

การออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพา

A DESIGN OF PORTABLE COLORIMETER FOR CHEMICAL QUANTITATIVE
ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-080-181

การออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพา

A DESIGN OF PORTABLE COLORIMETER FOR CHEMICAL QUANTITATIVE
ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-080-181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A DESIGN OF PORTABLE COLORIMETER FOR CHEMICAL QUANTITATIVE
ANALYSIS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL-2017-EN-M-080-181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพา
Thesis Title A Design of Portable Colorimeter for Chemical Quantitative Analysis
นักศึกษา นายคมสรณ์ โพธิ์เงิน
รหัสประจำตัว 56601200
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-080-181

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พูลศักดิ์ โภษิยาภรณ์	
ผศ.ดร.ดอน อิศรากร	
ดร.สังวาล บกสุวรรณ	
ดร.รัชณี กลุยกนนท์	
ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพา
นักศึกษา	นายคมสรณ์ โปธิ์เงิน
รหัสประจำตัว	5661200
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาสำหรับการประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เชิงเคมี โดยอาศัยหลักการประมวลผลภาพ ซึ่งประกอบด้วยกล้องทดสอบและโปรแกรมประมวลผลภาพ กล้องทดสอบประกอบด้วยกล้องเว็บแคมและแผงหลอดแอลอีดี เพื่อให้แสงสว่างแก่ไม่โครเวลเพลททางด้านล่าง ส่วนโปรแกรมประมวลผลภาพประกอบด้วยส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และส่วนประมวลผลภาพ โดยจะใช้หลักการแยกองค์ประกอบของสี RGB ในแต่ละหลุมของไม่โครเวลเพลท จากนั้นประมวลผลเป็นกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน เพื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการทดสอบ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงออกมายังส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน จากการทดสอบพบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่องที่ออกแบบให้ค่าสัมพัทธ์ของปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออปโทไฟแนนโทรลีนเท่ากับ 0.985 ปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์เท่ากับ 0.933 และปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติกเท่ากับ 0.986 ทั้งนี้ได้มีการทดสอบความแม่นยำในการวัดพบว่ามีระดับความแม่นยำอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 3.2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบการวัดสารละลายตัวอย่างพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 3.728 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเดิม จากข้างต้นจะพบว่าเครื่องที่ทำการออกแบบมีการทำงานที่รวดเร็วและต้นทุนต่ำกว่า จึงสามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการขนาดเล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A Design of Portable Colorimeter for Chemical Quantitative Analysis
Student	Mr.Komsun Phongern
Student ID.	5661200
Degree	Master of Engineering
Program	Control Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Noppadol Maneerat

ABSTRACT

This thesis presents the design of portable colorimeter for chemical quantitative analysis based on image processing. It comprises of two main parts which are test box and software. The test box consists of a web camera and LED lamp plate which is used to illuminate a micro wells. The software is the graphic user interface and image processing. The image processing process is splitting RGB channel of each pit in microwells then calculates calibration curves for finding and unknown concentric solution and shows the result on a screen. The experiment results can be calculated the concentric of the solution. The results of the experiment have a correlation of reaction between Fe (II) and Phenanthroline (Red product) 0.985, the reaction between Ethanol and Methyl orange (Yellow product) 0.933 and reaction between Uric acid and Phosphotungstic acid (Blue product) 0.986. The relative standard deviation result shows the measurement variation in range 1.5 -3.2 % and the relative error when compare with the standard method shows error 3.728%. Moreover, it takes a shorter processing time and lower cost compared with the spectrophotometer. The developed device can be appropriately proven to applied to chemical laboratory.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณอาจณรงค์ เมธาวิสรเสริญ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาเคมีประยุกต์และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ สำหรับคำแนะนำด้านเคมีและเครื่องมือ จากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

คมสรณ์ โปธิ์เงิน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 แนวคิดในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตในการวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 สเปกตรัมของแสงขาว (Colors of Visible Light).....	4
2.3 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law).....	7
2.4 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration Curve).....	10
2.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer).....	12
2.6 ไมโครเวลเพลท.....	14
2.7 ระบบสี.....	15
2.7.1 ระบบสี Grayscale.....	15
2.7.2 ระบบสี RGB.....	16
2.7.3 ระบบสี HSV.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing).....	17
2.8.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล.....	18
2.9 การสร้างภาพไบนารี.....	20
2.9.1 การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value).....	21
2.9.2 การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value).....	21
2.10 การหาขอบภาพ (Edge Detection).....	22
2.10.1 การค้นหาขอบภาพโดยใช้ออนุพันธ์อันดับหนึ่ง.....	22
2.10.2 การค้นหาขอบภาพโดยใช้ออนุพันธ์อันดับสอง.....	23
2.11 การค้นหาขอบภาพด้วย Canny.....	24
2.11.1 การขจัดสัญญาณรบกวน (Smoothing with Gaussian Filter).....	25
2.11.2 การคำนวณค่าของเกรเดียนต์ (Gradient Calculation).....	26
2.11.3 การขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maxima Suppression).....	26
2.11.4 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding).....	27
2.12 OpenCV (Open Source Computer Vision Library).....	27
บทที่ 3 การออกแบบกล่องควบคุมแสงและโปรแกรม.....	28
3.1 บทนำ.....	28
3.2 การออกแบบกล่องควบคุมแสง.....	28
3.3 การออกแบบโปรแกรม.....	30
3.3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	31
3.3.2 การแยกภาพไมโครเพลออกจากพื้นหลัง.....	33
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	37
4.1 บทนำ.....	37
4.2 การศึกษาสีของพื้นหลัง.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาระยะทางระหว่างกล่องและไมโครเวลเพลท.....	37
4.4 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลอง.....	38
4.4.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนน โทรลีน.....	38
4.4.1.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนนโทรลีน.....	38
4.4.1.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับ ออร์โทฟีแนนโทรลีน.....	38
4.4.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับ เมทิลออเรนจ์.....	38
4.4.2.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์.....	38
4.4.2.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับ เมทิลออเรนจ์.....	39
4.4.3 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับ กรดฟอสโฟทังสติก.....	39
4.4.3.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก.....	39
4.4.3.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับ กรดฟอสโฟทังสติก.....	39
4.5 เครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับระบบที่ออกแบบ.....	40
4.6 ขั้นตอนการทดลอง.....	40
4.6.1 ขั้นตอนในการทดสอบความเป็นเชิงเส้น.....	40
4.6.1.1 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนนโทรลีน.....	40
4.6.1.2 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์.....	41
4.6.1.3 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก.....	41
4.6.2 ขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของเครื่องที่ออกแบบ..	42
4.6.3 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายจริง.....	42
4.7 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น.....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกริยาระหว่างเหล็ก (II) กับ อโทพีแนมโทรลีน.....	43
4.7.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์...	46
4.7.3 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกริยาระหว่างกรดยูริกกับ กรดฟอสโฟทังสติก.....	49
4.8 ผลการทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของเครื่องที่ออกแบบ.....	52
4.9 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย.....	55
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล.....	60
5.1 บทนำ.....	60
5.2 การวิเคราะห์ผล.....	60
5.3 สรุปผล.....	61
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็น.....	5
4.1 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของการทดสอบในระดับความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ.....	53
4.2 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักด้วยเกรย์ สเกล (Gray).....	53
4.3 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักด้วย องค์ประกอบสีเขียว (Green).....	54
4.4 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักด้วย องค์ประกอบสีน้ำเงิน (Blue).....	54
4.5 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักด้วย องค์ประกอบความอิ่มตัวของสี (Saturation).....	54
4.6 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักเทียบ กับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบเกรย์ (Gray).....	56
4.7 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักเทียบ กับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบสีเขียว (Green).....	56
4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักเทียบ กับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบสีน้ำเงิน (Blue).....	57
4.9 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานหลักเทียบ กับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบความอิ่มตัวของแสง (Value).....	58
5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบ.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ช่วงคลื่นของแต่ละสี.....	4
2.2 การทดลองของนิวตัน.....	6
2.3 ลักษณะการดูดกลืนแสงของสารและการเกิดพีค.....	6
2.4 ลักษณะการดูดกลืนแสงตามกฎของแลมเบิร์ต.....	7
2.5 สารละลาย C1 และ C2.....	7
2.6 การดูดกลืนแสงของสาร.....	8
2.7 ตัวอย่างกราฟ Calibration Curve.....	10
2.8 การวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำมาสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน.....	12
2.9 การทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer).....	13
2.10 การหาสร้างกราฟมาตรฐานจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงดี ที่สุด.....	14
2.11 ไมโครเวลเพลท.....	15
2.12 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่เก็บค่าสี.....	15
2.13 ความแตกต่างของ สีแสง (RGB) และ สีวัตถุ (CMYK).....	16
2.14 วงล้อสีแบบ RGB.....	16
2.15 โมเดลสี HSV ในรูปแบบโคน (Cone).....	17
2.16 รูปที่เก็บในแต่ละ Channel ในระบบสี RGB และ HSV.....	17
2.17 กระบวนการได้มาซึ่งภาพ.....	18
2.18 ภาพก่อนและหลังการทำ Sampling และ Quantization.....	18
2.19 กระบวนการ Sampling และ Quantization.....	19
2.20 อนุพันธ์อันดับสองของภาพ.....	24
2.21 ขั้นตอนการค้นหาขอบภาพโดยวิธีของ Canny.....	25
3.1 กล้องไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบ.....	28
3.2 กล้องเว็บแคมที่ใช้.....	29
3.3 ภาพแอลอีดีเพลทที่ใช้ในการออกแบบ.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แผ่นจับไมโครเวลเพลท.....	30
3.5 การออกแบบ DIC systems.....	30
3.6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบ.....	32
3.7 หน้าจอการทำงานของโปรแกรม.....	33
3.8 ขั้นตอนการแยกไมโครเพลทออกจากพื้นหลัง.....	34
3.9 การแปลงภาพสีเป็น Grayscale.....	34
3.10 ภาพหลังจากการเปลี่ยนเป็นไบนารี.....	35
3.11 ภาพหลังจากผ่านกระบวนการ Edge Detection.....	35
3.12 ภาพหลังจากกำหนดจุดของไมโครเวลเพลท.....	36
4.1 เครื่อง UV- Visible Spectrophotometer.....	40
4.2 ภาพถ่ายสำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทโทไฟแนโนโทรลีน.....	43
4.3 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ RGB และ Grayscale.....	44
4.4 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ HSV.....	45
4.5 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน.....	46
4.6 ภาพถ่ายสำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์.....	47
4.7 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ RGB และ Grayscale.....	47
4.8 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ HSV.....	48
4.9 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน.....	49
4.10 ภาพถ่ายสำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดยูริกกับค่าความเข้มของสีที่ได้ จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ RGB และ Grayscale	50
4.12 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดยูริกกับค่าความเข้มของสีที่ได้ จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ HSV.....	51
4.13 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดยูริกกับค่าความเข้มของสีที่ได้ จากเครื่องมาตรฐาน.....	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์ทางชีวเคมี (Biochemical Analysis) ถูกนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณทางเคมีอย่างแพร่หลาย อาทิ การหาปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำ การหาปริมาณสารอาหารในพืช รวมไปถึงการวิเคราะห์ในเชิงการแพทย์ต่างๆ การวิเคราะห์โดยทั่วไปจะใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ในการอ่านค่าความดูดกลืนแสงของสารละลาย แต่ด้วยราคาเครื่องที่แพงและยากต่อการใช้งานแบบพกพา เทคนิคการวัดค่าสีจากการประมวลผลภาพ (Digital Image-based Colorimeter: DIC) ได้ถูกนำมาใช้แทนเนื่องจากสามารถออกแบบให้สามารถพกพาได้และต้นทุนที่น้อยกว่า

เทคนิคการวัดค่าสีจากการประมวลผลภาพจะอาศัยหลักการวัดค่าสีดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (Red Green Blue: RGB) ซึ่งค่าสีที่แตกต่างกันจะเทียบเคียงกับการวิเคราะห์โดยเทคนิคการดูดกลืนแสง ค่าที่ได้จากการอ่านค่าสีแต่ละสีจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 ซึ่งสามารถให้ค่าสีที่แตกต่างกันมากกว่า 16 ล้านสี คุณสมบัติข้างต้นทำให้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้กับการทดสอบเชิงเคมีอย่างหลากหลาย จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการใช้สแกนเนอร์แบบพกพา กล้องดิจิทัล กล้องเว็บแคม และกล้องจากโทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ ในการออกแบบระบบการวัดสีด้วยกล้องนั้นจะแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบเปิดและแบบปิด ระบบแบบเปิดจะใช้กล้องในการถ่ายภาพไมโครเวลเพลทอย่างเดียว ซึ่งจะมีปัจจัยภาพนอกต่างๆ เช่น ความเข้มแสงที่มากไปจากแสงธรรมชาติ ตำแหน่งการวางไมโครเวลเพลท และระยะโฟกัสของกล้อง ปัจจัยดังกล่าวทำให้ค่าของสีผิดเพี้ยนไป ส่วนระบบแบบปิดคือระบบที่ประกอบด้วยกล้องและกล่องควบคุมแสงซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยภาพนอกข้างต้นได้

ในการหาปริมาณสารบางปฏิกิริยาหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้วจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี โดยที่ความเข้มของสีจะขึ้นกับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดความเข้มสีเพื่อหาปริมาณสารได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ได้ทำการศึกษาการใช้เทคนิคการถ่ายภาพในการอ่านค่าแถบสีที่ได้จากการทดสอบปัสสาวะ [2] ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคการถ่ายภาพเพื่อหาปริมาณโลหะในสารละลาย วิธีการดังกล่าวทำได้โดยใช้สแกนเนอร์ถ่ายภาพสารละลายที่รู้ค่าความเข้มข้นของโลหะในปริมาณต่างๆ จากนั้นนำมาอ่านค่าสีด้วยโปรแกรม Photoshop เพื่อสร้างกราฟความเข้มขั้นมาตรฐาน (Calibration Curves) จากนั้นนำกราฟที่ได้ไปใช้ในการหาปริมาณโลหะจากสารละลายที่ต้องการทดสอบ ซึ่งวิธีการนี้ค่อนข้างมีความซับซ้อนของการทำงาน [3] ได้ทำการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่ออ่านค่าสีจากภาพถ่ายแล้วประมวลผลเพื่อหาปริมาณสารอาหารในพืช ซึ่งวิธีการนี้มีความรวดเร็วในการเก็บและประมวลผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงสถิติ [4] ทำการศึกษาการใช้สแกนเนอร์ในการถ่ายภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในเลือด [5] และยังมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กล้องสมาร์ทโฟนในการถ่ายแบบและออกแบบแอปพลิเคชันในการประมวลผลจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบการประยุกต์ใช้เว็บแคม (Webcam) ในการถ่ายภาพ

งานวิจัยนี้จึงเสนอการออกแบบเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาโดยใช้การหลักการประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคม ซึ่งสามารถออกแบบการควบคุมแสงรบกวนจากภายนอกได้ด้วยกล้องควบคุมแสง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการวัดค่าสีจากการประมวลผลภาพในการหาความเข้มข้นของสารละลาย
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาสำหรับการประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เชิงเคมี
3. เพื่อสร้างเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาสำหรับการประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เชิงเคมีให้มีราคาถูกลง และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน

1.3. สมมติฐานของงานวิจัย

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงเคมีทั่วไปนั้น มีราคาที่สูงเกินไป ไม่สามารถพกพาได้ ทำให้การเข้าถึงการวิเคราะห์ทางเคมีของหน่วยทดสอบขนาดเล็กที่ไม่มีเครื่องมือจำเป็นต้องพึ่งพาผลการวิเคราะห์จากหน่วยวิเคราะห์ขนาดใหญ่ หากมีเครื่องมือที่เทียบเคียงในการวิเคราะห์ที่ราคาไม่แพงและสามารถใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้น จะทำให้การเข้าถึงการวิเคราะห์เชิงเคมีนั้นเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงมากยิ่งขึ้น โดยค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องที่ทำการออกแบบควรมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน

1.4 แนวคิดในการวิจัย

เพื่อให้มีเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ราคาไม่แพง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในลักษณะพกพาได้ จึงได้เลือกใช้เทคนิคการวัดค่าสีจากการประมวลผลภาพ (DIC) ในการหาความเข้มข้นของสารละลายโดยมีการเลือกใช้กล้องเว็บแคมสำหรับการถ่ายภาพสารละลาย และยังทำการออกแบบกล้องควบคุมแสงที่ใช้หลอดแอลอีดีให้ความสว่างเพื่อทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายภาพดีขึ้น โดยในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบโปรแกรมจะใช้องค์ประกอบสีดิจิทัลของภาพไมโครเวลเพลทที่ถ่ายด้วยกล้องเว็บแคม โดยบนไมโครเวลเพลทจะประกอบไปด้วยสารละลายมาตรฐานที่ค่าเข้มข้นต่างๆ เพื่อสร้างเป็นกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน จากกราฟที่ได้จะนำไปหาค่าความเข้มข้นของสารละลายหลุมอื่นที่ไม่ทราบค่าได้

1.5 ขอบเขตในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมสำหรับถ่ายภาพสารละลายที่ทำปฏิกิริยา จากนั้นทำการประมวลผลภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบสีด้วยระบบสี RGB และ HSV โดยเลือกภาพที่ดีที่สุดที่สามารถเห็นรายละเอียดของสีได้ชัดเจนสำหรับการวัดความเข้มข้นสารละลาย ในการทดลองเน้นการทดสอบกับสารละลายใน 3 ปฏิกิริยา ปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอซิโทฟีแนนโทรอลีน ปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์ และปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก ในการทดสอบประสิทธิภาพของการออกแบบนั้นจะทำได้โดยการทดสอบความแม่นยำ และการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาที่ออกแบบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการทดลอง

1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและภาพรวมทั้งหมดของการออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาดูด้วยกล้องเว็บแคม

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งได้กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของคลื่นและความยาวแสง ทฤษฎีของเบียร์ (Beer's Law) และได้นำเสนอส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง Spectrophotometer รวมไปถึงทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ระบบสีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาดูด้วยกล้องเว็บแคม และซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานและวัดความเข้มข้นของสารละลายเคมี

บทที่ 4 กล่าวถึงการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ การทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายเคมี และผลของการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับเครื่องที่ผลิตขายในเชิงพาณิชย์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้มาใช้ในการทำการวิเคราะห์ โดยใช้ค่าความเป็นเชิงเส้นและค่าความคลาดเคลื่อนในการสอบเทียบ

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองและบทสรุปงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

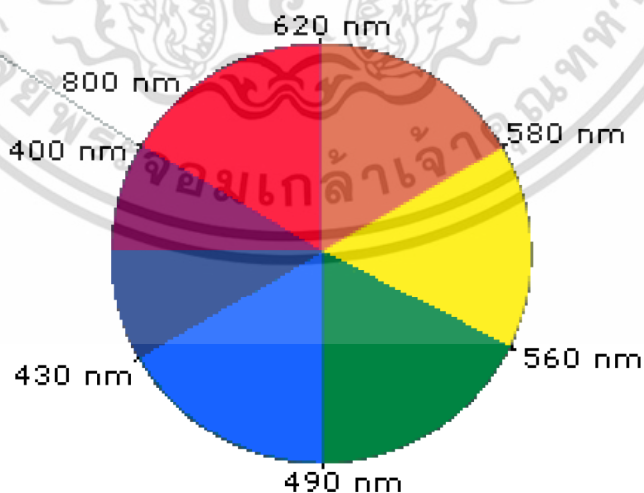
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายทางเคมีนั้นมีหลายวิธี การวิเคราะห์ค่าสีของสารละลายก็เป็นวิธีการหนึ่งในการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อการออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล้องเว็บแคม ดังนั้นจึงต้องเรียนรู้ทฤษฎีการดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) และสมบัติต่างๆของความเป็นคลื่นของความยาวแสง ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง Spectrophotometer การศึกษาทฤษฎีสี รวมไปถึงเทคนิคการประมวลผลภาพต่างๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบ

2.2 สเปกตรัมของแสงขาว (Colors of Visible Light)

คลื่นแสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วงประมาณ 400-800 nm ถ้านำมันตาถูกกระตุ้นด้วยแสงตลอดทั้งช่วงความยาวคลื่น (400-800 nm) ผลก็คือจะมองเห็นแสงนั้นเป็นแสงขาว แต่ถ้าคลื่นแสงถูกดูดกลืนแสงไปบางส่วน แสงที่ตามองเห็นจะเป็นสีผสม (Complementary) หรือสีที่อยู่ตรงข้ามของสีที่ถูกดูดกลืนเมื่อเทียบตามวงล้อสี ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ช่วงคลื่นของแต่ละสี

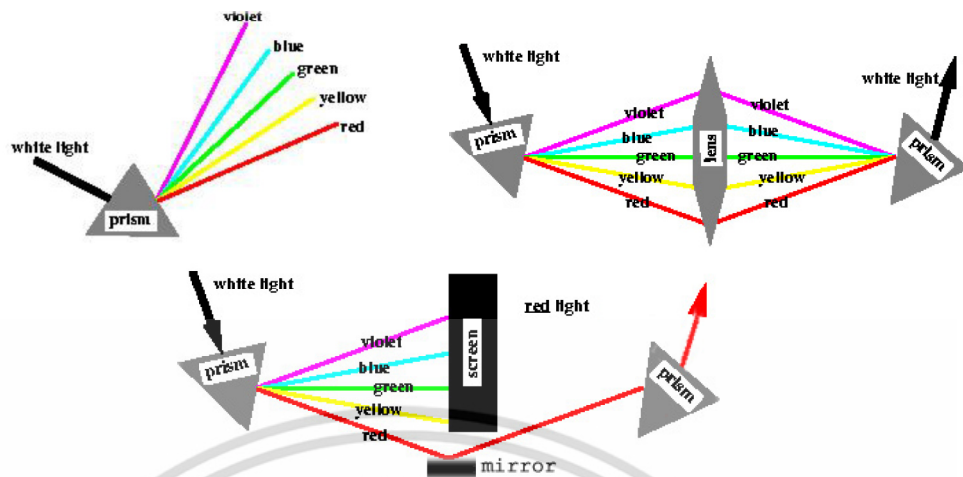
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็นมีประโยชน์สำหรับใช้ในการทำนายว่าสารประกอบที่มีสีจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงใด ยกตัวอย่างเช่น สารประกอบ iron(III)thiocyanate หรือ $\text{Fe}(\text{SCN})_2^{2+}$ เป็นสารละลายที่มีสีแดง อาจทำนายได้ว่า $\text{Fe}(\text{SCN})_2^{2+}$ ดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงิน-เขียว (470-500 nm) ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณ $\text{Fe}(\text{SCN})_2^{2+}$ โดยวิธีทางสเปกโทรสโคปี จึงต้องเลือกใช้ความยาวคลื่นในช่วง 470-500 nm

