามารถนำเทคโนโลยีกล้องโทรศัพท์มือถือมาใช้ในการวินิจฉัยโรค ซึ่งในอนาคตวิธีแบบเดิมอาจจะถูกทดแทนด้วยวิธีใหม่ก็เป็นได้ เนื่องด้วยต้นทุนในการผลิตที่ลดลง ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีก็ทราบผล นอกจากนี้เครื่องมือในการแปลผลยังมีขนาดเล็กเหมาะกับการเป็นวิธีตรวจทางห้องปฏิบัติการ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-Care) และ ใช้พื้นที่ขนาดเล็ก (Point-of-Site) แม้ในปัจจุบันยังจำเป็นต้องใช้วิธีการตรวจวัดแบบเดิมอยู่นั้น แต่เมื่อไบโอเซนเซอร์ถูกพัฒนาให้สามารถตรวจวัดตัวบ่งชี้ด้านชีวภาพได้มากมายหลายชนิดเท่าที่วิธีแบบเดิมเคยมีมา เมื่อนั้นก็จะเป็นประโยชน์ต่อมนุษยในโลกอนาคตอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ไบโอบีโอสเซนเซอร์

ไบโอบีโอสเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดและวิเคราะห์สารต่างๆ อย่างจำเพาะเจาะจง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของตัวรับสัญญาณทางชีวภาพ (Bioreceptor) และตัววัดสัญญาณ ที่มีความจำเพาะเจาะจงของการตรวจวัดเนื่องจากส่วนของตัวรับสัญญาณทางชีวภาพ เช่น เอนไซม์ แอนติบอดี เมื่อส่วนตัวรับสัญญาณทางชีวภาพทำปฏิกิริยากันกับสารที่ต้องการตรวจวัดได้เป็นผลิตภัณฑ์ จะทำให้ส่วนของตัววัดสัญญาณทำหน้าที่ แปลงสัญญาณทางเคมี ฟิสิกส์ หรือชีวเคมี ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปแสดงผลข้อมูลกับเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อกับระบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ อุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อม โดยจะต้องมีความรวดเร็วในการตรวจวัด อีกทั้งมีขนาดเล็กสามารถพกพาไปใช้ในภาคสนามได้ อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาไบโอบีโอสเซนเซอร์ในรูปแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้น เช่น เครื่องมือแปลผล เทคโนโลยี โทรศัพท์มือถือ การสร้างห้องปฏิบัติการบนกระดาษ ดังจะได้กล่าวรายละเอียดในลำดับถัดไป

2.3 สเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry)

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์สารเคมีในร่างกายนั้น มีอยู่มากมายหลายชนิด และมีหลักการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม หลักการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้มากที่สุดคือ สเปกโตรโฟโตเมทรีของการดูดกลืนแสง (Absorption spectrophotometry) และสเปกโตรเมทรีของการคายคลื่นแสง (Emission spectrophotometry)

สเปกโตรโฟโตเมทรีของการดูดกลืนแสงเป็นการเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างส่งตรวจกับสีของน้ำยามาตรฐาน สีที่เปรียบเทียบนี้อาจเป็นสีของตัวอย่างส่งตรวจเอง หรือสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีก็ได้ โดยความเข้มของสีที่เกิดขึ้นนั้น จะเป็นปฏิภาคกับปริมาณของสารนั้น ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างส่งตรวจ

การเปรียบเทียบตามความเข้มของสีนั้น อาศัยหลักของการดูดกลืนแสง (absorption) ในช่วงคลื่นบางขนาด อาทิเช่น การที่เราเห็นสารละลายบางชนิดมีสีน้ำเงินก็เพราะสารละลายนั้นดูดกลืนเอาแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วยของแสงสีเหลือง ส้ม แดง ไปและยอมให้แสงที่มีสีน้ำเงินลอดผ่านไปได้เราจึงเห็นสารละลายนั้นมีสีน้ำเงิน ยิ่งสารละลายนั้นดูดกลืนแสงสีเหลืองและแดงไปมากเท่าใด เราก็จะเห็นสารละลายนั้นมีสีน้ำเงินเข้มยิ่งขึ้น ปริมาณการดูดกลืนแสงดังกล่าวนี้จึงขึ้นกับความเข้มของสีที่ปรากฏในสารละลายนั้นๆ กล่าวคือ ยิ่งมีสารที่มีสีมาก ก็ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นได้มากด้วย

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนของแต่ละสี

Complementary Color		
Wavelength (nm)	Color Absorbed	Color Observed
400	violet	yellow - green
435	blue	yellow
495	green	purple
560	yellow	blue
650	orange	greenish blue
800	red	bluish green

ดังนั้น เมื่อให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารละลายที่มีสี จำนวนแสงที่ถูกดูดกลืนไปจะแสดงถึงปริมาณของสารที่มีสีในสารละลายนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้ลำแสงที่มีความยาวคลื่นแสงในช่วงที่สารมีสีนั้นดูดกลืนได้มากที่สุด

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่อาศัยหลักการเปรียบเทียบสียอดยาศัยการดูดกลืนแสงที่ใช้บ่อยในการวิเคราะห์สารเคมีในร่างกาย คือ โฟโตมิเตอร์ที่ใช้กระจกกรองแสง (Filter photometer), สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และฟลูออโรมิเตอร์ (Fluorometer)

นอกจากเครื่องมือที่กล่าวมานี้ ยังมีเครื่องมืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สารเคมีในร่างกายอีกมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการวิเคราะห์แตกต่างกันมากมาย เช่น อะตอมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer), อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (IR spectrophotometer), เนฟีโลมิเตอร์ (Nephelometer), โครมาโตกราฟี (Chromatography), ฯลฯ

2.3.1 เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เป็นการศึกษาด้านการกระทำร่วม (Interaction) ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือคลื่นแสงกับสสาร(atom),(molecule) Interaction ระหว่างคลื่นแสงกับสสาร

2.3.1.1 การดูดกลืนคลื่นแสง (Absorption) สสารสามารถดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงคลื่นเฉพาะ

2.3.1.2 การคายคลื่นแสง (emission) การที่ส่วนหนึ่งของพลังงานภายในของสสารถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานแสง

2.3.1.3 การกระจาย (Scatter) หรือการสะท้อนกลับ (Reflection)

2.3.2 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's Law)

กฎของเบียร์ และแลมเบิร์ต เกี่ยวกับการดูดกลืน ของแสงกับความหนาของเหลวที่มีสี กล่าวว่า ที่แต่ละชั้นของความหนาที่เท่ากันจะดูดกลืนแสงที่ผ่านในเศษส่วนที่เท่ากัน นั่นคือ เมื่อลำแสงของแสงโมนโครมาติก (monochromatic light) ฉายผ่านตัวกลางที่ดูดกลืน (medium) ซึ่งก็คือสารละลายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสี ความเข้มข้นของแสงจะลดลงในรูปของฟังก์ชันเอกซโพเนนเชียล ในขณะที่ความยาวของตัวกลางมากขึ้น โดยอัตราของแสงที่ถูกดูดกลืนไว้ จะผันแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น และระยะทางที่แสงนั้นส่องผ่าน เมื่อใดที่สารละลายที่มีสีเป็นไปตามกฎนี้ ก็ถือว่าเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต มีข้อควรสังเกต คือ สารละลายที่ใช้กฎข้อนี้ได้ ต้องเป็นสารละลายที่มีเนื้อเดียวกันตลอด ความรู้นี้มีประโยชน์มากในการใช้ปรับความหนาของชั้นที่ดูดกลืนแสง หรือความหนาแน่นของตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในหลอดแก้วใส เรียกว่าเซลล์ (Cell) หรือคิวเวตต์ (Cuvette) เพื่อลดสีให้ถึงระดับในช่วงที่สามารถใช้เตรียมอนุกรมของสารละลายมาตรฐาน เพื่อใช้ทำโค้งมาตรฐาน (Standard Curve) หรือเพื่อที่จะใช้กับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ได้

2.3.3 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

หลักการ เครื่องชนิดนี้มี photoelectric cell เป็น sensing element กระแสที่เกิดโดย Photoelectric cell จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิซชัน หรือค่าแอบซอเบแนนซ์ โดยเครื่องกัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟธรรมดา คือหลอดทังสเตน (tungsten lamp) และแสงโมโนโครมาติก (Monochromatic Light) ที่ได้จากการให้ลำแสงส่องผ่านแก้วปริซึม หรือดิฟแฟรกชันเกรตติง (Diffraction grating) อย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้ได้ แสงโมโนโครมาติก (Monochromatic Light) ที่มีความยาวคลื่นในช่วงแสงที่มองเห็นได้ นอกจากนี้เครื่องมือชนิดนี้ยังสามารถให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และช่วงใกล้อินฟราเรด (near infrared) ได้อีกด้วย

2.3.4 Spectrophotometry

เป็นวิธีวัดความเข้มข้นของธาตุหรือสารประกอบ เช่น cation anion รวมทั้งธาตุอาหารพืช โดยการเติมชุดของสารเคมีลงในสารละลายสกัด เพื่อทำให้เกิดสีที่เฉพาะ สีเข้มมาก – ความเข้มข้นของสารมาก แล้ววัดค่าความเข้มข้นได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย Spectrophotometer เริ่มจากเตรียมสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน แล้วเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการ เพื่อวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่าง จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลีนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน แล้วอ่านค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

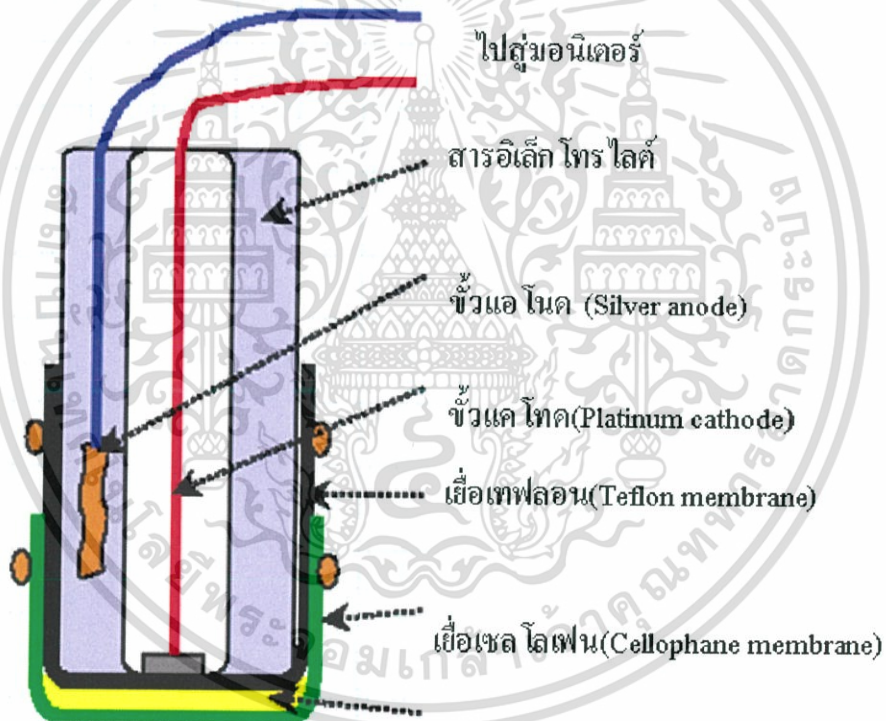
2.4 กลูโคสไปโอเซนเซอร์

ตัวอย่างของไปโอเซนเซอร์เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1962 ลีแลนด์ คลาค (Leland C. Clark) นักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐ ได้ตีพิมพ์ผลงานในการประยุกต์ใช้ไปโอเซนเซอร์(ตอนนั้นเรียกเอนไซม์เซนเซอร์) เพื่อตรวจวัด ปริมาณกลูโคสในเลือดมนุษย์ได้เป็นผลสำเร็จครั้งแรก นั้นเป็นเหตุการณ์ที่นักวิทยาศาสตร์รู้จักคำว่าไปโอเซนเซอร์เป็นครั้งแรก ในการศึกษาของเขานั้น เขาสนใจในการตรวจวัดปริมาณแก๊สออกซิเจนก่อนเป็นอันดับแรก เขาได้อธิบายว่า สามารถติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยการตรวจวัดระดับออกซิเจนที่เอนไซม์นั้นใช้ไปโดยใช้อิเล็กโทรดแพลทินัม (platinum electrode) เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีความจำเพาะเจาะจงกับสารเคมีตั้งต้นหรือสับสเตรท (substrate) อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ในการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ในสิ่งมีชีวิต จำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์เพื่อมาลดพลังงานกระตุ้นลง การทำงานของเอนไซม์เป็นอย่างไร ในตอนแรกเอนไซม์เมื่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำงานแล้วก็จะจับกับสับสเตรท หลังจากทีเอนไซม์จับกับสับสเตรทแล้วเกิดการเปลี่ยน สับสเตรทไปเป็นผลิตภัณฑ์ และได้เอนไซม์ซึ่งอยู่ในอีกสภาวะหนึ่งซึ่งไม่เหมาะที่จะจับกับสับสเตรท ก็จะต้องมีการถ่ายโอนพลังงานบางชนิดให้เอนไซม์เพื่อให้เอนไซม์กลับมาสู่สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานใหม่ วิธีการอย่างหนึ่งคือการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เราสามารถนำเอนไซม์มาทำปฏิกิริยากับสับสเตรทตัวใหม่ได้โดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบนั้น เมื่อเอนไซม์อยู่ในภาวะเหมาะสมที่จะกระตุ้นสับสเตรทอันใหม่มันก็สามารถทำงานได้ต่อไป ในการทำงานของเอนไซม์กับสับสเตรทต้องใช้แก๊สบางชนิดหรือ อาศัยน้ำ ซึ่งการใช้แก๊สเหล่านี้จะขึ้นกับปริมาณสับสเตรทที่เอนไซม์ทำปฏิกิริยาด้วย จากหลักการนี้ ถ้าเรามีเซนเซอร์ที่สามารถวัดปริมาณแก๊สที่เอนไซม์ใช้ไปเราก็สามารถที่จะรู้ปริมาณสารเคมีที่เราต้องการวัดได้

ในการวัดปริมาณกลูโคสในเลือดของ ตามวิธีของคลาค เขาได้ใช้เอนไซม์ชนิดหนึ่งเรียกว่า เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) หรือใช้ตัวย่อ GOD เนื่องจากเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส จะมีความจำเพาะเฉพาะกับกลูโคสเท่านั้น เพราะฉะนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็เป็นผลมาจากเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสทำกับกลูโคส อิเล็กโทรดที่เขาใช้มีลักษณะเป็นดังรูป



เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสตรึงบนพอลิเมอร์เจล

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบและขั้วของกลูโคสไบโอเซนเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี

ขั้วบวกทำจากโลหะแพลทินัม ขั้วลบทำจากโลหะเงิน ตรงส่วนรับสัญญาณก็จะบรรจุเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสที่ตรึงบนพอลิเมอร์ โดยหุ้มไว้ด้วยเยื่อ 2 ข้างด้านที่ติดกับขั้วไฟฟ้าเป็นเยื่อเทฟลอน แต่ด้านที่ติดกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Analyte) จะเป็นเยื่อเซลโลเฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 2 โปรตอน กลายเป็นแก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ขั้วบวกเกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อไป ส่วนกลูโคสตัวใหม่ก็สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อีกเช่นเดียวกันเรื่อยไป เมื่อนำอิเล็กโทรดไปวัดสารตัวอย่างเพื่อหาปริมาณกลูโคส ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปจะสัมพันธ์กับปริมาณของเอนไซม์ที่จับกับกลูโคส ดังนั้นปริมาณกลูโคสที่มีอยู่ก็สามารถวัดได้โดยการวัดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่เอนไซม์ใช้ไปนั่นเอง ปฏิกริยารวมที่เกิดขึ้นทั้งหมดคือ



โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส และที่ขั้วบวก จะเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีดังนี้



จากสมการพบว่า ออกซิเจนมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนจาก 0 เป็น -1 นั้นแสดงว่าที่อิเล็กโทรดมีการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงนี้เราก็สามารถวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหรือปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงได้ ถ้าเป็นการวัดกระแส ทรานดิวเซอร์ของเซนเซอร์ชนิดนี้ก็จะ เป็น Amperometric transducer แต่ถ้าเป็นการวัดความต่างศักย์ก็จะเป็น potentiometric transducer



บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการจัดทำโครงงานนี้ ผู้จัดทำโครงงานมีวิธีดำเนินงานโครงงาน ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 คิดหัวข้อโครงงานและนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

3.1.2 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน ได้แก่ เรื่อง การตรวจคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานว่ามีขั้นตอนการตรวจคัดกรองอย่างไร การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ อาทิเช่น การตรวจ HbA1C กระบวนการ ELLISA ศึกษากระบวนการทำงานของไบโอเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด (Glucose sensor) ที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาด ศึกษาการใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ในการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และวิธีการตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น กระบวนการของฟลูออเรสเซนซ์ การใช้สีย้อม ตลอดจนศึกษาหาแนวทางการใช้สมาร์ตโฟนเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความเข้มข้นของกลูโคส หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รวมทั้งขอความอนุเคราะห์จากหน่วยงานต่างๆ เพื่อใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับโครงงาน

3.1.3 คัดเลือกกระบวนการที่จะนำมาใช้เพื่อบอกความเข้มข้น

3.1.4 ทำการออกแบบขั้ว Sensor โดยใช้แผ่นกระจกสไลด์ จะใช้เพื่อตรวจหาระดับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.1.5 วัดสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อสีของเมทิลีนบลู

3.1.6 เก็บค่าผลของสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์ ที่มีผลต่อสีของเมทิลีนบลู

3.1.7 วิเคราะห์ผล ค่าของสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์

3.1.8 ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสงด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี (Chronoamperometry)

3.1.9 ทำอิเล็กโทรด Ag/AgCl เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ และตรวจสอบประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดโดยการวัด ค่า E^0 เทียบกับขั้ว Ag/AgCl มาตรฐาน

3.1.10 หาค่ากระแสอินพุตที่เหมาะสมต่อสารละลาย ณ ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธีการไซคลิกโวลทามเมทรี

3.1.11 ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสง ด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี (Chronoamperometry) โดยให้กระแสอินพุตที่เหมาะสมหลังจากการทำไซคลิกโวลทามเมทรี และเก็บค่าสัญญาณที่ได้

3.1.12 วิเคราะห์ผลค่าของสัญญาณ หลังการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ

3.1.13 ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแบบใช้แสงโดยใช้โปรแกรม และ 3D Printer

3.1.14 ทดลองเคลือบกระจกสไลด์ด้วยเมทิลีนบลู โดยใช้ Conductive Polymer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.15 ทดลองใช้อุปกรณ์วัดร่วมกับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู
- 3.1.16 บันทึกผลค่าสัญญาณแสงที่อ่านได้
- 3.1.17 วิเคราะห์ผล สรุปผล และวิจารณ์ผล

3.2 วัดสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อสีของเมทิลีนบลู

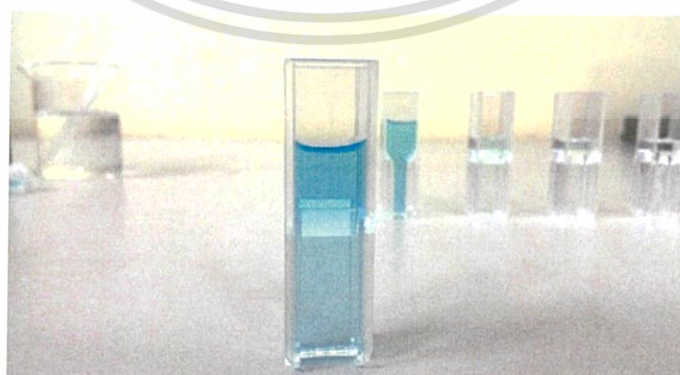
3.2.1 เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิโมลาร์ และสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้

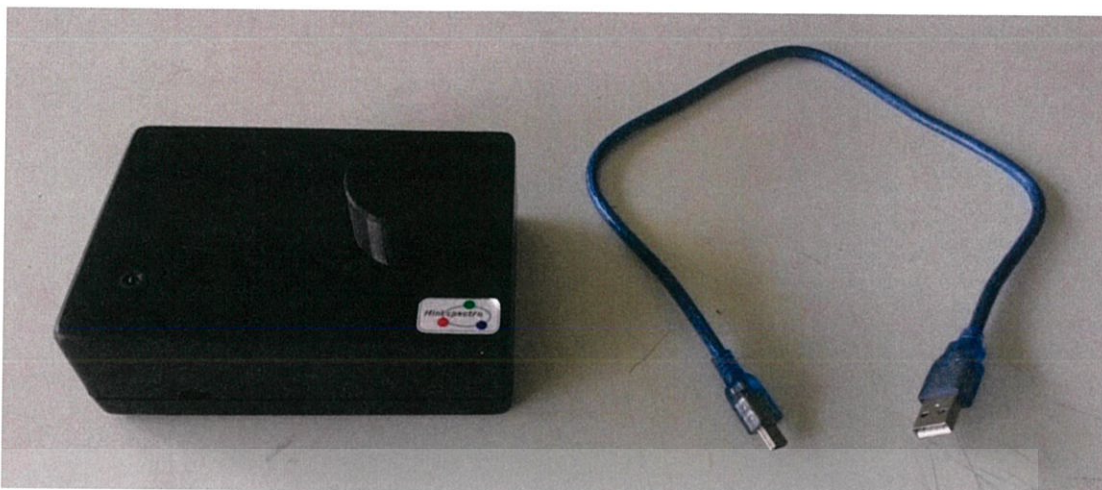
3.2.2 นำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1,2,3,4 และ 5mM ตามลำดับ และเมทิลีนบลูมาผสมและนำไปปั่นให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง vortex

3.2.3 นำสารละลายที่ผสมแล้วใส่ลงในคิวเวตต์ (cuvette) เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ต่อไป



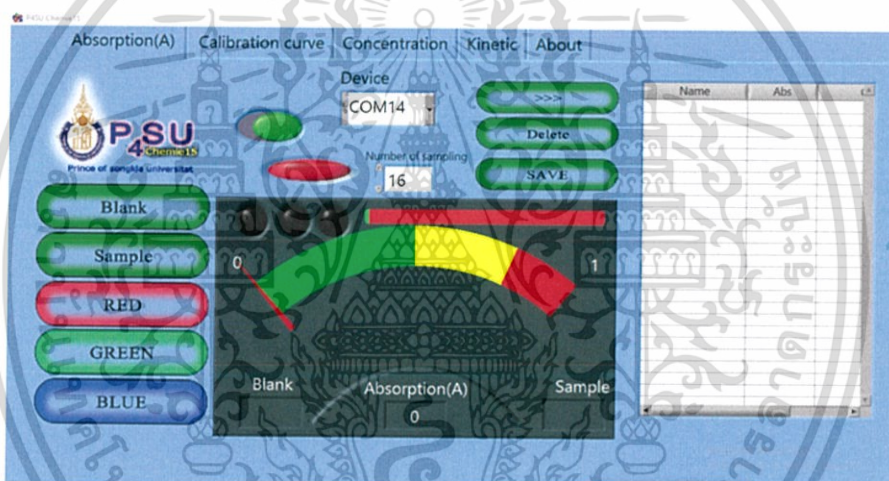
รูปที่ 3.2 แสดงสารละลายตัวอย่างในคิวเวตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่อง spectrophotometer

3.2.4 ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้คลื่นช่วงสีแดง 600 - 660 นาโนเมตร



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้บันทึกค่าการดูดกลืนแสงควบคู่กับ spectrophotometer

3.2.5 เก็บค่าผลของสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์ ที่มีผลต่อสีของเมทิลีนบลู ในช่วง 0 - 1200 วินาที

3.2.6 บันทึกผลค่าของสัญญาณที่ได้ และนำมาสร้างกราฟ

3.2.7 วิเคราะห์ผลของสัญญาณที่ได้โดยใช้โปรแกรมออริจิน เป็นการจับคู่ค่าความเป็นเชิงเส้นของกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

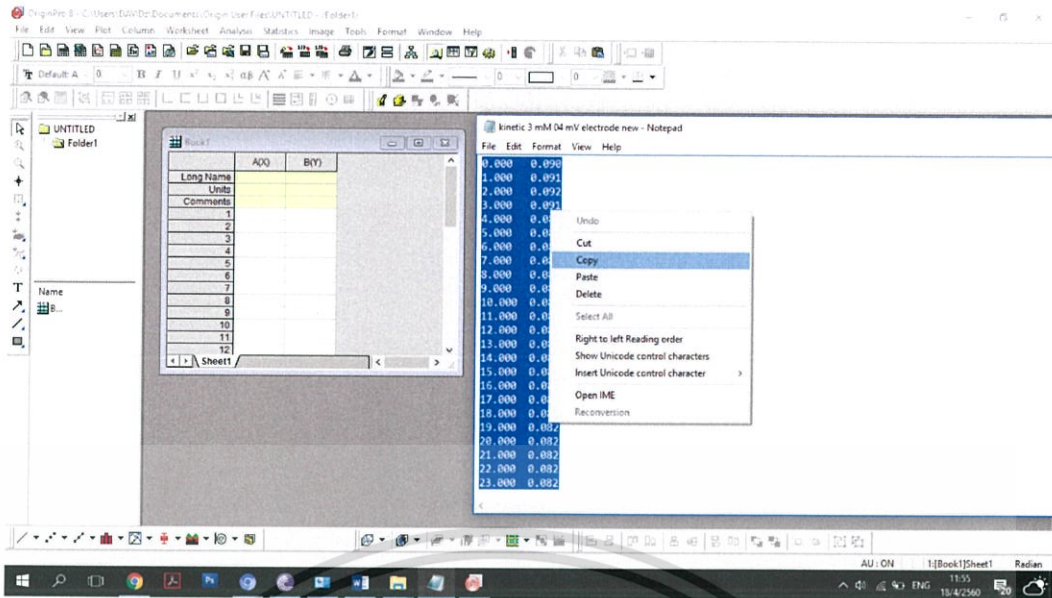
3.2.7.1 เปิดโปรแกรมออริจิน

3.2.7.2 นำไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้วางลงในตารางในโปรแกรม

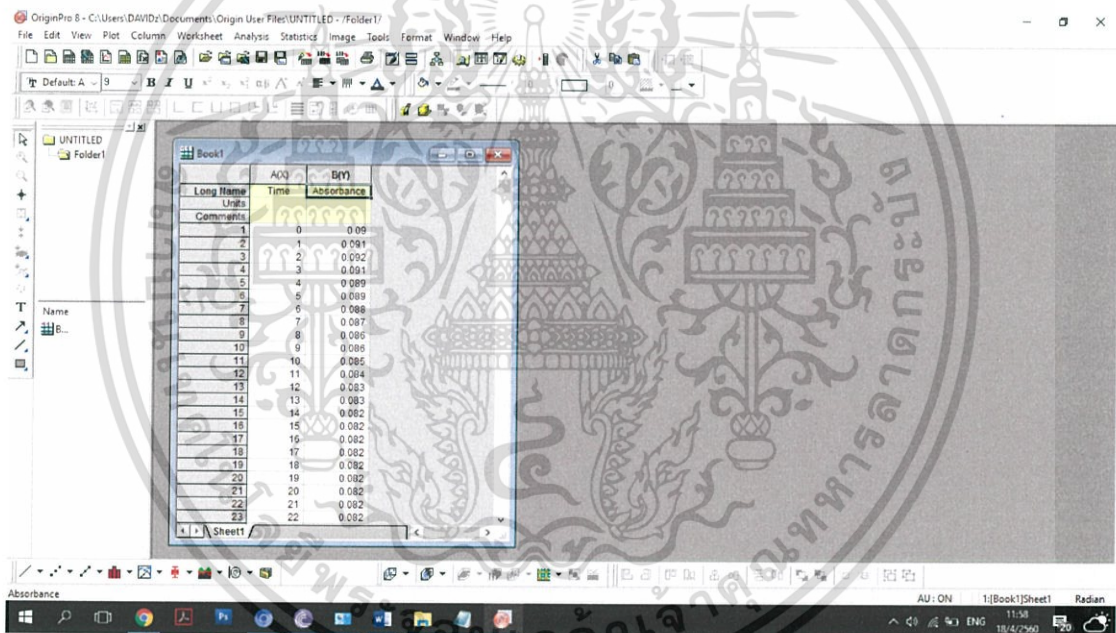
3.2.7.3 ใช้คำสั่งสร้างกราฟเพื่อสร้างกราฟ

3.2.7.4 เลือก Analysis ->Fitting->Fitlinear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

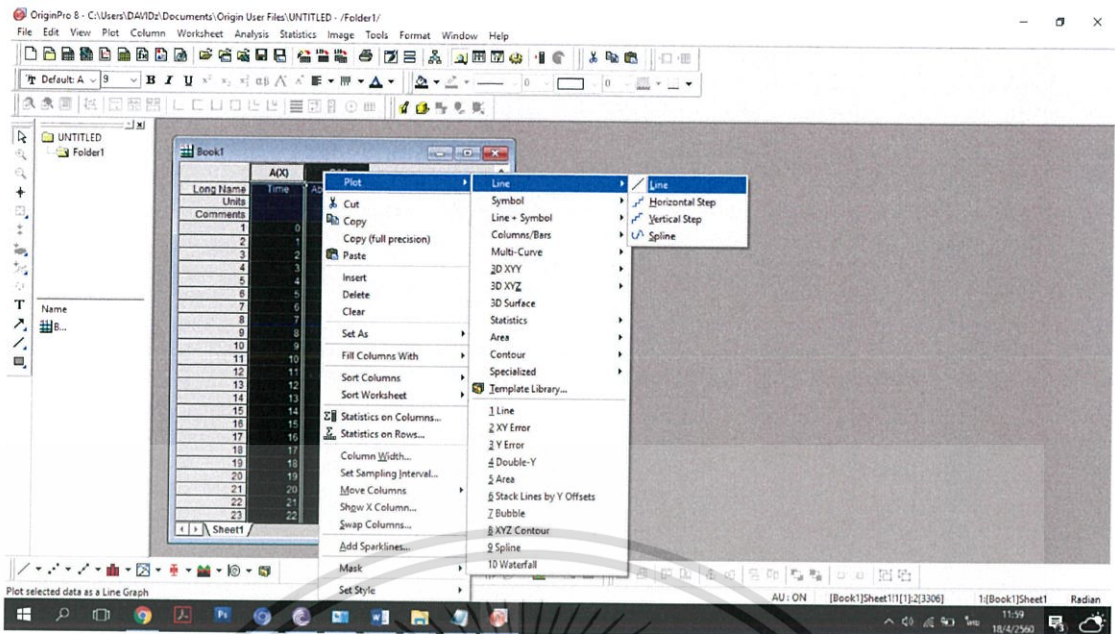


รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างกราฟจากข้อมูลที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรมออริจิน

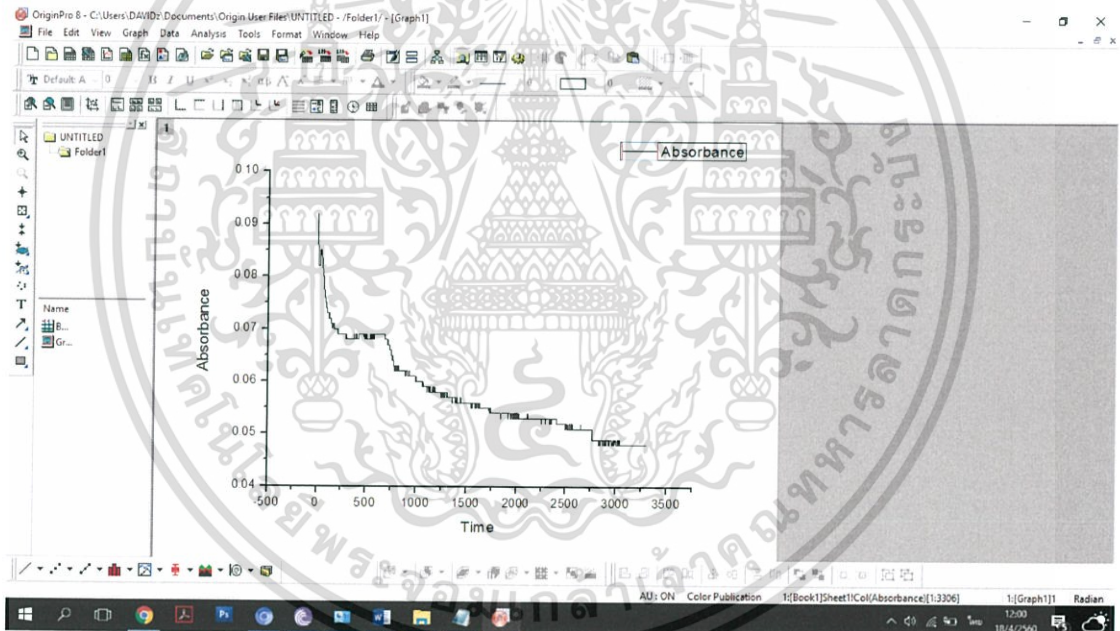


รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างกราฟจากข้อมูลที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรมออริจิน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างกราฟจากข้อมูลที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรมออริจิน (ต่อ)



รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างกราฟจากข้อมูลที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรมออริจิน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสงด้วยด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี (Chronoamperometry)

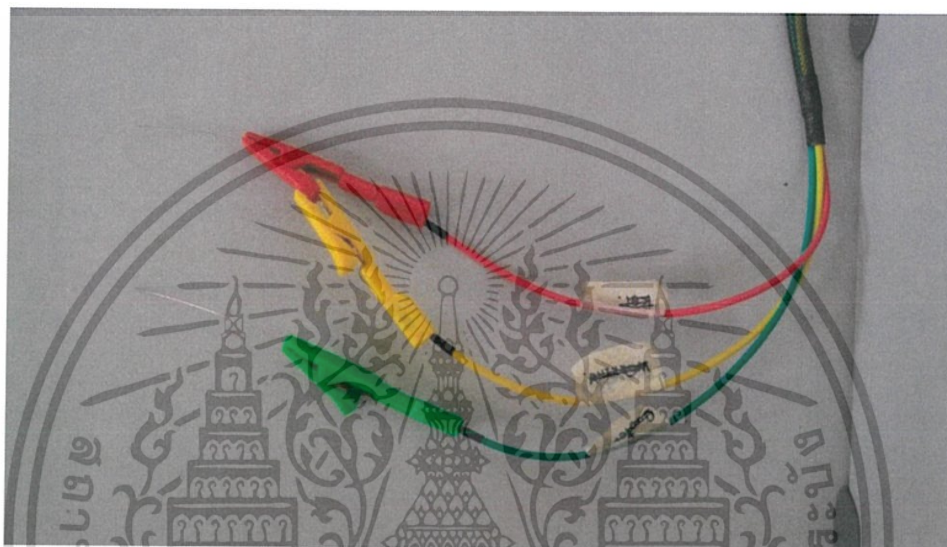
3.3.1 ศึกษาวิธีโครโนแอมพีโรเมทรี

3.3.2 วิธีทำขั้วอิเล็กโทรด Ag/AgCl

3.3.2.1 ตัดลวดโลหะเงิน(Ag)ยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร จำนวนสองชิ้น

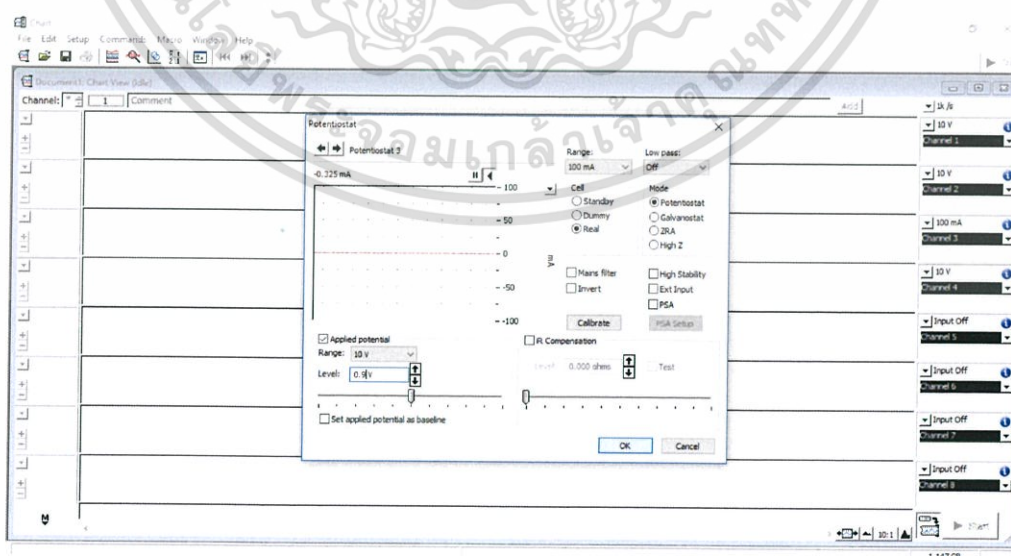
3.3.2.2 นำไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 2 โมลาร์

3.3.2.3 ต่อโลหะชิ้นหนึ่งเข้ากับขา working และอีกชิ้นหนึ่งเข้ากับขา reference และขา counter ของเครื่อง Potentiostat



รูปที่ 3.8 แสดงการต่อโลหะเงินเข้ากับ ขาของเครื่อง Potentiostat

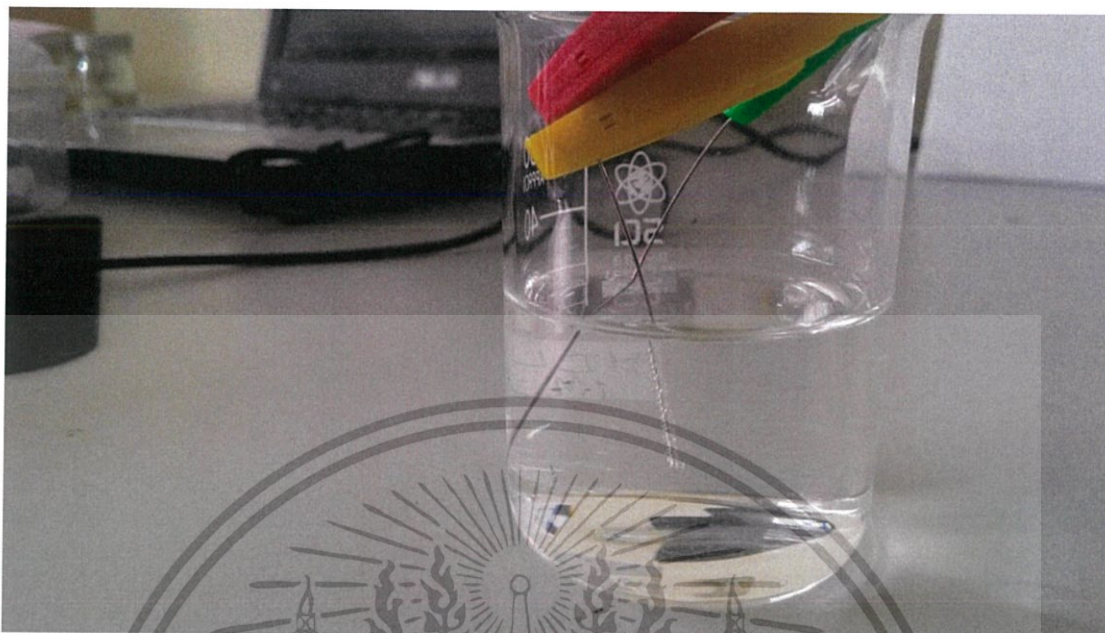
3.3.2.4 ให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วโลหะทั้งสองประมาณ 0.9 โวลต์ หรือไม่เกิน 1 โวลต์



รูปที่ 3.9 แสดงการให้ความต่างศักย์โดยใช้โปรแกรม E-chart ผ่านขาที่ต่อกับโลหะเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.5 สังเกตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของโลหะทั้งสองชิ้น บันทึกลง แล้วทิ้งไว้จนการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดูช้าลง นำโลหะขึ้นจากกรดไฮโดรคลอริก จะได้อิเล็กโทรดที่อิมมั่ว



รูปที่ 3.10 แสดงการทำอิเล็กโทรด Ag/AgCl ขณะที่ขั้วโลหะทั้งสองเกิดปฏิกิริยา

3.3.3 วัดค่า E^0 เทียบกับ Ag/AgCl

3.3.3.1 นำขั้วอิเล็กโทรดมาตรฐาน Ag/AgCl ต่อที่ขา working และ อิเล็กโทรด Ag/AgCl ที่ได้ ไปต่อที่ขา reference และขา counter ของเครื่อง Potentiostat



รูปที่ 3.11 แสดงการต่ออิเล็กโทรด Ag/AgCl เทียบกับ Ag/AgCl มาตรฐานเพื่อหาค่า E^0 ของอิเล็กโทรดที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 ใช้โปรแกรม E-chem ในการวัดค่า E^0 ของโลหะที่ได้



รูปที่ 3.12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมและการเลือกใช้งาน Potentiostat

3.3.3.3 คลิกที่ Potentiostat เลือก ในคอลัมน์ cell เลือก Real และ Mode เลือก High z ค่าโวลต์เทจคือ ค่า E^0 ของอิเล็กโทรดที่สร้างขึ้นมา

3.3.3.4 บันทึกผล สรุปผล

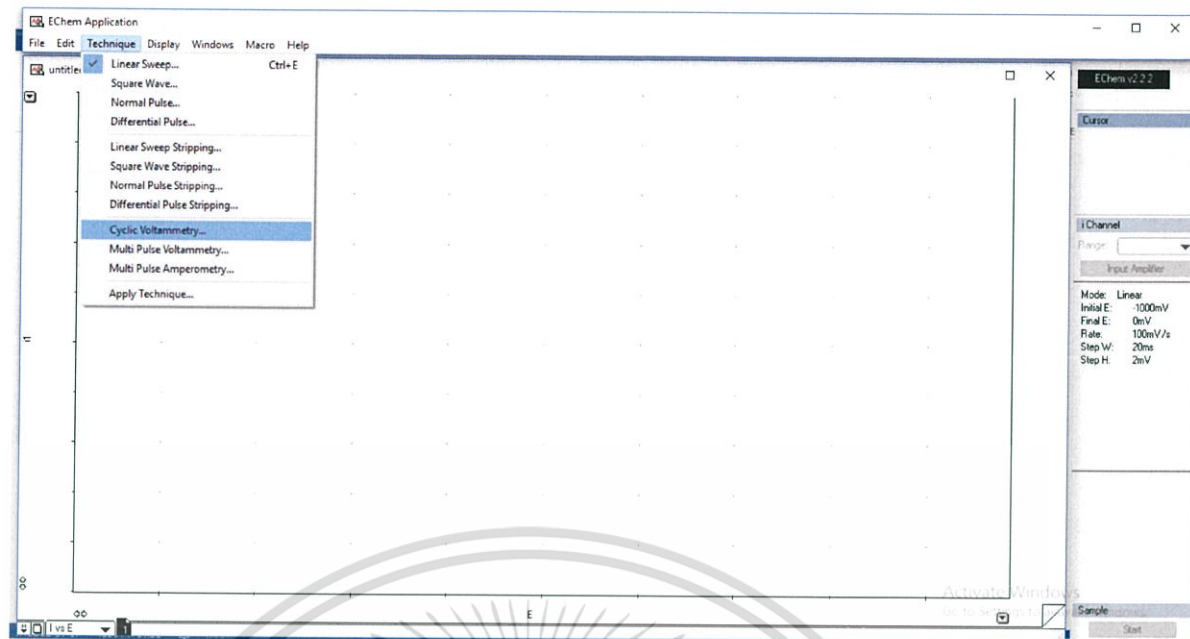
3.4 หาค่ากระแสอินพุตที่เหมาะสมต่อสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยวิธีการไซคลิกโวลทามเมทรี

3.4.1 เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1,2,3,4 และ 5mM ตามลำดับ

3.4.2 ต่อขั้วอิเล็กโทรดเข้ากับเครื่อง Potentiostat โดยให้ขั้ว counter และ reference ต่อกับขั้วอิเล็กโทรด Ag/AgCl และขั้ว working เข้ากับขั้วอิเล็กโทรด Ag

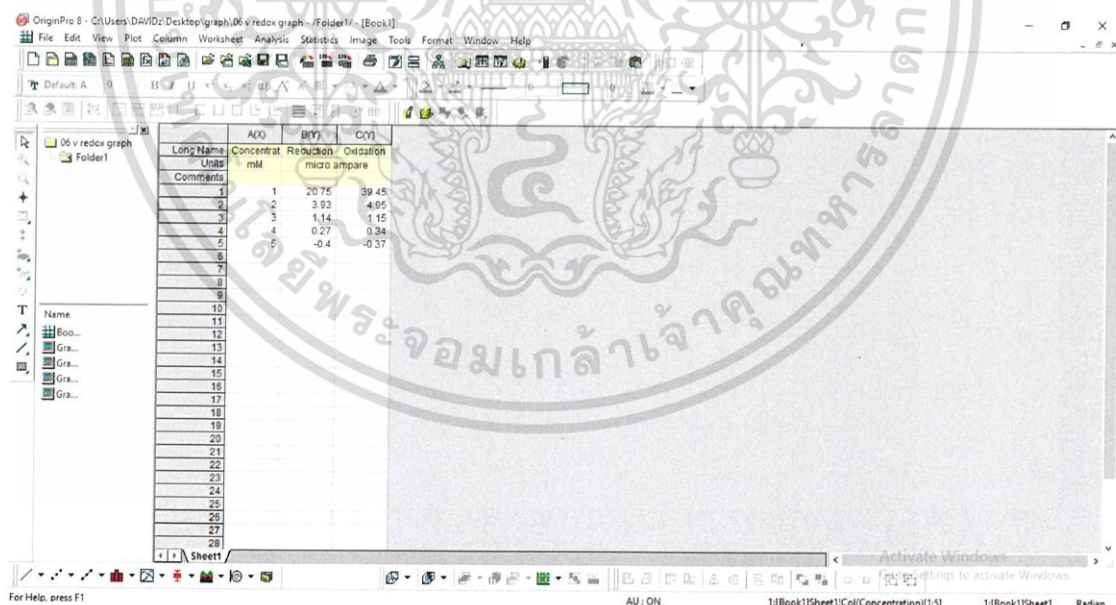
3.4.3 ใช้โปรแกรม E-Chem เลือก Technique -> Cyclic Voltammetry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมและการเลือกใช้งานฟังก์ชัน Cyclic Voltammetry

- 3.4.4 ลุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ แล้วกดปุ่ม Start เพื่อวัดค่า
- 3.4.5 บันทึกค่าผลการทดลองที่ได้
- 3.4.6 เปรียบเทียบกราฟของแต่ละความเข้มข้น เพื่อหาจุดที่เหมาะสม ในการให้กระแสอินพุต
- 3.4.7 สร้างกราฟเทียบค่ากระแสที่เหมาะสม และทั้งในโหมด Reduction และ Oxidation ของค่า Voltage ที่เลือก โดยใช้โปรแกรมออริจิน (Origin)



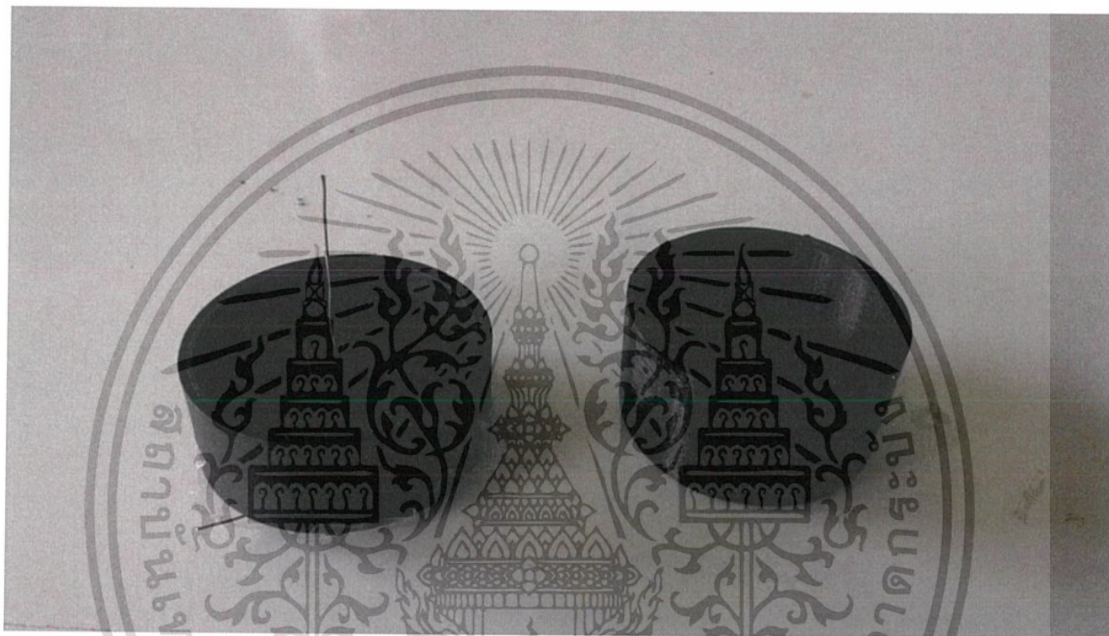
รูปที่ 3.14 แสดงการใช้งาน และหน้าต่างของโปรแกรมออริจิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสงด้วยเทคนิคโครโนแอมพิโรเมทรี โดยให้กระแสอิฟุตที่เหมาะสม หลังจากการทำและเก็บค่าสัญญาณที่ได้

3.5.1 เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1,2,3,4 และ 5 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ และผสมกับเมทิลีนบลู

3.5.2 ต่อขั้วอิเล็กโทรดเข้ากับเครื่อง Potentiostat โดยให้ขั้ว counter และ reference ต่อกับขั้วอิเล็กโทรด Ag/AgCl และขั้ว working เข้ากับขั้วอิเล็กโทรด Ag ออกแบบฝาปิดเครื่อง Spectrophotometer ด้วยโปรแกรม Inventor 2017 และ Print



รูปที่ 3.15 แสดงฝารอบเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ออกแบบใส่ใส่อิเล็กโทรดลงไปนสารตัวอย่างได้ขณะทำการวัดด้วยแสง

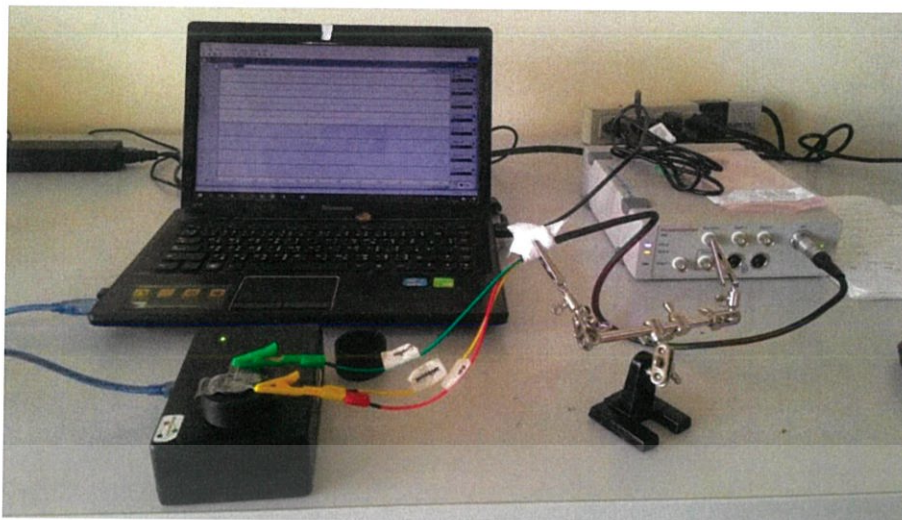
3.5.3 ใส่สารตัวอย่างลงในควอตซ์ ที่จุ่มอิเล็กโทรดซึ่งต่อกับเครื่อง Potentiostat ลงในสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.5.4 ใช้โปรแกรม E-chart ในการปล่อยกระแสอิฟุต

3.5.5 เลือกที่ chanel 3 ต่อมาเลือก Potentiostat และเลือก Real จากนั้นป้อนค่า Voltage ที่เหมาะสมลงไป

3.5.6 ทำการวัดด้วยแสง โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

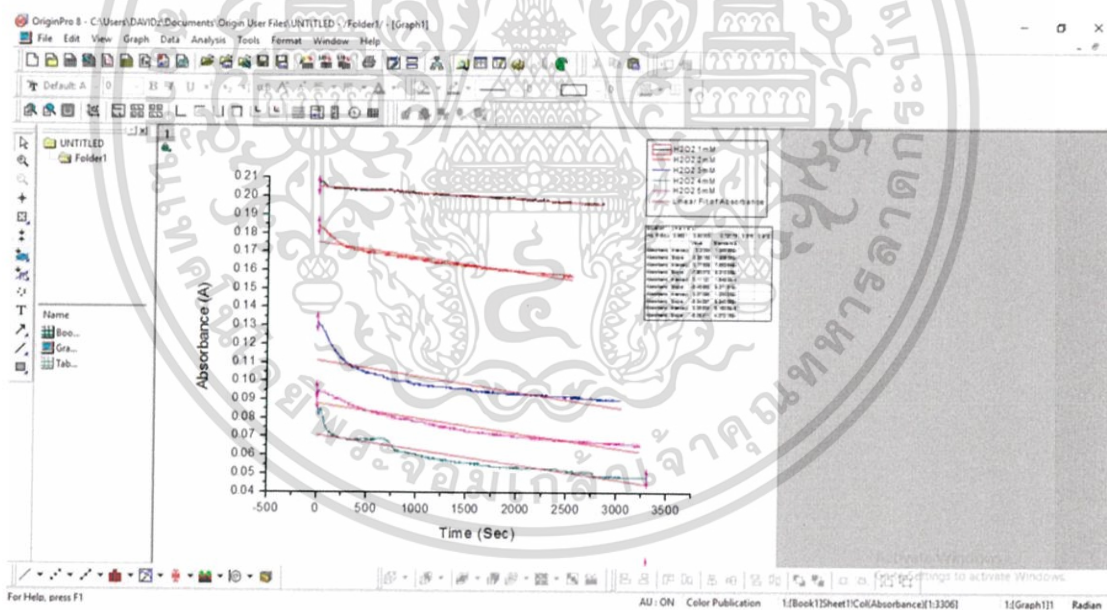
3.5.7 บันทึกผลที่ได้



รูปที่ 3.16 แสดงการเชื่อมต่ออิเล็กทรอนิกส์และการวัดโดย spectrophotometer

3.6 วิเคราะห์ผลค่าของสัญญาณ หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ

3.6.1 fit linear โดยใช้โปรแกรม origin หาค่าความชันของกราฟ



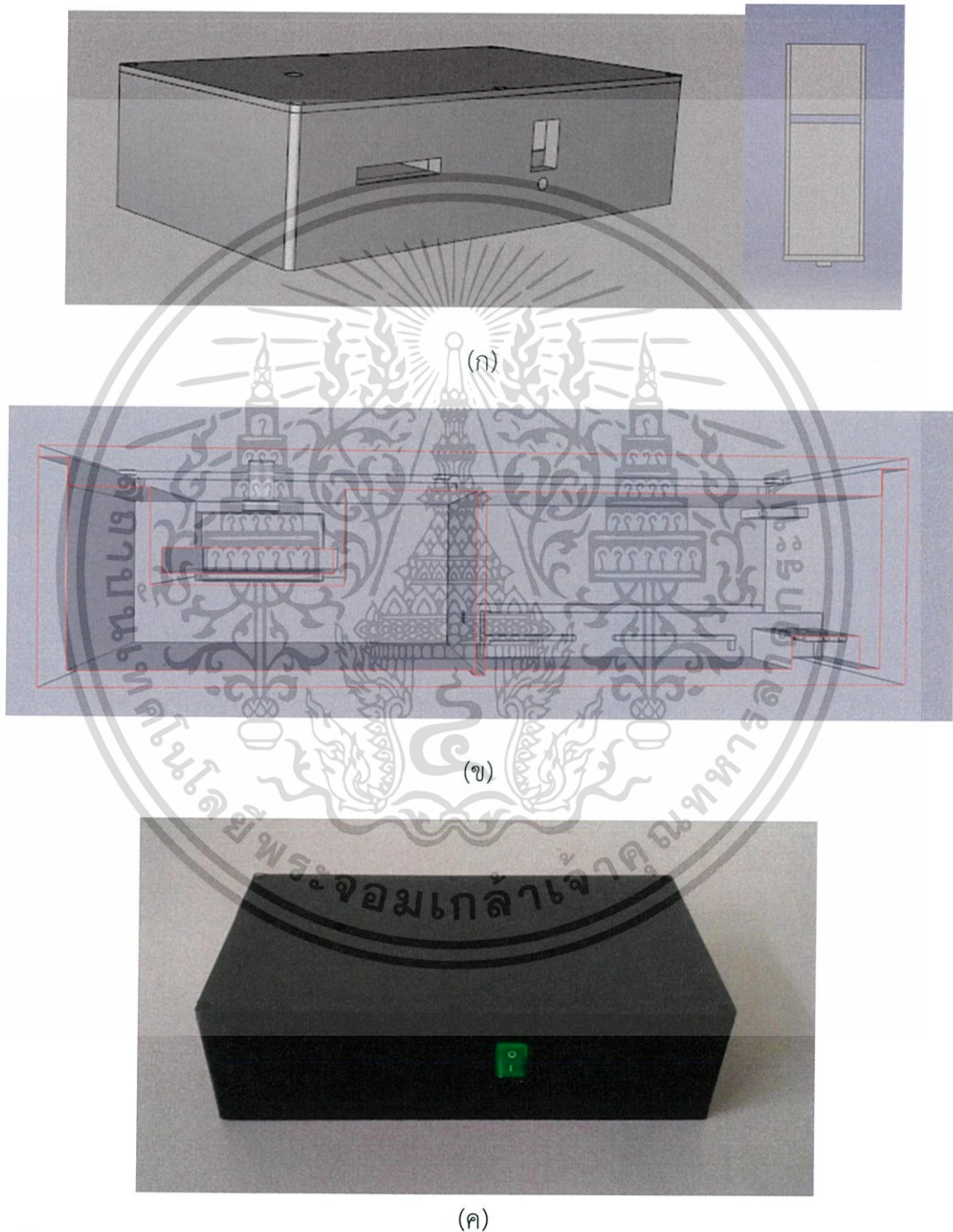
รูปที่ 3.17 แสดงการใช้โปรแกรมออริจินเพื่อ fit linear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแบบใช้แสง

3.7.1 ออกแบบอุปกรณ์

ทำการออกแบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับตัวกระจกสไลด์ โดยแบ่งให้เป็นส่วนของวงจร และ ส่วนของ LED ซึ่งแยกออกจากกันโดยผนังกัน เพื่อให้ฝั่ง LED มีดมมากที่สุด และออกแบบให้มีช่อง สำหรับใส่สล๊อต (Slot) เพื่อให้ง่ายต่อการนำเอากระจกสไลด์เข้าหรือออกจากอุปกรณ์ โดยออกแบบ ให้สล๊อตมีช่องผ่านของแสงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

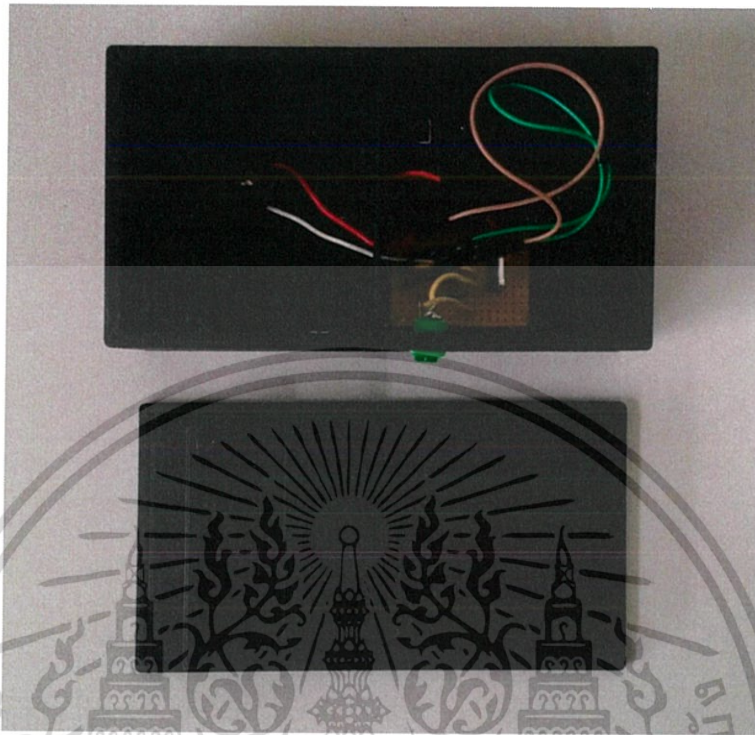


รูปที่ 3.18 ภาพแสดงอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ออกแบบขึ้น โดยเป็นภาพ 3 มิติ (ก), ภาพตัดขวาง (ข) และอุปกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว (ค) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 Battery & LED

แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นถ่าน 9 โวลต์ และใช้วงจรช่วยในการจ่ายไฟให้กับ LED เนื่องจาก LED มีกำลังค่อนข้างสูงแต่ไม่เป็นอันตราย



รูปที่ 3.19 ภาพวงจรภายในอุปกรณ์ตรวจวัด

3.8 ทดลองเคลือบกระจกสไลด์ด้วยเมทิลีนบลู โดยใช้ Conductive Polymer

3.8.1 เตรียมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ใส่ในขวดสเปรย์

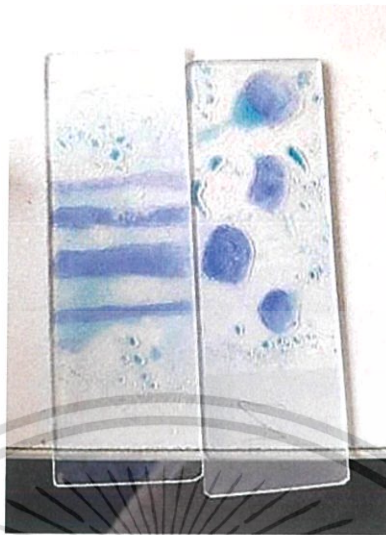
3.8.2 เตรียมสารพอลิเมอร์ตัวนำ (Conductive Polymer) แล้วนำพู่กันจุ่มลงไปในสารละลายพอลิเมอร์ตัวนำ ปาดตรงบริเวณที่ต้องการถ่ายภาพที่...



