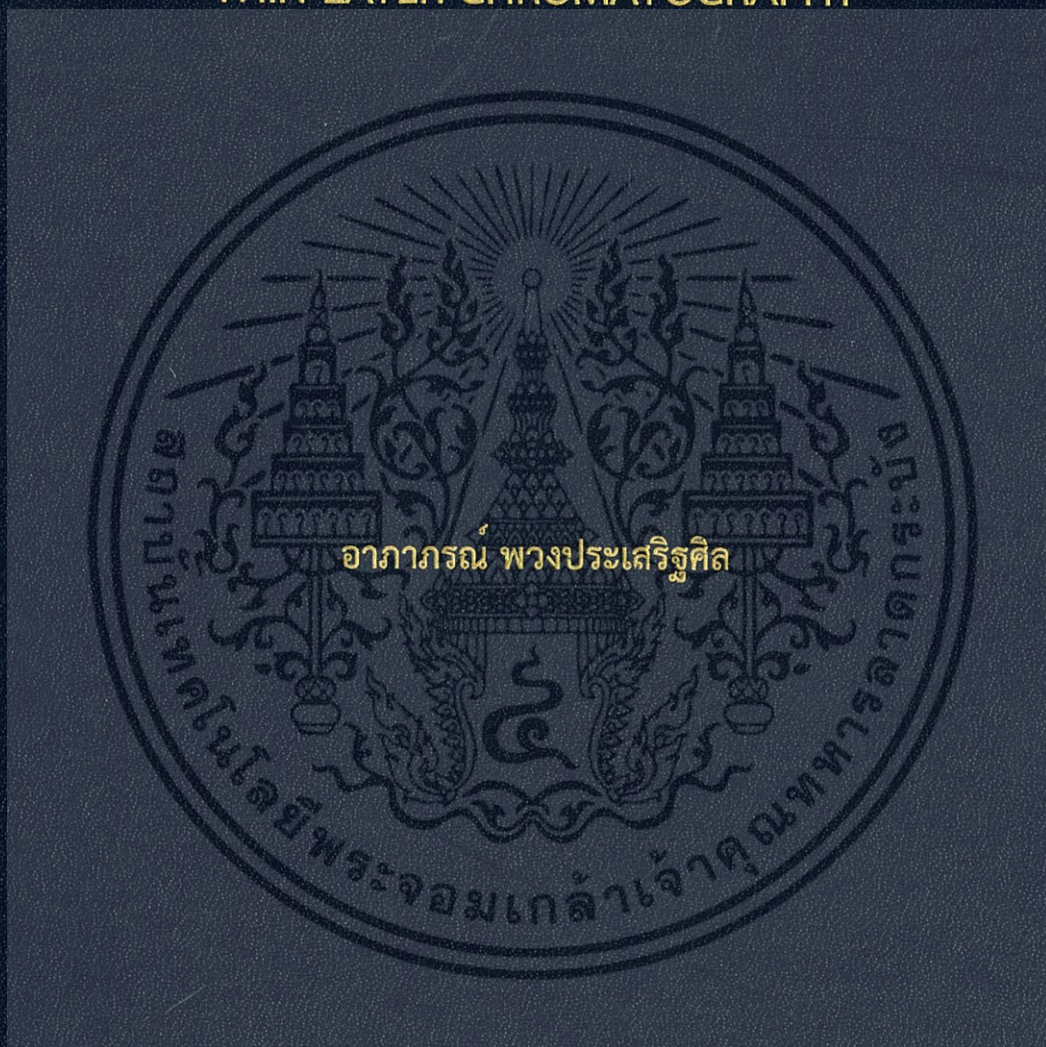


การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาลูกกลิ้งด้วยเทคนิค
ทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี

ANALYSIS OF BLUE INKS FROM BALLPOINT PENS BY
THIN LAYER CHROMATOGRAPHY



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาถูลื่นด้วยเทคนิค
ทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี

ANALYSIS OF BLUE INKS FROM BALLPOINT PENS BY
THIN LAYER CHROMATOGRAPHY



สงวนลิขสิทธิ์
เลขทะเบียน 149452
ลิขสิทธิ์ปี ๒๕๖๑ อ.ศ. 2561

b. 1288A236
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องสมุด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF BLUE INKS FROM BALLPOINT PENS BY
THIN LAYER CHROMATOGRAPHY



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSIC)
DEPARTMENT OF PHYSIC, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาถูลื่นด้วยเทคนิคThin Layer Chromatography

Analysis of Blue Inks from Ballpoint Pens by Thin Layer Chromatography

ชื่อนักศึกษา นางสาวอาภาภรณ์ พวงประเสริฐศิริ รหัสนักศึกษา 56051251

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา ประธานกรรมการ	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิราวัฒน์ กรรมการ	
ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาลูกกลิ้งด้วยเทคนิคThin layer chromatography Analysis of Blue inks from Ballpoint Pens by Thin layer Chromatography
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอาภาภรณ์ พวงประเสริฐศิลป์ รหัสนักศึกษา 56051251
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเล่มนี้เป็น การวิเคราะห์เปรียบเทียบหมึกปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงินทั้งหมด 9 ชนิด ที่ระบายบนเอกสาร และพัฒนาการวิเคราะห์ความคล้ายกันของหมึกปากกาลูกกลิ้งด้วยเทคนิค Thin-layer chromatography และการวิเคราะห์ภาพ การวิจัยเริ่มจากนำตัวอย่างปากกาลูกกลิ้ง 9 ชนิดมา ระบายบนกระดาษ ผลการศึกษาตัวทำละลายที่ใช้สกัดหมึกออกจากกระดาษที่ดีที่สุดคือ Ethanol ใน อัตราส่วน ตัวอย่าง 1 ชิ้น : Ethanol 70 ul และเฟสเคลื่อนที่ n-Butanol : Ethanol : H₂O อัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v) ภาพโครมาโตแกรมนำไป scan ด้วยเครื่อง Scanner บันทึกเป็น แฟ้มประเภท bitmap จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย Image j ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์ความเข้มสีของ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) เมื่อวิเคราะห์กราฟด้วย OriginPro 2017 ทำการเปรียบเทียบ จำนวน พิกเซลของกราฟ พื้นที่กราฟ ความสูงกราฟ FWHM และCenter Gravity ผลเปรียบเทียบคู่หมึกปากกา ด้วยค่า Score ของ RGB 5 ระบบ Score 0.80 มีค่า Positive น้อยที่สุด และมีค่า Fault มากที่สุด ส่วน Score 0.65 มีค่า Positive มากที่สุด และมีค่า Fault น้อยที่สุด เมื่อคิดค่า Score เพียง RG พบว่า ช่วยเพิ่มจำนวน Positive และลดจำนวน Fault ได้ แต่เกิด Fault Positive ขึ้น ต่อมาทำการ เปรียบเทียบลักษณะกราฟ ทั้งแบบ RGB และแบบ RG พบว่าช่วยลดจำนวน Fault Positive ได้ โดย คิดค่าความเหมือนกันแบบ 70% 80% และ 90% ผลคือแบบ 70% ช่วยเพิ่มจำนวน Positive และ ลดจำนวน Fault ได้มากที่สุด ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวิเคราะห์ระหว่างคู่ หมึกปากกาลูกกลิ้งด้วย เทคนิค Thin-layer Chromatography และการวิเคราะห์ภาพ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ภาพ เทคนิคThin layer chromatography หมึกปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Analysis of blue inks from ballpoint pens by thin layer Chromatography
Students	Miss Arparporn Pongprasertsin Student ID 56051251
Degree	Bachelor of Science (Applied Physic)
Department	Physic
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic	2016
Advisor	Dr.Bhanupol klongratog

Abstract

The purpose of this research was to analyze and compare nine blue ballpoint pen inks on documents and development of inks analysis by the technique of thin-layer chromatography and image analysis. Nine blue ballpoint pens of different brands were selected for this study. Draining blue ballpoint pen inks on A4 paper size 80 grams was cut into small pieces. The most suitable solvent used for the extraction of ink was ethanol, sample ratio 1 piece per ethanol volume 70 ul and a mixture of n-Butanol, ethanol, water (50:25:10, v/v/v) as mobile phase. The chromatogram of the ink was digitized by using an ordinary office scanner and the image was saved as a bitmap file. The red, green and blue (RGB) profiles of the image were processed and used to distinguish the ink by the computer software of Image j. RGB graph analysis by the computer software of OriginPro 2017 to determine the number of peaks in the graph, the area of peaks in the graph, the max height of peaks in the graph, FWHM and center gravity. The result of the blue pen comparison five system founded score system 0.80 was the minimum positive value and maximum fault value and score system 0.65 was the maximum positive value and the minimum fault value. When using a two color RG calculation, the results increased the positive value, decreased the fault value, and activated the fault positive value. By comparison, the graphs were 70%, 80%, and 90%. The 70% increased the positive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

value and decreased the fault value, The results of this study demonstrate the feasibility of the Thin-layer Chromatography and image analysis technique in forensic examination of documents.

Keywords: Blue ballpoint pen inks, Image analysis, Thin-layer chromatography



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุก ๆ ท่าน ขอขอบพระคุณ ดร. ภาณุพล โขลอน กระโทก ที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด โดยให้ความช่วยเหลือและข้อเสนอแนะที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษ และขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษาตลอดจนคอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้

อภาภรณ์ พวงประเสริฐศิลป์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข-ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ-ช
สารบัญตาราง	ซ-ฅ
สารบัญรูป	ญ-ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	2-3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกลื่น	4
2.1.1 สารตัวนำ	4
2.1.2 สารสี (dye and pigment)	5-6
2.1.3 เรซิน (resin)	6
2.1.4 สารเติมแต่ง (additive)	6-7
2.2 หลักการของทีนเลเยอร์โครมาโตกราฟี (thin-layer chromatography, TLC)	7
2.2.1 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกสารผสมโดยใช้แผ่น TLC	7
2.2.2 ประโยชน์ของ TLC	8
2.3 รูปร่างของภาพและมาตรฐานของสี	8
2.3.1 รูปร่างของภาพ	8
2.3.2 มาตรฐานสี	9
2.4 สัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination, r^2)	9-10
2.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)	10
2.5.1 ทิศทางของความสัมพันธ์ (Direction of the Relationship)	10
2.6 การคำนวณค่า score	11
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ	11
2.6.2 งานวิจัยต่างประเทศ	11-12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2 วิธีการทดลอง	14
3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง	14-15
3.2.2 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ	15-16
3.2.3 การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ทำ TLC	16-17
3.2.4 การศึกษาปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดหมึก	18
3.2.5 การทำ TLC จากหมึกปากกาทั้งหมด 20 ชนิด	19
3.2.6 การ Scan และเตรียมภาพ TLC เพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม	19
3.2.7 การเปรียบเทียบภาพ TLC ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ	19-20
3.2.8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์จากโปรแกรมวิเคราะห์กราฟ	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	22
4.1 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้สกัดหมึกออกจากกระดาษ	22-30
4.2 การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ทำ TLC	31-41
4.3 การศึกษาปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดหมึก	42-48
4.4 การทำ TLC จากหมึกปากกาทั้งหมด 9 ชนิด	49-52
4.5 การเปรียบเทียบภาพ TLC ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ	53
4.5.1 Scan และเตรียมภาพ TLC เพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม	53-54
4.5.2 วิเคราะห์ภาพโครมาโตแกรมด้วยโปรแกรม image j	55-59
4.5.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของคู่มึกปากกาทุกสีด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ จากการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2)	60-63
4.5.4 วิเคราะห์กราฟจากโปรแกรมวิเคราะห์กราฟ OriginPro 2017	64-66
4.5.5 ผลการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2)	65-74
4.5.6 เกณฑ์การเปรียบเทียบของภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2)	75

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5.7 ผลการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination(r^2)	75
4.5.8 ผลการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro 2017	76-77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผลการวิจัย	78-79
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารอ้างอิง	80-81
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก วิเคราะห์กราฟ จากโปรแกรม OriginPro ของปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน 9 ชนิด	83-86
ภาคผนวก ข ตารางการเปรียบเทียบกราฟ RGB ระหว่างคู่มือปากกา 1299 คู่	87-90
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ	82-95
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OriginPro 2017	96-102
ภาคผนวก จ Flow Chart การเปรียบเทียบด้วยค่า Score	103-104
ภาคผนวก ฉ Flow Chart การเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro2017	105-111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2-3
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	13
3.3 ปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน 9 ชนิด	15
3.4 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ	15
3.5 เฟสเคลื่อนที่ 3 ระบบที่ใช้ในการศึกษา	17
3.6 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารสกัดในการสกัดหมึก	18
4.1 ความสามารถในการสกัดหมึกออกจากกระดาษของตัวทำละลาย 5 ชนิด	22
4.2 แสดงลักษณะของหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC	24
4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของสีหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC	25
4.4 แสดงพื้นที่ของกราฟหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC	26-27
4.5 แสดงภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12	28-29
4.6 ผลการศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกทั้ง 5 ชนิด	30
4.7 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟสทั้งหมด 3 ระบบ	31-32
4.8 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ซึ่งใช้ตัวอย่างชนิด A1 โดยการวิเคราะห์ภาพด้วย image J	32-33
4.9 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ในการสกัดหมึกทั้ง 3 ระบบ	33
4.10 ภาพโครมาโตแกรมของ <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O โดยเพิ่ม Ethanol	34-35
4.11 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม Ethanol นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J	36
4.12 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม-Ethanol	37
4.13 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟส <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O โดยทำการเพิ่ม H ₂ O	38-39
4.14 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม H ₂ O นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J	40
4.15 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม H ₂ O	41
4.16 ภาพโครมาโตแกรมแสดงปริมาณสารที่เหมาะสม	42-43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.17 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J	44
4.18 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1	45
4.19 แสดงภาพโครมาโตแกรมในช่วงปริมาณ 60 ul – 90 ul	46-47
4.20 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในช่วงปริมาณ 60 ul – 90 ul ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image	47-48
4.21 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1	48
4.22 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20	49-52
4.23 แสดงภาพโครมาโตแกรมหลังจาก Scanและบันทึกเพิ่มประเภท bitmap (.bmp)	53-54
4.24 ตัวอย่างผลการศึกษาภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16 A17-A20	55-57
4.25 เถลถายการพิจารณาความเหมือนและความแตกต่างกันของคูลหมักปากกา	66
4.26 เถลถายการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2)	75
4.27 ผลการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2) กรณีมีทั้ง Red Green Blue	75
4.28 ผลการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2) กรณีมีทั้ง Red Green	76
4.29 ผลการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro กรณีมีทั้ง Red Green Blue	76
4.30 ผลการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro กรณีมีทั้ง Red Green	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แผนภูมิแสดงการเตรียมตัวอย่างปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน	14
3.2 แผนภูมิการศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ	16
3.3 แผนภูมิการศึกษาเฟสการเคลื่อนที่ที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ	17
3.4 แผนภูมิการศึกษาปริมาณสารที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ	18
3.5 ขั้นตอนการ Scan ภาพโครมาโตแกรมด้วยเครื่อง Scanner	19
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพโครมาโตแกรมด้วยโปรแกรม Image J	20
3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์จากโปรแกรมวิเคราะห์กราฟ OriginPro 2017	21
4.1 แสดงสีของสารละลาย Ethyl acetate ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12	22
4.2 แสดงสีของสารละลาย Ethanol ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12	23
4.3 แสดงสีของสารละลาย Acetone ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12	23
4.4 แสดงสีของสารละลาย Methanol ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12	23
4.5 แสดงสีของสารละลาย <i>n</i> -Butanol ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12	24
4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3-Red	58
4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3-Green	58
4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3-Blue	59
4.9 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีแดงระหว่างคู่ปากกา A1-U1	60
4.10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีเขียวระหว่างคู่ปากกา A1-U1	61
4.11 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีน้ำเงินระหว่างคู่ปากกา A1-U1	61
4.12 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีแดงระหว่างคู่ปากกา A1-A3	62
4.13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีเขียวระหว่างคู่ปากกา A1-A3	63
4.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีน้ำเงินระหว่างคู่ปากกา A1-A3	63
4.15 กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3 สีแดงวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม origin	64
4.16 กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3 สีเขียววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม origin	65
4.17 กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3 สีน้ำเงินวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม origin	66
4.18 แสดงค่า score 0.80 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green Blue	67
4.19 แสดงค่า score 0.80 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green	68
4.20 แสดงค่า score 0.75 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green Blue	69
4.21 แสดงค่า score 0.75 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	แสดงค่า score 0.70 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green Blue	71
4.23	แสดงค่า score 0.70 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green	72
4.24	แสดงค่า score 0.65 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green Blue	73
4.25	แสดงค่า score 0.60 ของคู่ปากกาทั้งหมด 1296 คู่ กรณีมีทั้ง Red Green	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและพิสูจน์หลักฐาน เพื่อทำการค้นหาความจริง มักเป็นการใช้วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ กายภาพ เคมี คอมพิวเตอร์ และกฏวิทยา เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการสืบสวนและดำเนินคดีทางกฎหมาย เป็นการช่วยกระบวนการยุติธรรมในการพิสูจน์หลักฐาน ซึ่งกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์หมีกปากกาถูกกลืนมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากหมีกปากกานอกเอกสารไม่สามารถบอกรายละเอียดของชนิดของปากกาได้ โดยมีการตรวจสอบและศึกษาเกี่ยวกับชนิดของหมีกที่เขียนลงบนเอกสาร เช่น ชนิดของปากกา หรือ แรงกดของปากกา เป็นต้น โดยทั่วไปได้มีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของหมีกที่เขียนลงบนเอกสารด้วยเหตุผลหลัก ๆ ดังนี้

เพื่อทำการเปรียบเทียบหมีกปากกาที่ใช้เขียนลงบนเอกสารว่าเป็นปากกาชนิดเดียวกันหรือไม่ เช่น ทำการตรวจสอบว่า เช็ค พินัยกรรม หรือเอกสารเกี่ยวกับบัญชีต่าง ๆ ได้ถูกเปลี่ยนแปลงหรือมีการแก้ไขเพิ่มเติมรายละเอียดลงไปหรือไม่

ซึ่งกระบวนการนิติวิทยาศาสตร์นี้เป็นวิธีที่ใช้ยืนยันและตรวจสอบความเหมือนความแตกต่างของหมีกปากกาได้ โดยพิจารณาทั้งตำแหน่งและความเข้มข้น ทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นการพัฒนาวิธีการตรวจสอบชนิดของหมีกปากกาถูกกลืนได้อีกด้วยโดยการแยกส่วนประกอบของสีน้ำหมึกและการวิเคราะห์หมีกนั้นมึวิธีการที่หลากหลายมาก เช่น เทคนิค Thin-layer Chromatography หรือ TLC เทคนิค High-Performance Liquid Chromatography หรือ HPLC เป็นต้น [1] [2]

สำหรับในโครงการพิเศษนี้จะใช้เทคนิค Thin-layer Chromatography หรือ TLC ในการวิเคราะห์น้ำหมึก โดยทำการแยกสีน้ำหมึกออกเป็นสีต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากส่วนประกอบแต่ละชนิดนั้นถูกแยกตามส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำหมึก เมื่อทำการแยกเสร็จแล้วจะได้ภาพ TLC Chromatogram มาทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของหมีกด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์ภาพ โดยทำการวิเคราะห์ในการยึดหลักความเข้มของแม่สี คือ สีแดง (Red, R) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) ซึ่งวิธีการ Thin-layer Chromatography เป็นวิธีการตรวจสอบเบื้องต้นอย่างมีประสิทธิภาพ มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะทำได้ง่ายสะดวกรวดเร็ว ราคาถูก อีกทั้งยังใช้ตัวอย่างที่มาทำการวิเคราะห์ในปริมาณน้อย จึงเหมาะกับการวิเคราะห์และตรวจสอบชนิดของหมีกปากกาถูกกลืนได้เป็นอย่างดี [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อเปรียบเทียบหมึกปากกาถูกลื่นสีน้ำเงินทั้งหมด 9 ชนิด ที่ระบายบนเอกสาร และสามารถบอกรายละเอียดของส่วนประกอบหมึกปากกาถูกลื่นสีน้ำเงินในแต่ละชนิดได้

2) เพื่อพัฒนาการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงของหมึกปากกาถูกลื่นโดยเทคนิค thin-layer chromatography ด้วยการวิเคราะห์ภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สามารถทำการแยกแยะความแตกต่างของหมึกปากกาถูกลื่นทั้งหมด 9 ชนิดได้ ด้วยเทคนิค thin-layer chromatography และทำการจัดกลุ่มจากการเปรียบเทียบความเหมือนความต่างกันของน้ำหมึกปากกาถูกลื่นสีน้ำเงินด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์ภาพจากการประมวลผลภาพ chromatogram

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้รวมถึงราคาโดยประมาณ	↔								
เตรียมตัวอย่างปากกาถูกลื่นในการทำการทดลอง		↔							
ทดลองหาตัวทำละลายที่ดีที่สุด			↔						
ทดลองหาระบบเฟสเคลื่อนที่ที่ดีที่สุด				↔					
ทดลองปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดหมึก					↔				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

การดำเนินงาน	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ทำ TLC จากหมึกปากกาทั้งหมด 9 ชนิด						↔			
Scan และเตรียมภาพTLC เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม							↔		
ทำรูปเล่มรายงาน									↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) พัฒนาวิธีการตรวจสอบชนิดหมึกปากกาถูกลิ้น และการตรวจสอบส่วนประกอบของหมึกปากกาถูกลิ้น ด้วยเทคนิค thin-layer chromatography ให้สามารถตรวจสอบได้ดียิ่งขึ้น
- 2) พัฒนาเงื่อนไขในการวิเคราะห์ภาพ chromatogram ให้ตรวจสอบได้แม่นยำมากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นกำเนิดปากกาลูกกลิ้งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1943 โดยนักหนังสือพิมพ์ชาวฮังการีชื่อ ลาซโล บิโร (Lazlo Biro) เขาต้องการพัฒนาปากกาแบบใหม่ที่ใช้หมึกชนิดแห้งเร็ว แต่เนื่องจากหมึกชนิดดังกล่าวเมื่อสัมผัสกับอากาศทำให้เกิดการแห้งจุดตันเขาจึงนำลูกบอลโลหะเล็ก ๆ ติดไว้ที่หัวปากกา เพื่อป้องกันไม่ให้หมึกสัมผัสกับอากาศโดยตรงผลพลอยได้คือลูกบอลยังทำหน้าที่ควบคุมให้หมึกไหลออกจากปากกาอย่างสม่ำเสมออีกด้วย ซึ่งลูกบอลดังกล่าวมีขนาดพอดีกับหัวปากกา และมีช่องว่างเล็กน้อย เพื่อให้ลูกบอลหมุนได้อย่างอิสระรอบตัวเมื่อกดหัวปากกากับผิววัสดุที่เขียนน้ำหมึกจากหลอดหมึกไหลลงมาถึงหัวลูกบอลตามแรงโน้มถ่วงเมื่อลูกบอลหมุนไป ส่วนที่มีหมึกติดอยู่ที่ลูกบอลตกลงบนผิววัสดุที่เขียนทำให้เกิดเป็นเส้นหมึกสม่ำเสมอบนผิววัสดุ ซึ่งมีขนาดเท่าใดนั้นขึ้นกับขนาดลูกบอล เช่น ลูกบอลขนาด 0.5 มิลลิเมตร ได้เส้นหมึกขนาด 0.5 มิลลิเมตรเช่นกัน ดังนั้นปากกาลูกกลิ้งจึงมีความสะดวกในการใช้งานกว่าปากกาหมึกซึมแบบเดิมเป็นอย่างมาก [4]

ในการศึกษาวิจัยในเรื่องที่ได้กล่าวมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า เอกสาร แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกกลิ้ง หลักการของทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี รูปร่างของภาพและมาตรฐานของสี สัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination, r^2) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกกลิ้ง

หมึกปากกาที่เราเห็นในปัจจุบันนี้ผ่านกระบวนการผลิตที่เราเรียกกันว่า หมึกแห้ง ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถเขียนลงบนกระดาษได้คงทนถาวรมากยิ่งขึ้น ซึ่งปากกาลูกกลิ้งแต่ละยี่ห้อมีส่วนประกอบเป็นเช่นไรนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตว่าต้องการให้มีคุณสมบัติแบบใด ยกตัวอย่างเช่น ปากกาลูกกลิ้งต้องแห้งไวเพื่อให้ข้อความซึมเข้าในกระดาษได้อย่างพอดี ปากกาที่เขียนแล้วมีกลิ่นหอม [5]

หมึกปากกาลูกกลิ้งทั่วไปนั้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 4 อย่างคือ สารตัวนำ (vehicle) สารสี (dye and pigment) เรซิน (resin) และสารเติมแต่ง (additive)

2.1.1 สารตัวนำ (vehicle)

เป็นส่วนประกอบที่เติมลงในน้ำหมึกทำหน้าที่ในการละลาย หรือ การพาสี รวมไปถึงการควบคุมความคล่องตัวในการไหลของหมึกปากกาลูกกลิ้ง ในส่วนของสารตัวนำได้ทำการปรับเปลี่ยนสูตรของน้ำหมึกโดยในช่วงหลังจากปี 1950 ได้ใช้ไกลคอล (glycol) เป็นพื้นฐานของหมึก ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีจุดเดือดสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส จึงค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิห้อง ทำให้การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยของตัวทำละลายไม่ระเหยออกมาอีกทำให้บริเวณปลายปากกาเกิดการปิดกั้นตัวเองโดยปริยาย (self-sealing skin) ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อการไหลของหมึกปากกาเมื่อเขียนลงบนกระดาษ ซึ่งทำให้ไกลโคลเป็นที่นิยมของประชาชนอย่างรวดเร็ว ตัวทำละลายเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำหมึกมีค่าประมาณ 50% ของส่วนประกอบหมึกทั้งหมด ตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกปากกาลูกกลิ้ง เช่น 1,3 propylene glycol he-xylene glycol ethylene glycol และ di-propylene glycol เป็นต้น [6]

สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมให้สารให้สีที่ใช้ในหมึกสามารถยึดติดกับวัสดุต่างๆ ได้ โดยใน Vehicle จะมีสารให้สีแขวนลอยหรือละลายอยู่ ส่วนใหญ่โดยทั่วไปมักจะใช้ Resin ซึ่งเป็นสารพวกพอลิเมอร์ต่าง ๆ เช่น Acrylic resins, Polyvinyl acetate, Polyvinyl alcohol, Polyamide resins, Polyurethane resins, Epoxy resins เป็นต้น

2.1.2 สารสี (dye and pigment)

เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ให้สีกับน้ำหมึก ซึ่งในส่วนประกอบของน้ำหมึกประกอบไปด้วย dyes หรือ pigment ประมาณ 25% ในหมึกปากกา 1 สูตร ใช้สารสีมากกว่า 1 ชนิด ตัวอย่างสารสีในสูตรของหมึกปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน เช่น copper phthalocyanine nigrosi solvent fast blue และ luxol fast Orange เป็นต้น

Dye เป็นสารสีที่สามารถละลายได้ในหมึก ส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นสารสีในหมึกที่ใช้สำหรับเขียน เช่น Erosin, Fluorescein, Triphenylmethane, Azo dye เป็นต้น การเกิดสีของสารสีนั้นเกิดได้จาก การที่สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ มีโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวที่มีค่าเหมาะสมเรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophore) โมเลกุลที่มี chromophore ทำให้มีสีเข้มหรือเปลี่ยนไปในทางที่เข้มยิ่งขึ้น หากมีผู้ช่วยเร่งสีที่เรียกว่า ออกโซโครม (auxochromes) อยู่ในโมเลกุล ตัวอย่างของ chromophore ได้แก่ $-N=N-$ (azo) $-C_6H_5$ $-N=O$ และ $-NO_2$ ตัวอย่างของ auxochromes ได้แก่ $-OH$ $-NH_2$ $-NHR$ และ $-NO_2$

สำหรับสารที่โมเลกุลประกอบด้วย chromophore แต่ไม่มี auxochromes เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) ซึ่งโครงสร้างเรโซแนนซ์ที่เป็นโครงสร้างของโมเลกุลทางเคมี ที่เราไม่สามารถเขียนสูตรเคมีใดสูตรหนึ่ง เพื่อแสดงโครงสร้างและอธิบายสมบัติของสารหนึ่ง ๆ ได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่อิเล็กตรอน บริเวณพันธะคู่หรือพันธะสามสามารถเคลื่อนที่ (delocalization) ไปมายังพันธะที่ใกล้เคียงได้ เช่น ไนเตรทไอออน (NO_3^-) และเบนซีน (C_6H_6) และเมื่อทำการวัดความยาวพันธะ เช่น โมเลกุลเบนซีน พบว่า ความยาวพันธะระหว่าง C-H ยาวกว่าพันธะคู่ และสั้นกว่าพันธะเดี่ยว [7]

ปัจจุบัน ทฤษฎีโรโซแนนซ์ (resonance) อธิบายได้ว่า chromophore มีส่วนในการดูดแสงที่มีความยาวคลื่นบางช่วง และปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นบางช่วงของ spectrum ที่ตามองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ เราจึงเห็นตามสีของแสงที่สะท้อนเข้าตา นอกจากนี้ยังพบอีกว่า กรุปที่ต่อกับหมู่อะโรมาติก (aromatic) มีผลทำให้สารสีมีสีเป็นเฉดต่าง ๆ กัน เช่น คลอรีน (chlorine) ได้สีเขียวใบไม้ และ $-\text{NO}_2$ ได้สีเหลือง ซึ่งคลอรีนและหมู่เมทอกซีช่วยให้ผงสีทนต่อแสงยิ่งขึ้น และถ้าแทนที่ $-\text{OH}$ ในสารสีเหลือง ด้วย $-\text{NH}_2$ ทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม แต่ถ้า $-\text{NH}_2$ ถูกแทนที่ด้วย $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ ทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีแดง [8]

2.1.3 เรซิน (resin)

เป็นส่วนที่เพิ่มเข้ามาเพื่อการเติมเต็ม (extending or filler) และเพื่อปรับความหนืดของน้ำหมึก ซึ่งในน้ำหมึกมีส่วนประกอบที่เป็นเรซินประมาณ 20% ตัวอย่างของเรซินที่พบในหมึกปากกาถูลิ้น คือ Vinsol Nevillac-Hard Pyrrolidoneb (PVP) Krumbhaar (K-1717) Phthalopal (SER) และ Synthetic Resin SK

สำหรับการละลายของพอลิเมอร์ (polymer) หรือเรซิน (resin) ตัวทำละลายที่ดีในค่าพารามิเตอร์ต้องอยู่ในช่วงเดียวกับพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์นั้น ๆ ซึ่งในการคาดคะเนให้ได้ใกล้เคียงที่สุด ต้องนำความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogenbonded) ของตัวทำละลายมาทำการพิจารณาด้วย โดยเบอร์เรล (burrell) ได้เป็นคนต้นคิดในเรื่องนี้เขาทำการแบ่งตัวทำละลายออกเป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนต่ำ (poorly hydrogen bonded) ตัวย่อ $\sum p$ ได้แก่ ตัวทำละลายอะลิฟาติก (aliphatic) ตัวทำละลายอะโรมาติก (aromatic) ตัวทำละลายคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) และไนโตรพีน (nitroparaffin)

กลุ่มที่ 2 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนปานกลาง (moderately hydrogen bonded) ตัวย่อ $\sum m$ ได้แก่ เอสเทอร์ (ester) อีเทอร์ (ether) และคีโตน (ketone)

กลุ่มที่ 3 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนสูง (strongly hydrogen bonded) ตัวย่อ $\sum s$ ได้แก่ แอลกอฮอล์ (alcohol) แอมีน (amine) และกรด (acid) [9]

2.1.4 สารเติมแต่ง (additive)

เป็นวัสดุที่ถูกเติมลงไปในเรซินในปริมาณน้อยเพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของหมึกให้เหมาะสม โดยปกติสารเติมแต่งนี้เข้าไปกระจายอยู่ในเนื้อของพลาสติกในทางกายภาพ และไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างสำคัญ ๆ ของพอลิเมอร์ ซึ่งจะให้สมบัติต่าง ๆ ตามที่ผู้ผลิตต้องการ ยกตัวอย่างเช่น สารเพิ่มความสว่างของสี (Optical brightener) สารที่ทำให้แห้งเร็ว (Drier) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) จะช่วยลดแรงตึงผิวของหมึกทำให้หมึกสามารถสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการได้ดี สารปรับค่าความเป็นกรดและด่างหรือค่าพีเอช (Buffer) สารลดฟอง (Defoaming agent) สารป้องกันเชื้อราหรือสิ่งมีชีวิต (Fungicide หรือ biocide) สารกันเปียก กลิ่นต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเติมแต่งมีอยู่ในสูตรหมึกปากกาประมาณ 5% ซึ่งสารเติมแต่งมีหน้าที่แก้ไขคุณสมบัติที่บกพร่องของเรซินที่ใช้ในการผลิตน้ำหมึกในระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งช่วยป้องกันการเกิดปัญหาต่าง ๆ [10]

2.2 หลักการของทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบสารที่รวดเร็ว สะดวก และราคาไม่แพง นิยมใช้ในการตรวจการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่างๆ ใช้ในการยืนยันชนิดของสาร และสามารถตรวจหาจำนวนส่วนประกอบในสารผสม