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็น

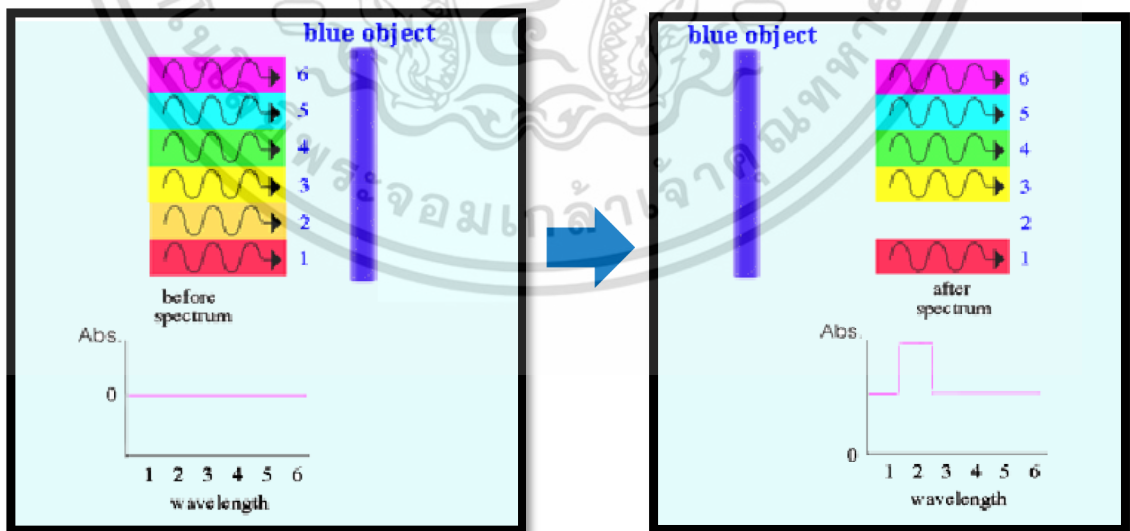
ความยาวคลื่น (nm)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็น
380-420	ม่วง	เขียว-เหลือง
420-440	ม่วง-ฟ้า	เหลือง
440-470	น้ำเงิน	ส้ม
470-500	เขียว-น้ำเงิน	แดง
500-550	เขียว-เหลือง	ม่วง
550-580	เหลือง	ม่วง-น้ำเงิน
580-620	ส้ม	น้ำเงิน
620-780	แดง	เขียว-น้ำเงิน

ไอแซค นิวตัน (ค.ศ.1642-1726) ทำการทดลองเกี่ยวกับสเปกตรัมของแสงขาว พบว่าถ้านำปริซึมไปปรับแสงอาทิตย์ จะได้สเปกตรัมของแสงสีต่างๆ ในทางตรงกันข้าม ถ้าให้สเปกตรัมทั้งหมดผ่านปริซึม แสงสีทั้งหมดจะรวมกันกลายเป็นแสงขาวอีกครั้ง ขณะเดียวกันถ้านำฉากไปรับสเปกตรัมที่ผ่านปริซึมออกมา ยกเว้นให้แสงสีเดียวเช่นสีแดงผ่านเข้าปริซึมอีกตัว นั่นหมายความว่าแสงสีอื่นถูกดูดกลืนหมด ยกเว้นสีแดง ดังนั้นเมื่อผ่านปริซึมตัวที่สองก็จะได้เฉพาะสีแดงเท่านั้น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทดลองของนิวตัน

เมื่อแสงขาวผ่านทะลุวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นอาจดูดกลืนแสงบางส่วนหรือดูดกลืนทั้งหมดหรือไม่ดูดกลืนเลย ถ้าสารดูดกลืนแสงทั้งหมดจะทำให้มองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีดำ แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่ดูดกลืนแสงเลย จะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีขาว แต่ถ้าดูดกลืนแสงบางส่วนจะเห็นสีที่เป็นสีตรงข้ามตามวงล้อสีที่ได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของ Colors of Visible Light ดังนั้น จากตัวอย่างข้างบนจะเห็นว่าวัตถุสีน้ำเงินจะดูดกลืนแสงสีส้ม ถ้าเขียนกราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสง โดยเขียนกราฟระหว่างความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืน (Absorbance) จะเห็นว่าบริเวณช่วงคลื่นของแสงสีส้มจะเกิดสัญญาณหรือพีคการดูดกลืนขึ้น ดังรูปที่ 2.3

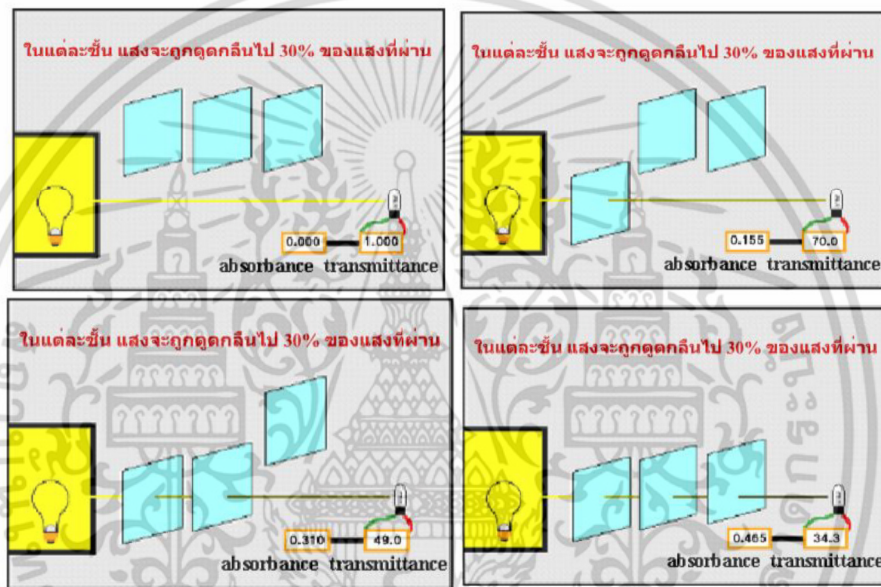


รูปที่ 2.3 ลักษณะการดูดกลืนแสงของสารและการเกิดพีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

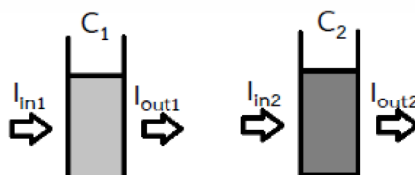
2.3 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law)

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) กล่าวว่า “เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดี่ยว (Monochromatic Light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน” จากรูปจะเห็นว่าทุกๆ ภาคตัดขวางที่แสงเดินทางผ่าน จะถูกโมเลกุลในแต่ละชั้นจะดูดกลืนแสงไป 30เปอร์เซ็นต์ เสมอ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการดูดกลืนแสงตามกฎของแลมเบิร์ต

กฎของเบียร์ (Beer's Law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดี่ยวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”



รูปที่ 2.5 สารละลาย C1 และ C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 ถ้าความเข้มข้น $C_2 > C_1$ ดังนั้นแสงที่ผ่านสารละลาย C_2 ออกมาจะเหลือน้อยกว่าแสงที่ผ่านออกมาจากสารละลาย C_1 เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่าจะมีโมเลกุลที่สามารถดูดกลืนแสงขวางทางเดินแสงอยู่มากกว่าเมื่อวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็น กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law) การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง สามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (Incident Light: I_0) แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลือผ่านออกมา (I) โดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.6 การดูดกลืนแสงของสาร

จากรูปที่ 2.6 ค่าการส่องผ่าน (Transmittance; T) เป็นสัดส่วนปริมาณแสงที่ผ่านออกมา (I) ต่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (I_0) ดังสมการที่ (2.1)

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.1)$$

ส่วนค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance; A) นิยามได้ดังสมการที่ (2.2)

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \epsilon cl \quad (2.2)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง

ϵ คือ ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงหรือค่า Molar Absorptivity เป็นค่าเฉพาะสำหรับสารหนึ่งๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในช่วงความยาวคลื่นหนึ่งๆ

c คือ ความเข้มข้นของสารละลาย

l คือ ความยาวของระยะทางที่แสงผ่านสารละลายที่ต้องการวัด

I_0 คือ ความเข้มของแสงก่อนผ่านสารละลาย

I คือ ความเข้มของแสงหลังผ่านสารละลาย

การคำนวณค่าการดูดกลืนแสง จะคำนวณได้จากการรวมสมการที่ (2.1) กับสมการที่ (2.2) ดังนั้นจะได้ผลลัพธ์ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4) หลังจากสอบเทียบโดยใช้ชุดของสารละลายมาตรฐานโดยการกำหนดค่า ϵ จากนั้น การวัดค่าการดูดกลืนแสง (A) จะสามารถรู้ค่าความเข้มข้น (c) ของสารละลายที่ไม่ทราบชนิดได้ (Unknown)

$$\frac{I}{I_0} = \frac{I_{\text{sample}}}{I_{\text{solvent}}} = \frac{V_{\text{sample}} - V_{\text{zero}}}{V_{\text{solvent}} - V_{\text{zero}}} \quad (2.3)$$

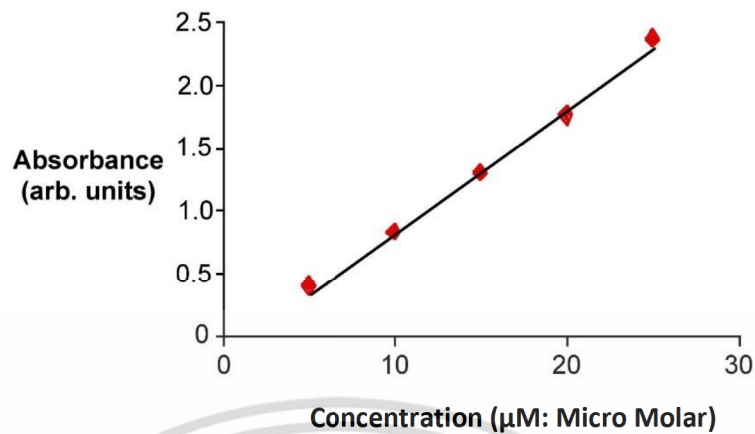
$$A = \log_{10} \left(\frac{V_{\text{sample}} - V_{\text{zero}}}{V_{\text{solvent}} - V_{\text{zero}}} \right) \quad (2.4)$$

โดยที่ V_{zero} คือ ค่าแรงดัน (V_{out}) เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบบัวโฟโตทรานซิสเตอร์

V_{sample} คือ ค่าแรงดัน (V_{out}) เมื่อมีการดูดกลืนความเข้มแสงโดยสารตัวอย่างที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย

V_{solvent} คือ ค่าแรงดัน (V_{out}) ของตัวทำละลายในขณะที่ไม่มีสารตัวอย่างละลายอยู่

ดังนั้น จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.4) จะพบว่าเมื่อสารตัวอย่างที่สนใจมีความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป จะส่งผลต่อความเข้มแสงที่ผ่านสารตัวอย่างมาตกกระทบบัวโฟโตทรานซิสเตอร์ จะส่งผลให้ค่า V_{out} เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถคำนวณค่าการดูดกลืนแสงได้ตามสมการข้างต้นจะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย จะได้กราฟเส้นตรงหรือกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration Curve) ดังรูปที่ 2.7

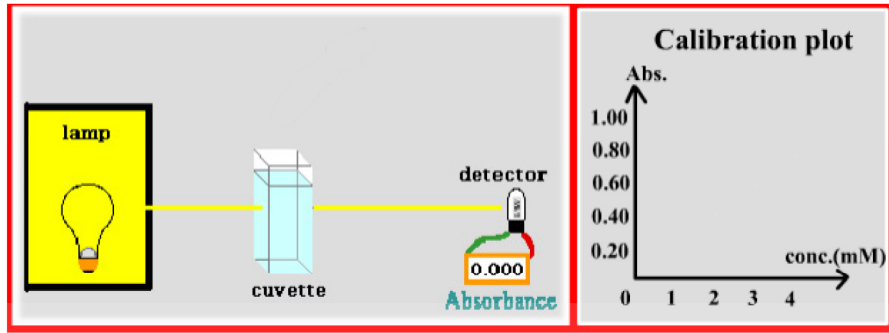


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟ Calibration Curve

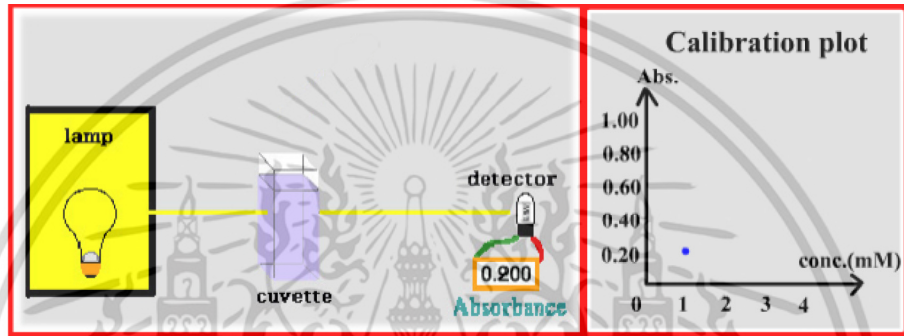
2.4 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration Curve)

ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารหรือปริมาณของเนื้อสารนั้น ตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต ดังนั้นถ้านำความสัมพันธ์นี้มาสร้างกราฟและได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง จะเรียกกราฟนี้ว่า กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration Curve) กราฟความเข้มข้นมาตรฐานนี้มีประโยชน์มากในเชิงปริมาณวิเคราะห์ เพราะสามารถใช้เทียบเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ไม่ทราบค่าได้ โดยที่สารที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้นนั้นจะต้องอยู่ในช่วงความเข้มข้นมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว และเส้นกราฟความเข้มข้นมาตรฐานจะต้องเป็นเส้นตรงเสมอ วิธีการสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน คือ นำสารละลายมาตรฐาน (Standard Solution) ที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอนอย่างน้อย 3-4 ความเข้มข้นมาวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นก็นำความสัมพันธ์ที่ได้ไปสร้างกราฟ ส่วนความเข้มข้นที่ไม่ทราบค่าก็นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเช่นเดียวกัน แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงนั้นไปเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน หรือคำนวณจากสมการเชิงเส้นของกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน เพื่อย้อนกลับมาเป็นความเข้มข้นจะทราบค่าความเข้มข้นของสารนั้นได้

ดังรูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างของการสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน รูปที่ 2.8 (ก) แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 0 mM รูปที่ 2.8 (ข) แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 1 mM รูปที่ 2.8 (ค) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 2 mM รูปที่ 2.8 (ง) แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 3 mM และรูปที่ 2.8 (จ) แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 4 mM และเมื่อนำมาพล็อตจะได้กราฟเส้นตรง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสง



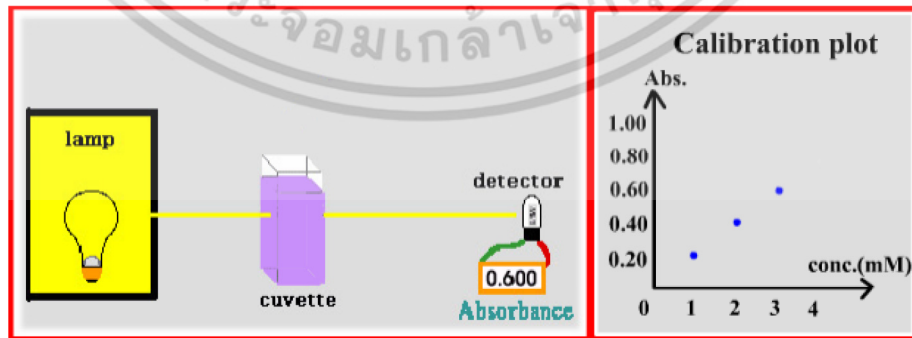
(ก) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 0 mM



(ข) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 1 mM

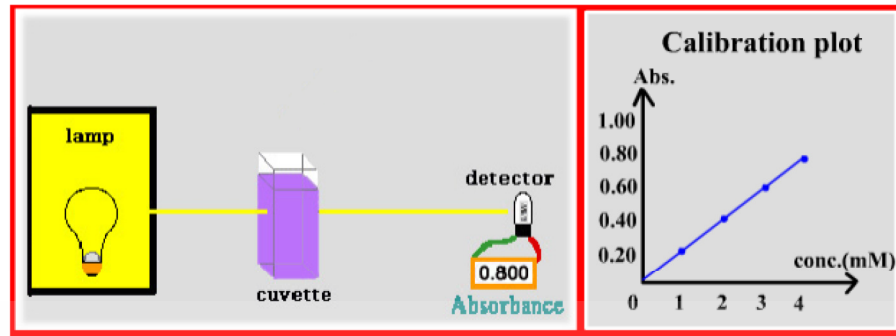


(ค) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 2 mM



(ง) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 3 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 4 mM

รูปที่ 2.8 การวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำมาสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

2.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คือ เครื่องมือที่วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ต และช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประกอบด้วย

1. แหล่งกำเนิดแสง สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นั้น ต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นหลอดไฮโดรเจน (Hydrogen Lamp) หรือหลอดดีวเทอเรียม (Deuterium Lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185 ถึง 375 nm ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจนหรือดีวเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ส่วนหลอดทังสเตน (Tungsten Filament Lamp) ประกอบด้วยหลอดทังสเตนอยู่ในหลอดสุญญากาศซึ่งให้รังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วงยูวี จนถึงช่วงอินฟราเรด

2. โมโนโครมาเตอร์ เป็นชิ้นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำหน้าที่แยกลำรังสีที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องออกเป็นรังสีความยาวคลื่นเดียว ในช่วงแสงที่เห็นได้อาจใช้ปริซึมแก้ว ส่วนในช่วงยูวีจำเป็นต้องใช้ปริซึมที่ทำด้วยควอตซ์สำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีราคาแพงมักใช้โมโนโครมาเตอร์แบบ Diffraction Grating ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีร่องเป็นจำนวนมากและความกว้างของร่องใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสี

3. เซลล์บรรจุตัวอย่าง (Cuvette) เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง บางครั้งเรียกว่า คิวเวทท์ (Cuvettes) มีด้วยกันหลายแบบ เช่น เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดาจะใช้ได้เฉพาะในช่วงที่ตามองเห็นไม่สามารถใช้ในช่วงยูวีได้ เนื่องจากเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (Silica) และ ควอร์ตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งในช่วงยูวีและวิสิเบิล

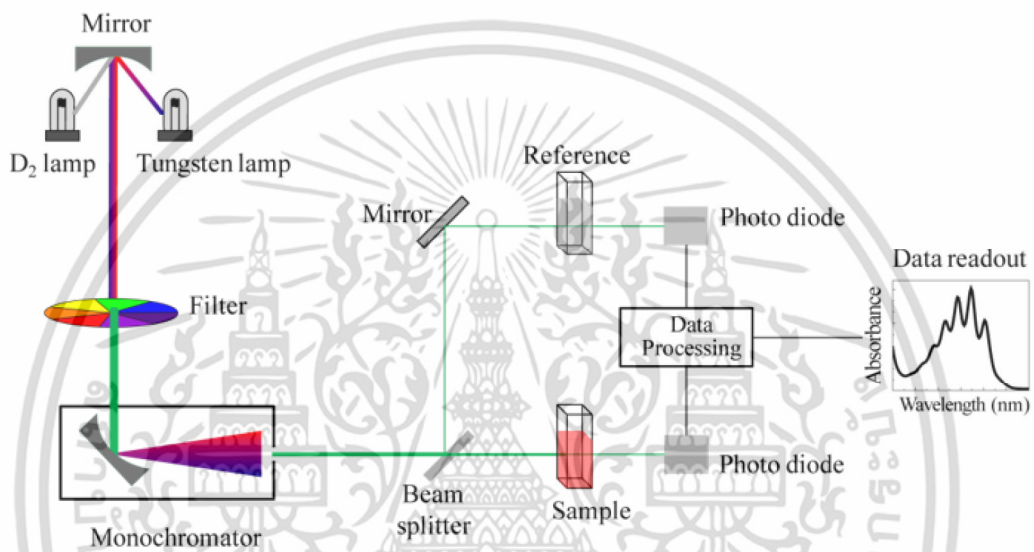
4. เครื่องตรวจวัด (Detector) เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแสงที่ผ่านสารตัวอย่างออกมามีหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด ได้แก่

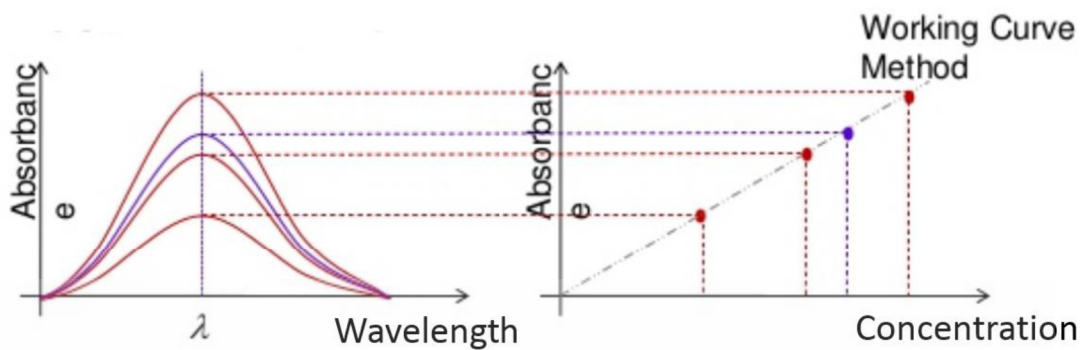
1) Photomultiplier Tube เป็นเครื่องตรวจวัดที่ไวต่อแสงทั้งในช่วงยูวีและวิสิเบิล โดยสามารถตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และตรวจวัดสารที่มีปริมาณต่ำๆ ได้ดี ในช่วงความยาวคลื่น 190-900 nm

