การระบุอัตลักษณ์ของหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินโดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากเทคนิครงคเลขผิวบาง

BLUE BALLPOINT PEN INK IDENTIFICATION USING IMAGE ANALYSIS BASED ON THIN LAYER CHROMATOGRAPHY TECHNIQUE

พัชราภรณ์ จรเสมอ

PATCHARAPORN JORNSAMER

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2022-SC-M-030-141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLUE BALLPOINT PEN INK IDENTIFICATION USING IMAGE ANALYSIS BASED ON THIN LAYER CHROMATOGRAPHY TECHNIQUE

PATCHARAPORN JORNSAMER

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

KMITL-2022-SC-M-030-141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2022
SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ **การระบุอัตลักษณ์ของหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินโดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากเทคนิครงคเลขผิวบาง**

ชื่อนักศึกษา **พัชราภรณ์ จรเสมอ**

รหัสประจำตัว **61605106**

ปริญญา **วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)**

ภาควิชา **ฟิสิกส์**

พ.ศ. 2565

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพล โชลนกระโทก**

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงการวิเคราะห์หมึกปากกาลูกลื่นด้วยรงคเลขผิวบาง เพื่อใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและรวดเร็วไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นจำนวน 25 ชนิด ที่หาได้จากร้านสะดวกซื้อทั่วไป เพื่อทำให้รงคเลขผิวบางแสดงแถบสำหรับแยกความแตกต่างของหมึกปากกาได้ดีที่สุด Ethanol เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหมึกและวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ใช้เป็น n-Butanol: Ethanol: H_2O อัตราส่วน 50:15:15 v: v: v ให้ภาพของโครมาโตแกรมแสดงการแยกได้เหมาะสมที่สุด วิธีการประมวลผลภาพที่ได้จากการสแกนโครมาโตแกรมโดยการประมวลผลผ่านโปรแกรม MATLAB โปรแกรมจะเลือกแยกคุณลักษณะของกราฟเพื่อใช้ค่าเฉพาะของกราฟในการแยกความแตกต่างด้วยวิธีแผนผังการตัดสินใจ วิธีนี้สามารถใช้เป็นวิธีการพิสูจน์แนวคิดเพิ่มเติมเพื่อช่วยเพิ่มน้ำหนักของคดีในด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยมีค่า Discrimination Power (DP) 98.67%

คำสำคัญ : **การประมวลผลภาพ การวิเคราะห์ข้อมูล ปากกาลูกลื่น พิสูจน์หลักฐาน รงคเลขผิวบาง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	**Blue Ballpoint Pen Ink Identification Using Image Analysis Based on Thin Layer Chromatography Technique**
Student Name	**Patcharaporn Jornsamer**
Student ID	**61605106**
Degree	**Master of Science (Applied Physics)**
Department	**Physics**
Year	**2022**
Thesis Advisor	**Asst.Prof.Dr. Bhanupol Klongratog**

Abstract

This research presents the analysis of ballpoint pen ink with thin-layer chromatography for use in the forensic science. This is a quick and easy process that does not require complicated tools. In analyzing the differences between 25 types of ballpoint pen inks that can be found at convenience stores. Ethanol is a suitable solvent to differentiate pen ink bands. For the mobile phase, a solution of n-Butanol, Ethanol, and H2O with volumetric ratio of 50:15:15 (V: V: V), respectively, showed the optimum separation. Image processing of the chromatograms was performed in MATLAB software. The chromatograms were distinguished through the extracted features by the decision tree method. This method can be used as an additional proof-of-concept method to help increase case weight in forensic science, with a Discrimination Power (DP) of 98.67%.

Keywords : Ballpoint pen, Data analytic, Forensic, Image Analysis, Thin-layer chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาณุพล โขลนกระโทก ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง และให้ความช่วยเหลือ ในการทำงานมาโดยตลอด ข้าพเจ้านั้นขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณทุนผู้ช่วยวิจัยและทุนผู้ช่วยสอนในระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง ที่เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พัชราภรณ์ จรเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกลื่น	5
2.1.1 สารตัวนำ	5
2.1.2 สารสี	5
2.1.3 เรซิ่น (resin)	6
2.1.4 สารเติมแต่ง	7
2.2 หลักการของรงคเลขผิวบาง	7
2.2.1 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะในการแยกสารผสมโดยใช้แผ่น	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รงคเลขผิวบาง 8

2.2.2 ประโยชน์ของรงคเลขผิวบาง 9

2.3 รูปร่างของภาพและมาตรฐานของสี 9

2.3.1 รูปร่างของภาพ 9

2.3.2 ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) 10

2.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) 11

2.5 Resolution (R_S) 12

2.6 ต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) 12

2.7 อำนาจการจำแนก 13

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

2.8.1 งานวิจัยภายในประเทศ 13

2.8.2 งานวิจัยต่างประเทศ 13

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 16

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 16

3.2 วิธีการทดลอง 17

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง 17

3.2.2 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ 18

3.2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบวัฏภาคเคลื่อนที่โดยใช้

รงคเลขผิวบาง 18

3.2.4 การทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกาทั้งหมด 25 ชนิด 19

3.2.5 การประมวลผลภาพ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การวิเคราะห์ภาพเปรียบเทียบแยกความแตกต่างของปากกาลูกลื่น
ด้วยวิธีแผนภาพต้นไม้ 23

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 24

4.1 ผลการสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษ 24

4.2 ผลการหาวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม 25

4.3 ผลการทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกาทั้งหมด 25 ชนิด 27

4.4 ผลการวิเคราะห์ภาพเปรียบเทียบแยกความแตกต่างของปากกาลูกลื่น
ด้วยวิธีแผนภาพต้นไม้ 29

4.5 ผลการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR 31

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 37

5.1 สรุปผลการวิจัย 37

5.2 ข้อเสนอแนะ 37

เอกสารอ้างอิง 38

ภาคผนวก ก 43

ภาคผนวก ข 52

ประวัติผู้เขียน 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าสหสัมพันธ์ 11

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 16

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 16

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองในการหาค่า Resolution 26

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสุ่มปากกา Random1, Random2 และ Random3 และปากกา P1, P4, P11, P16 และ P17 34

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการซ้อนทับกันของกราฟกับค่า R_s 12

รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน

(ก) XY plotter PCB drawing robot machine (ข) โปรแกรม BENBOX 17

รูปที่ 3.2 Resolution ของโครมาโตแกรม 19

รูปที่ 3.3 การทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกา 19

รูปที่ 3.4 การประมวลผลเพื่อใช้เก็บพารามิเตอร์ของอัตลักษณ์ในการวิเคราะห์หมึกปากกา 21