ในกรณีของ TLC วัสดุภาคนิ่งถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระจก แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติกบางๆ เคลือบด้วยตัวดูดซับเป็นชั้นบาง ๆ ตัวดูดซับที่ใช้ใน TLC มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าที่ใช้ใน column chromatography ได้แก่ silica gel alumina และkieselguhr เป็นต้น ซึ่งตัวดูดซับเหล่านี้มีสารเรืองแสงผสมอยู่เพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งของสารโดยมองภายใต้แสง UV สารจะถูกแต้มไว้ที่ใกล้ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโดยใช้หลอดแคปิลลารี จากนั้นจึงนำแผ่นดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่ใส่วัสดุภาคนิ่งที่ไว้ตั้งไว้ ๑ เมื่อตัวทำละลายถูกดูดซึมขึ้นไปตามตัวดูดซับพาสารตัวอย่างขึ้นไป จึงเกิดการแยกของสารเกิดขึ้นด้วยหลักการเดียวกับคอลัมน์โครมาโตกราฟี ตัวอย่างเช่น หากใช้ซิลิกาเป็นวัสดุภาคนิ่ง และใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำเป็นวัสดุภาคนิ่งที่ สารที่มีขั้วน้อยจะละลายได้ดีในวัสดุภาคนิ่งที่แต่ถูกดูดซับด้วยวัสดุภาคนิ่งได้น้อยจึงเคลื่อนที่ไปได้ดี ด้วยระยะที่มากกว่าสารที่มีขั้วสูงซึ่งละลายในวัสดุภาคนิ่งที่ได้น้อยแต่ดูดซับบนวัสดุภาคนิ่งได้ดี เนื่องจากใช้สารปริมาณน้อยมากในการแยก เทคนิค TLC จึงเหมาะสมเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ มากกว่าที่จะเป็นเครื่องมือในการแยกสารเพื่อเก็บแต่ละองค์ประกอบดังในกรณีของคอลัมน์โครมาโตกราฟี [11]

2.2.1 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกสารผสมโดยใช้แผ่น TLC

ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ใช้เป็นวัสดุภาคนิ่งที่ ซึ่งมีทั้งเป็นตัวทำละลายชั้นเดียว หรือตัวทำละลายแบบผสม โดยการหาตัวทำละลายที่เหมาะสมนั้นควรทำอย่างมีระบบคือ จุดสารตัวอย่างที่เป็นสารผสมลงบนแผ่นTLC หลาย ๆ แผ่น และทำการเลือกตัวทำละลายหลาย ๆ ระบบ เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซีน อีเทอร์ และเมทานอล ตามลำดับ (เรียงจากสภาพขั้วต่ำไปยังสภาพขั้วสูง) แล้วทำการวางแผ่น TLC ที่จุดสารตัวอย่างลงในตัวทำละลายแต่ละชนิด ๆ ละ 1 แผ่น เลือกตัวทำละลายที่ให้ผลการแยกชัดเจน

ค่า Rf (Rate of flow) เป็นค่าประจำตัวของสารประกอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ (ตัวดูดซับ ,ตัวทำละลาย และความหนาของชั้นตัวดูดซับ) ที่กำหนด ค่านี้แปรผันเปลี่ยนได้ถ้าสภาวะการทดลองเปลี่ยน [12]

ค่า Rf ถูกนิยามไว้ดังนี้:
$$R_f = \frac{\text{ระยะที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่}}{\text{ระยะที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่}}$$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประโยชน์ของ TLC

1) ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) โดยเปรียบเทียบค่า Rf ของสารตัวอย่างกับสารแท้ (authentic sample) เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นสารตัวเดียวกัน ในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สาร ถ้าต้องการพิสูจน์ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดจากปฏิกิริยาเป็นสารที่ต้องการหรือไม่ ให้หาได้จากนำการเกิดปฏิกิริยาอื่นมาจุดบนแผ่น TLC เทียบกับสารที่เกิดผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาก็ทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาที่วางแผนไว้ได้ผลตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งเป็นวิธีที่ตรวจสอบผลขั้นต้นได้เร็วกว่าวิธีอื่นๆ

2) ใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่าง ซึ่งสารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ยอมให้จุดเพียงจุดเดียวบนแผ่น TLC ในทุกระบบของตัวทำละลาย [13]

2.3 รูปร่างของภาพและมาตรฐานของสี

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล ซึ่งข้อมูลพวกนี้ต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่เป็นระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้ โดยระบบดิจิทัลอินพุตเป็นข้อมูลแบบภาพ และดิจิทัลเอาต์พุตเป็นข้อมูลที่เป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลเท่านั้น ซึ่ง การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล(Digital image analysis) ทำงานเกี่ยวกับการอธิบายและการจดจำข้อมูลภาพของดิจิทัล ซึ่งการวิเคราะห์ภาพนั้นมีหลายวิธีด้วยกันมาจากการทำงานของตามนุษย์ (human version) นั่นก็คืองานทางด้านระบบจักรกลวิทัศน์ (computer version) เช่นเดียวกับการทำงานของการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล [14]

2.3.1 รูปร่างของภาพ

วัตถุตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างแตกต่างกันไป ทั้งแบบทรงเรขาคณิตและไม่เป็นทรงเรขาคณิต ในส่วนของการประมวลผลภาพนั้นจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (rectangular image model) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากช่วยในเรื่องการอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพไว้ในความทรงจำ และการประมวลผลภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเก็บข้อมูลภาพลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องในลักษณะที่เป็น ตัวแปรระเรย์ (array) โดยค่าในช่องของอะเรย์แสดงคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวแทนตำแหน่งของจุดภาพ สมมติให้ตัวแปรระเรย์มีขนาด $M \times N$ (ให้ M คือแถว N คือคอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด $M \times N$ จุด (ให้ M คือจุดในแนวนอน N คือจุดในแนวตั้ง) ค่าสี หรือ ความสว่าง ในกรณีที่เป็นภาพ grey level โดยจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 ได้ค่าตรงกับค่า image (5,4) ซึ่งจากข้อมูลทำให้ทราบตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนที่เป็นตัวชี้ค่าข้อมูลอะเรย์

จากการใช้ข้อมูลหน่วยความจำที่กล่าวมา เนื้อที่ในการเก็บภาพนั้นคำนวณได้ $M \times N \times g$ เมื่อ g แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ สมมติให้ g มีค่า 8 บิต ได้ค่าที่เก็บความแตกต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระดับสีที่เป็นไปได้สูงสุดเท่ากับ 256 ระดับ ในส่วนของค่า $M \times N$ ซึ่งเป็นตัวบอกความละเอียดของภาพ ในคอมพิวเตอร์ทั่วไปนั้นระบบ VGA (video graphic array) มีขนาด $640 \times 480, 800 \times 600$ และ 1024×768 จุด เป็นต้น ซึ่งการกำหนดจุดนั้นขึ้นอยู่กับงานที่ผู้ใช้ว่าต้องการความละเอียดมากน้อยเพียงใด

ตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800×600 และมีขนาด 16 บิตต่อ pixel ทำให้สามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับ และต้องใช้เนื้อที่การเก็บข้อมูลเท่ากับ $800 \times 600 \times 16$ บิต [13]

2.3.2 มาตรฐานสี

แสงขาว (สีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง) ที่เห็นในธรรมชาตินั้นเมื่อตกกระทบลงวัตถุใด ๆ แล้วเกิดการสะท้อน ดูดกลืน และส่องผ่าน ซึ่งถ้าวัตถุสะท้อนแสงทุกความยาวคลื่นในปริมาณเท่ากัน ทำให้เห็นเป็นวัตถุเป็นสีขาว ถ้าวัตถุนั้นดูดกลืนได้หมดทำให้เห็นเป็นสีดำเพราะไม่มีแสงจากวัตถุเข้าตาเราเลย เช่น แอปเปิ้ล ดูดแสงสีน้ำเงิน และสีเขียวไว้ แต่สะท้อนแสงสีแดงออกมาทำให้เราเห็นเป็นสีแดง การผสมสีแบบบวก (Additive Color Mixing) เป็นการผสมกันของสีเพื่อให้เกิดสีใหม่ตามต้องการ โดยมีแม่สีคือ สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ตัวอย่างการผสมสีแบบบวก เช่น จอโทรทัศน์ จอคอมพิวเตอร์ [14]

มาตรฐานสีนั้นมีอยู่หลายระบบด้วยกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปนั้นทุกมาตรฐานสีมีแนวคิดเดียวกัน คือการแทนจุดสีที่อยู่ในพื้นที่ 3 มิติ โดยมีแกนอ้างอิงจุดสีนั้น ๆ ในพื้นที่ซึ่งแกนแต่ละแกนก็มีอิสระต่อกัน เช่น ระบบ RGB ที่มีแกนสี คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ส่วนในระบบ HLS มีแกนเป็นค่าสี (hue) ค่าความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation)

2.4 สัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination, r^2)

สัมประสิทธิ์การกำหนดเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ r^2 เป็นค่าที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรต้น (X) โดยที่ r^2 เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระมากน้อยเพียงใด การคำนวณค่า r^2 สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของความแปรปรวน Y ที่เนื่องมาจากตัวแปรอิสระ X และความแปรปรวนของ Y

$$r^2 = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y - \bar{y}) \right\}^2}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 \right]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้า $r^2 = 0$ แสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y)
- ถ้า $r^2 = 1$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) อย่างสูง
- ถ้า $0 < r^2 < 1$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าความสัมพันธ์นั้นมีค่าน้อย หรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในสมการได้ ซึ่งถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าความสัมพันธ์นั้นมีค่ามาก หรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการได้นั่นเอง

2.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน หรือบางครั้งเรียกว่า สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) โดยใช้สัญลักษณ์ r ข้อมูลหรือระดับการวัดของตัวแปรแต่มาตราอันตรภาคถึงมาตราอัตราส่วน โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นมักจะใช้สัญลักษณ์ของตัวแปรเป็นตัวแปร X และ Y โดยค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) จะมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) ถ้า r เป็นการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้น
- 2) ถ้า r จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1
- 3) ถ้า r จะมีลักษณะเหมือนความชันของเส้นการถดถอย
- 4) ถ้า r จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) เปลี่ยนไปแบบเดียวกัน
- 5) ถ้า r จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าสเกล (scale) ของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนไป (ค่าของ ตัวแปร X หรือ Y)
- 6) ถ้า r มีการแจกแจงแบบเดียวกันกับ t (Student t distribution)

2.5.1 ทิศทางของความสัมพันธ์ (Direction of the Relationship)

ในการหาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นเราสามารถสร้างแผนภาพกระจาย (Scatterplot) เพื่อดูทิศทางของความสัมพันธ์ได้ โดยมีลักษณะความสัมพันธ์ 3 แบบ คือ

- 1) สหสัมพันธ์ทางบวก (Positive Correlations) ซึ่งหมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มหรือลดลงอีกตัวแปรหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปด้วย
- 2) สหสัมพันธ์ทางลบ (Negative Correlations) หมายถึงเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ
- 3) สหสัมพันธ์เป็นศูนย์ (Zero Correlations) หมายถึงตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน [15]

2.6 การคำนวณค่า Score

โปรแกรมวิเคราะห์ภาพออกแบบมาให้ทำการวิเคราะห์ความเข้มของแม่สี 3 สี คือ สีแดง (Red, R) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) ทำการเปรียบเทียบจากค่า Coefficient of Determination (r^2) ของแต่ละสี โดยกำหนดให้ Rr^2 เป็นค่า r^2 ของสีแดง ให้ Gr^2 เป็นค่า r^2 ของสีเขียว และ Br^2 เป็นค่า r^2 ของสีน้ำเงิน

$$\text{Score} = \frac{[W1 \times Rr^2 + W2 \times Gr^2 + W3 \times Br^2]}{W1 + W2 + W3}$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยภายในประเทศ

ปี 2010, มยุรี สมบูรณ์ ได้ทำการวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาถูกลิ้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี และการวิเคราะห์ภาพ ได้ทำการทดสอบจากน้ำหมึกจำนวน 28 ตัวอย่างที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด ผลการศึกษาพบว่าตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกได้ดีที่สุด คือ เมทานอล และเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม คือ ระบบตัวทำละลาย n - butanol/ethanol/H₂O ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ การจำแนกความแตกต่างของหมึกมีความสามารถแม่นยำ 70.4% และ 61.5% ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้โดยใช้วิธี TLC ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อตรวจพิสูจน์เอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์ [7]

ปี 2012, วิมลมาศ โพธิ์รัมย์ ได้ทำการวิเคราะห์หมึกปากกาถูกลิ้นสีดำด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีและโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ โดยการทดสอบปากกาถูกลิ้น 20 ชนิด ที่ซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งใช้ acetone ในการสกัดสี เฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ คือ ระบบตัวทำละลาย n - butanol/ethanol/H₂O วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ การจำแนกความแตกต่างของหมึกสีดำมาจากปากกาแท่งเดียวกัน 2.92% ปากกาต่างแท่งกัน 84.80% ไม่สามารถจำแนกได้ 12.28% [9]

ปี 2013, วิภาวดี ทับศรีแก้ว ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของน้ำหมึกพิมพ์ด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี โดยทำการทดสอบหมึกพิมพ์ทั้งหมด 20 ชนิด ได้เฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมคือ n - butanol/ethanol/H₂O และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ผลจากการวิเคราะห์แผ่น TLC พบว่า 41.13% เป็นหมึกพิมพ์ชนิดเดียวกัน ชนิดต่างกัน 48.57% ไม่สามารถจำแนกได้ 16.19% [13]

2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

ปี 1999, Claude Roux, Michelle Novotny, Ian Evans และ Chris Lennar ได้ศึกษาการตรวจสอบหลักฐานเกี่ยวกับปากกาถูกลิ้นสีดำในประเทศออสเตรเลีย โดยการแยกความแตกต่างของยี่ห้อ รุ่น และครั้งที่ผลิตด้วย 3 เทคนิคดังนี้ filtered light examination (FLF), reflectance เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

visible micro spectrophotometry (MSP) และ thin-layer chromatography (TLC) ผลการทดสอบคือวิธีที่ให้ผลความแตกต่างของคู่มือกปากกาถูกสิ้นมากที่สุดโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ TLC > FLF > MSP [16]

ปี 2008, Djavanshir Djozan, Tahmineh Baheri, Karimian และ Masomeh Shahidiwf ได้ศึกษาความแตกต่างของน้ำหมึกปากกาถูกสิ้นบนเอกสาร ด้วยวิธี thin-layer chromatography และนำ chromatogram ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ การจำแนกความแตกต่างของหมึกปากกานั้น ซอฟต์แวร์ดังกล่าวออกแบบมาเพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน วิธีดังกล่าวสามารถจำแนกความแตกต่างของหมึกได้อย่างถูกต้องแม่นยำถึง 92.8% โดยการทดสอบจากน้ำหมึกจำนวน 41 ตัวอย่างที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด [1]

ปี 2002, Marcin KUNICKI ได้ศึกษาความแตกต่างของน้ำหมึกปากกาถูกสิ้นบนเอกสาร ด้วยวิธี thin-layer chromatography จุดมุ่งหมายของโครงการคือการประเมินการเลือกปฏิบัติของวิธีการต่างๆเพื่อแยกแยะความแตกต่างของหมึกปากกาถูกสิ้น รวมทั้งวิธีการทางแสงเน้นการพัฒนาขั้นตอนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อแยกความแตกต่างในการเขียน องค์ประกอบสำคัญของขั้นตอนนี้คือการค้นหาการสกัดตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยการทดสอบจากปากกาถูกสิ้น 16 ชนิด [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ อุปกรณ์	ยี่ห้อ	รายละเอียด
1. TLC silica gel 60 F ₂₅₄ (Aluminium sheets)	Macherey-Nagel	20x20 cm.
2. ถุงมือยางอเนกประสงค์	Sri Trang Gloves	ถุงมือยางใช้แล้วทิ้ง ผิวไม่เรียบ ไม่มี แป้ง
3. Test tube	ไม่ระบุ	13x100 mm.
4. ไดร์เป่าลมร้อน	PHILIPS	รุ่น BHD006 ขนาด 1600 วัตต์
5. Scanner	Canon MP280	Optical:1200 x 2400 dpi. Interpolated:19,200 x 19,200 dpi.
6. เข็ม spot สาร	ไม่ระบุ	25 ul.
7. โทลแก้วที่มีฝาปิด	ไม่ระบุ	10x10x15 cm.

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	รายละเอียด
1. Ethanol (CH ₃ CH ₂ OH)	Merck
2. Ethyl acetate (CH ₃ COOC ₂ H ₅)	LAB-SCAN
3. n-Butanol (C ₄ H ₁₀ O)	LAB-SCAN
4. Acetone (C ₃ H ₆ O)	ไม่ระบุ
5. Methanol (CH ₃ OH)	BHD
6. Ammonia (NH ₃)	Merck
7. Distilled water	ไม่ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการทดลองใช้หมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินทั้งหมด 20 ชนิด ตามตารางที่ 3.3 ซึ่งทำการเตรียมตัวอย่างโดยมีลักษณะ คือ ระบายบนกระดาษเพื่อทำการสกัดหมึกได้ในปริมาณความเข้มข้นสูงซึ่งเมื่อนำไปทำ TLC เพื่อให้ได้ Chromatogram ที่มีคุณภาพดี ในการทดลองใช้กระดาษ double A ขนาด 80 แกรมจากนั้นนำมาเจาะด้วยเครื่องเจาะกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรแล้วนำไปทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการเตรียมตัวอย่างปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน

ตารางที่ 3.3 ปากกาลูกลิ้นสีน้ำเงิน 9 ชนิด

ตัวอย่างที่	ชื่อยี่ห้อหรือรุ่นปากกาลูกลิ้นสีน้ำเงิน	ขนาด(มม.)	ชื่อในการทดลอง
1	Lancer Spiral 825	0.5	A1
2	G'soft Fizz 101	0.38	A2
3	Titus by G'soft	0.38	A3
4	Faster CX 606	0.7	A8
5	Hourse H-402	0.7	A12
6	Bic Fine Easy Glide	0.7	A14
7	Staedtler Luna Ball	0.7	A16
8	Quantum Skate 112	0.5	A17
9	Hourse H-01	0.7	A20

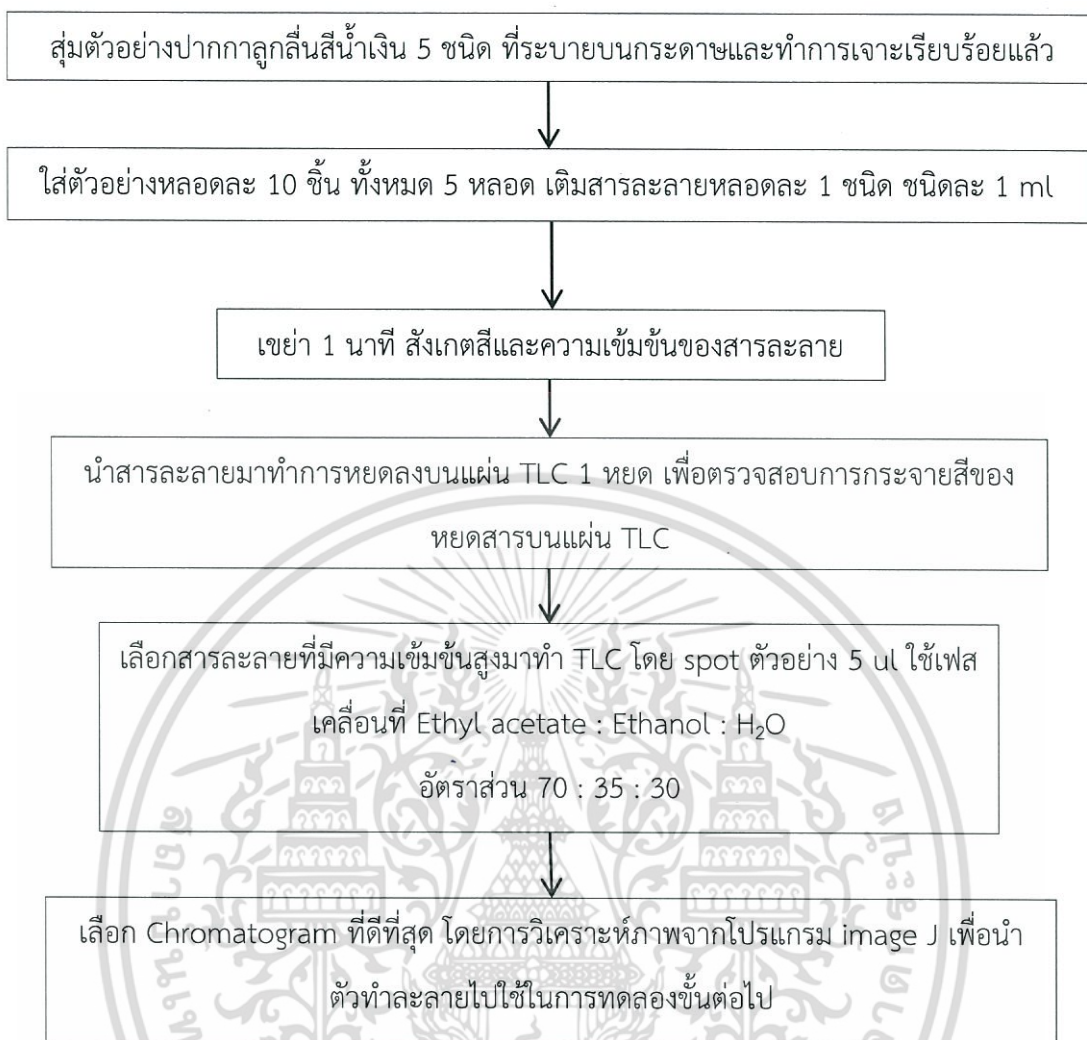
3.2.2 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ

ในขั้นตอนการหาสารสกัดที่เหมาะสมเพื่อสกัดหมึกออกจากกระดาษ เลือกตัวอย่างจากการระบายลงบนกระดาษมาทำการทดลอง ในการทดลองนี้ใช้ตัวทำละลาย 5 ชนิด ตามตารางที่ 3.4 โดยนำตัวอย่างมาใส่หลอดทดลอง 5 หลอด หลอดละ 10 ซีซี แล้วเติมตัวทำละลายหลอดละ 1 ซีซี ด้วยปริมาณ 1 ml เขย่าประมาณ 1 นาที จากนั้นสังเกตความเข้มของสารละลายน้ำหมึก จากนั้นตรวจสอบลักษณะของหยดสารบนแผ่น TLC โดยนำสารละลายน้ำหมึกที่มีความเข้มข้นสูงหยดลงบนแผ่น TLC เพื่อตรวจสอบการกระจายของสีในและชนิดว่ามีลักษณะต่างกันอย่างไร ต่อมาทำการ spot ลงบนแผ่น TLC และทดสอบโดยใช้เฟสเคลื่อนที่ Ethyl acetate : Ethanol : H₂O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 เพื่อหาโครมาโตแกรมที่ดีที่สุดในการทดลองขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.4 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ

ชนิดที่	ตัวทำละลาย
1	Ethyl acetate
2	Ethanol
3	n-Butanol
4	Acetone
5	Methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



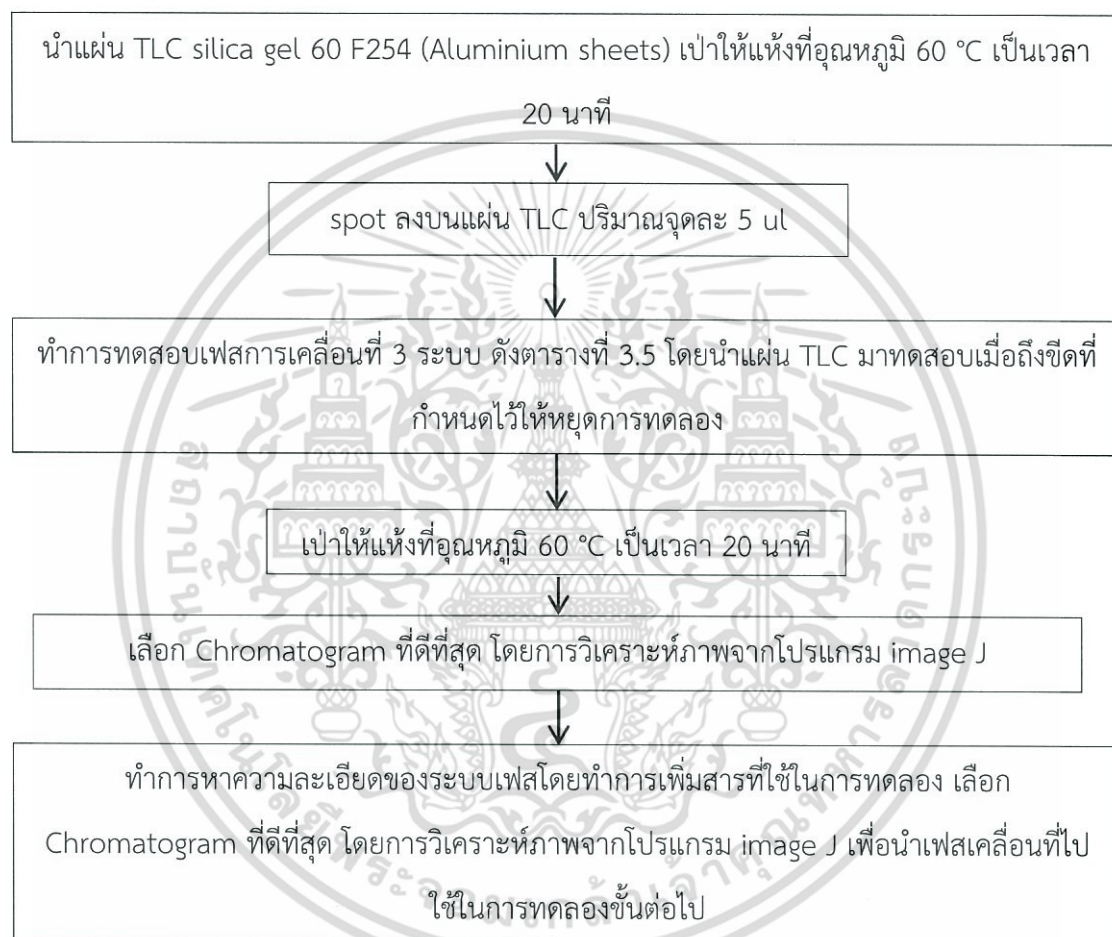
รูปที่ 3.2 แผนภูมิการศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ

3.2.3 การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ทำ TLC

นำแผ่น TLC silica gel 60 F254 (Aluminium sheets) ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายน้ำหมึกที่สกัดจากสารละลายที่เลือกในผลการทดลองข้อ 3.2.2 มา spot ลงบนแผ่น TLC ปริมาณ 5 ul จากนั้นทำการศึกษาชนิดของเฟสการเคลื่อนที่ 3 ระบบ ดังตารางที่ 3.5 โดยนำแผ่น TLC มาทดสอบ แล้วนำไปเผาให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำการตรวจสอบ TLC Chromatogram ที่ชัดเจนและแยกได้ดีที่สุด เมื่อได้เฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมแล้ว ต่อมาทำการหาความละเอียดของระบบเฟสโดยการเพิ่มสารที่ใช้ในการทดลอง เลือก Chromatogram ที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม image J เพื่อนำเฟสเคลื่อนที่ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 3.5 เฟสเคลื่อนที่ 5 ระบบที่ใช้ในการศึกษา

ระบบที่	เฟสเคลื่อนที่	อัตราส่วน (v/v/v)
1	n-Butanol : Ethanol : H ₂ O	50 : 15 : 10
2	Ethyl acetate : Butanol : NH ₃	60 : 35 : 5
3	Ethyl acetate : Ethanol : H ₂ O	70 : 35 : 30



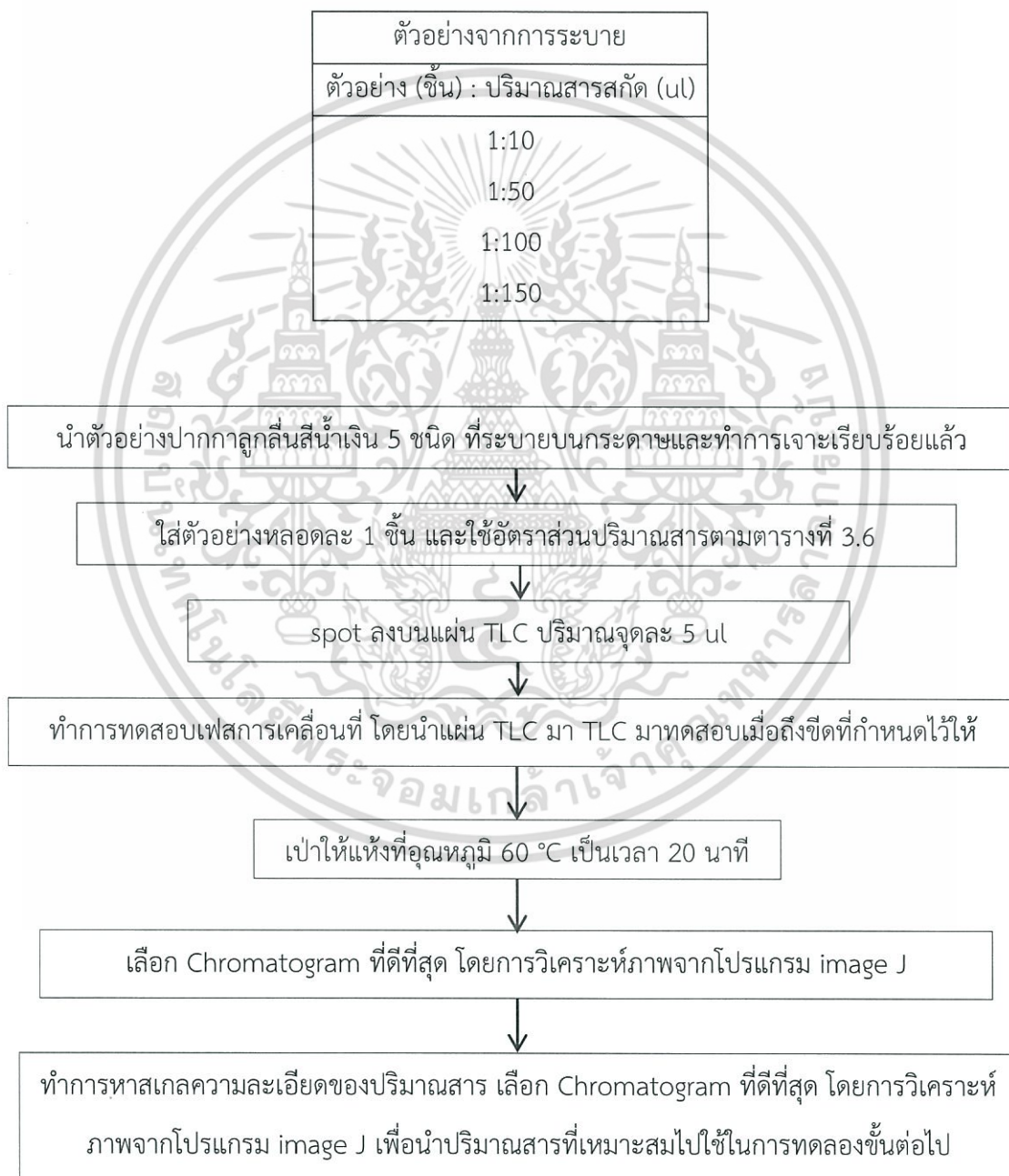
รูปที่ 3.3 แผนภูมิการศึกษาเฟสการเคลื่อนที่ที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การศึกษาปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดหมึก

นำตัวอย่างมาหาปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดหมึกเพื่อให้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทำ TLC โดยใช้อัตราส่วนตามตารางที่ 3.6 ต่อมาทำการหาความละเอียดของปริมาณสาร เลือก Chromatogram ที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม image J เพื่อนำปริมาณสารที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 3.6 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารสกัดในการสกัดหมึก



รูปที่ 3.4 แผนภูมิการศึกษาปริมาณสารที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ

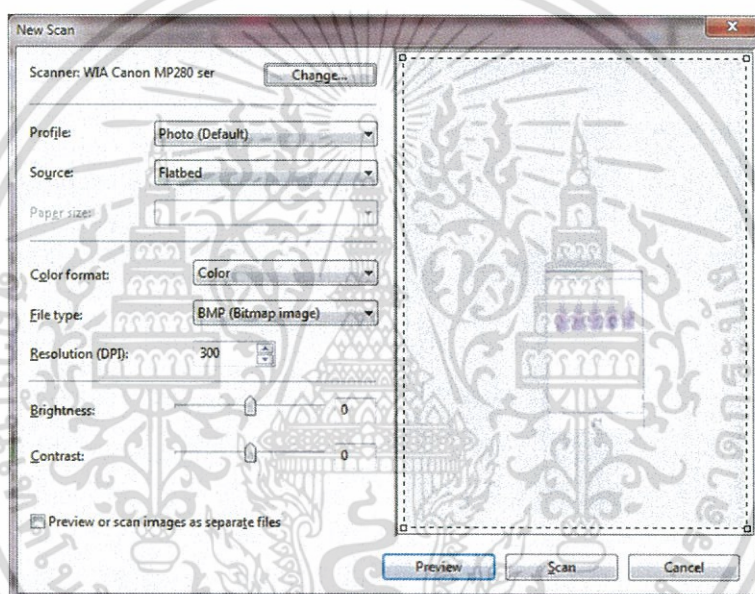
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การทดลอง TLC จากหมึกปากกาทั้งหมด 9 ชนิด

นำตัวอย่างจากการระบายทั้งหมด 9 ชนิด มาทำการสกัดและทดลอง TLC ที่สภาวะที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.2 3.2.3 และ 3.2.4 เพื่อ spot ลงบนแผ่น TLC จุดละประมาณ 5 μ l และทำการ ทดสอบเมื่อถึงขีดที่กำหนดไว้ให้หยุดการทดลองและเป่าให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 20 นาที

3.2.6 การ Scan และเตรียมภาพ TLC เพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

เมื่อได้ TLC Chromatogram แล้วนำมา Scan ด้วยเครื่อง Scanner Canon MP 280 และบันทึกแฟ้มประเภท bitmap (.bmp) ต่อมาทำการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image j ดังรูป



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการ Scan ภาพโครมาโตแกรมด้วยเครื่อง Scanner

3.2.7 การเปรียบเทียบภาพ TLC ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ

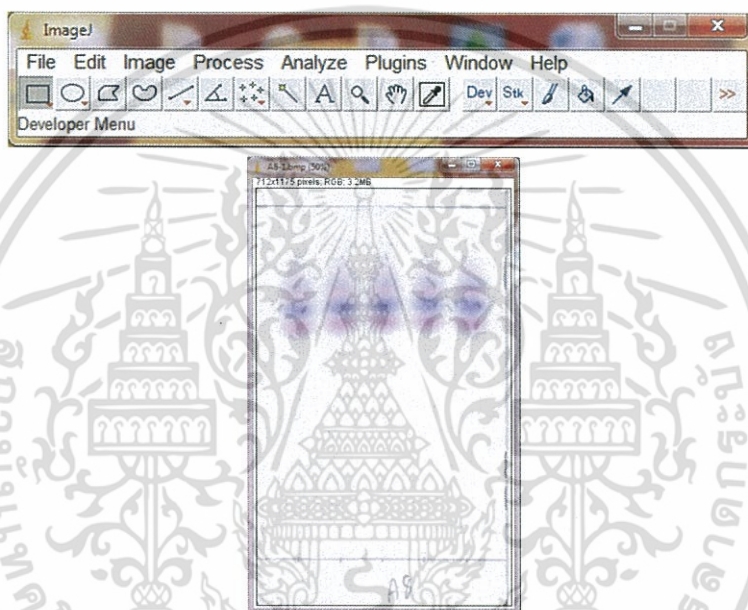
โดยนำแผ่น TLC ที่ตัดแล้ว 2 ภาพ มาทำการเปรียบเทียบ ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ออกแบบมาให้ทำการวิเคราะห์ความเข้มของแม่สี 3 สี คือ สีแดง (Red, R) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) ทำการเปรียบเทียบจากค่า Coefficient of Determination (r^2) ของแต่ละสี โดยกำหนด ให้ Rr^2 เป็นค่า r^2 ของสีแดง ให้ Gr^2 เป็นค่า r^2 ของสีเขียว และ Br^2 เป็นค่า r^2 ของสีน้ำเงิน เมื่อเปรียบเทียบคู่ใดที่มีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 หมายถึงภาพที่นำมาเปรียบเทียบนั้น มีความสัมพันธ์กันมาก หรือภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นเหมือนกันมาก ในทางตรงข้ามถ้าค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงภาพที่นำมาเปรียบเทียบนั้น ไม่มีความสัมพันธ์กันน้อย หรือภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน และทำการนำค่า r^2 ของสีทั้ง 3 สี มาคำนวณความสัมพันธ์ ตามสมการที่ 1 โดยกำหนดเป็นค่า Score ซึ่งแทนค่า $W1$ $W2$ และ $W3$ เป็นค่าน้ำหนักแต่ละสีที่มีค่าเท่ากับ 1

$$\text{Score} = \frac{[W1 \times Rr^2 + W2 \times Gr^2 + W3 \times Br^2]}{W1 + W2 + W3}$$

นำค่า Score ที่ได้มาทำการจับคู่หิมิกปากกาเพื่อเปรียบเทียบกับค่า Score ใกล้เคียงกันมากน้อยแค่ไหน แล้วทำการหาค่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์ความแตกต่างนั้น [18]

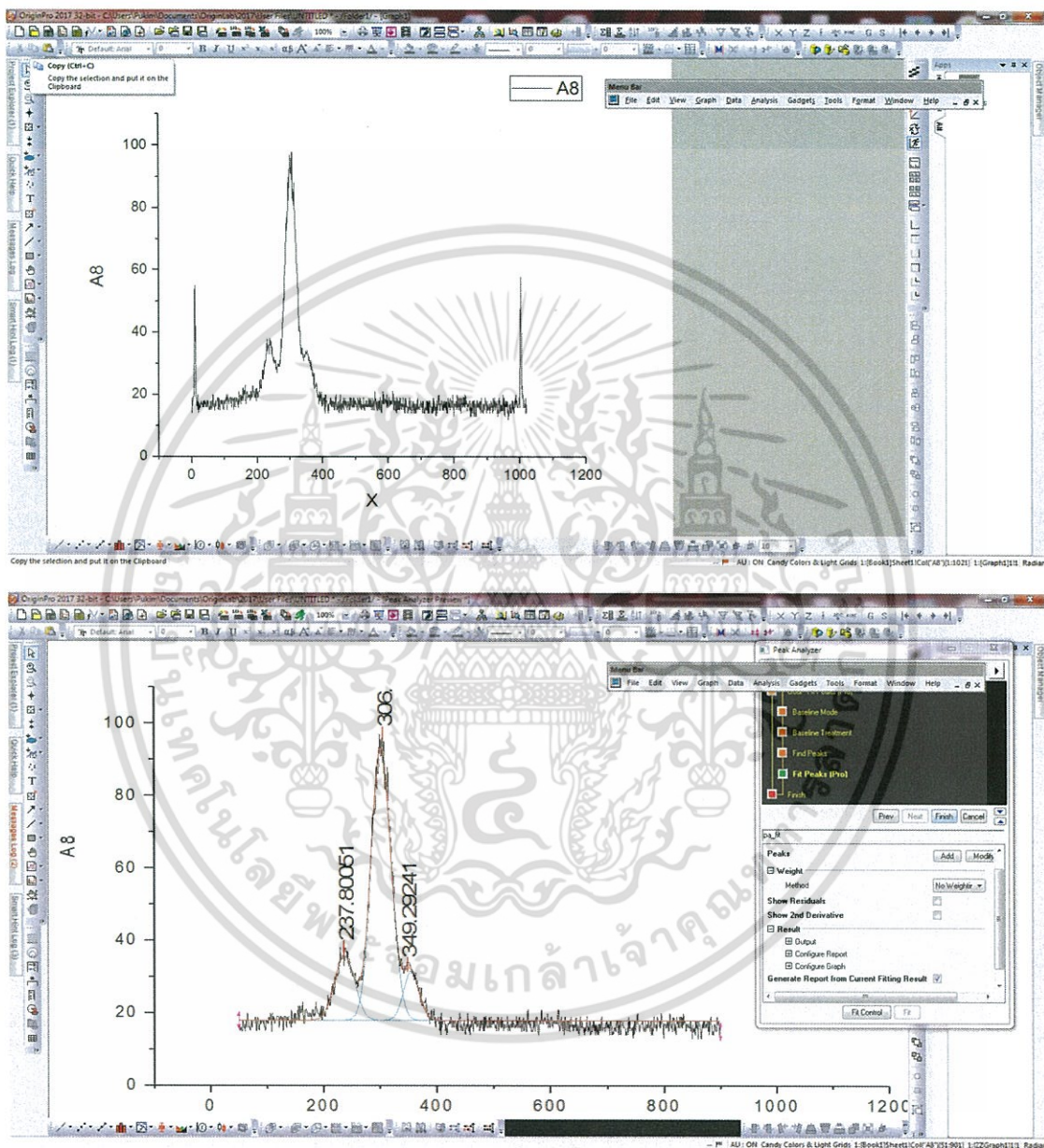


รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพโครมาโตแกรมด้วยโปรแกรม Image J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์จากโปรแกรมวิเคราะห์กราฟ OriginPro 2017

โดยนำกราฟที่ได้จากการทดลอง 3.2.7 มาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบค่า จำนวนพีคของกราฟ พื้นที่กราฟ ความสูงของกราฟ Full width at half maximum และCenter Gravity



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์จากโปรแกรมวิเคราะห์กราฟ OriginPro 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

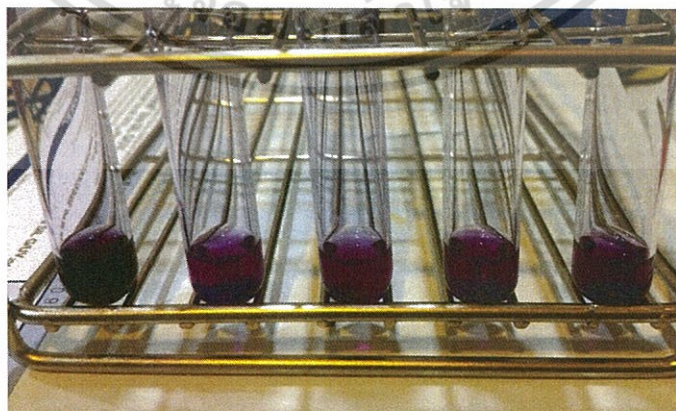
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้สกัดหมึกออกจากกระดาษ

ในการทดลองเพื่อศึกษาหาตัวทำละลายที่ดีที่สุดโดยใช้ตัวทำละลายทั้งหมด 5 ชนิด ในขั้นตอนนี้ต้องทำการสังเกตสีและความเข้มข้นของหมึกที่ตัวทำละลายสามารถสกัดออกมาได้โดยได้ทำการตรวจสอบจากหยดของสารละลายลงบนแผ่น TLC เพื่อนำไปตรวจสอบการกระจายของสีในแต่ละชนิดว่ามีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร และทำการ spot ลงบนแผ่นทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี โดยใช้ระบบเฟสเดียวกันคือ Ethyl acetate : Ethanol : H₂O ซึ่งพบว่าตัวทำละลายที่สามารถสกัดหมึกออกมาได้ดีที่สุดคือ Ethanol เมื่อนำมา spot บนแผ่นทินเลเยอร์แล้วได้โครมาโตแกรมชัดเจน ซึ่งตัวทำละลายอื่น ๆ สามารถสกัดหมึกออกมาได้เช่นเดียวกันแต่เมื่อนำมา spot บนแผ่นทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี โครมาโตแกรมที่ได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงเลือกใช้ Ethanol ในการทดลองครั้งต่อไป

ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการสกัดหมึกออกจากกระดาษของตัวทำละลาย 5 ชนิด

ตัวทำละลาย	การละลาย	สี	ความเข้มข้น
1.Ethyl acetate	ละลาย	ม่วงเข้ม	มาก
2.Ethanol	ละลาย	น้ำเงินเข้ม	ปานกลาง
3.Acetone	ละลาย	น้ำเงินเข้ม	ปานกลาง
4.Methanol	ละลาย	น้ำเงินเข้ม	มาก
5.n-Butanol	ละลาย	น้ำเงินเข้ม	มาก



รูปที่ 4.1 แสดงสีของสารละลาย Ethyl acetate ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงสีของสารละลาย Ethanol ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12



รูปที่ 4.3 แสดงสีของสารละลาย Acetone ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12



รูปที่ 4.4 แสดงสีของสารละลาย Methanol ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงสีของสารละลาย *n*-Butanol ของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC

ตัวอย่างปากกา	หยดสารจาก Ethyl acetate	หยดสารจาก Ethanol	หยดสารจาก Acetone	หยดสารจาก Methanol	หยดสารจาก <i>n</i> -Butanol
A1					
A2					
A3					
A8					
A12					

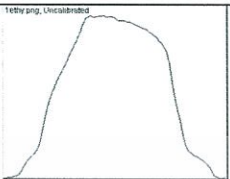
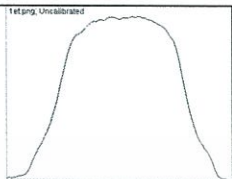
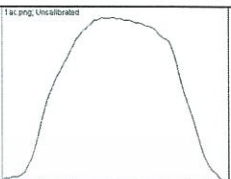
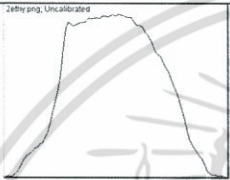
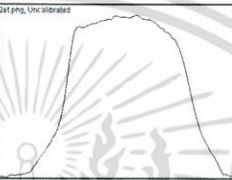
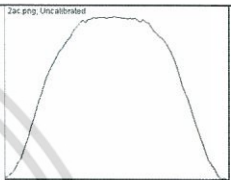
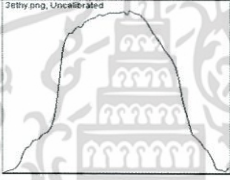
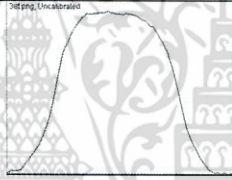
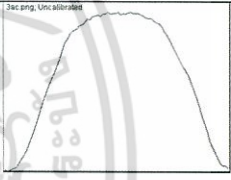
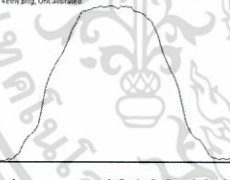
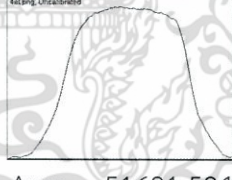
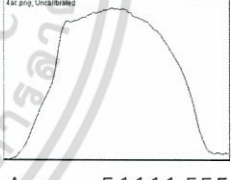
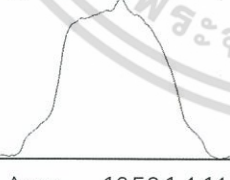
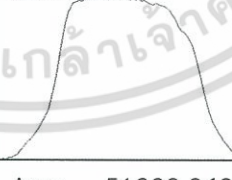
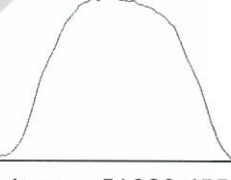
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของสีหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC

ตัวอย่าง ปากกา	หยดสารจาก Ethyl acetate	หยดสารจาก Ethanol	หยดสารจาก Acetone	หยดสารจาก Methanol	หยดสารจาก n-Butanol
A1	Gr=232.169 R=228.517 G=225.422 B=242.566	Gr=232.089 R=230.079 G=225.831 B=240.352	Gr=229.688 R=227.454 G=222.486 B=239.125	Gr=226.101 R=222.513 G=218.474 B=237.320	Gr=230.721 R=229.191 G=224.530 B=238.445
A2	Gr=237.258 R=237.367 G=231.519 B=242.899	Gr=232.236 R=232.934 G=224.542 B=239.234	Gr=230.219 R=231.258 G=220.772 B=238.634	Gr=233.671 R=233.903 G=227.855 B=239.258	Gr=234.801 R=235.333 G=229.430 B=239.648
A3	Gr=236.906 R=236.694 G=231.650 B=242.373	Gr=232.612 R=233.852 G=224.204 B=239.802	Gr=234.091 R=235.045 G=226.213 B=241.010	Gr=233.927 R=234.346 G=226.844 B=240.588	Gr=235.852 R=236.239 G=230.916 B=240.388
A8	Gr=234.370 R=235.533 G=226.166 B=241.404	Gr=232.389 R=234.880 G=222.119 B=240.156	Gr=232.634 R=232.734 G=220.175 B=238.994	Gr=234.375 R=235.348 G=227.169 B=240.615	Gr=236.657 R=237.415 G=231.155 B=241.407
A12	Gr=237.275 R=237.029 G=231.608 B=243.191	Gr=230.156 R=232.162 G=218.795 B=239.514	Gr=231.760 R=232.903 G=223.000 B=239.374	Gr=234.527 R=234.793 G=227.964 B=240.826	Gr=237.082 R=237.489 G=231.428 B=242.343

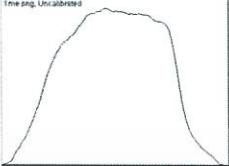
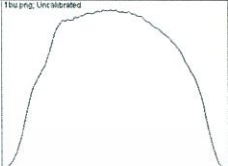

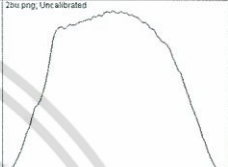
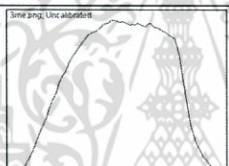
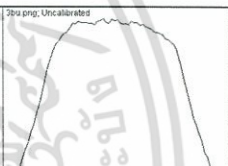
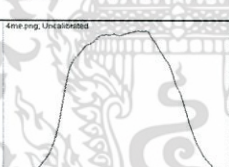
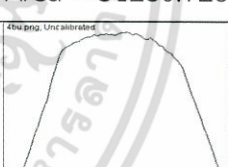
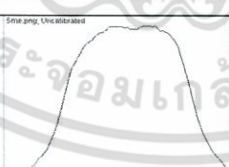
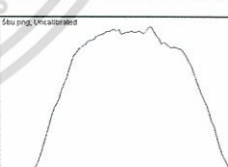
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงพื้นที่ของกราฟหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC

ตัวอย่างปากกา	หยดสารจาก Ethyl acetate	หยดสารจาก Ethanol	หยดสารจาก Acetone
A1	 Area = 46066.291	 Area = 49451.220	 Area = 49656.049
A2	 Area = 45416.120	 Area = 50732.806	 Area = 52633.848
A3	 Area = 38980.856	 Area = 48831.413	 Area = 52664.676
A8	 Area = 48133.434	 Area = 51691.584	 Area = 54444.555
A12	 Area = 40594.141	 Area = 51339.948	 Area = 51388.655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


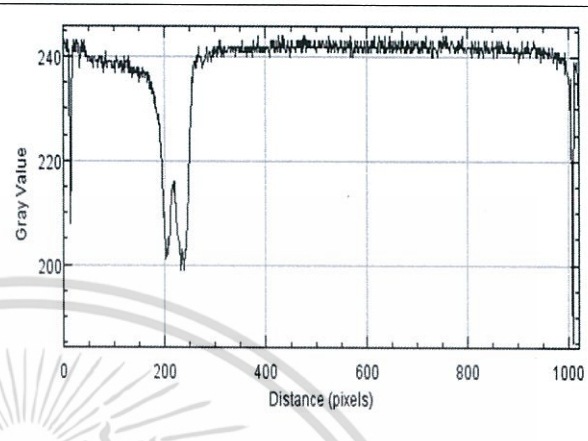

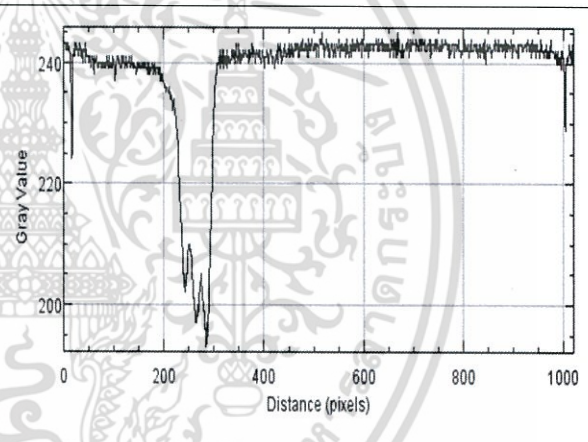

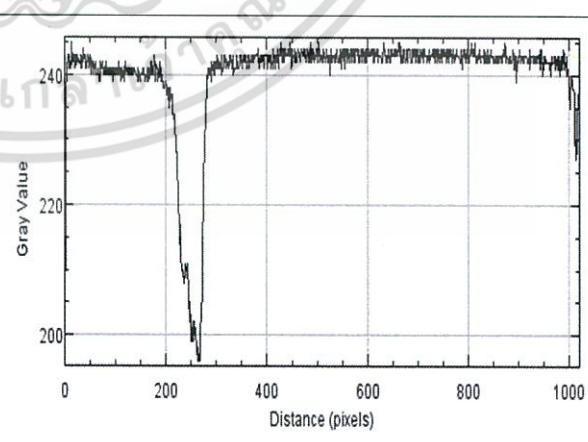
ตารางที่ 4.4 แสดงพื้นที่ของกราฟหยดสารแต่ละชนิดบนแผ่น TLC (ต่อ)

ตัวอย่างปากกา	หยดสารจาก Methanol	หยดสารจาก <i>n</i> -Butanol
A1	 Area = 49312.120	 Area = 58669.362
A2	 Area = 46281.706	 Area = 50682.141
A3	 Area = 46412.019	 Area = 51280.726
A8	 Area = 41925.655	 Area = 47377.099
A12	 Area = 48916.070	 Area = 51911.383

หมายเหตุ แกน X คือ ค่าความกว้างของรูปภาพมีหน่วยเป็น pixels
 แกน Y คือ RGB สัมพัทธ์

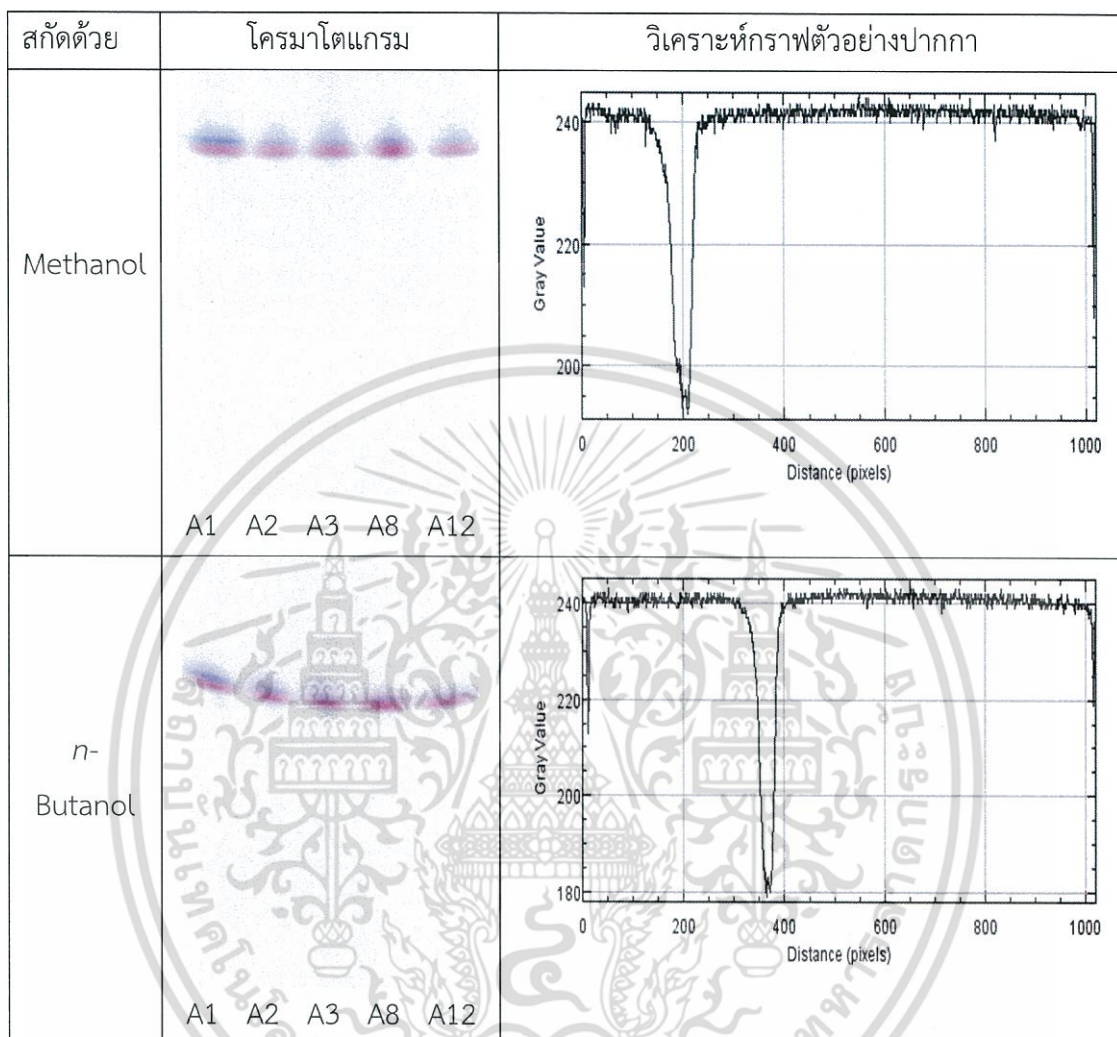
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12 โดยใช้เฟสเคลื่อนที่ Ethyl acetate : Ethanol : H₂O

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม	วิเคราะห์กราฟตัวอย่างปากกา
Ethyl acetate	 A1 A2 A3 A8 A12	 Distance (pixels)
Ethanol	 A1 A2 A3 A8 A12	 Distance (pixels)
Acetone	 A1 A2 A3 A8 A12	 Distance (pixels)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่างปากกา A1-A2-A3-A8-A12 โดยใช้เฟสเคลื่อนที่ Ethyl acetate : Ethanol : H₂O (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกทั้ง 5 ชนิด

ระดับ	ชื่อสาร	Ethyl acetate	Ethanol	Acetone	Methanol	n-Butanol
	ค่าที่ได้					
Gray scale 0 - 255	Min	92	140	130	111	137
	Max	251	251	251	251	251
	Mean	239.4	240.9	240.1	240.2	239.6
	Mode	242	242	242	242	241

หมายเหตุ Min = ค่าน้อยที่สุด

Max = ค่ามากที่สุด

Mean = ค่าเฉลี่ย

Mode = ค่าฐานนิยม

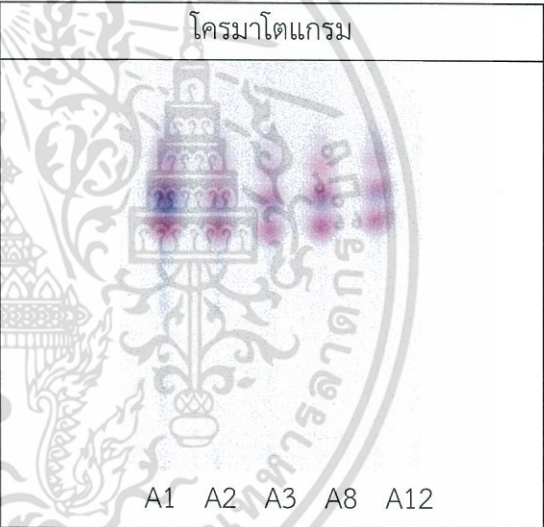
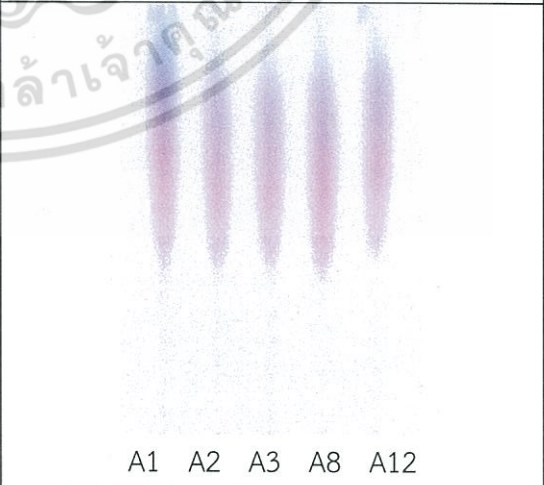


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ในการทดลอง TLC

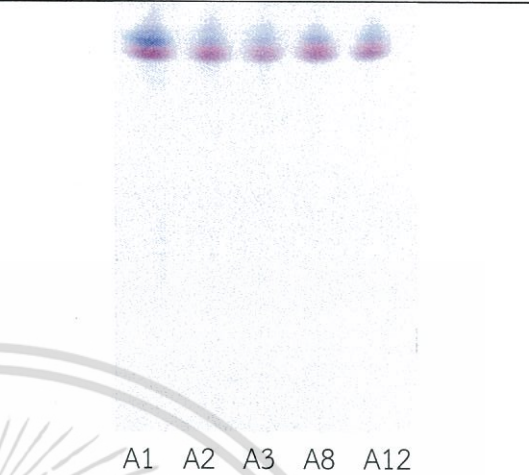
สำหรับการทดลองหาเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม ในการทดลองนี้จะใช้ Ethanol ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษตามการทดลองข้อที่ 4.1 ทำการสังเกตภาพโครมาโตแกรมที่ชัดเจนและแยกสี ส่วนประกอบของหมึกปากกาได้มากที่สุด ซึ่งพบว่าเฟสการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุดในการทดลองคือ *n*-Butanol : Ethanol : H₂O ในอัตราส่วน 50 : 15 : 10 (v/v/v) ต่อมาทำการหาความละเอียดของระบบเฟส 2 ชุด โดยชุดแรกทำการเพิ่ม Ethanol พบว่า สีที่ได้ของโครมาโตแกรมจางลงและความห่างกันของส่วนประกอบหมึกมีมากขึ้น ต่อมาทำการทดลองชุดที่สองโดยเพิ่ม H₂O ในระบบเฟสพบว่า สีที่ได้ของโครมาโตแกรมจางลงเช่นเดียวกันแต่ส่งผลให้ภาพโครมาโตแกรมไม่ชัดเจน ซึ่งจากการทดลองทั้งสองแบบนี้ได้ข้อสรุปว่าระบบเฟสที่ให้โครมาโตแกรมที่ดีที่สุดคือ *n*-Butanol : Ethanol : H₂O ในอัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v) ดังนั้นผู้ทดลองจึงเลือกระบบเฟสนี้เพื่อการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.7 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟสทั้งหมด 3 ระบบ

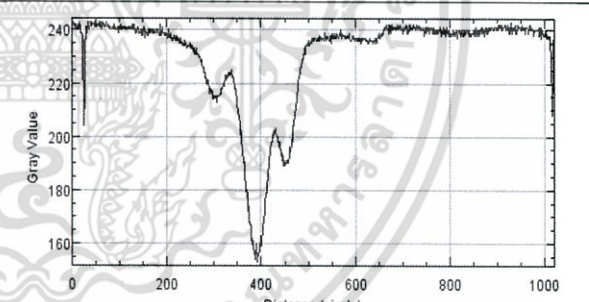
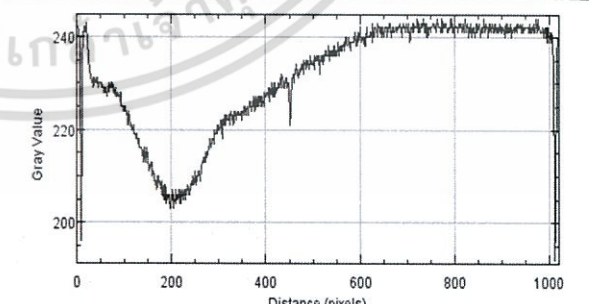
สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
1. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 10 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
2. Ethyl acetate : Butanol : NH ₃ อัตราส่วน 60 : 35 : 5 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟสทั้งหมด 3 ระบบ (ต่อ)

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
3. Ethyl acetate : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 (v/v/v)	

ตารางที่ 4.8 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J

สกัดด้วย	วิเคราะห์โครมาโตแกรม
1. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 10 (v/v/v)	
2. Ethyl acetate : Butanol ; NH ₃ อัตราส่วน 60 : 35 : 5 (v/v/v)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J (ต่อ)

สกัดด้วย	วิเคราะห์โครมาโตแกรม
3. Ethyl acetate : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 (v/v/v)	

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ในการสกัดหมึกทั้ง 3 ระบบ

ค่าที่ได้	เฟสเคลื่อนที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3
	ระดับ Gray scale 0 - 255	Min	126	79
	Max	251	251	251
	Mean	239.2	237.7	240.1
	Mode	242	242	242
	จำนวนพีคกราฟ	3	1	2

หมายเหตุ เฟสที่ 1 คือ n-Butanol : Ethanol : H₂O อัตราส่วน 50:15:10 (v/v/v)
เฟสที่ 2 คือ Ethyl acetate : Butanol : NH₃ อัตราส่วน 60:35:5 (v/v/v)
เฟสที่ 3 คือ Ethyl acetate : Ethanol : H₂O อัตราส่วน 70:35:30 (v/v/v)

Min = ค่าน้อยที่สุด

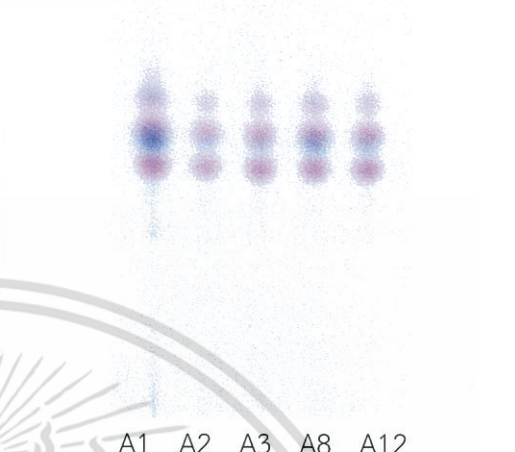


Max = ค่ามากที่สุด

Mean = ค่าเฉลี่ย

Mode = ค่าฐานนิยม

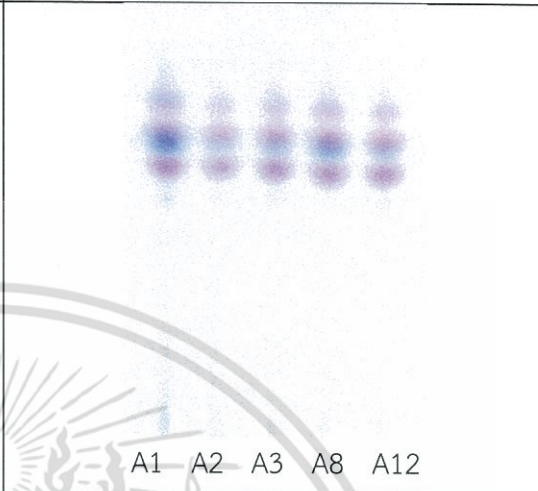

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟส *n*-Butanol : Ethanol : H₂O โดยทำการเพิ่ม Ethanol

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
1. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 20 : 10 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
2. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
3. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 30 : 10 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>

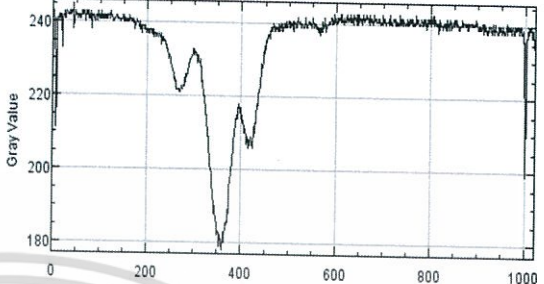
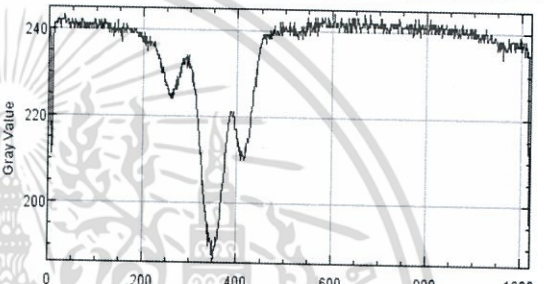
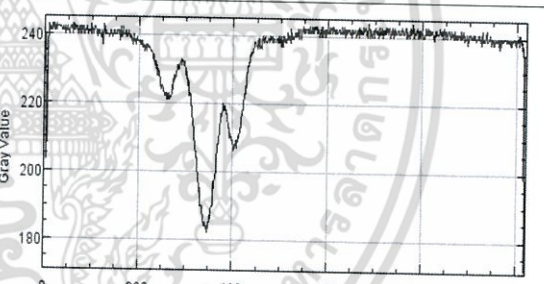
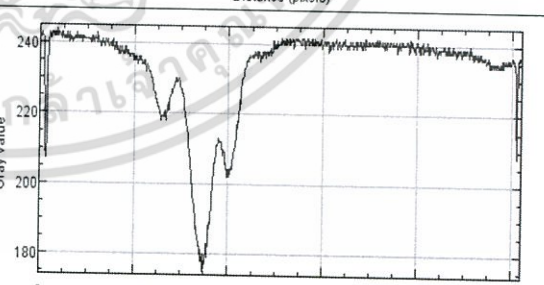
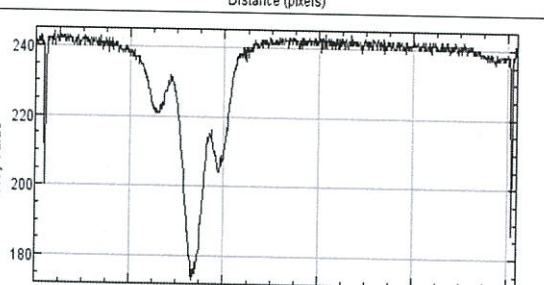
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟส *n*-Butanol : Ethanol : H₂O โดยทำการเพิ่ม Ethanol (ต่อ)