2) Photodiode Array Detector เป็นเครื่องตรวจวัดที่สามารถตรวจวัดในทุกความยาวคลื่นของแสงได้ในเวลาเดียวกัน และตรวจวัดได้ตั้งแต่ช่วง 190-1100 nm



รูปที่ 2.9 การทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายจะทำได้โดยอาศัยกราฟการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยจะทำการเลือกความยาวคลื่น (Wavelength) ที่มีค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) มากที่สุดในการวิเคราะห์ เมื่อเลือกความยาวคลื่นที่ได้ความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ มาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบต่อไปดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การหาสร้างกราฟมาตรฐานจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงดีที่สุด

2.6 ไมโครเวลเพลท

ไมโครเวลเพลท (Microwell Plate) หรือ ไมโครไทเทอ์เพลท (Microtiter Plate) มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีช่องหรือหลุมเล็กๆ จัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ ใช้เป็นภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหน้าที่คล้ายหลอดทดลองขนาดเล็ก โดยทั่วไปแล้วไมโครเพลทจะมีช่องหรือหลุมใส่ตัวอย่าง จำนวน 6, 24, 96, 384 หรือ 1536 ช่อง ขนาดของช่องก็แตกต่างกันไป มีทั้งช่องชนิดกลมและสี่เหลี่ยม สามารถบรรจุสารตัวอย่างได้ระดับนาโนลิตรถึงมิลลิลิตร วัสดุที่ใช้ผลิตไมโครเพลทก็มีหลายชนิด หากใช้พลาสติกชนิดพอลิสไตรีน จะใช้งานทางด้านการตรวจวัดเชิงแสง ไมโครเพลทบางชนิดก็ผลิตเป็นสีขาวโดยการผสมไทเทเนียมออกไซด์ ใช้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และการวัดการเปล่งแสง (Luminescence) หากต้องการสีดำก็จะผสมคาร์บอนลงไป โดยทั่วไปใช้ในงานทดสอบทางด้านชีววิทยา เมื่อใช้พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนก็สามารถทนต่อความเย็นถึง -80 องศาเซลเซียสได้ นอกจากนั้นวัสดุที่ใช้ผลิตไมโครเพลทยังใช้แก้วหรือแก้วควอทซ์ เพื่อการใช้งานในลักษณะที่มีลักษณะเฉพาะอีกด้วย ไมโครเพลทจึงเป็นอุปกรณ์ที่ประยุกต์ใช้ในงานได้หลากหลายด้าน เช่น การวิเคราะห์ วิจัย การทดสอบในห้องปฏิบัติการทางด้านคลินิก ฯลฯ โดยใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการกรองสาร การแยกสาร การเก็บสาร การผสมสารเพื่อทำปฏิกิริยา การเพาะเลี้ยงเซลล์ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



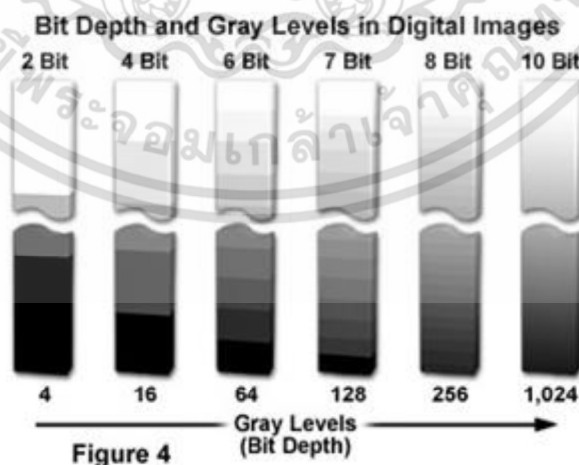
รูปที่ 2.11 ไมโครเวลเพลท

2.7 ระบบสี

ในที่นี้จะอธิบายถึงระบบสีแบบต่างๆที่นิยมใช้ในงานการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยระบบสี Grayscale ระบบสี RGB และระบบสี HSV

2.7.1 ระบบสี Grayscale

เป็นช่วงของเฉดสีเทา ซึ่งแตกต่างกับภาพขาว-ดำ ที่มีเพียง 2 สี คือขาว กับดำ สีใน Grayscale นี้แสดงถึงความเข้มของสี (Intensity) ในระดับต่างๆ โดยสีดำเป็นส่วนที่มีความเข้มของสีน้อย และสีขาวจะมีความเข้มของสีมาก จำนวนระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี โดยทั่วไปแล้วจะเก็บข้อมูลสีประเภทนี้ด้วยข้อมูลขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ ซึ่งจะให้ความละเอียดของสีที่ 256 เฉดสี ดังรูปที่ 2.12

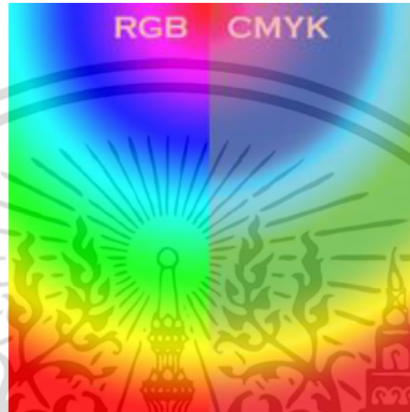


รูปที่ 2.12 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่เก็บค่าสี

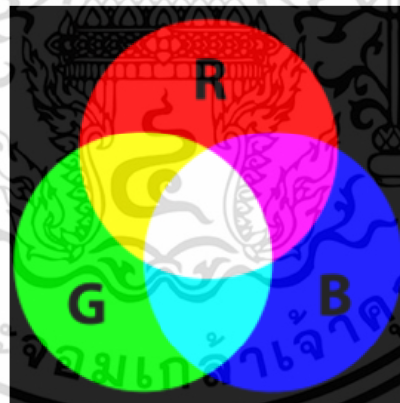
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ระบบสี RGB

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สีหลักสามสีคือ แดง (Red), เขียว (Green) และ น้ำเงิน (Blue) RGB นั้นเป็นระบบสีแสง และเป็นแบบ Additive คือ ถ้าไม่มีสีใดเลยจะมองเห็นเป็นสีดำ และในทางกลับกัน หากมีครบทุกสีจะมองเป็นสีขาว จะต่างกับระบบสีแบบ Subtractive หรือระบบสีแบบ CMYK ที่เป็นสีที่เกิดจากการสะท้อนหรือเรียกกันทั่วไปว่าสีวัตถุ ซึ่งมีความแตกต่างดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ความแตกต่างของ สีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK)



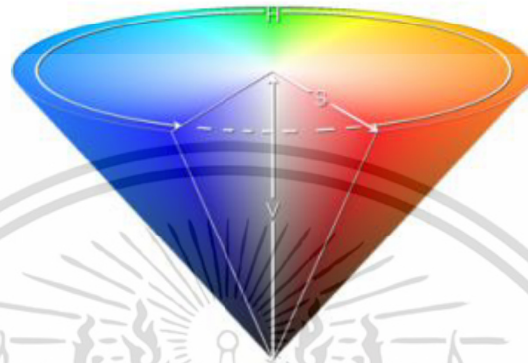
รูปที่ 2.14 วงล้อสีแบบ RGB

2.7.3 ระบบสี HSV

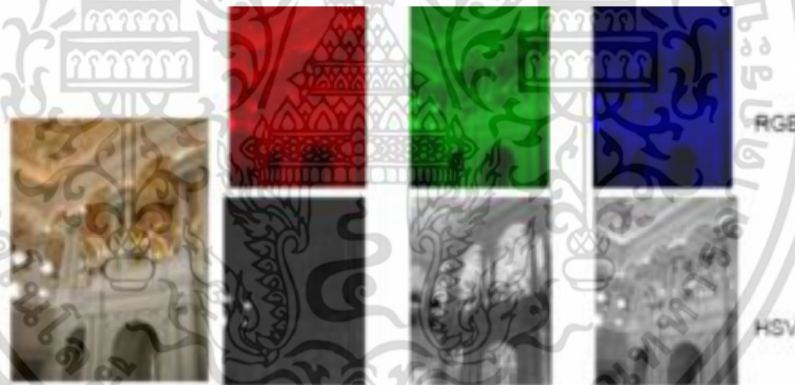
ระบบสี HSV (Hue, Saturation, Value) หรือ HSB (Hue, Saturation, Brightness) เป็นระบบสีที่นิยมใช้กันในกลุ่มนักแต่งภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบดังรูปที่ 2.15 เนื่องจากเป็นระบบสีที่ใกล้เคียงกับความคิดของมนุษย์ได้ดีกว่าระบบสี RGB โดย Hue คือสีของภาพ, Saturation คือ ปริมาณความอึมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสี ยิ่งมีค่านี้นมากภาพจะมีสีสด ยิ่งมีน้อยภาพจะยิ่งมีสีน้อยลง จนในที่สุดจะกลายเป็นรูปที่ลักษณะแบบ Grayscale และ Value หรือ Brightness เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความสว่างของภาพ หากมีค่ามากภาพ จะยิ่งมีความสว่างมาก รูปที่ 2.16 จะแสดงความแตกต่างของรูปที่ในแต่ละระบบสี



รูปที่ 2.15 โมเดลสี HSV ในรูปแบบโคน (Cone)

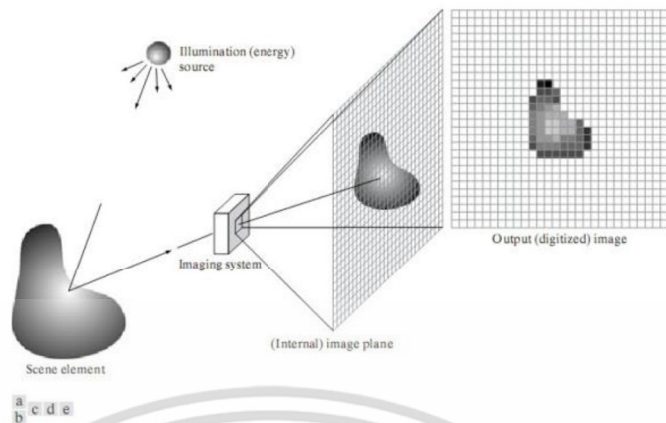


รูปที่ 2.16 รูปที่เก็บในแต่ละ channel ในระบบสี RGB และ HSV

2.8 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข คือ การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการแปลงภาพให้เป็นตัวเลข โดยที่ตัวเลขจะแทนอยู่ในลักษณะของตัวเลขในเมตริกซ์ซึ่งค่าของแต่ละจุดพิกเซล (Pixel) ของภาพจะถูกแทนในรูปของฟังก์ชัน $f(x, y)$ (Gray-Level Value) ที่ต่อเนื่องในระนาบ 2 มิติโดยค่าของ $f(x, y)$ แต่ละจุดนั้นขึ้นอยู่กับความสว่างหรือความเข้มของภาพที่ตำแหน่ง (x, y) ซึ่งเรียกว่า Gray Level ดังรูปที่ 2.17

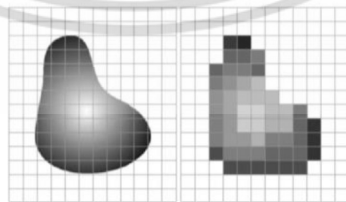
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 กระบวนการได้มาซึ่งภาพ

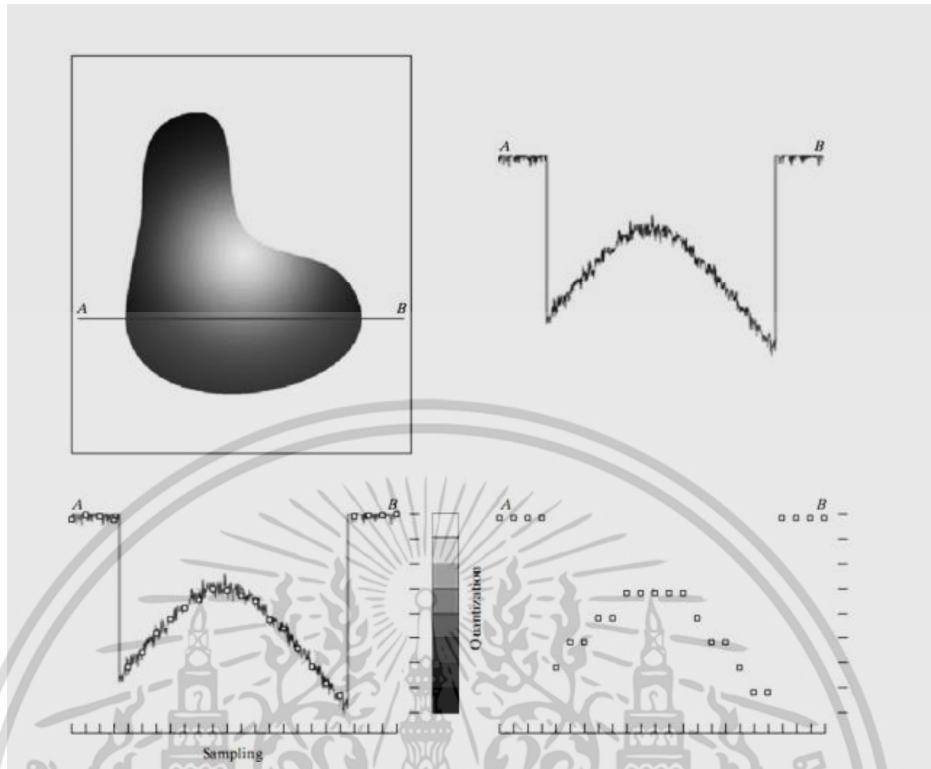
2.8.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

การแปลงภาพเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลภาพ (Digital Image) เป็นภาพแปลงมาจากอนาลอกอยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพอนาลอกจะถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่า พิกเซล (Pixel) การบอกตำแหน่งของแต่ละพิกเซลจะใช้ (x, y) เป็นตัวระบุตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ใน 2 มิติ (2-Dimension) โดยที่ $f(x, y)$ จะเป็นตัวบอกถึงค่าของระดับสีเทาของแต่ละพิกเซล ทำให้สามารถแปลงภาพหรือสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลได้ กระบวนการข้างต้นเรียกว่า ดิจิไทเซอร์ (Digitizer) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นจึงทำควอนไทเซชัน (Quantization) ดังรูปที่ 2.19 เพื่อที่จะประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ $f(x, y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพซึ่งเรียกว่า การสุ่มภาพ (Image Sampling) ฟังก์ชันที่ได้เรียกว่า การควอนไทเซชันระดับสีเทา (Gray Level Quantization) ข้อมูลที่เป็นดิจิทัลเสมือนสัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x, y)$ ที่ถูกดิจิไทซ์ในระนาบ x และ y เป็นช่วงเท่าๆ กัน



รูปที่ 2.18 ภาพก่อนและหลังการทำ Sampling และ Quantization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 กระบวนการ Sampling และ Quantization

สามารถจัด $f(x, y)$ ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการที่ (2.5)

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,0) & \dots & f(0,0) \\ f(0,0) & f(0,0) & \dots & f(0,0) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(0,0) & f(0,0) & f(0,0) & f(0,0) \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

ซึ่งทางขวาของสมการ จะเรียกได้ว่า ภาพดิจิทัล และทุกๆ สมาชิกของเมตริกซ์จะเรียกว่าพิกเซล จากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลข้างต้นจะเห็นได้ว่าสามารถทราบขนาดของความละเอียดของภาพ $N \times N$ พิกเซล และจำนวนระดับของ Grayscale ในทางปฏิบัติการทำควอนไทเซชันในระบบภาพดิจิทัล จะมีค่าดังสมการที่ (2.6)

$$B = N \times N \times M \text{ บิต} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ B = ขนาดของข้อมูลภาพที่เป็นดิจิทัล
 G = จำนวนของ Grayscale ที่ต้องการใช้ในการเก็บข้อมูลภาพ
 M = จำนวนบิตที่ใช้ในการแทนข้อมูลภาพ 1 พิกเซล
 โดย M สามารถหาได้จาก

$$G = 2^M \quad (2.7)$$

2.9 การสร้างภาพไบนารี

อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับ หรือ 2 สี คือ สีขาวกับสีดำยังมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น เครื่องพิมพ์ (Printer) เครื่องโทรสาร (Fax) จอแสดงผลแบบโมนโอโครม (Monochrome) เป็นต้น เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก ดังนั้นการแสดงผลหรือการพิมพ์รูปภาพที่มีความเข้มของภาพหลายระดับซึ่งมีมากกว่าความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์เหล่านั้นที่มีเพียงสองระดับเท่านั้น

จะเห็นได้ว่าการแสดงผลของภาพที่มีความเข้มหลายระดับบนอุปกรณ์ที่มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับนั้นจะต้องแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพแบบไบนารี (Binary Image) ซึ่งการสร้างภาพแบบไบนารีการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ (Multilevel Image) ให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับ หรือ 1 บิต (bit) นั่นเอง โดย 0 แทน ด้วยจุดที่มีภาพสีขาว และ 1 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีดำเมื่อเสร็จขั้นตอนในการทำไบนารีจึงนำภาพที่ได้ไปแสดงผลที่อุปกรณ์เหล่านั้น จะเห็นได้ว่าการแปลงข้อมูลภาพหลายระดับเป็นภาพไบนารี จึงมีความจำเป็นและมีประโยชน์มากในการแสดงผลภาพที่มีระดับความเข้มของภาพหลายระดับบนอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแสดงผลได้ 2 ระดับสำหรับประโยชน์อีกประการหนึ่งในการแปลงข้อมูลภาพนั้นเป็นภาพไบนารีคือการลดเนื้อที่การเก็บข้อมูลภาพจะใช้เนื้อที่การเก็บ 8 บิต หรือ 256 ระดับเมื่อสร้างเป็นภาพไบนารีเมื่อสร้างเป็นภาพไบนารีแล้วสามารถลดลงจากเดิมได้ถึง 8 เท่า นั่นคือ 1 จุดจะใช้เนื้อที่ในการเก็บทั้งหมดคือ 1 บิต อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานได้อีกแพร่หลายเช่น การประมวลผลขั้นต้น (Preprocessing)

ในการสร้างภาพไบนารีสามารถหาได้โดยการใช้เทคนิคการทำเทรชโฮลด์ (Threshold Technique) เป็นการพิจารณาจุดพิกเซลในภาพว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาวที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือจุดใดควรจะเป็นจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละพิกเซล $f(x, y)$ กับค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold Value) เทคนิคที่ใช้กันมากในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับสีขาวของแสงจากแอลอีดีและสีดำที่เป็นขอบของไมโคร

เวลโดยค่าของพิกเซลในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) และ ถ้าค่าของพิกเซลใดๆ ในภาพที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)

$$b(x, y) = \begin{cases} 0, & g(x, y) < Thr \\ 1, & g(x, y) \geq Thr \end{cases} \quad (2.8)$$

โดยที่ $b(x, y)$ ข้อมูลภาพผลลัพธ์เป็นภาพแบบไบนารี

$b(x, y)$ ข้อมูลภาพอินพุทที่มีระดับความเข้มชั้น 0 ถึง 1 ระดับ

Thr ค่าเทรชโฮลด์เป็นค่าคงที่ที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง L

0 จุดขาว 1 จุดดำ โดยที่ L เป็นระดับความเข้มของจุดภาพสูงสุด

ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลด์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและคมชัด จะต้องเกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลด์ที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าเลือกค่าเทรชโฮลด์ไม่เหมาะสม เช่น ค่าเทรชโฮลด์ที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัดหรืออาจทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไปอาจจะมีดเกินไปหรือสว่างเกินไปเป็นภาพที่มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้นทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาในการสร้างภาพแบบไบนารีคือ ทำอย่างไรจึงจะคำนวณค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับภาพแต่ละภาพที่จะมาสร้างเป็นภาพแบบไบนารี ซึ่งค่าเทรชโฮลด์สามารถคำนวณได้หลายวิธีแต่ละวิธีจะเหมาะสมการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น การหาค่าเทรชโฮลด์โดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value) การหาค่าเทรชโฮลด์จากค่ากลาง (Midrange Threshold Value) แต่ละวิธีจะอธิบายได้ดังนี้

2.9.1 การหาค่าเทรชโฮลด์โดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value)

การหาค่าเทรชโฮลด์โดยการกำหนดล่วงหน้าเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเป็นการคำนวณค่าโดยการกำหนดเองของผู้ใช้ การกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้โดยการเลือกค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลด์นี้ ค่าที่เลือกมานั้นจะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของข้อมูลอินพุทแต่ละพิกเซลของภาพ เช่น ภาพข้อมูลอินพุทเกรย์เลเวล (Gray Level) 256 ระดับจะมีค่าทั้งหมด 0 ถึง 255 เมื่อเลือกค่าเทรชโฮลด์แล้วก็สามารถนำค่าเทรชโฮลด์เป็นตัวกำหนดในการสร้างภาพไบนารีได้

2.9.2 การหาค่าเทรชโฮลด์จากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value)

การหาค่าเทรชโฮลด์โดยพิจารณาจากค่ากลางเป็นการหาค่าเทรชโฮลด์ที่แตกต่างจากการหาค่าเทรชโฮลด์โดยการกำหนดล่วงหน้า สำหรับวิธีนี้จะเป็นการคำนวณโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้เป็นผู้

กำหนด โดยการหาค่าเทรซโฮลด์วิธีนี้อาศัยหลักการคำนวณพื้นฐานทางสถิติในเรื่องของการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย (Mean) มาประยุกต์ใช้ค่าเทรซโฮลด์ที่คำนวณได้จากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าที่มีความเข้มสูงสุด (Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของข้อมูลอินพุท เมื่อทำการคำนวณค่าเทรซโฮลด์ได้แล้วก็จะสามารถนำค่าเทรซโฮลด์เป็นตัวกำหนดในการสร้างภาพไบนารีได้

2.10 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพเป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุจะสามารถคำนวณหาพื้นที่ (ขนาด) หรือรู้จักชนิดของวัตถุนั้นได้อย่างไรก็ตาม การหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ไม่ใช่เป็นเรื่องที่ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของภาพที่มีคุณภาพต่ำ มีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วภาพ โดยขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังนั้นถ้าหากความเข้มแสงมีความแตกต่างมากจะทำให้ขอบภาพมีความชัดเจน ในทางตรงข้ามถ้าหากมีความแตกต่างน้อยขอบภาพจะไม่ชัดเจน ซึ่งการหาขอบภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.4.1 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Method)