รูปที่ 3.5 การประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพ ภาพต้นฉบับแปลงเป็นภาพระดับสีเทา

และเปลี่ยนเป็นกราฟ 21

รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสารตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด

กับความเข้มแสงของภาพ 22

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการประมวลผลได้ข้อมูลเป็นพารามิเตอร์ได้แก่ จำนวนพีค ความสูง ตำแหน่ง

ความกว้าง พื้นที่ และค่าที่โดดเด่นของแต่ละพีค ตลอดจนความแตกต่างของความสูง

และความกว้างของพีคที่อยู่ติดกัน 22

รูปที่ 3.8 แผนผังการตัดสินใจในการหาความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่น 23

รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมใช้ตัวทำละลายสกัดหมึกทั้ง 5 ชนิด (ก) Ethyl acetate (ข) Ethanol

(ค) Methanol (ง) Acetone (จ) n-Butanol 25

รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมโดยใช้ระบบวัฏภาคเคลื่อนที่ 3 ระบบ (ก) 50:15:10 v: v: v

(ข) 60:35:5 26 v: v: v (ค) 70:35:30 v: v: v 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงโครมาโตแกรม 24 ตัวอย่าง 27

รูปที่ 4.4 แสดงโครมาโตแกรมปากกาด้ามที่ 1(P1)

(ก) แสดงจุดสูงสุดของกราฟที่แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย

(ข) แสดงแถบการเคลื่อนที่ของปากการะหว่างจุดสูงสุดทั้งสอง

(ค) แสดงอัตลักษณ์ของกราฟเป็นจำนวนคลื่น ค่าความสูงสัมพัทธ์ (amp)

ค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ (pos) ค่าความกว้างสัมพัทธ์ (wid)

ค่าที่โดดเด่นของแต่ละพีค (prom) และพื้นที่ของแต่ละคลื่น (area) 28

รูปที่ 4.5 แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจในการแยกความแตกต่างของหมึกปากกาทั้ง 25

ชนิดจากการทดลอง 30

รูปที่ 4.6 แสดงการจับคู่ตัวอย่างของเปรียบเทียบหมึกปากกาทั้ง 25 ชนิด 31

รูปที่ 4.7 แสดงการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR ปากกา 1 และ ปากกา 4 32

รูปที่ 4.8 แสดงการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR ปากกา 11 ปากกา 16 และ ปากกา 17 32

รูปที่ 4.9 แสดงการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR ปากกาที่สุ่มทั้ง 3 ด้ามและปากกาทั้ง 5 แบบ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์มีความจำเป็นในการพิจารณาคดีเพื่อให้คดีมีความยุติธรรมและเสมอภาค มักเป็นการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและพิสูจน์หลักฐาน จะใช้วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ กายภาพ เคมี คอมพิวเตอร์ และกีฏวิทยา เป็นต้น [1] ซึ่งกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์มีหลายวิธีในการตรวจสอบทั้งการพิสูจน์ลายนิ้วมือ [2] การตรวจดีเอ็นเอ [3] วิถีกระสุน [4] และการตรวจสอบเอกสาร [5] ปัจจุบันการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีส่งผลให้เอกสารถูกปลอมแปลงได้ง่าย การปลอมแปลงเอกสารสามารถเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ของคดีได้อย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดหาวิธีการตรวจจับที่สมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือมากขึ้นเพื่อปรับปรุงกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ วิธีการทั่วไปในการพิสูจน์อักษรปลอมประกอบด้วยการตรวจสอบลายเซ็น [6] การเปรียบเทียบรูปแบบลายมือ [2] แรงกดปากกา [7] และการวิเคราะห์ชนิดของหมึกปากกา [8-15]

การวิเคราะห์ชนิดของหมึกปากกา มีเทคนิคหลายอย่างในการระบุประเภทของหมึกปากกา สเปกโทรสโกปีแบบมองเห็นด้วยรังสียูวีเพื่อระบุหมู่โครโมฟอร์ [8] สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดแบบแปลงฟูริเยร์ (FT-IR) เพื่อหาหมู่ฟังก์ชัน [9-10] โครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) ใช้แยกของผสมในสถานะของเหลว เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปีใช้สำหรับศึกษาองค์ประกอบขององค์ประกอบในตัวอย่างตามความแตกต่างของชั้นพลังงานของแต่ละองค์ประกอบ [10-11] โครมาโตกราฟีแบบแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี (GC/MS) เพื่อวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย [11-12] รงคเลขผิวบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) [13-15] เพื่อระบุส่วนประกอบที่มีอยู่ในของผสม

การใช้รงคเลขผิวบางมีข้อดีหลายประการเหนือวิธีอื่นๆ ที่กล่าวถึงข้างต้น ได้แก่เวลาในการวัดที่สั้น พกพาสะดวก ราคาไม่แพง และได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว เป็นต้น [16] มักใช้เพื่อตรวจจับความคืบหน้าของปฏิกิริยาเคมี เพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารต่างๆ [17] และใช้เพื่อยืนยันชนิดของสารและสามารถหาปริมาณในของผสมได้ โดยหาจากวัฏภาคนิ่งจะเคลือบบนแผ่นกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นอะลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติกบาง สารที่ต้องการทดสอบซึ่งผสมกับตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารจะหยดลงที่ปลายด้านหนึ่งของแผ่น จากนั้นวางแผ่นรงคเลขผิวบางในภาชนะที่มีวัฏภาคเคลื่อนที่ เนื่องจากสารผสมในตัวอย่างมีขั้วต่างกัน หากเป็นสารที่มีขั้วมากจะดูดซับไว้ที่ซิลิกาเจล (วัฏภาคนิ่ง) ได้ดีจึงไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้น้อย สำหรับสารที่มีขั้วต่ำซึ่งละลายได้สูงในตัวทำละลายวัฏภาคเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่ได้ดีกับวัฏภาคเคลื่อนที่จึงทำให้เกิดการแยกในระบบ และใช้การวิเคราะห์จะใช้การประมวลผลภาพช่วย

เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถรับได้ทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ เทคนิคนี้ใช้ในระบบจดจำลายนิ้วมือ [18] ระบบตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในกระบวนการอุตสาหกรรม [19] การอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติ [20] และระบบจดจำใบหน้าสำหรับเฝ้าระวังผู้ก่อการร้าย [21]