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
4. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 35 : 10 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
5. <i>n</i> -Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 40 : 10 (v/v/v)	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ n-Butanol : Ethanol : H₂O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม Ethanol นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J

สกัดด้วย	วิเคราะห์โครมาโตแกรม
1. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 20 : 10 (v/v/v)	
2. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v)	
3. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 30 : 10 (v/v/v)	
4. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 35 : 10 (v/v/v)	
5. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 40 : 10 (v/v/v)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

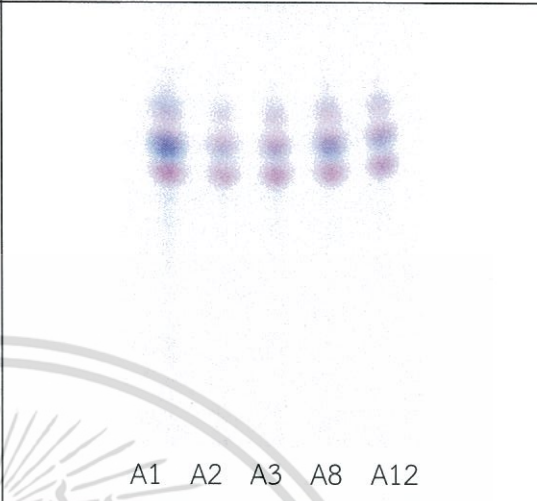

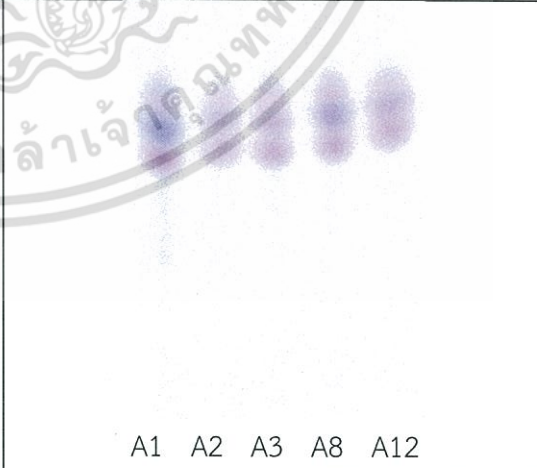
ตารางที่ 4.12 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ n-Butanol : Ethanol : H₂O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม Ethanol

ระดับ Gray scale 0 - 255	เฟสเคลื่อนที่ ค่าที่ได้	เฟสที่ 1 50:20:10	เฟสที่ 2 50:25:10	เฟสที่ 3 50:30:10	เฟสที่ 4 50:35:10	เฟสที่ 5 50:40:10
	Min		172	184	177	174
Max		248	251	246	248	250
Mean		236.9	238.4	238.1	237.6	236.7
Mode		241	242	242	241	242
จำนวนพีคกราฟ		3	3	3	3	3

หมายเหตุ Min = ค่าน้อยที่สุด
 Max = ค่ามากที่สุด
 Mean = ค่าเฉลี่ย
 Mode = ค่าฐานนิยม

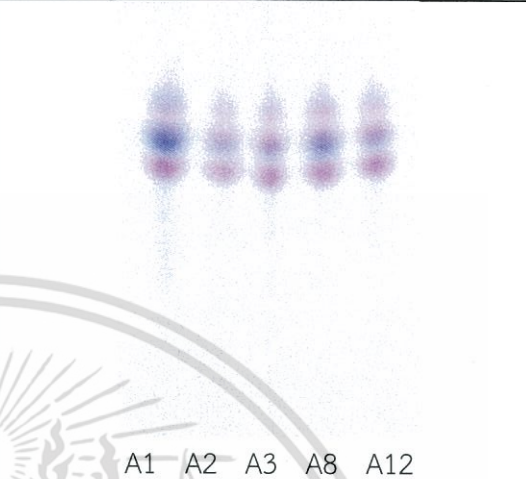

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟส n-Butanol : Ethanol : H₂O โดยทำการเพิ่ม H₂O

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
1. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 15 (v/v/v)	 <p style="text-align: center;">A1 A2 A3 A8 A12</p>
2. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 20 (v/v/v)	 <p style="text-align: center;">A1 A2 A3 A8 A12</p>
3. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 25 (v/v/v)	 <p style="text-align: center;">A1 A2 A3 A8 A12</p>

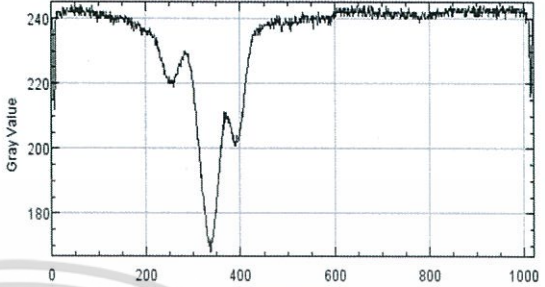
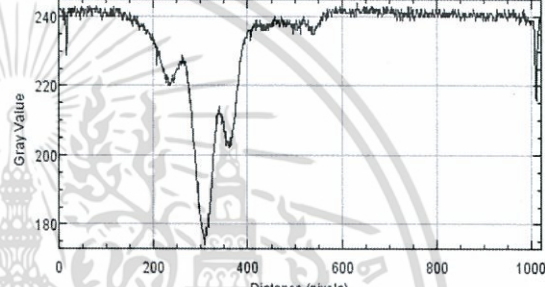
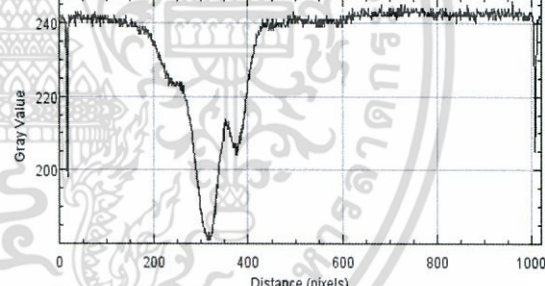
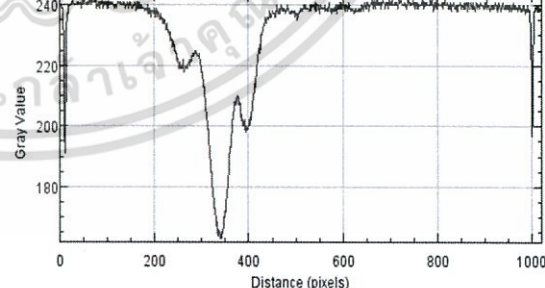
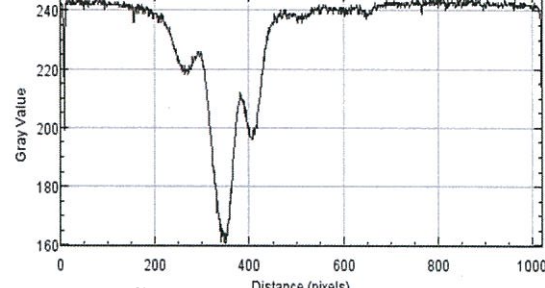
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ภาพโครมาโตแกรมของระบบเฟส n-Butanol : Ethanol : H₂O โดยทำการเพิ่ม H₂O
(ต่อ)

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
4. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 30 (v/v/v)	
5. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 35 (v/v/v)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ n-Butanol : Ethanol : H₂O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม H₂O นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J

สกัดด้วย	วิเคราะห์โครมาโตแกรม
1. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 15 (v/v/v)	
2. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 20 (v/v/v)	
3. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 25 (v/v/v)	
4. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 30 (v/v/v)	
5. n-Butanol : Ethanol : H ₂ O อัตราส่วน 50 : 15 : 35 (v/v/v)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ n-Butanol : Ethanol : H₂O ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 โดยทำการเพิ่ม H₂O

ระดับ	เฟสเคลื่อนที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4	เฟสที่ 5
	ค่าที่ได้	50:15:15	50:15:20	50:15:25	50:15:30	50:15:35
Gray scale 0 - 255	Min	168	170	177	174	160
	Max	246	248	249	248	247
	Mean	238	237.2	238.1	236.6	236.7
	Mode	242	242	242	241	242
	จำนวนพีคกราฟ	3	3	3	3	3

หมายเหตุ Min = ค่าน้อยที่สุด
 Max = ค่ามากที่สุด
 Mean = ค่าเฉลี่ย
 Mode = ค่าฐานนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ศึกษาปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดหมีก

ในการทดลองส่วนนี้จะใช้ตัวทำละลาย Ethanol และใช้ระบบเฟสเคลื่อนที่คือ *n*-Butanol : Ethanol : H₂O ในอัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v) ต่อมาทำการทดลองเพื่อหาปริมาณสารที่สามารถสกัดหมีกออกมาได้ดีและเหมาะสมที่สุดโดยทดสอบตามตารางที่ 4.16 พบว่าเมื่อทดลองใช้ปริมาณสารที่น้อยกว่า 10 ul ทำให้ตัวอย่างของหมีกปากกาดูดซับสารละลายไปหมดจนไม่สามารถ spot ลงบนแผ่น TLC ได้ เพราะเหตุนี้จึงได้ทำการทดลองเพิ่มสารละลายตั้งแต่ 10-150 ul พบว่าสารที่นำมา spot เจือจางมาก ต่อมาทำการปรับปริมาณสารอย่างละเอียดโดยทดลองที่ 60-90 ul เพื่อหาปริมาณสารที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่าตัวอย่าง 1 ชิ้นต่อ ปริมาณ Ethanol 70 ul เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถแยกโครมาโตแกรมได้ชัดเจนโดยใช้ปริมาณสารน้อยเพื่อทำการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.16 ภาพโครมาโตแกรมแสดงปริมาณสารที่เหมาะสม

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
ปริมาณ Ethanol 10 ul	A1 A2 A3 A8 A12
ปริมาณ Ethanol 50 ul	A1 A2 A3 A8 A12

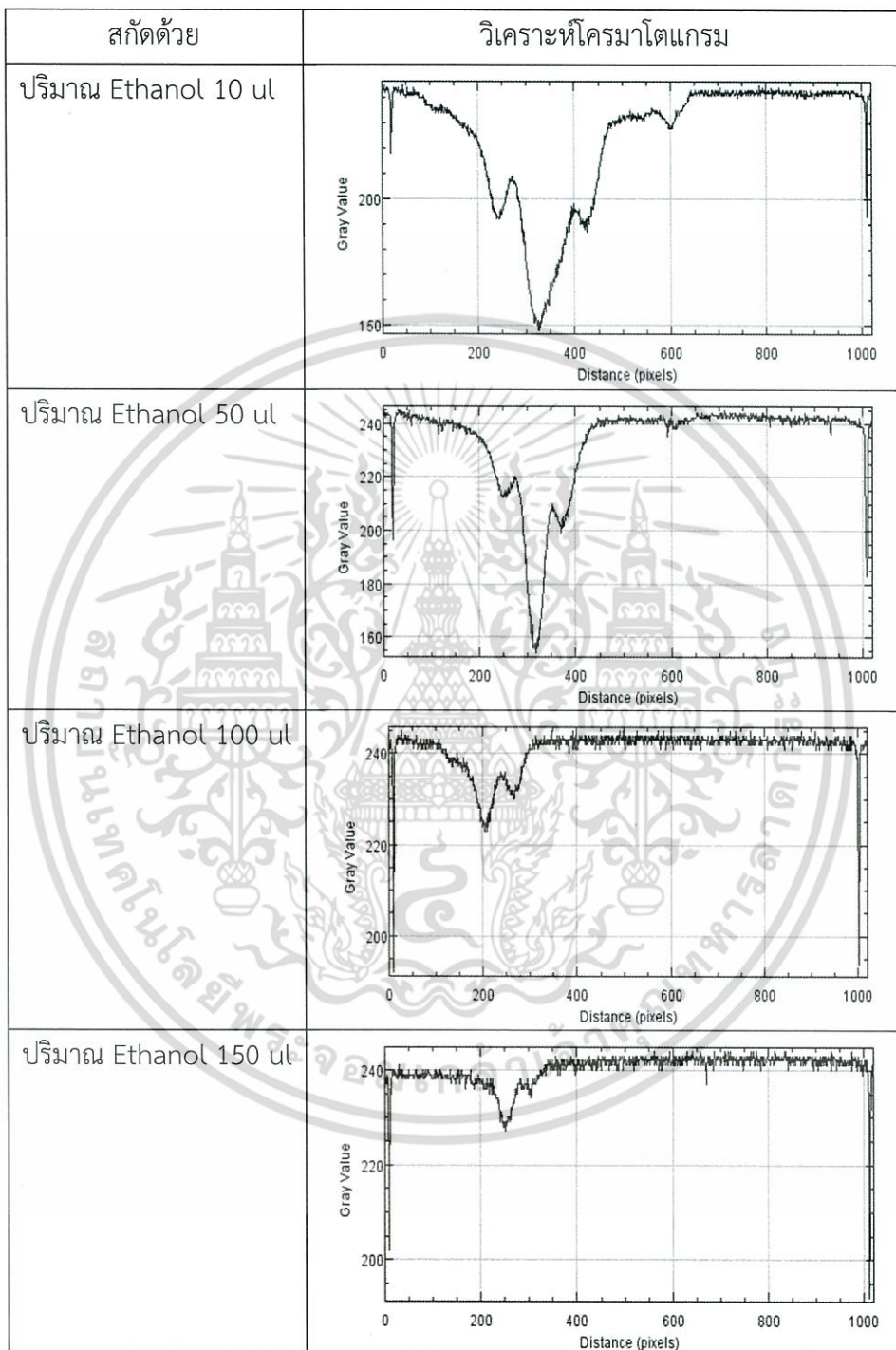
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ภาพโครมาโตแกรมแสดงปริมาณสารที่เหมาะสม(ต่อ)

สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
ปริมาณ Ethanol 100 ul	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
ปริมาณ Ethanol 150 ul	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J



หมายเหตุ จากกราฟแกน Y คือ RGB สัมพันธ์ แกน X คือ ค่าความกว้างของรูปภาพมีหน่วยเป็น pixels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

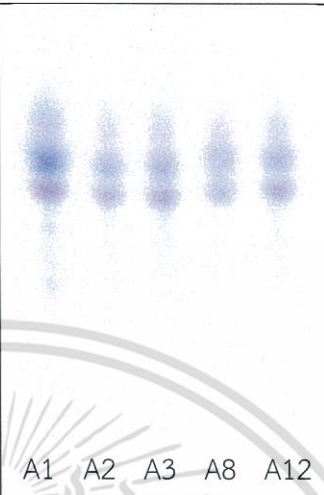

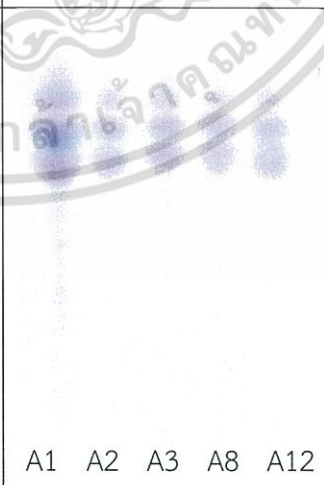
ตารางที่ 4.18 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1

ระดับ	เฟสเคลื่อนที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
	ค่าที่ได้	10 ul	50 ul	100 ul	150 ul
Gray scale 0 - 255	Min	146	151	171	192
	Max	247	248	251	246
	Mean	232.8	237.1	241.7	240.8
	Mode	242	242	243	242
	จำนวนพีคกราฟ	4	3	2	1

หมายเหตุ Min = ค่าน้อยที่สุด
 Max = ค่ามากที่สุด
 Mean = ค่าเฉลี่ย
 Mode = ค่าฐานนิยม

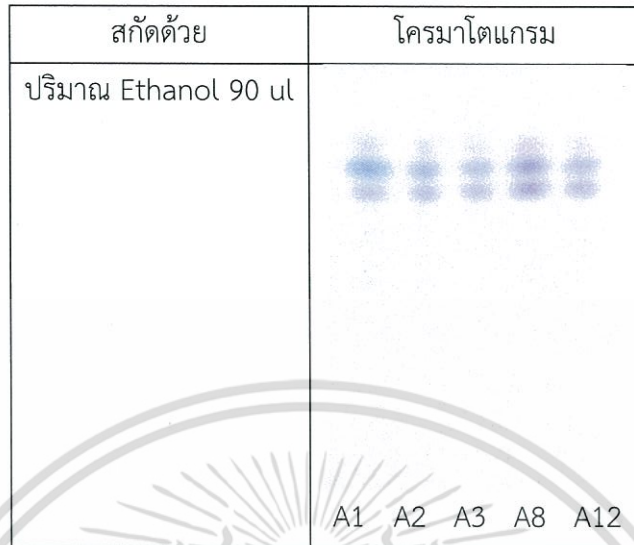
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงภาพโครมาโตแกรมในช่วงปริมาณ 60 ul – 90 ul

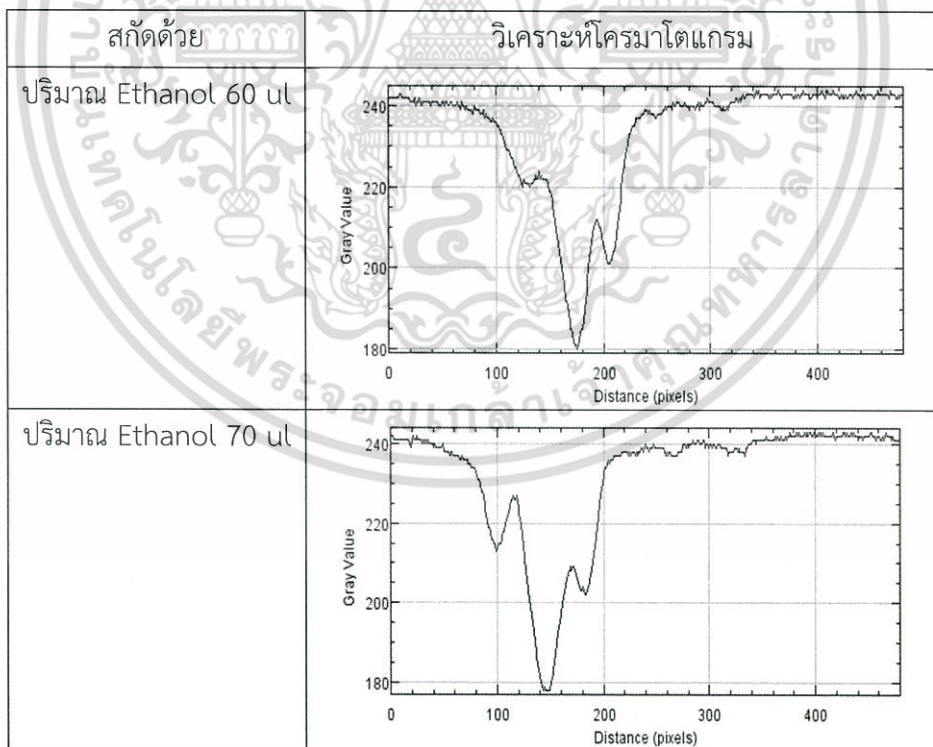
สกัดด้วย	โครมาโตแกรม
ปริมาณ Ethanol 60 ul	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
ปริมาณ Ethanol 70 ul	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>
ปริมาณ Ethanol 80 ul	 <p>A1 A2 A3 A8 A12</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงภาพโครมาโตแกรมในช่วงปริมาณ 60 ul – 90 ul(ต่อ)

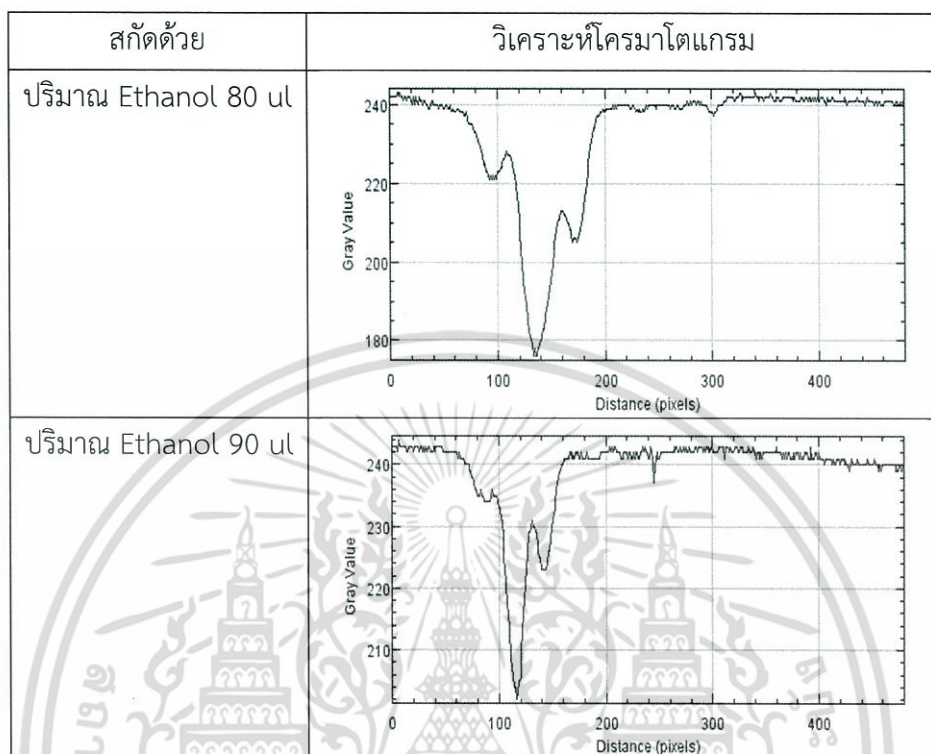


ตารางที่ 4.20 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในช่วงปริมาณ 60 ul – 90 ul ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในช่วงปริมาณ 60 ul – 90 ul ซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1 นำมาวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม image J



หมายเหตุ จากกราฟแกน Y คือ RGB สัมพันธ์ แกน X คือ ค่าความกว้างของรูปภาพ มีหน่วยเป็น pixels

ตารางที่ 4.21 ผลการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมซึ่งใช้ตัวอย่างปากกาชนิด A1




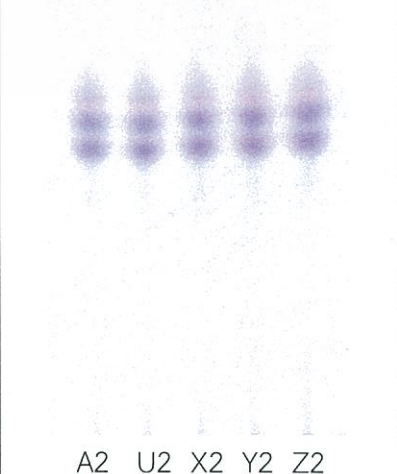
ระดับ	เฟสเคลื่อนที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
	ค่าที่ได้		60 ul	70 ul	80 ul
Gray scale 0 - 255	Min	162	168	166	167
	Max	249	252	251	250
	Mean	236.8	239.8	238.5	239
	Mode	242	243	243	242
	จำนวนพีคกราฟ	3	3	3	3

หมายเหตุ Min = ค่าน้อยที่สุด
Max = ค่ามากที่สุด
Mean = ค่าเฉลี่ย
Mode = ค่าฐานนิยม


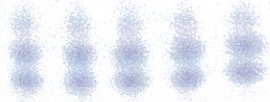



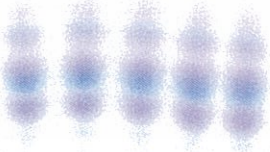
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทำ TLC จากหมึกปากกาทั้งหมด 9 ชนิด

ในการศึกษาตัวอย่างจากการระบายทั้งหมด 9 ชนิด โดยนำผลที่ได้จากการทดลองตามข้อ 4.1, 4.2 และ 4.3 สามารถสรุปได้ดังนี้คือ ใช้ Ethanol ปริมาณ 70 ul ต่อตัวอย่างจากการระบาย 1 ชิ้น ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ เฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดลองคือ *n*-Butanol : Ethanol : H₂O ในอัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v) ทำการ spot ลงบนแผ่น TLC จุดละประมาณ 5 ul ตัวอย่างละ 5 ครั้ง และทำการทดสอบ TLC โดยกำหนดเวลาจากขีดเส้นสุด ต่อมาทำการเป่าให้แห้งด้วยไดร์เป็นเวลา 20 นาที แสกรูปภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์เพื่อวิเคราะห์ภาพโครมาโตแกรมที่ได้ โดยทำการวิเคราะห์ภาพที่ดีที่สุดของตัวอย่างเพื่อไปเปรียบเทียบในการทดลองต่อไป ซึ่งการทดลองพบว่า ภาพโครมาโตแกรมที่ได้มีสีชัดเจน มีเพียงบางส่วนมีการแยกของโครมาโตแกรมไม่ชัดเจนเนื่องจากในการระบาย มีการทับกันของเส้นสี ทำให้หมึกจับตัวเป็นก้อนเมื่อนำมาสกัดจึงทำให้แยกออกจากกันไม่ได้ ตารางที่ 4.22 ภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20


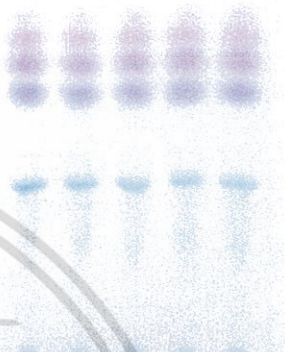



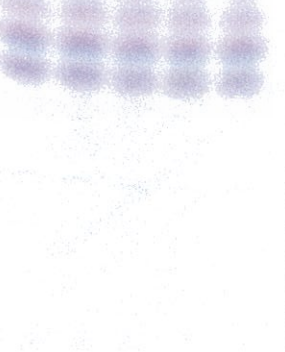
ชื่อยี่ห้อหรือรุ่นปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน	ชื่อในการทดลอง	ภาพโครมาโตแกรม
Lancer Spiral 825 	A1	 A1 U1 X1 Y1 Z1
G'soft Fizz 101 	A2	 A2 U2 X2 Y2 Z2

ตารางที่ 4.22 ภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20(ต่อ)

ชื่อยี่ห้อหรือรุ่นปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน	ชื่อในการทดลอง	ภาพโครมาโตแกรม
<p>Titus by G'soft</p> 	A3	 <p>A3 U3 X3 Y3 Z3</p>
<p>Faster CX 606</p>  <p>FASTER® 0.7</p> <p>CX606</p>	A8	 <p>A8 U8 X8 Y8 Z8</p>
<p>Hourse H-402</p> 	A12	 <p>A12 U12 X12 Y12 Z12</p>


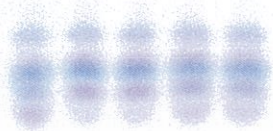
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20(ต่อ)

ชื่อยี่ห้อหรือรุ่นปากกาถูกคืนสีน้ำเงิน	ชื่อในการทดลอง	ภาพโครมาโตแกรม
<p>Bic Fine Easy Glide</p> 	A14	 <p>A14 U14 X14 Y14 Z14</p>
<p>Staedtler Luna Ball</p> 	A16	 <p>A16 U16 X16 Y16 Z16</p>
<p>Quantum Skate 112</p> 	A17	 <p>A17 U17 X17 Y17 Z17</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20(ต่อ)

ชื่อยี่ห้อหรือรุ่นปากกาถูกลิ้นสีน้ำเงิน	ชื่อในการทดลอง	ภาพโครมาโตแกรม
Hourse H-01 	A20	 A20 U20 X20 Y20 Z20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเปรียบเทียบภาพ TLC ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ

4.5.1 Scan และเตรียมภาพ TLC เพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

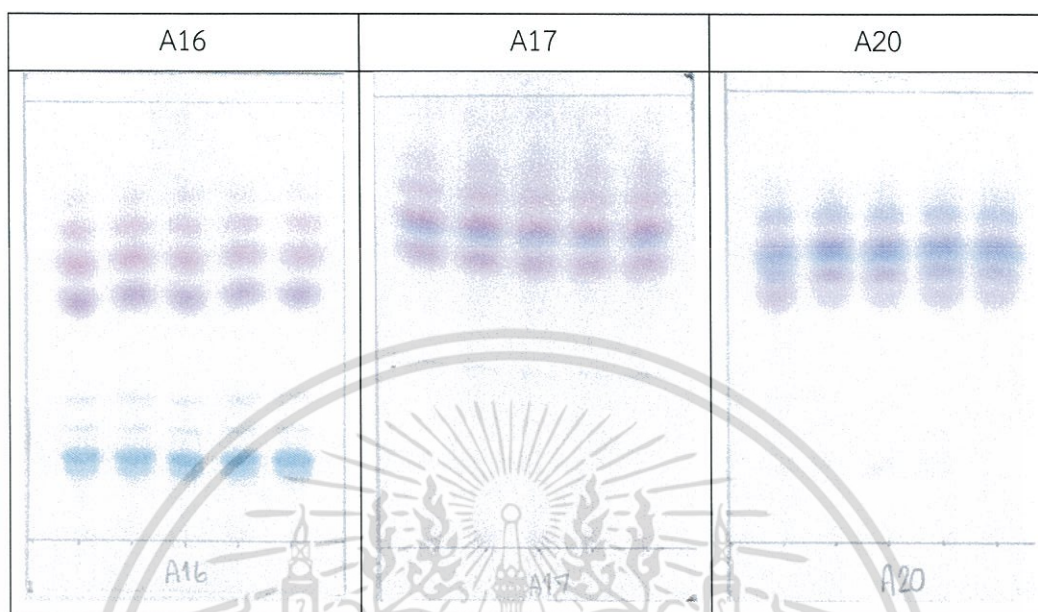
เมื่อได้ TLC Chromatogram แล้วนำมา Scan ด้วยเครื่อง Scanner Canon MP 280 และบันทึกเพิ่มประเภท bitmap (.bmp) เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ได้ภาพดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงภาพโครมาโตแกรมหลังจากทำการ Scan และบันทึกเพิ่มประเภท bitmap (.bmp)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 แสดงภาพโครมาโตแกรมหลังจากทำการ Scan และบันทึกเพิ่มประเภท bitmap .bmp(ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 วิเคราะห์ภาพโครมาโตแกรมด้วยโปรแกรม image j

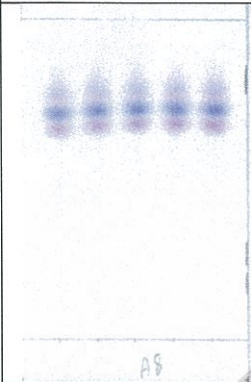


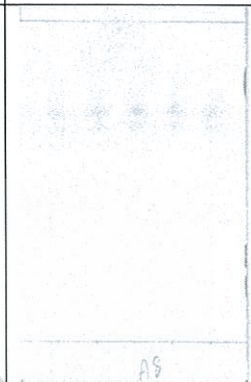
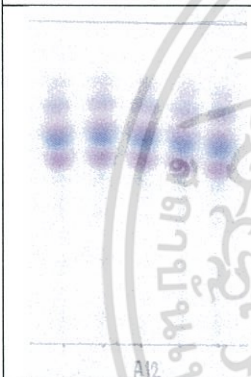



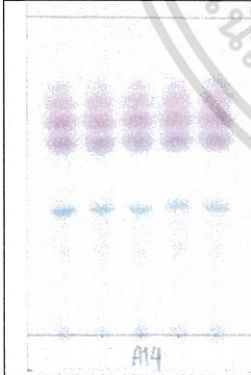


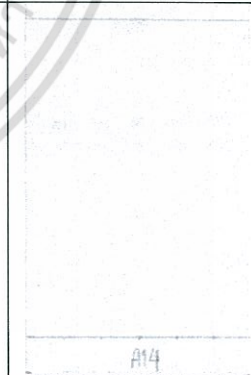
นำภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง มาวิเคราะห์ความเข้มของแม่สี 3 สี คือ สีแดง (Red, R) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) ทำการเปรียบเทียบจากค่า Coefficient of Determination (r^2) ของแต่ละสีในขั้นตอนวิเคราะห์ภาพต่อไป

ตารางที่ 4.24 ตัวอย่างผลการศึกษาภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20

TLC-A1	A1-Red	A1-Green	A1-Blue
TLC-A2	A2-Red	A2-Green	A2-Blue
TLC-A3	A3-Red	A3-Green	A3-Blue