2.4.2 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง (Laplacian Method)

2.10.1 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง

วิธีการค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Operator: ∇) มีหลักการคือบริเวณขอบของวัตถุในภาพ (เมื่อ $P(x, y)$ พิกัดชั้นของภาพ) จะมีค่าเกรเดียนต์ที่สูงการพิจารณาขนาดของเกรเดียนต์ (Gradient Magnitude ($|\nabla P|$)) เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Threshold (T)) ที่กำหนดขึ้นเมื่อค่าของ $|\nabla P|$ มีค่ามากกว่าค่าอ้างอิง แสดงว่าจุดดังกล่าวคือขอบของวัตถุที่ปรากฏในภาพที่จุด $P(x, y)$ การค้นหาขอบของวัตถุโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งเป็นวิธีแยกส่วนประกอบของภาพและเมื่อความไม่ต่อเนื่องของค่าพิกเซลบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับพื้นหลังและค่าอนุพันธ์ย่อยที่ไม่ต่อเนื่องตามทิศทางของเกรเดียนต์ของแนวแกน x และแกน y กำหนดค่าได้ตามสมการ

$$\nabla_x P(x, y) = P(x, y) - P(x - 1, y) \quad (2.9)$$

และ

$$\nabla_y P(x, y) = P(x, y) - P(x, y - 1) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของเกรเดียนต์ของ $P(x, y)$ กำหนดค่าได้จาก

$$|\nabla_x P(x, y)| = \sqrt{(\nabla_x P(x, y))^2 - (\nabla_y P(x, y))^2} \quad (2.12)$$

เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ประมาณค่าขนาดของเกรเดียนต์ได้ว่า

$$|\nabla_x P(x, y)| = |(\nabla_x P(x, y))| - |(\nabla_y P(x, y))| \quad (2.12)$$

การหาขอบภาพโดยใช้เกรเดียนต์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป แต่เทคนิคที่ได้รับ ความนิยมได้แก่ การหาขอบภาพโดยวิธีแคนนี่ (Canny Edge Detection)

2.10.2 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง

การค้นหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง เปรียบได้กับการหาอนุพันธ์อันดับสองของภาพเพื่อให้ได้ ขอบของภาพ โดยภาพที่ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับสอง (Laplacian Operator ($\nabla^2 P$)) บริเวณที่เป็นส่วน ขอบจะเด่นชัดขึ้น การประมาณค่าของ $\nabla^2 P$ โดยใช้ Mask ดังสมการที่ (2.13) และสมการที่ (2.14)

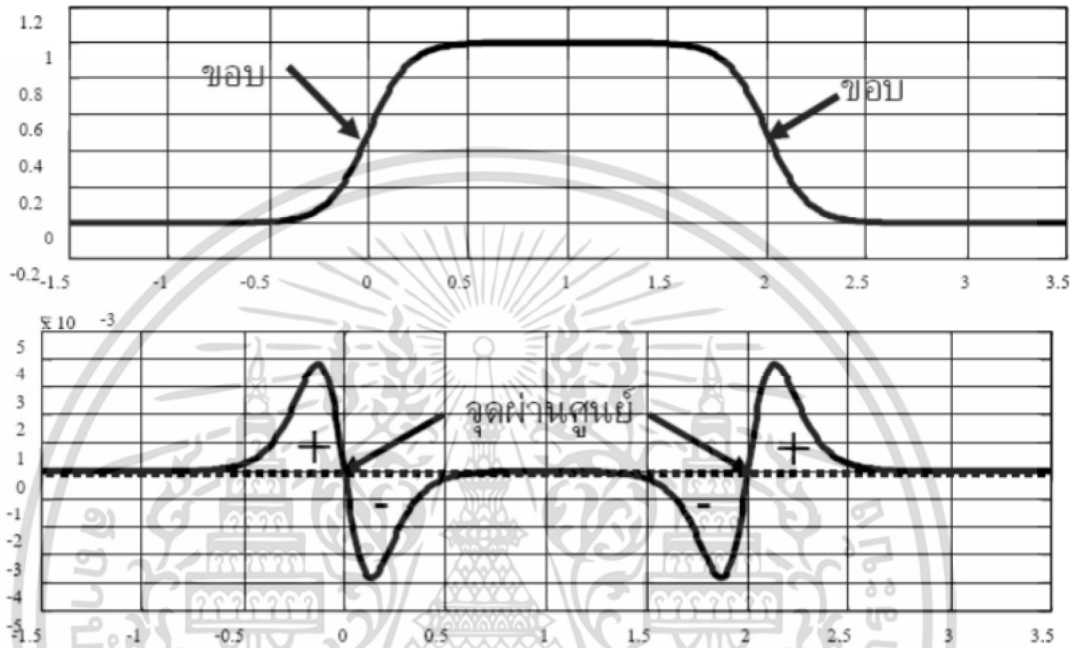
$$Mask(E_x) = \begin{bmatrix} Z_{x1} & Z_{x2} & Z_{x3} \\ Z_{x4} & Z_{x5} & Z_{x6} \\ Z_{x7} & Z_{x8} & Z_{x9} \end{bmatrix} = E_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$Mask(E_y) = \begin{bmatrix} Z_{y1} & Z_{y2} & Z_{y3} \\ Z_{y4} & Z_{y5} & Z_{y6} \\ Z_{y7} & Z_{y8} & Z_{y9} \end{bmatrix} = E_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

ทั้งนี้ตำแหน่งของบริเวณขอบของวัตถุในภาพคือค่าจุดผ่านศูนย์ (Zero Crossing) ของ $\nabla^2 P$ การหาอนุพันธ์อันดับสอง สามารถหาได้จากสมการที่ (2.15)

$$\nabla^2 P = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \quad (2.15)$$

การค้นหาขอบภาพอนุพันธ์อันดับสอง เมื่อทำ $\nabla^2 P$ ด้วย บริเวณขอบจะมีตำแหน่งเดียวกับค่าจุดผ่านศูนย์ของค่าจาก $\nabla^2 P$ พิจารณาได้จากตำแหน่งที่พิกเซลเปลี่ยนแปลงจากค่าที่เป็นบวกเป็นค่าที่เป็นลบหรือจากค่าที่เป็นลบไปเป็นค่าที่เป็นบวกดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 อนุพันธ์อันดับสองของภาพ

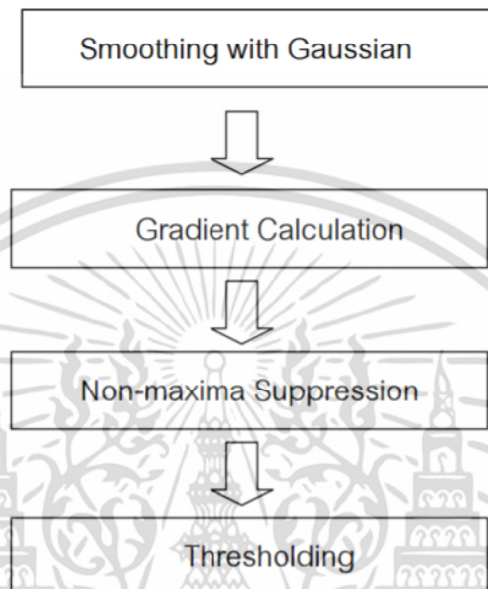
การทำขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง ไม่สนใจทิศทางของภาพในแนวแกน x และแกน y กำหนดจุดที่ค่า y เป็นจุดผ่านศูนย์ วิธีนี้ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าการค้นหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง กล่าวคือสามารถตรวจจับความไม่ต่อเนื่องของพิกเซลในโดเมนรูปภาพได้โดยใช้อนุพันธ์ของภาพนั่นเอง

2.11 การค้นหาขอบภาพด้วย Canny

เริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้น คำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของเกรเดียนต์โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งถัดมาจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าของ Non-maxima Suppression กับค่าขนาดของเกรเดียนต์ (Gradient Magnitude) เพื่อให้ได้ขอบที่บางลงและใน

ขั้นตอนสุดท้ายใช้การกำหนดจุดอ้างอิงสองระดับ (Double Thresholding Algorithm) เพื่อระบุค่าของพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการค้นหาขอบภาพโดยวิธีของ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการค้นหาขอบภาพโดยวิธีของ Canny

2.11.1 การขจัดสัญญาณรบกวน (Smoothing with Gaussian Filter)

ขั้นตอนแรกการค้นหาขอบโดยอัลกอริธึมของ Canny จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ออกก่อนด้วยวิธีการใช้ตัวกรองเกาส์เซียนกำหนดกรอบ (Mask) การกำหนดกรอบขนาดของตัวกรองเกาส์เซียนหากมีขนาดกว้างมากจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มากถ้าขนาดกรอบกว้างมากเกินไปมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดหายไป หรืออาจจะได้บริเวณขอบที่ไม่ตรงกับรูปภาพ ผลของภาพที่ผ่านการปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียนหาได้จากสมการที่ (2.16)

$$S_{(i,j)} = G_{(i,j,\sigma)} \cdot I_{(i,j)} \quad (2.16)$$

กำหนดให้

$S_{(i,j)}$ คือ ภาพภายหลังการกรอง

$G_{(i,j,\sigma)}$ คือ Gaussian Smoothing Filter

$I_{(i,j)}$ คือ ภาพที่ต้องการหาขอบ

σ คือ ควบคุมระดับของการ Smoothing

2.11.2 การคำนวณค่าของเกรเดียนต์ (Gradient Calculation)

ขั้นแรกปรับภาพ $I_{(i,j)}$ ให้มีความเรียบผลลัพธ์ที่ได้คือค่าของภาพในฟังก์ชัน $S_{(i,j)}$ ขั้นตอนที่สอง การหาค่าของเกรเดียนต์ในทิศทางของแกน x และแกน y และกำหนดขนาดของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ $Px_{(i,j)}$ และ $Qy_{(i,j)}$ ตามลำดับดังสมการที่ (2.17) และสมการที่ (2.18)

$$Px_{(i,j)} \approx \frac{S_{(i,j+1)} - S_{(i,j)} + S_{(i+1,j+1)} - S_{(i+1,j)}}{2} \quad (2.17)$$

$$Qy_{(i,j)} \approx \frac{S_{(i,j)} - S_{(i+1,j)} + S_{(i,j+1)} - S_{(i+1,j+1)}}{2} \quad (2.18)$$

นำค่า $Px_{(i,j)}$ และ $Qy_{(i,j)}$ ที่ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งเมื่อคำนวณการแปลงรูปแบบจากระนาบของระบบพิกัดฉาก (Rectangular Form) ไปเป็นระนาบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Form) เพื่อหาขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์แทนค่าตามสมการที่ (2.19) และ สมการที่ (2.20) ได้ค่าขนาดเกรเดียนต์ ดังนี้คือ

$$M(i,j) = \sqrt{P_x^2(i,j) + Q_y^2(i,j)} \quad (2.19)$$

และทิศทางของเกรเดียนต์ (Gradient Orientation) เท่ากับ

$$\theta(i,j) = \tan^{-1}(P_x^2(i,j) + Q_y^2(i,j)) \quad (2.20)$$

และสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน

$$\theta = \tan^{-1}(x, y) \quad (2.21)$$

2.11.3 การขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maxima Suppression)

การค้นหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Canny จุดที่ถือเป็นเส้นขอบของภาพได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับเกรเดียนต์ การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Non-maxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุด

ยกเว้นจุดที่เป็น Local Maxima Point ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

2.11.4 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

แม้ว่าภาพจะผ่านการขจัดสัญญาณรบกวนในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม (Smoothing with Gaussian Filter) ภาพที่ได้ก็ยังมีส่วนขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่ อันเนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ขึ้นมา 2 ค่าคือ เทรชโฮลด์สูง (T1) และ เทรชโฮลด์ต่ำ (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น '1' (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น '0' ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่าเทรชโฮลด์ทั้งสองการปรับเป็นค่า '0' หรือ '1' นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ขอบค่า > T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น '1' และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน ดังนั้นการทำเทรชโฮลด์จะทำให้ภาพที่มีขอบหนาหรือบางนั่นเอง

2.12 OpenCV (Open Source Computer Vision Library)

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) เป็นไลบรารีสำหรับใช้งานเรื่องการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่พัฒนาที่ด้วยโปรแกรมภาษา C, C++ และมี Data structure และ Function การทำงานฐานที่ต้องใช้เกี่ยวกับ Image Processing ซึ่งสามารถโหลดมาใช้งานได้ฟรี เพราะทาง Intel ที่เป็นผู้พัฒนาและเปิดให้สามารถนำไปใช้งานตาม License แบบ BSD License โดย OpenCV ไม่ได้เป็นโปรแกรมแต่เป็นชุดของคำสั่งเท่านั้น เวลาใช้งานก็ต้องเขียนโปรแกรมไปเรียกคำสั่งพวกนี้อีกที ซึ่งผู้ใช้สามารถนำโปรแกรมไปพัฒนาต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบกล่องควบคุมแสงและโปรแกรม

3.1 บทนำ

ในการออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล่องเว็บแคมนั้นจะแบ่งการออกแบบเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนของกล่องควบคุมแสงและส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการอ่านค่าสี โดยส่วนประกอบหลักของกล่องควบคุมแสงจะประกอบด้วย กล่องไฟฟ้า แอดฮีติเพลท และส่วนที่ใช้สำหรับจับไมโครเวลเพลท ส่วนในการออกแบบโปรแกรมนั้นจะถูกพัฒนาด้วย Visual C# ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

3.2 การออกแบบกล่องควบคุมแสง

ระบบการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคการอ่านค่าสีโดยใช้กล้องเว็บแคม ถูกออกแบบขึ้นให้สามารถพกพาได้ ในการออกแบบนั้นตัวกล่องจะประกอบอยู่ในกล่องควบคุมแสงเพื่อลดความผิดพลาดในการวัดค่าความเข้มข้นแสง ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดในการออกแบบกล่องควบคุมแสงประกอบด้วย

1. กล่องไฟฟ้าขนาด 15 x 35 x 25 cm ซึ่งภายในถูกบุด้วยผนังสีดำเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกและลดการกระจายของแสงภายในกล่อง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กล่องไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กล้องเว็บแคมยี่ห้อ Logitech c525 ดังรูปที่ 3.2 ความละเอียด 8 ล้านพิกเซล เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB 2.0 ถูกติดตั้งไว้ในกล่อง เพื่อใช้ในการถ่ายภาพและส่งไปยังคอมพิวเตอร์พกพา



รูปที่ 3.2 กล้องเว็บแคมที่ใช้

3. แผ่น LED ขนาด 5 w ดังรูปที่ 3.3 ใช้ในการให้แสงสว่างใต้แผ่นไมโครเวฟเพลท



รูปที่ 3.3 ภาพแอลอีดีเพลทที่ใช้ในการออกแบบ

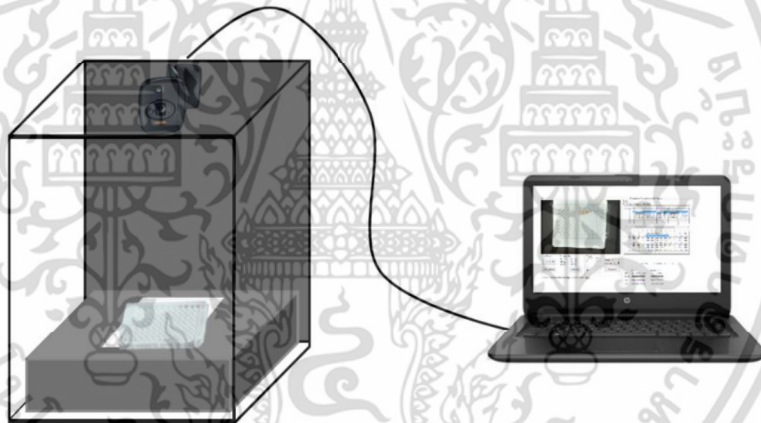
4. แผ่นสำหรับจับไมโครเวฟเพลท ดังรูปที่ 3.4 ทำหน้าที่ในการยึดจับแผ่นไมโครเวฟเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผ่นจับไมโครเวลเพลท

5. เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาที่ออกแบบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์กับกล่องควบคุมแสง โดยกล่องเว็บแคมเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย USB



รูปที่ 3.5 การออกแบบ DIC Systems

3.3 การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคการอ่านค่าสีถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานทั้งคอมพิวเตอร์พกพาและคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ โปรแกรมดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วย Visual Studio C# ภายในโปรแกรมประกอบด้วย ส่วนที่ทำงานในการหา Standard Curve ส่วนที่ทำการคำนวณค่าความเข้มข้นจากสารละลายที่ไม่ทราบค่าเทียบกับ Standard Curve และ ส่วนของการแสดงผลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนในการหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย เริ่มต้นจากผู้ใช้งานเตรียมสารละลายลงบนหลุม แผ่นไมโครเวลเพลทและวางลงในกล่องทดสอบและปิดกล่องควบคุมแสง ผู้ใช้กรอกข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายที่ทราบค่าเพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน หลังจากนั้นทำการกดปุ่มถ่ายภาพเพื่อทำการถ่ายภาพไมโครเวลเพลท และกดปุ่มทำงานเพื่อโปรแกรมเริ่มทำการประมวลผลจากการอ่านค่าสีในแต่ละหลุม โดยจะใช้ภาพสี่เหลี่ยมขนาด 10×10 พิกเซล ในการคำนวณค่าสีในแต่ละหลุม

โปรแกรมที่ออกแบบขึ้นได้ใช้ระบบสี HSV และ RGB ในการหาความเข้มข้นของสีแต่ระบบสีดิจิทัลทั่วไปจะแสดงผลในระบบ RGB ดังนั้นการวิเคราะห์ในระบบ HSV จำเป็นต้องใช้สมการที่ (3.1) (3.2) และ (3.3) ในการแปลงจาก RGB เป็น HSV และใช้สมการที่ 4 ในการแปลงจาก RGB เป็น Grayscale

$$V = \max(R, G, B) \quad (3.1)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & V \neq 0 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

$$H = \begin{cases} 60(G - B)/(V - \min(R, G, B)), & V = R \\ 120 + 60(B - R)/(V - \min(R, G, B)), & V = G \\ 240 + 60(R - G)/(V - \min(R, G, B)), & V = B \end{cases} \quad (3.3)$$

$$Gr = R \times 0.299 + G \times 0.587 + B \times 0.114 \quad (3.4)$$

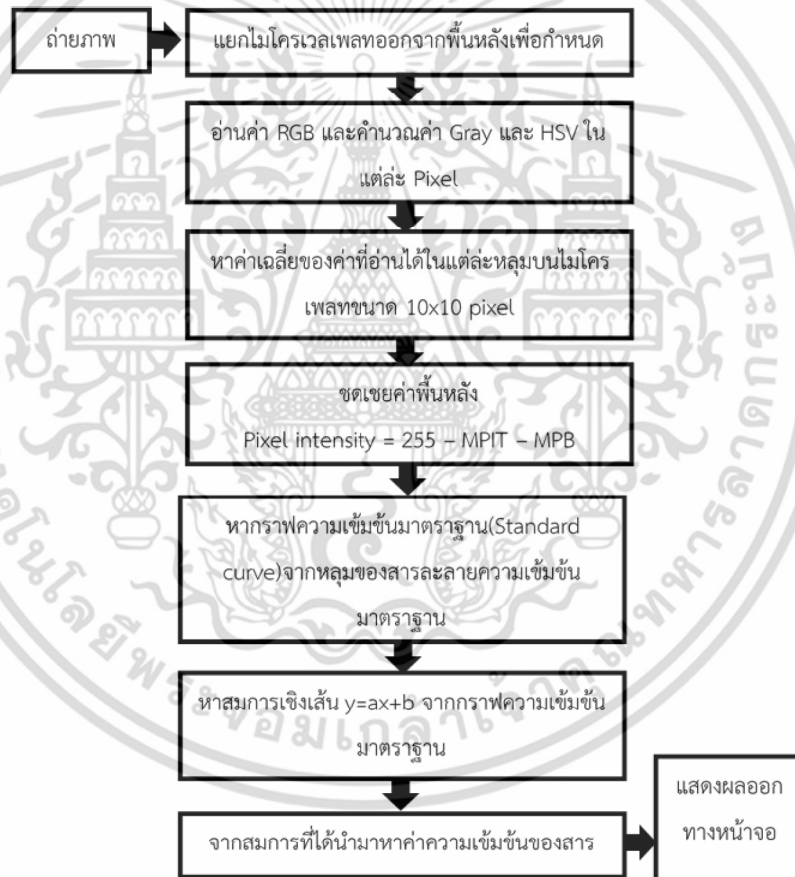
เมื่อ R (Red) คือองค์ประกอบสีแดง G (Green) คือองค์ประกอบสีเขียว B (Blue) คือองค์ประกอบสีน้ำเงิน H (Hue) คือสีของภาพ S (Saturation) คือปริมาณความอิ่มตัวของสี V (Value) คือปริมาณความสว่างของภาพ และ Gr (Grayscale) คือโหมดสีที่มีการไล่ระดับสีของสีเทา

จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสีในแต่ละหลุม พบว่าความสว่างของแสงบนแผ่น LED มีความสว่างไม่เท่ากันทำให้เมื่อทำการวัดค่าสีออกมาจะได้ค่าสีออกมาผิดเพี้ยนไป และเทคนิคการถ่ายภาพแผ่น