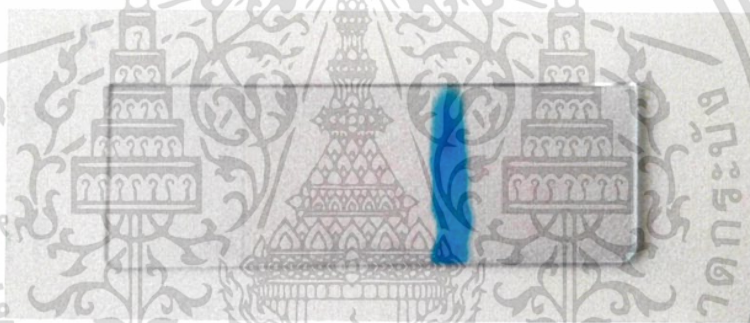
รูปที่ 3.20 ภาพแสดงขั้นตอนการเคลือบเมทิลีนบลูลงบนกระจกสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 ทำการสเปรย์เมทิลีนบลู ลงบนกระจกสไลด์ เมื่อขึ้นเป็นสีฟ้าแล้วให้ใช้น้ำ Deionization ล้างเอาส่วนที่ไม่ต้องการออก จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง



รูปที่ 3.21 แสดงขั้นตอนการเคลือบเมทิลีนบลูบนกระจกสไลด์



รูปที่ 3.22 ภาพแสดงกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู เสร็จสมบูรณ์แล้ว

3.9 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัด

3.9.1 ตรวจสอบว่าต้องการอุปกรณ์ที่ตรวจวัดปล่อยแสงออกมาในรูปแบบของค่าความถี่ที่ต้องการหรือไม่

3.9.2 วางกล้องโทรศัพท์มือถือลงบนช่องที่ปล่อยแสงออกมาจากอุปกรณ์ตรวจวัด
ถ่ายภาพ

3.9.3 ส่งภาพไปยังโปรแกรม CellPhoneSpec

3.9.4 เลือกพื้นที่ที่สนใจในการที่จะตรวจสอบความเข้มของสี

3.9.5 ลากเส้นผ่านพื้นที่ที่สนใจโดยให้ปลายสเปกตรัมสีน้ำเงินอยู่ทางด้านซ้าย และปลายสเปกตรัมสีแดงอยู่ทางด้านขวามือ

3.9.6 บันทึกผลค่าสัญญาณแสงหรือสเปกตรัม ที่อ่านได้จากโปรแกรม CellPhoneSpec

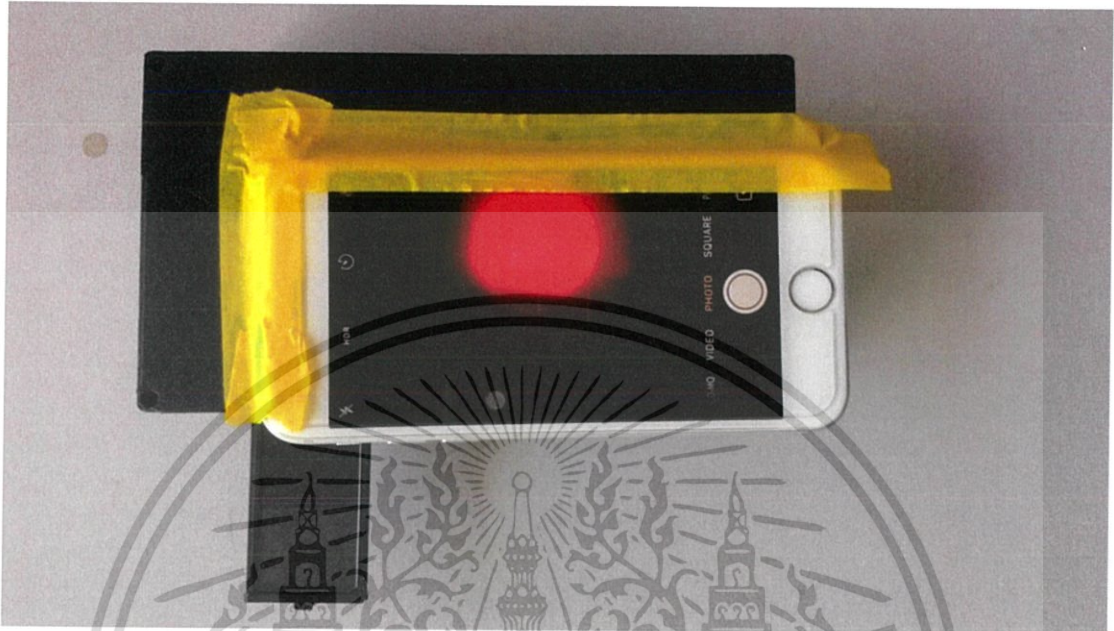
3.9.7 วิเคราะห์ผล สรุปผล และวิจารณ์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 ทดลองใช้อุปกรณ์วัดร่วมกับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู

3.10.1 ถ่ายรูปกระจกที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู ก่อนทำการหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.10.2 หยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลงบนกระจกสไลด์ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ



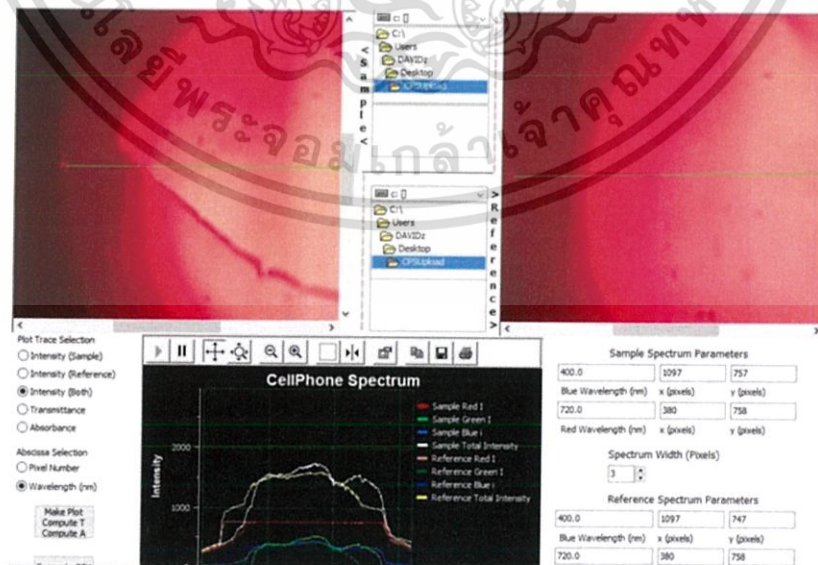
รูปที่ 3.23 แสดงการใช้มือถือร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัด

3.10.3 ถ่ายภาพสไลด์ก่อนทำปฏิกิริยาเพื่อใช้เป็นภาพอ้างอิง

3.10.4 ทรระยะเวลาทำปฏิกิริยาประมาณ 20 นาที จากนั้นนำสไลด์ไปใส่ในอุปกรณ์ตรวจวัด

3.13.5 ถ่ายภาพที่ได้

3.13.6 นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม CellPhoneSpec



รูปที่ 3.24 แสดงการใช้ CellPhoneSpec ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.13.7 เลือกพื้นที่ที่สนใจในการที่จะตรวจสอบความเข้มของสี
- 3.13.8 ลากเส้นผ่านพื้นที่ที่สนใจโดยให้ปลายสเปกตรัมสีน้ำเงินอยู่ทางด้านซ้าย และปลายสเปกตรัมสีแดงอยู่ทางด้านขวามือ
- 3.13.9 บันทึกผลค่าสัญญาณแสงหรือสเปกตรัม ที่อ่านได้จากโปรแกรม CellPhoneSpec
- 3.13.10 วิเคราะห์ผล สรุปลผล และวิจารณ์ผล

3.11 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 1

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีพ.ศ. 2559				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. คิดหัวข้อโครงการ					
2. ศึกษาวิธีการตรวจคัดกรองผู้ป่วยเบาหวานเบื้องต้น วิธีการตรวจHbA1C, Immunoassay, Ellisa และศึกษา การทำงานของกลูโคสเซนเซอร์เบื้องต้น					
3. ค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่สามารถ นำมาใช้ เพื่อเป็นการบ่งบอกถึงระดับความเข้มข้นของ ระดับกลูโคสในเลือด					
4. ศึกษากระบวนการแปลงกลูโคสให้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (H ₂ O ₂) โดยใช้เอนไซม์ Glucose Oxidase (GOD)					
5. ศึกษากระบวนการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂)					
6. ติดต่อขอความอนุเคราะห์เครื่องมือจากคณะ วิทยาศาสตร์					
7. ติดต่อขอความอนุเคราะห์สารเคมี จาก มหาวิทยาลัยมหิดล					
8. ติดต่อขอพอลิเมอร์ตัวนำ (Conductive Polymer)					
9. ออกแบบการทดลองและทดสอบคุณสมบัติของ สารเคมี					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 2

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีพ.ศ. 2560				
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. วัดสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์ ออกไซด์ที่มีผลต่อสีของเมทิลีนบลู โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์					
2. วิเคราะห์ผลค่าของสัญญาณทางแสงของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์					
3. ศึกษาวิธีปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสงด้วยด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี					
4. ทำอิเล็กโทรด Ag/AgCl เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ					
5. ตรวจสอบประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดโดยการวัดค่า E^0 เทียบกับขั้ว Ag/AgCl มาตรฐาน					
6. ทำไซคลิกโวลทามเมทรีของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์					
7. ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณทางแสง ด้วยเทคนิคโครโนแอมพีโรเมทรี โดยให้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมหลังจากการทำไซคลิกโวลทามเมทรี และเก็บค่าสัญญาณที่ได้					
8. วิเคราะห์ผล ค่าของสัญญาณ หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ					
9. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแบบใช้แสงโดยใช้โปรแกรม และ 3D Printer					
10. ทดลองใช้อุปกรณ์วัดร่วมกับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยเมทิลีนบลู					
11. บันทึกผลค่าสัญญาณแสงที่อ่านได้					
12. วิเคราะห์ผล สรุปผล และวิจารณ์ผล					
13. จัดทำรูปเล่มและรายงานผล					

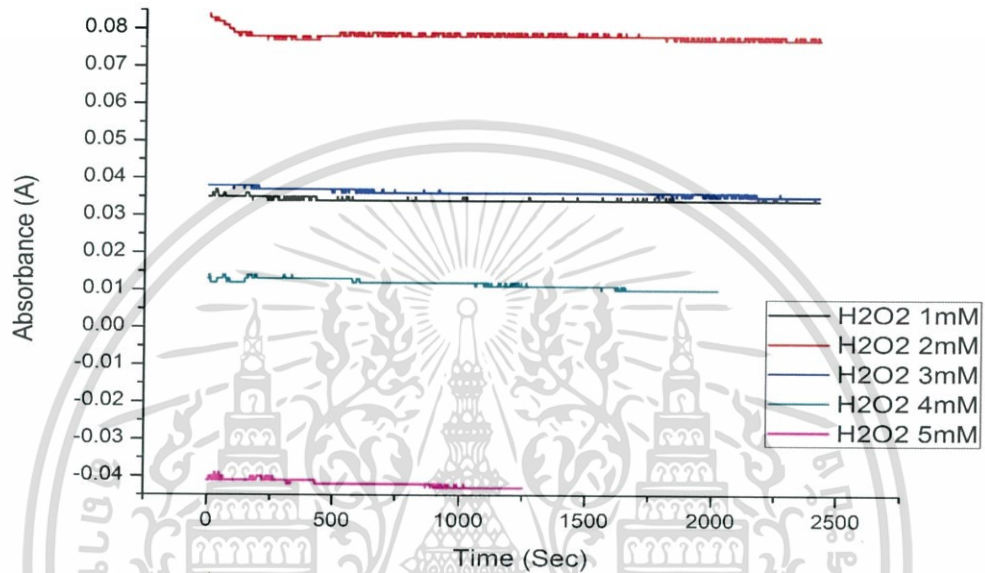
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

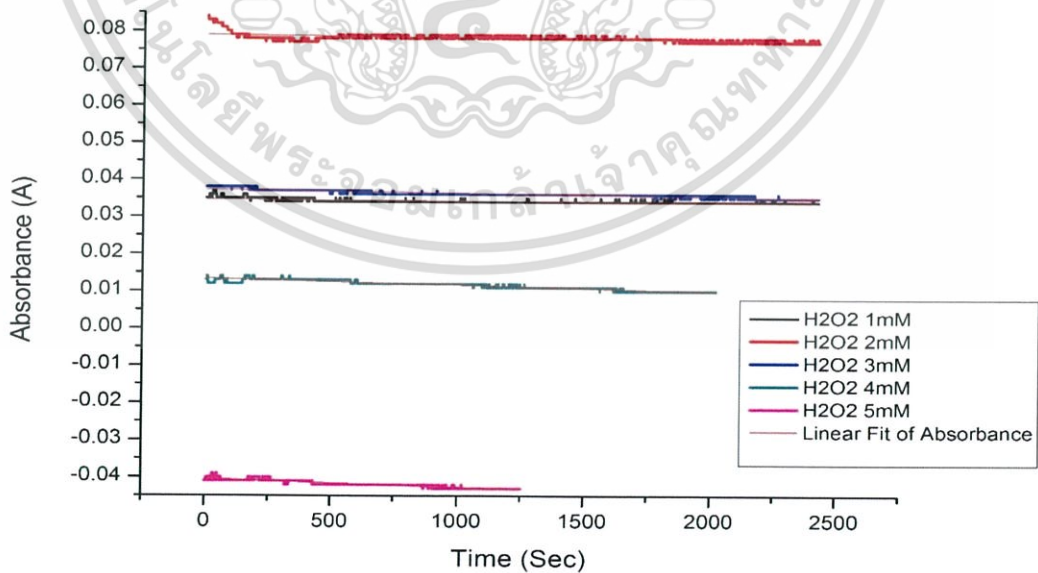
ผลการทดลอง

4.1 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนของแสงกับสารตัวอย่าง

นำคิวเวตต์ที่บรรจุสารตัวอย่างและทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง Spectrophotometer ในโหมด kinetic เพื่อติดตามปฏิกิริยา จะได้กราฟค่าการดูดกลืนเทียบกับเวลาดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นเมื่อเทียบกับเวลา หลังจากใช้โปรแกรมออริจินทำการ fit linear จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสง (A) ของแต่ละความเข้มข้นเมื่อเทียบกับเวลาเมื่อทำการ fitting linear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความชันของกราฟ และค่า R-square

Equation	$y = a + b*x$				
Adj. R-Square	0.28437	0.24769	0.73363	0.85832	0.82755
	Value		Standard Error		
Absorbance H2O2 1 mM	Intercept	0.03461	1.55E-05		
	Slope	-3.44E-07 -0.000000343699	1.11E-08		
Absorbance H2O2 2 mM	Intercept	0.07897	3.42E-05		
	Slope	-6.90E-07 -0.000000689815	2.44E-08		
Absorbance H2O2 3 mM	Intercept	0.03732	1.60E-05		
	Slope	-9.32E-07 -0.000000931741	1.14E-08		
Absorbance H2O2 4 mM	Intercept	0.0134	1.84E-05		
	Slope	-1.74E-06 -0.00000174343	1.58E-08		
Absorbance H2O2 5mM	Intercept	-0.04045	2.09E-05		
	Slope	-2.24E-06 -0.00000223601	2.88E-08		

สังเกตว่าค่า R ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ และ 2 มิลลิโมลาร์ มีค่า $r^2 = 0.2$ ซึ่งมีความเป็นเชิงเส้น (linear) น้อย โดยที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีค่าต่ำจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าความชันของกราฟมีค่าน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเคลื่อนโพละเงินด้วยคลอไรด์เพื่อนำไปทำขั้วอิเล็กโทรดเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณการวัดทางแสง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ เกิดฟองอากาศขึ้นที่โลหะด้านที่เชื่อมต่อกับ Reference และ Counter electrode ขณะที่โลหะที่เชื่อมต่อกับ Working electrode จะเห็นว่ามีส่วนเกิดขึ้นบนลวดโลหะ เนื่องจากคลอไรด์ไอออน (Cl^-) มาเกาะบริเวณขั้วโพละเงินนั้น



รูปที่ 4.3 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะทำการเคลือบอิเล็กโทรด

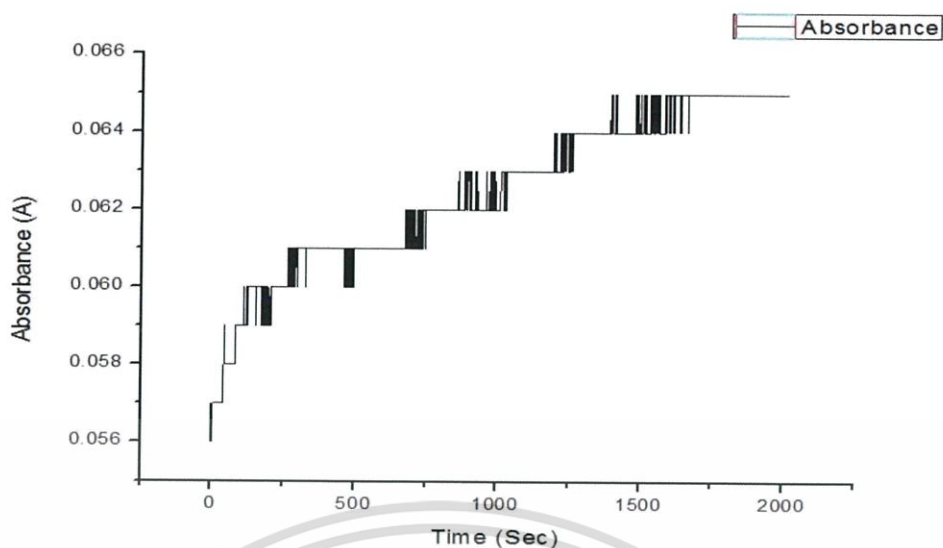
4.3 การทดลองวัดค่า E^0 ของอิเล็กโทรด

เพื่อหาประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดที่สร้างขึ้น เมื่อเทียบกับอิเล็กโทรดมาตรฐาน ทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานอิเล็กโทรด (E^0) ของอิเล็กโทรดที่สร้างขึ้นมา เทียบกับขั้วอิเล็กโทรดมาตรฐาน Ag/AgCl ได้ค่า $E^0 = -0.0748$ โวลต์ ซึ่งมีค่าติดลบเนื่องจากอาจต่อสลับขั้ว และจะเห็นได้ว่าค่าเข้าใกล้ศูนย์ถือว่ามีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับขั้วอิเล็กโทรดมาตรฐาน

4.4 การทดลองปรับปรุงค่าสัญญาณการดูดกลืนของแสงกับสารตัวอย่าง

เพื่อให้โมเลกุลของสารละลายหรืออิเล็กตรอนในสารละลายเกิดการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้การวัดค่าสัญญาณทางแสงมีแนวโน้มชัดเจนและคาบการแกว่งที่น้อยลง จากนั้นทำการจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารตัวอย่างและทำการวัดทางแสง แล้วบันทึกผลสัญญาณที่ได้ ได้กราฟดังนี้

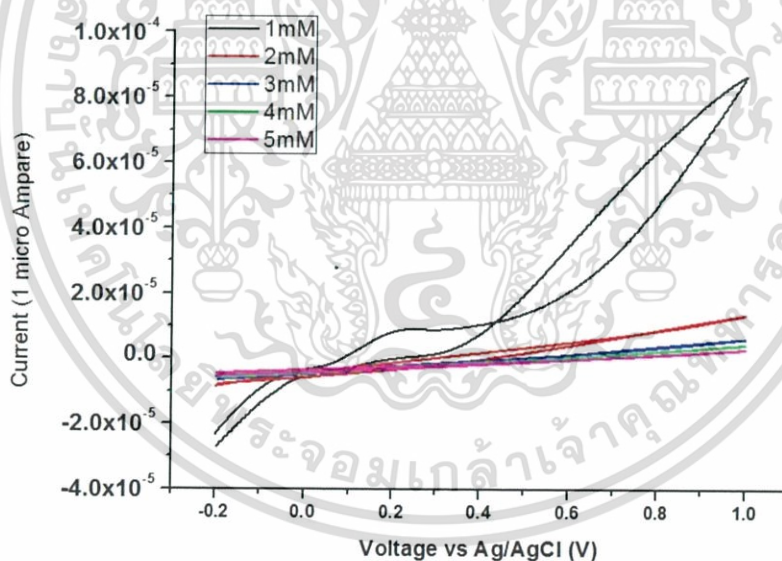
1



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงสัญญาณหลังใช้อิเล็กโทรดจุ่มลงในสารละลาย

4.5 การทดลองไซคลิกโวลทามเมตรี

เพื่อหาค่ากระแสอินพุตที่เหมาะสมต่อสารละลายในความเข้มข้นต่างๆ ใช้อิเล็กโทรด Ag/AgCl และ Ag ช่วงการสแกนตั้งแต่ -200 ถึง 1000 ได้กราฟดังนี้

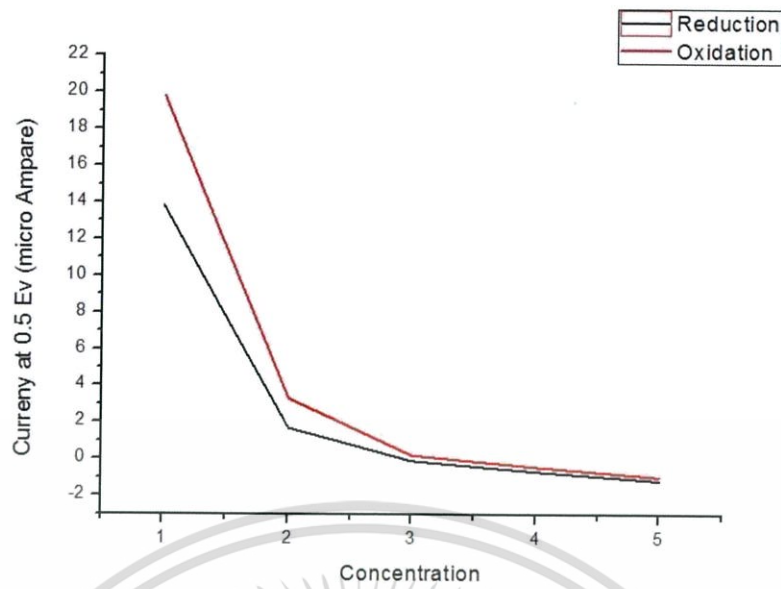


รูปที่ 4.5 แสดงผลที่ได้จากการทำ Cyclic Voltammetry

เมื่อนำค่าอินพุตโวลต์เทจที่สนใจมาสร้างกราฟ เป็นกราฟความสัมพันธ์ของกระแสต่อความเข้มข้น จะได้กราฟลักษณะดังนี้

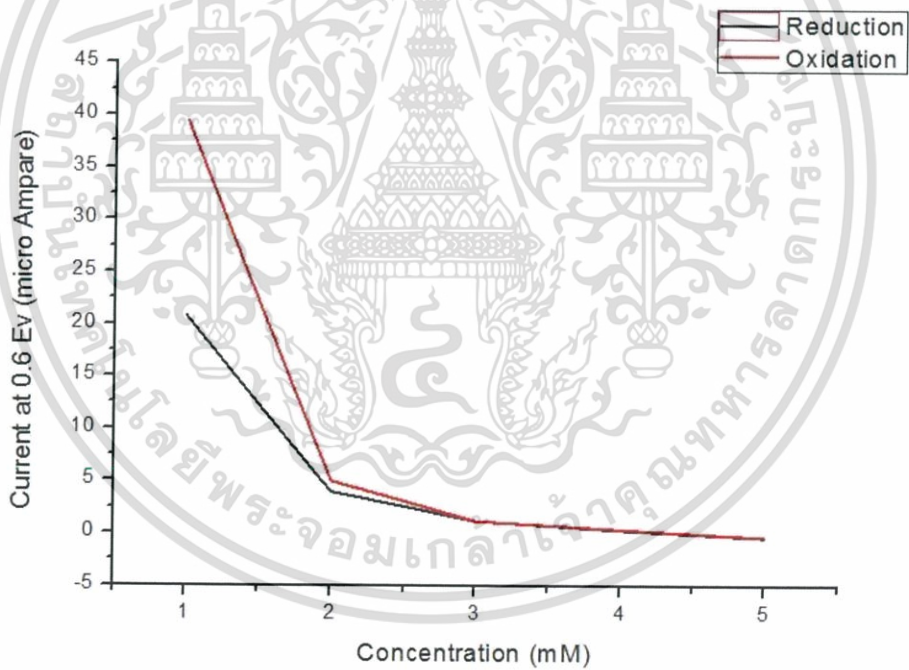
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1



รูปที่ 4.6 แสดงค่ากระแสที่ได้จากการการใส่ความต่างศักย์ 0.5 โวลต์

1

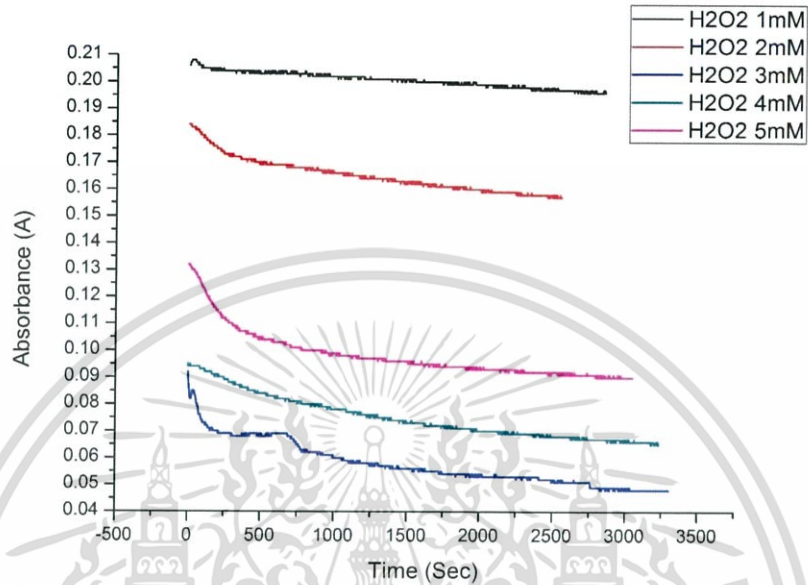


รูปที่ 4.7 แสดงแสดงค่ากระแสที่ได้จากการการใส่ความต่างศักย์ 0.6 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

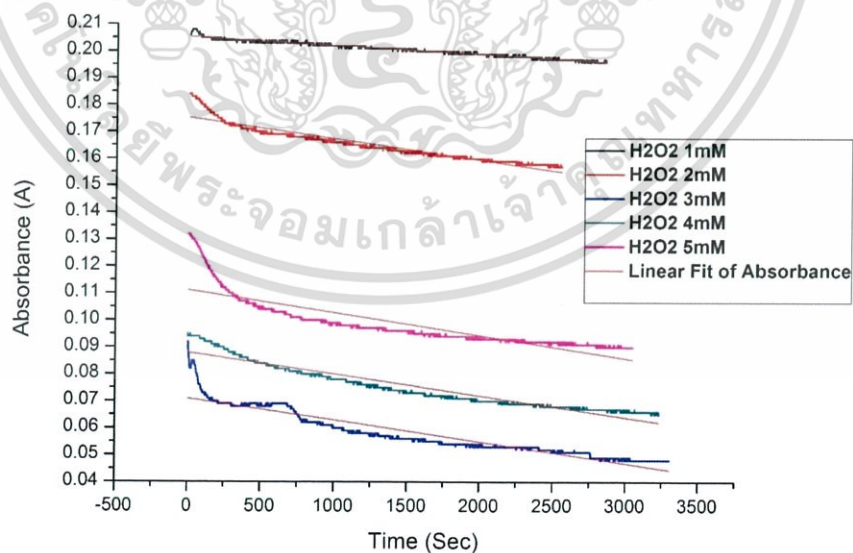
4.6 การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณการวัดค่าทางแสงโดยการใส่อิเล็กทรอนิกส์และป้อนอินพุตที่เหมาะสม หลังจากการทำไซคลิกโวลทามเมทรี

ทำการปรับปรุงลดคาบการแกว่งของสัญญาณโดยการป้อนกระแสอินพุตที่เหมาะสมกับความเข้มข้นของสารละลายในแต่ละความเข้มข้นจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ

คำนวณอัตราปฏิกิริยาจากการประมาณค่าเชิงเส้น (Linear fitting) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ และการทำ linear fitting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

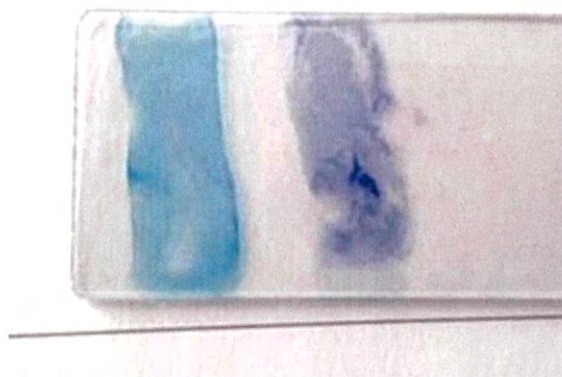
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความชันของกราฟ และค่า R-square

Equation	$y = a + b*x$				
Adj. R-Square	0.96219	0.90003	0.87695	0.91294	0.72775
	Value		Standard Error		
Absorbance H2O2 1mM	Intercept	0.2054	1.99E-05		
	Slope	-3.25E-06 -0.00000325152	1.21E-08		
Absorbance H2O2 2mM	Intercept	0.17529	7.68E-05		
	Slope	-7.90E-06 -0.00000790072	5.21E-08		
Absorbance H2O2 3mM	Intercept	0.07098	1.00E-04		
	Slope	-8.04E-06 -0.00000804297	5.24E-08		
Absorbance H2O2 4mM	Intercept	0.08804	8.16E-05		
	Slope	-8.05E-06 -0.00000805211	4.37E-08		
Absorbance H2O2 5mM	Intercept	0.11121	1.65E-04		
	Slope	-8.46E-06 -0.00000845962	9.37E-08		

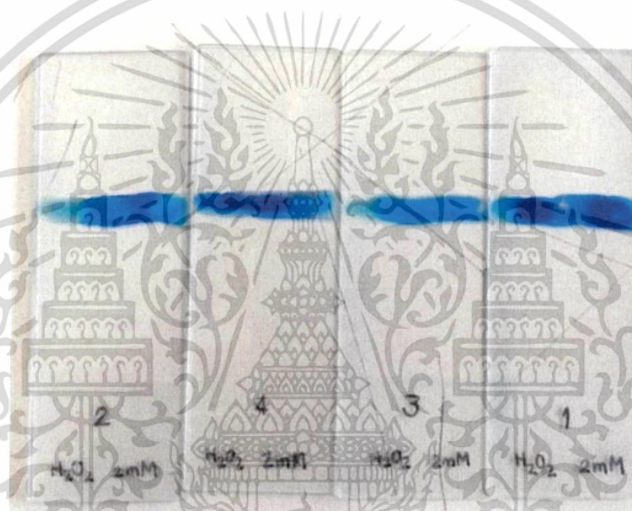
4.7 การทดลองออกแบบอุปกรณ์ในการวัดความเข้มของเมทิลีนบลู

การเคลือบสารเมทิลีนบลูสีฟ้าลงบนกระจกสไลด์ โดยใช้พอลิเมอร์ตัวนำ ทั้งนี้ในการเคลือบกระจกสไลด์นั้น ได้ทำการทดลองอยู่ 3 วิธีด้วยกันพบว่า เมื่อใช้เอทานอลผสมกับพอลิเมอร์ตัวนำสามารถใช้ได้แต่ตัวชั้นของพอลิเมอร์ตัวนำจะเกาะกระจกได้ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับใช้พอลิเมอร์ความเข้มชั้นสูงเพียงตัวเดียวหรือใช้พอลิเมอร์ผสมขาว ซึ่งพอลิเมอร์ตัวนำที่ผสมขาวนั้นให้การยึดติดกับแผ่นสไลด์ได้ดีและเมื่อทำการสเปรย์สีเมทิลีนบลูลงบนแผ่นสไลด์ก็ให้สีที่สม่ำเสมอและเหมาะแก่การนำไปใช้ทางแสง หากแต่ไม่สามารถทดแทนการทำปฏิกิริยาได้ เพราะฉะนั้นในวิธีนี้พบว่า ไม่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ทดลอง ในขณะที่วิธีสุดท้ายคือ พอลิเมอร์ตัวนำที่ไม่ผสมสารอื่น พบว่าให้การยึดเกาะของชั้นพอลิเมอร์ได้ดี มีความสม่ำเสมอและ ส่งผลให้เมทิลีนบลูสามารถกระจายตัวได้อย่างดี ดังรูปที่ 4.10 ทั้งนี้ยังพบว่า เมื่อเก็บไว้เป็นเวลาหนึ่งวัน สีของเมทิลีนบลูที่ถูกพ่นลงบนกระจกสไลด์จะมีความชัดเจนมากขึ้น และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีอีกเมื่อเวลาผ่านไป

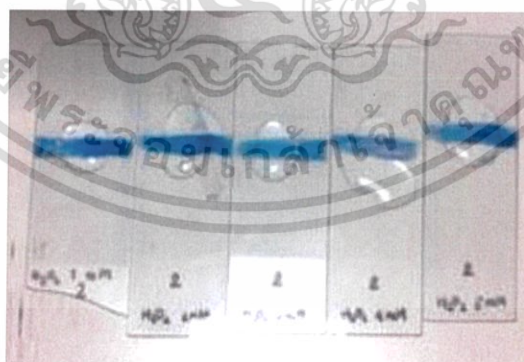
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงการเคลือบสีเมทิลินบลู โดยแถบทางด้านซ้าย เป็นแถบที่ใช้พอลิเมอร์ตัวนำที่ไม่ผสมสารอื่น ขณะที่แถบทางขวาใช้พอลิเมอร์ตัวนำที่ผสมกาวและเอทานอล ในอัตราส่วน 1:1:1