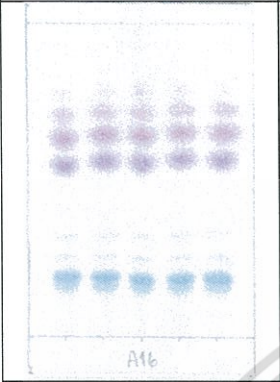
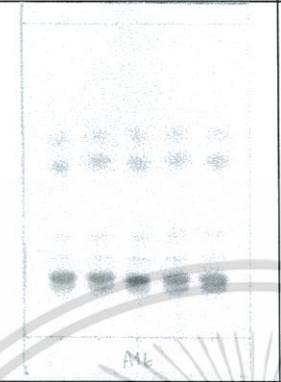
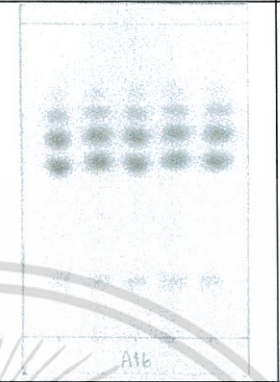
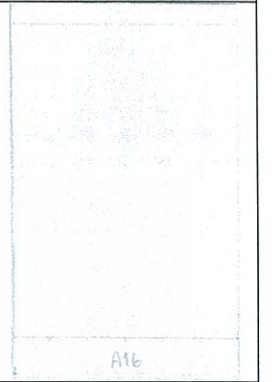



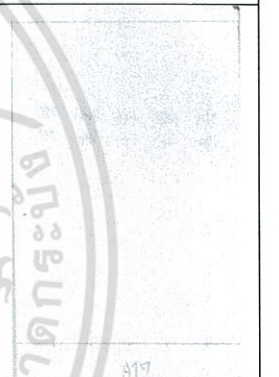
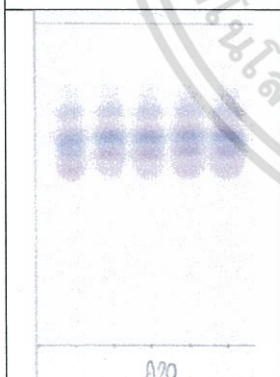


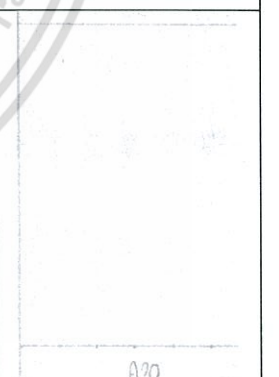
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ตัวอย่างผลการศึกษาภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20(ต่อ)

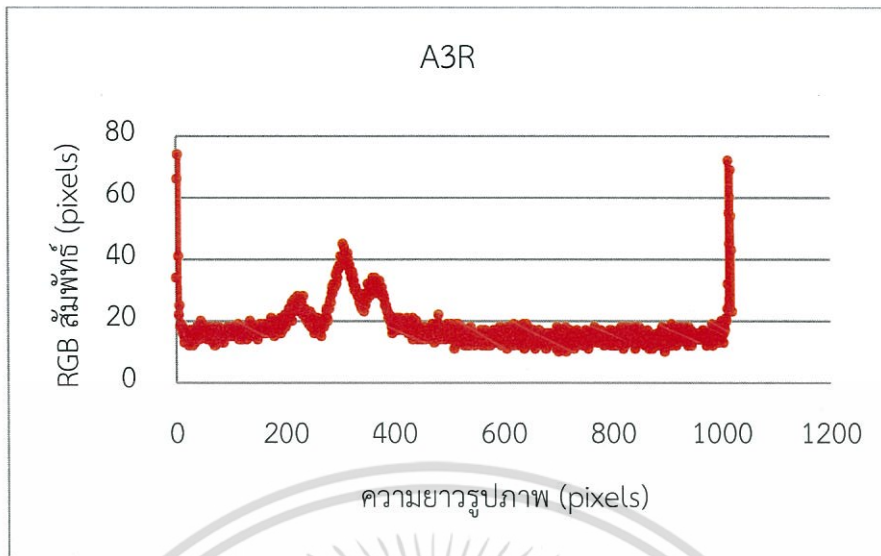
TLC-A8	A8-Red	A8-Green	A8-Blue
			
A8	A8	A8	A8
TLC-A12	A12-Red	A12-Green	A12-Blue
			
A12	A12	A12	A12
TLC-A14	A14-Red	A14-Green	A14-Blue
			
A14	A14	A14	A14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

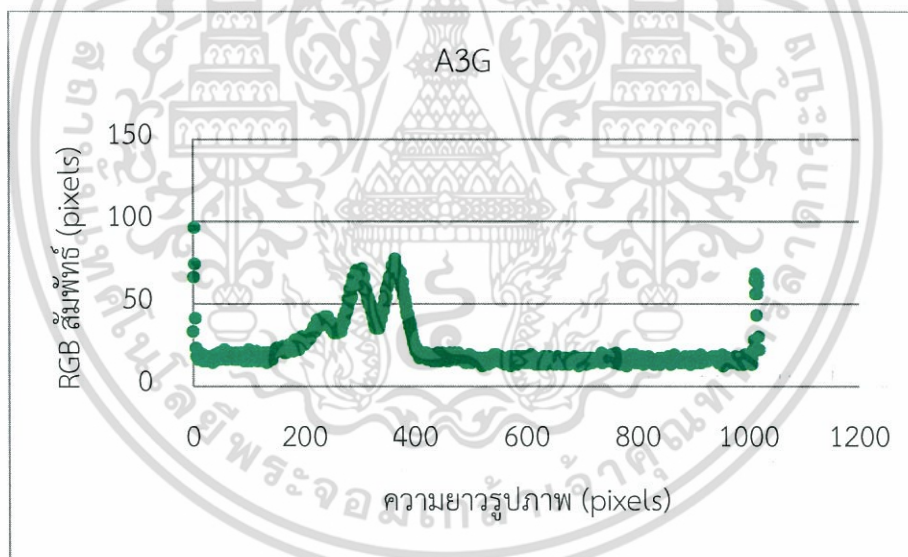
ตารางที่ 4.24 ตัวอย่างผลการศึกษาภาพโครมาโตแกรมตัวอย่างปากกาชนิด A1-A2-A3-A8-A12-A14-A16-A17-A20(ต่อ)

TLC-A16	A16-Red	A16-Green	A16-Blue
			
TLC-A17	A17-Red	A17-Green	A17-Blue
			
TLC-A20	A20-Red	A20-Green	A20-Blue
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

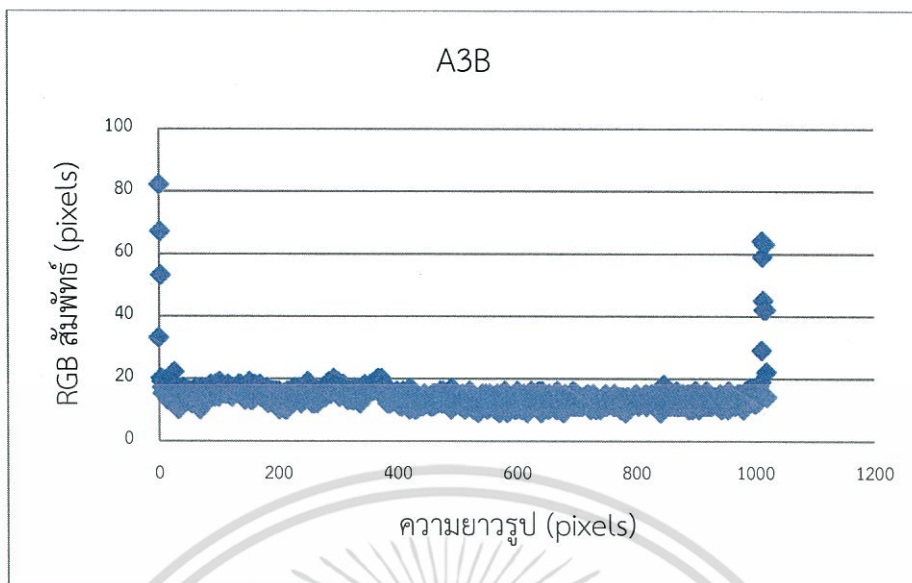


รูปที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3-Red



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3-Green

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3-Blue

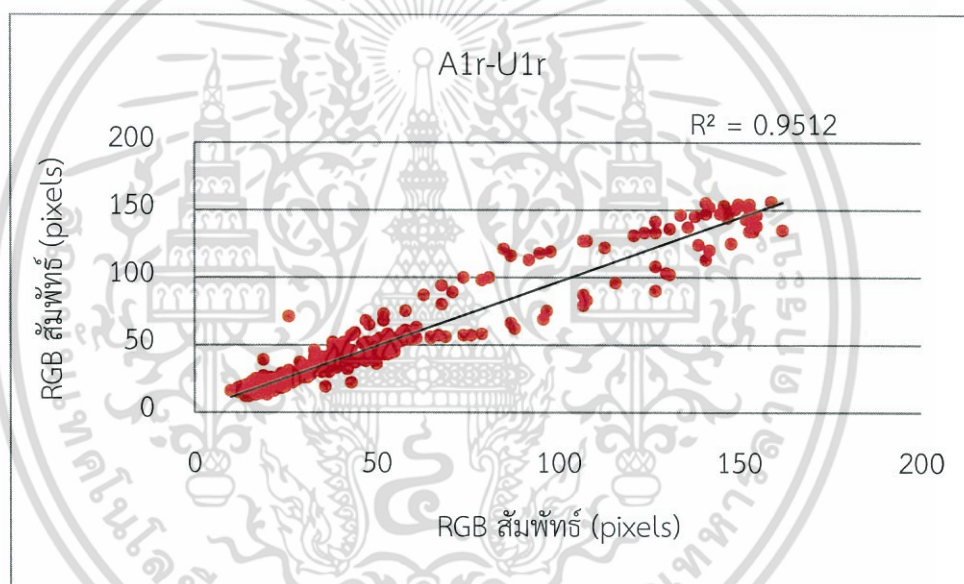


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

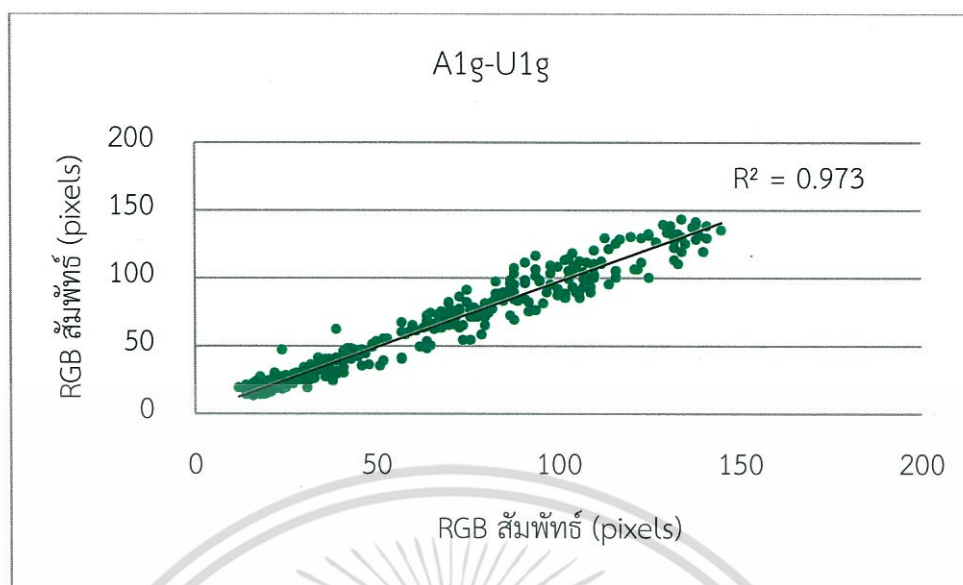
4.5.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มปากกาด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพจากการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2)

โปรแกรมวิเคราะห์ภาพออกแบบมาให้ทำการวิเคราะห์ความเข้มของแม่สี 3 สี คือ สีแดง (Red, R) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) ทำการเปรียบเทียบจากค่า Coefficient of Determination (r^2) ของแต่ละสี

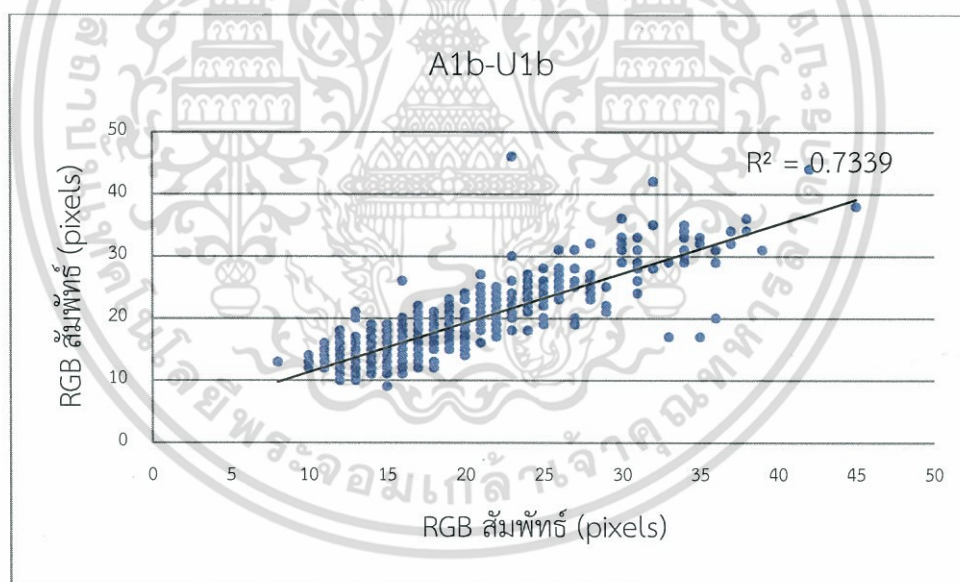
โดยการเปรียบเทียบเริ่มจากสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปากกา โดยทำการแยกเป็นกราฟความสัมพันธ์ของสีแดง กราฟความสัมพันธ์ของสีเขียว และกราฟความสัมพันธ์ของสีน้ำเงิน ดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีแดงระหว่างคู่ปากกา A1-U1



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีเขียวระหว่างคู่ปากกา A1-U1



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีน้ำเงินระหว่างคู่ปากกา A1-U1

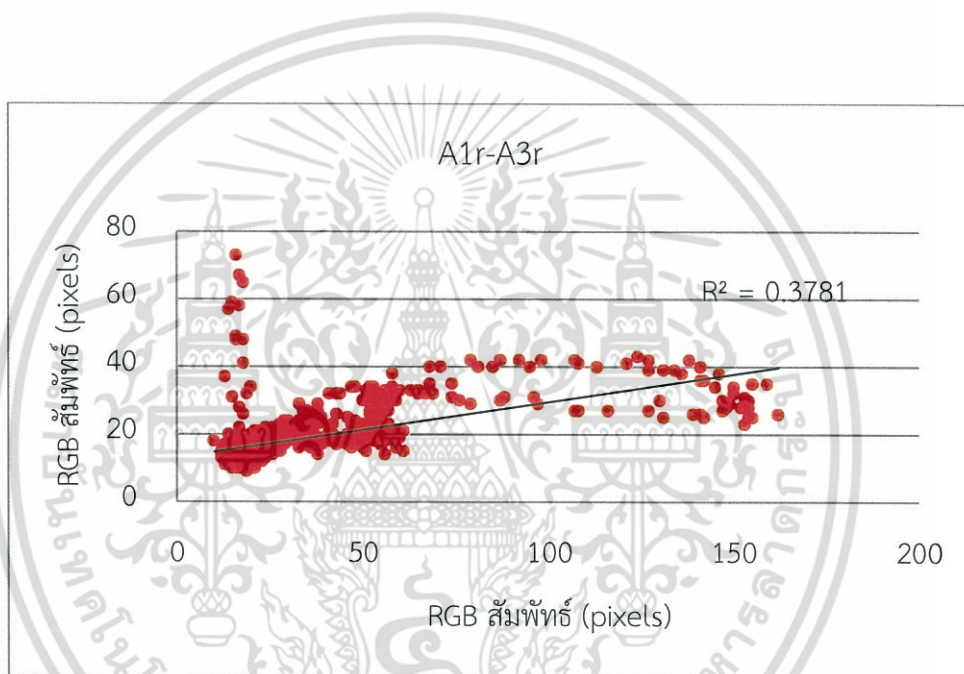
ซึ่งนำค่าที่ได้คือ R^2 ของสีแดง G^2 ของสีเขียว และ B^2 ของสีน้ำเงิน จากกราฟมาทำการหาค่า score ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคูใดที่มีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 หมายถึงภาพที่นำมาเปรียบเทียบนั้น มีความสัมพันธ์กันมาก หรือภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นเหมือนกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

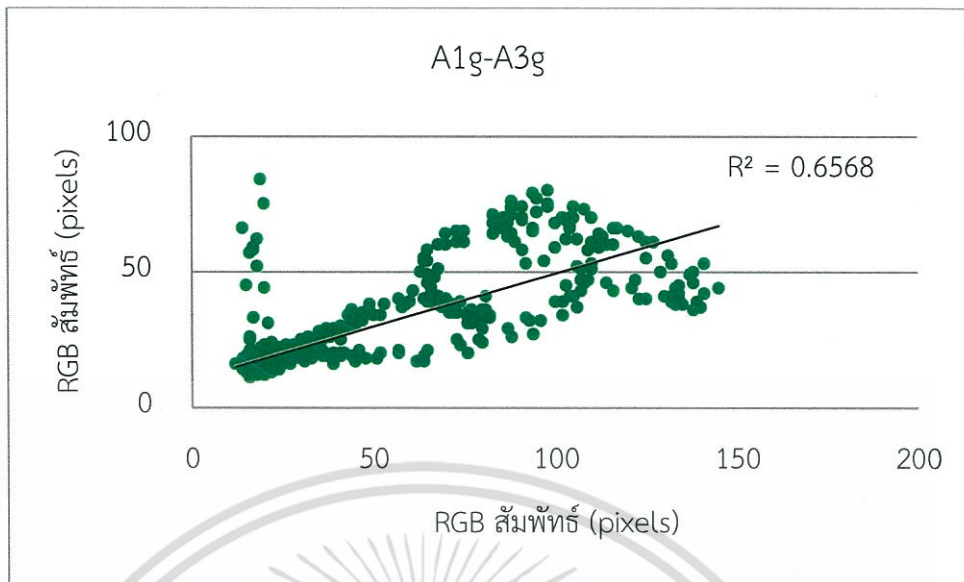
$$\text{จากสูตร Score} = \frac{W1 \times Rr^2 + W2 \times Gr^2 + W3 \times Br^2}{W1 + W2 + W3}$$

$$\text{แทนค่า Score} = \frac{1 \times 0.9512^2 + 1 \times 0.973^2 + 1 \times 0.7339^2}{1 + 1 + 1} = 0.886$$

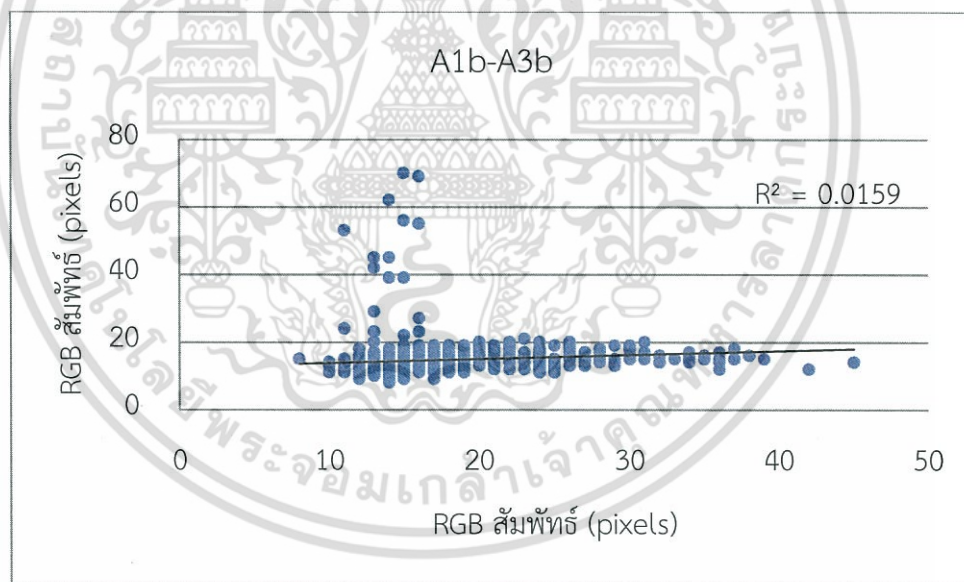
ในทางตรงข้ามถ้าค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง ภาพที่นำมาเปรียบเทียบนั้น ไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.12 รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีแดงระหว่างคู่ปากกา A1-A3



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีเขียวระหว่างคู่ปากกา A1-A3



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสีน้ำเงินระหว่างคู่ปากกา A1-A3

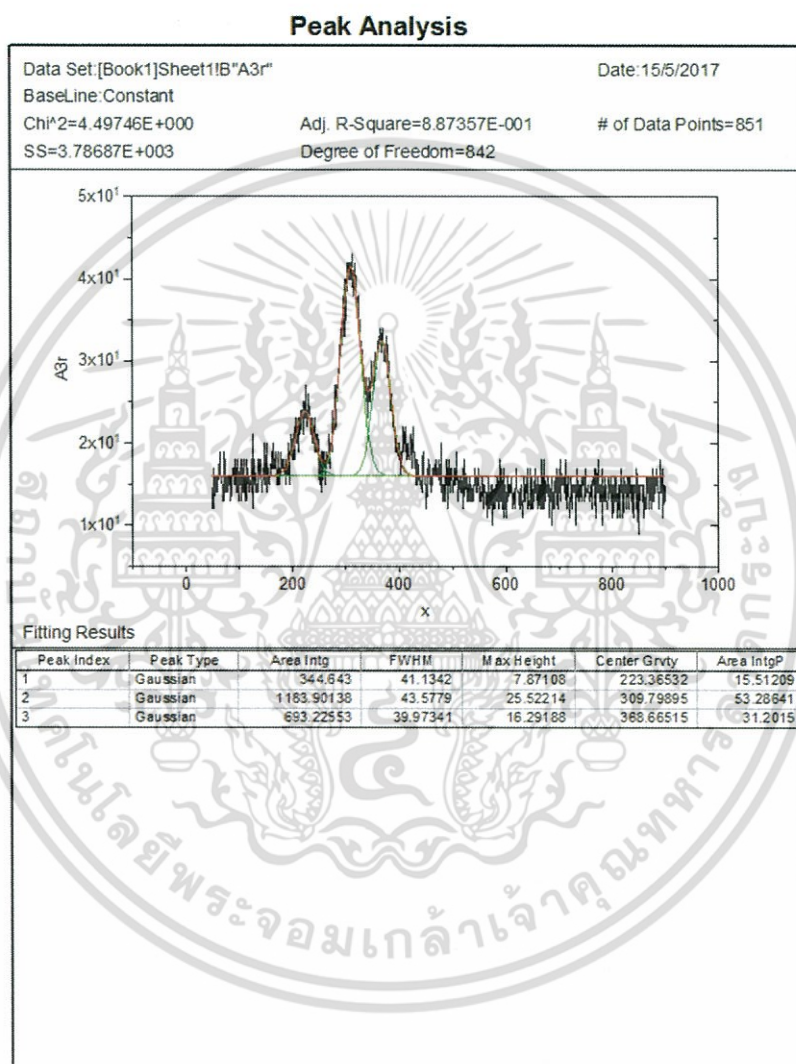
จากสูตร
$$\text{Score} = \frac{W1 \times Rr^2 + W2 \times Gr^2 + W3 \times Br^2}{W1 + W2 + W3}$$

แทนค่า
$$\text{Score} = \frac{1 \times 0.3781^2 + 1 \times 0.6568^2 + 1 \times 0.0159^2}{1 + 1 + 1} = 0.3503$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

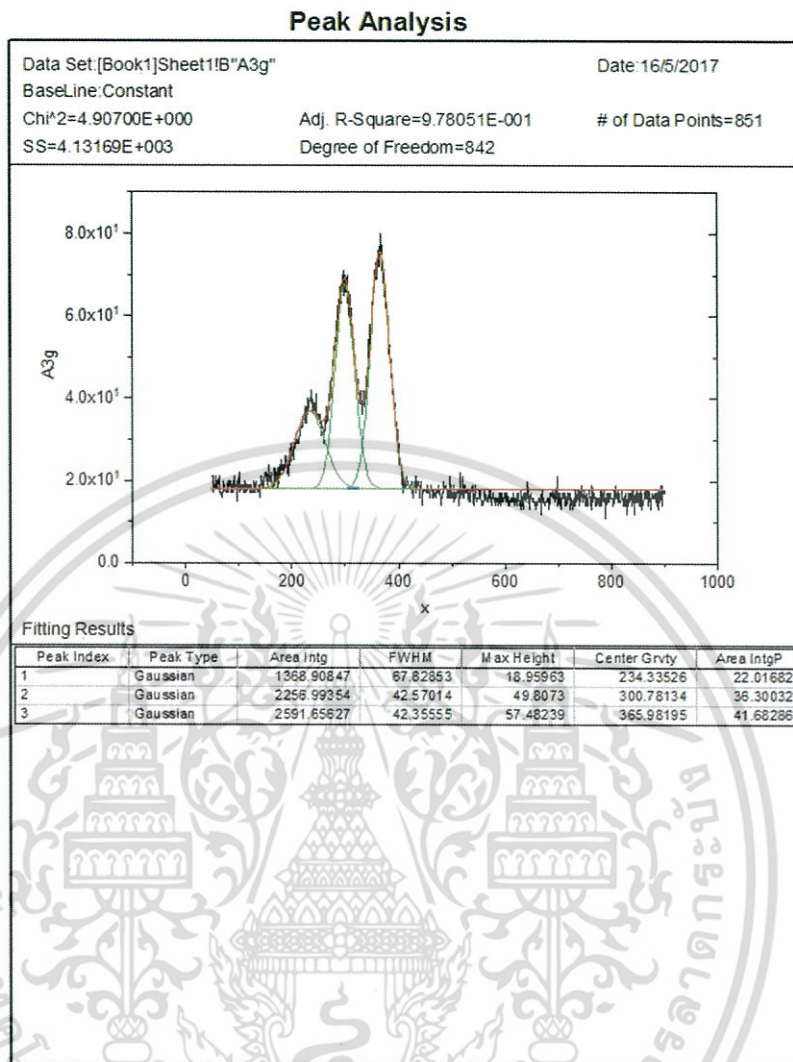
4.5.4 วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์จากโปรแกรมวิเคราะห์กราฟ OriginPro 2017

โปรแกรมวิเคราะห์กราฟออกแบบมาให้ทำการวิเคราะห์สี 3 สี คือ สีแดง (Red, R) สีเขียว (Green, G) และสีน้ำเงิน (Blue, B) โดยเปรียบเทียบจากจำนวนพิกเซล พื้นที่ (%) Max Height (Pixels) FWHM (Pixels) และCenter Gravity (Pixels)



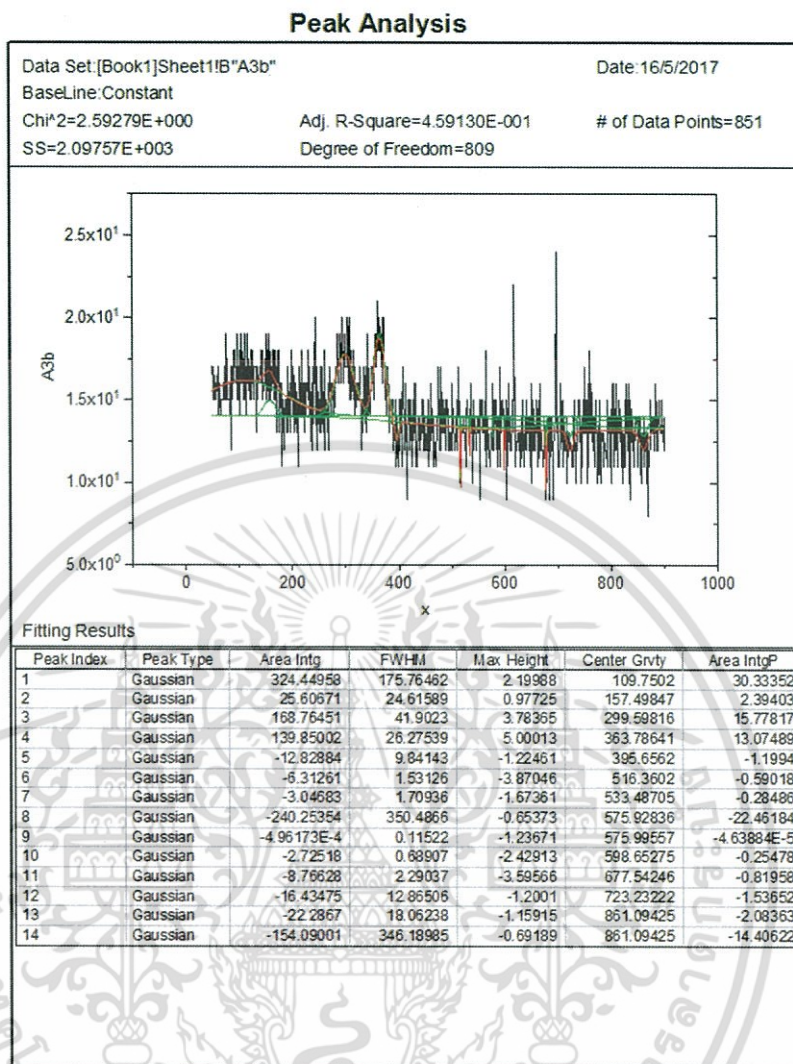
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3 สีแดงวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม origin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3 สีเขียววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม origin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างปากกา A3 สีน้ำเงินวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมorigin

4.5.5 ผลการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2)

ในการพิจารณาคุณภาพปากกาทั้งหมด 1296 คู่ ซึ่งกำหนดให้ ค่า score 4 ระบบ คือ ค่า score มากกว่า 0.80 ค่า score มากกว่า 0.75 ค่า score มากกว่า 0.70 และค่า score มากกว่า 0.65 ให้เป็นคู่ปากกาที่มีความเหมือนกัน

ตารางที่ 4.25 เกณฑ์การพิจารณาความเหมือนและความแตกต่างกันของคู่หมึกปากกา

Score 4 ระบบ	เกณฑ์การพิจารณา
มากกว่า 0.80	เป็นคู่ปากกาที่มีความเหมือนกัน
มากกว่า 0.75	เป็นคู่ปากกาที่มีความเหมือนกัน
มากกว่า 0.70	เป็นคู่ปากกาที่มีความเหมือนกัน
มากกว่า 0.65	เป็นคู่ปากกาที่มีความเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Score 0.8 (Red/Green/Blue)