LED โดยไม่มีแผ่นไมโครเวลเพลทได้ถูกนำมาใช้เพื่อทำการชดเชยค่าความสว่างที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่บนแผ่น LED

$$\text{Pixel intensity} = 255 - \text{MPIT} - \text{MPB} \tag{3.5}$$

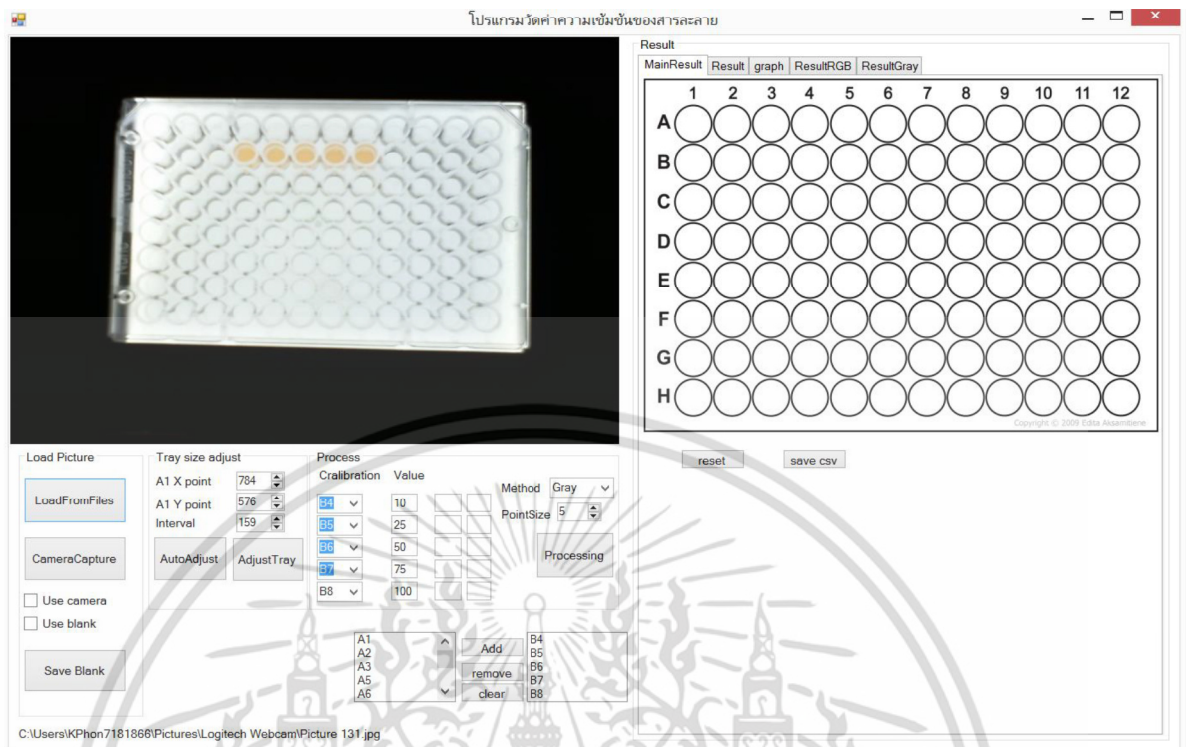
ค่าความเข้มของสีที่ได้ในแต่ละหลุมจากที่ได้จากการอ่านจะนำไปใช้คำนวณกราฟมาตรฐานโดยใช้สมการที่ (3.5) ในการชดเชยความไม่เท่ากันของความสว่างบนไมโครเวลเพลท จากนั้นจะใช้วิธีการ LSM ในการหาความชันและค่าคงที่ของทั้ง 7 องค์ประกอบสี R G B H S V Gr จากสมการเส้นตรงที่ได้ในแต่ละสีจะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการหาสีที่ดีที่สุดในการหาค่าความเข้มชั้นของสารละลายที่ไม่ทราบค่า



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบ

ในขั้นตอนสุดท้ายโปรแกรมจะเก็บค่าลงในฐานข้อมูลและแสดงผลออกทางส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ที่ประกอบด้วยส่วนแสดงรูป ส่วนป้อนข้อมูล และส่วนแสดงผลต่างๆ ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

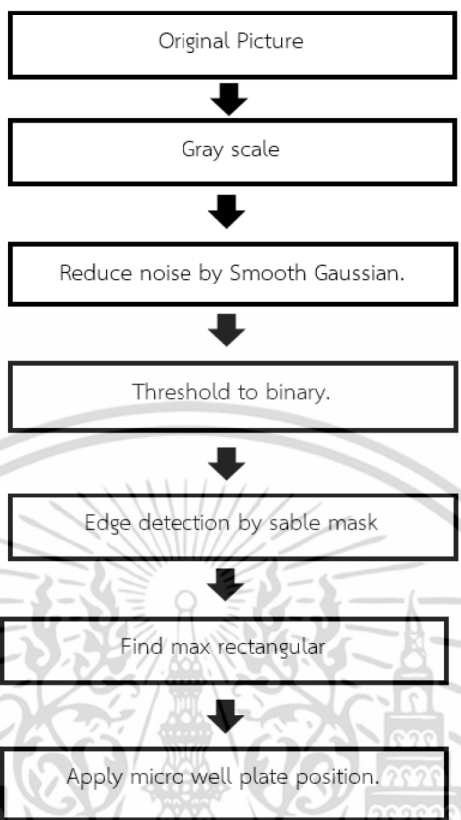


รูปที่ 3.7 หน้าจอการทำงานของโปรแกรม

3.3.2 การแยกภาพไมโครเพลออกจากพื้นหลัง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีความต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยเทคนิคการอ่านค่าสี เทคนิคการประมวลผลภาพได้ถูกนำมาใช้ในการกำหนดจุดกึ่งกลางหลุมแต่ละหลุมบนแผ่นไมโครเวลเพลท ดังรูปที่ 3.8 กระบวนการในการประมวลผลเริ่มต้นด้วยการแยกภาพแผ่นไมโครเวลเพลท ออกจากพื้นหลัง ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนภาพที่ถ่ายได้เป็น Grayscale ดังรูปที่ 3.9 แล้วใช้เทคนิค Smooth Gaussian ในการลดสัญญาณรบกวนของภาพที่ถ่าย จากนั้นใช้เทคนิคเทสโฮลเพื่อเปลี่ยนภาพจาก Grayscale เป็นไบนารี ดังรูปที่ 3.10 หลังจากที่ได้ภาพในรูปของไบนารีแล้วใช้เทคนิคการหาขอบภาพเพื่อหาขอบของไมโครเวลเพลท Sable-Mask ถูกใช้ในเทคนิคการหาขอบภาพดังรูปที่ 3.11 จากข้างต้นจะได้ขอบของไมโครเวลเพลทที่เป็นสีเหลือง ทำให้สามารถรู้ขนาดและตำแหน่งของแต่ละหลุมบนไมโครเวลเพลท จึงทำการกำหนดตำแหน่งของแต่ละหลุมดังรูปที่ 3.12 แล้วนำไปใช้ในการหาค่าความเข้มข้นของแต่ละหลุมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการแยกไมโครเพลทออกจากพื้นหลัง



รูปที่ 3.9 การแปลงภาพสีเป็น Grayscale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

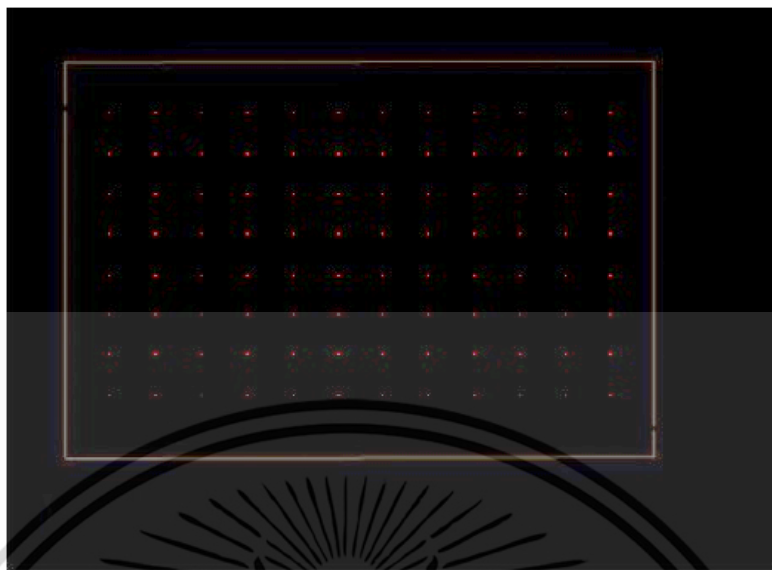


รูปที่ 3.10 ภาพหลังจากการเปลี่ยนเป็นไบนารี



รูปที่ 3.11 ภาพหลังจากผ่านกระบวนการ Edge Detection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ภาพหลังจากกำหนดจุดของไมโครเวลเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

ขั้นตอนการทดสอบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล้องเว็บแคม เริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมสารละลายทางเคมี หลังจากนั้นนำสารละลายทางเคมีมาทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบในระบบสี RGB และ HSV จากนั้นจะเลือกค่าองค์ประกอบสีที่มีความเป็นเชิงเส้นมาทำการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดกับสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ ความเข้มข้นละ 30 ตัวอย่าง และหาค่าความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างสารละลายจริงจำนวน 10 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

4.2 การศึกษาสีของพื้นหลัง

จากการทดลองพบว่า ค่าสีที่วัดได้เมื่อไม่มีการติดตั้งของกล่องควบคุมแสงมีความผิดพลาดของสีที่วัดได้ เนื่องจากผนังมีความโปร่งใสและเป็นสีขาว ทำให้มีแสงรบกวนจากภายนอกและเกิดการฟุ้งกระจายของแสงจาก LED ดังนั้นผู้วิจัยทดลองทำผนังและพื้นหลังของกล่องเป็นสีดำ เพื่อลดการฟุ้งกระจายของแสงและป้องกันแสงจากภายนอก จากการทดลองพบว่ากล้องเว็บแคมสามารถถ่ายภาพไมโครเวลเพลทที่มีองค์ประกอบสีออกมาอย่างถูกต้องเมื่อใช้ผนังสีดำ

4.3 การศึกษาระยะทางระหว่างกล่องและไมโครเวลเพลท

จากการทดลองพบว่าระยะโฟกัสมีความสำคัญในการทำให้ภาพที่ถ่ายมีความชัดเจน เนื่องจากถ้าวัตถุอยู่ใกล้หรือไกลกล้องจนเกินไปจะทำให้คุณภาพของภาพที่ถ่ายมีประสิทธิผลน้อยลงไปด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะหาระยะห่างที่ดีที่สุดระหว่างกล่องกับไมโครเวลเพลท จากการทดลองพบว่าที่ระยะ 1 ถึง 15 cm ภาพที่ถ่ายได้จะมีความเบลอ เนื่องจากเลนส์กล้องอยู่ใกล้วัตถุจนเกินไป อีกทั้งเลนส์ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการถ่ายภาพแบบระยะใกล้ ระยะที่เหมาะสมกับการถ่ายในการออกแบบนี้จะอยู่ที่ 15 ถึง 30 cm แต่ที่ระยะ 30 cm จะให้มุมที่กว้างที่สุด ทำให้ง่ายต่อการประมวลผล จากผลการทดลองผู้วิจัยจึงเลือกระยะ 30 cm ใช้สำหรับการออกแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลอง

4.4.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนนโทรลีน

4.4.1.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนนโทรลีน

สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนนโทรลีนประกอบด้วย

1. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 100.0 mg/L
2. สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน เข้มข้นร้อยละ 0.5 g
3. สารละลายไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10

4.4.1.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟีแนนโทรลีน

1. การเตรียมสารละลายสต็อกมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 100.0 mg/L เริ่มต้นด้วยการชั่งสารแอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟต $[\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ มา 0.0351 g ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 mL จากนั้นปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.00 mL จนถึงขีดบอกปริมาตร

2. สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน เข้มข้นร้อยละ 0.5 g เริ่มต้นด้วยการชั่งสารออร์โทฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (orthophenanthroline monohydrate) มา 0.2500 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 50 mL ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.00 mL

3. สารละลายไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10.0 เริ่มต้นด้วยการชั่งสารไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) มา 2.5000 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 25 mL ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 mL

4. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 mg/L เริ่มต้นด้วยการปิเปตสารละลายสต็อกมาตรฐานเหล็กมา 0.25 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 mL แล้วเติมสารละลายไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ 0.25 mL และสารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน 0.50 mL จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น 1.0 mg/L ส่วนสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 mg/L ให้ปิเปต สารละลายสต็อกมาตรฐานเหล็กมา 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 mL ตามลำดับ

4.4.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์

4.4.2.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์ประกอบด้วย

1. เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.9 โดยปริมาตร
2. สารละลายเมทิลออเรนจ์ เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก
3. สารละลายแอสิตเททบัฟเฟอร์ pH 3.4 เข้มข้น 0.1 M

4.4.2.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์

1. การเตรียมสารละลายเมทิลออเรนจ์ เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเมทิลออเรนจ์ 0.05 g ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกร ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมสารละลายแอสิตเททบัฟเฟอร์ pH 3.4 ซึ่งโซเดียมแอสิตเทท 0.2192 g ละลายน้ำเล็กน้อย และปิเปตกรดแอสิติก 99.99 เปอร์เซ็นต์ 3.4259 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลสำหรับตรวจวัด ปิเปตสารละลายเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 99.9 โดยปริมาตร มา 2.50, 6.25, 12.50 และ 18.75 mL ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตร 25 mL ปิเปตเมทิลออเรนจ์ร้อยละ 0.1 โดยปริมาตร จำนวน 0.5 mL และปิเปตแอสิตเททบัฟเฟอร์ pH 3.4 เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 5.0 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรแต่ละขวด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจาก ไอออนจนครบ 25.00 mL จะได้สารละลายมาตรฐานเอทานอลสำหรับตรวจวัด ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50 และ 75 โดยปริมาตร

4.4.3 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก

4.4.3.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก

สารเคมีที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติกประกอบด้วย

1. สารละลายมาตรฐานกรดยูริก เข้มข้น 100 mg/dL
2. สารละลายกรดฟอสโฟทังสติก เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก
3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

4.4.3.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก

1. การเตรียมสารละลายเมทิลออเรนจ์ เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ทำโดยละลาย กรดยูริก 0.1000 g ปิเปตโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 3 mL แล้วใช้น้ำกลั่นปรับ ปริมาตรเป็น 100.00 mL

2. สารละลายมาตรฐานกรดฟอสโฟทังสติก เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ทำโดยละลายกรดฟอสโฟทังสติก 4.000 g แล้วใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 10.00 mL

3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ทำโดยละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.500 g ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

4.5 เครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับระบบที่ออกแบบ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบกล่องการทดลองโดยใช้ Web Camera-based DIC เพื่อเปรียบเทียบกับ UV-Visible Spectrophotometer รุ่น Jasco V-630 ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานสากลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

4.6 ขั้นตอนการทดลอง

4.6.1 ขั้นตอนในการทดสอบความเป็นเชิงเส้น

ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้นนั้นจะทำการทดลองใน 3 ปฏิกริยาดังนี้

4.6.1.1 การทดลองปฏิกริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟิแนนโทรลีน

1. ทำการสแกนสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Jasco V-630) ในช่วงความยาวคลื่น 400 nm ถึง 800 nm โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายหักลบค่าดูดกลืนแสงให้เป็นศูนย์

2. ทำการทดสอบสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล้องเว็บแคม

3. ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของสารละลายแบบพหุภาคด้วยกล้องเว็บแคมที่พัฒนาขึ้นในแต่ละความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อหาค่าสีที่ดีที่สุดและวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง

4.6.1.2 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์

1. ทำการสแกนสเปกตรัมของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Jasco V-630) ในช่วงความยาวคลื่น 400 nm ถึง 800 nm

2. ทำการทดสอบสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพหุภาคด้วยกล้องเว็บแคม

3. ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพหุภาคด้วยกล้องเว็บแคมที่พัฒนาขึ้นในแต่ละความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อหาค่าสีที่ดีที่สุดและวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง

4.6.1.3 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดยูริกเข้มข้น 100 mg/dL ปริมาตร 0.25, 0.5, 1.5, 2.5 และ 3.5 mL ตามลำดับ ใส่หลอดทดลอง 5 หลอด

2. ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 4.75, 4.5, 3.5, 2.5 และ 1.5 mL ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอดตามลำดับ

3. ปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก 0.3 mL ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

4. ปิเปตสารละลายกรดฟอสโฟทังสติก เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก 0.3 mL ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด จะได้สารละลายมาตรฐานกรดยูริกที่มีความเข้มข้น 4.46, 8.92, 26.76, 44.6 และ 62.44 mg/dL

5. ทำการสแกนสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเหล็กที่มีความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Jasco V-630) ในช่วงความยาวคลื่น 400 nm ถึง 1000 nm

6. ทำการทดสอบสารละลายมาตรฐานกรดยูริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพหุภาคด้วยกล้องเว็บแคม

7. ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพหุภาคด้วยกล้องเว็บแคมที่พัฒนาขึ้นในแต่ละความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อหาค่าสีที่ดีที่สุดและวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของเครื่องที่ออกแบบ

ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบหาความแม่นยำในปฏิกิริยาปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอ็อกซิเจนโทรีน ซึ่งทำการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นสารละลายเหล็ก 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm และ 5 ppm ความเข้มข้นละ 30 ตัวอย่าง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm และ 5 ppm
2. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานเหล็กแต่ละความเข้มข้นลงบนไมโครเวลเพลทในตำแหน่งหลุมที่สร้างกราฟมาตรฐาน
3. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานเหล็กแต่ละความเข้มข้นลงบนไมโครเวลเพลทในหลุมสำหรับทำการวัดความเข้มข้นของสารละลาย
4. ทำการทดสอบสารละลายด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาจะได้กราฟมาตรฐานและนำค่าสารละลายแต่ละความเข้มข้น
5. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้งเพื่อทดสอบความแม่นยำในการวัด
6. ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำโดยเลือกใช้อ่งค์ประกอบสีที่มีความเป็นเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองความเป็นเชิงเส้น

4.6.3 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายจริง

1. เตรียมตัวอย่างน้ำสำหรับการทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่างและเตรียมสารละลายเหล็กสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน
2. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานเหล็กแต่ละความเข้มข้นลงบนไมโครเวลเพลทในตำแหน่งหลุมที่สร้างกราฟมาตรฐาน
3. ปิเปิดตัวอย่างน้ำสำหรับการทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่างลงบนไมโครเวลเพลทในตำแหน่งสำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย
4. ทำการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Jasco V-630) และวัดด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาโดยใช้สารละลายชุดเดียวกัน
5. ทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องยูวี-วิซิเบิลและเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ออกแบบ

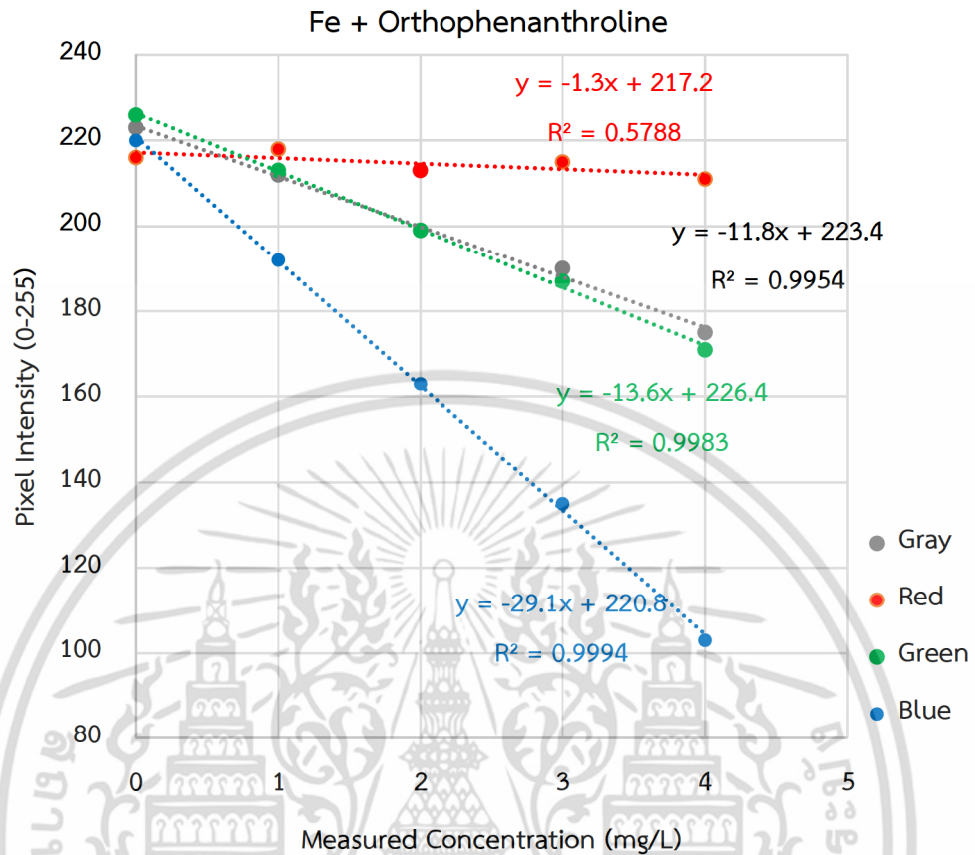
4.7 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น

4.7.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอโทฟีแนนโทรลีน

ผลการทดลองกล่องทดสอบและโปรแกรมประมวลผลความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในปฏิกริยาระหว่างปฏิกริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอโทฟีแนนโทรลีนจะให้ภาพของไมโครเวลที่ถ่ายได้ ดังรูปที่ 4.2 และผลการประมวลผลจากโปรแกรมจะได้กราฟเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.3 พบว่าให้ค่าสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุดได้แก่ สีนํ้าเงิน เท่ากับ 0.9994 และเมื่อเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิชิเบล สเปนโทรโฟโตมิเตอร์จะได้เท่ากับ 0.9975 แต่หากพิจารณาจากความไว (Sensitivity) จะพบว่าสีนํ้าเงินให้ความไวมากที่สุด สีเขียวรองลงมา และสีแดงจะมีความไวกับปฏิกริยานี้น้อยมาก เมื่อวิเคราะห์ในระบบสี HSV ในรูปที่ 4.4 จะพบว่าสีมีเพียงองค์ประกอบ ความอึมตัวของสี (Saturation) เท่านั้นที่มีค่าสหสัมพันธ์ดีที่สุด เท่ากับ 0.9876 สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิชิเบล สเปนโทรโฟโตมิเตอร์ให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9975 ดังรูปที่ 4.5