รูปที่ 4.11 ภาพแสดงกระจกสไลด์ที่พร้อมใช้งาน



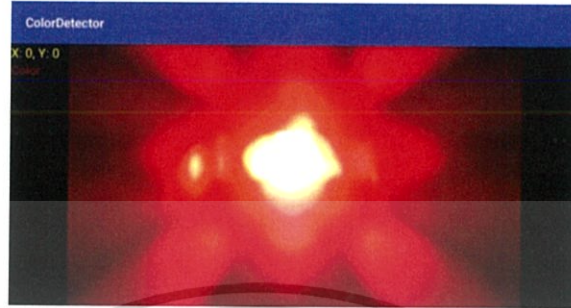
รูปที่ 4.12 ภาพแสดงการทำปฏิกิริยาระหว่างสีเมทิลินบลูกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.12 สังเกตว่า พอลิเมอร์ตัวนำสามารถให้สารสีเมทิลินบลูเกาะได้ดี และเมทิลินบลูยังสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นการฟอกสีได้ โดยขณะที่เกิดการทำปฏิกิริยากัน สีเมทิลินถูกฟอกให้จางลง แต่พอลิเมอร์ตัวนำยังเกาะกับสไลด์อยู่ ทำให้ไม่สามารถหลุดได้โดยง่าย

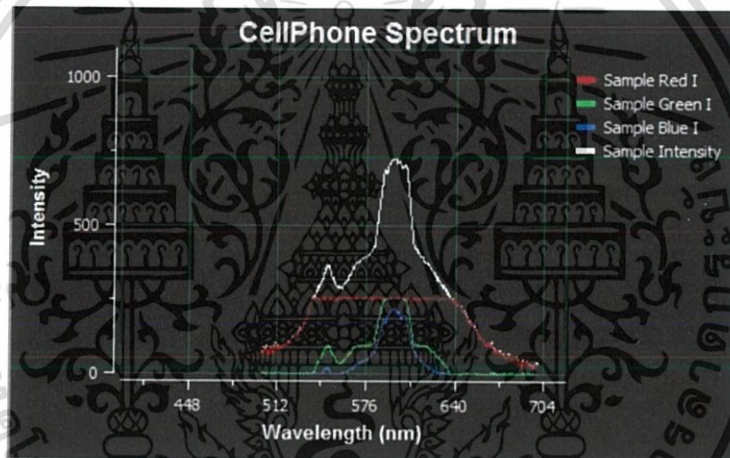
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การตรวจสอบแสงโดยอุปกรณ์ตรวจวัด

พบว่ามีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 608 นาโนเมตร



รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือ

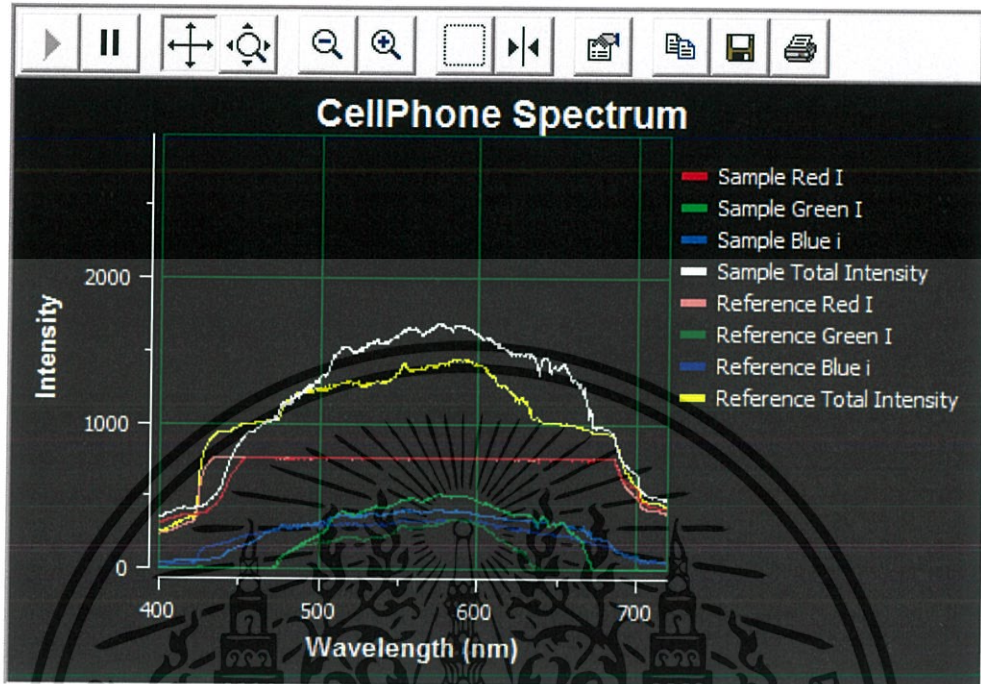


รูปที่ 4.14 ค่าสเปกตรัมและค่าintensity ที่ได้จากการวิเคราะห์

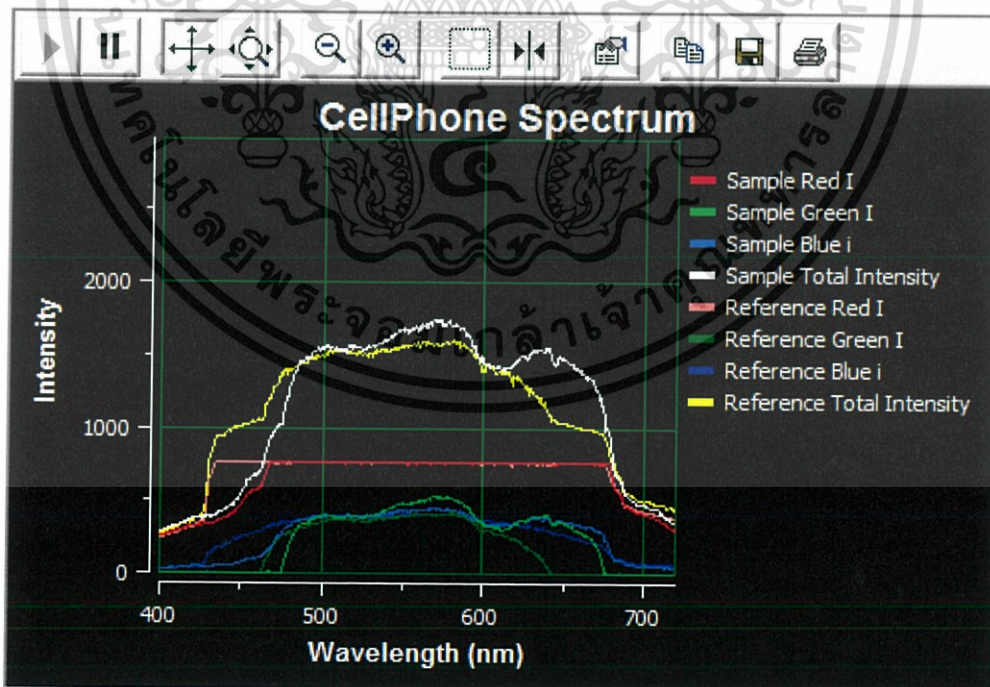
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ผลจากการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดและการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec เพื่อตรวจวัดสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป

ทดลองหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงบนแผ่นสไลด์แล้วถ่ายภาพผ่านอุปกรณ์ตรวจวัด

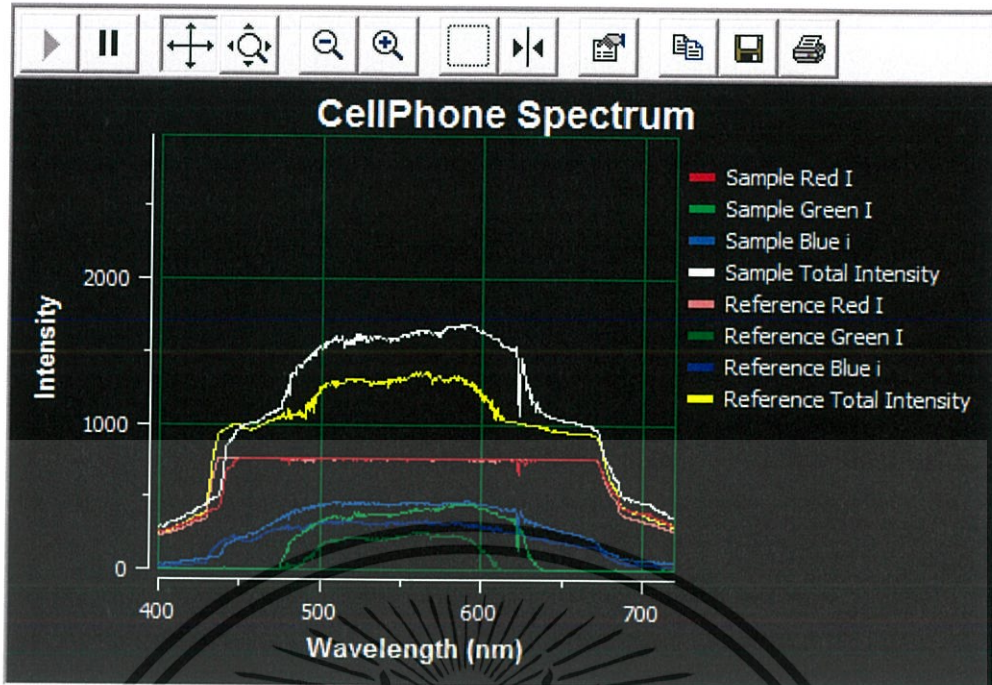


รูปที่ 4.15 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิโมลาร์ ลงบนกระจกสไลด์

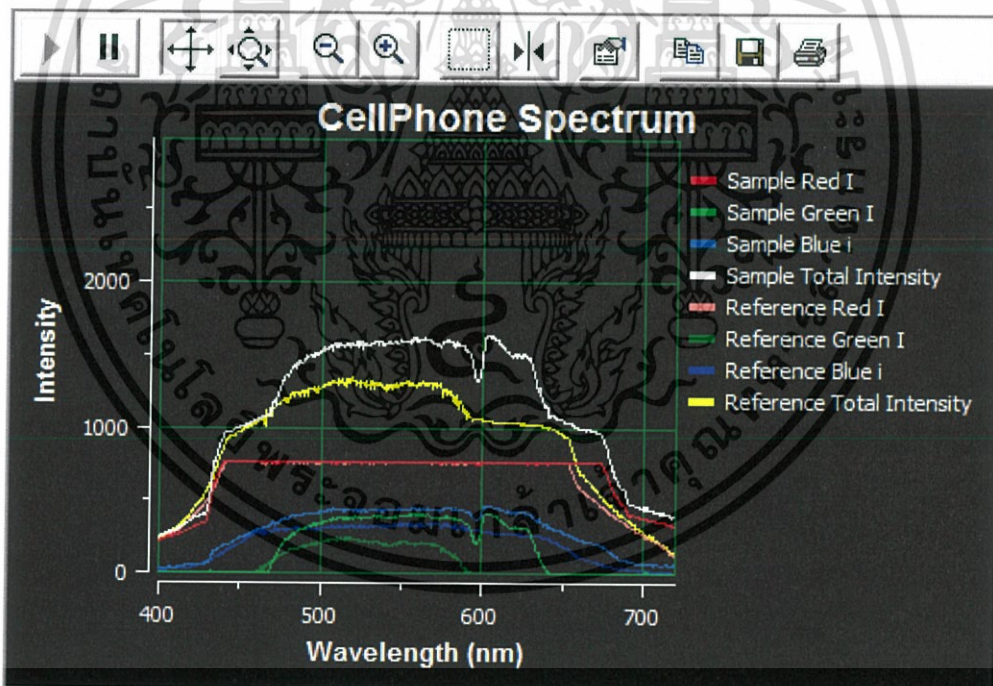


รูปที่ 4.16 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มิลลิโมลาร์ ลงบนกระจกสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

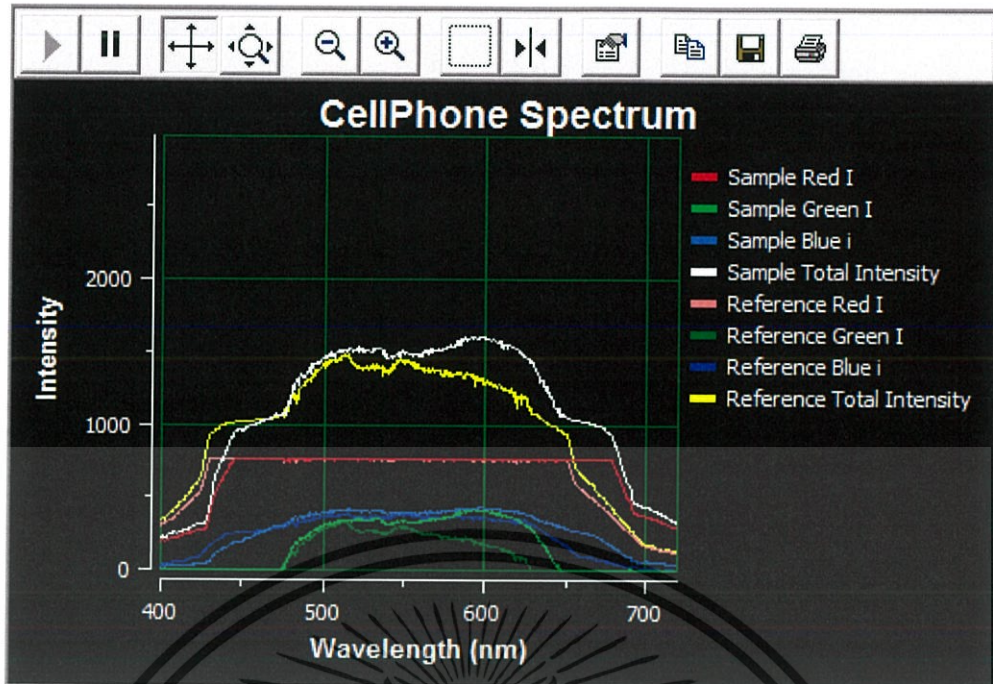


รูปที่ 4.17 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 มิลลิเมตร ลงบนกระจกสไลด์



รูปที่ 4.18 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4 มิลลิเมตร ลงบนกระจกสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงผลจากการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec วิเคราะห์ เมื่อหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 มิลลิโมลาร์ ลงบนกระจกสไลด์

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงสีน้ำเงิน พบว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารอ้างอิง แสดงให้เห็นว่าสีน้ำเงินมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มไป หรืออาจจะสามารถพิจารณาจากจุดที่ความยาวคลื่น 608 นาโนเมตร แล้วจะพบว่าในช่วงแสงสีแดงซึ่งถูกปล่อยผ่านสไลด์ออกมา มีค่า พบว่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารอ้างอิง แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการจางของสีน้ำเงินของเมทิลีนบลูลงไปย่อมจะทำให้แสงสีแดงในช่วงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ผ่านกระจกสไลด์มาได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความเข้มแสงของสารตัวอย่างในช่วง 600 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นจากค่าความเข้มแสงของสารอ้างอิง แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสง A จากสมการ $-\log(I_0/I)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

การทดลองวัดค่าสัญญาณทางแสงของเมทิลีนบลูที่มีผลต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆพบว่าแนวโน้มของค่าการดูดกลืนมีค่าลดลง แต่มีค่าการแกว่งของสัญญาณอยู่มากอยากที่จะสามารถอ่านค่าได้เมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป โดยที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะมีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนมากกว่า เมื่อเทียบกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ดังแสดงในตารางค่าความชันและอาร์สแควร์

การเคลือบอิเล็กโทรดซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ $Ag/AgCl$ และการวัดค่า E^0 ของอิเล็กโทรดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขั้วอิเล็กโทรดมาตรฐาน ขณะที่ทำการเคลือบอิเล็กโทรดพบว่า มีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ขั้วของ reference electrode และ counter electrode ขณะที่ working electrode มีสีเข้มขึ้น ฟองอากาศที่เกิดขึ้นคือฟองของแก๊สไฮโดรเจน ส่วนสีดำของ working electrode นั้นคือคลอไรด์ (Cl^-) มาเกาะบนลวดโลหะเงิน

การวัดค่า E^0 ของขั้วอิเล็กโทรดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขั้วอิเล็กโทรดมาตรฐาน พบว่ามีค่า E^0 เท่ากับ -0.0748 โวลต์ ซึ่งมีค่าติดลบเนื่องจากอาจต่อสลับขั้ว และจะเห็นได้ว่าค่าเข้าใกล้ศูนย์ถือว่ามีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับขั้วอิเล็กโทรดมาตรฐาน

การทดลองปรับปรุงคุณภาพสัญญาณด้วยวิธีการโครโนแอมเพโรเมทรี เมื่อใส่อิเล็กโทรดลงในคิวเวตต์ที่อยู่ในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์พร้อมทั้งให้ความต่างศักย์ผ่านขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองที่ 0.2 โวลต์ พบว่ากราฟค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งกลับจากการวัดในครั้งแรก

การทดลองไซคลิกโวลทามเมทรี เพื่อหาค่าอินพุตที่เหมาะสมในสารละลายแต่ละความเข้มข้นเมื่อทำการวัดไซคลิกโวลทามเมทรีของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆพบว่าช่วงที่ค่าความชันของกราฟของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แต่ละความเข้มข้นเริ่มจะเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ค่าความต่างศักย์ประมาณ 0.5 โวลต์ ถึง 0.6 โวลต์ จึงทำการหาค่ากระแสที่เทียบกันในช่วง 0.5 โวลต์ และ 0.6 โวลต์พบว่า ที่ 0.5 โวลต์จะมีความต่างของกระแสเอาต์พุตที่ได้ ต่างมากกว่า 0.6 โวลต์ จึงเลือกที่จะป้อนอินพุตเป็น 0.5 โวลต์ เพื่อต้องการทำการปรับปรุงค่าของสัญญาณทางแสงต่อไป

การทดลองปรับปรุงคุณภาพสัญญาณด้วยวิธีการโครโนแอมเพโรเมทรีโดยป้อนความต่างศักย์ที่เหมาะสม พบว่าแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มลดลงและมีการแกว่งของสัญญาณน้อยลงเมื่อทำ linear fitting พบว่าให้ค่าอาร์สแควร์อยู่ที่ค่าที่ยอมรับได้ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะมีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนมากกว่าเมื่อเทียบกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ดังแสดงในตารางค่าความชันและค่าอาร์สแควร์ การตรวจสอบแสงที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจวัด พบว่าแสงที่ออกมาอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 608 นาโนเมตร

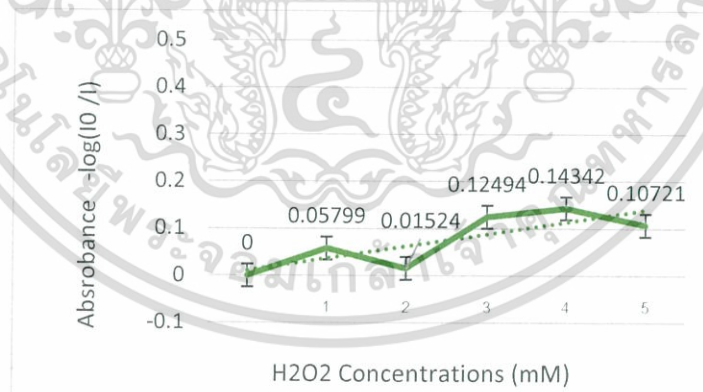
ผลจากการใช้อุปกรณ์ตรวจวัด และการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec ในการตรวจวัดสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป พบว่าเมื่อหยุดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงบนกระดาษกรองสีดำความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ย ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินของกระจกสไลด์ เมื่อเทียบกับก่อนหยดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่าสีน้ำเงินของเมทิลินบูลีนนั้นถูกชะออกไป โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสามารถใช้กล้องโทรศัพท์มือถือในการตรวจจับได้ เมื่อพิจารณาในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงสีน้ำเงิน พบว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารอ้างอิง แสดงให้เห็นว่าสีน้ำเงินมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มไป หรืออาจจะสามารถพิจารณาจากจุดที่ความยาวคลื่น 608 นาโนเมตร แล้วจะพบว่าในช่วงแสงสีแดงซึ่งถูกปล่อยผ่านสไลด์ออกมามีค่า พบว่าความเข้มแสงเฉลี่ยของสารตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า Total intensity ของ reference แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการจางของสีน้ำเงินของเมทิลินบูลีนลงไปยังอมจะทำให้แสงสีแดงในช่วงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ผ่านกระจกสไลด์มาได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความเข้มแสงของสารตัวอย่างในช่วง 600 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นจากค่าความเข้มแสงของสารอ้างอิง ซึ่งเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ ของค่าการดูดกลืนแสง A จากสมการ $-\log(I_0/I)$ ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Absorbance ที่ได้จากการคำนวณระหว่าง Intensity at 608 nm ของ Reference (I_0) และ Sample (I)

H2O2 Concentrations (mM)	Intensity at 608 nm		Absorbance $-\log(I_0 / I)$
	Reference(I_0)	Sample(I)	
1	1400	1600	0.05799
2	1400	1450	0.01524
3	1200	1600	0.12494
4	1150	1600	0.14342
5	1250	1600	0.10721



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงแนวโน้มการดูดกลืนแสงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 มิลลิโมลาร์ ถึง 5 มิลลิโมลาร์

เห็นได้ว่าผลของค่าการดูดกลืนแสงนั้นไม่เป็นไปตามแนวโน้มกับค่าความเข้มข้นทั้งนี้เนื่องจากการทดลอง การวางอุปกรณ์ตรวจวัดอาจทำให้มีแสงจากภายนอกเข้ามาในระบบ ทำให้ค่าอาจผิดเพี้ยนออกไปจากความเป็นจริง วิธีการที่จะสร้างหรือปรับปรุงระบบการวัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้นผู้จัดทำได้เขียนวิธีเพิ่มเติมไว้ในข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ปัญหาที่พบ

การตรวจจับสีที่ได้อาจมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่ตรงกับสีที่แท้จริงบ้างเนื่องจากการรบกวนจากแสงจากภาวะแวดล้อม เราจึงต้องควบคุมแสงจากภาวะแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่การสร้าง Black Box

5.2.1 การเคลือบเมทิลีนบลูบนกระจกสไลด์โดยใช้ฟู่กันทำให้เมทิลีนบลูที่ถูกเคลือบนั้นไม่เรียบเนียนจำเป็นจะต้องถ่ายรูปก่อนทำการหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นรูปร่างเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงภายหลังที่หยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้ว

5.2.2 สเปกตรัมที่วัดได้จากการส่องผ่านของแสงสีแดงที่พบช่วงของสีอื่นปรากฏนั้นมาจากแสงสีขาวยุติอาจมาจากช่องว่างระหว่างกล้องและอุปกรณ์ตรวจวัดทำให้มีแสงสีขาวเข้ามารบกวนอาจทำให้ค่าของการวัดมีความคลาดเคลื่อนออกไปบ้าง

5.2.3 ผลจากการใช้อุปกรณ์ตรวจวัด และการใช้โปรแกรม CellPhoneSpec ในการตรวจวัดสเปกตรัมที่เปลี่ยนไปนั้นอาจจะมีค่าไม่แม่นยำพอเนื่องจากใช้กล้องโทรศัพท์มือถือวางอยู่ข้างนอกอาจทำให้มีแสงผ่านเข้าไปรบกวนการวัดได้

5.3.4 ปกติในกลูโคสไปโอเซนเซอร์ กลูโคสสามารถถูกแปลงไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส การแปลงค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กลับไปเป็นค่าความเข้มข้นของกลูโคสเราจะพิจารณาค่า Activity ของเอนไซม์ โดยเอนไซม์สามารถแปลงกลูโคส 1 หน่วยเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้กี่หน่วย

5.3.5 การหาค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจจะพิจารณาอัตราของการวัดสัญญาณทางแสง ในช่วงเวลาใดช่วงเวลานึง ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะเกิดอัตราของปฏิกิริยาการฟอกสีไม่เท่ากัน แต่มีแนวโน้มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เช่น ในช่วงเวลา 0 นาที – 20 นาที ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่น้อยกว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการศึกษาปฏิกิริยาเคมีและการใช้กล้องโทรศัพท์มือถือตรวจสอบหรือติดตามผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น การที่เราจะตรวจจับกลูโคสจริงในเลือดได้นั้นอาจจะมี การใช้เอนไซม์ที่มีความจำเพาะเจาะจงเข้ามาช่วยร่วมทำปฏิกิริยาเพื่อแปลงกลูโคสที่อยู่ในเลือดใน กลายเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และตรวจจับโดยกระบวนการในโครงการนี้ได้

นอกจากนี้เรายังสามารถประยุกต์ใช้วิธีการตรวจไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อตรวจวัดใน ปัสสาวะของผู้ป่วยเพื่อนำไปวิเคราะห์สภาวะ oxidative stress ของผู้ป่วยได้อีกด้วย

ทั้งนี้ทั้งนั้นรูปแบบของโครงการนี้ยังเหมาะสมและเอื้ออำนวยต่อการประยุกต์นำเอาเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการทดสอบนี้ และเนื่องจากรูปแบบการใช้แผ่นสไลด์ทดลองและสารเคมีเอง ยังเหมาะสมในการเข้าถึงข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยหรือผู้รับการทดสอบในระดับลึกได้อีกด้วย ทำให้มีความทันสมัยและสามารถต่อยอดเป็นเทคโนโลยีที่เข้าสู่ตลาดได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Antonio et al. (2013): “Discoloration on Methylene Blue Solutions by Direct and Catalytic Ozonation”, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2013, 1, pp. 33-38.
- [2] Ibrahim, A. S., & Mohamed, S. E. (2000): “Kinetics and mechanism of color removal of methylene blue with hydrogen peroxide catalyzed by some supported alumina surfaces”, *Chemosphere*, 2000, 41, pp. 1173 – 1180.
- [3] Anna, K., Monika, L., & Karol, S. (2010): “Alkaline hydrogen peroxide as a degradation agent of methylene blue—kinetic and mechanistic studies”, *Reac Kinet Mech Cat*, 2010, 101, pp. 251–266.
- [4] Thomas, S. K., & Erik, C. J. (2016): “Teaching Beer’s Law and Absorption Spectrophotometry with a Smart Phone: A Substantially Simplified Protocol”, *J. Chem. Educ.*, 2016, 93 (7), pp. 1249–1252.
- [5] Urawadee, R., & Taweetham, L. (2016): “The blue bottle Experiment”, *Thai Science and Technology Journal*, 2016, 24, 1.
- [6] Rafia et al. (2006): “Aerobic Oxidation of D-Glucose by Methylene Green in Alkaline Aqueous Solution by Visible Spectrophotometry”, *J. of Applied Sci.*, 2006, 6 (13), pp. 2784-2788.
- [7] Sarah, J. H. (2009): “Dynamics of Methylene Blue-Glucose-O₂ System”, *Dynamics at the Horsetooth*, 2009, 1.
- [8] Siriwan, T., Supavadee, I., & Thanita, N. (2015): “Development of Biosensor for Detection of Hydrogen Peroxide Concentration by Immobilization of Horseradish Peroxidase on Polypyrrole and Gold Nanoparticles”, *Burapha Science Journal*, 2015, 20, 1, pp. 145-159.
- [9] Panatna, A., & Rina, P. (2013): “Advances in Biosensor Technology: Innovation to the Future”, *KKU Sci. J.*, 2013, 41(2), pp. 262-280.
- [10] ไม่ทราบชื่อผู้แต่ง. (2015).
โรค NCDs คืออะไร มีโรคอะไรบ้าง วิธีการรักษาโรค NCDs. สืบค้นจาก
www.เกียรติความรู้.net/ncds
- [11] Chinthusa, P. (2016, March 3). Number of Adults with Diagnosed vs Undiagnosed Diabetes Map of Number of People Diagnosed with Diabetes Top 25 Countries with the Highest Mortality Rates.
Retrieved from
https://public.tableau.com/shared/64357N6XP?:display_count=yes
- [12] IDF DIABETES ATLAS Seventh Edition, 2015
Retrieved from www.diabetesatlas.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Warren , & Mathew (2014, March 19). Smartphone spectrometer. [Web blog]
Retrieved from <https://publiclab.org/wiki/smartphone-spectrometer>
- [14] Voltammetry, (2016)
Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Voltammetry>
- [15] Saksri et al. (2012). Biosensor. [Electronic media].
Retrieved from www.il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/Eanal/anal_biosensor_2.htm
- [16] Norman, C. (2012, August 16). Tested: Macro Smartphone Photography with a \$2 Laser Pointer.
Retrieved from www.tested.com/tech/photography/207233-tested-macro-smartphone-photography-with-a-2-laser-pointer
- [17] Pavan, B. (2009). Creating a Nafion thin-film with a surface water layer in order to increase the accuracy of Neutron Reflectometry studies of lipid bilayers. [Presentation].
Retrieved from www.ncnr.nist.gov/programs/CHRNNS/pdf/HSI09_Bhargava.pdf
- [18] Gorman, E. S., & Shnyder, M. R. (1988): “*Effect of methylene blue on the absorbance of solutions of haemoglobin*”, Br J Anaesth. 1988, 60 (4), pp. 439-444.
- [19] Methylene blue, (2017)
Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Methylene_blue
- [20] Potentiostat, (2017)
Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Potentiostat>
- [21] Amperometry, (2016)
Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Amperometry>
- [22] Mohankumar, D. (2016, August 5). Low cost LED Driver. Start Up Project 22 [Web blog].
Retrieved from <https://dmohankumar.wordpress.com/2016/08/05/low-cost-led-driver-start-up-project-22/>
- [23] Brian, S., Vinodgopal, K., & Prashant, V. K. (2007): “*Proton Activity in Nafion Films: Probing Exchangeable Protons with Methylene Blue*”, Langmuir, 2007, 23, pp. 5471-5476.
- [24] Ziling, L., & Shaojun, D. (1988): “*Preparation and electrochemical behaviour of a methylene blue-modified electrode based on a Nafion polymer film*”, J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1, 1988, 9.
- [25] Nafion, (2016)
Retrieve from <https://en.wikipedia.org/wiki/Nafion>

- [26] Hong et al. (2007): “*Nafion-Methylene Blue Functional Membrane and Its Application in Chemical and Biosensing*”, *Analytical Letters*, 2007, 40(3), pp. 483-496.
- [27] Mika, M. A., Lorenz, K., & Szczurek, A. (1989): “*Photoreduction of methylene blue in nafion® membrane*”, *Journal of Membrane Science*, 1989, 41, pp. 163-176.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Method, Technique and Application

1. Amperometry

Amperometry in chemistry is detection of ions in a solution based on electric current or changes in electric current.

Amperometry is used in electrophysiology to study vesicle release events using a carbon fiber electrode. Unlike patch clamp techniques, the electrode used for amperometry is not inserted into or attached to the cell, but brought in close proximity of the cell. The measurements from the electrode originate from an oxidizing reaction of a vesicle cargo released into the medium. Another technique used to measure vesicle release is capacitive measurements.

Electrochemical or amperometric detection as it was first used in ion chromatography was single-potential or DC amperometry, useful for certain electrochemically active ions such as cyanide, sulfite, and iodide. The development of pulsed amperometric detection (PAD) for analytes that fouled electrode surfaces when detected eventually helped create a new category of ion chromatography for the determination of carbohydrates. Another advancement, known as integrated amperometry, has increased the sensitivity for other electrochemically active species, such as amines and many compounds that contain reduced sulfur groups that are sometimes weakly detected by PAD.

1.1. History

It was established that neurotransmitters could be electrochemically detected by placing a carbon electrode into tissue and recording the current from oxidizing neurotransmitters. One of the first measurements was made using an implanted carbon fiber electrode in the neostriatum of rats. Further work was done in chromaffin cells to investigate catecholamine release from large dense core vesicles.

1.2. Detection Method

1.2.1 Single-Potential Amperometry

Any analyte that can be oxidized or reduced is a candidate for amperometric detection. The simplest form of amperometric detection is single-potential, or direct current (DC), amperometry. A voltage (potential) is applied between two electrodes positioned in the column effluent. The measured current changes as an electroactive analyte is oxidized at the anode or reduced at the cathode. Single-potential amperometry has been used to detect weak acid anions, such as cyanide and sulfide, which are problematic by conductometric methods. Another, possibly more important

advantage of amperometry over other detection methods for these and other ions, such as iodide, sulfite, and hydrazine, is specificity. The applied potential can be adjusted to maximize the response for the analyte of interest while minimizing the response for interfering analytes.