	A1	U1	X1	Y1	A2	U2	X2	Y2	A3	U3	X3	Y3	A4	U4	X4	Y4	A16	U16	X16	Y16	A17	U17	X17	Y17	A20	U20	X20	Y20
A1	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.4071	0.471	0.3981	0.414	0.3503	0.4076	0.3842	0.3298	0.4484	0.4047	0.3864	0.3664	0.1388	0.1631	0.1668	0.1338	0.3911	0.5392	0.5606	0.5915	0.1929	0.2854	0.2956	0.3243
U1	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.4382	0.5076	0.4188	0.4095	0.3868	0.4518	0.4231	0.3442	0.5231	0.4489	0.4168	0.3983	0.1314	0.158	0.1427	0.1256	0.4309	0.5724	0.5853	0.5716	0.1715	0.2393	0.2409	0.2715
X1	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.4346	0.504	0.4099	0.4064	0.3794	0.446	0.4179	0.4588	0.4697	0.3994	0.3941	0.3958	0.135	0.1195	0.1252	0.1195	0.4252	0.5722	0.5668	0.5854	0.1683	0.2409	0.2497	0.2705
Y1	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.5323	0.6006	0.4986	0.4835	0.4455	0.5254	0.5241	0.4266	0.6489	0.5541	0.5222	0.5104	0.2333	0.2333	0.1316	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849
A2	0.4071	0.471	0.3981	0.414	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.4071	0.471	0.3981	0.414	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
U2	0.471	0.5076	0.504	0.6006	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.4382	0.5076	0.4188	0.4095	0.3868	0.4489	0.4168	0.3983	0.1314	0.158	0.1427	0.1256	0.4309	0.5724	0.5853	0.5716	0.1715	0.2393	0.2409	0.2715
X2	0.3981	0.4188	0.4099	0.4986	0.6997	0.7306	0.6642	0.6642	0.3794	0.446	0.4179	0.4588	0.4697	0.3994	0.3941	0.3958	0.135	0.1195	0.1252	0.1195	0.4252	0.5722	0.5668	0.5854	0.1683	0.2409	0.2497	0.2705
Y2	0.414	0.4095	0.4064	0.4835	0.577	0.6104	0.7702	0.6642	0.4686	0.5055	0.5611	0.6059	0.5269	0.5415	0.5196	0.4954	0.2333	0.2333	0.1316	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849
A3	0.3503	0.3868	0.3794	0.4455	0.5009	0.5016	0.4686	0.3964	0.4071	0.471	0.3981	0.414	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
U3	0.4076	0.4518	0.446	0.5254	0.6197	0.6081	0.5955	0.4441	0.4071	0.471	0.3981	0.414	0.6642	0.6642	0.6642	0.6642	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
X3	0.3842	0.4231	0.4179	0.5241	0.6817	0.6548	0.5611	0.5137	0.562	0.7561	0.583	0.583	0.583	0.4071	0.471	0.3981	0.1316	0.158	0.1427	0.1256	0.4309	0.5724	0.5853	0.5716	0.1715	0.2393	0.2409	0.2715
Y3	0.3298	0.3402	0.4548	0.4266	0.6892	0.6071	0.6059	0.5838	0.4478	0.583	0.7436	0.583	0.583	0.4071	0.471	0.3981	0.1316	0.158	0.1427	0.1256	0.4309	0.5724	0.5853	0.5716	0.1715	0.2393	0.2409	0.2715
A4	0.4684	0.5231	0.4697	0.609	0.5184	0.5388	0.5269	0.5224	0.3674	0.4291	0.4826	0.4611	0.7843	0.7843	0.7843	0.7843	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
U4	0.4047	0.4489	0.3994	0.5541	0.4867	0.4773	0.5415	0.5734	0.3033	0.3672	0.4553	0.5197	0.7843	0.7843	0.7843	0.7843	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
X4	0.3844	0.4168	0.3941	0.5222	0.4488	0.4315	0.5196	0.565	0.2849	0.3224	0.4146	0.4746	0.6944	0.6944	0.6944	0.6944	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
Y4	0.3664	0.3983	0.3568	0.5104	0.4194	0.4047	0.4954	0.5476	0.2512	0.2959	0.3678	0.4632	0.698	0.698	0.698	0.698	0.1316	0.1247	0.1247	0.5312	0.6994	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1849	
A12	0.275	0.2343	0.2337	0.1724	0.181	0.2078	0.1986	0.2146	0.1765	0.1921	0.1767	0.1397	0.1572	0.1061	0.1467	0.1102	0.0895	0.1266	0.1361	0.1468	0.1725	0.1995	0.2052	0.1767	0.0403	0.0894	0.0714	0.0769
U12	0.2331	0.1785	0.2134	0.245	0.2269	0.2488	0.1631	0.1869	0.1783	0.1382	0.1019	0.0798	0.0791	0.2235	0.2164	0.2246	0.066	0.097	0.122	0.4638	0.3419	0.2872	0.2595	0.0781	0.1395	0.1461	0.1508	
X12	0.1596	0.163	0.1206	0.1477	0.1784	0.1328	0.1038	0.1245	0.1465	0.1203	0.1548	0.0957	0.0376	0.0319	0.0367	0.0408	0.0653	0.0653	0.0653	0.1113	0.12	0.1081	0.084	0.4838	0.4192	0.3708	0.1751	
Y12	0.1774	0.2235	0.2175	0.1858	0.2012	0.2207	0.261	0.2271	0.1287	0.1406	0.1585	0.189	0.1578	0.161	0.1468	0.175	0.1298	0.1319	0.1097	0.294	0.1621	0.2092	0.2059	0.1621	0.1591	0.1671	0.15905	
A14	0.2047	0.2699	0.2434	0.2046	0.1731	0.2306	0.2796	0.2761	0.1351	0.157	0.1878	0.2096	0.1864	0.175	0.1995	0.2052	0.1767	0.0403	0.0894	0.0714	0.0769	0.4489	0.3419	0.2872	0.2595	0.0781	0.1395	0.1461
U14	0.2699	0.2434	0.2046	0.1731	0.2306	0.2796	0.2761	0.1351	0.157	0.1878	0.2096	0.1864	0.175	0.1995	0.2052	0.1767	0.0403	0.0894	0.0714	0.0769	0.4489	0.3419	0.2872	0.2595	0.0781	0.1395	0.1461	
X14	0.3063	0.2823	0.2719	0.2196	0.209	0.2287	0.2768	0.2769	0.1412	0.1657	0.1858	0.2162	0.1733	0.1974	0.1979	0.2052	0.1767	0.0403	0.0894	0.0714	0.0769	0.4489	0.3419	0.2872	0.2595	0.0781	0.1395	0.1461
Y14	0.3318	0.3044	0.3002	0.2333	0.2353	0.2344	0.2662	0.2871	0.1613	0.177	0.1765	0.1906	0.1705	0.2105	0.1809	0.1767	0.0906	0.0748	0.267	0.1578	0.1783	0.1705	0.0572	0.1137	0.0828	0.0971	0.3113	
A16	0.1368	0.1314	0.1151	0.079	0.0515	0.0674	0.0468	0.0411	0.0663	0.0742	0.0574	0.0369	0.0572	0.066	0.0607	0.0403	0.0653	0.0653	0.0653	0.1113	0.12	0.1081	0.084	0.4838	0.4192	0.3708	0.1751	
U16	0.1631	0.158	0.134	0.1316	0.1086	0.1276	0.1008	0.0935	0.1113	0.1254	0.1207	0.0851	0.137	0.0977	0.1085	0.0894	0.062	0.0526	0.062	0.1052	0.138	0.1483	0.165	0.2178	0.2235	0.2405	0.3418	
X16	0.1668	0.1427	0.1334	0.1247	0.1158	0.1359	0.1057	0.1316	0.12	0.1469	0.18	0.107	0.0828	0.1208	0.0914	0.1714	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	0.0711	
Y16	0.1338	0.1256	0.1193	0.1284	0.1274	0.1422	0.1328	0.1171	0.1031	0.1174	0.121	0.0922	0.0771	0.122	0.092	0.0769	0.0403	0.0894	0.0714	0.0769	0.4489	0.3419	0.2872	0.2595	0.0781	0.1395	0.1461	
A17	0.3911	0.4309	0.4252	0.5512	0.5276	0.5341	0.5025	0.4846	0.484	0.5635	0.6072	0.5303	0.4877	0.4638	0.4489	0.4091	0.1948	0.1958	0.2494	0.1621	0.1485	0.1687	0.181	0.1859	0.0555	0.1356	0.1403	
U17	0.5392	0.5724	0.5722	0.6094	0.4667	0.4875	0.3941	0.3712	0.4838	0.5652	0.5329	0.381	0.4001	0.3908	0.3419	0.3103	0.1564	0.272	0.2366	0.2092	0.165	0.1688	0.2203	0.2303	0.3016	0.108	0.121	
X17	0.5606	0.5553	0.5668	0.5019	0.3546	0.3668	0.3154	0.3065	0.4192	0.5115	0.4521	0.342	0.311	0.2671	0.2595	0.255	0.2357	0.2059	0.2176	0.2345	0.2716	0.2945	0.2699	0.2716	0.2393	0.2303	0.2303	
Y17	0.5915	0.5716	0.5854	0.4914	0.3166	0.3625	0.2924	0.2899	0.3708	0.4489	0.3816	0.2907	0.2671	0.2595	0.255	0.2357	0.2059	0.2176	0.2345	0.2716	0.2945	0.2699	0.2716	0.2393	0.2303	0.2303	0.2303	
A20	0.1929	0.1715	0.1683	0.123	0.2067	0.2444	0.3024	0.3252	0.1751	0.1894	0.1787	0.1419	0.0781	0.1419	0.1661	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	
U20	0.2854	0.2303	0.2409	0.1697	0.2782	0.3128	0.3562	0.3779	0.2063	0.2284	0.2344	0.2223	0.1395	0.107	0.1395	0.0905	0.5886	0.6213	0.5691	0.4219	0.3418	0.3582	0.321	0.3026	0.1377	0.1803	0.1794	
X20	0.2956	0.2409	0.2497	0.1808	0.3017	0.3523	0.3837	0.3735	0.2137	0.2383	0.2467	0.2375	0.1461	0.1193	0.1461	0.0973	0.6168	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	0.6271	
Y20	0.3243	0.2575	0.2705	0.1789	0.2828	0.3266	0.3634	0.3462	0.198	0.2209	0.																	

Score 0.75 (RedGreenBlue)

	A1	U1	X1	Y1	A2	U2	X2	Y2	A3	U3	X3	Y3	A8	U8	X8	Y8	A12	U12	X12	Y12	A14	U14	X14	Y14	A16	U16	X16	Y16	A17	U17	X17	Y17	A20	U20	X20	Y20	
A1	0.2892	0.2727	0.6642	0.4071	0.4071	0.471	0.3981	0.414	0.3503	0.4076	0.3842	0.3298	0.4484	0.4047	0.3844	0.3664	0.275	0.3381	0.2612	0.1774	0.2447	0.2659	0.3063	0.3318	0.1388	0.1631	0.1668	0.1338	0.3911	0.5392	0.5606	0.5915	0.1929	0.2854	0.2956	0.3243	
U1	0.386	0.2927	0.7573	0.4382	0.5076	0.4148	0.4095	0.4148	0.3868	0.4518	0.4231	0.3442	0.5231	0.4689	0.4168	0.3983	0.2943	0.2995	0.236	0.1596	0.2235	0.2423	0.2823	0.3004	0.1314	0.138	0.1027	0.1256	0.4309	0.5724	0.5553	0.5716	0.1775	0.2303	0.2409	0.2575	
X1	0.5737	0.5957	0.3	0.77	0.4346	0.504	0.4099	0.4064	0.3794	0.446	0.4179	0.4548	0.4697	0.3944	0.3941	0.3568	0.2337	0.2898	0.2391	0.163	0.2175	0.2344	0.2719	0.3002	0.1151	0.134	0.1334	0.1193	0.4252	0.5722	0.5668	0.5854	0.1683	0.2409	0.2497	0.2705	
Y1	0.6662	0.7571	0.37	0.5332	0.6006	0.4986	0.4835	0.4555	0.4835	0.5251	0.5241	0.4266	0.6899	0.5541	0.5222	0.5104	0.1724	0.2153	0.1785	0.1206	0.1888	0.2046	0.2196	0.2333	0.079	0.1316	0.1247	0.4512	0.6094	0.5019	0.4914	0.123	0.1697	0.1808	0.1789		
A2	0.0071	0.6382	0.9346	0.5332	0.3	0.6245	0.6897	0.577	0.5009	0.6197	0.6817	0.6892	0.5164	0.4867	0.4683	0.4194	0.181	0.209	0.2134	0.1477	0.2012	0.2131	0.209	0.2353	0.0515	0.1086	0.1158	0.4526	0.4667	0.3506	0.2166	0.2067	0.2782	0.3017	0.2828		
U2	0.471	0.5076	0.504	0.6006	0.256	0.3	0.7306	0.6104	0.5016	0.6061	0.6548	0.6071	0.5388	0.4743	0.4315	0.4047	0.2078	0.2029	0.205	0.1734	0.2207	0.2306	0.2287	0.2344	0.0674	0.1276	0.1339	0.4822	0.5341	0.4875	0.3868	0.3625	0.2444	0.3128	0.3522	0.3296	
X2	0.981	0.4148	0.6099	0.4986	0.6897	0.7306	0.3	0.7722	0.4686	0.5055	0.5511	0.6039	0.5269	0.5415	0.5196	0.4951	0.1986	0.2026	0.2269	0.1328	0.261	0.2796	0.2768	0.2662	0.0468	0.1008	0.1057	0.3398	0.5025	0.3941	0.3154	0.2934	0.3024	0.3562	0.3887	0.3634	
Y2	0.414	0.095	0.0064	0.4835	0.577	0.6104	0.7722	0.3	0.3966	0.4441	0.5137	0.5538	0.5224	0.5734	0.565	0.547	0.166	0.2278	0.2488	0.1038	0.2271	0.2761	0.2769	0.2871	0.041	0.0935	0.1316	0.1717	0.4846	0.3712	0.3065	0.2899	0.3252	0.3779	0.3755	0.3442	
A3	0.3503	0.3868	0.3794	0.4455	0.5009	0.5016	0.4486	0.3264	0.3	0.7439	0.582	0.4718	0.3674	0.3033	0.2689	0.2512	0.165	0.1798	0.1681	0.1245	0.1227	0.1531	0.1412	0.1613	0.0633	0.1113	0.12	0.1081	0.484	0.4858	0.4192	0.3708	0.1751	0.2063	0.2137	0.198	
U3	0.4076	0.4518	0.446	0.4254	0.6197	0.6861	0.5055	0.4441	0.7439	0.3	0.7526	0.583	0.4521	0.3672	0.3274	0.2959	0.1921	0.1959	0.1889	0.1365	0.1406	0.157	0.1657	0.177	0.0712	0.1254	0.1469	0.1174	0.5635	0.5629	0.5115	0.4489	0.1894	0.2284	0.2383	0.2209	
X3	0.3842	0.4231	0.4179	0.5241	0.6817	0.6568	0.5611	0.5137	0.582	0.3	0.7553	0.7436	0.7436	0.4826	0.4526	0.4146	0.3678	0.1767	0.1486	0.1783	0.1203	0.1575	0.1878	0.1858	0.1765	0.0574	0.1207	0.143	0.121	0.6072	0.5329	0.4521	0.3814	0.1787	0.2244	0.2467	0.2286
Y3	0.3298	0.3442	0.4548	0.4266	0.6892	0.6071	0.6059	0.5838	0.4478	0.583	0.7436	0.4826	0.4611	0.4511	0.5197	0.4776	0.4632	0.1997	0.1611	0.1582	0.1578	0.189	0.2096	0.2162	0.1976	0.0309	0.0831	0.107	0.9992	0.3881	0.342	0.2907	0.1419	0.2223	0.2375	0.2305	
A8	0.4484	0.5231	0.6697	0.6409	0.5184	0.5388	0.5269	0.5224	0.3674	0.4291	0.4826	0.4611	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	
U8	0.4047	0.4489	0.3994	0.5541	0.4867	0.4773	0.5415	0.5734	0.3033	0.3672	0.4553	0.5197	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	
X8	0.3844	0.4168	0.3941	0.5222	0.4448	0.4315	0.5196	0.365	0.2889	0.3228	0.4146	0.4776	0.4632	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	
Y8	0.3664	0.3983	0.3568	0.5104	0.4194	0.4047	0.4954	0.5476	0.2352	0.2959	0.3678	0.4632	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	0.4511	
A12	0.275	0.2343	0.2337	0.724	0.181	0.2078	0.1986	0.2146	0.1765	0.1921	0.1767	0.1397	0.1572	0.1061	0.1102	0.0857	0.0968	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	
U12	0.3381	0.2995	0.2898	0.2153	0.2909	0.2429	0.2426	0.2278	0.1798	0.1999	0.1846	0.1611	0.1667	0.1102	0.0895	0.1266	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	0.2341	
X12	0.2612	0.236	0.2331	0.1785	0.2134	0.245	0.2269	0.2488	0.1481	0.1569	0.1783	0.1532	0.1019	0.0798	0.07	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	0.0831	
Y12	0.1774	0.1596	0.163	0.1206	0.1477	0.1734	0.1328	0.1038	0.1245	0.1363	0.1203	0.1348	0.057	0.0373	0.0319	0.0247	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	0.0166	
A14	0.2447	0.2235	0.2175	0.1858	0.2012	0.2207	0.261	0.2271	0.1227	0.1404	0.1375	0.189	0.178	0.161	0.1468	0.1725	0.2689	0.3834	0.3404	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	
U14	0.2699	0.2423	0.2344	0.2046	0.2131	0.2306	0.2796	0.2761	0.1331	0.137	0.1878	0.2086	0.1749	0.1884	0.175	0.1955	0.2689	0.397	0.2636	0.2164	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	
X14	0.3063	0.2823	0.2719	0.2196	0.2309	0.2287	0.2768	0.2749	0.1412	0.1657	0.1858	0.2162	0.1733	0.1974	0.1929	0.2052	0.2289	0.3262	0.3162	0.2246	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235	0.2447	0.2235		
Y14	0.3318	0.3044	0.3002	0.2333	0.2353	0.2344	0.2662	0.2871	0.1613	0.177	0.1765	0.1906	0.1705	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105	0.2105		
A16	0.1388	0.1314	0.1151	0.079	0.0515	0.0674	0.0468	0.0411	0.0663	0.0716	0.0674	0.0609	0.0572	0.066	0.0467	0.0303	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354		
U16	0.1631	0.158	0.139	0.1316	0.1086	0.1276	0.1008	0.0995	0.1113	0.1254	0.1201	0.0891	0.1137	0.0977	0.1035	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	
X16	0.1668	0.1427	0.1334	0.1247	0.1158	0.1339	0.1057	0.1316	0.2	0.1469	0.16	0.107	0.0828	0.1208	0.0914	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714		
Y16	0.1338	0.1256	0.1193	0.1284	0.1274																																

Score 0.7 (RedGreen)

	A1	U1	X1	Y1	A2	U2	X2	Y2	A3	U3	X3	Y3	A8	UB	X8	Y8	A12	U12	X12	Y12	A14	U14	X14	Y14	A16	U16	X16	Y16	A17	U17	X17	Y17	A20	U20	X20	Y20		
A1	0.722	0.722	0.722	0.722	0.711	0.6421	0.5365	0.5388	0.5175	0.5842	0.5509	0.4693	0.5188	0.4163	0.3798	0.3798	0.3151	0.4155	0.3304	0.2232	0.306	0.3166	0.371	0.4163	0.1261	0.1367	0.1369	0.1219	0.5237	0.6884	0.725	0.538	0.2638	0.4005	0.4056	0.4548		
U1	0.6821	1	0.6856	0.6738	0.6186	0.535	0.5735	0.5636	0.5677	0.6414	0.6054	0.4921	0.6138	0.4815	0.4327	0.4294	0.2785	0.3483	0.2878	0.1973	0.2707	0.2829	0.335	0.3873	0.1204	0.14	0.1394	0.1229	0.5803	0.735	0.735	0.385	0.2406	0.3269	0.3356	0.367		
X1	0.6723	0.6723	0.6723	0.6723	0.6357	0.6113	0.6091	0.5692	0.5627	0.5569	0.6295	0.5956	0.4924	0.5859	0.4684	0.4774	0.4474	0.2869	0.375	0.3004	0.2083	0.2782	0.2906	0.3494	0.3948	0.1182	0.134	0.135	0.1185	0.5704	0.735	0.735	0.385	0.2312	0.3431	0.3496	0.3884	
Y1	0.722	0.6723	0.6723	0.6723	0.6357	0.6113	0.6091	0.5692	0.5627	0.5569	0.6295	0.5956	0.4924	0.5859	0.4684	0.4774	0.4474	0.2869	0.375	0.3004	0.2083	0.2782	0.2906	0.3494	0.3948	0.1182	0.134	0.135	0.1185	0.5704	0.735	0.735	0.385	0.2312	0.3431	0.3496	0.3884	
A2	0.5711	0.6186	0.6113	0.6113	1	0.6262	0.627	0.7652	0.6779	0.7292	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.6012	0.2883	0.2906	0.2087	0.1459	0.2023	0.2238	0.2691	0.2978	0.0873	0.1352	0.1295	0.1277	0.238	0.735	0.735	0.63	0.6159	0.1702	0.239	0.2511	0.2442
U2	0.6421	0.61	0.691	0.6103	0.7262	1	0.8633	0.7766	0.6779	0.7292	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.6012	0.2883	0.2906	0.2087	0.1459	0.2023	0.2238	0.2691	0.2978	0.0873	0.1352	0.1295	0.1277	0.238	0.735	0.735	0.63	0.6159	0.1702	0.239	0.2511	0.2442
X2	0.5365	0.5735	0.5692	0.6957	0.6471	0.8633	1	0.763	0.629	0.6731	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.6012	0.2883	0.2906	0.2087	0.1459	0.2023	0.2238	0.2691	0.2978	0.0873	0.1352	0.1295	0.1277	0.238	0.735	0.735	0.63	0.6159	0.1702	0.239	0.2511	0.2442
Y2	0.5388	0.5636	0.5627	0.6723	0.6685	0.7766	0.7766	1	0.5524	0.6011	0.6982	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333	0.6012	0.2883	0.2906	0.2087	0.1459	0.2023	0.2238	0.2691	0.2978	0.0873	0.1352	0.1295	0.1277	0.238	0.735	0.735	0.63	0.6159	0.1702	0.239	0.2511	0.2442
A3	0.5175	0.577	0.5869	0.6494	0.6779	0.629	0.5529	0.5529	0.5365	0.5842	0.5509	0.4693	0.5188	0.4163	0.3798	0.3798	0.3151	0.4155	0.3304	0.2232	0.306	0.3166	0.371	0.4163	0.1261	0.1367	0.1369	0.1219	0.5237	0.6884	0.725	0.538	0.2638	0.4005	0.4056	0.4548		
U3	0.5842	0.6414	0.6295	0.6494	0.6779	0.629	0.5529	0.5529	0.5365	0.5842	0.5509	0.4693	0.5188	0.4163	0.3798	0.3798	0.3151	0.4155	0.3304	0.2232	0.306	0.3166	0.371	0.4163	0.1261	0.1367	0.1369	0.1219	0.5237	0.6884	0.725	0.538	0.2638	0.4005	0.4056	0.4548		
X3	0.5909	0.6054	0.5956	0.5956	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012		
Y3	0.4693	0.4921	0.4924	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012	0.6012			
A8	0.5188	0.6138	0.5859	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138	0.6138			
UB	0.4163	0.4815	0.4684	0.6685	0.6736	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515			
X8	0.3798	0.4327	0.4274	0.5992	0.6064	0.6736	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515			
Y8	0.3798	0.4327	0.4274	0.5992	0.6064	0.6736	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515	0.6515			
A12	0.3151	0.2755	0.2869	0.2083	0.2507	0.2724	0.2457	0.238	0.2887	0.2755	0.2565	0.2087	0.131	0.1004	0.0609	0.0898	0.0898	0.0898	0.1109	0.0878	0.0434	0.1564	0.1791	0.1969	0.2139	0.0177	0.0424	0.926	0.527	0.3785	0.2971	0.2917	0.5059	0.1183	0.1221	0.1277		
U12	0.4155	0.3583	0.375	0.2896	0.2938	0.3108	0.2816	0.2703	0.2674	0.2931	0.273	0.2246	0.1791	0.1212	0.1036	0.1119	0.0898	0.0898	0.1109	0.0878	0.0434	0.1564	0.1791	0.1969	0.2139	0.0177	0.0424	0.926	0.527	0.3785	0.2971	0.2917	0.5059	0.1183	0.1221	0.1277		
X12	0.3304	0.2878	0.3004	0.2087	0.2586	0.2808	0.2513	0.3213	0.2806	0.2685	0.2534	0.2134	0.1274	0.0971	0.0928	0.0878	0.0878	0.0878	0.1109	0.0878	0.0434	0.1564	0.1791	0.1969	0.2139	0.0177	0.0424	0.926	0.527	0.3785	0.2971	0.2917	0.5059	0.1183	0.1221	0.1277		
Y12	0.2232	0.1973	0.2033	0.1659	0.1735	0.1921	0.1579	0.1369	0.1467	0.1667	0.1956	0.2114	0.1785	0.1653	0.1536	0.1544	0.1544	0.1544	0.1667	0.1544	0.1274	0.1941	0.2124	0.2075	0.1789	0.0515	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728			
A14	0.366	0.2707	0.2782	0.2682	0.222	0.2254	0.2252	0.2179	0.1766	0.1867	0.1956	0.2114	0.1785	0.1653	0.1536	0.1544	0.1544	0.1544	0.1667	0.1544	0.1274	0.1941	0.2124	0.2075	0.1789	0.0515	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728			
U14	0.3166	0.2829	0.2906	0.2298	0.241	0.2455	0.2513	0.2476	0.1932	0.2022	0.2284	0.2341	0.2009	0.1994	0.1726	0.1791	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841	0.1841			
X14	0.371	0.335	0.3434	0.2491	0.2339	0.2439	0.2466	0.2458	0.1995	0.2098	0.2081	0.2232	0.403	0.2	0.195	0.1954	0.2754	0.3334	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031	0.3031			
Y14	0.4163	0.3873	0.3948	0.2978	0.2555	0.2756	0.2631	0.2653	0.2443	0.2461	0.2407	0.2275	0.2269	0.2153	0.2228	0.2159	0.2622	0.3084	0.2804	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979	0.2979			
A16	0.1261	0.1204	0.1182	0.0973	0.0677	0.0927	0.0328	0.0431	0.0966	0.1	0.0809	0.6224	0.3655	0.3222	0.085	0.177	0.2138	0.1081	0.2071	0.3661	0.0972	0.0909	0.0931	0.1104	0.0972	0.1307	0.1092	0.1568	0.1676	0.1676	0.1676	0.1676	0.1676	0.1676	0.1676			
U16	0.1367	0.14	0.138	0.162	0.1352	0.162	0.1357	0.1207	0.1625	0.1695	0.169	0.1616	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695			
X16	0.1469	0.1394	0.135	0.1295	0.1238	0.1399	0.1031	0.0984	0.1538	0.16	0.1629	0.1968	0.0749	0.1407	0.0356	0.156	0.3264	0.2238	0.369	0.4123	0.1092	0.0997	0.1068	0.6236	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161			
Y16	0.1219	0.129	0.1185	0.1277	0.1387	0.1635																																

4.5.6 เกณฑ์การเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบกับค่า Coefficient of Determination (r^2)

การวิเคราะห์จำนวน 1296 คู่จากการทดลองเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพโดยใช้เกณฑ์การพิจารณา ได้ข้อสรุปดังตาราง

ตารางที่ 4.26 เกณฑ์การเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบกับค่า Coefficient of Determination (r^2)

Score	สีแดง	สีเหลือง	สีเขียว
0.80	144	0	0
0.75	144	0	0
0.70	144	0	0
0.65	144	0	0

หมายเหตุ : สีแดง คือ Positive
สีเหลือง คือ Fault
สีเขียว คือ Fault positive

4.5.7 ผลการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบกับค่า Coefficient of Determination (r^2)

การวิเคราะห์จำนวน 1296 คู่จากการทดลองเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพโดยใช้เกณฑ์การพิจารณา ทั้ง 4 ระบบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบ Score 2 แบบ คือกรณีมีทั้ง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินพบว่า ค่า Score 0.80 0.75 0.70 และ 0.65 จำนวนค่า Fault มีมาก กรณีที่สองคือ มีทั้งสีแดงและสีเหลือง ค่า Score 0.80 0.75 0.70 และ 0.65 จำนวนค่า Fault มีค่าลดลง แต่เกิด fault Positive มากขึ้น ได้ข้อสรุปดังตาราง

ตารางที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบกับค่า Coefficient of Determination (r^2) กรณีมีทั้ง Red Green Blue

Red, Green, Blue			
Score	แดง	เหลือง	เขียว
0.80	62	82	0
0.75	80	64	0
0.70	102	42	0
0.65	110	26	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบภาพโครมาโตแกรมจากการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2) กรณีมีทั้ง Red Green

Red, Green			
Score	แดง	เหลือง	เขียว
0.80	110	34	26
0.75	124	20	62
0.7	128	16	106
0.65	132	12	146

หมายเหตุ : สีแดง คือ Positive
 สีเหลือง คือ Fault
 สีเขียว คือ Fault positive

4.5.8 ผลการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro 2017

การวิเคราะห์จำนวน 1296 คู่จากการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro 2017 ใช้เกณฑ์การพิจารณา ทั้ง 4 ระบบ ค่า Score 0.80 0.75 0.70 และ 0.65 และทำการเปรียบเทียบด้วยจำนวนพิกัด พื้นที่กราฟ Max-Height FWHM และ Center Gravity พบว่าช่วยลดจำนวน Fault positive ได้ ซึ่งการเปรียบเทียบความเหมือนกันพบว่า ลักษณะเหมือนกัน 70 % ช่วยลดค่า Fault positive ได้น้อยกว่า แต่สามารถลดค่า Fault ได้มากกว่าลักษณะเหมือนกัน 90%

ตารางที่ 4.29 ผลการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginPro กรณีมีทั้ง Red Green Blue

RGB															
ก่อน				เหมือน 70%				เหมือน 80%				เหมือน 90%			
Score	P	F	FP	Score	P	F	FP	Score	P	F	FP	Score	P	F	FP
0.80	62	82	0	0.80	134	10	0	0.80	121	23	0	0.80	82	62	0
0.75	80	64	0	0.75	134	10	0	0.75	126	18	0	0.75	96	48	0
0.70	102	42	0	0.70	138	6	0	0.70	133	11	0	0.70	114	30	0
0.65	110	26	8	0.65	140	4	2	0.65	137	7	2	0.65	126	18	0

หมายเหตุ : P คือ Positive
 F คือ Fault
 FP คือ Fault positive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 ผลการเปรียบเทียบกราฟด้วยโปรแกรม OriginProกรณีมีทั้ง Red Green

RG															
ก่อน				เหมือน 70%				เหมือน 80%				เหมือน 90%			
Score	P	F	FP	Score	P	F	FP	Score	P	F	FP	Score	P	F	FP
0.80	110	34	26	0.80	137	7	6	0.80	134	10	4	0.80	119	25	0
0.75	124	20	62	0.75	138	6	9	0.75	135	9	8	0.75	129	15	0
0.70	128	16	106	0.70	140	4	9	0.70	138	6	8	0.70	132	12	0
0.65	132	12	146	0.65	141	3	14	0.65	141	3	8	0.65	135	9	0

หมายเหตุ : P คือ Positive
 F คือ Fault
 FP คือ Fault positive



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและเปรียบเทียบหมึกปากกาทุกสีน้ำเงินทั้งหมด 9 ชนิด ด้วยเทคนิค Thin-layer Chromatography และการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งได้ทำการทดลองจากการระบายลงบนเอกสาร

ตัวทำละลายที่เหมาะสมและใช้ในการทดลอง คือ Ethanol ในขั้นตอนนี้ต้องทำการสังเกตสีและความเข้มข้นของหมึกที่ตัวทำละลายสามารถสกัดออกมาได้ เมื่อมองด้วยตาเปล่าพบว่า Ethyl acetate มีสารเป็นสีม่วง ในขณะที่ Ethanol n-Butanol Acetone และMethanol มีสีน้ำเงิน ต่อมาตรวจสอบหยดสารบนแผ่น TLC เพื่อดูลักษณะการกระจายของหยดสาร ซึ่งEthyl acetate มีขอบการกระจายสีม่วง ในขณะที่ Ethanol n-Butanol Acetone และMethanol มีการกระจายสีน้ำเงิน และEthanol ขอบการกระจายเข้มที่สุด ต่อมาทำการ spot ลงบนแผ่นทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี โดยใช้ระบบเฟสเดียวกันคือ Ethyl acetate : Ethanol : H₂O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 (v/v/v) พบว่าตัวทำละลายที่สามารถสกัดหมึกออกมาได้ดีที่สุดคือ Ethanol เมื่อนำมา spot บนแผ่นทินเลเยอร์แล้วได้โครมาโตแกรมชัดเจน

ในการศึกษาระบบเฟสทั้ง 3 ระบบ โดยใช้ตัวทำละลายที่ได้จากการทดลองคือ Ethanol ซึ่งเฟสเคลื่อนที่ n-Butanol : Ethanol : H₂O เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพได้โครมาโตแกรมชัดเจนที่สุด ต่อมาทำการหาความละเอียดของระบบเฟส 2 ชุด โดยชุดแรกทำการเพิ่ม Ethanol พบว่า สีที่ได้ของโครมาโตแกรมจางลงและความห่างกันของส่วนประกอบหมึกมีมากขึ้น ต่อมาทำการทดลองชุดที่สองโดยเพิ่ม H₂O ในระบบเฟสพบว่า สีที่ได้ของโครมาโตแกรมจางลงเช่นเดียวกันแต่ส่งผลให้ภาพโครมาโตแกรมไม่ชัดเจน ซึ่งจากการทดลองทั้งสองแบบนี้ได้ข้อสรุปว่าระบบเฟสที่ให้โครมาโตแกรมที่ดีที่สุดคือ n-Butanol : Ethanol : H₂O ในอัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v) ดังนั้นผู้ทดลองได้เลือกระบบเฟสนี้เพื่อทำการทดลอง

ในการศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสม ใช้ตัวทำละลาย Ethanol และใช้ระบบเฟสเคลื่อนที่คือ n-Butanol : Ethanol : H₂O ในอัตราส่วน 50 : 25 : 10 (v/v/v) พบว่าเมื่อทดลองใช้ปริมาณสารที่น้อยกว่า 10 ul ตัวอย่างของหมึกปากกาถูกดูดซับสารละลายไปหมดจนไม่สามารถ spot ลงบนแผ่น TLC ได้ เพราะเหตุนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มสารละลายตั้งแต่ 10-150 ul พบว่าปริมาณสารที่นำมา spot ดีที่สุดคือ 50 ul เมื่อทำการตรวจสอบด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ต่อมาทำการปรับปริมาณสารอย่างละเอียดโดยทดลองที่ 60-90 ul เพื่อหาปริมาณสารที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่า ตัวอย่าง 1 ชิ้นต่อ ปริมาณ Ethanol 70 ul เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาตัวอย่างจากการระบายจากปากกาลูกกลิ้งทั้งหมด 9 ชนิด ชนิดละ 5 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ภาพ เพื่อเลือกโครมาโตแกรมที่ดีที่สุด ในการวิเคราะห์พบว่าโครมาโตแกรมที่ได้มีสีชัดเจน มีเพียงบางส่วนมีการแยกของโครมาโตแกรมไม่ชัดเจนเนื่องจากในการระบาย มีการทับกันของเส้นสี ทำให้หมึกจับตัวเป็นก้อนเมื่อนำมาสกัดจึงทำให้แยกออกจากกันไม่ได้

ในการศึกษาการเปรียบเทียบด้วยค่า Coefficient of Determination (r^2) ทั้ง 4 ระบบ คือ Score 0.80 0.75 0.70 และ 0.65 พบว่า Score 0.8 เกิดค่า fault มากที่สุด ส่วน Score 0.65 เกิดค่า Positive มากที่สุด สรุปได้ว่าเมื่อทำการลดเกณฑ์ Score ค่า Positive จะมีค่ามากขึ้นและค่า fault มีค่าน้อยลง

ต่อมาทำการศึกษาโดยการ คิดค่า Score เพียงสีแดงและสีเขียว พบว่า พบว่า Score 0.8 เกิดค่า fault มากที่สุด ส่วน Score 0.65 เกิดค่า Positive มากที่สุด และ Score 0.8 เกิดค่า Fault positive น้อยที่สุด สรุปได้ว่า เมื่อทำการลดเกณฑ์ Score ค่า Positive จะมีค่ามากขึ้น ค่า fault มีค่าน้อยลง และค่า Fault positive มากขึ้น

ในขั้นตอนสุดท้ายทำการเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ โดยดูจาก จำนวนพิก จุดพื้นที่กราฟ ความสูงกราฟ FWHM และ Center Gravity สามารถลดจำนวน Fault positive ได้ โดยเก็บค่า 3 แบบ คือ คะแนนมากกว่า 90% 80% และ 70% พบว่า คะแนนมากกว่า 70% ช่วยลดค่า Fault positive ได้น้อยกว่า 80% และ 90% แต่สามารถลดค่า Fault ได้มากกว่า 80% และ 90%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองที่กล่าวมาผู้ทำการทดลองมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจศึกษาดังนี้