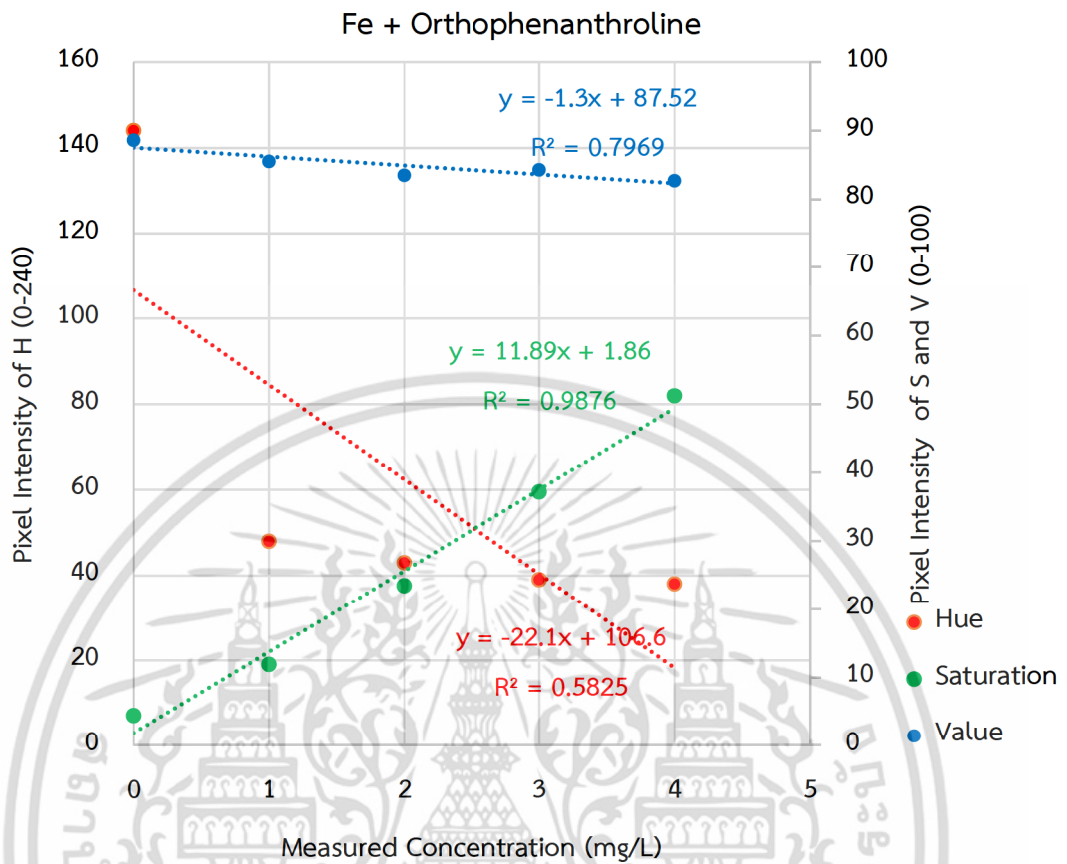


รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายสำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอโทฟีแนนโทรลีน



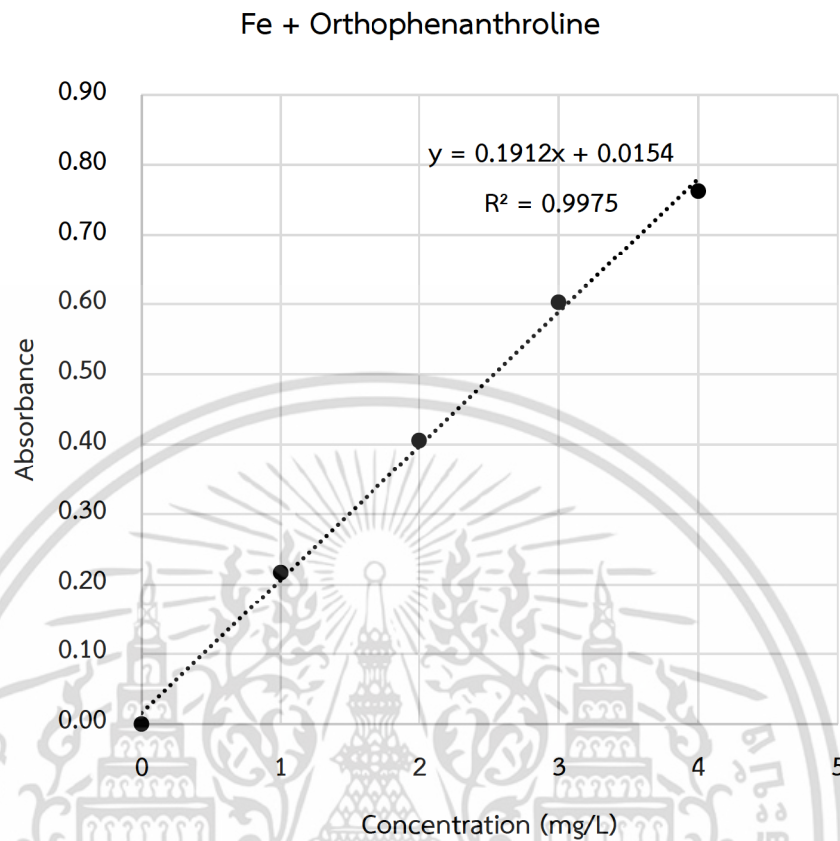
รูปที่ 4.3 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ RGB และ Grayscale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ HSV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

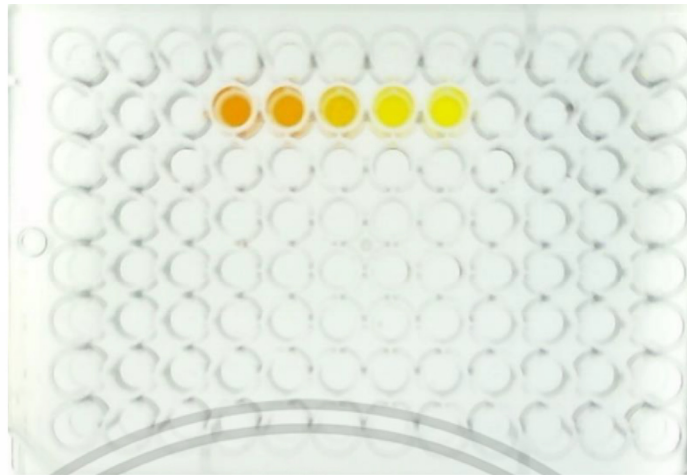


รูปที่ 4.5 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน

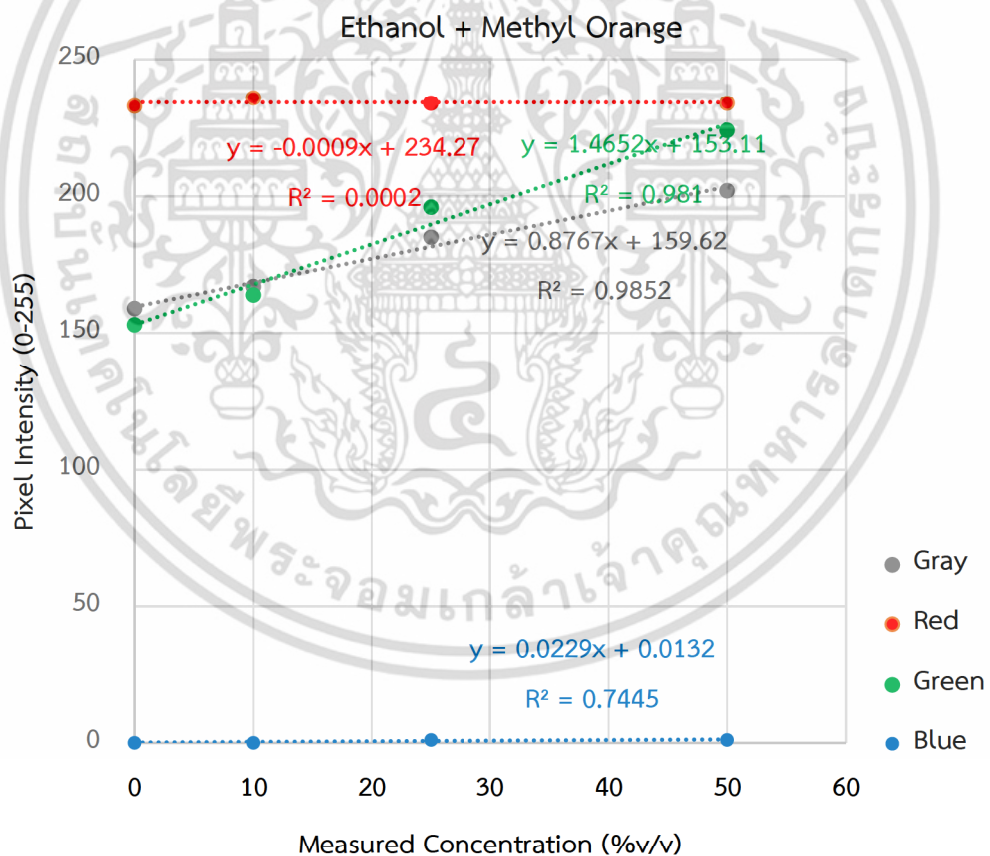
4.7.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์

ผลการทดลองทดสอบและโปรแกรมประมวลผลความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลในปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์จะให้ภาพของไมโครเวฟที่ถ่ายได้ดังรูปที่ 4.6 และผลการประมวลผลจากโปรแกรมจะได้กราฟเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.7 พบว่าช่วงความเข้มข้นของสารละลายที่มากกว่า 50 %v/v มีความไม่เป็นเชิงเส้นจึงทำการพิจารณาเฉพาะช่วง 0 ถึง 50 %v/v จะได้ค่าสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุดได้แก่ เกรย์สเกลเท่ากับ 0.9852 และค่าสหสัมพันธ์ของสีเขียวเท่ากับ 0.981 และเมื่อเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เท่ากับ 0.9993 แต่หากพิจารณาจากความไว (Sensitivity) จะพบว่าสีเขียวจะให้ความไวมากที่สุดและสีแดงกับสีฟ้าไม่มีความไวต่อปฏิกิริยานี้ เมื่อวิเคราะห์ในระบบสี HSV ดังรูปที่ 4.8 จะพบว่าสีเหลืององค์ประกอบสีของภาพ (Hue) เท่านั้นที่มีค่าสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เท่ากับ 0.9812 สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9993 ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

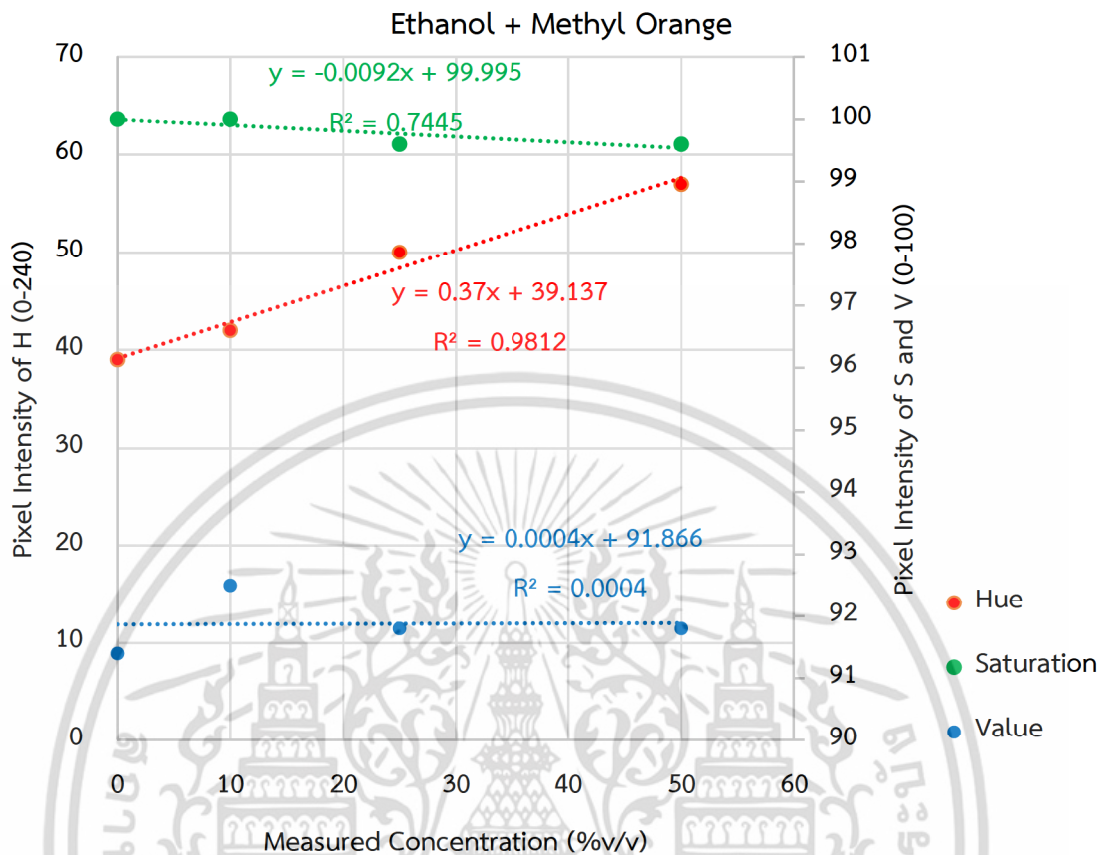


รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายสำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์



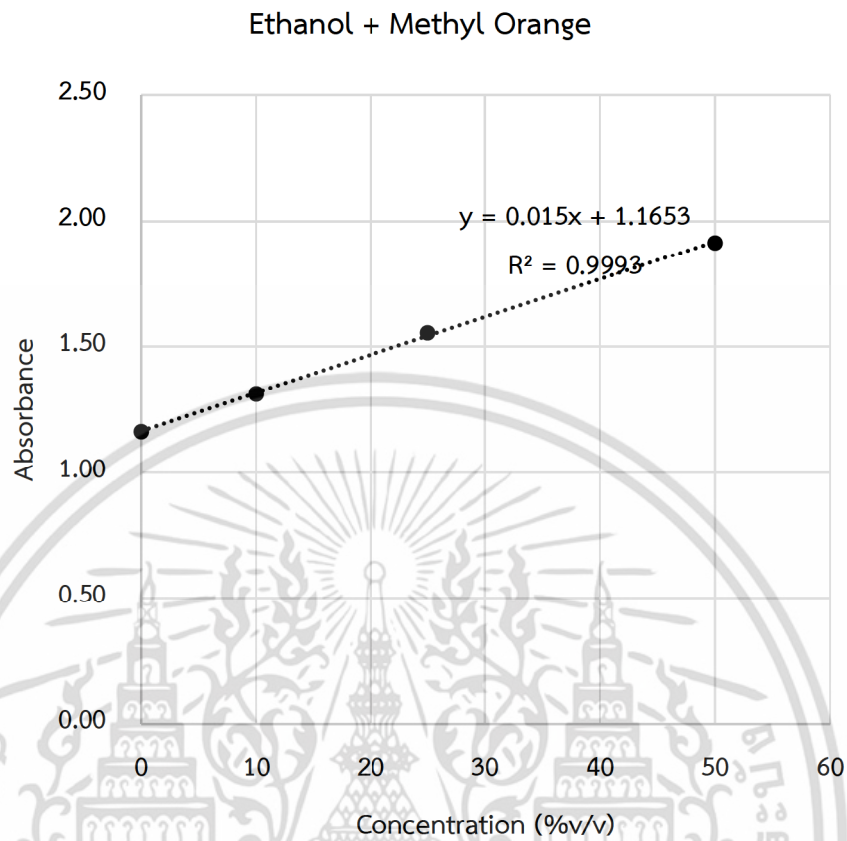
รูปที่ 4.7 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ RGB และ Grayscale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ HSV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

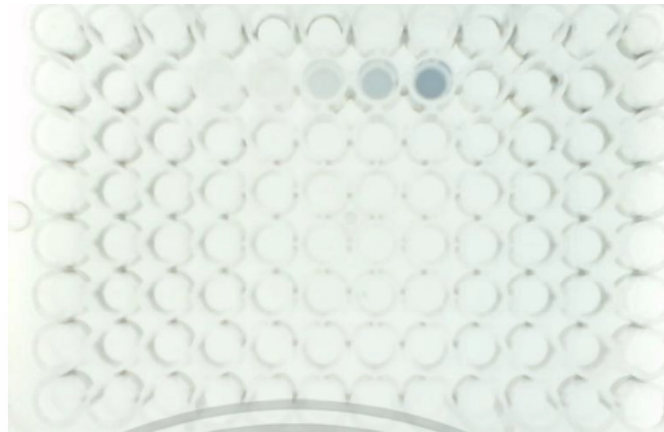


รูปที่ 4.9 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน

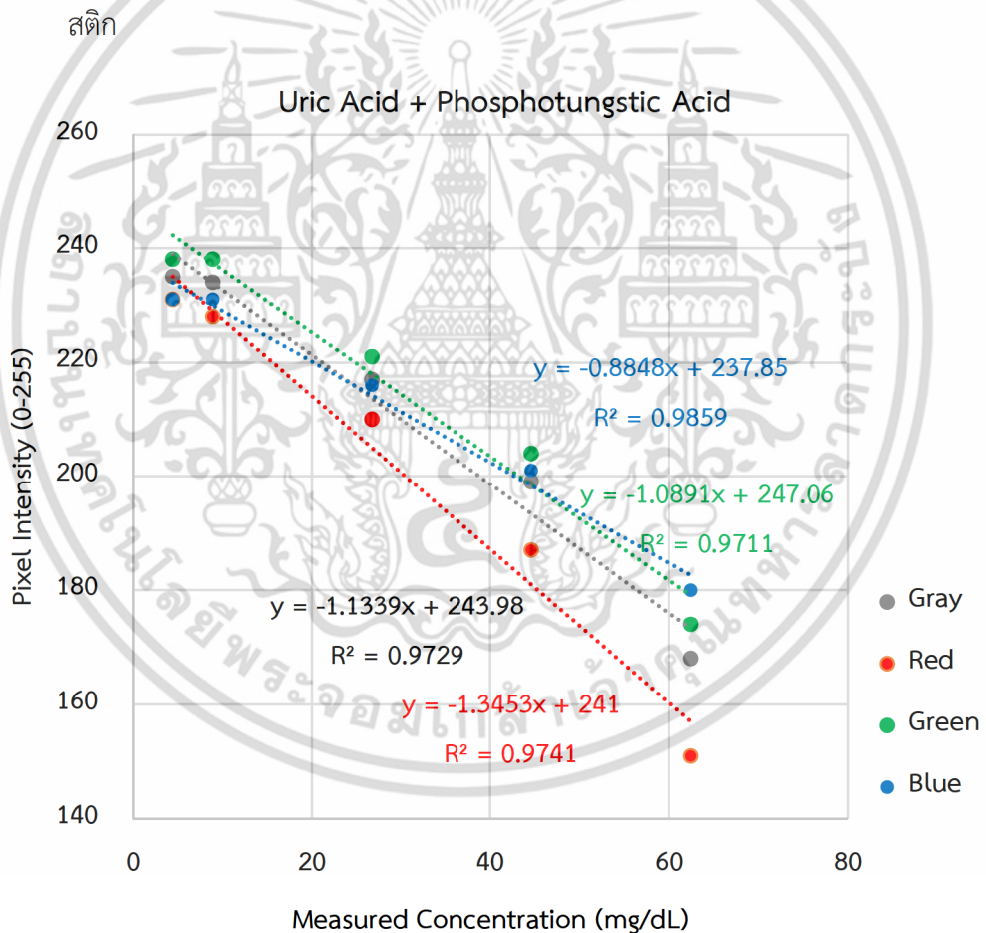
4.7.3 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก

ผลการทดลองทดสอบและโปรแกรมประมวลผลความเข้มข้นของสารละลายกรดยูริก ในปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติกจะให้ภาพของไมโครเวลที่ถ่ายได้ดังรูปที่ 4.10 และผลการประมวลผลจากโปรแกรมจะได้กราฟเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.11 พบว่าให้ค่าสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุดได้แก่สีน้ำเงินเท่ากับ 0.9859 รองลงมาเป็นค่าสหสัมพันธ์ของสีแดงเท่ากับ 0.9741 ค่าสหสัมพันธ์ของเขียวเท่ากับ 0.9729 ค่าสหสัมพันธ์ของสีเหลืองเท่ากับ 0.9711 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เท่ากับ 0.9912 แต่หากพิจารณาจากความไว (Sensitivity) จะพบว่าสีแดงจะให้ความไวมากที่สุดต่อปฏิกิริยานี้ เมื่อวิเคราะห์ในระบบสี HSV ดังรูปที่ 4.12 จะพบว่าองค์ประกอบความสว่างของภาพ (Value) มีค่าสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เท่ากับ 0.9853 รองลงมา เป็นองค์ประกอบสีของภาพ (Hue) มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9698 สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9912 ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

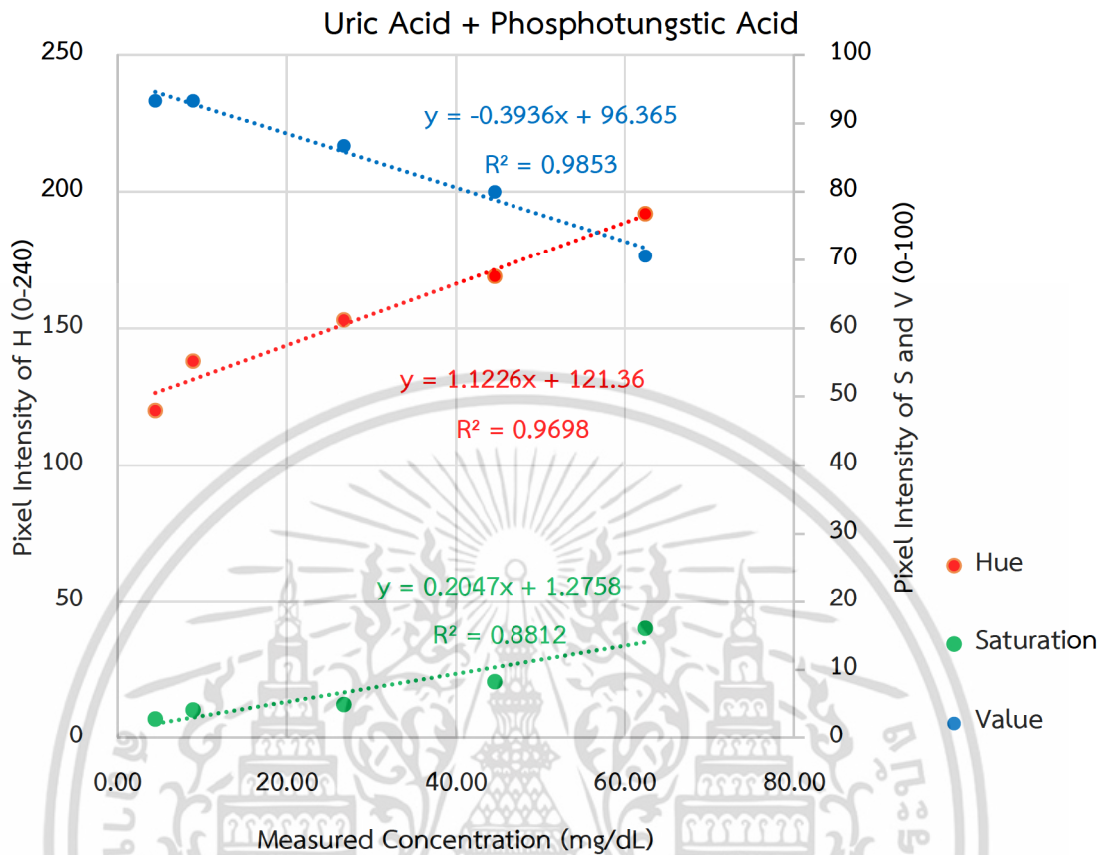


รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายสำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทัง



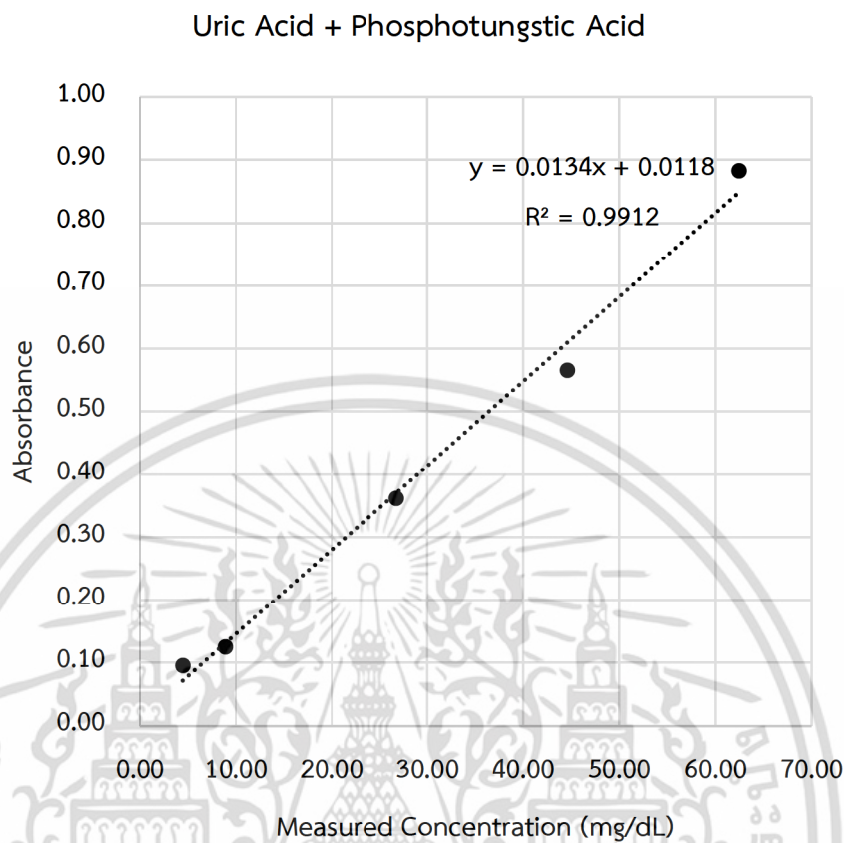
รูปที่ 4.11 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดยูริกกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ RGB และ Grayscale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดยูริกกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องที่ออกแบบในระบบ HSV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดยูริกกับค่าความเข้มของสีที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน

4.8 ผลการทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของเครื่องที่ออกแบบ

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่องที่ออกแบบสามารถพิจารณาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ซึ่งได้จากการคำนวณตามสมการที่ 4.1

ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error) คือค่าที่วัดได้ลบด้วยค่าจริง

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad (4.1)$$

%RSD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมด

\bar{x} คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของการทดสอบในระดับความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ

ระดับความเข้มข้น	ระดับของความแม่นยำ(%RSD)		
	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ระดับ ppm (Trace analysis)	0.1-1	1-10	10-35
ระดับ ppb และ ppt (Ultra-Trace analysis)	1-10	10-35	>35
มากกว่า ppm	0.01-0.1	0.1-1	1-10

ระดับของความแม่นยำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ตามตารางที่ 4.1 ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบหาค่าความแม่นยำในปฏิกิริยาปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลีน ซึ่งทำการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นสารละลายเหล็ก 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm และ 5 ppm ความเข้มข้นละ 30 ตัวอย่าง โดยในการวิเคราะห์จะเลือกใช้อ่งค์ประกอบสีที่มีค่าสหสัมพันธ์ของสารละลายมาตรฐานที่ได้จากการทดลองความเป็นเชิงเส้น จากการทดลองพบว่าในปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลีนอ่งค์ประกอบสีที่มีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แก่ สีเขียว (Green), สีน้ำเงิน (Blue), เกรย์สเกล (Grayscale) และอ่งค์ประกอบความอึมตัวของสี (Saturation)

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานเหล็กด้วยเกรย์สเกล (Grayscale)

ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (ppm)	ค่าที่วัดได้(ppm)	ความแม่นยำ %RSD n=30
1	1.1762±0.0950	8.0810
2	1.9287±0.0906	4.6975
3	3.2764±0.1028	3.1387
4	3.957±0.0921	2.3275
5	5.2412±0.0950	1.8134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานเหล็กด้วย
องค์ประกอบสีเขียว (Green)

ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (ppm)	ค่าที่วัดได้(ppm)	ความแม่นยำ %RSD n=30
1	1.1568±0.0775	6.6955
2	2.1248±0.113	5.3181
3	3.2943±0.1186	3.6014
4	4.1785±0.0942	2.2544
5	5.2922±0.0775	1.4636

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานเหล็กด้วย
องค์ประกอบสีน้ำเงิน (Blue)

ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (ppm)	ค่าที่วัดได้(ppm)	ความแม่นยำ %RSD n=30
1	1.1622±0.0425	3.6543
2	2.1791±0.0434	1.9916
3	3.2728±0.0549	1.6786
4	4.1473±0.0742	1.7891
5	5.0532±0.0800	1.5837

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐานเหล็กด้วย
องค์ประกอบความอิ่มตัวของสี (Saturation)

ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (ppm)	ค่าที่วัดได้(ppm)	ความแม่นยำ %RSD n=30
1	1.1251±0.0531	4.7186
2	2.1282±0.0631	2.9649
3	3.2472±0.0763	2.3487
4	4.1433±0.0742	1.7908
5	5.0458±0.0962	1.9059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้จากการทดสอบหาค่าความแม่นยำของเครื่องที่ออกแบบในการวัดค่าความเข้มข้นของเหล็กในช่วงต่างๆพบว่าองค์ประกอบสีน้ำเงินในตารางที่ 4.4 มีค่าความแม่นยำดีที่สุดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 3.6 เปอร์เซ็นต์ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 จะพบว่าความแม่นยำอยู่ในช่วงปานกลางในการวัดความเข้มข้นในระดับ ppm ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆ ในตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.5 มีค่าความแม่นยำต่ำกว่าองค์ประกอบสีน้ำเงิน แต่ยังคงอยู่ในช่วงปานกลางในการวัดความเข้มข้นระดับ ppm นอกจากนี้จะพบว่าในความเข้มข้นต่ำค่าความแม่นยำจะต่ำกว่าช่วงความเข้มข้นที่สูงขึ้นเนื่องจากถ้าพิจารณาความเข้มข้นของสีจะพบว่าที่ ความเข้มข้นต่ำจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าความเข้มข้นมากจึงทำให้มีค่าความแม่นยำลดลงไปด้วย

4.9 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย

ในการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและเครื่องที่ออกแบบ สามารถพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบได้จาก การคำนวณค่าความผิดพลาดจากการวัด

ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error) คือค่าที่วัดได้ลบด้วยค่าจริง

$$\varepsilon = X_m - X_t \quad (4.1)$$

X_m คือค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่ออกแบบ

X_t คือค่าที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐาน

ε คือผลต่างค่าที่วัดได้

ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error) หรือ Percent Error คือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้จากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง

$$\%Error = \left| \frac{X_m - X_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

ในการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนทำในปฏิบัติการระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทฟอสเฟตในน้ำ โดยในการทดลองได้ทำการทดลองวัดกับสารละลายจริงเพื่อหาปริมาณเหล็กในน้ำจำนวน 10 ตัวอย่างเทียบกับระหว่างเครื่องที่ออกแบบกับเครื่องมาตรฐาน

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐาน
เหล็กเทียบกับเครื่องมาตรฐานโดยใช้อุปกรณ์ประกอบเกรย์ (Grayscale)

ตัวอย่างที่	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องมาตรฐาน (mg/L)	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องที่ออกแบบ (mg/L)	Absolute error (mg/L)	Relative error	%Error
1	3.48	3.618	0.138	0.040	3.962
2	3.47	3.618	0.148	0.043	4.262
3	3.45	3.618	0.168	0.049	4.866
4	3.44	3.602	0.162	0.047	4.698
5	3.42	3.602	0.182	0.053	5.311
6	3.41	3.602	0.192	0.056	5.620
7	3.4	3.602	0.202	0.059	5.930
8	3.37	3.585	0.215	0.064	6.391
9	3.37	3.569	0.199	0.059	5.908
10	3.32	3.553	0.233	0.070	7.013
		ค่าเฉลี่ย	0.184	0.054	5.396

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐาน
เหล็กเทียบกับเครื่องมาตรฐานโดยใช้อุปกรณ์ประกอบสีเขียว (Green)

ตัวอย่างที่	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องมาตรฐาน (mg/L)	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องที่ออกแบบ (mg/L)	Absolute error (mg/L)	Relative error	%Error
1	3.48	3.556	0.076	0.022	2.195
2	3.47	3.541	0.071	0.021	2.056
3	3.45	3.571	0.121	0.035	3.520
4	3.44	3.602	0.162	0.047	4.695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐาน
เหล็กเทียบกับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบสีเขียว (Green) (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องมาตรฐาน (mg/L)	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องที่ออกแบบ (mg/L)	Absolute error (mg/L)	Relative error	%Error
5	3.42	3.586	0.166	0.049	4.867
6	3.41	3.617	0.207	0.061	6.057
7	3.4	3.617	0.217	0.064	6.369
8	3.37	3.632	0.262	0.078	7.762
9	3.37	3.617	0.247	0.073	7.316
10	3.32	3.647	0.327	0.098	9.838
		ค่าเฉลี่ย	0.185	0.055	5.467

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐาน
เหล็กเทียบกับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบสีน้ำเงิน (Blue)

ตัวอย่างที่	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องมาตรฐาน (mg/L)	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องที่ออกแบบ (mg/L)	Absolute error (mg/L)	Relative error	%Error
1	3.48	3.312	0.168	0.048	4.819
2	3.47	3.312	0.158	0.045	4.544
3	3.45	3.264	0.186	0.054	5.384
4	3.44	3.300	0.140	0.041	4.061
5	3.42	3.264	0.156	0.046	4.554
6	3.41	3.276	0.134	0.039	3.922
7	3.4	3.306	0.094	0.028	2.756
8	3.37	3.246	0.124	0.037	3.672

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐาน
เหล็กเทียบกับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบสีน้ำเงิน (Blue) (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องมาตรฐาน (mg/L)	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องที่ออกแบบ (mg/L)	Absolute error (mg/L)	Relative error	%Error
9	3.37	3.300	0.070	0.021	2.068
10	3.32	3.270	0.050	0.015	1.498
		ค่าเฉลี่ย	0.128	0.037	3.728

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ออกแบบในการวัดสารละลายมาตรฐาน
เหล็กเทียบกับเครื่องมาตรฐานโดยใช้องค์ประกอบความอิมตัวของแสง (Value)

ตัวอย่างที่	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องมาตรฐาน (mg/L)	ค่าที่วัดได้จาก เครื่องที่ออกแบบ (mg/L)	Absolute error (mg/L)	Relative error	%Error
1	3.48	3.229	0.251	0.072	7.209
2	3.47	3.218	0.252	0.073	7.273
3	3.45	3.166	0.284	0.082	8.220
4	3.44	3.209	0.231	0.067	6.717
5	3.42	3.163	0.257	0.075	7.526
6	3.41	3.175	0.235	0.069	6.889
7	3.4	3.215	0.185	0.054	5.443
8	3.37	3.143	0.227	0.067	6.727
9	3.37	3.197	0.173	0.051	5.123
10	3.32	3.177	0.143	0.043	4.321
		ค่าเฉลี่ย	0.224	0.065	6.545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบพบว่าในองค์ประกอบที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ เกรย์สเกล 5.396 เปอร์เซ็นต์ ในตารางที่ 4.6 สีเขียว 5.467 เปอร์เซ็นต์ ในตารางที่ 4.7 และความอึมตัวของแสง 6.545 เปอร์เซ็นต์ ในตารางที่ 4.9 สำหรับองค์ประกอบสีน้ำเงิน (Blue) ในตารางที่ 4.8 มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ น้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.728 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองความเป็นเชิงเส้นที่พบว่าองค์ประกอบสีน้ำเงินมีค่าความเป็นเชิงเส้นดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

5.1 บทนำ

หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการทดสอบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล้องเว็บแคมด้วยการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในปฏิกิริยาต่างๆ การทดสอบความแม่นยำในการวัดที่ความเข้มข้นต่างกันจำนวน 30 ตัวอย่าง และการทดสอบวัดค่าความเข้มข้นที่วัดได้กับสารละลายจำนวน 10 ตัวอย่างเทียบกับเครื่องยูวี-วิชิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในบทนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผลค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล้องเว็บแคม พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเป็นลำดับสุดท้าย

5.2 การวิเคราะห์ผล

การทดสอบความเป็นเชิงเส้นระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายและค่าที่วัดได้ พบว่าในปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทไฟแนโนโทรลีนสามารถใช้กราฟมาตรฐานสีน้ำเงินในการหาความเข้มข้นของสารละลายเหล็กได้ เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์และความไวในการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าในปฏิกิริยาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงต่อองค์ประกอบการดูดกลืนแสงช่วงสีน้ำเงินมากที่สุด ปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับเมทิลออเรนจ์สามารถใช้กราฟความเข้มข้นสีเทาในการหาความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลได้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาจะค่าสหสัมพันธ์ของปฏิกิริยาสีเทามีความเหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงต่อองค์ประกอบการดูดกลืนแสงหลายช่วงสี และปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติกสามารถใช้สีน้ำเงินในการหาความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลได้เนื่องจากเมื่อพิจารณาจะค่าสหสัมพันธ์ของปฏิกิริยาสีน้ำเงินมีความเหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงต่อองค์ประกอบการดูดกลืนแสงช่วงสีน้ำเงินมากที่สุด

ในส่วนของผลการทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของเครื่องที่ออกแบบ ซึ่งได้ทำการทดสอบในปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทไฟแนโนโทรลีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าองค์ประกอบสีน้ำเงินมีค่าความแม่นยำ (%RSD) ดีที่สุดในช่วง 1.5 ถึง 3.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 จะพบว่าความแม่นยำอยู่ในช่วงปานกลางในการวัดความเข้มข้นในระดับ ppm นอกจากนี้จะพบว่าในความเข้มข้นต่ำ 1 ppm ค่าความแม่นยำน้อยกว่าช่วงความเข้มข้นที่สูงขึ้น เนื่องจากถ้าพิจารณาความเข้มของสีจะพบว่าที่ความเข้มข้นต่ำจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าความเข้มข้นมากจึง

ทำให้มีค่าความแม่นยำลดลงไปด้วย

นอกจากนี้ผลการทดสอบวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในการวัดตัวอย่างสารละลายจริงในปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทไฟแนนโทรลีนจำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องที่ออกแบบกับเครื่องมาตรฐานหรือเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์พบว่าองค์ประกอบสีน้ำเงินมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.728 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงตามสมมุติฐานในการออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นสารละลายด้วยเทคนิคการวัดค่าสีที่ต้องการออกแบบให้เครื่องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และความแม่นยำอยู่ในช่วงปานกลาง

5.3 สรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่า การออกแบบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพาด้วยกล้องเว็บแคม โดยใช้กล้องทดสอบและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการตรวจวัดทางเคมีได้ โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.9 เป็นค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบ

ปฏิกิริยา	เครื่องมาตรฐาน	เครื่องที่ออกแบบ	
	ค่าสหสัมพันธ์ (R^2)	องค์ประกอบสีที่ดีที่สุด	ค่าสหสัมพันธ์ (R^2)
เหล็ก (II) กับออร์โทไฟแนนโทรลีน	0.9975	Blue	0.9994
เอทานอลกับเมทิลออเรนจ์	0.9993	Grayscale	0.9852
กรดยูริกกับกรดฟอสโฟทังสติก	0.9912	Blue	0.9859

ในส่วนของความแม่นยำในการวัดพบว่ามีค่าความแม่นยำ (%RSD) อยู่ในช่วงระดับปานกลางในการวัดปริมาณเหล็กในปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออร์โทไฟแนนโทรลีนในช่วง 1 ppm ถึง 5 ppm มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ในการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในปฏิกิริยาต่างๆ อีกทั้งด้วยต้นทุนที่ต่ำและขนาดที่เหมาะสมสำหรับการพกพา ทำให้เครื่องที่ออกแบบสามารถใช้เทียบเคียงกับเครื่องมาตรฐานได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบข้างต้น ส่วนที่ต้องได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมแก่ ส่วนของกล่องควบคุมแสงที่ควรพิจารณาความเข้มของแสงที่ออกมาจากแอลอีดีที่จะกระทบต่อการอ่านค่าสี เนื่องจากแสงที่มีความเข้มต่างกันทำให้องค์ประกอบสีของสารละลายแตกต่างกันไป ในส่วนของตัวโปรแกรม เช่น การลดขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐานด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANNs) ในการจดจำค่าความเข้มสีของปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของสารละลายในความเข้มข้นต่างๆแทนการสร้างกราฟมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Kompany-Zareh, M. Mansourian, F. Ravaee, “Simple method for colorimetric spot-test quantitative analysis of Fe(III) using a computer controlled hand-scanner,” *Analytica Chimica Acta*, vol.4/1, pp. 97 – 104, 2002.
- [2] D. Filippini*^a and I. Lundströma, “Measurement strategy and instrumental performance of a computer screen photo-assisted technique for the evaluation of a multi-parameter colorimetric test strip,” *Analyst*, pp. 111 – 117, 2006.
- [3] M. Vaher, M. Borissova, A. Seiman, T. Aid, H. Kolde, J. Kazarjan, M. Kaljurand, “Automatic spot preparation and image processing of paper Micro zone-based assays for analysis of bioactive Compounds in plant extract,” *Food Chemistry*, vol.143, pp. 465–471, 2014.
- [4] C. L. M. Morais, K. M. G. Lima, “A colorimetric microwell method using a desk top scanner for bio chemical assays,” *Talanta*, vol.126, pp. 145–150, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The advertisement features a black Logitech HD Webcam C525 in the foreground, set against a teal background with a large, faint watermark of a Thai university seal. The seal contains the text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี' and 'จากคุณทหารลาดกระบัง'. The Logitech logo is in the top right corner.

Logitech®
HD Webcam C525

FOR PORTABLE HD VIDEO CALLING AND RECORDING - WITH AUTOFOCUS

- HD 720p video calling and recording plus autofocus - on most major IM applications and Logitech Vid™ HD
- 1-click Facebook™, Twitter™ and YouTube™ HD uploading
- Fold-and-go plus swivel design
- 8-megapixel photos (software enhanced)
- Logitech™ Fluid Crystal™ Technology

The Logitech® HD Webcam C525. For portable HD video calling and recording - with autofocus. Stay close to the people you care about in smooth HD 720p with autofocus - on your favourite IM or Logitech Vid™ HD - thanks to Logitech More HD. Upload your latest clip to Facebook™, Twitter™ or YouTube™ with just one click. Logitech Video Effects™ and the included MAGIX™ photo and video editor help you look good. The fold-and-go plus swivel design makes it easy to take it with you. You can send your friends and family a dazzling BMP pic. And it includes Logitech Fluid Crystal™ Technology - delivering smoother video, sharper pictures, richer colours and clearer sound in real-world conditions (requires installation of included software).

Logitech More HD works with computers running on an Intel Core™2 Duo. Logitech Vid™ HD, Logitech Video Effects, video capture, photo enhancements, RightLight 2, RightSound and other listed features require software installation. Software features and offerings subject to change. Additional services require Internet access and may require registration. Some photographs are simulated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Logitech®

Logitech® HD Webcam C525



PACKAGE SPECIFICATIONS

	Primary pack	Master shipper carton
Part # WER	960-000721	n/a
Bar Code	5099206027121 (EAN-13)	5099206027124 (SCC-14)
Part # Central	960-000722	n/a
Bar Code	5099206027138 (EAN-13)	5099206027131 (SCC-14)
Part # EER	960-000723	n/a
Bar Code	5099206027145 (EAN-13)	5099206027142 (SCC-14)
Weight	226.8 g	2.147 kg
Length	20.95 cm	31.50 cm
Width	7.62 cm	31.60 cm
Height / depth	15.24 cm	22.40 cm
Volume	2.453 dm ³	0.02280 m ³
1 primary pack	1	n/a
1 intermediate pack	0	n/a
1 master shipper carton	8	1
1 pallet EURO	432	54
1 container 20ft	10080	1260
1 container 40ft	21280	2660
1 container 40ft HQ	23408	2926

TECHNICAL SPECIFICATIONS

- HD video calling (1280 x 720 pixels) with recommended system
- HD video capture: up to 1280 x 720 pixels
- Logitech Fluid Crystal™ Technology
- Logitech More HD technology
- Autofocus
- Photos: up to 8 megapixels (software enhanced)
- Built-in microphone with Logitech RightSound™ technology
- Hi-Speed USB 2.0 certified (recommended)
- Universal clip fits laptops, LCD or CRT monitors

Logitech webcam software:
• Logitech Vid™ HD

- Logitech RightLight™ 2 technology
- Video and photo capture
- MAGIX™ photo and video editing software
- 1-click Facebook™, Twitter™ and YouTube™ HD upload (registration required)
- Logitech Video Effects™: fun filters, avatars, face accessories, video masks and mask maker**

Works with most instant messaging applications

* 60-day trial offer. Additional terms and conditions apply.