1.2.2. Pulsed Amperometry (pulsed amperometric detection, PAD)

An extension of single-potential amperometry is pulsed amperometry, most commonly used for analytes that tend to foul electrodes. Analytes that foul electrodes reduce the signal with each analysis and necessitate cleaning of the electrode. In pulsed amperometric detection (PAD), a working potential is applied for a short time (usually a few hundred milliseconds), followed by higher or lower potentials that are used for cleaning the electrode. The current is measured only while the working potential is applied, then sequential current measurements are processed by the detector to produce a smooth output. PAD is most often used for detection of carbohydrates after an anion exchange separation, but further development of related techniques show promise for amines, reduced sulfur species, and other electroactive compounds.

1.3 Principle

In order to record vesicle fusion, a carbon fiber electrode is brought close to the cell. The electrode is held at a positive potential, and when the cargo from a fused vesicle is near the electrode, oxidation of the cargo transfers electrons to the electrode. This causes a spike, the size of which can be used to estimate the number of vesicles, and the frequency gives information about the release probability.

2. Potentiostat

2.1 introduction

A potentiostat is the electronic hardware required to control a three electrode cell and run most electroanalytical experiments. A Bipotentiostat and polypotentiostat are potentiostats capable of controlling two working electrodes and more than two working electrodes, respectively.

The system functions by maintaining the potential of the working electrode at a constant level with respect to the reference electrode by adjusting the current at an auxiliary electrode. It consists of an electric circuit which is usually described in terms of simple op amps.

2.2 Primary use

This equipment is fundamental to modern electrochemical studies using three electrode systems for investigations of reaction mechanisms related to redox chemistry

and other chemical phenomena. The dimensions of the resulting data depend on the experiment. In voltammetry, electric current in amps is plotted against electric potential in voltage. In a bulk electrolysis total coulombs passed (total electric charge) is plotted against time in seconds even though the experiment measures electric current (amperes) over time. This is done to show that the experiment is approaching an expected number of coulombs.

Most early potentiostats could function independently, providing data output through a physical data trace. Modern potentiostats are designed to interface with a personal computer and operate through a dedicated software package. The automated software allows the user rapidly to shift between experiments and experimental conditions. The computer allows data to be stored and analyzed more effectively, rapidly, and accurately than historic methods.

3. Voltammetry

Voltammetry is a category of electroanalytical methods used in analytical chemistry and various industrial processes. In voltammetry, information about an analyte is obtained by measuring the current as the potential is varied.

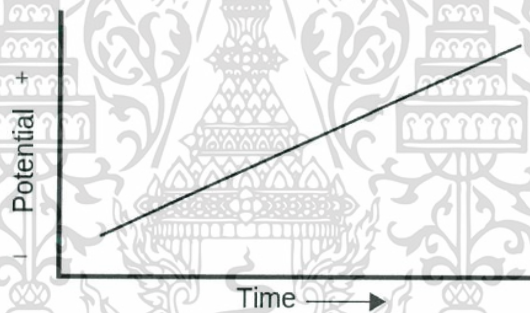


Fig 1. Linear potential sweep

3.1 Three electrode system

Voltammetry experiments investigate the half-cell reactivity of an analyte. Voltammetry is the study of current as a function of applied potential. These curves $I = f(E)$ are called voltammograms. The potential is varied arbitrarily either step by step or continuously, or the actual current value is measured as the dependent variable. The opposite, i.e., amperometry, is also possible but not common. The shape of the curves depends on the speed of potential variation (nature of driving force) and on whether the solution is stirred or quiescent (mass transfer). Most experiments control the potential (volts) of an electrode in contact with the analyte while measuring the resulting current (amperes).

To conduct such an experiment one requires at least two electrodes. The working electrode, which makes contact with the analyte, must apply the desired

potential in a controlled way and facilitate the transfer of charge to and from the analyte. A second electrode acts as the other half of the cell. This second electrode must have a known potential with which to gauge the potential of the working electrode, furthermore it must balance the charge added or removed by the working electrode. While this is a viable setup, it has a number of shortcomings. Most significantly, it is extremely difficult for an electrode to maintain a constant potential while passing current to counter redox events at the working electrode.

To solve this problem, the roles of supplying electrons and providing a reference potential are divided between two separate electrodes. The reference electrode is a half cell with a known reduction potential. Its only role is to act as reference in measuring and controlling the working electrode's potential and at no point does it pass any current. The auxiliary electrode passes all the current needed to balance the current observed at the working electrode. To achieve this current, the auxiliary will often swing to extreme potentials at the edges of the solvent window, where it oxidizes or reduces the solvent or supporting electrolyte. These electrodes, the working, reference, and auxiliary make up the modern three electrode system.

There are many systems which have more electrodes, but their design principles are generally the same as the three electrode system. For example, the rotating ring-disk electrode has two distinct and separate working electrodes, a disk and a ring, which can be used to scan or hold potentials independently of each other. Both of these electrodes are balanced by a single reference and auxiliary combination for an overall four electrode design. More complicated experiments may add working electrodes as required and at times reference or auxiliary electrodes.

In practice it can be important to have a working electrode with known dimensions and surface characteristics. As a result, it is common to clean and polish working electrodes regularly. The auxiliary electrode can be almost anything as long as it doesn't react with the bulk of the analyte solution and conducts well. It is (or was?) common to use mercury as working electrode e.g. DME and HMDE, and also as auxiliary, and the voltammetry method is then known as polarography. The reference is the most complex of the three electrodes; there are a variety of standards used and it is worth investigating elsewhere. For non-aqueous work, IUPAC recommends the use of the ferrocene/ferrocenium couple as an internal standard. In most voltammetry experiments, a bulk electrolyte (also known as a supporting electrolyte) is used to minimize solution resistance. It is possible to run an experiment without a bulk electrolyte, but the added resistance greatly reduces the accuracy of the results. With room temperature ionic liquids, the solvent can act as the electrolyte.

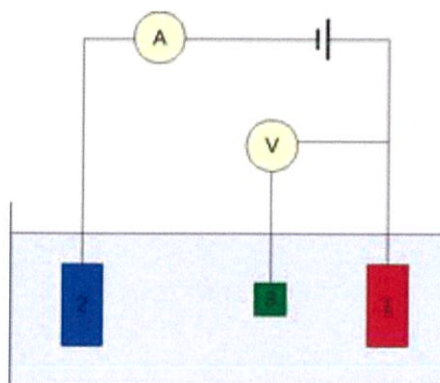


Fig 2. Three-electrode setup: (1) working electrode; (2) counter electrode; (3) reference electrode

3.2 Theory

Data analysis requires the consideration of kinetics in addition to thermodynamics, due to the temporal component of voltammetry. Idealized theoretical electrochemical thermodynamic relationships such as the Nernst equation are modeled without a time component. While these models are insufficient alone to describe the dynamic aspects of voltammetry, models like the Tafel equation and Butler-Volmer equation lay the groundwork for the modified voltammetry relationships that relate theory to observed results.

3.3 History

The beginning of voltammetry was facilitated by the discovery of polarography in 1922 by the Nobel Prize-winning chemist Jaroslav Heyrovský. Early voltammetric techniques had many problems, limiting their viability for everyday use in analytical chemistry. In polarography, these problems included the fact that Mercury is oxidized at a potential that is more positive than +0.2, which makes it harder to analyze that results for the analytes in the positive region of the potential. Another problem included the residual current obtained from the charging of the large capacitance of the electrode surface. When Heyrovsky first recorded the first dependence on the current flowing through the dropping mercury electrode on the applied potential in 1922, he took point-by-point measurements and he plotted a current-voltage curve. This was considered to be the first polarogram. In order to facilitate this process, he constructed what is now known as a polarograph with M. Shikata and, with enabled him to record photographically the same curve in a matter of hours. He gave recognition to the importance of potential and its control and also recognized the opportunities of measuring the limiting currents. He was also an important part of the introduction of dropping mercury electrode as a modern-day tool.

In 1942 Archie Hickling built the first three electrodes potentiostat, which was an advancement for the field of electrochemistry. He used this potentiostat to control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the voltage of an electrode. In the meantime, the late 1940s, Kenneth Cole invented an electronic circuit which he called a voltage clamp. The voltage clamp was used to analyze the ionic conduction in nerves.

The 1960s and 1970s saw many advances in the theory, instrumentation, and the introduction of computer added and controlled systems. Modern polarographic and voltammetric methods on mercury electrodes came about in three sections.

The first section includes the development of the mercury electrodes. The following electrodes were produced: dropping mercury electrode, mercury streaming electrode, hanging mercury drop electrode, static mercury drop electrode, mercury film electrode, mercury amalgam electrodes, mercury microelectrodes, chemically modified mercury electrodes, controlled growth mercury electrodes, and contractible mercury drop electrodes.

There was also an advancement of the measuring techniques used. These measuring techniques include: classical DC polarography, oscillopolarography, Kaloussek's switcher, AC polarography, fast polarography, normal pulse polarography, differential pulse polarography, square-wave voltammetry, cyclic voltammetry, anodic stripping voltammetry, convolution techniques, and elimination methods.

Lastly, there was also an advancement of preconcentration techniques that produced an increased the sensitivity of the mercury electrodes. This came about through the development of anodic stripping voltammetry, cathodic stripping voltammetry and adsorptive stripping voltammetry. These advancements improved sensitivity and created new analytical methods, which prompted the industry to respond with the production of cheaper potentiostat, electrodes, and cells that could be effectively used in routine analytical work.

3.4 Application

3.4.1 Voltammetric sensors

A number of voltammetric systems are produced commercially for the determination of specific species that are of interest in industry and research. These devices are sometimes called electrodes but are, in fact, complete voltammetric cells and are better referred to as sensors. These sensors can be employed for the analysis of various organic and inorganic analytes in various matrices

3.4.2 The oxygen electrode

The determination of dissolved oxygen in a variety of aqueous environments, such as sea water, blood, sewage, effluents from chemical plants, and soils is of tremendous importance to industry, biomedical and environmental research, and clinical medicine. One of the most common and convenient methods for making such measurements is with the Clark oxygen sensor, which was patented by L.C. Clark, Jr.

4 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปสซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็น ค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation)

ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB, HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)

2.4.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงินโดยมีการรวมกันแบบ Additive ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode ray tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งานได้แต่ RGB_{CIE} และ RGB_{NTSC}

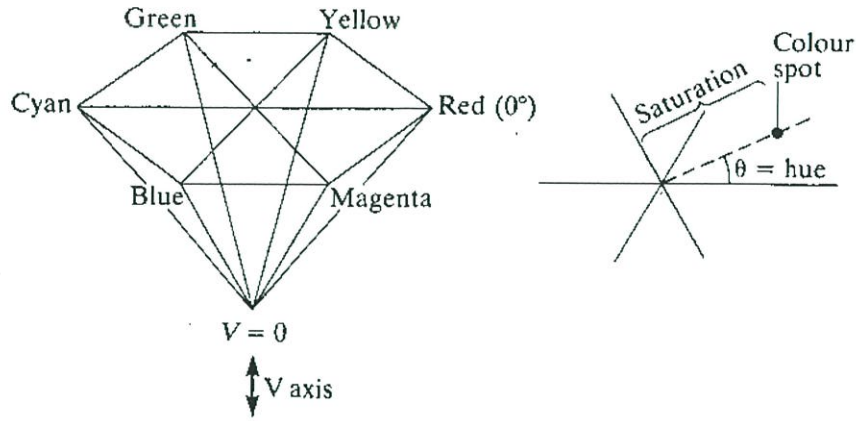
2.4.2 ระบบสี HSV

ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) เป็นการพิจารณาสีโดยใช้ Hue, Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก(แดง เขียวและน้ำเงิน)ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดง = 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา Hue สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ดังนี้

$$red_h = red - \min(red, green, blue) \quad (2.4.1)$$

$$green_h = green - \min(red, green, blue) \quad (2.4.2)$$

$$blue_h = blue - \min(red, green, blue) \quad (2.4.3)$$



รูปที่ 2.4.1 แสดงระบบสี HSV

จากลักษณะโมเดลของระบบ Hue พบว่าจะมีค่าน้อยหนึ่งค่าที่จะเท่ากับ 0 แต่ถ้ามีสองค่าเท่ากับ 0 แล้ว hue จะเป็นมุมของสี(ค่าสี)มีค่าเป็นไปตามสีที่สามและถ้าทั้งสามสีมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะทำให้ไม่มีค่าของ Hue หรือสีที่ได้จะมีค่าเท่ากับสีขาวนั่นเอง ตัวอย่างเช่น จอภาพขาว-ดำ ถ้าเกิดมีสีใดสีหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ค่าสีที่ได้เป็นไปตามสีที่เหลือ การให้น้ำหนักในการพิจารณาเมื่อสีแดงมีค่าเท่ากับ 0

$$\frac{(240 \times blue_h) + (120 \times green_h)}{blue_h + green_h} \quad (2.4.4)$$

Saturation คือความบริสุทธิ์ของสีซึ่งถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี Hue ซึ่งจะเป็นสีขาวล้วนแต่ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีแสงสีขาวผสมอยู่เลย Saturation สามารถคำนวณได้ดังนี้

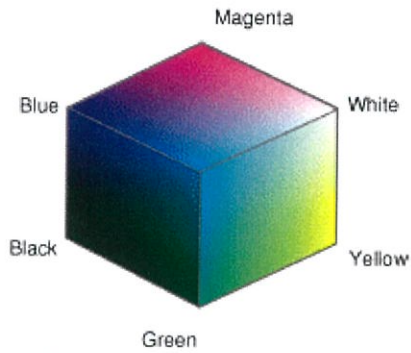
$$Saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{\max(red, green, blue)} \quad (2.4.5)$$

Value คือความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้โดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกันสามารถคำนวณได้จาก

$$value = \max(red, green, blue) \quad (2.4.6)$$

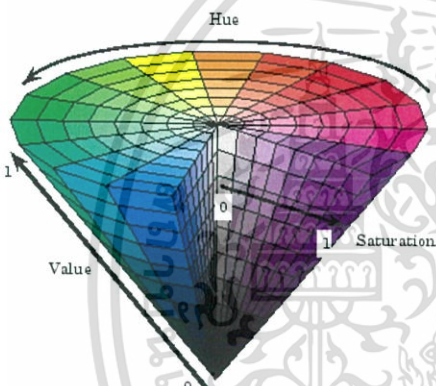
4.3 ปริภูมิสี RGB และปริภูมิสี HSV (HSV Color space and HSV Color space)

ปริภูมิสี RGB เป็นปริภูมิสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบภาพดิจิทัลคอมพิวเตอร์ โดยแทนค่าสีของจุดภาพแต่ละจุดภาพด้วยเวกเตอร์สามมิติ ซึ่งแทนค่าสีปฐมภูมิได้แก่ สีแดง, สีเขียว และ สีน้ำเงิน โดยมีช่วงของค่าสีระหว่าง 0-255 ซึ่งปริภูมิสี RGB จะมีลักษณะเป็นรูปลูกบาศก์ ดังรูป



รูปที่ 2.4.2 ปริภูมิสี RGB

ปริภูมิสี HSV ใช้หลักการแยกความสว่างออกจากเนื้อสีของจุดภาพ โดยปริภูมิสี HSV นั้นแทนค่าด้วยเวกเตอร์สามมิติ ซึ่งประกอบด้วย H แทนค่าเนื้อสี (Hue), S แทนค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) และ V แทนค่าความสว่างของแสง (Value) ซึ่งปริภูมิสี HSV จะมีลักษณะเป็นรูปกรวยดังรูป



รูปที่ 2.4.3 ปริภูมิสี HSV

4.4 การแปลงปริภูมิสี RGB มาเป็นปริภูมิสี HSV ทำได้โดย

$$H = \begin{cases} \delta, & B \leq G \\ 2\pi - \delta, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4.7)$$

$$\text{โดยที่ } \delta = \cos^{-1} \left(\frac{(R-G)+(R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)\cdot(G-B)}} \right) \quad (2.4.8)$$

$$S = -3 \cdot \frac{\text{Min}(R,G,B)}{R+G+B} \quad (2.4.9)$$

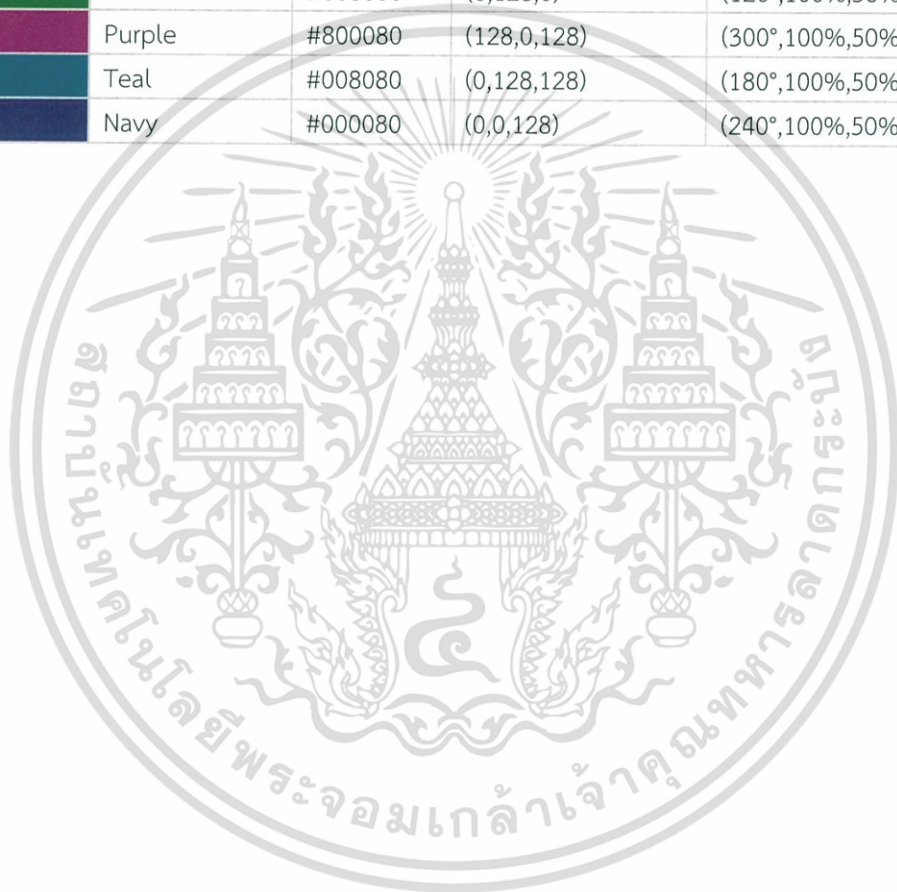
$$V = \frac{R+G+B}{3} \quad (2.4.10)$$

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าสีระบบ RGB และระบบ HSV

Color	Color name	Hex	(R,G,B)	(H,S,V)
	Black	#000000	(0,0,0)	(0°,0%,0%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	White	#FFFFFF	(255,255,255)	(0°,0%,100%)
	Red	#FF0000	(255,0,0)	(0°,100%,100%)
	Lime	#00FF00	(0,255,0)	(120°,100%,100%)
	Blue	#0000FF	(0,0,255)	(240°,100%,100%)
	Yellow	#FFFF00	(255,255,0)	(60°,100%,100%)
	Cyan	#00FFFF	(0,255,255)	(180°,100%,100%)
	Magenta	#FF00FF	(255,0,255)	(300°,100%,100%)
	Silver	#C0C0C0	(192,192,192)	(0°,0%,75%)
	Gray	#808080	(128,128,128)	(0°,0%,50%)
	Maroon	#800000	(128,0,0)	(0°,100%,50%)
	Olive	#808000	(128,128,0)	(60°,100%,50%)
	Green	#008000	(0,128,0)	(120°,100%,50%)
	Purple	#800080	(128,0,128)	(300°,100%,50%)
	Teal	#008080	(0,128,128)	(180°,100%,50%)
	Navy	#000080	(0,0,128)	(240°,100%,50%)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Operating System)

แอนดรอยด์ (Android) คือระบบปฏิบัติการสำหรับอุปกรณ์พกพา (mobile operating system) ที่สร้างขึ้นโดยใช้ kernel ของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) เป็นฐาน แรกเริ่มนั้นแอนดรอยด์ถูกพัฒนาโดยบริษัท Android Inc. ค.ศ. 2003 โดย Andy Rubin และ Rich Miner ต่อมาในปี ค.ศ. 2005 กูเกิลได้ซื้อกิจการของบริษัทนี้ ก่อนที่กูเกิลจะร่วมมือกับกลุ่มบริษัท ทางด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และการสื่อสาร เช่น Intel, HTC, LG, Texas Instruments จัดตั้งองค์กรความร่วมมือที่มีชื่อว่า Open Handset Alliance (OHA) ขึ้นในปี ค.ศ. 2007 โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างแพลตฟอร์ม (platform) สำหรับอุปกรณ์พกพาที่มีพื้นฐานอยู่บนมาตรฐานเปิด (open standard) ซึ่งโปรเจกต์แรกที่กลุ่ม OHA เปิดตัวออกมาก็คือแอนดรอยด์ ในชื่อโปรเจกต์ว่า The Android Open Source Project

แอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการที่ไม่มีผู้ครอบครองกรรมสิทธิ์ (non-proprietary) บริษัทผู้ผลิตหรือโอเพ่นซอร์ส (open source) จึงอนุญาตให้นักพัฒนาหรือผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดรหัสต้นฉบับ (Source Code) ได้ ทำให้มีผู้พัฒนาสามารถปรับแต่งและพัฒนาสร้างแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android ในแบบฉบับของตนเองมากขึ้น

1. ประเภทของระบบปฏิบัติการ Android

ระบบปฏิบัติการ Android โดยสามารถแบ่งประเภทของระบบ Android ออกเป็นกลุ่มๆ ได้ 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

1.1 Android Open Source Project (AOSP) เป็นระบบ Android ประเภทแรกที่ทางบริษัท Google เปิดให้สามารถนำ Source Code ไปติดตั้งและใช้งานในอุปกรณ์ต่างๆได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

1.2 Open Handset Mobile (OHM) เป็น Android ที่ได้รับการพัฒนาร่วมกับกลุ่ม Open Handset Alliance (OHA) ซึ่งบริษัทเหล่านี้จะพัฒนาระบบ Android ในแบบฉบับของตนเอง โดยมีรูปร่างหน้าตาการแสดงผล และฟังก์ชันการใช้งานที่แตกต่างกัน รวมไปถึงอาจจะมีความเป็นเอกลักษณ์และรูปแบบการใช้งานเป็นของแต่ละบริษัท และโปรแกรม Android ประเภทนี้ก็จะได้รับสิทธิบริการเสริมต่างๆ จาก Google ที่เรียกว่า GMS (Google Mobile Service) ซึ่งเป็นบริการเสริมที่ทำให้ระบบ Android มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั่นเอง

1.3 Cooking หรือ Customize เป็นระบบ Android ที่นักพัฒนานำเอาซอร์สโค้ดจากแหล่งต่างๆมาปรับแต่งให้อยู่ในแบบฉบับของตนเอง ซึ่งการพัฒนาจะต้องปลดล็อคสิทธิ์ในการใช้อุปกรณ์ (Unlock) เสียก่อนจึงจะติดตั้งได้ ทั้งนี้ระบบ Android ประเภทนี้ถือได้ว่าเป็นประเภทที่มีความสามารถสูงที่สุด เนื่องจากจะได้รับการปรับแต่งขีดความสามารถต่างๆให้มีความเข้ากันได้กับอุปกรณ์นั้นๆจากผู้ใช้งานจริง

2. เวอร์ชันของแอนดรอยด์

แอนดรอยด์จะผ่านการพัฒนาอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่เปิดตัวเวอร์ชัน 1.0 ในปี ค.ศ. 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางต่อไปนี้แสดงวันที่เปิดตัว, ชื่อรหัสหรือโค้ดเนม (codename) และ API level ของแอนดรอยด์เวอร์ชันต่างๆ (API level คือเลขเวอร์ชันที่ใช้อ้างอิงกันในกลุ่มของนักพัฒนา รวมถึงในเอกสารของแอนดรอยด์)

ตารางที่ 2.3 ตารางเวอร์ชันของแอนดรอยด์ที่ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 ถึง ค.ศ. 2016

Code name	Version number	Initial release date	API level	Support status
N/A	1.0	23/09/2008	1	Discontinued
	1.1	09/02/2009	2	Discontinued
Cupcake	1.5	27/04/2009	3	Discontinued
Donut	1.6	15/09/2009	4	Discontinued
Eclair	2.0 – 2.1	26/10/2009	5–7	Discontinued
Froyo	2.2 – 2.2.3	20/05/2010	8	Discontinued
Gingerbread	2.3 – 2.3.7	06/12/2010	9–10	Discontinued
Honeycomb	3.0 – 3.2.6	22/02/2011	11–13	Discontinued
Ice Cream Sandwich	4.0 – 4.0.4	18/10/2011	14–15	Discontinued
Jelly Bean	4.1 – 4.3.1	09/07/2012	16–18	Discontinued
KitKat	4.4 – 4.4.4	31/10/2013	19–20	Security updates only
Lollipop	5.0 – 5.1.1	12/11/2014	21–22	Supported
Marshmallow	6.0 – 6.0.1	05/10/2015	23	Supported
Nougat	7.0 – 7.1	22/08/2016	24–25	Supported

3. คุณสมบัติและความสามารถของแอนดรอยด์

3.1 การเชื่อมต่อ แอนดรอยด์สนับสนุนเทคโนโลยีการเชื่อมต่อ ได้แก่ GSM/EDGE, IDEN, CDMA, EV-DO, UMTS, Bluetooth, Wi-Fi, LTE, NFC, WiMAX

3.2 Messaging สนับสนุน SMS, MMS, Threaded Text Messaging และ Cloud To

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Device Messaging Framework (C2DM)

3.3 การจัดเก็บข้อมูล แอนดรอยด์มี SQLite ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ขนาดเล็ก (lightweight) ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการสนับสนุนการจัดเก็บฐานข้อมูล

3.4 เว็บเบราว์เซอร์ แอนดรอยด์ติดตั้งมาพร้อมกับโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ที่มีพื้นฐานมาจากซอฟต์แวร์เว็บคิต (WebKit) และใช้จาวาสคริปต์เอ็นจิน V8 ของเว็บเบราว์เซอร์ Google Chrome

3.5 มีเดีย (Media) สนับสนุนเสียง วิดีโอ และรูปภาพในฟอร์แมตยอดนิยมต่างๆ เช่น MPEG4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG และ PNG

3.6 สตริมีมิง (Streaming) สนับสนุน RTP/RTSP streaming และ HTML progressive download

3.7 สนับสนุนจาวา การพัฒนาแอปพลิเคชัน แอนดรอยด์จะใช้ภาษาจาวา โดยโค้ดจาวาที่คอมไพล์จะไม่รันใน Java Virtual Machine (JVM) เหมือนจาวาแอปพลิเคชันทั่วไป แต่จะรันใน Dalvik Virtual Machine ซึ่งเป็น VM ที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับอุปกรณ์พกพาโดยเฉพาะ

3.8 มัลติทัช (Multi-touch) รองรับการใช้นิ้วมือแตะหน้าจอเพื่อสั่งงานได้มากกว่า 1 จุดพร้อมกัน

3.9 มัลติทาสกิง (Multi-tasking) คือความสามารถในการรันหลายแอปพลิเคชันพร้อมกัน

3.10 Tethering (หรือ MObile Hotspot) คือความสามารถการแชร์อินเทอร์เน็ตผ่านมือถือหรืออุปกรณ์แอนดรอยด์

3.11 สนับสนุนฮาร์ดแวร์เสริมอื่นๆ เช่น กล้องถ่ายรูป (camera), GPS, Accelerometer, และเทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น

3.12 สนับสนุนหลายภาษา

4. สถาปัตยกรรมของแอนดรอยด์ (Android Architecture)

สถาปัตยกรรมของการออกแบบแอนดรอยด์ (Android Architecture) นั้นถูกแบ่งออกเป็นลำดับชั้นหรือจะเรียกว่า Layer โดยที่แต่ละชั้นจะเรียกใช้บริการจากระดับชั้นที่อยู่ด้านล่างของตัวเอง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชั้นหลักคือ

4.1 ชั้นลินุกซ์เคอร์เนล (Linux Kernel)

ระบบ Android อยู่บนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการ Linux โดยชั้น Linux Kernel นั้นมีฟังก์ชันการทำงานหลายส่วน ซึ่งแต่ละส่วนถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา C เช่น การจัดการหน่วยความจำ (Memory Management) การจัดการโพรเซส (Process Management) การเชื่อมต่อเครือข่าย (Networking) และฟังก์ชันการทำงานส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกับระบบปฏิบัติการ ทั้งนี้การพัฒนาจะไม่มีสิทธิเข้าถึงส่วนนี้ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามนักพัฒนาสามารถเข้าถึงระบบปฏิบัติการ Linux ได้จากชุดคำสั่ง Command Prompt เช่น adb shell ซึ่งจะสามารถใช้เครื่องมือต่างๆได้ เช่น การเข้าดูระบบไฟล์ (file System), โพรเซสการคัดลอกไฟล์ (Copy File) เป็นต้น

4.2 ชั้นไลบรารี (Library)

Android ได้รวบรวมได้รวบรวมกลุ่มของไลบรารีต่างๆ ที่สำคัญและมีความจำเป็นต่อการพัฒนาโปรแกรมเอาไว้มากมาย ซึ่งถูกเขียนไว้ด้วยภาษา C และ C++ โดยตัวอย่าง ของไลบรารีที่สำคัญคือ

1. System C library เป็นกลุ่มของไลบรารีมาตรฐานที่อยู่บนพื้นฐานของภาษา C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไลบรารี

2. Media Libraries เป็นกลุ่มการทำงานมัลติมีเดีย เช่น ออดิโอ วิดีโอ รวมถึงรูปภาพต่างๆ เช่น ไฟล์สกุล MPEG4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG และ PNG
3. Surface Manager เป็นกลุ่มการจัดการรูปแบบของหน้าจอ การวาดหน้าจอ
4. 2D/3D library เป็นกลุ่มของกราฟิกแบบ 2 มิติ หรือ SGL (Scalable Graphics library) และแบบ 3 มิติ หรือ OpenGL
5. Free Type เป็นกลุ่มของบิตแมป (Bitmap) และเวกเตอร์ (Vector) สำหรับการเรนเดอร์ (Render) ภาพ
6. SQLite เป็นกลุ่มของฐานข้อมูล ซึ่งเป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้เช่นเดียวกับซอฟต์แวร์ Firefox และ Apple iPhone ทั้งนี้ นักพัฒนาสามารถใช้ฐานข้อมูลนี้เก็บข้อมูลของแอปพลิเคชันต่างๆ ได้
7. Browser Engine เป็นกลุ่มของการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์โดยอยู่บนพื้นฐานของ web kit ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Google Chrome, Safari และ Nokia S60

สำหรับการเรียกใช้แอปพลิเคชันต่างๆ ในชั้นไลบรารี จะไม่สามารถเรียกใช้แอปพลิเคชันในระดับเดียวกับตัวเองได้ โดยจะต้องเรียกใช้แอปพลิเคชันในชั้นที่สูงกว่าเท่านั้นจึงจะสามารถเรียกใช้ได้นอกจากนี้ในชั้นไลบรารีนี้ Android ยังแบ่งเป็นชั้นย่อยที่เรียกว่า Android runtime ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ Dalvik VM และ Core Java library

1. Dalvik VM (Virtual Machine) ส่วนนี้ถูกเขียนด้วยภาษา Java เพื่อใช้เฉพาะการใช้งานอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามสิ่งที่แตกต่างจาก Java VM (Virtual Machine) คือ Dalvik VM ซึ่งจะรันไฟล์ .dex ที่คอมไพล์มาจากไฟล์ .Class และ .jar โดยมี tool ที่ชื่อว่า dx ทำหน้าที่ในการบีบอัดคลาส Core Java library ทั้งนี้ไฟล์ .dex จะมีขนาดกะทัดรัดและเหมาะสมกับอุปกรณ์พกพามากกว่า .Class โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่
2. Core Java library ส่วนนี้เป็นไลบรารีมาตรฐาน แต่ก็จะมีความแตกต่างจากไลบรารีของ Java SE (Java Standard Edition) และ Java Me (Java Mobile Edition)