- 1) การ spot สารต้องไม่ทิ้งไว้นานเกิน 10 นาที เพราะหมึกจะซึมเข้าไปในแผ่น TLC มาก เมื่อทำการทดลอง สารไม่สามารถแยกส่วนประกอบออกมาได้
- 2) เฟสเคลื่อนที่ในการทดลองไม่ควรใช้เกิน 2 ครั้ง เพราะเมื่อทำการทดลองสารลดน้อยลง เมื่อทำต่อ เวลาที่เราตั้งไว้ใน การทดลองเกิดการคลาดเคลื่อน
- 3) เข็มที่ใช้ spot สาร ไม่ควรใช้เข็มที่มีหัวปลายแหลม เพราะเมื่อทำการ spot สาร เข็มจะขูดเอาผิวหน้าของแผ่น TLC ออกมาทำให้ผลคลาดเคลื่อน
- 4) การเปรียบเทียบหมึกปากกาลูกกลิ้งควรทำการทดลองจากแผ่นเดียวกันเพื่อควบคุมการทดลองให้อยู่ในสถานะเดียวกันเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อน
- 5) ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างควรมีการควบคุมน้ำหนักมือที่ใช้ระบายให้เท่ากัน เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อน
- 6) ภาพโครมาโตแกรมที่ได้หลังการทดลองไม่ควรทิ้งไว้เกิน 5 นาที ควรทำการเป่าลมร้อนให้สารแห้งและนำไปสแกน ด้วยเครื่องสแกนเนอร์ทันที เพื่อป้องกันค่าที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Djavanshir Djozan, Tahmineh Baheri, Ghader Karimian and Masomeh Shahidiwf. (2008) “Forensic discrimination of blue ballpoint pen inks based on thin layer chromatography and image analysis.” Forensic Science International, 179 (August) : 199-205.
- [2] Kerry L. Taylor, Anika E. Brackenridge, Melané A. Viviera, Anita Oberholster. (2006) “High-performance liquid chromatography profiling of the major carotenoids in Arabidopsis thaliana leaf tissue.” Volume 1121, Issue 1, 14 July 2006, Pages 83–91
- [3] Adobe light room. 2017. **หลักการใช้สีและแสงในคอมพิวเตอร์.** [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/lrthedevelopedphoto/hlak-kar-chi-si-laea-saeng-ni-khxmphiwtexr>.
- [4] Bara Scientific. 2017. **Forensic Science.** [Online]. Available : <http://www.barascientific.com/article/Forensice/forensic.php>.
- [5] นิภา แยมวจิ. 2017. **การกำเนิดปากกา และวิวัฒนาการของการเขียน.** [Online]. Available : <http://www.moe.go.th/moe/th/news/detail.php>.
- [6] วิยะดา ธนพัฒนาชัย. 1995. **หมึกปากกาทำจากอะไร.** [Online]. Available : <http://guru.sanook.com/12146/>.
- [7] มยุรี สมบูรณ์. (2010). “การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาถูกลิ้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีและการวิเคราะห์ภาพ.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (นิติวิทยาศาสตร์) มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [8] สถาบันวัฒนธรรมและพัฒนากระบวนกรเรียนรู้ ม.มหิดล. 2017. **การดูดกสีแสงของสารประกอบอินทรีย์.** [Online]. Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page3_3.html.
- [9] วิมลมาศ โพธิ์รัมย์. (2012). “การวิเคราะห์หมึกสีดำจากปากกาถูกลิ้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีและโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (นิติวิทยาศาสตร์) มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] What is "Pens". 2017. **อันตรายจากปากกา**. [Online].
Available : <https://pens57.wordpress.com/อันตรายจากปากกา>
- [11] โครมาโทกราฟี. 2017. **Thin-layer Chromatography**. [Online].
Available : <https://sites.google.com/site/khormathokrafi/2-chromatography/2-2-thin-layer-chromatography>
- [12] Glassware Chemical. 2017. **หลักการของโครมาโทกราฟี**. [Online].
Available : <http://glasswarechemical.com/experimentals/หลักการของโครมาโทกราฟี/>
- [13] วิภาวดี ทับศรีแก้ว (2013). “การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของน้ำหมึกพิมพ์โดยวิธีทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (นิติวิทยาศาสตร์) มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [14] รศ.ดร.กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ. (2549). “การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)” แผนกผลิตตำราและสื่อการสอนคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] ดร. อิศรัฎฐ์ รินไธสง. 2555. การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ Correlation Analysis สถิติสำหรับการวิจัยทางการศึกษา. [Online]. Available : <http://www.edu.tsu.ac.th>.
- [16] Claude Roux, Michelle Novotny, Ian Evans and Chris Lennar. (1999) “A study to investigate the evidential value of blue and black ballpoint inks in Australia” Forensic Science International 101(3):167-176
- [17] Marcin KUNICKI. (2002) “DIFFERENTIATING BLUE BALLPOINT PEN INKS” Zagadnień Nauk dowych, z. LI, 2002, 56–70
- [18] Tiago Ferreira and Wayne Rasband. (2012) “ImageJ User Guide IJ 1.46r.” Tuesday 2nd October, 2012 : 71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Analysis

Data Set:[Book1]Sheet1!B"A1r"

Date:15/5/2017

BaseLine:Constant

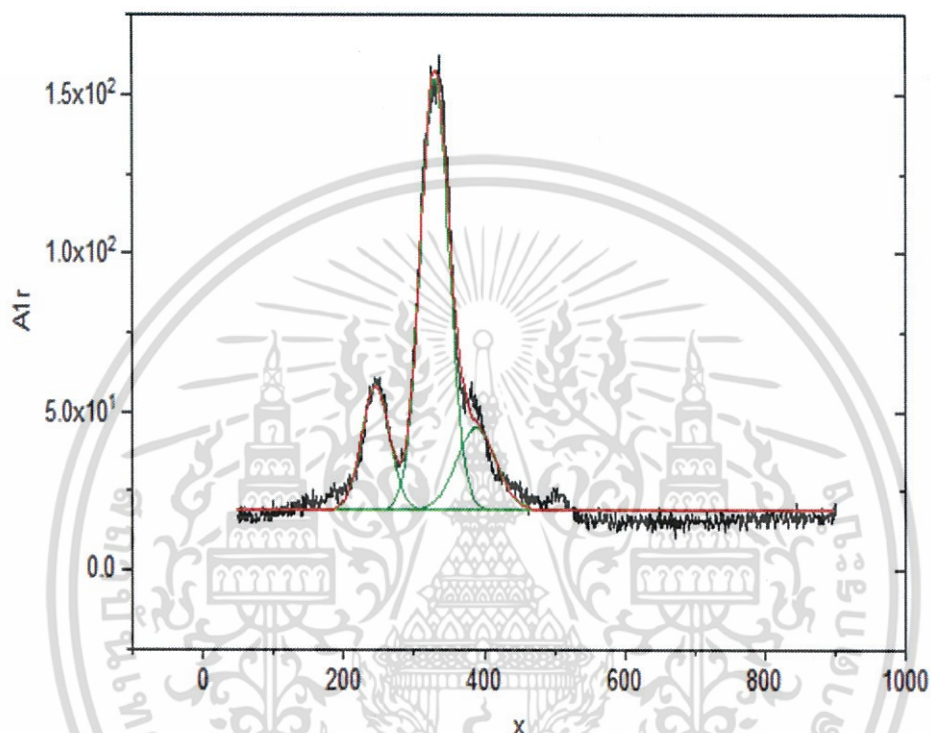
Chi²=1.23607E+001

Adj. R-Square=9.85377E-001

of Data Points=851

SS=1.04077E+004

Degree of Freedom=842



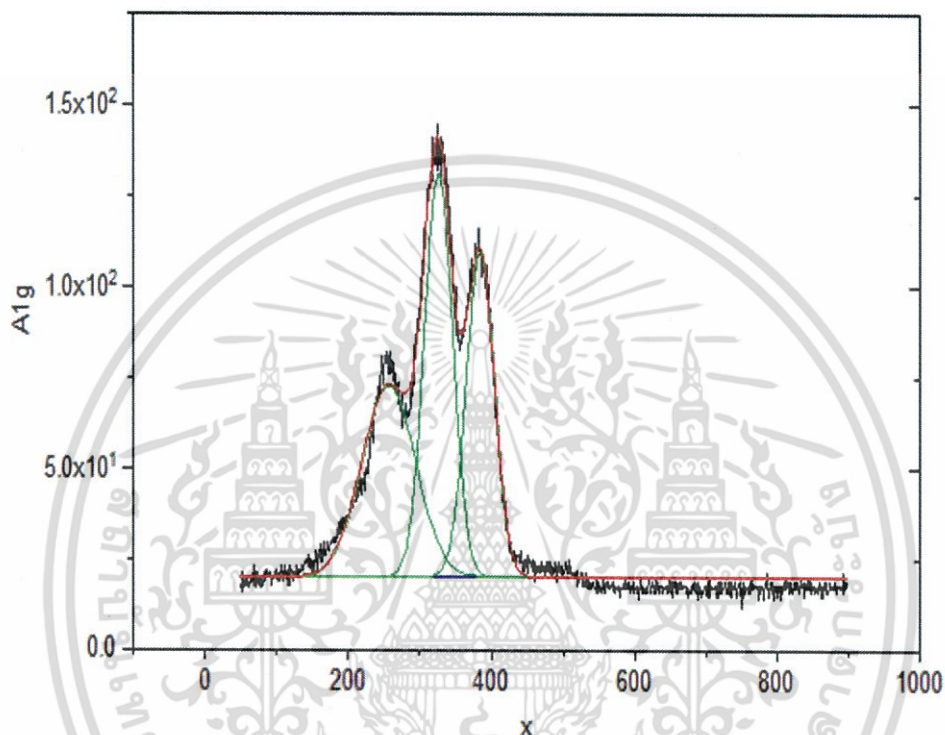
Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Area Intg	FWHM	Max Height	Center Grvty	Area IntgP
1	Gaussian	1919.04357	46.1524	39.06235	246.07968	18.00943
2	Gaussian	6931.29863	47.87779	136.00294	330.07174	65.04738
3	Gaussian	1805.42723	65.35316	25.95262	388.8569	16.94319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Analysis

Data Set:[Book1]Sheet1!B"A1g"	Date:15/5/2017	
BaseLine:Constant		
Chi ² =1.07315E+001	Adj. R-Square=9.89614E-001	# of Data Points=851
SS=9.03596E+003	Degree of Freedom=842	



Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Area Intg	FWHM	Max Height	Center Grvty	Area IntgP
1	Gaussian	4939.82671	87.67699	52.92902	257.01266	33.31668
2	Gaussian	5473.99426	46.36467	110.91364	326.36028	36.91937
3	Gaussian	4413.06723	46.34857	89.44828	384.66727	29.76395

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Analysis

Data Set:[Book1]Sheet1!B"A1B"

Date:15/5/2017

BaseLine:Constant

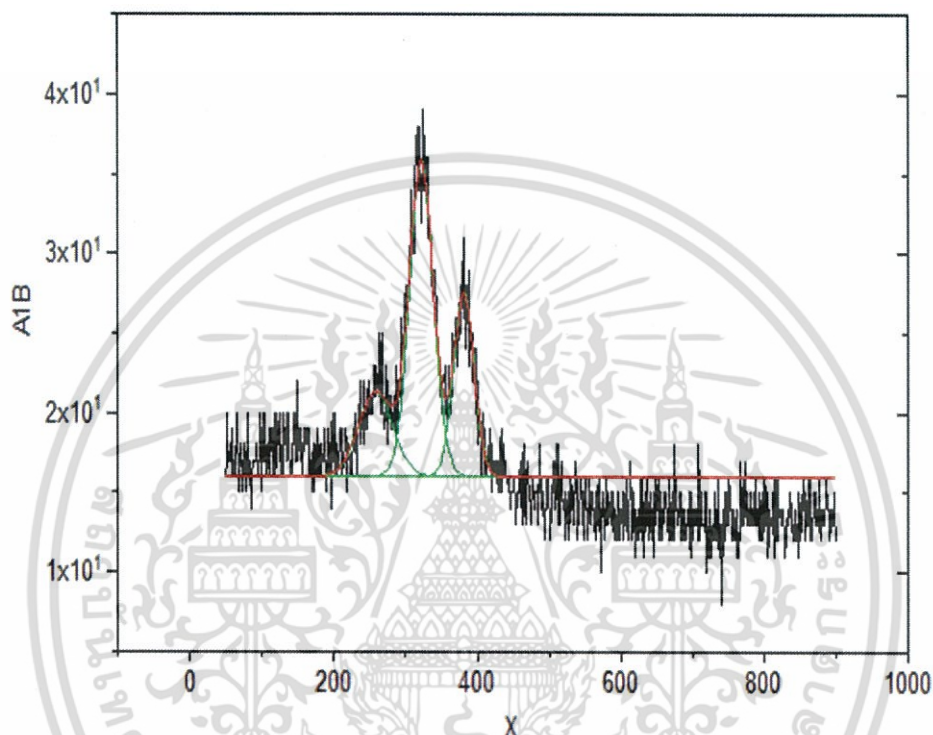
Chi²=5.19592E+000

Adj. R-Square=7.88308E-001

of Data Points=851

SS=4.37496E+003


Degree of Freedom=842



Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Area Intg	FWHM	Max Height	Center Grvty	Area IntgP
1	Gaussian	315.81351	55.79737	5.31722	258.73442	20.19578
2	Gaussian	842.92679	40.04914	19.77263	322.65594	53.90384
3	Gaussian	405.01981	33.07804	11.50282	381.97105	25.90038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ตารางการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกราฟ RGB ระหว่างคู่
หมึกปากกา 1299 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OriginPro 2017 ของทั้ง 5 ระบบ

Score 0.8																
คู่ปากกา	Score	จำนวนพิกเซล			พื้นที่ (%)			M-Height (Pixels)			FWHM (Pixels)			Center (Pixels)		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
A1-A1	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A1-U1	0.886	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
A1-X1	0.6701	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A1-Y1	0.6642	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
A1-A2	0.4071	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-U2	0.471	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-X2	0.3981	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-Y2	0.414	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-A3	0.3503	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗
A1-U3	0.4076	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
A1-X3	0.3842	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
A1-Y3	0.3298	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-A8	0.4484	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓
A1-U8	0.4047	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-X8	0.3844	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-Y8	0.3664	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
A1-A12	0.275	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
A1-U12	0.3381	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
A1-X12	0.2612	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
A1-Y12	0.1774	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
A1-A14	0.2447	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
A1-U14	0.2699	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
A1-X14	0.3063	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
A1-Y14	0.3318	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
A1-A16	0.1388	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
A1-U16	0.1631	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
A1-X16	0.1668	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
A1-Y16	0.1338	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
A1-A17	0.3911	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
A1-U17	0.5392	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓
A1-X17	0.5606	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
A1-Y17	0.5915	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OriginPro 2017 ของทั้ง 5 ระบบ(ต่อ)

Score 0.8																
คู่ปากกา	Score	จำนวนพิกเซล			พื้นที่ (%)			M-Height (Pixels)			FWHM (Pixels)			Center (Pixels)		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
A1-A20	0.1929	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
A1-U20	0.2854	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
A1-X20	0.2956	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
A1-Y20	0.3243	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
U1-A1	0.886	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
U1-U1	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
U1-X1	0.8987	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
U1-Y1	0.7671	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
U1-A2	0.4382	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-U2	0.5076	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-X2	0.4148	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-Y2	0.4095	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-A3	0.3868	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
U1-U3	0.4518	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗
U1-X3	0.4231	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗
U1-Y3	0.3442	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-A8	0.5231	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
U1-U8	0.4489	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-X8	0.4168	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-Y8	0.3983	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
U1-A12	0.2343	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
U1-U12	0.2995	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
U1-X12	0.236	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
U1-Y12	0.1596	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓
U1-A14	0.2235	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
U1-U14	0.2423	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
U1-X14	0.2823	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
U1-Y14	0.3044	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
U1-A16	0.1314	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
U1-U16	0.158	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OriginPro 2017 ของทั้ง 5 ระบบ(ต่อ)

Score 0.8																
คู่ปากกา	Score	จำนวนพิก			พื้นที่ (%)			M-Height (Pixels)			FWHM (Pixels)			Center (Pixels)		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
U1-X16	0.1427	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓
U1-Y16	0.1256	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓
U1-A17	0.4309	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓
U1-U17	0.5724	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓
U1-X17	0.5553	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓
U1-Y17	0.5716	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓
U1-A20	0.1775	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x
U1-U20	0.2303	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x
U1-X20	0.2409	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x
U1-Y20	0.2575	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x
X1-A1	0.8707	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
X1-U1	0.8987	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓
X1-X1	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
X1-Y1	0.77	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓
X1-A2	0.4346	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-U2	0.504	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-X2	0.4099	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-Y2	0.4064	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-A3	0.3794	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	✓	x
X1-U3	0.446	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x
X1-X3	0.4179	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x
X1-Y3	0.4548	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-A8	0.4697	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓
X1-U8	0.3994	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-X8	0.3941	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-Y8	0.3568	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓
X1-A12	0.2337	✓	x	✓	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓
X1-U12	0.2898	✓	x	✓	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓
X1-X12	0.2331	✓	x	✓	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓
X1-Y12	0.163	✓	x	✓	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓
X1-A14	0.2175	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



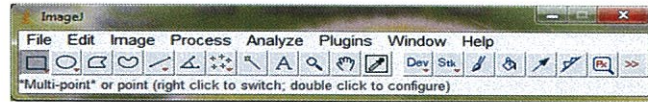
ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

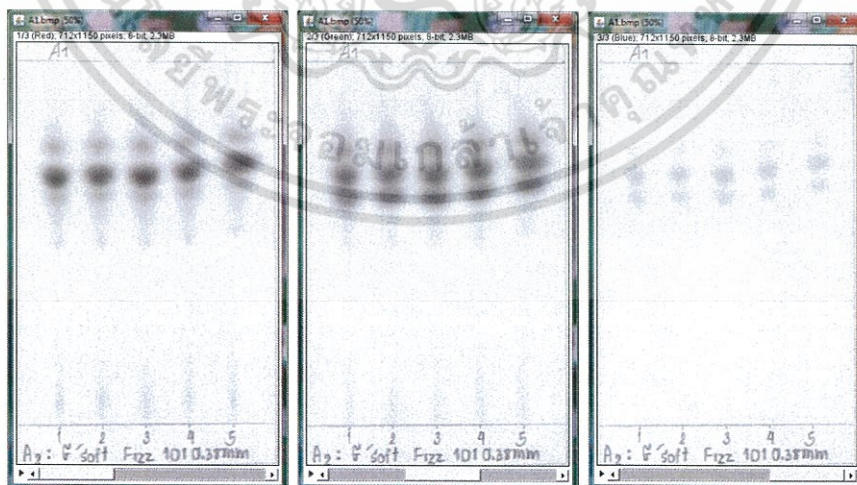
1. เปิดโปรแกรม ImageJ



2. ลากรูปมาวางในโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์

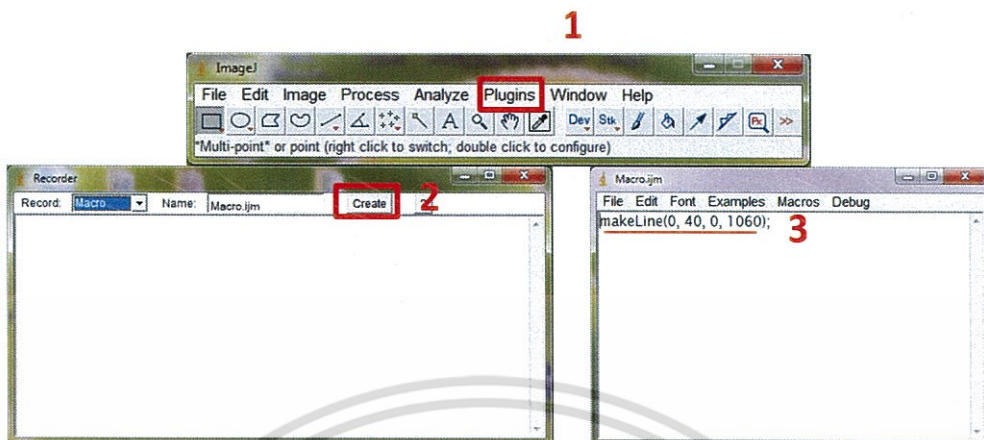


3. เลือก Image > Type > RGB Stack จะได้ รูปภาพทั้ง 3 แบบ คือ Red Green และBlue

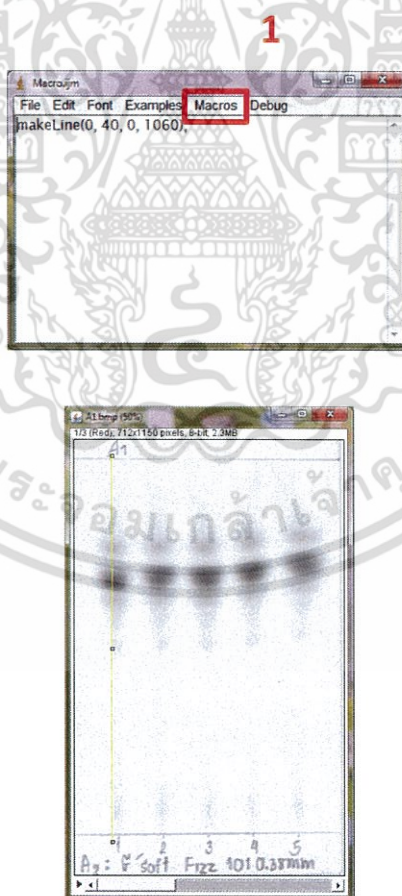


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ต่อมาทำการวิเคราะห์ ทั้ง 3 ภาพ เลือก Plugins > Macros > Record > Create จะได้หน้าต่างสำหรับเขียนโค้ด พิมพ์ makeLine(0, 40, 0, 1060);

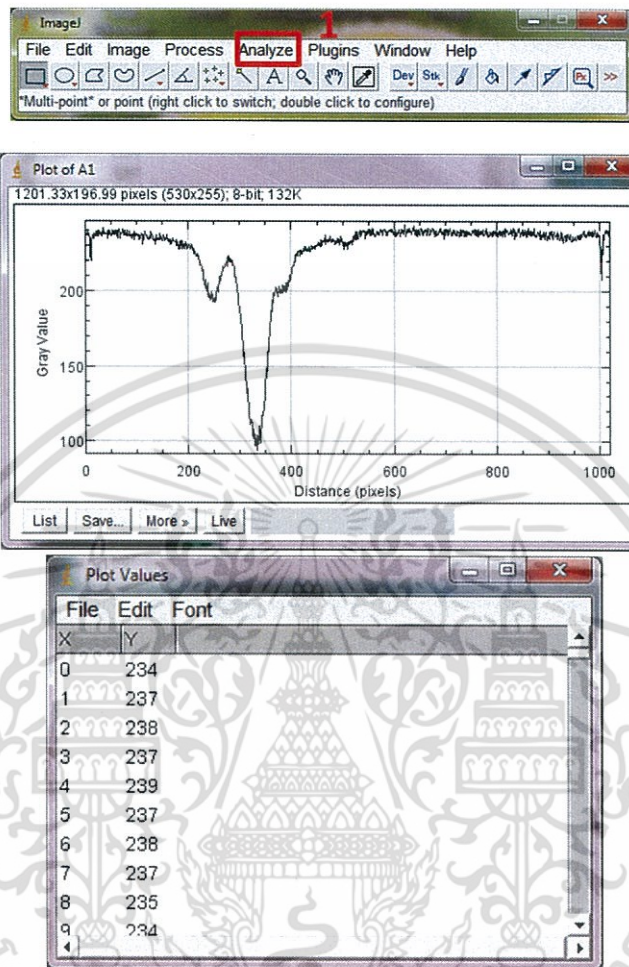


5. เมื่อพิมพ์โค้ดแล้ว คลิก Macros > Run Macro จะได้เส้นที่เป็นช่วงต้องการวิเคราะห์ให้เลื่อนด้วยคีย์บอร์ดไปบริเวณที่ต้องการทำการวิเคราะห์

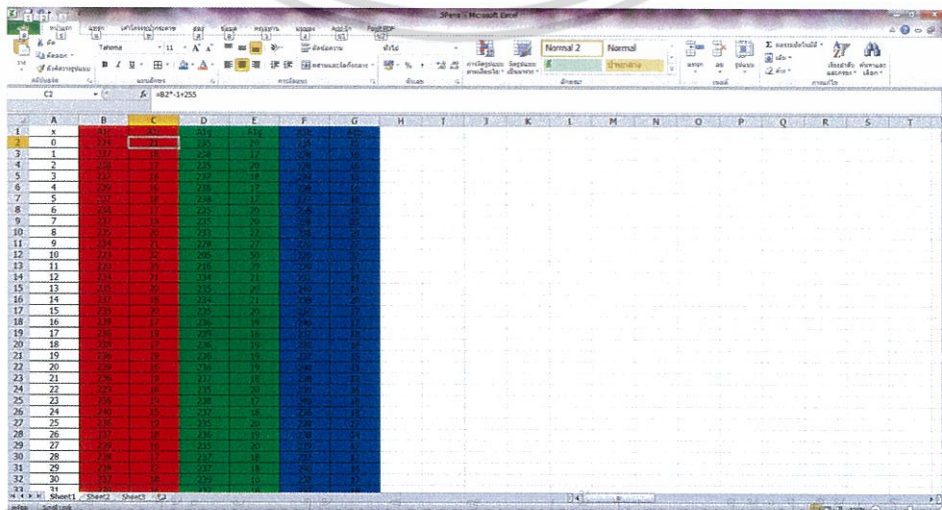


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กด Analyze > Plot Profile จะได้ กราฟการวิเคราะห์ภาพ คือ Plot of A1 และ Plot Values ของ Red ทำการวิเคราะห์เพิ่มอีกสองครั้ง คือ Green และBlue



6. Copy ไปใส่ใน Excel กลับเพสข้อมูล โดย นำค่า คูณกับ -1 บวกด้วย 255



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด กรุณาแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ค่าที่ได้จํานําไปคิดค่า Score ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



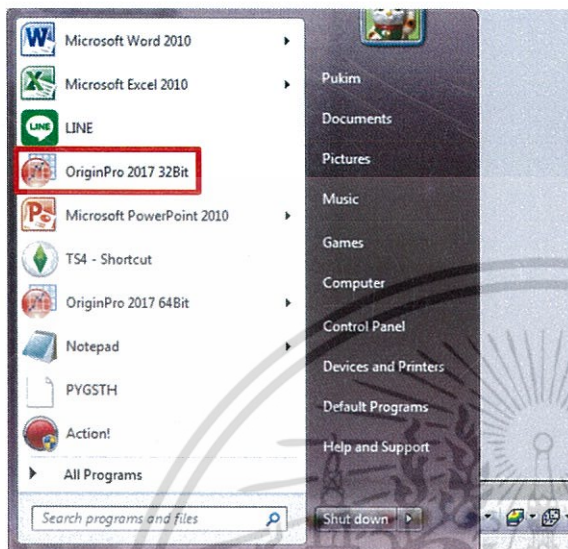
ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OriginPro 2017

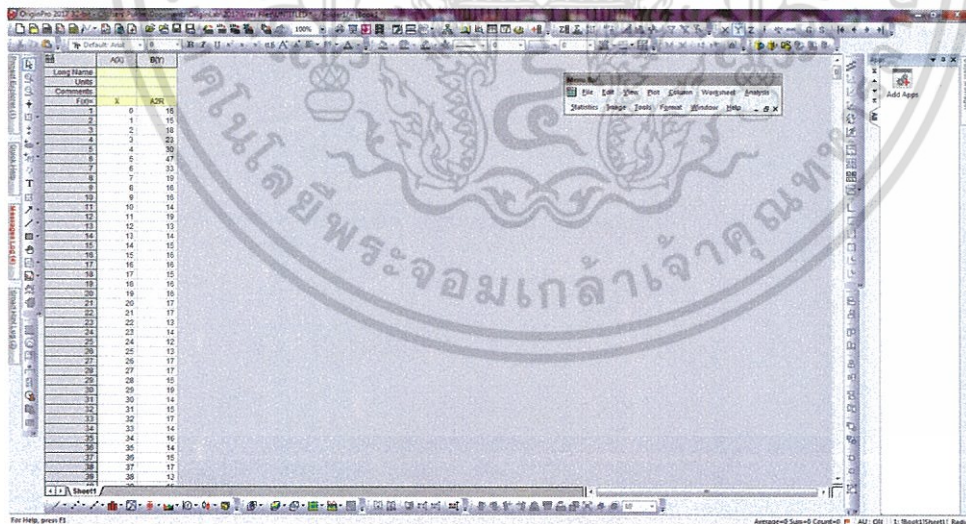
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OriginPro 2017

1.เปิดโปรแกรม OriginPro 2017

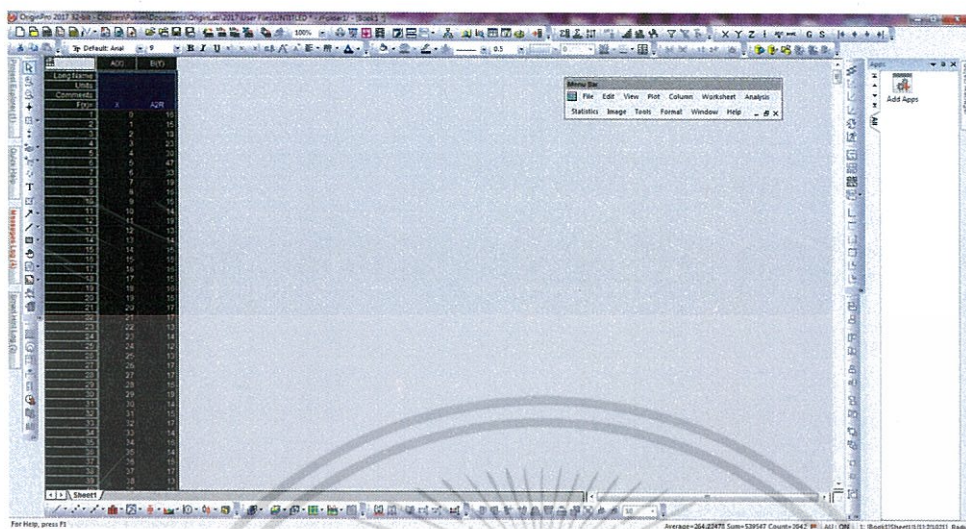


2.เมื่อเปิดโปรแกรมได้แล้ว ทำการ copy ตารางเปรียบเทียบใน Excel มาวางในโปรแกรม Origin

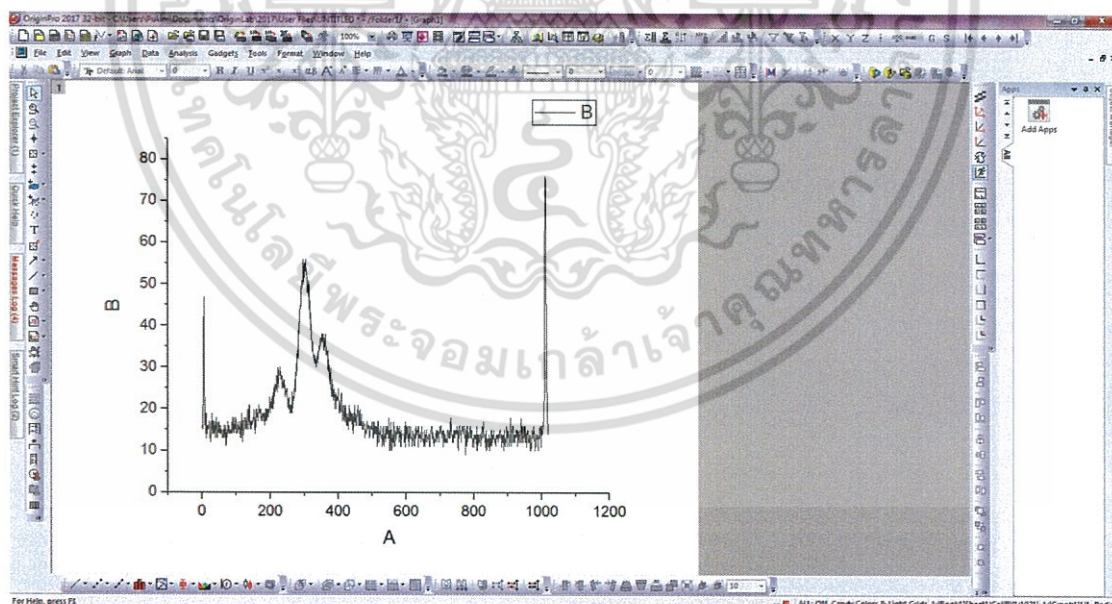


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลุ่มค่าตารางที่ต้องการ

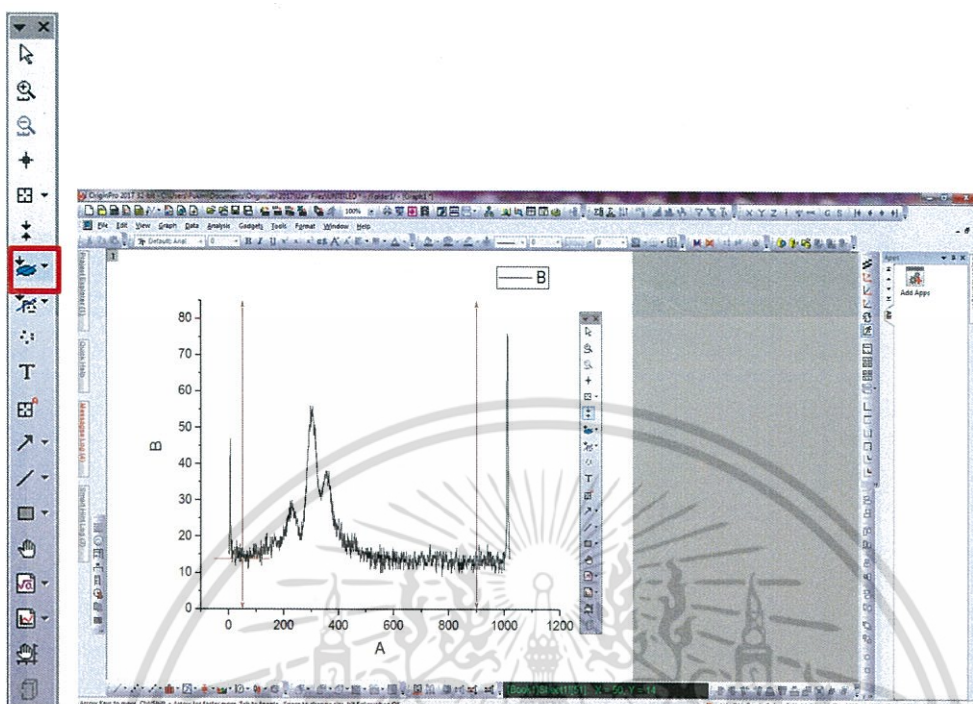


4. เลือก Line จะได้รับกราฟขึ้นมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