** Intel® Pentium® 4 (2.8 GHz) recommended.

PACKAGE CONTENTS

- Webcam with 1.5-m (5-foot) cable
- Logitech webcam software with Logitech Vid™ HD
- User documentation

2-year manufacturer's guarantee with full product support

SYSTEM REQUIREMENTS

- Windows® XP (SP2 or higher), Windows Vista® or Windows® 7 (32-bit or 64-bit)

Basic requirements:

- 1 GHz
- 512 MB RAM
- 200 MB hard drive space
- Internet connection
- USB 1.1 port (2.0 recommended)

For HD 720p video calling on Logitech Vid™ HD and HD video sharing on Facebook™/Twitter™/YouTube™:

- 2.4 GHz Intel® Core™2 Duo
- 2 GB RAM
- 200 MB hard drive space
- USB 2.0 port
- 1 Mbps upload speed or higher
- 1280 x 720 screen resolution

For other video-calling clients, please check the recommended requirements.



©2010 Logitech. Logitech, the Logitech logo and other Logitech marks are owned by Logitech and may be registered. All other trademarks are the property of their respective owners.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1 บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Komsun Phongern, Noppadol Maneerat, Arjnarong Mathaweesansurn, Nathawut Chengchan “A design of colorimeter for chemical quantitative analysis based on a web-camera” 5th International Electrical Engineering Congress, Pattaya, Thailand, 8-10 March 2017, Holiday Inn Pattaya, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

EC036	Test chip Desing and Parameter Extraction of Parasitic Capacitance of MOSFET of VLSI	783
	A. Ruangphanit, R. Peolub, R. Muanghlua <i>National Science and Technology Development Agency Patumthani, Thailand</i>	
EC038	A Temperature-insensitive Instrumentation Amplifier Using CCTA-based Voltage to Current Converter	787
	Montree Siripruchyanun, Kangwal Payakkakul <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand</i>	
EC039	Door Lock System via Web Application	791
	Charoen Vongchumyen, Pakorn Watanachaturaporn, Chompoonuch Jinjakam, Akkradach Watcharapong, Watjanapong Kasemsiri, Kiatnarong Tongprasert, Aranya Walairacht, Thaweesak Penpokai, Thongchai Jenweerawat, Aunnisa Hami <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
EC040	Inverting Amplifier Based Ultra Low Power Low Offset Current Comparator	795
	Pusit Suriyavejwongs, Ekachai Leelarasmee, Wanchalerm Pora, Sitt Tontisirin <i>Chulalongkorn University, Thailand</i>	
EC042	Half Bridge Voltage Source Inverter using Frequency and Temperature Control for Induction Distilling Applications	799
	Viehian Hathairatsiri, Jirapong Jittakort, Prasert Pinpathomrat, Suwat Kitcharoenwat, Buncha Sansoda, Boontan Sriboonrueng, and Saichol Chudjuarjeen <i>Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand</i>	
EC044	Design and Implementation of Class E Power Amplifier with Parallel Circuit for Wireless Power Transfer Systems	803
	Ekkaphol Khansalee, Kittipong Nuanyai, Yan Zhao <i>Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Thailand</i>	
EC045	Third-Order Current-Mode Quadrature Oscillator Using MO-CCTAs and Grounded Capacitors	807
	Chai Wankan, Saweth Hongprasit <i>Rajamangala University of Technology Isan KhonKaen Campus, Thailand</i>	
EC046	Formation and electrical properties of lead zirconate titanate films on platinum substrate by electrophoretic deposition	811
	Nestchanok Yongpradern, Sorapong Pavasupree and Chalermchai Jecrapan <i>RMUTT, Thailand</i>	
EC047	Phase-Shift Phase-Lock Loop (PLL) Control for Wireless Power Transmission System using Primary-Side Information	815
	Chan Anyapo, Nithiphat Teerakawanich, Chowarit Mitsantisuk <i>Kasetsart University, Thailand</i>	
EC050	A design of colorimeter for chemical quantitative analysis based on a web-camera.	819
	Komsun Phongern, Noppadol Maneerat, Arjnarong Mathaweensurn and Nathawut Chengchan <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
EC051	Current-mode Universal Biquadratic Filter Using Single MO-CCTA	823
	Pukanit Thuibunghem, Saweth Hongprasit <i>Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Thailand</i>	
EC052	Test and On-Line Monitoring of Real-Time Ethernet with Mixed Physical Layer for Industry 4.0	827
	Alexander Gercikow, Hans-Peter Schmidt <i>OTH East Bavarian Technical University of App. Sciences, Germany</i>	
EC054	Implementation of Chaos Control in Chua's Circuit via Sliding Mode Control	831
	Suphaphorn Panikhom <i>Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus, Thailand</i>	
EC055	Impact of Sensor Mobility on UAV-based Smart Farm Communications	835
	Prusayon Nintanavongsa and Itarun Pitimon <i>Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand</i>	

A design of colorimeter for chemical quantitative analysis based on a web-camera.

Komsun Phongern
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kphongern@gmail.com

Arjnarong Mathaweensum
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
a.mathaweewee@live.com

Noppadol Maneerat
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kmpnoppad@kmitl.ac.th

Nathawut Chengchan
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kcnathaw@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents the design of colorimeter for chemical quantitative analysis based on image processing. It comprises of two main parts which are test box and software. The test box consists of a web camera and LED lamp plat which is used to illuminate a micro wells. The software is graphic user interface and image processing. The main of image processing are split RGB channel of each pit in micro wells so calculate calibration curves for finding and unknown concentric solution then show result on screen. The experiment shows the design in this paper can calculate concentric of the solution. The result of the experiment have a correlation of reaction between Fe (II) and Phenanthroline (Red product) 0.985, the reaction between Ethanol and Methyl orange (Yellow product) 0.985 and reaction between Uric acid and Phosphotungstic acid (Blue product) 0.986. Moreover it takes a less time and lower cost compared with the spectrophotometer. The device can be applied to chemical laboratory by possibility

Keywords— Quantitative analysis, Web camera, Colorimeter, Image processing.

I. INTRODUCTION

At present, the biochemical analysis method have been widely used for quantitative determinations in analytical chemistry. The spectrophotometer was a classical method for determining concentration, a disadvantage is high price and hard to use as potable. Therefore the digital image-based colorimeter (DIC) was fabricated as a portable tool for quantitative analytical.

The DIC based on measurement of the red, green, and blue (RGB) values of different color intensities will be replaced spectrophotometry. The value is provided to the user ranges from 0 to 255 for each color giving more than 16 million different colors. Moreover, in various DIC applications, some of technique uses digital images captured by hand-scanner [1] and [4], digital cameras, web camera [3], and mobile device cameras [2]. Several researchers developed the camera based

digital image colorimeter into two systems, opened system and closed system. The opened system uses only camera for analysis. The external factors such as high brightness of ambient light, position of the sample and focusing distance will affect the images. The closed system is better than the opened system because it uses a camera coupled with the fabricated photography lightbox which the external factors could be controlled.

The purpose of this research is to study the possibility of web camera for the biochemical analysis and the application of DIC as a detector for the detection of concentration in various reaction colorimetric assays. Moreover present the design of the lightbox. The difference point of this paper are reduce cost and improve the work process for the user easily to use.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Sample preparation procedures

There are three model assays to determine the performance of DIC systems; Fe(II) and Phenanthroline assays (Red product), Ethanol and Methyl orange assays (Yellow product), Uric acid and Phosphotungstic acid (Blue product).

The ferrozine and ortho-phenanthroline colorimetric assays are commonly applied for the determination of ferrous and total iron concentrations. It is red product. The working reagent was prepared by using the working solution of Iron (100.0 mg L⁻¹), the ortho-phenanthroline solution 0.5% and the hydroxylamine hydrochloride solution 10%, then prepare solutions for plot the standard curve by varying concentrations of the working solution of iron from 1.0 mg/L, 1.0 mg/L, 2.0 mg/L, 3.0 mg/L and 4.0 mg/L, respectively. Initially, 0.25 ml of the working solution of Iron was taken in another volumetric flask and then 0.5 ml of the ortho-phenanthroline solution and 0.25 ml of the hydroxylamine hydrochloride solution was added then adjust volume by using distilled water until 25 ml. therefore get the working solution of iron 1.0 mg/L. Another

concentrations 2.0 mg/L, 3.0 mg/L and 4.0 mg/L change volume of the working solution of Iron to 0.5 ml, 0.75 ml and 1.25 ml successively.

The Ethanol and Methyl orange colorimetric assays are commonly applied for the determination total ethanol concentrations. It is yellow product. The working reagent were prepared by using the Methyl orange solution 0.1% (w/v) and the acetate buffer pH 3.4 solution then prepare solutions for plot the standard curve by varying concentrations of the Ethanol solution from 10% (v/v), 25% (v/v), 50% (v/v) and 75% (v/v) respectively. Initially, 2.5 ml of the Ethanol solution was taken in another volumetric flask and then 0.5 ml of the Methyl orange solution and 5 ml of the acetate buffer pH 3.4 solution was added then adjust volume by using distilled water until 25 ml therefore get the Ethanol solution 10% (v/v). Another concentrations) 25% (v/v), 50% (v/v) and 75% (v/v) change volume of the Ethanol solution to 6.25 ml, 12.50 ml and 18.75 ml successively.

The uric acid-phosphotungstate reaction colorimetric assays are commonly applied for the determination total uric concentrations. It is blue product. The working reagent were prepared by using the Uric Acid Standard Stock Solution 100 mg/dl, the phosphotungstate solution 40% (v/v) and the sodium carbonate solution 2% (w/v) then prepare solutions for plot the standard curve by varying concentrations of the Uric Acid Standard Stock solution from 4.46 mg/dl, 8.92 mg/dl, 26.76 mg/dl, 44.6 mg/dl and 62.44 mg/dl respectively. Initially, 0.25 ml of the Uric Acid Standard Stock solution was taken in another volumetric flask and then 0.3 ml of the sodium carbonate solution and 0.3ml of the phosphotungstate solution was added then adjust volume by using the distilled water 4.75 ml therefore get the uric acid standard stock solution 4.46 mg/dl. Another concentrations) 8.92 mg/dl, 26.76 mg/dl, 44.6 mg/dl and 62.44 mg/dl change volume of the uric acid standard stock solution to 0.5 ml, 1.5 ml, 2.5 ml and 3.5 ml and also change volume of the distilled water to 4.5 ml, 3.5 ml, 2.5 ml and 1.5 ml successively.

B. Apparatus

UV-Vis Spectrophotometer was used for the results comparison with the web camera-based DIC measurement.

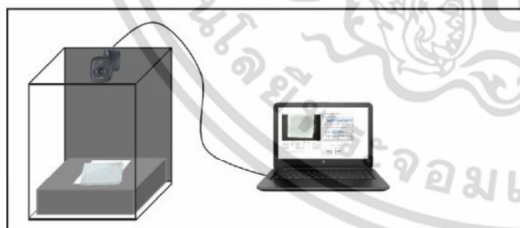


Fig. 1. Design of DIC systems.

C. DIC system design

The web camera-based digital image colorimeter as detection instrument and portable accessory as illumination

provider Fig. 1. The portable accessory contains an electrical enclosure box (15 × 35 × 25 cm) with the internal walls black color has been used for protecting the system from outside light. A web camera (Photo capture resolution up to 8 megapixels, connect computer via Hi-speed USB 2.0 certified, Logitech HD model C525, China) is utilized for capture digital image from inside the light box and connected the personal computer via USB2.0. An LED Light Plate (5W, China) is used for lighting under the 96-well MTP and MTP holder plate is used hold the 96-well MTP. The focusing distance was fixed at 30 cm.

D. DIC application

A desktop application named as “Web-camera Colorimeter” is developed for laptop or desktop computer in the windows operating system. A Visual studio C# it developed tool this in application. The application consists of a calibration module for finding the standard curve and a testing module for identify concentration value of unknown samples base on the standard curve. The user interface contain result tested and all analysis information

E. DIC analysis

In order to identify unknown samples correctly, a blank photo was taken by user before insert MTP well for compensate in the desired pixel intensity correction, to avoid light intensity is not the same in each zone on the LED plate. That will make the pixel intensity of MTP hold error from true value. First step for the software processing, the user will prepare the chemical solution and place it within the photography lightbox then close the photography lightbox. After that the user enter the concentration value corresponding to the concentration of the chemical solution of MTP hold that determine for find the standard cure in the input interface. Then the user will manually press a capture button in the application to take the photo. Then manually press the processing button to processing. The image processing algorithm initially determine the center of each MTP well. Then square image (10 × 10 pixels) around the center is cropped from colorimetric image to calculate the mean pixel intensity.

The application has been used HSV and RGB color model for pixel intensity calculation. The images captured by web camera usually use the color space of RGB color model. Therefore, the equations (1), (2) and (3) are employed to convert the values of RGB model to the values of HSV model and (4) are employed to convert the values of RGB model to the values of gray scale.

$$V = \max(R, G, B) \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & V \neq 0 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} 60(G - B)/(V - \min(R, G, B)), & V = R \\ 120 + 60(B - R)/(V - \min(R, G, B)), & V = G \\ 240 + 60(R - G)/(V - \min(R, G, B)), & V = B \end{cases} \quad (3)$$

$$Gr = R \times 0.299 + G \times 0.587 + B \times 0.114 \quad (4)$$

Where H, S, V, R, G, B, Gr stand for hue channel, saturation channel, value channel, red color channel, green color channel, and blue color channel, gray channel respectively.

$$\text{Pixel intensity} = 255 - \text{MPIT} - \text{MPB} \quad (5)$$

Where MPIT and MPB stand for the mean pixel intensity of test and the mean pixel intensity blank.

All the pixel intensity of MTP hold from (5) that determine for find the standard curve was plotted the standard curve then finding the coefficients by the least square method (LSM). The application provide the standard curve of 7 components (R, G, B, H, S, V and Gr) to find the closest match of concentration value of unknown samples. Finally, the application stored information to data base and display all in the user interface.

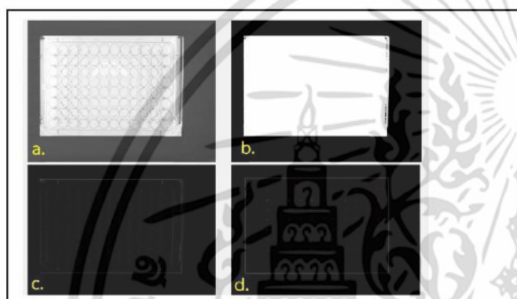


Fig. 2. Image extraction of MTP area .

F. Image extraction of MTP area

In order to increase performance of DIC systems, the automatic determine the center of each MTP well should be applied. The image processing to determine the center of each MTP well procedure by extracted the MTP image from the background. Initially used the Smooth Gaussian to reduce noise from the photograph then take threshold to convert the image from gray to binary show in Fig 2 (b). After that uses the edge detection algorithms to find edge of MTP well. The sable masks was used for obtain the guardian component in the horizontal and vertical directions at every pixel location and the result show in Fig 2(c). The edge of MTP well substitution by the rectangles, from that point can know position and size of MTP wells. So can applied the MTP wells configured that included center of each MTP hold to image same as Fig 2(d) for get colorimetric of each MTP hold in calibration module.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. Study background

The optimum internal walls of the lightbox were studied for get the correct color of the solutions. The image of solutions are not the real color of solutions was founded when the internal walls were cover with white paper and white paint. For

solve this problem the black paint was chosen and applied to obtain the real color of solutions. The black paper provided the similar images and more robust and stand for strong chemicals.

B. Study distance between a web-camera and MTP

The focusing distance is important for the quality of an image. Even when the object was close to the camera lens so found lower quality of image. Therefore, the optimum focus distance was determined by testing the automatic focus of the web camera at the lengths of 1 to 40 cm. The test result found that focusing distances at 1–15 cm are blurred because the web camera lens is not designed for macro photography. The focusing distances of 30–35 cm were too far from the camera lens and gave a low resolution image. The best results were obtained at 15–30 cm of focusing distances. The focusing distance of 30 cm shows a bigger sample cell size than other lengths, and it also shows the entire image which is easy to crop for RGB processing. Therefore, the focusing distance of 30 cm was chosen for photography.

C. Analytical performance of the spectrophotometric reference procedure

UV-Vis spectrophotometry was used as reference method in this study. In the ferrozine and ortho-phenanthroline colorimetric assays, the calibration graphs were linear over the range 1.0–4.0 mg/L with a correlation coefficient (R^2) ≥ 0.9975 . The Ethanol and Methyl orange colorimetric assays found the calibration graphs were linear over the range 10% – 75% (v/v) with a correlation coefficient (R^2) ≥ 0.9993 and The uric acid-phosphotungstate reaction colorimetric assays found the calibration graphs were linear over the range 4.46 – 44.5 mg/dl with a correlation coefficient (R^2) ≥ 0.9912 .

D. Analytical performance of the proposed web camera-based DIC system

After all condition was optimize, the series of solution concentrations were prepared for capturing and recording the color value by the application. Moreover the color were collected in the database and all value use for predicting the concentration of the unknown solutions. About the experiment result, In the ferrozine and ortho-phenanthroline colorimetric assays, the best calibration graphs as Fig. 3 is Gr were linear over the range 1.0–4.0 mg/L with a correlation coefficient (R^2) ≥ 0.985 , the calibration graphs of red color found haven't linear relationship due to this reaction provide blue and green change. The uric acid-phosphotungstate reaction colorimetric assays found the best calibration graphs as Fig. 4 is B were linear over the range 4.46 – 44.5 mg/dl with a correlation coefficient (R^2) ≥ 0.986 . The Ethanol and Methyl orange colorimetric assays found the best calibration graphs as Fig. 5 is Gr were linear over the range 10% – 75% (v/v) with a correlation coefficient (R^2) ≥ 0.933 , also found the calibration graphs of red color haven't linear relation. From the experiment result of each assays show performance of the DIC systems and possibility to use for quantitative determinations in analytical chemistry.

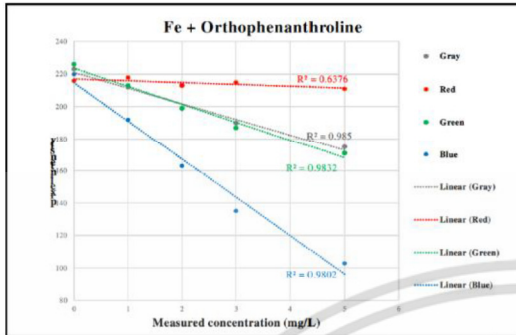


Fig. 3. The test result of Fe(II) and Phenanthroline assays (Red product).

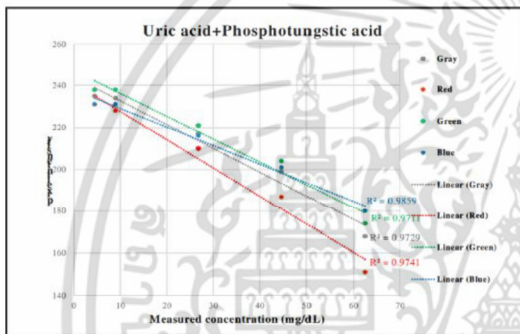


Fig. 4. The test result of Uric acid and Phosphotungstic acid (Blue product).

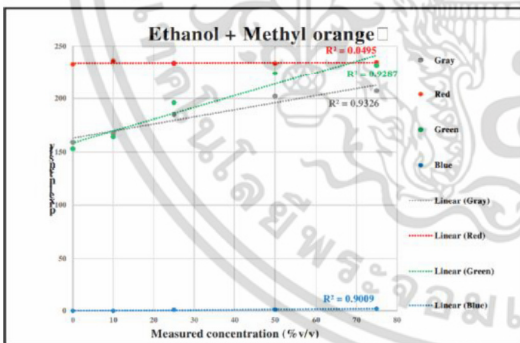


Fig. 5. The test result of Ethanol and Methyl orange assays (Yellow product).

IV. CONCLUSION

we demonstrate the capability of the web camera-based digital image colorimeter with significantly reduced cost, compactness, lightweight and rapid response exhibits the same bioanalytical performance and sensitivity as the commercial MTPR device for three model assays: Fe(II) and Phenanthroline assays (Red product), Ethanol and Methyl orange assays (Yellow product), Uric acid and Phosphotungstic acid (Blue product). The disadvantage of this method is it uses 5-6 MTP hold for finding the standard cure and must to specific MTP hold number every time. Future work improvement is apply ANNs for reduce procedure of user case it need to measure only one time for many testing. Moreover reduce in the price and the size of the device.

ACKNOWLEDGMENT

Financial support from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, (in the year 2016) is gratefully acknowledged. Special thanks to Department of Chemistry, Faculty of Science, for laboratory facilities and consumable materials.

REFERENCES

- [1] M. Kompany-Zareh, M. Mansourian, F. Ravaee, "Simple method for colorimetric spot-test quantitative analysis of Fe(III) using a computer controlled hand-scanner," *Analytica Chimica Acta*, vol.471, 2002, pp. 97 – 104.
- [2] D. Filippini* and I. Lundströma, "Measurement strategy and instrumental performance of a computer screen photo-assisted technique for the evaluation of a multi-parameter colorimetric test strip," *Analyst*, 2006, pp. 111 – 117.
- [3] M. Vaher, M. Borissova, A. Seiman, T. Aid, H. Kolde, J. Kazarjan, M. Kaljurand, "Automatic spot preparation and image processing of paper Micro zone-based assays for analysis of bioactive Compounds in plant extract," *Food Chemistry*, vol.143, 2014, pp. 465–471.
- [4] C. L. M. Morais,K. M. G. Lima, "A colorimetric microwell method using a desk top scanner for bio chemical assays," *Talanta*, vol.126, 2014, pp. 145–150.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายคมสรณ์ โปธิเงิน
วัน เดือน ปีเกิด	25 มีนาคม 2534 ที่พิจิตร
ที่อยู่	97 หมู่ 1 ต.ทุ่งน้อย อ.โพทะเล จ.พิจิตร 66130
ประวัติการศึกษา	2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบควบคุมการเขียนสัญญาณเซอร์โวในฮาร์ดดิสก์ 2.) การประมวลผลภาพ 3.) ไมโครคอนโทรลเลอร์
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2555-2557	ตำแหน่งวิศวกรทดสอบ บริษัท ไมโครชิพ ประเทศไทย จำกัด
ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โว บริษัท เอสจีเอชที ประเทศไทย จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้