4.3 ชั้นแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework)

โดยปกติแล้วนักพัฒนาสามารถเรียกใช้งาน Android ผ่าน API (Application Programming Interface) ได้ ซึ่ง Android ได้ออกแบบไว้เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการใช้งานซ้ำของ Application Component ซึ่งมีตัวอย่างแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์คดังนี้

1. View System เป็นส่วนควบคุมการทำงานสำหรับการสร้างแอปพลิเคชัน เช่น lists, grids, text boxes, buttons และ embeddable web browser
2. Location Manager เป็นส่วนดูแลค่าตำแหน่งของเครื่องมืออุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่
3. Content Provider เป็นส่วนควบคุมการเข้าถึงของข้อมูลที่มีการใช้งานร่วมกัน (Share Data) ระหว่างแอปพลิเคชันที่แตกต่างกัน เช่น ข้อมูลผู้ใช้ (Content)
4. Resource Manager เป็นส่วนดูแลการเข้าใช้ข้อมูลต่างๆที่ไม่ใช่โค้ด เช่น localized strings, graphics และ layout ซึ่งจะอยู่ในได้เร็คทอรี res/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ข้อมูลต่างๆในส่วนนี้จะถูกคอมไพล์และผนวกเข้ากับโปรแกรมที่เขียนขึ้น ณ เวลาการ Build โดย Android จะใช้เครื่องมือ adpt สำหรับการคอมไพล์ และหลังจากการคอมไพล์แล้วจะสร้างคลาสที่ชื่อว่า R ซึ่งเป็นส่วนที่ระบุถึงข้อมูลต่างๆที่ใช้อ้างอิงสำหรับแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้น

1. Notification Manager เป็นส่วนควบคุมอีเวนต์ (Event) ต่างๆ ที่แสดงบนสถานะ (Status bar) เช่น ในกรณีที่ได้รับข้อความและการแจ้งเตือนต่างๆ

2. Activity Manager เป็นส่วนควบคุม Life Cycle ของแอปพลิเคชัน

4.4 ชั้นแอปพลิเคชัน (Application)

ชั้นนี้เป็นชั้นบนสุดของโครงสร้าง Android ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมาใช้งาน เช่น แอปพลิเคชันรับและส่ง E-mail, แอปพลิเคชันโทรศัพท์ (Phone Dial) หรือแอปพลิเคชันเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) เป็นต้น ทั้งนี้โปรแกรมในชั้นแอปพลิเคชันนั้นจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ .apk ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในไดเรกทอรี data/app ของโทรศัพท์เคลื่อนที่

ส่วนประกอบของแอปพลิเคชัน (Application Component) คุณสมบัติอย่างหนึ่งของ Android ก็คือ เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของแอปพลิเคชันอื่นๆ ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้อ่านต้องการสร้างแอปพลิเคชันให้แสดงการเลื่อนของรายการรูปภาพโดยที่ผู้อ่านอาจมีแอปพลิเคชันส่วนอื่นที่ได้พัฒนาขึ้นมาเอง เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการพัฒนาแอปพลิเคชันซึ่งเรียกแอปพลิเคชันเหล่านั้นว่า Application Component ซึ่ง Application Component ของ Android สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ Activity, Service, Content Provider, Broadcast Receiver

1. Activity คือ หน้าจอที่ติดต่อกับผู้ใช้ ทั้งนี้แต่ละแอปพลิเคชันอาจจะมีมากกว่า 1 หน้าจอ หรือ 1 Activity ซึ่งแต่ละ Activity จะทำหน้าที่เก็บสถานการณ์ใช้งานในส่วนต่างๆ ตัวอย่างเช่น ในการแสดงรายการเมนู นักพัฒนาสามารถเลือกให้รายการเมนูที่แสดงออกมามีภาพและคำบรรยายได้ภาพได้ สำหรับแอปพลิเคชันส่งข้อความอาจจะมี Activity หนึ่งที่แสดงรายการของส่วนติดต่อในการส่งข้อความ อีก Activity หนึ่งจะเป็นส่วนของการเลือกการติดต่อและ Activity อื่นๆ จะทำหน้าที่ดูข้อความเก่าที่ถูกส่งมาแล้ว เป็นต้น

2. Service คือ งานหรือบริการต่างๆที่ทำงานอยู่เบื้องหลัง เช่น Service ที่เปิดดนตรีอยู่ขณะที่ผู้ใช้งานทำงานอื่นๆหรือใช้แอปพลิเคชันอื่นๆไปด้วย

3. Broadcast and Intent Receiver คือ การตอบสนองซึ่งโดยปกติแล้ว Broadcast Receiver จะเป็นการตอบสนองต่อการเกิดอีเวนต์ของระบบในวงกว้าง เช่นการประกาศเตือนว่าแบตเตอรี่ใกล้จะหมด เป็นต้น นอกจากนี้ Intent Receiver เป็นส่วนทำให้แอปพลิเคชันอื่นๆเข้าถึงการทำงานของ Activity และ Service ซึ่งในการปฏิบัติงานแต่ละอย่างเป็นการตอบสนองการร้องขอจากข้อมูลหรือบริการของ Activity อื่นๆ

4. Content Provider คือ ส่วนของการให้บริการข้อมูลสำหรับแต่ละแอปพลิเคชัน ทั้งนี้ข้อมูลสามารถเก็บอยู่ในรูปแบบของระบบไฟล์ หรือฐานข้อมูลก็ได้ เช่น Google สามารถเข้าใช้งานข้อมูลร่วมกับผู้ใช้งานได้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการข้อมูลของผู้ใช้งาน

5. วงรอบชีวิตของแอปพลิเคชัน (Application Life Cycle)

โดยปกติแล้วแอปพลิเคชันจะทำงานแยกกันในแต่ละโพรเซส และในแต่ละโพรเซสอาจจะมี Activity/ Service ที่ทำงานอยู่มากกว่า 1 Activity/ Service ดังนั้น ในแต่ละแอปพลิเคชันอาจจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 1 Activity ซึ่งในการเริ่มทำงานของ Activity จะเริ่มด้วย start Activity () สำหรับ Activity แบบซิงโครนัส (Synchronous) และจะเริ่มด้วย start Sub Activity () สำหรับ Activity แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) โดยในแต่ละ Activity จะมีวงจรชีวิต (Life Cycle) ที่แยกจากกัน โดยชัดเจน ซึ่งมีสถานการณ์ทำงานหลักดังนี้

5.1 onCreate (Bundle savedInstanceState)

ส่วนนี้จะถูกเรียกใช้งานเมื่อเริ่มทำงาน ในกรณีที่มีการเรียกใช้งานเมธอด (Method) นี้ Android Framework จะนำ bundle object ไปบันทึกไว้ใน Activity ก่อนที่ Activity จะทำงาน ซึ่งจากนั้นจะตามด้วยฟังก์ชัน onStart ()

5.2 onStart ()

ส่วนนี้เป็นการระบุว่า Activity นั้นๆจะถูกแสดงขึ้นมา จากนั้นสถานะจะถูกย้ายไปเป็นสถานะ onResume แต่ถ้า Activity นั้นไม่สามารถทำงานได้ด้วยเหตุผลบางประการ สถานะจะถูกย้ายไปเป็นสถานะ onStop

5.3 onRestart ()

ส่วนนี้จะเป็นการระบุว่า Activity นั้นจะถูกแสดงขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะตามด้วยสถานะ onStart()

5.4 onResume ()

ส่วนนี้จะถูกเรียกเมื่อ Activity นั้นๆ มีการติดต่อปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ เช่น นักพัฒนาต้องการเรียก Activity นั้นให้ขึ้นมาทำงานอีกรอบหนึ่ง หลังจากที่ Activity นั้นอยู่ใน สถานะ onPause ()

5.5 onPause ()

ส่วนนี้จะถูกเรียกใช้เมื่อ Activity นั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นการทำงานทางเบื้องหลัง (Background)

5.6 onStop ()

ส่วนนี้จะถูกเรียกใช้เมื่อผู้ใช้ไม่ต้องใช้งาน Activity นั้นๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งจะตามสถานะ onRestart () เมื่อต้องการกลับมาทำงานที่ Activity นั้นอีกครั้งหนึ่ง หรือตามด้วย สถานะ onDestroy () เมื่อต้องการปิด Activity นั้นๆ

5.7 onDestroy () ส่วนนี้จะถูกเรียกเมื่อมีการปิดการทำงานของแต่ละ Activity

6.2. การสืบค้นผ่านอุปกรณ์สื่อสาร (Mobile Search) โดยจุดประสงค์หลักของบริการนี้ก็คือเพื่อส่งเสริมการขายบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ และมีการวิเคราะห์ว่าลูกค้าคุ้นเคยกับบริการค้นหาสินค้าหรือบริการของผู้ให้บริการของผู้ให้บริการรายใดแล้วก็จะกลับมาใช้บริการต่อไป

6.3. การใช้บริการเว็บไซต์ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Browsing) เป็นการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตซึ่งถือเป็นฟังก์ชันพื้นฐานของโทรศัพท์ยุคใหม่

6.4. การติดตามสุขภาพหรือตรวจสุขภาพทางไกล (Mobile Health Monitoring) เป็นบริการเพื่อคอยเฝ้าดูผู้ป่วย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังที่ไม่จำเป็นต้องนอนโรงพยาบาล ผู้ป่วยจะได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่อง ช่วยให้หน่วยงานทางด้านสุขภาพประหยัดค่าใช้จ่ายได้ เพราะสามารถติดตามอาการผู้ป่วยได้ตลอดเวลาผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

6.5. การชำระเงินผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Payment) โดยมีวัตถุประสงค์คล้ายๆกับ Money Transfer แต่บริการมีลักษณะเด่น 3 ประการ คือเป็นทางเลือกในการชำระเงินเมื่อช่องทางชำระเงิน อื่นๆ ไม่สะดวก เพิ่มความสะดวกและรวดเร็วให้แก่ผู้ใช้บริการ และช่วยเพิ่มปัจจัยในการยืนยันตัวตนของลูกค้า เพื่อเพิ่มระดับของความปลอดภัยของข้อมูลได้อีกทางหนึ่ง

6.6. การเชื่อมต่อสัญญาณและการโอนย้ายข้อมูลระยะสั้นด้วยเทคโนโลยี NFC ซึ่งเป็นการสื่อสารไร้สายระยะสั้น ที่จะมีการนำมาใช้กับการชำระเงินในจุดที่ต้องการความรวดเร็วและมียอดการชำระไม่มากนัก หรือค่าชำระโดยสารต่างๆ หรือใช้ในการยืนยันหมายเลข ID ของลูกค้าก่อนเข้า ระบบต่างๆ เป็นต้น

6.7. การโฆษณาผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Advertising) ตลาดโฆษณาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์จะเติบโตขึ้นไปอย่างต่อเนื่อง เพราะสามารถเข้าถึงลูกค้าจำนวนมากได้

6.8. การรับ-ส่งข้อความตัวอักษรหรือภาพ (Mobile Instant Messaging) เป็นการบริการสนทนาผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งเป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน

6.9. บริการเพลงประเภทต่างๆ (Mobile Music) เป็นบริการฟังเพลงหรือโหลดเพลงมาไว้บนโทรศัพท์

6.10. Banking Services เป็นบริการที่ได้รับความนิยมในกลุ่มธุรกิจ โดยบริการที่ผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ การโอนเงินผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ มีความสะดวกและรวดเร็วนอกจากนั้น Mobile Banking ยังเป็นกลุ่มแอปพลิเคชันที่มีโอกาสเติบโตค่อนข้างมาก เพื่อรองรับการให้บริการทางการเงินรูปแบบใหม่ เช่น Online Banking เป็นต้น

6.11. Location Based Services (LBS) เป็นแอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการได้หลากหลาย นับตั้งแต่เพิ่มประสิทธิภาพในเชิงธุรกิจ สนับสนุน Social Networking รวมถึงตอบสนองความต้องการและความสนใจในชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี โดยแนวโน้มภายในประเทศไทยนั้น การให้บริการ LBS ที่ตอบสนองความต้องการทางด้าน Social Networking จะกลายเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในการให้บริการ LBS ในอนาคต ปัจจุบันผู้ให้บริการต่างประเทศได้ให้ความสำคัญในการให้บริการประเภทนี้สูง เช่น การให้บริการซีพิกัดสำหรับสมาชิกที่ใช้บริการ Facebook เป็นต้น

6.12. Cloud Based Services (CBS) เป็นแอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องด้วยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลไว้ในอุปกรณ์เคลื่อนที่ของตนที่มีพื้นที่หน่วยความจำอย่างจำกัด แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเรียกใช้งานหรือดาวน์โหลดข้อมูลต่างๆ ได้จากผู้ให้บริการผ่านอินเทอร์เน็ต (เว็บ) ได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ยังได้รับการตอบรับในแง่ของการแบ่งปันข้อมูลระหว่างผู้ใช้ของแต่ละคนได้อย่างรวดเร็วผลักดันให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ต้องมีการรองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตเป็นแอปพลิเคชันที่สำคัญยิ่งนอกจากนั้นยังช่วยให้เกิดการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ใหม่ๆ ออกมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้บริการตรวจสอบสภาพจราจรผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบ Real-time เป็นต้น

7. OpenCV (Open Source computer Vision Library)

OpenCV หรือ Open Source Computer Vision Library ใช้ในการประมวลผลภาพและงานทางด้าน การมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) Library นี้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา C และ C++ และยังมี interface ที่ไว้ เชื่อมต่อกับ tool อื่นด้วยเช่น Python, Ruby, Matlab เป็นต้น นอกจากนี้ OpenCV เป็น library ที่สร้างขึ้นเพื่อให้ ผู้ใช้ หรือนักพัฒนาสามารถใช้ฟังก์ชันใน library มาพัฒนาชิ้นงานที่มีความซับซ้อนโดยใช้ เวลาเพียงไม่นาน OpenCV ประกอบด้วย Data Structure และ Algorithm

7.1 Data Structure ใช้เก็บข้อมูลต่าง ๆ อาทิ เช่น รูปภาพ เมทริกซ์ พิกัด

7.2 Algorithm เพื่อการประมวลผลต่าง โดยเฉพาะการประมวลผลทางรูปภาพ

ข้อจำกัดของ OpenCV คือ สามารถใช้งานได้ เฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผล (CPU) จาก Intel Corporation แต่ข้อจ ากัดนี้ ท าให้เกิดจุดเด่นเช่นกัน กล่าวคือ การประมวลผลต่าง ๆ จะใช้ความสามารถของหน่วยประมวลผลอย่างเต็มที่ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาโดยการใช้ OpenCV นี้มีประสิทธิภาพในการประมวลผลที่สูงมาก

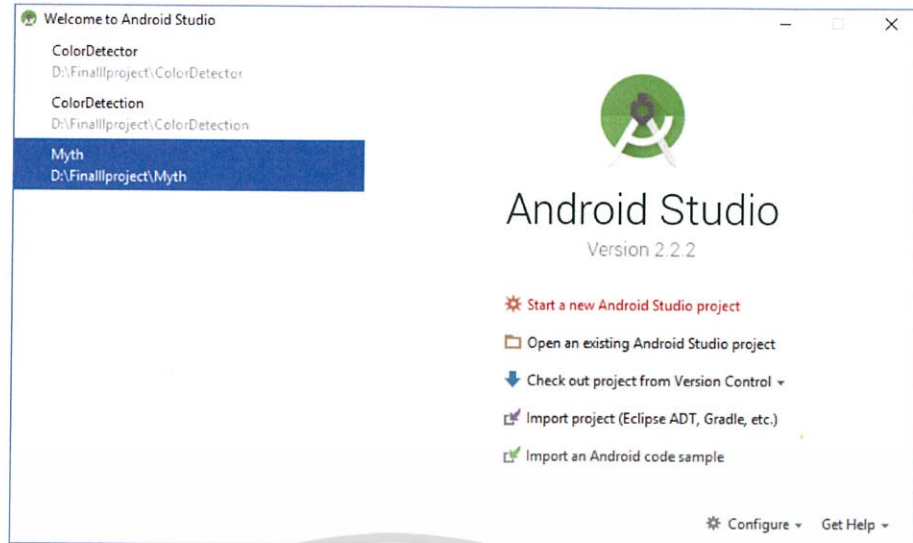
8. ขั้นตอนวิธีการสร้างโปรเจค

3.2 Android Studio และ OpenCV

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างโปรเจค

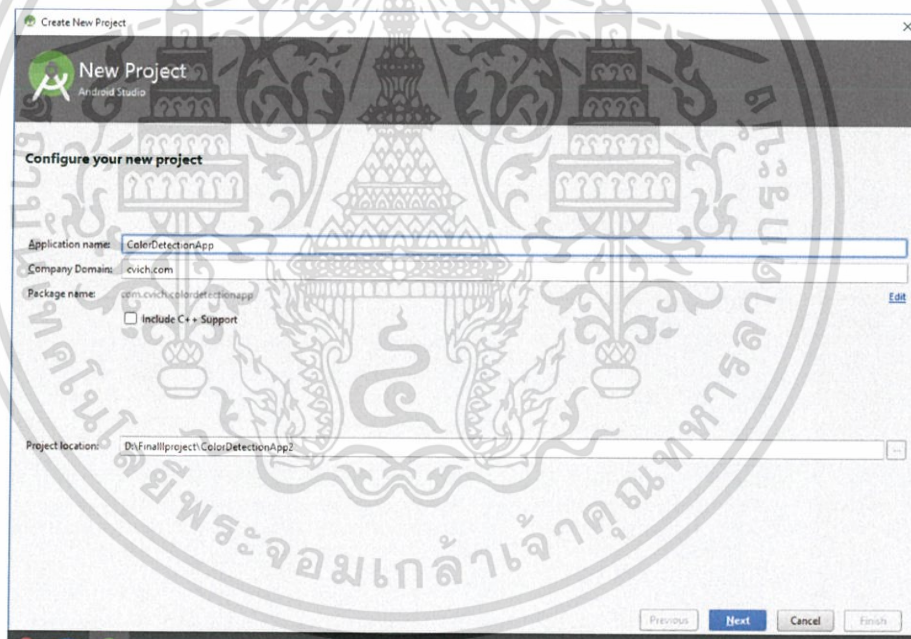
3.2.1.1 คลิก Start a new Android Studio project เพื่อสร้างโปรเจคใหม่ใน

โปรแกรม Android Studio 2.2.2



รูปที่ 3.2.1 แสดงการสร้างโปรเจค

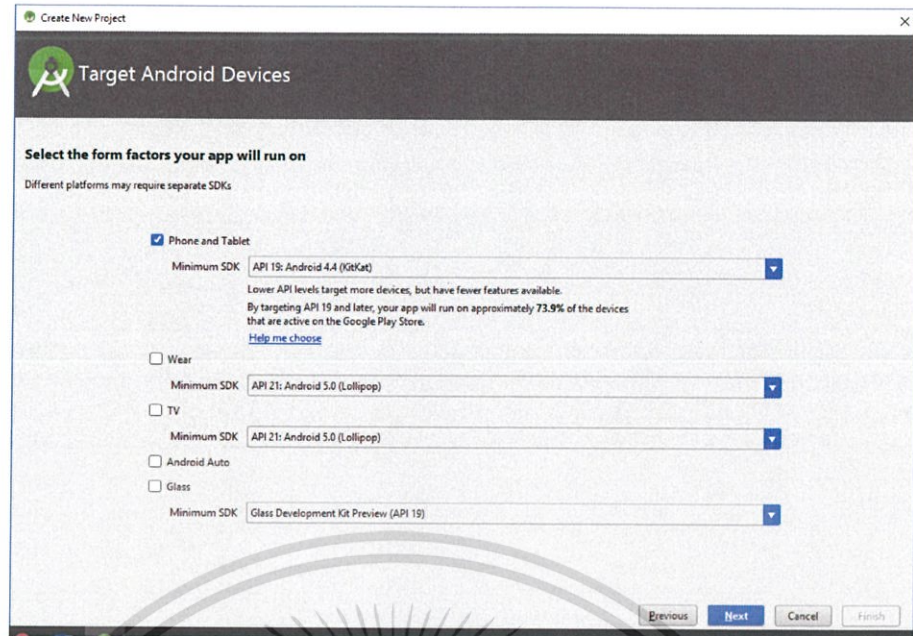
3.2.1.2 ไปยัง Application Name และทำการตั้งชื่อ Application จากนั้นคลิก Next



รูปที่ 3.2.2 แสดงการตั้งชื่อโปรเจค

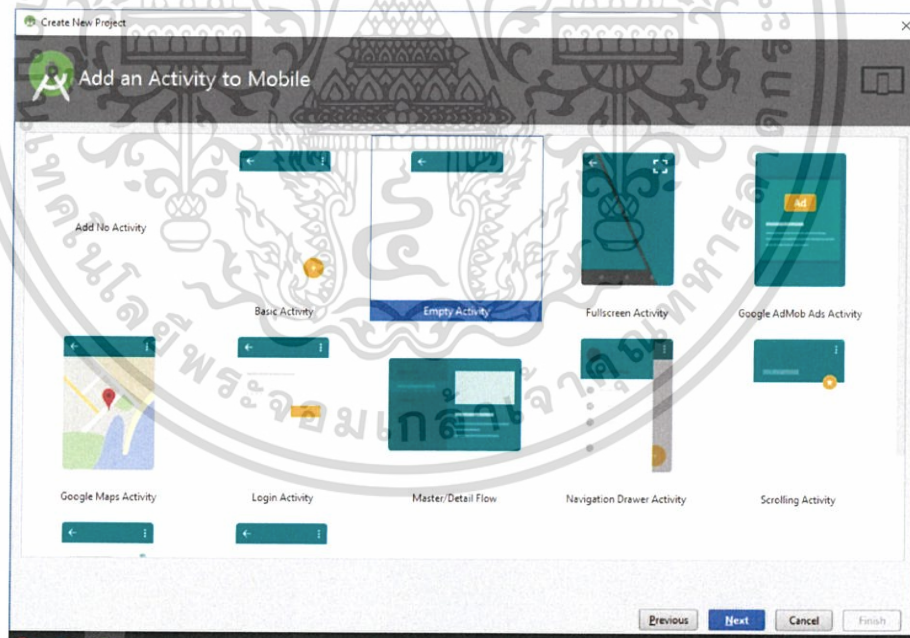
3.2.1.3 เลือก Phone and Tablet และทำการเลือกเวอร์ชันของแอนดรอยด์ที่ต่ำที่สุดที่จะสามารถติดตั้งโปรแกรมนี้ได้ โดยที่ในแอปพลิเคชันนี้เลือก Android 4.4 (Kit Kat): API 19 จากนั้นคลิก Next

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.3 แสดงการเลือกเวอร์ชันของแอนดรอยด์ให้ตรงกับเครื่อง smart phone ที่เราต้องการใช้แอปพลิเคชัน

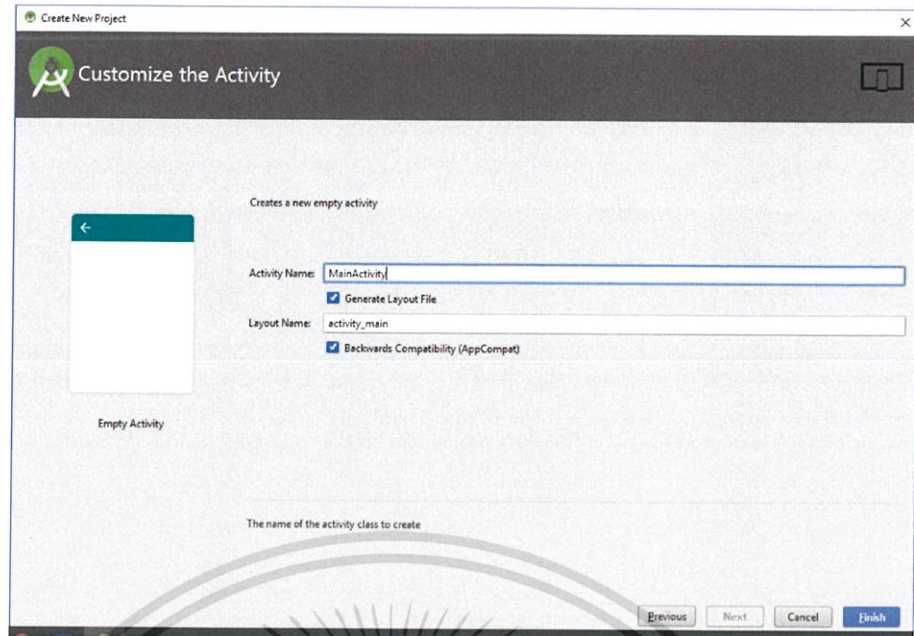
3.2.1.4 ทำการเลือก Empty Activity แล้วคลิก Next



รูปที่ 3.2.4 แสดงการสร้างโปรเจก

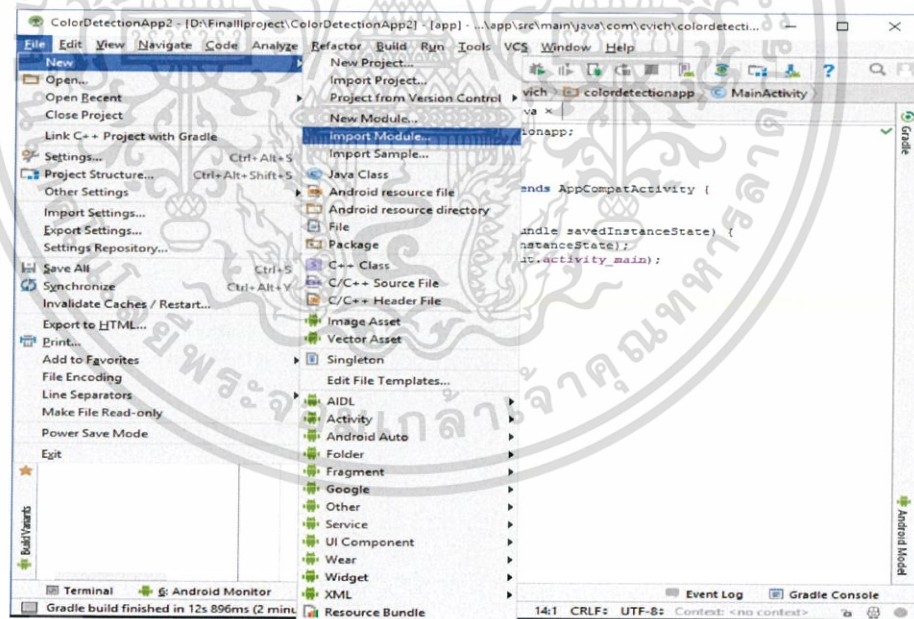
3.2.1.5 ตั้งชื่อ Activity Name ว่า MainActivity จากนั้น คลิก Finish เพื่อสร้างโปรเจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.5 แสดงการตั้งชื่อ Activity Name ว่า MainActivity

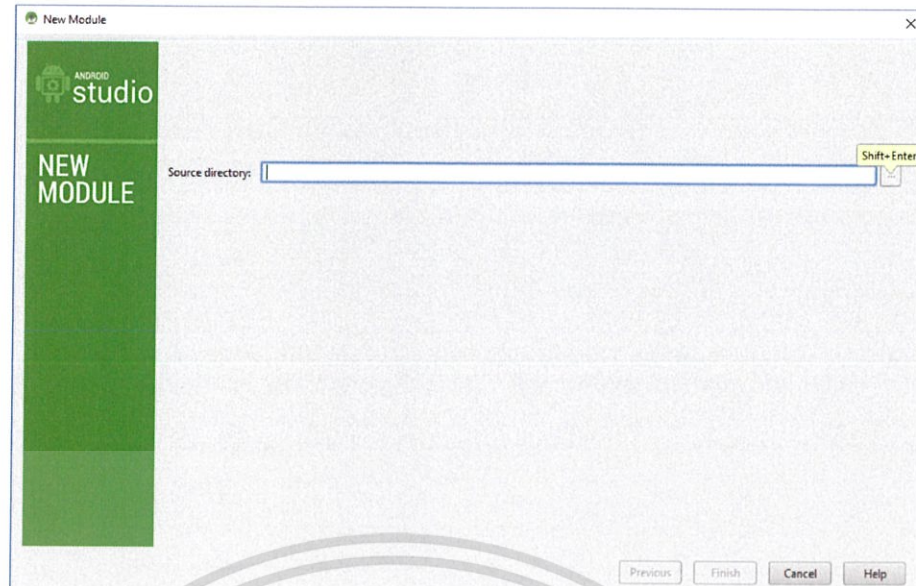
3.2.1.6 ขั้นตอนการเพิ่ม OpenCV Module เพื่อใช้ในโปรเจก โดยไปที่ ไปที่ File -> New -> Import Module...