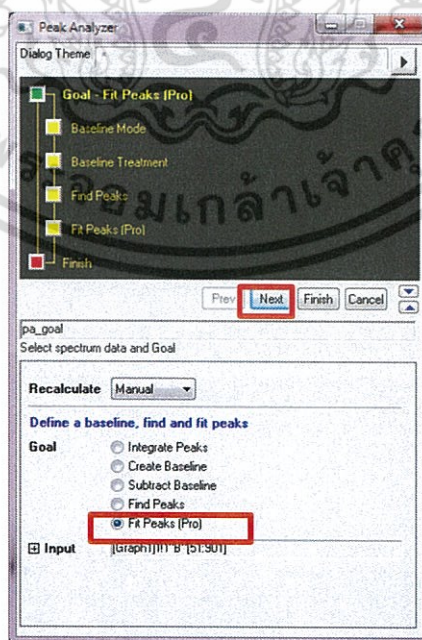
5.เลือก Selection on Active Plot เลือกช่วง 50-900 pixels



6.เลือก Analysis > Peaks and Baseline > Peaks Analyzer > Open Dialog

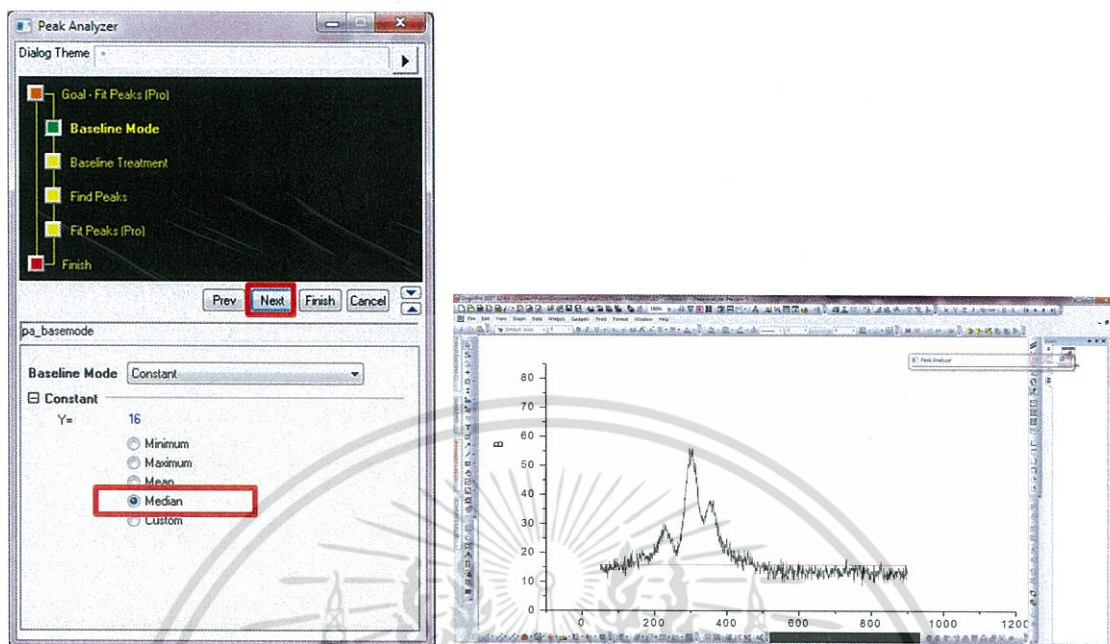


7.เลือก Fit Peaks (Pro) > Next

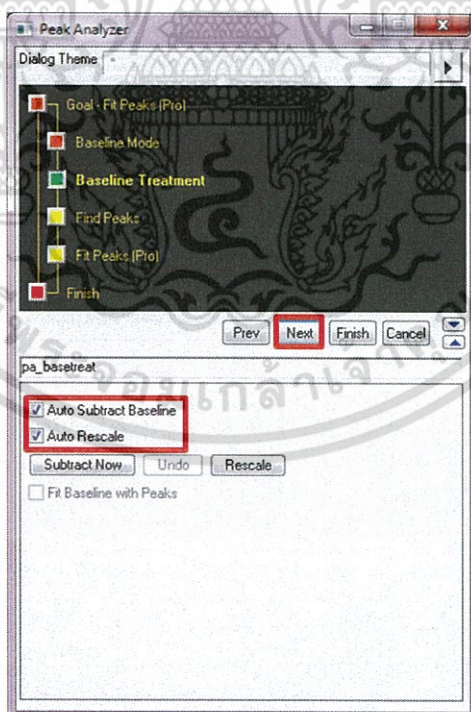


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.เลือก Constant > Median > Next

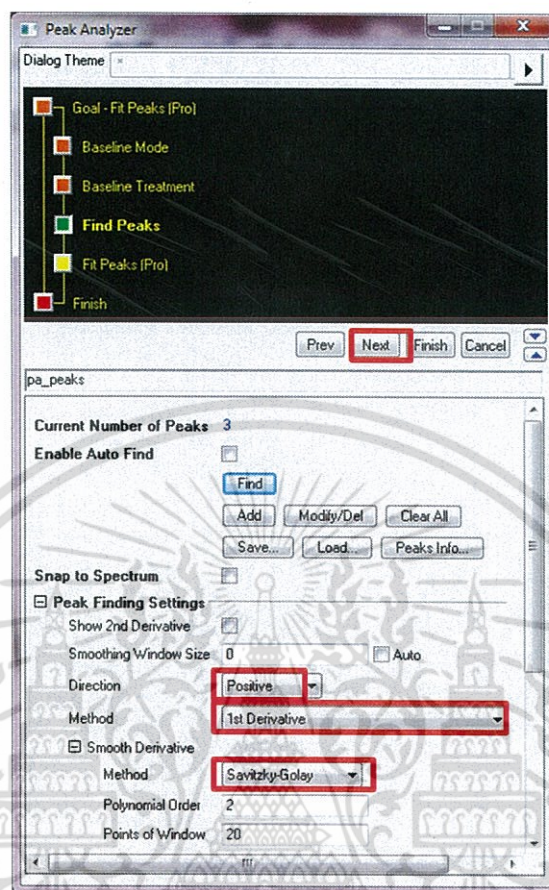


9.เลือก Auto Subtract Baseline และ Auto Rescale > Next



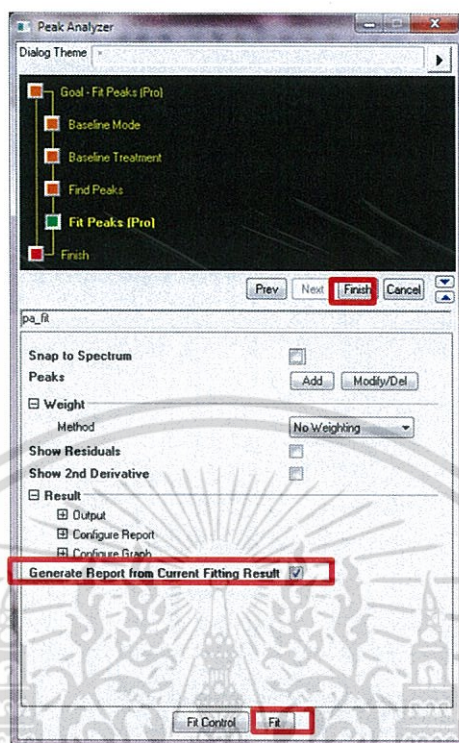
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.เลือก Positive และ 1st Derivative และ Savitzky-Golay > Next

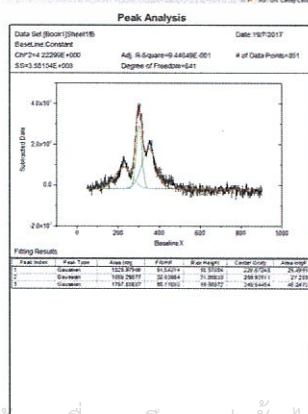
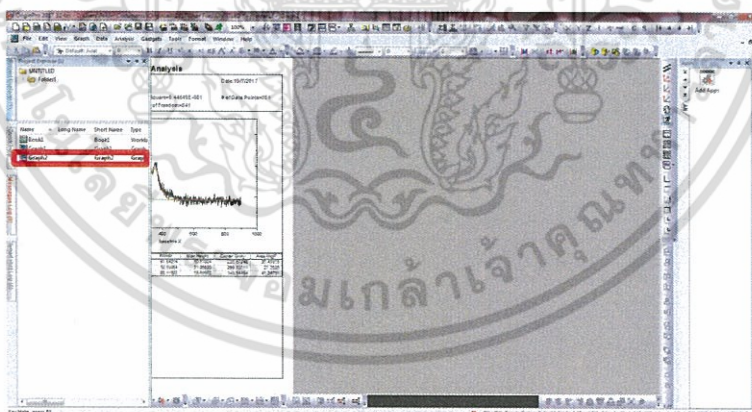


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เลือก Generate Report from Current Fitting Result และ Fit > Finish



12. งานที่ได้ คือ Graph 2



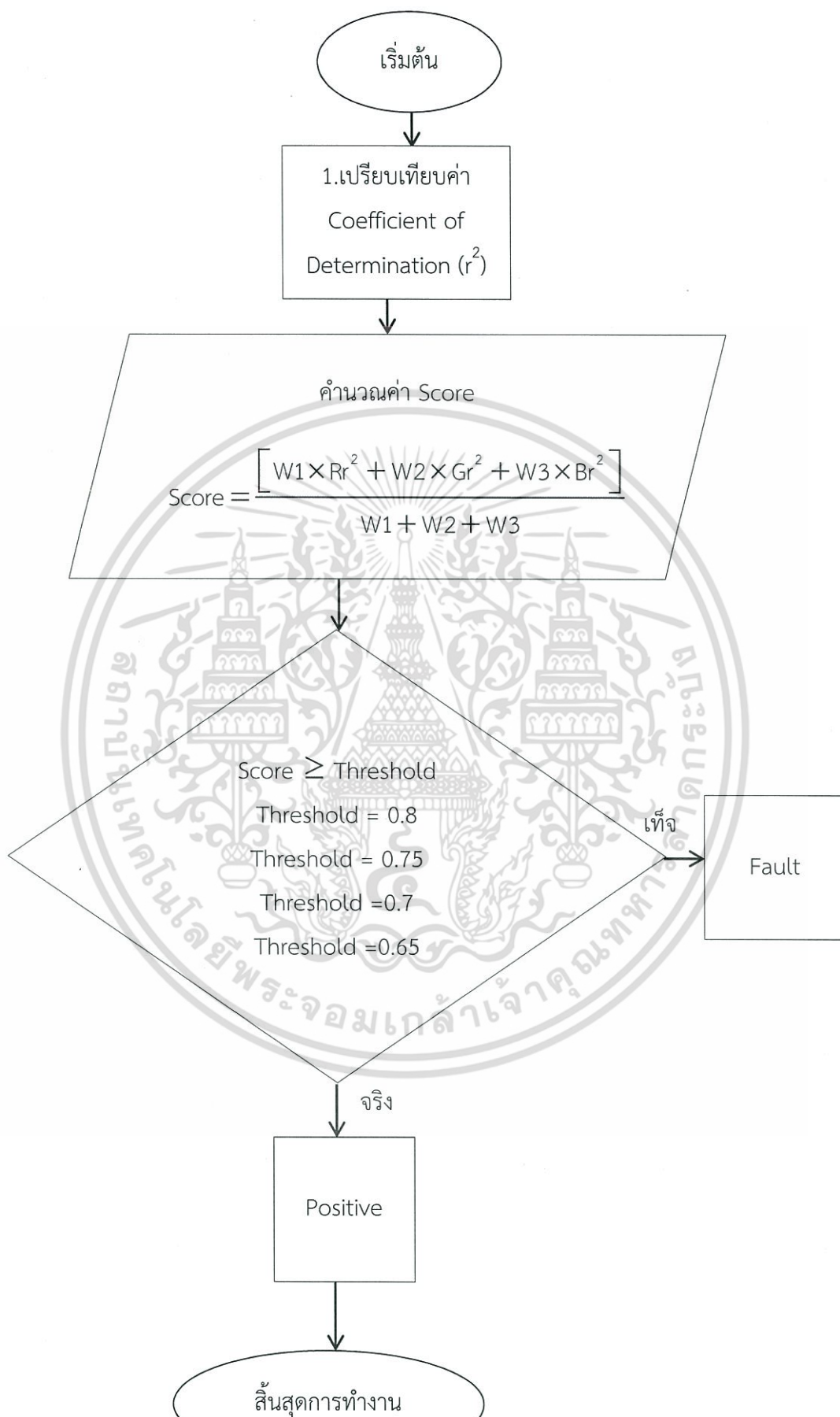
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

Flow Chart การเปรียบเทียบด้วยค่า Score

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

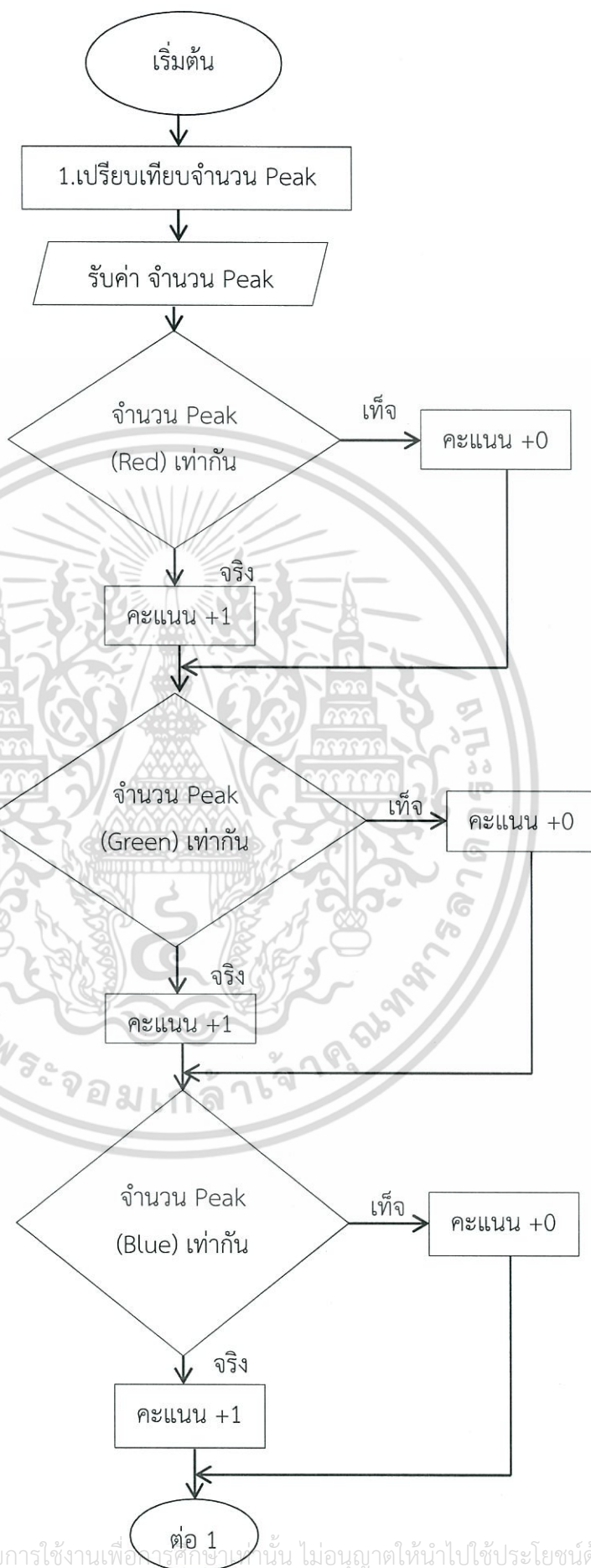


ภาคผนวก จ

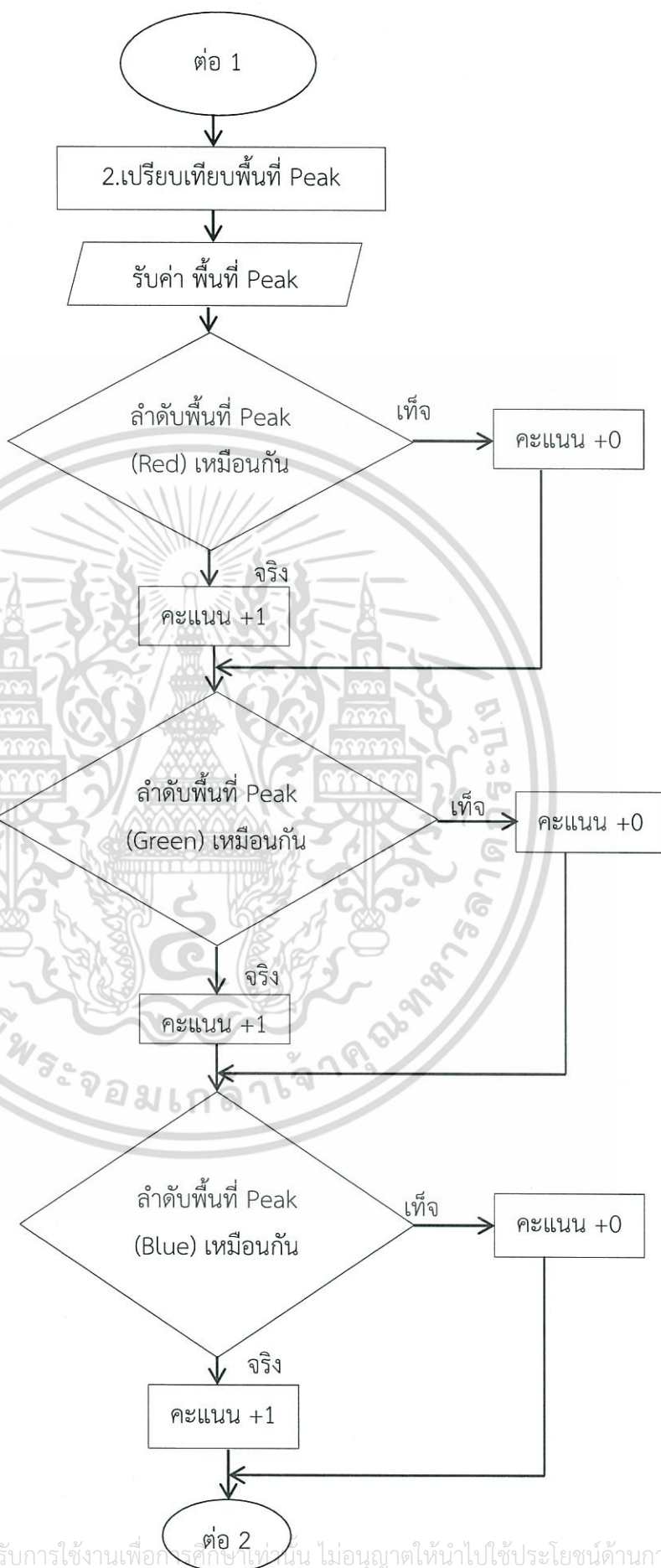
Flow Chart การเปรียบเทียบด้วยค่าที่ได้จากกราฟในโปรแกรม

OriginPro 2017

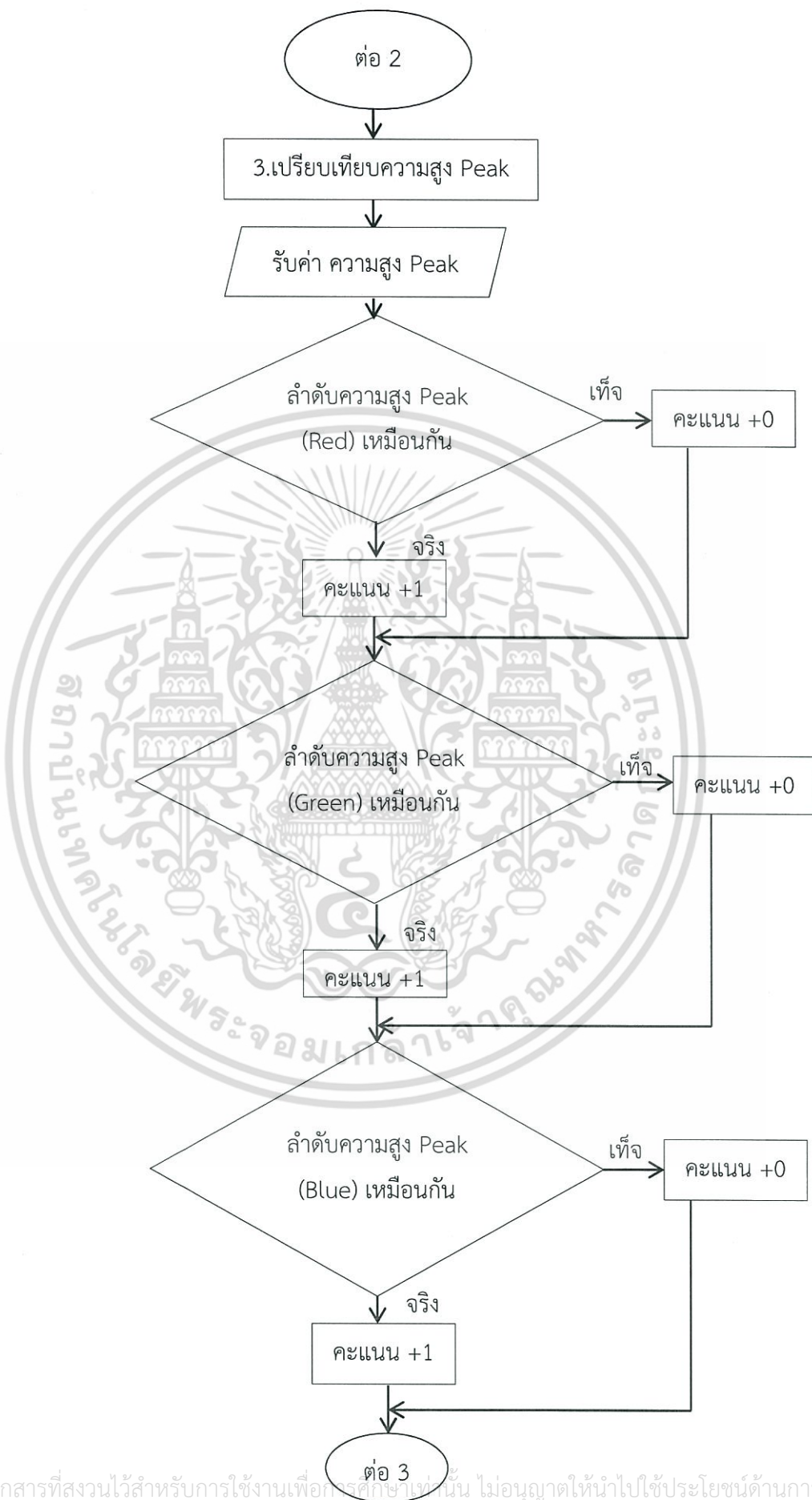
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



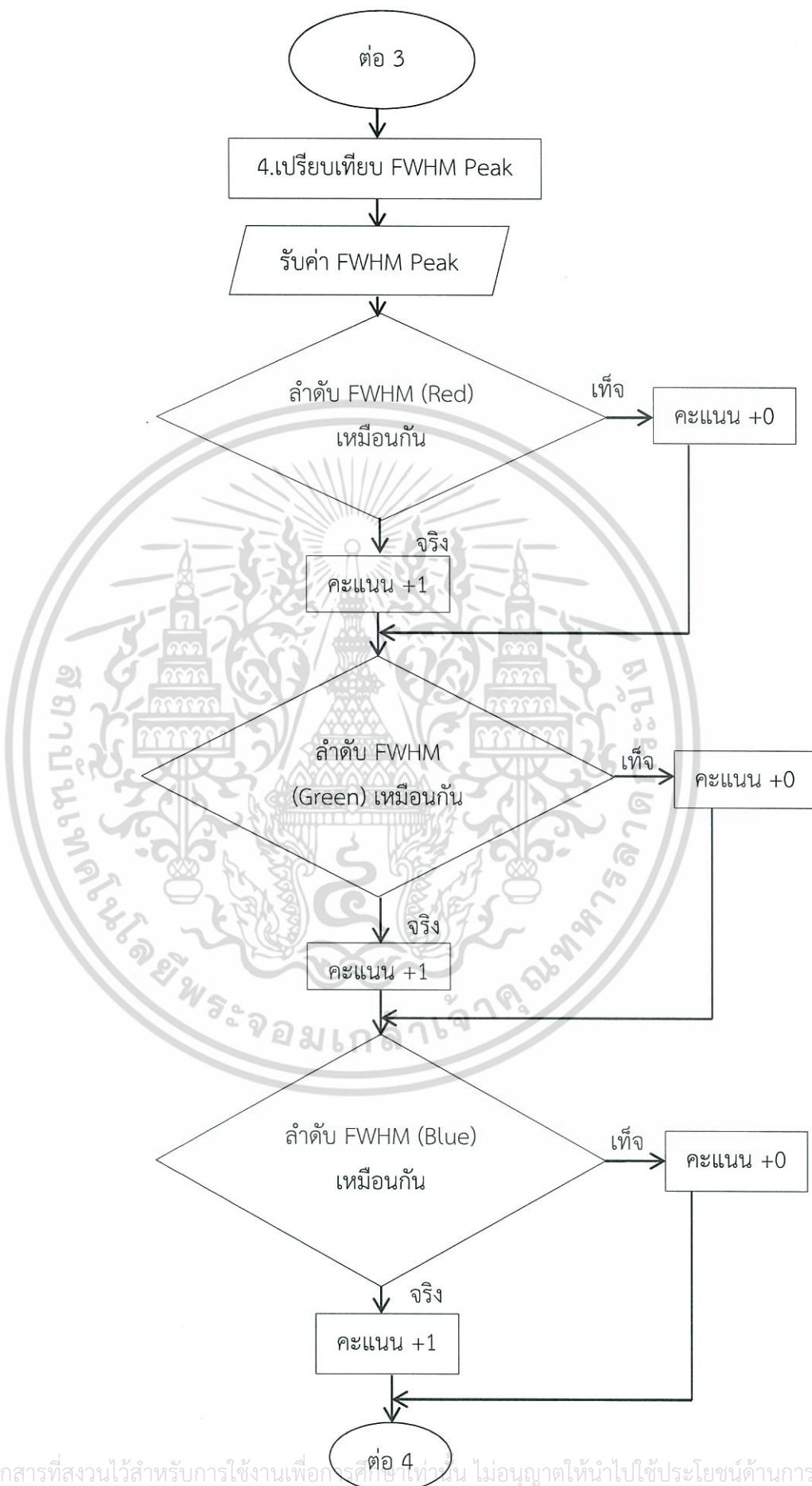
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



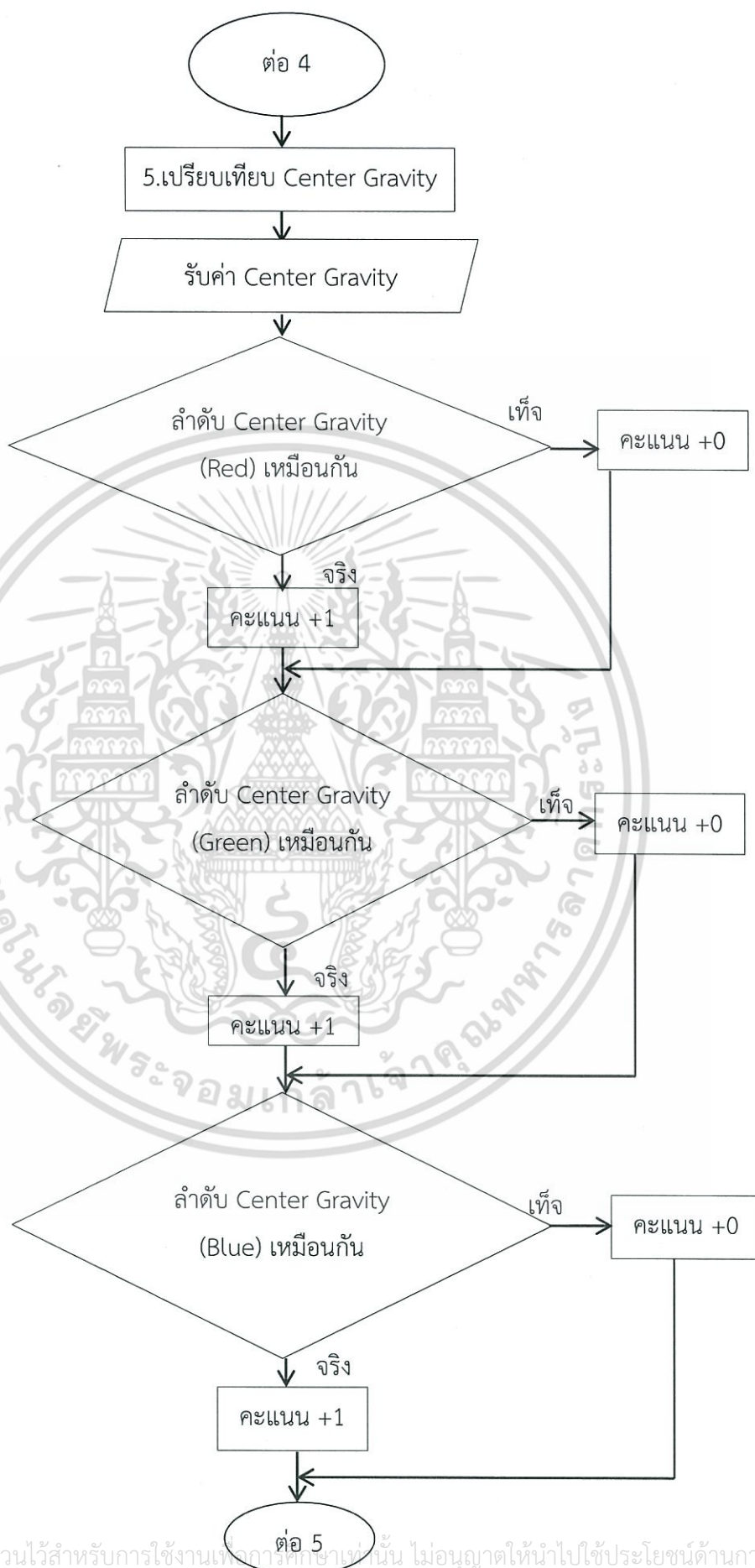
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



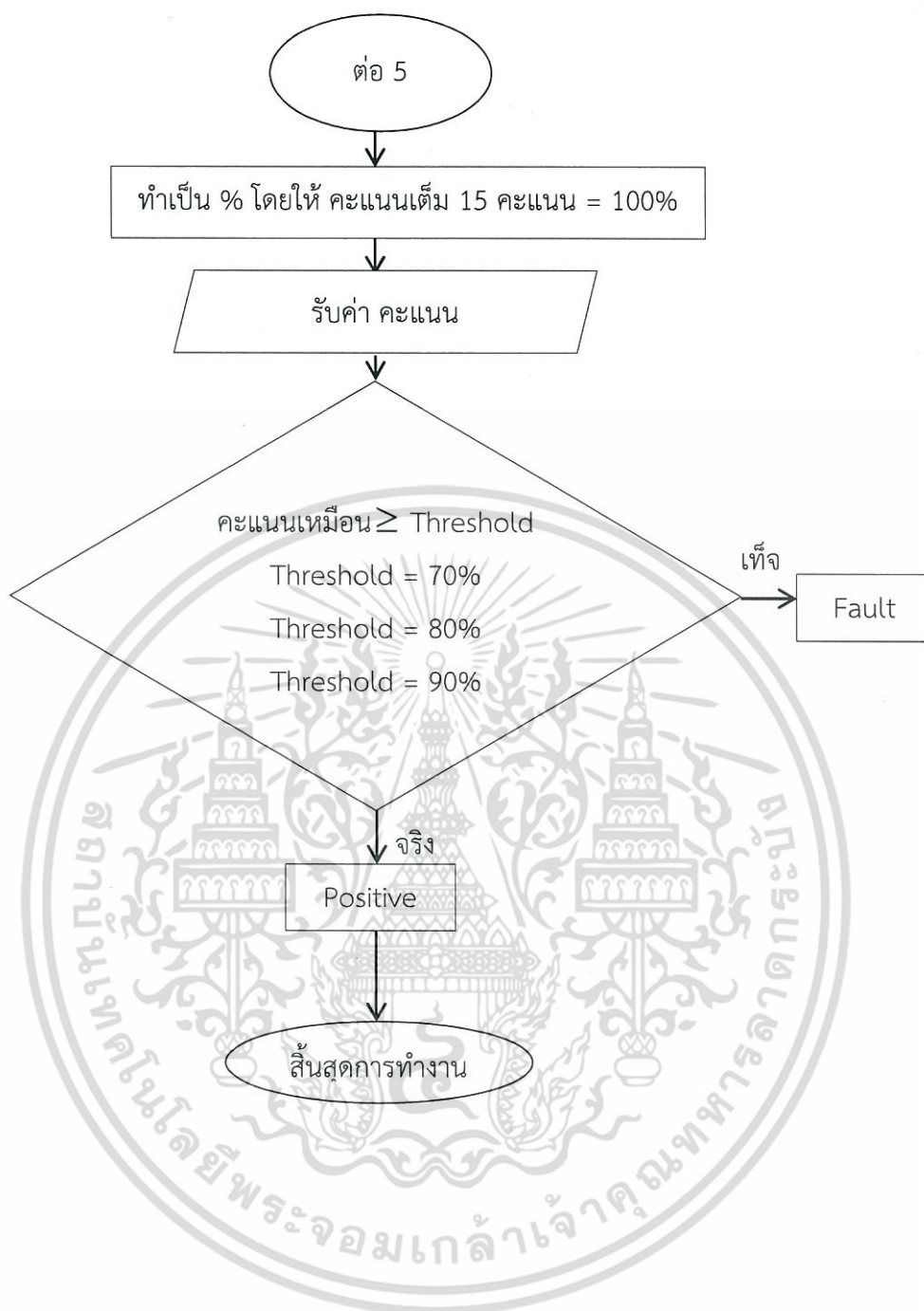
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