รูปที่ 3.2.6 แสดงการการเพิ่ม OpenCV Module เพื่อใช้ในโปรเจก

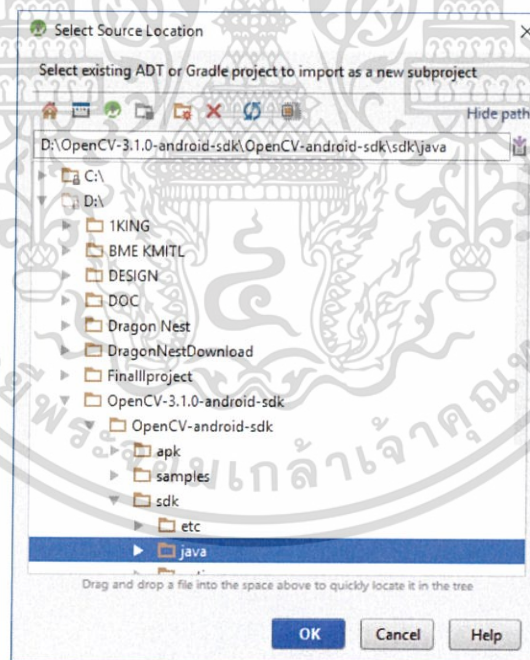
3.2.1.7 จากนั้นทำการเพิ่มโมดูลด้วยการเรียกดู โดยคลิกปุ่ม Browse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.7 แสดงการการเพิ่ม OpenCV Module เพื่อใช้ในโปรเจค

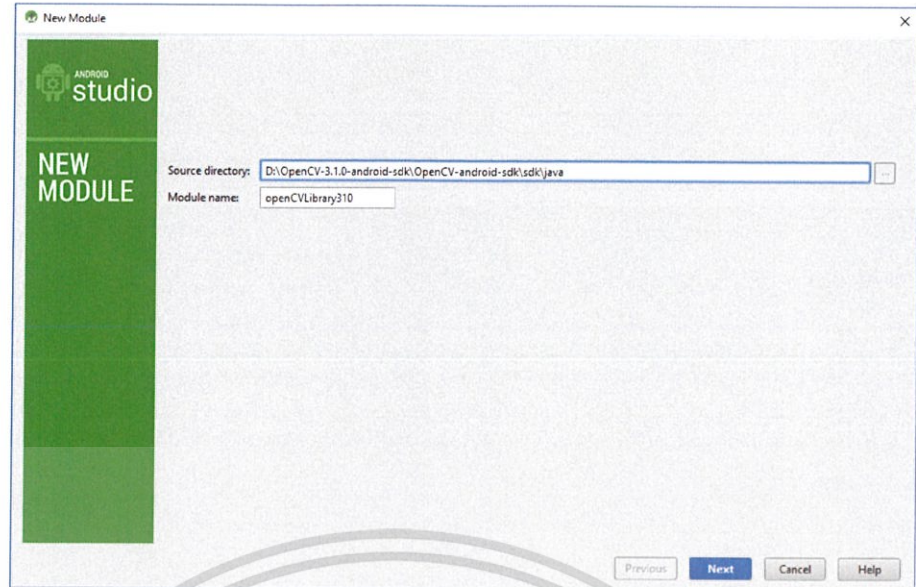
3.2.1.8 ค้นหาไฟล์เตอร์ที่ได้จากการแตกไฟล์ OpenCV-3.1.0-android-sdk.zip ดังนี้
OpenCV-3.1.0-android-sdk -> OpenCV-android-sdk -> sdk -> java กดปุ่ม OK



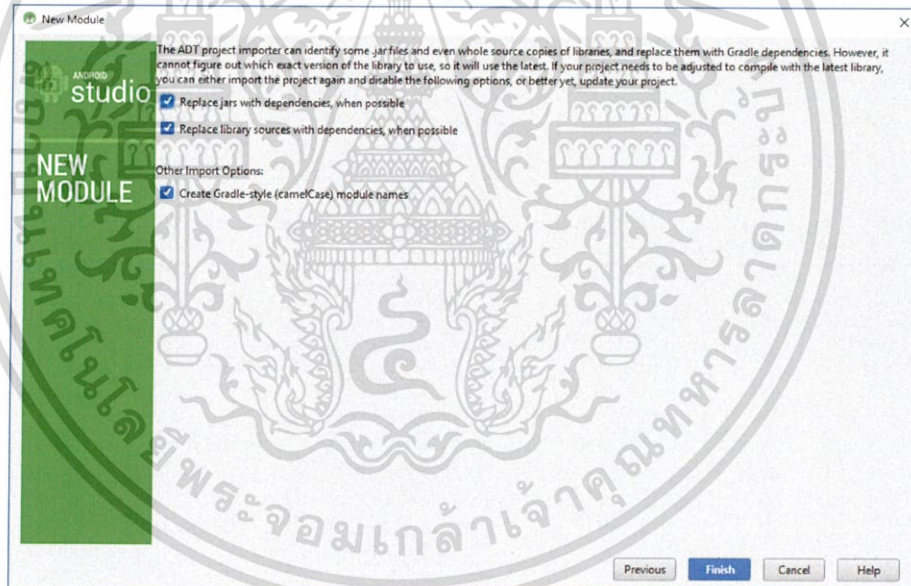
รูปที่ 3.2.8 ค้นหาไฟล์เตอร์ที่ได้จากการแตกไฟล์ OpenCV-3.1.0-android-sdk.zip

3.2.1.9 เมื่อได้ Module 'openCVLibrary310' แล้วกด Next และ Finish ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

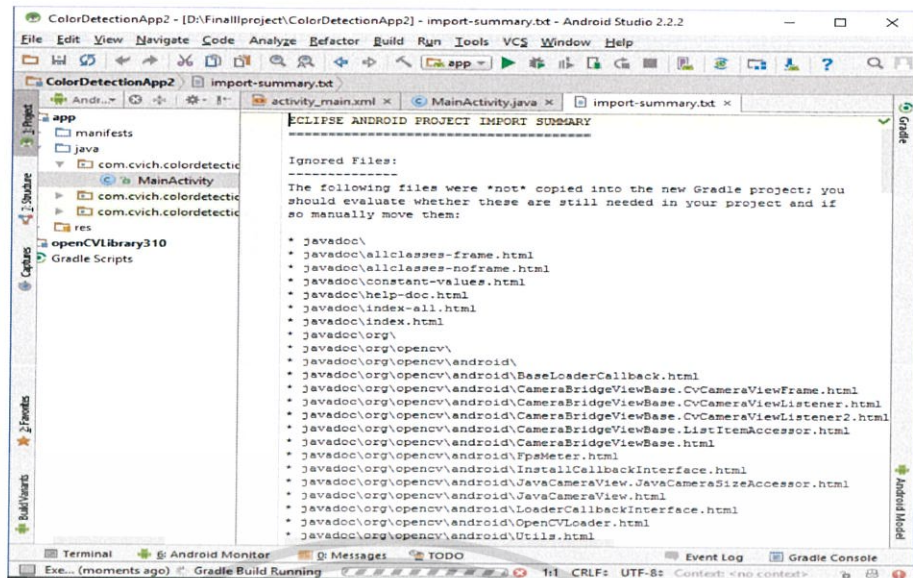


รูปที่ 3.2.9 แสดงขั้นตอนการเลือกโมดูล



รูปที่ 3.2.10 แสดงขั้นตอนการเลือกโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

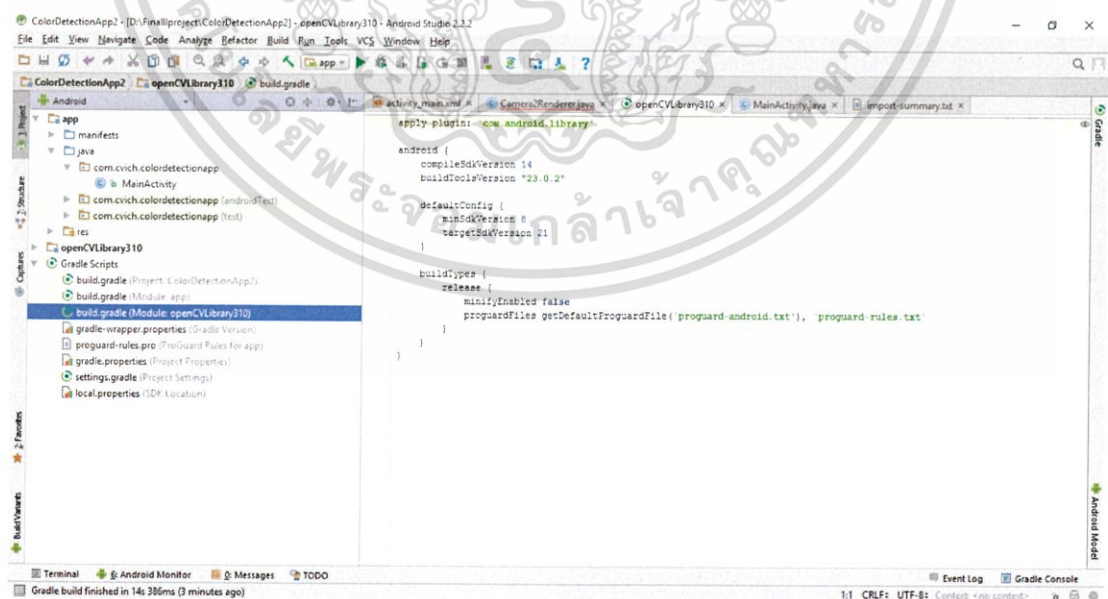


รูปที่ 3.2.11 แสดงภาพที่ได้ เมื่อทำการเพิ่มโมดูลสำเร็จ

3.2.1.10 ไปที่ build.gradle(Module:openCVLibrary310) แล้วทำการแก้ไขตัวเลขของเวอร์ชัน SDK ดังต่อไปนี้

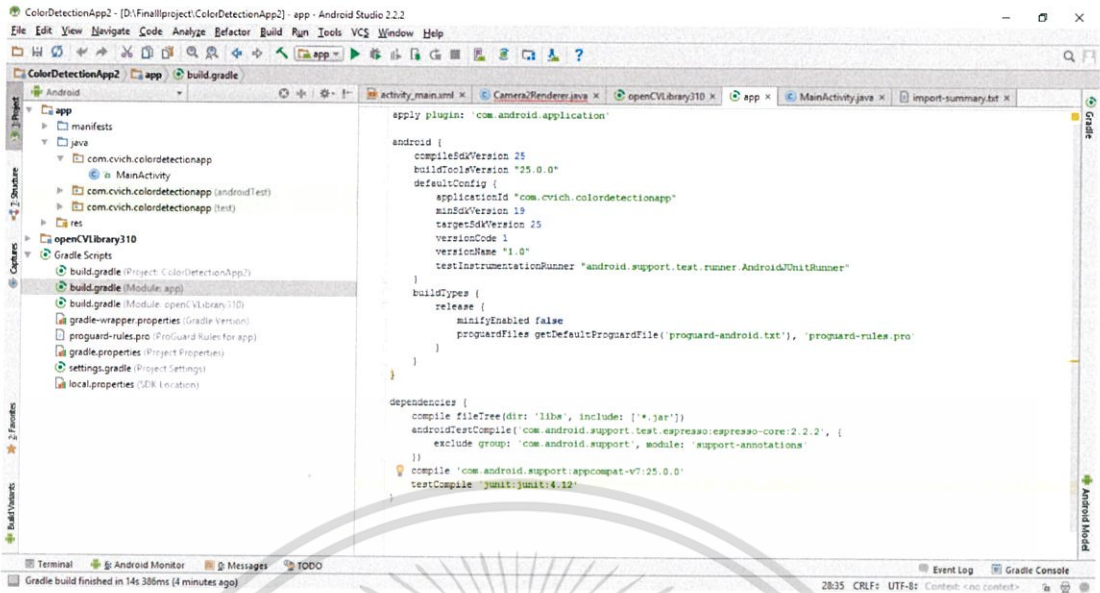
- CompileSdkVersion
- buildToolsVersion
- minSdkVersion
- targetSdkVersion

โดยดูจาก build.gradle(Module:app) จากนั้นกด Sync Now

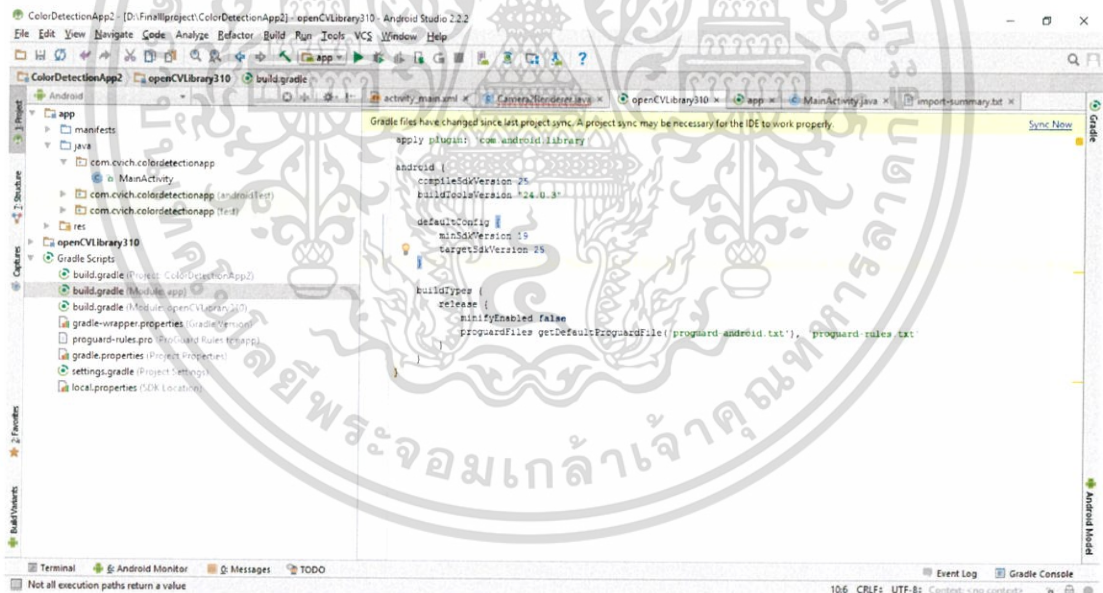


รูปที่ 3.2.12 แสดงหน้าต่าง build.gradle(Module:openCVLibrary310) ที่ยังไม่ได้ทำการอัปเดต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



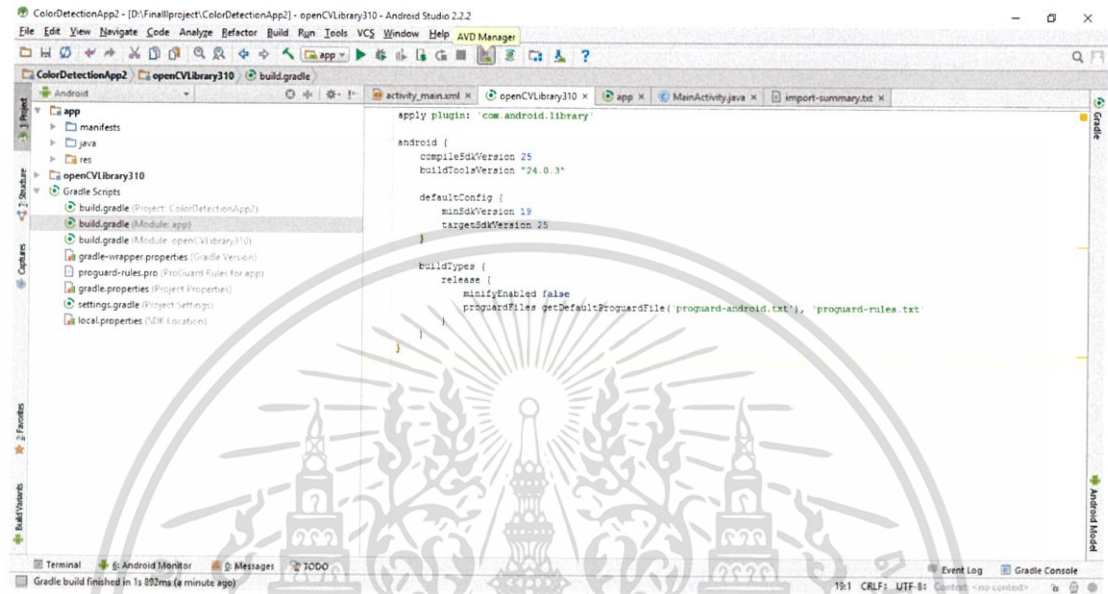
รูปที่ 3.2.13 แสดงหน้าต่าง build.gradle(Module:app)



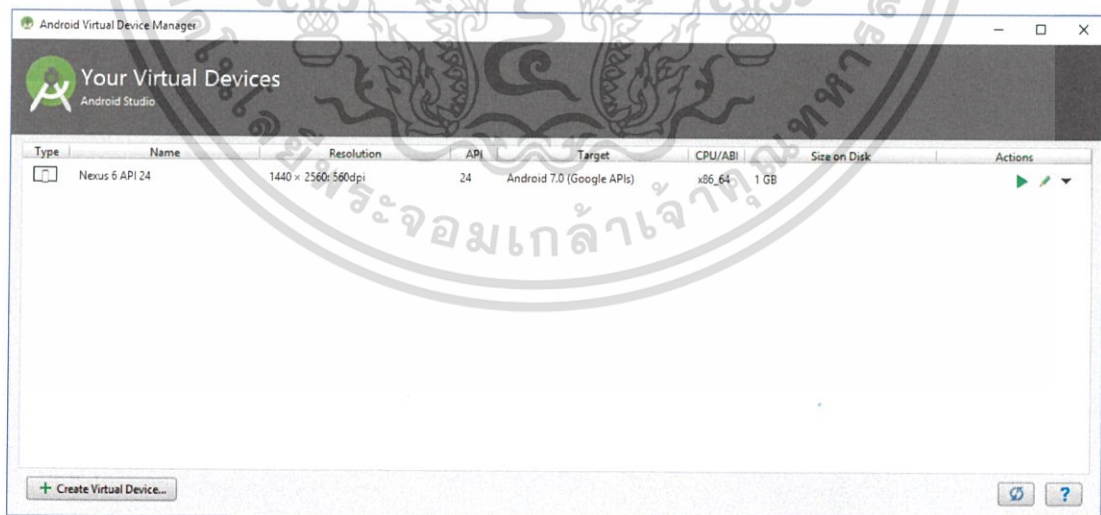
รูปที่ 3.2.14 แสดงภาพการแก้ไขตัวเลขของเวอร์ชัน SDK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.11 การสร้าง Emulator เพื่อจำลองการทำงานบนแอนดรอยด์ ไปที่ AVD Manager จากนั้นคลิกที่ + Create Virtual Device... เพื่อทำการจำลองอุปกรณ์แอนดรอยด์ขึ้นมาเพื่อทดสอบการใช้งานของแอปพลิเคชัน



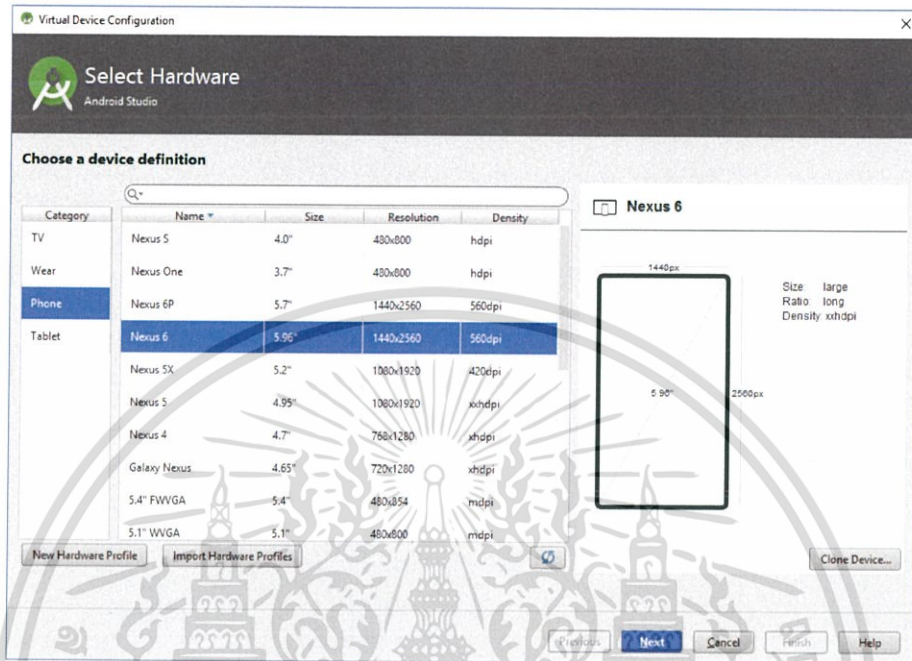
รูปที่ 3.2.14 แสดงภาพการการสร้าง Emulator



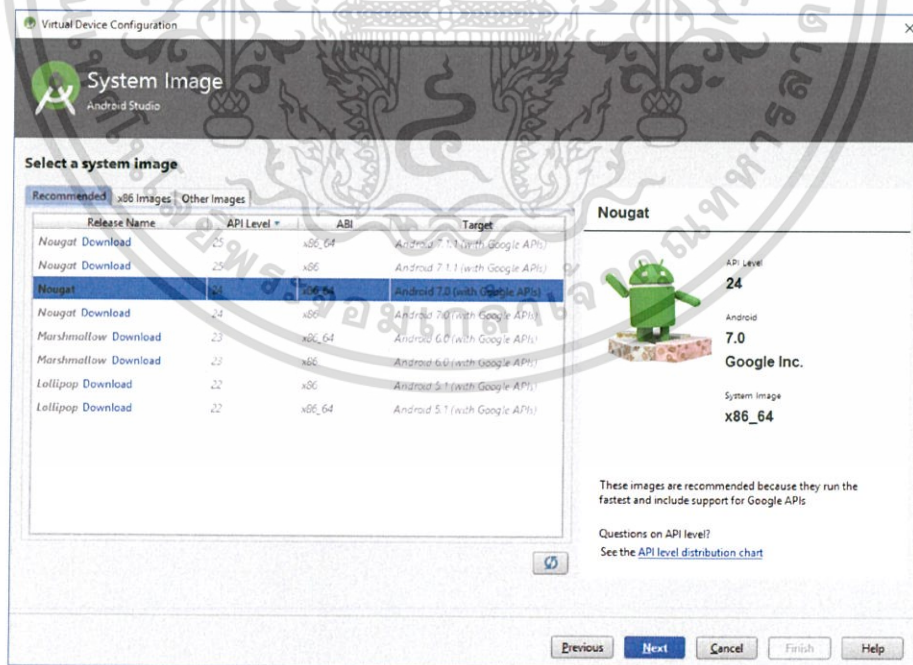
รูปที่ 3.2.15 แสดงภาพการการสร้าง Emulator (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.12 เลือกยี่ห้อและรุ่นของอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่จะใช้ในการจำลองครั้งนี้ โดยเลือก Nexus 6 และเลือกเวอร์ชันของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เป็น API 24 หรือ Nougat ตามลำดับ จากนั้นกด Next



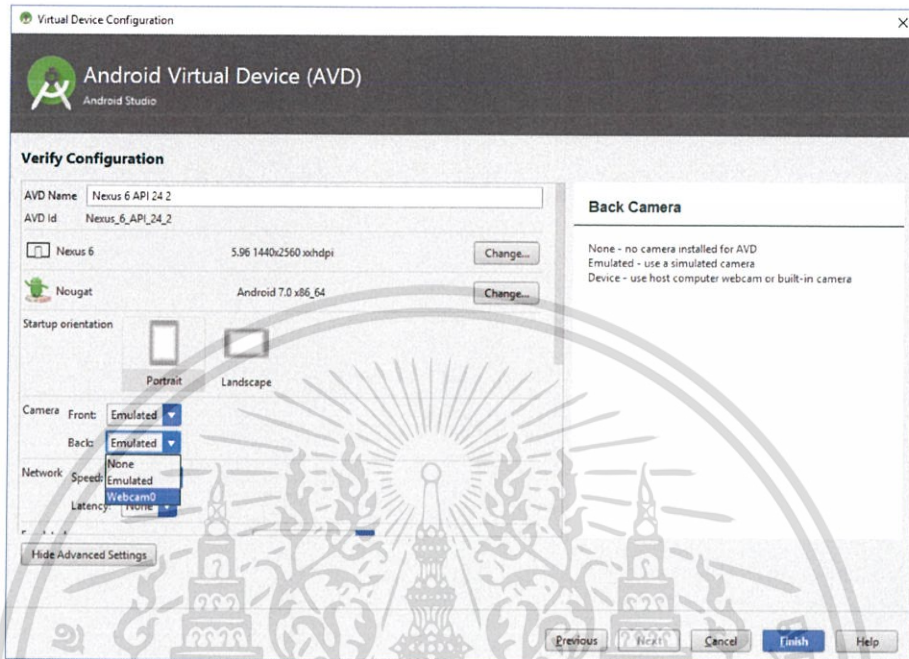
รูปที่ 3.2.16 แสดงภาพการเลือกยี่ห้อและรุ่นของอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่จะใช้ในการจำลอง



รูปที่ 3.2.17 แสดงภาพการเลือกยี่ห้อและรุ่นของอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่จะใช้ในการจำลอง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.13 กดที่ Advance Setting -> Camera -> Back -> Webcam() เพื่อให้กล้องหลังของอุปกรณ์ตัวนี้สามารถใช้กล้อง webcam ของคอมพิวเตอร์ได้ จากนั้น คลิก Finish



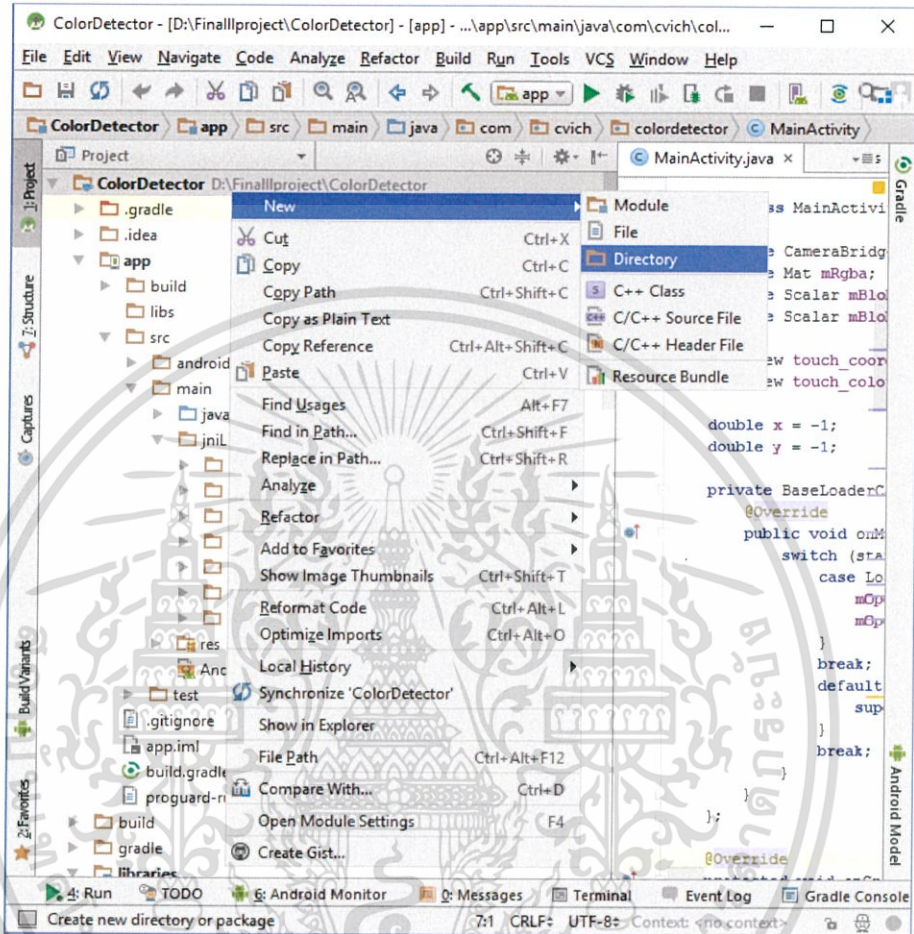
รูปที่ 3.2.18 ภาพการเลือกกล้องหลังของอุปกรณ์ที่ใช้จำลองให้สามารถใช้ Webcam ของคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 3.2.19 แสดงภาพอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่ปรากฏขึ้นเพื่อใช้ในการจำลอง (Emulator)

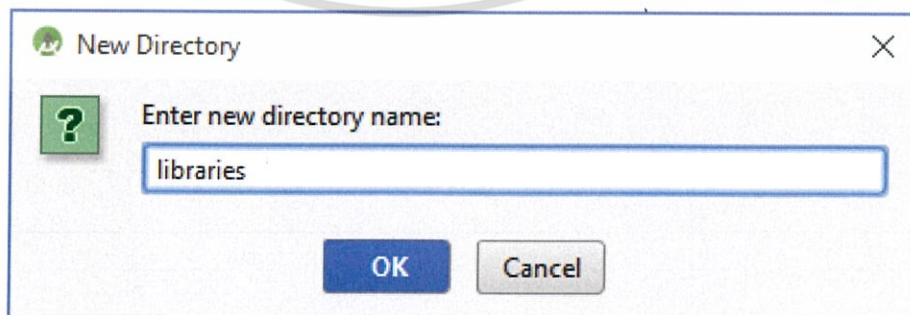
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.14 ต่อมาทำการเพิ่ม OpenCV Library เลือก Project -> ColorDetector -> คลิกขวา -> New -> Directory



รูปที่ 3.2.20 แสดงการสร้าง Directory

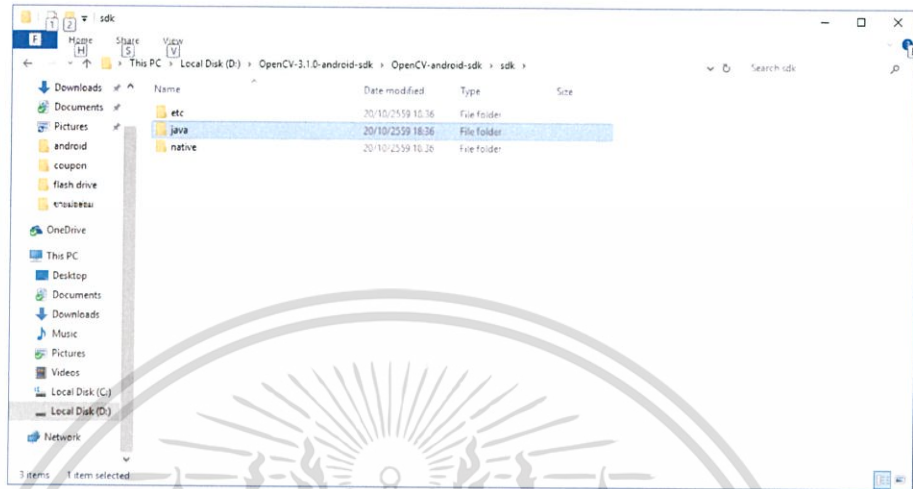
3.2.1.15 ตั้งชื่อ Directory -> Libraries -> คลิก OK



รูปที่ 3.2.21 แสดงการตั้งชื่อ Directory

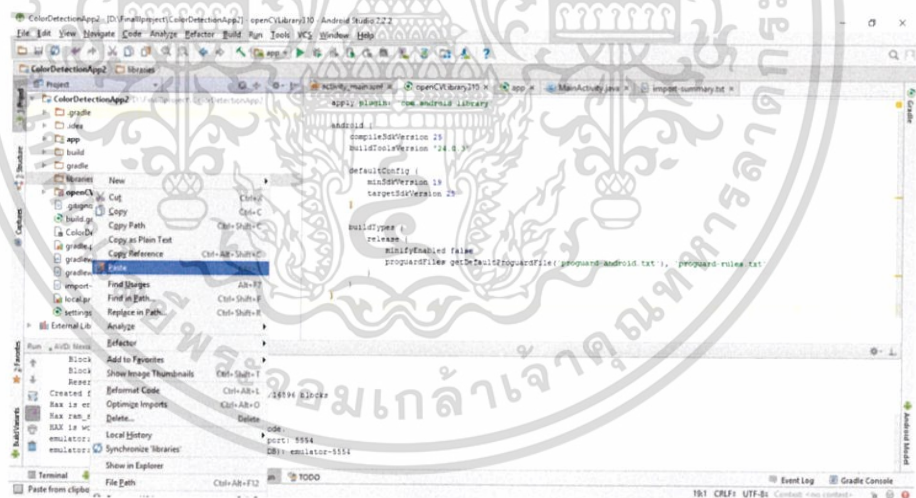
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.16 จากนั้นไปที่ File Explorer -> D:\OpenCV-3.1.0-android-sdk\OpenCV-android-sdk\sdk ทำการคัดลอกโฟลเดอร์ java



รูปที่ 3.2.22 แสดงการเพิ่ม OpenCV Module ด้วยการคัดลอกเพิ่ม sdk/java

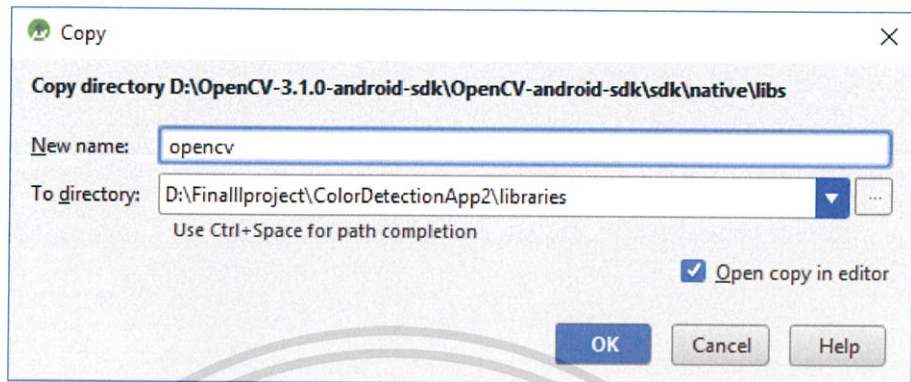
3.2.1.17 เลือกที่ Directory Library -> Paste



รูปที่ 3.2.23 การวางเพิ่ม java ลงใน Directory Libraries

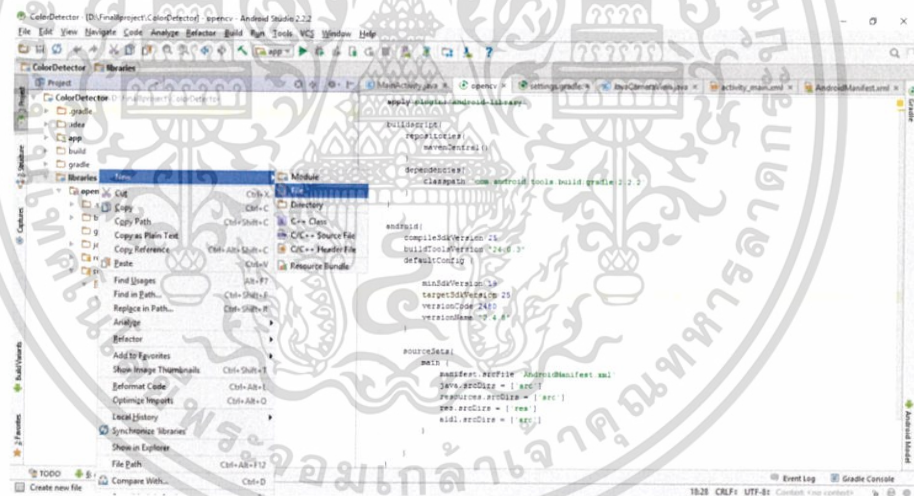
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.18 ทำการเปลี่ยนชื่อเพิ่มจาก java เป็น opencv แล้วคลิก OK



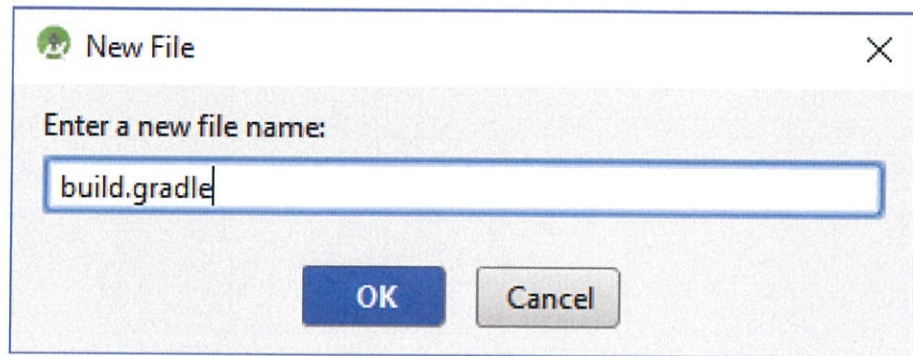
รูปที่ 3.2.24 แสดงการเปลี่ยนชื่อจาก Directory java เป็น opencv

3.2.1.19 เมื่อทำการคัดลอกเสร็จแล้วไปที่ เพิ่ม Library -> คลิกขวา -> New -> File แล้วตั้งชื่อไฟล์ว่า build.gradle เพื่อสร้าง gradle เพิ่มขึ้นมา

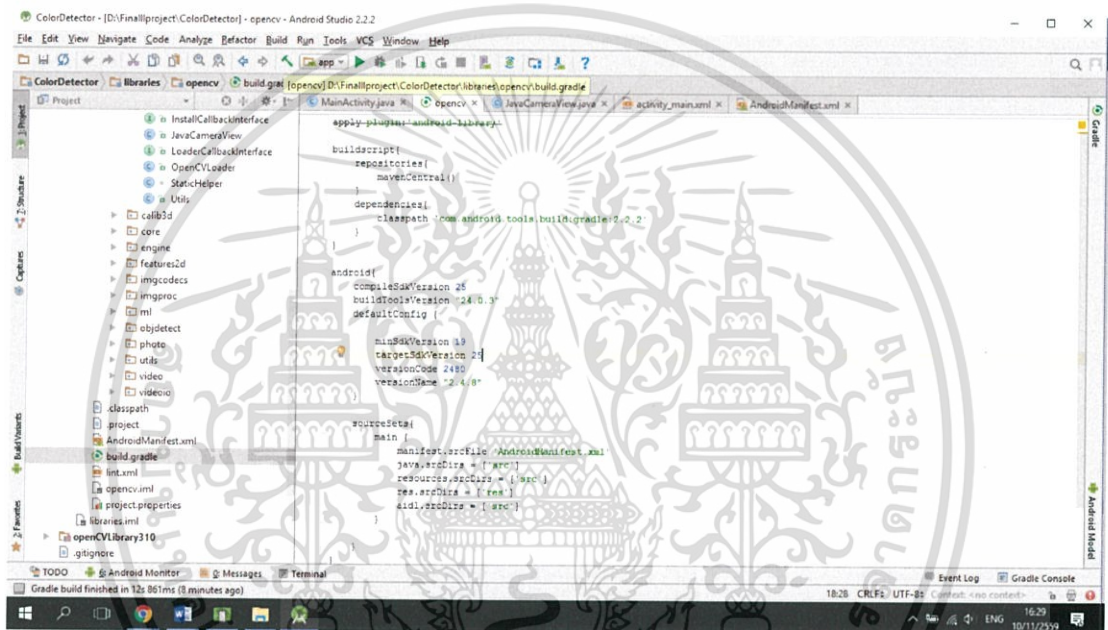


รูปที่ 3.2.25 แสดงการสร้าง build.gradle (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



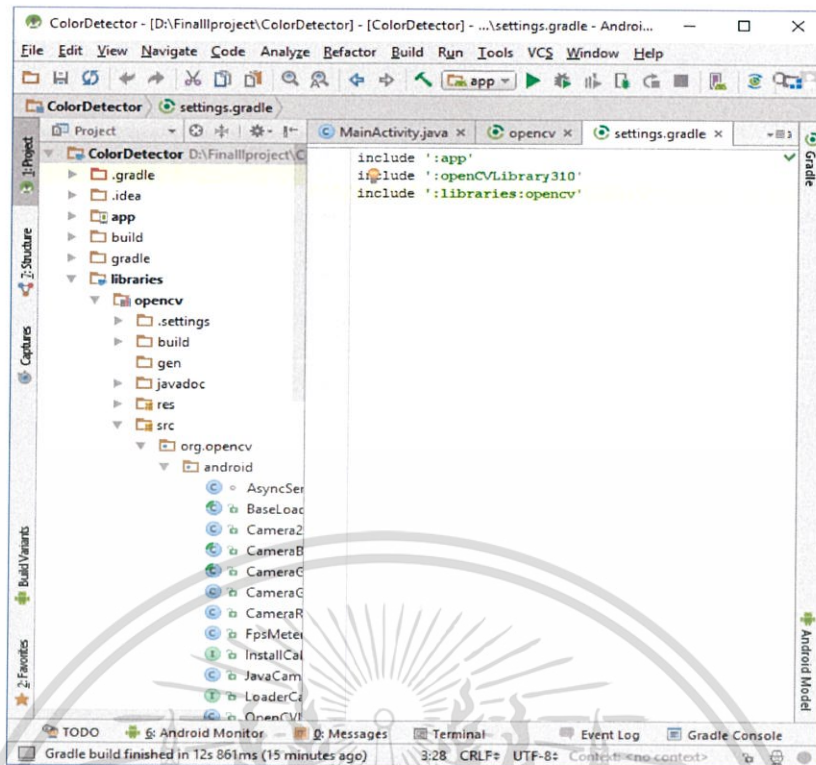
รูปที่ 3.2.25 แสดงการสร้าง build.gradle (ข)
3.2.1.20 เมื่อทำการเพิ่ม build.gradle ขึ้นมาแล้ว เขียนโค้ดดังภาพ



รูปที่ 3.2.26 แสดงโค้ดที่เขียนในหน้าต่าง opencv/build.gradle

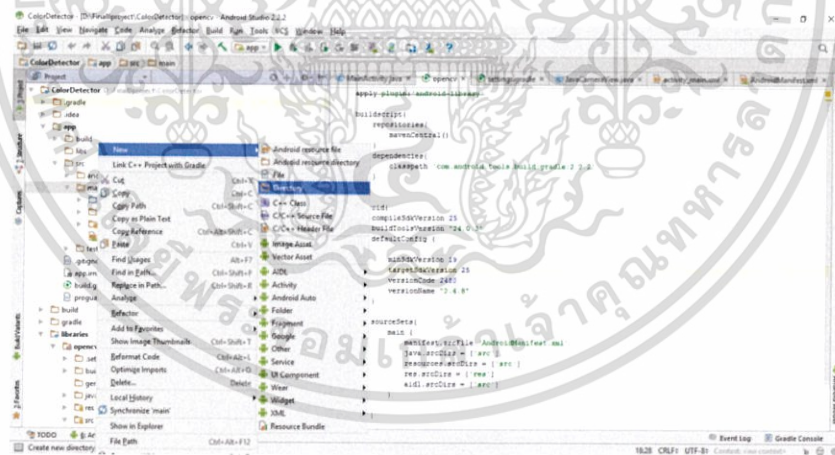
3.2.1.21 ไปยัง setting.gradle แล้วเพิ่ม "include ':libraries:opencv'" ลงไปเพื่อทำการอนุญาต ให้ OpenCV Library สามารถทำงานได้ โดยคลิกที่ Sync Now

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



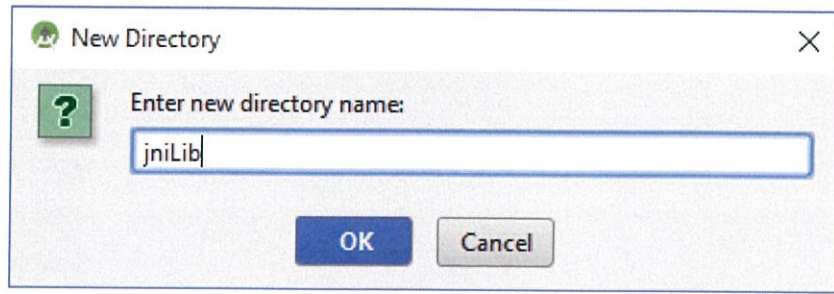
รูปที่ 3.2.27 หน้าต่าง setting.gradle

3.2.1.22 สร้างเพิ่ม jniLibs ด้วยการไปยัง app -> src -> main -> คลิกขวา -> New
-> Directory -> ตั้งชื่อ jniLibs



รูปที่ 3.2.28 แสดงการเพิ่มเพิ่ม jniLibs (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

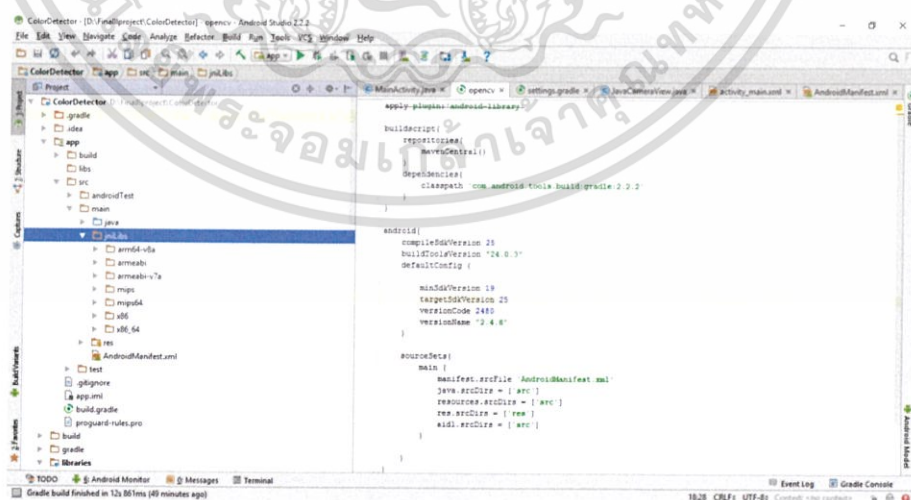


รูปที่ 3.2.28 แสดงการเพิ่มแฟ้ม jniLibs (ข)

3.2.1.23 จากนั้นไปยัง File Explorer -> OpenCV-3.1.0-android-sdk -> OpenCV-android-sdk -> sdk -> native -> libs แล้วคัดลอกโฟลเดอร์ทั้งหมดที่อยู่ใน libs



รูปที่ 3.2.29 แสดงการคัดลอกไลบรารีที่อยู่ใน Folder libs
3.2.1.24 ทำการ Paste ลงไปในแฟ้ม jniLibs ทำให้ได้ผลดังภาพ



รูปที่ 3.2.30 แสดง Direction jniLibs

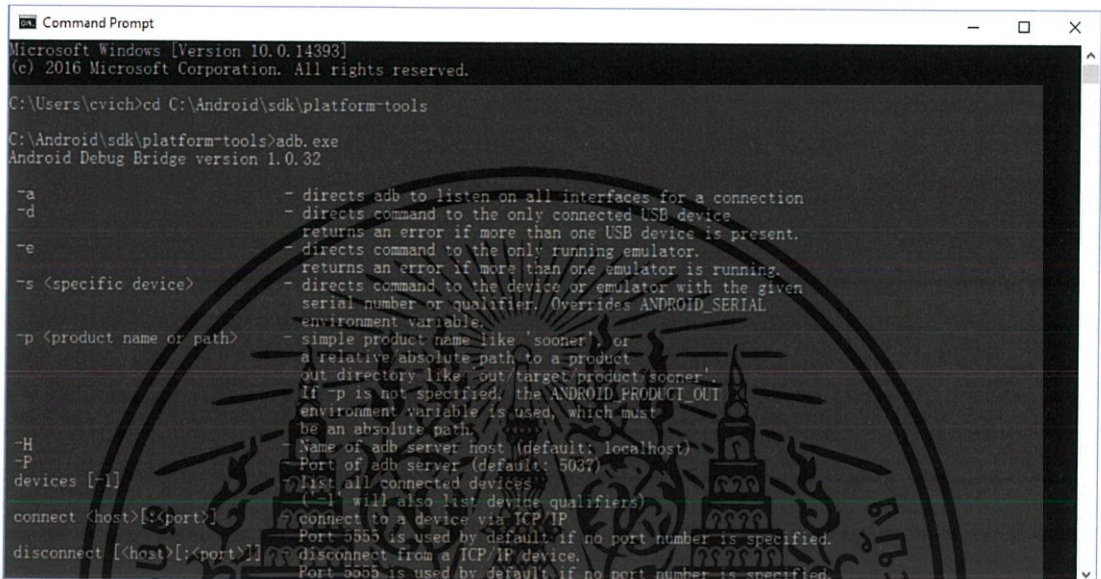
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.25 ทำการติดตั้ง OpenCV Manager ด้วยการเปิดโปรแกรม command prompt ขึ้นมา จากนั้นพิมพ์ตามข้อความด้านล่างดังนี้

```
>cd C:\Android\sdk\platform-tools
```

```
>adb.exe //รันโปรแกรม adb.exe
```

```
>adb install D:\OpenCV-3.1.0-android-sdk\OpenCV-android-  
sdk\apk\OpenCV_3.1.0_Manager_3.10_x86.apk
```



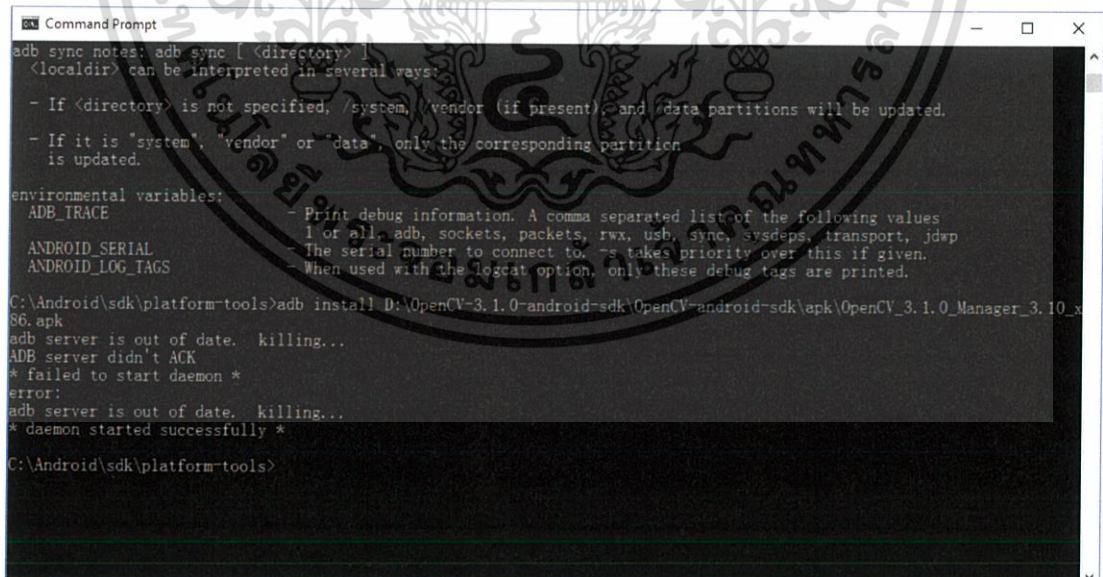
```
Microsoft Windows [Version 10.0.14393]
(c) 2016 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\cvich>cd C:\Android\sdk\platform-tools

C:\Android\sdk\platform-tools>adb.exe
Android Debug Bridge version 1.0.32

-a          - directs adb to listen on all interfaces for a connection
-d          - directs command to the only connected USB device
            - returns an error if more than one USB device is present.
-e          - directs command to the only running emulator.
            - returns an error if more than one emulator is running.
-s <specific device> - directs command to the device or emulator with the given
            - serial number or qualifier. Overrides ANDROID_SERIAL
            - environment variable.
-p <product name or path> - simple product name like 'sooner', or
            - a relative/absolute path to a product
            - out directory like 'out/target/product/sooner'.
            - If 'p' is not specified, the ANDROID_PRODUCT_OUT
            - environment variable is used, which must
            - be an absolute path.
-H          - Name of adb server host (default: localhost)
-P          - Port of adb server (default: 5037)
devices [-l] - List all connected devices
            - ('-l' will also list device qualifiers)
connect <host>[:<port>] - connect to a device via ICP/IP
            - Port 5555 is used by default; if no port number is specified.
            - disconnect from a ICP/IP device.
            - Port 5555 is used by default if no port number is specified.
```

รูปที่ 3.2.31 แสดงการติดตั้ง adb.exe



```
adb sync notes: adb sync [ <directory> ]
<localdir> can be interpreted in several ways:
- If <directory> is not specified, /system, vendor (if present), and /data partitions will be updated.
- If it is "system", "vendor" or "data", only the corresponding partition
  is updated.

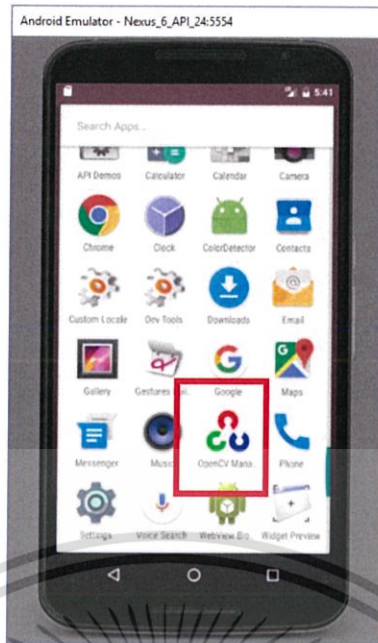
environmental variables:
ADB_TRACE          - Print debug information. A comma separated list of the following values
                    1 or all, adb, sockets, packets, rx, usb, sync, sysdeps, transport, jdwp
ANDROID_SERIAL     - The serial number to connect to. -s takes priority over this if given.
ANDROID_LOG_TAGS   - When used with the logcat option, only these debug tags are printed.

C:\Android\sdk\platform-tools>adb install D:\OpenCV-3.1.0-android-sdk\OpenCV-android-sdk\apk\OpenCV_3.1.0_Manager_3.10_x86.apk
adb server is out of date. killing...
ADB server didn't ACK
* failed to start daemon *
error:
adb server is out of date. killing...
* daemon started successfully *

C:\Android\sdk\platform-tools>
```

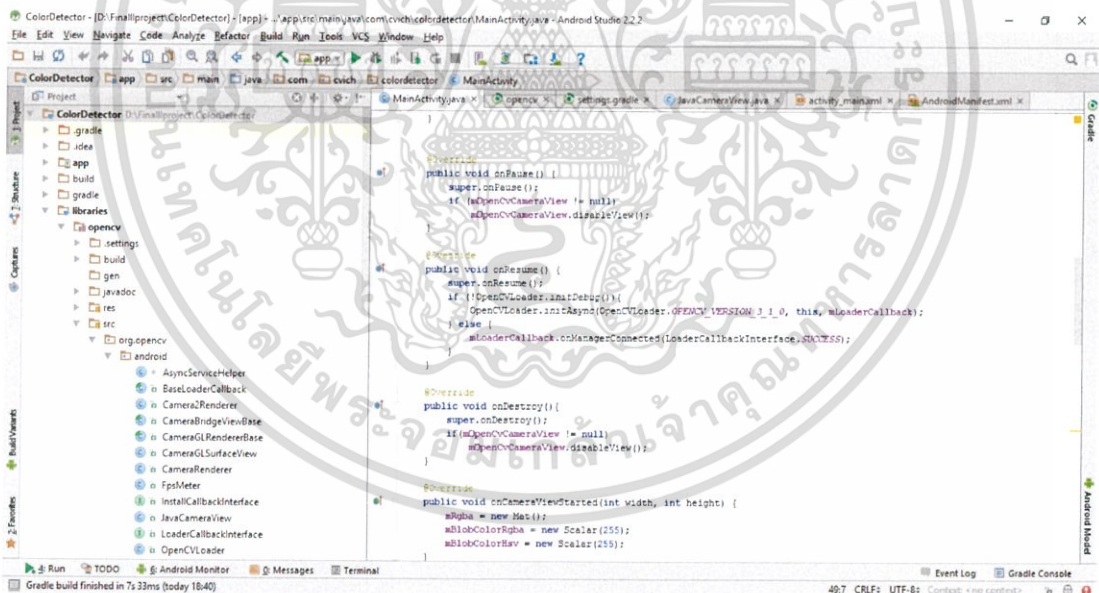
รูปที่ 3.2.32 แสดงการติดตั้ง OpenCV manager

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



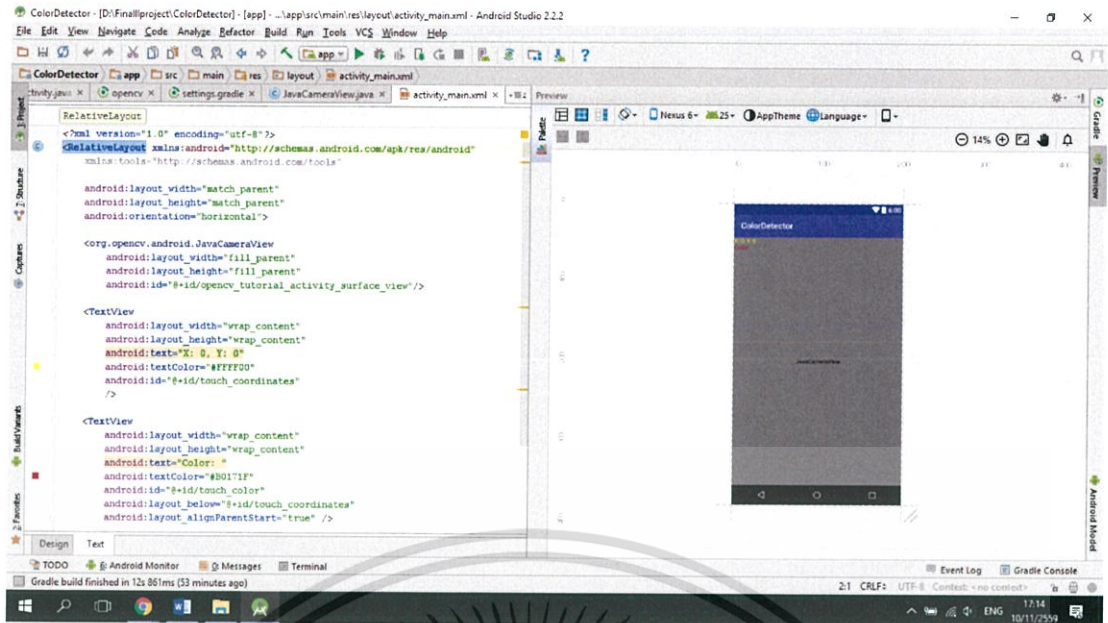
รูปที่ 3.2.33 แสดงไอคอน OpenCV Manager ที่ถูกติดตั้งในอุปกรณ์จำลอง

3.2.1.26 สร้างการทำงานให้กล้องในหน้าต่าง MainActivity.java และสร้าง Interface ในหน้า Activity_Main.xml



รูปที่ 3.2.34 แสดงหน้าต่าง MainActivity.java

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.35 แสดงหน้าต่าง Activity_Main.xml

3.2.1.27 การใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 3.2.36 แสดงการตรวจจับสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เราแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ การทดลองเขียนแอปพลิเคชันสำหรับตรวจจับสีที่เกิดขึ้น และการทดลองเพื่อตรวจจับน้ำตาลในเลือด โดยในภาคการศึกษาที่ 1 นี้ได้ทดลองเขียนแอปพลิเคชันสำหรับตรวจจับสี (Color detection) และทดลองใช้แอปพลิเคชันในการตรวจจับสี ซึ่งได้ผลดังนี้

4.1 การทดลองจับสีของวัตถุที่มีสีต่างๆ

ผู้จัดทำได้ทำการทดลองใช้แอปพลิเคชันที่เขียนขึ้นเพื่อจับสีของวัตถุ โดยเมื่อคลิกที่หน้าจอโทรศัพท์แอนดรอยด์ โดยเมื่อระก้องจับสีของวัตถุจะทำการแปลงเป็น code ในระบบอ้างอิงแบบ HSV ดังภาพที่แสดงต่อไปนี้

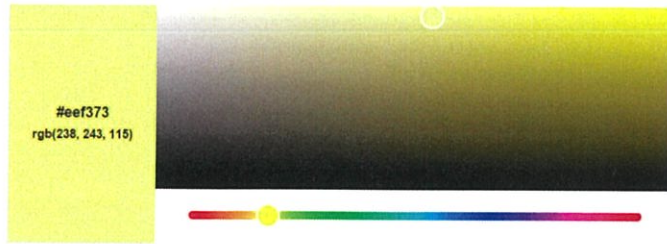
4.1.1 การทดลองใน Emulator



รูปที่ 4.1 ทดลองจับสีใน Emulator (Android Studio) โดยใช้กล้อง Webcam ของ notebook

การจับวัตถุที่มีสีเหลือง จะเห็นได้ว่าการแสดงชื่อสีในรูปแบบของระบบ HSV ในภาพวัตถุที่มีสีเหลืองจะแสดงเป็น #EEF373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 โค้ดสี #EEF373 ในระบบ HSV

การจับวัตถุที่มีสีส้ม จะเห็นได้ว่าการแสดงชื่อสีในรูปแบบของระบบ HSV ในภาพวัตถุที่มีสีส้ม จะแสดงเป็น #A05904



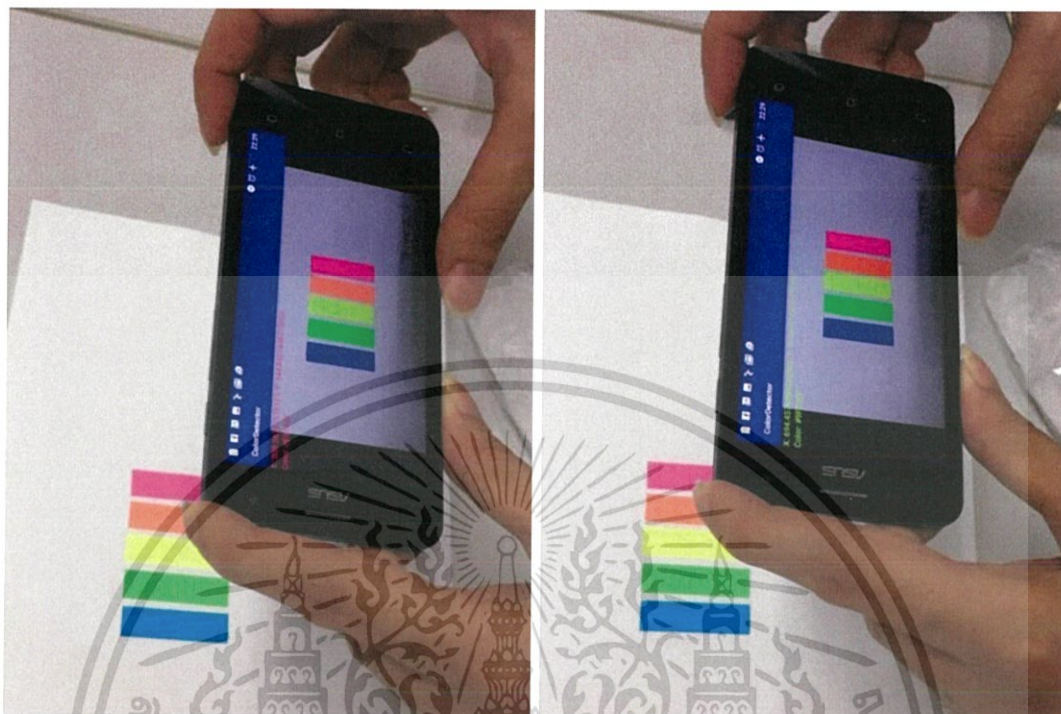
รูปที่ 4.3 แสดงการทดลองจับสีใน Emulator โดยใช้กล้อง Webcam ของคอมพิวเตอร์

4.1.2 การทดลองในอุปกรณ์แอนดรอยด์

ทดลองอัปเดตแอปพลิเคชันลงบนระบบแอนดรอยด์ 6.0.1 แล้วทดลองจับสีของวัตถุต่างๆ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลิกที่หน้าจอบริเวณตำแหน่งที่ต้องการจะตรวจจับสี แอปพลิเคชันจะแสดงโค้ดสีออกมา และตัวอักษรที่แสดงก็จะเปลี่ยนเป็นสีของวัตถุนั้นๆ ด้วย



รูปที่ 4.4 แสดงการตรวจจับสีโดยใช้กล้องจากอุปกรณ์แอนดรอยด์จริง โดยภาพทางซ้ายจับได้สีชมพู และภาพทางด้านขวา จับได้สีเหลือง
สรุป

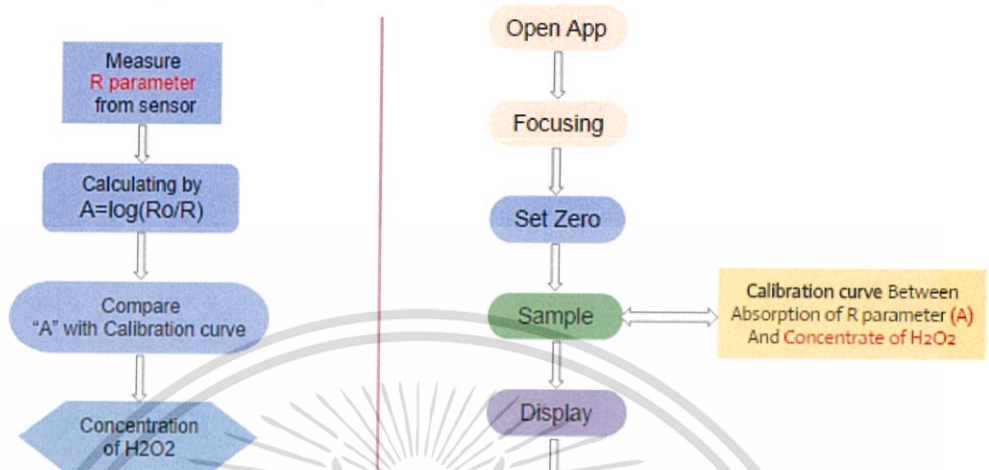
การเขียนแอปพลิเคชัน โดยใช้โปรแกรม Android Studio ร่วมกับ OpenCV เพื่อใช้ในการตรวจจับสีของวัตถุ ซึ่งเป็นการตรวจจับสีแบบ RGB แล้วแปลงเป็น HSV นั้น ผลการทดลองตรวจจับสีของวัตถุเมื่อคลิกที่วัตถุที่ต้องการจะตรวจจับสี ปรากฏขึ้น เป็นรหัสหรือโค้ดในระบบสีแบบ HSV เมื่อนำแผ่นทดสอบซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุที่มีหลายสี แล้วทดลองให้กล้องโทรศัพท์มือถือจับสีวัตถุ จะได้รับรหัส ซึ่งจะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกับตารางตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นตารางแสดง ค่าสีในระบบ RGB และในระบบ HSV และสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถจับสีของวัตถุได้
ปัญหาที่เกิดขึ้น

การตรวจจับสีที่ได้ อาจมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่ตรงกับสีที่แท้จริงบ้าง เนื่องจากการรบกวนจากแสงจากภาวะแวดล้อม เราจึงต้องควบคุมแสงจากภาวะแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่การสร้าง Black Box
ข้อเสนอแนะ

ในวัตถุเดียวกับแต่บริเวณพื้นผิวต่างกันจะให้ โค้ดสีที่ต่างกันออกไปแต่จะยังใกล้เคียงกับสีที่แท้จริง อันเนื่องมาจากแสงจากภาวะแวดล้อม แสงที่อยู่รอบๆ เราจึงต้องสร้าง Black Box เพื่อให้การตรวจจับได้แม่นยำและมีมาตรฐานมากขึ้น ซึ่งการสร้าง Black Box นี้จะทำให้วัตถุที่มีสีที่เรา

ต้องการจะตรวจจับมีแสงหรือสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ลดน้อยลง และทำให้ค่าตรวจจับได้มีค่าที่แม่นยำ
ใกล้ค่าจริงมากยิ่งขึ้น

Application (Addition)



รูป แสดงผังการทำงานแอปพลิเคชันของดีไวส์โดยคร่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้