ในการวิจัยโดย Djozan และคณะ [14] ภาพโครมาโตแกรม (Chromatogram) เปรียบเทียบกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ที่โปรแกรมได้รับการออกแบบตามความเข้มสัมพัทธ์ของสีหลักสามสี ได้แก่ สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) โดยนำกราฟความเข้มมาซ้อนทับกันและเปรียบเทียบคะแนนโดยให้น้ำหนักสีมาคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักการเปรียบเทียบใช้การจับคู่ของโครมาโตแกรม ค่าคะแนนเหล่านี้คือเลือกเป็นเกณฑ์ของความคล้ายคลึงกัน ถ้าค่าคะแนนมากกว่า 94.5% ถือว่ามีความคล้ายคลึงกันของหมึกทั้งคู่ ถ้ามีค่าคะแนนระหว่าง 88.7% ถึง 94.5% ถือเป็นไม่แน่นอนที่คล้ายกันและมีค่าน้อยกว่า 88.7% ถือว่าไม่คล้ายกัน (ต่างกัน) มีข้อแม้ที่สำคัญเมื่อกราฟที่ได้จากโครมาโตแกรมมีเฟสไม่ตรงกัน กราฟเหล่านั้นต้องได้รับการเลื่อนเฟสให้ตรงกันมิฉะนั้นผลการทำนายจะคลาดเคลื่อน

ในการเลื่อนเฟสของกราฟให้ตรงกันนั้นมีกระบวนการที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและปรับปรุงวิธีการโดยนำปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินที่พบเห็นได้ทั่วไปตามร้านสะดวกซื้อจำนวน 25 ด้าม มาจำแนกโดยใช้เทคนิครงคเลขผิวบางและการประมวลผลภาพ ภาพโครมาโตแกรมจากเครื่องสแกนถูกเปลี่ยนจากตัวเลขระดับสีเทา ภาพระดับสีเทาได้รับการประมวลผลเป็นกราฟและข้อมูลจากกราฟนำไปวิเคราะห์เพื่อแยกความแตกต่างของหมึกปากกาโดยใช้วิธีแผนผังการตัดสินใจ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วในการแยกความแตกต่างของหมึกปากกา โดยวิเคราะห์ลักษณะเด่นของกราฟ อันได้แก่ ลักษณะตำแหน่งของยอดกราฟ ลักษณะความสูงสัมพัทธ์ และลักษณะความกว้าง สูงสุดที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความสูงสัมพัทธ์ (FWHM) นำมาวิเคราะห์ร่วมกันโดยไม่ต้องมีการเลื่อนเฟสของกราฟให้ตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาตัวทำละลายที่สามารถสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษและวัฏภาคเคลื่อนที่ของระบบ

2) เพื่อพัฒนากระบวนการแยกชนิดของหมึกปากกาลูกลื่นโดยเทคนิครงคเลขผิวบาง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ระบุอัตลักษณ์ของหมึกปากกาลูกลื่นทั้งหมด 25 ชนิดได้ด้วยเทคนิครงคเลขผิวบาง

2) เขียนประมวลผลภาพผ่านโปรแกรม MATLAB

3) วิเคราะห์ความแตกต่างของชนิดน้ำหมึกปากกาโดยใช้แผนภาพต้นไม้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) พัฒนาวิธีการตรวจสอบชนิดหมึกปากกาลูกลื่น และการตรวจสอบส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิครงคเลขผิวบางให้สามารถตรวจสอบได้ดียิ่งขึ้น

2) พัฒนาเงื่อนไขในการวิเคราะห์ภาพโครมาโตแกรมให้ตรวจสอบได้แม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์มีหลายวิธีในการตรวจสอบทั้งการพิสูจน์ลายนิ้วมือ การตรวจดีเอ็นเอ วิถีกระสุน และการตรวจสอบเอกสาร โดยการตรวจสอบเอกสารมีหลากหลายวิธี ได้แก่ การตรวจสอบลายเซ็น การเปรียบเทียบรูปแบบลายมือ แรงกดปากกา และการวิเคราะห์ชนิดของหมึกปากกา การวิเคราะห์ชนิดของหมึกปากกา มีเทคนิคหลายอย่างในการระบุประเภทของหมึกปากกาแต่การวิเคราะห์ที่น่าสนใจเป็นการใช้วิธีรงคเลขผิวบางซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และ รวดเร็วสำหรับการตรวจสอบ โดยปากกาลูกลื่นตัวแรกถูกคิดค้นขึ้นในปี 1888 โดยช่างฟอกหนังชาวอเมริกันชื่อ John Loud แต่ต้องใช้ความพยายามเกือบ 60 ปีกว่าที่ปากกาจะได้รับความนิยมและเป็นที่นิยม ทั้งหมดมาลงที่หมึก โครงสร้างและการทำงานพื้นฐานของปากกาลูกลื่นยังคงมีความสม่ำเสมอตลอดหลายปีที่ผ่านมา แต่หากไม่มีส่วนประกอบของหมึกที่ถูกต้อง ปากกาจะรั่ว อุดตัน ซีดจางหรือเลอะได้ ต้องใช้เวลาหลายทศวรรษในการหาสูตรที่จะทำให้ปากกาลูกลื่นมีประสิทธิภาพมากกว่าปากกาหมึกซึมที่มีอยู่ก่อนหน้า ลาซโล บิโร (Lazlo Biro) นักหนังสือพิมพ์ชาวฮังการี คิดค้นปากกาลูกลื่นโดยการรวมกลไกของเบ้าเสียบเข้ากับหมึกพิมพ์แบบใหม่ เขาประสบปัญหาเฉพาะ แม้ว่ากลไกของลูกบอลและเบ้าจะถูกต้อง แต่หมึกก็เป็นต้นเหตุของปัญหาในช่วงฤดูร้อนหมึกจากปากกาลูกลื่นล้นออกมา ในฤดูหนาวหมึกจะไม่ไหลและแข็งตัว ที่ระดับความสูงหมึกจะซึมออกจากปากกาภายใต้การเปลี่ยนแปลงของแรงกด นักประดิษฐ์คิดวิธีแก้ปัญหาที่สร้างสรรค์เพื่อพยายามแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เช่น สปริงและลูกสูบที่มีแรงดันในถังเก็บหมึก หรือ capillary action เพื่อทำให้หมึกไหลโดยปราศจากแรงโน้มถ่วง เขาได้ขณะเยี่ยมชมโรงพิมพ์ Bíró สังเกตเห็นว่าหมึกที่ใช้พิมพ์หนังสือพิมพ์แห้งเกือบจะทันทีโดยไม่มีรอยเปื้อน กุญแจสำคัญอยู่ที่หมึกพิมพ์น้ำมันที่ใช้ในการพิมพ์หนังสือพิมพ์ น้ำหมึกรั่วไหลออกจากปากกาและจำเป็นต้องซึมเข้าไปในเส้นใยของกระดาษ (ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมเวลาแห้งจึงมีความสำคัญ) แต่หมึกที่เป็นน้ำมันจะอยู่ด้านบนของกระดาษ ป้องกันไม่ให้ซึมผ่านหน้ากระดาษและปล่อยให้แห้งเมื่อสัมผัส ในปี 1931 พวกเขาเปิดตัวปากกาลูกลื่นที่งาน Budapest International Fair เจ็ดปีต่อมา ในปี 1938 พี่น้องตระกูล Bíró ได้รับสิทธิบัตรในอังกฤษและฝรั่งเศส และเริ่มทำงานเพื่อเริ่มขายปากกาลูกลื่นใหม่ดังนั้นปากกาลูกลื่นจึงมีความสะดวกในการใช้งานกว่าปากกาหมึกซึมแบบเดิมเป็นอย่างมาก [22] ในการศึกษาวิจัยในเรื่องที่ได้กล่าวมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า เอกสาร แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกลื่น หลักการของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รงคเลขผิวบางรูปร่างของภาพและมาตรฐานของสี สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) Resolution (R_S) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบของหมึกปากกาลูกลื่น

หมึกปากกาที่เราเห็นในปัจจุบันนี้ผ่านกระบวนการผลิตที่เราเรียกกันว่า หมึกแห้ง ซึ่งจะช่วยทำให้เราสามารถเขียนลงบนกระดาษได้คงทนถาวรมากยิ่งขึ้น หมึกปากกาลูกลื่นทั่วไปนั้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 3 อย่างคือ สารตัวนำ (vehicle) สารสี (dye and pigment) และสารเติมแต่ง (additive)

2.1.1 สารตัวนำ

เป็นส่วนประกอบที่เติมลงในน้ำหมึกทำหน้าที่ในการละลาย หรือ การพา รวมไปถึงการควบคุมความคล่องตัวในการไหลของหมึกปากกาลูกลื่น ในส่วนของสารตัวนำได้ทำการปรับเปลี่ยนสูตรของน้ำหมึกโดยในช่วงหลังจากปี 1950 โดยทั่วไปจะใช้ไกลคอล (glycol) ไกลคอล อีเทอร์ (glycol ether) หรืออะโรมาติกแอลกอฮอล์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือผสมกัน สารเคมีเหล่านี้มีจุดเดือดสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส จึงค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิห้อง การระเหยของตัวทำละลายบริเวณปลายปากกาจะทำให้เกิดการปิดกั้นตัวเองโดยปริยาย (self-sealing skin) ทำให้ตัวทำละลายไม่ระเหยออกมาอีก และยังป้องกันการเปรอะเปื้อนที่ปลายปากกาได้ด้วย กระบวนการนี้ไม่มีผลต่อการไหลของหมึกเมื่อเขียนลงบนกระดาษ ซึ่งทำให้ไกลโคลเป็นที่นิยมของประชาชนอย่างรวดเร็ว ตัวทำละลายเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำหมึกมีค่าประมาณ 50% ของส่วนประกอบหมึกทั้งหมด ตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกปากกาลูกลื่น เช่น 1,3 propylene glycol he-xylene glycol ethylene glycol และ di-propylene glycol เป็นต้น 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

เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ให้สีกับน้ำหมึก ซึ่งในส่วนประกอบของน้ำหมึกประกอบไปด้วย dyes หรือ pigment ประมาณ 25% ในหมึกปากกา 1 สูตร ใช้สารสีมากกว่า 1ชนิด ตัวอย่างสารสีในสูตรของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน เช่น copper phthalocyanine, nigrosin, solvent fast blue และ luxor fast Orange เป็นต้น

Dye เป็นสารสีที่สามารถละลายได้ในหมึก ส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นสารสีในหมึกที่ใช้สำหรับเขียน เช่น Erosin, Fluorescein, Triphenylmethane, Azo dye เป็นต้นการเกิดสีของสารสีนั้นเกิดได้จากการที่สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ มีโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวที่มีค่าเหมาะสมเรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophore) โมเลกุลที่มี chromophore ทำให้มีสีเข้มหรือเปลี่ยนไปในทางที่เข้มยิ่งขึ้น หากมีผู้ที่ช่วยเร่งสีที่เรียกว่า ออกโซโครม (auxochromes) อยู่ในโมเลกุลตัวอย่างของ chromophore ได้แก่ –N=N-(azo) $-C_6H_5$ -N=O และ-NO_2ตัวอย่างของ auxochromes ได้แก่ –OH $-NH_2$ -NHR และ-NO_2

สำหรับสารที่โมเลกุลประกอบด้วย chromophore แต่ไม่มี auxochromes เรียกว่า โครโมเจน (Chromogen) ซึ่งโครงสร้างเรโซแนนซ์ก็เป็นโครงสร้างของโมเลกุลทางเคมี ที่เราไม่สามารถเขียนสูตรเคมีใดสูตรหนึ่ง เพื่อแสดงโครงสร้างและอธิบายสมบัติของสารหนึ่ง ๆ ได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่อิเล็กตรอนบริเวณพันธะคู่หรือพันธะสามสามารถเคลื่อนที่ (delocalization) ไปยังพันธะที่ใกล้เคียงได้ เช่น ไนเตรทไอออน (NO_3-) และเบนซีน (C_6H_6) และเมื่อทำการวัดความยาวพันธะ เช่น โมเลกุลเบนซีน พบว่า ความยาวพันธะระหว่าง C-H ยาวกว่าพันธะคู่ และสั้นกว่าพันธะเดี่ยว ปัจจุบันทฤษฎีโรโซแนนซ์ (resonance) อธิบายได้ว่า chromophore มีส่วนในการดูดแสงที่มีความยาวคลื่นบางช่วง และปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นบางช่วงของสเปกตรัม (spectrum) ที่ตามองเห็นได้ เราจึงเห็นตามสีของแสงที่สะท้อนเข้าตา นอกจากนี้ยังพบอีกว่า กรุ๊ปที่ต่อกับหมู่อะโรมาติก 6 (aromatic) มีผลทำให้สารสีมีสีเป็นเฉดต่าง ๆ กัน เช่น คลอรีน (chlorine) ได้สีเขียวใบไม้ และ –NO_2ได้สีเหลือง ซึ่งคลอรีนและหมู่เมทอกซีช่วยให้ผงสีทนต่อแสงยิ่งขึ้น และถ้าแทนที่ –OH ในสารสีเหลืองด้วย –NH_2 ทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม แต่ถ้า –NH_2 ถูกแทนที่ด้วย –$N(CH_3)_2$ ทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีแดง

2.1.3 เรซิ่น (resin)

เป็นส่วนที่เพิ่มเข้ามาเพื่อการเติมเต็ม (extending or filler) และเพื่อปรับความหนืดของน้ำหมึก ซึ่งในน้ำหมึกมีส่วนประกอบที่เป็นเรซิ่นประมาณ 20% ตัวอย่างของเรซิ่นที่พบในหมึกปากกาลูกลื่น คือ Vinsol, Nevillac Hard, Pyrrolidoneb (PVP), Krumbhaar (K-1717), Phthalopal (SER) และ Synthetic Resin SK สำหรับการละลายของพอลิเมอร์ (polymer) หรือเรซิ่นตัวทำละลายที่ดีในค่าพารามิเตอร์ต้องอยู่ในช่วงเดียวกับพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์นั้น ๆ ซึ่งในการคาดคะเน ให้ได้ใกล้เคียงที่สุด ต้องนำความสามารถในการเกิดพันธะไฮโรเจน (hydrogenbonded) ของตัวทำละลายมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพิจารณาด้วย โดยเบอร์เรล (burrell) ได้เป็นคนต้นคิดในเรื่องนี้เขาทำการแบ่งตัวทำละลายออกเป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน ได้แก่กลุ่มที่ 1 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนต่ำ (poorly hydrogen bonded) ตัวย่อ $p\sum$ ได้แก่ ตัวทำละลายอะลิฟาติก (aliphatic) ตัวทำละลายอะโรมาติก (aromatic) ตัวทำละลายคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอร์น (chlorinated hydrocarbon) และไนโตรฟิน (nitroparaffin) กลุ่มที่ 2 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนปานกลาง (moderately hydrogen bonded) ตัวย่อ $m\sum$ ได้แก่ เอสเทอร์ (ester) อีเทอร์ (ether) และคีโตน (ketone) กลุ่มที่ 3 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนสูง (strongly hydrogen bonded) ตัวย่อ$s\sum$ ได้แก่ แอลกอฮอล์ (alcohol) แอมีน (amine) และกรด (acid)

2.1.4 สารเติมแต่ง

เป็นวัสดุที่ถูกเติมลงไปในเรซิ่นในปริมาณน้อยเพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของหมึกให้เหมาะสม โดยปกติสารเติมแต่งนี้เข้าไปกระจายอยู่ ในเนื้อของพลาสติกในทางกายภาพ และไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างสำคัญ ๆ ของพอลิเมอรซึ่งจะให้สมบัติต่าง ๆ ตามที่ผู้ผลิตต้องการ ยกตัวอย่าง เช่น สารเพิ่มความสว่างของสี (Optical brightener) สารที่ทำให้แห้งเร็ว (Drier) สารลดแรงตรึงผิว (Surfactant) จะช่วยลดแรงตรึงผิวของหมึกทำให้หมึกสามารถสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการได้ดี สารปรับค่าความเป็นกรดและด่างหรือค่าพีเอช (Buffer) สารลดฟอง (Defoaming agent) สารป้องกันเชื้อราหรือสิ่งมีชีวิต (Fungicide หรือ biocide) สารกันเปียกกลิ่นต่าง ๆ เป็นต้น

ซึ่งสารเติมแต่งมีหน้าที่แก้ไขคุณสมบัติที่บกพร่องของเรซิ่นที่ใช้ในการผลิตน้ำหมึกในระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งช่วยป้องกันการเกิดปัญหาต่าง ๆ สารเติมแต่งมีอยู่ในสูตรหมึกปากกาประมาณ 5 % [23]

2.2 หลักการของรงคเลขผิวบาง

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบสารที่รวดเร็ว สะดวก และราคาไม่แพง นิยมใช้ในการตรวจการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่างๆ ใช้ในการยืนยันชนิดของสาร และสามารถตรวจหาจำนวนส่วนประกอบในสารผสมในกรณีของรงคเลขผิวบางวัฏภาคนิ่งถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระจก แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติกบางๆ เคลือบด้วยตัวดูดซับเป็นชั้นบาง ๆ ตัวดูดซับที่ใช้ในรงคเลขผิวบางมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าที่ใช้ใน column chromatography ได้แก่ silica gel alumina และ kieselguhr เป็นต้น ซึ่งตัวดูดซับเหล่านี้มีสารเรือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงผสมอยู่เพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งของสารโดยมองภายใต้แสง UV สารจะถูกแต้มไว้ที่ใกล้ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโดยใช้หลอดแคปิลลารี จากนั้นจึงนำแผ่นดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่ใส่วัฏภาคเคลื่อนที่ไว้ตื้น ๆ เมื่อตัวทำละลายถูกดูดซึมขึ้นไปตามตัวดูดซับพาสารตัวอย่างขึ้นไป จึงเกิดการแยกของสารเกิดขึ้นด้วยหลักการเดียวกับคอลัมน์โครมาโตกราฟี ตัวอย่างเช่น หากใช้ซิลิกาเป็นวัฏภาคนิ่ง และใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ สารที่มีขั้วน้อยจะละลายได้ดีในวัฏภาคเคลื่อนที่แต่ถูกดูดซับด้วยวัฏภาคนิ่งได้น้อยจึงเคลื่อนที่ไปได้ดี ด้วยระยะที่มากกว่าสารที่มีขั้วสูงซึ่งละลายในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้น้อยแต่ดูดซับบนวัฏภาคนิ่งได้ดี เนื่องจากใช้สารปริมาณน้อยมากในการแยก เทคนิครงคเลขผิวบางจึงเหมาะสมเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ มากกว่าที่จะเป็นเครื่องมือในการแยกสารเพื่อเก็บแต่ละองค์ประกอบดังในกรณีของคอลัมน์โครมาโตกราฟี [17]

2.2.1 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะในการแยกสารผสมโดยใช้แผ่นรงคเลขผิวบาง

ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ ซึ่งมีทั้งเป็นตัวทำละลายชิ้นเดียว หรือตัวทำละลายแบบผสม โดยการหาตัวทำละลายที่เหมาะสมนั้นควรทำอย่างมีระบบ คือ จุดสารตัวอย่างที่เป็นสารผสมลงบนแผ่นรงคเลขผิวบางหลาย ๆ แผ่น และทำการเลือกตัวทำละลายหลาย ๆ ระบบ เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซีน อีเทอร์ และเมทานอล ตามลำดับ (เรียงจากสภาพขั้วต่ำไปยังสภาพขั้วสูง) แล้วทำการวางแผ่นรงคเลขผิวบางที่จุดสารตัวอย่างลงในตัวทำละลายแต่ละชนิด ๆ ละ 1 แผ่น เลือกตัวทำละลายที่ให้ผลการแยกชัดเจนค่า Rf (Rate of flow) เป็นค่าประจำตัวของสารประกอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ (ตัวดูดซับ ตัวทำละลาย และความหนาของชั้นตัวดูดซับ) ที่กำหนด ค่านี้แปรผันเปลี่ยนได้ถ้าสภาวะการทดลองเปลี่ยน โดยหาได้จากสมการที่ 2.1

$$Rf = \frac{\textit{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่}}{\textit{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่}} \qquad (2.1)$$

สารที่มีค่า Rf มาก แสดงว่ามีสมบัติเคลื่อนที่ได้เร็วหรือมากถูกดูดซับได้น้อยและละลายได้ดี ส่วนสารที่มีค่า Rf น้อย แสดงว่ามีสมบัติเคลื่อนที่ได้ช้าหรือน้อย ถูกดูดซับได้มากและ ละลายได้น้อย

สมบัติของ Rf

1. ค่า Rf ไม่มีหน่วย
2. ค่า Rf หาได้จากการทดลองเท่านั้น
3. ค่า Rf มีค่าไม่เกิน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่า Rf ขึ้นอยู่กับชนิดของสารและชนิดตัวทำละลาย

5. ค่า Rf เป็นค่าเฉพาะค่าคงที่ของแต่ละสาร

2.2.2 ประโยชน์ของรงคเลขผิวบาง

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

2) ใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่าง ซึ่งสารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ย่อมให้จุดเพียงจุดเดียวบนแผ่นรงคเลขผิวบางในทุกระบบของตัวทำละลาย [17]

2.3 รูปร่างของภาพและมาตรฐานของสี

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัล ซึ่งข้อมูลพวกนี้ต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่เป็นระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้ โดยระบบดิจิทัลอินพุต เป็นข้อมูลแบบภาพ และดิจิทัลเอาต์พุตเป็นข้อมูลที่เป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลเท่านั้น ซึ่งการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital image analysis) ทำงานเกี่ยวกับการอธิบายและการจดจำข้อมูลภาพของดิจิทัล ซึ่งการวิเคราะห์ภาพนั้นมีหลายวิธีด้วยกันมาจากการทำงานของตามนุษย์ (human version) นั่นก็คืองานทางด้านระบบจักรกลวิทัศน์ (computer version) เช่นเดียวกับการทำงานของการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล

2.3.1 รูปร่างของภาพ

วัตถุตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างแตกต่างกันไปทั้งแบบทรงเรขาคณิตและไม่เป็นทรงเรขาคณิต ในส่วนของการประมวลผลภาพนั้นจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (rectangular image model) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากช่วยในเรื่องการอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพไว้ในความทรงจำ และการประมวลผลภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเก็บข้อมูลภาพลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องในลักษณะที่เป็น ตัวแปรอะเรย์ (array) โดยค่าในช่องของอะเรย์แสดงคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวแทนตำแหน่งของจุดภาพ สมมติให้ตัวแปรอะเรย์มีขนาด $M \times N$ (ให้ M คือแถว N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือคอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด M × N จุด (ให้ M คือจุดในแนวนอน N คือจุดในแนวตั้ง) ค่าสี หรือ ความสว่าง ในกรณีที่เป็นภาพ grey level โดยจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 ได้ค่าตรงกับค่า image ซึ่งจากข้อมูลทำให้ทราบตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนที่เป็นตัวชี้ค่าข้อมูลอะเรย์จากการใช้ข้อมูลหน่วยความจำที่กล่าวมา เนื้อที่ในการเก็บภาพนั้นคำนวณได้ M × N × g เมื่อ g แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ สมมติให้ g มีค่า 8 บิต ได้ค่าที่เก็บความแตงต่างของ 9 ระดับสีที่เป็นไปได้สูงสุดเท่ากับ 256 ระดับ ในส่วนของค่า M × N ซึ่งเป็นตัวบอกความละเอียดของภาพ ในคอมพิวเตอร์ทั่วไปนั้นระบบ VGA (video graphic array) มีขนาด 640 × 480, 800 × 600 และ 1024 × 768 จุด เป็นต้น ซึ่งการกำหนดจุดนั้นขึ้นอยู่กับงานที่ใช้ว่าต้องการความละเอียดมากน้อยเพียงใดตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800 × 600 และมีขนาด 16 บิตต่อ pixel ทำให้สามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับ และต้องใช้เนื้อที่การเก็บข้อมูลเท่ากับ 800 × 600 × 16บิต [24]

2.3.2 ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image)

ภาพระดับสีเทาเป็นภาพซึ่งค่าในแต่ละจุดภาพคือค่าความเข้มของสีแต่ละตำแหน่งของ จุดภาพนั้น ซึ่งค่าที่เป็นไม่ได้ของภาพระดับสีเทาทั้งหมดขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ ตัวอย่าง เช่น ภาพระดับสีเทา 8 บิตที่ระดับสี ทั้งหมด 256 ระดับ โดยนิยมระบุในช่วง 0 ถึง 1 หรือ 0 ถึง 255 แสดงระดับสีเทา ภาพแสดงระดับสีเทา ภาพระดับสี เทาจะมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ของสี ซึ่งอยู่ระหว่างสีขาวและสีดำ Halftone Image อย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่าแต่ละพิกเซล ของภาพจะหมายถึงความเข้มแสงแต่ละตำแหน่งของพิกเซล ที่อยู่ในรูประดับสีเทาการเปลี่ยนภาพจากระบบสีอาร์จีบี (RGB) เป็น ระดับสีเทา (Gray Scale) จะใช้สมการดังนี้ในการเปลี่ยน Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B โดย Y แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล ที่เราต้องการหา R แทน ค่าสีแดง ณ จุด ที่ต้องการหา G แทน ค่าสีเขียว ณ จุด ที่ต้องการหา B แทน ค่าสีน้ำเงิน ณ จุดที่ต้องการหา ในการแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับเทา (RGB to Gray) ภาพที่รับเข้ามาในขั้นตอนแรกเป็นภาพที่อยู่ในระบบปริภูมิสีแบบ RGB ดังนั้นแต่ละพิกัดของภาพจะประกอบด้วยค่าของเซตที่แสดงถึงค่าของ R ค่าของ G และค่าของ B ระบบจะทำการ เปลี่ยนให้เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) เพื่อทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ ง่ายขึ้นเพราะเมื่อแปลงภาพเป็นระดับสีเทาแล้วจะทำให้แต่ละจุดภาพของภาพจะเหลือเพียงค่าความเข้มของสี มีค่า ตั้งแต่ 0 ถึง 255 เมื่อแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงขนาดของความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ซึ่งเครื่องหมายบวก (+) หรือลบ (-) จะแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์จะมีพิสัยระหว่าง +1 ถึง -1 ค่า +1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ ค่า 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน และค่า -1 แสดงถึงความสัมพันธ์ผกผันอย่างสมบูรณ์ความสัมพันธ์กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ให้ตัวแปรเป็น x (ตัวแปรอิสระ) และ y (ตัวแปรตาม) หากทิศทางเป็นบวก แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก กล่าวอีกนัยหนึ่ง เมื่อค่า x เพิ่มขึ้น ค่าของ y ก็เพิ่มขึ้นด้วย [26]

วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลหรือตัวแปร เช่น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์ แมน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ฟี สัมประสิทธิ์สหสัมพนันธ์เพียร์สัน เป็นต้น

ความสัมพันธ์ของการเชื่อมโยงถูกกำหนดโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ค่าของ r อยู่ระหว่าง 0 ถึง +1 ความสัมพันธ์ของการเชื่อมโยงสำหรับช่วงต่างๆ ของ r แสดงเป็นตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าสหสัมพันธ์

Correlation Coefficient	Relationship
0.00	No Correlation
0.01-0.25	Weak Correlation
0.26-0.50	Sufficient Correlation
0.51-0.75	Strong Correlation
0.76-0.99	Very Strong Correlation
1.00	Perfect Correlation

2.5 Resolution (R_S)

เป็นวิธีการแยกสารสองตัวในของผสม โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม โดยการแยกความแตกต่างของหมึกปากกาจากวิธีรงคเลขผิวบางนั้น ตัวทำละลายหรืออัตราส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่ไม่เหมาะสมนั้น กราฟที่ได้จากการประมวลผลอาจมีการซ้อนทับกันเกิดขึ้น ซึ่งค่า R_s เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าพีคของสารทั้งสองชนิดที่อยู่ติดกัน แยกออกจากกันดีเพียงใด ซึ่งการแยกนี้จะต้องพิจารณาทั้งระยะเวลาที่สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์และ ระหว่างตำแหน่งจุดสูงสุดของพีคทั้งสองหารด้วยความกว้างเฉลี่ยของพีคทั้งสอง ถ้าค่า $R_s \geq 1.5$ แสดงว่าพีคทั้งสองจะแยกออกกันได้ดีแต่ถ้า $R_s < 1.5$ พีคทั้งสองจะมีส่วนที่ซ้อนทับกัน โดยคำนวน ตามสมการที่ 2.2 [27] ดังรูปที่ 2.1

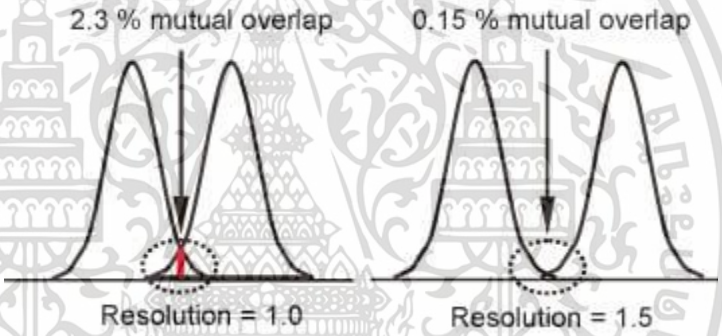
$$R_S = \frac{2(t_{RB} - t_{RA})}{W_A + W_B} = \frac{2\Delta t_R}{W_A + W_B} \quad (2.2)$$

โดยที่ R_S = Resolution (การแยก)

t_{RA} และ t_{RB} = Retention time ของพีคที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

W_A และ W_B = ความกว้างของพีคที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

Δt_R = ระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของพีคทั้งสอง



รูปที่ 2.1 แสดงการซ้อนทับกันของกราฟกับค่า R_s [28]

2.6 ต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree)

เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้วิเคราะห์เหตุการณ์ หรือสถานการณ์เพื่อการตัดสินใจได้อย่างเป็นระบบและรวดเร็ว ต้นไม้การตัดสินใจมีลักษณะเป็นกราฟรูปต้นไม้กลับหัว โดยบนสุดคือราก และส่วนล่างลงมาที่ไม่สามารถแตกไปไหนได้แล้วก็คือใบ เราจะเริ่มด้วยการพิจารณาเริ่มแรกบนจุดเริ่มต้นที่เรียกว่าโหนดราก ถ้าข้อมูลที่พบเป็นไปตามเงื่อนไขนั้น การตัดสินใจก็จะวิ่งไปทางซ้ายของโหนดรากไปที่จุดที่เรียกว่าโหนดผล ซึ่งถ้าข้อมูลที่มาตามเส้นทางนี้ตรงตามเงื่อนไขของ โหนดผล นี้ ก็จะถือว่าสิ้นสุด เราเรียกว่าโหนด สิ้นสุดว่า โหนดใบ ซึ่งแสดงที่ตั้งต้นที่มีรากและแขนงต่างๆแตกออกมาจากต้นไม้ไปในทิศทางเดียวจนกระทั่งนำไปสู่ข้อสรุปสำหรับการตัดสินใจได้ ต้นไม้การตัดสินใจมีประโยชน์ในการสรุปการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนให้ง่ายต่อความเข้าใจ ปัจจุบันต้นไม้การตัดสินใจเป็นที่นิยมใช้ในงานหลายอย่าง เช่น การแพทย์ ธุรกิจ การเขียนโปรแกรม การสร้างเครื่องที่เรียนรู้ได้เอง การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ ฯลฯ [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 อำนาจการจำแนก

อำนาจการจำแนก (Discrimination Power, DP) เป็นการวิเคราะห์ซึ่งเป็นสถิติสำหรับการแยกความแตกต่างของหมึกปากกาแต่ละชนิด [30] โดยใช้สมการที่ 2.3

$$ค่าอำนาจการจำแนก = \frac{จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้}{จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด} \times 100 \quad (2.3)$$

โดยหาจำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด จากสมการที่ 2.4 และ จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้ จากสมการที่ 2.5

$$จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด = \frac{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด \times (จำนวนตัวอย่างทั้งหมด - 1)}{2} \quad (2.4)$$

$$จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้ = จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด - จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกไม่ได้ \quad (2.5)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยภายในประเทศ

ปี 2010, มยุรี สมบูรณ์ ได้ทำการวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิครงคเลขผิวบางและการวิเคราะห์ภาพ ได้ทำการทดสอบจากน้ำหมึกจำนวน 28 ตัวอย่างที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด ผลการศึกษาพบว่าตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกได้ดีที่สุด คือ เมทานอล และวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม คือ ระบบตัวทำละลาย n–butanol/ethanol/H_2O ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ การจำแนกความแตกต่างของหมึกมีความสามารถแม่นยำ 70.4% และ 61.5% ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้โดยใช้วิธีรงคเลขผิวบางร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อตรวจพิสูจน์เอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์ [31]

ปี 2012, วิมลมาศ โพธิ์รัศมี ได้ทำการวิเคราะห์หมึกปากกาลูกลื่นสีดำด้วยเทคนิครงคเลขผิวบางและโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ โดยการทดสอบปากกาลูกลื่น 20 ชนิด ที่ซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งใช้ acetone ในการสกัดสี วัฏภาคเคลื่อนที่ใช้ คือ ระบบตัวทำละลาย n–butanol/ethanol/H2O วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ การจำแนกความแตกต่างของหมึกสีดำมาจากปากกาแท่งเดียวกัน 2.92 % ปากกาต่างแท่งกัน 84.80% ไม่สามารถจำแนกได้ 12.28% [23]

ปี 2013, ภาวดี ทับศรีแก้ว ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของน้ำหมึกพิมพ์ด้วยเทคนิครงคเลขผิวบางโดยทำการทดสอบหมึกพิมพ์ทั้งหมด 20 ชนิด ได้วัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม คือ n–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

butanol/ethanol/H_2O และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ผลจากการวิเคราะห์แผ่นรงคเลขผิวบางพบว่า 41.13% เป็นหมึกพิมพ์ชนิดเดียวกัน ชนิดต่างกัน 48.57% ไม่สามารถจำแนกได้ 16.19% [32]

2.8.2 งานวิจัยต่างประเทศ

ปี 1999, Claude Roux , Michelle Novotny, Ian Evans และ Chris Lennar ได้ศึกษาการตรวจสอบหลักฐานเกี่ยวกับปากกาลูกลื่นสีดำในประเทศออสเตรเลีย โดยการแยกความแตกต่างของยี่ห้อ รุ่น และครั้งที่ผลิตด้วย 3 เทคนิคดังนี้ filtered light examination (FLF), reflectance visible micro spectrophotometry (MSP) และ รงคเลขผิวบาง (TLC) ผลการทดสอบคือวิธีที่ให้ผลความแตกต่างของคู่หมึกปากกาลูกลื่นมากที่สุดโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือรงคเลขผิวบาง> FLF > MSP FLE (83% blue,96% black) MSP (83% blue,83% black) TLC (98% blue,99% black) [33]

ปี 2008, Djavanshir Djozan, Tahmineh Baheri, Karimian และ Masomeh Shahidiwf ได้ศึกษาความแตกต่างของน้ำหมึกปากกาลูกลื่นบนเอกสาร ด้วยวิธีรงคเลขผิวบางและนำโครมาโตแกรมที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ การจำแนกความแตกต่างของหมึกปากกานั้น ซอฟแวร์ดังกล่าวออกแบบมาเพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน วิธีดังกล่าวสามารถจำแนกความแตกต่างของหมึกได้อย่างถูกต้องแม่นยำถึง 92.8% โดยการทดสอบจากน้ำหมึกจำนวน 41 ตัวอย่างที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด [14]

ปี 2014, Loong Chuen Lee, Sitti Mariam Nunurung และ Ab Aziz Isha ได้ศึกษาการหาอำนาจจำแนกรงคเลขผิวบางประสิทธิภาพสูง (HPTLC) สำหรับวิเคราะห์ชุดหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน 12 ด้าม ตัวอย่างหมึกที่ฝากไว้บนกระดาษสกัดโดยใช้เมทานอลและแยกออกจากส่วนผสมของตัวทำละลายของเอทิลอะซีเตต เมทานอล และน้ำกลั่น (70:35:30, v/v/v) ในวิธีนี้ อำนาจการแยกแยะทำได้ถึง 89.40% ซึ่งยืนยันว่าวิธีการที่เสนอนี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างคู่ปากกาจำนวนมากได้ นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนประกอบของหมึกปากกาสีน้ำเงินมีลักษณะเหมือนกัน (RSD <2.5%) และวิธีการที่นำเสนอมีความสามารถในการทำซ้ำและทำซ้ำได้ดี (RSD <3.0%) โดยสรุป HPTLC เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการแยกหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน [34]

ปี 2014, Loong Chuen LEE, Eng Leng LEE และ Ab Aziz ISHAK การศึกษาที่นำเสนอคือเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการใช้โครมาโตกราฟีแบบชั้นบางประสิทธิภาพสูง (HPTLC) กับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์โฟเรนซิกของหมึกปากกาลูกลื่นสีแดง สกัดหมึกจากงานเขียนบนกระดาษสำนักงานสีขาวโดยใช้เมทานอล การแยกดำเนินการโดยใช้ส่วนผสมของตัวทำละลายของเอทิลอะซีเตต เมทานอล และน้ำกลั่น (70:35:30, v/v/v) เป็นเฟสเคลื่อนที่ ผลการวิจัยพบว่า HPTLC สามารถเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้สำหรับการกำหนดคุณลักษณะและระบุหมึกปากกาลูกลื่นสีแดง ในงานนี้มีอำนาจการแยกแยะ 77.27% [35]

ปี 2016, M. Irfan Nunkoo, M., Bilall Saib-Sunassy, Henri Li Kam Wah และ Sabina Jhaumeer Laulloo ได้ศึกษาหมึกปากกาลูกลื่น (สีดำ 24 อัน สีน้ำเงิน 18 อัน สีแดง 21 อัน และสีเขียว 15 อันวิเคราะห์มอริเชียสด้วยวิธีต่างๆ 5 วิธี ได้แก่ รงคเลขผิวบาง (TLC), ฟูริเยร์ทรานส์อินฟราเรด (FTIR), สเปกโทรสโกปีที่มองเห็นได้ (VIS), แสงที่ผ่านการกรองการตรวจ (FLE) และรามันสเปกโทรสโกปี (RAMAN) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นอำนาจการแยกแยะ ได้ดังนี้ TLC (95% black, 99% blue, 85% red, 66% green) FTIR (74% black, 74% blue, 38% red, 42% green) VIS (0% black, 20% blue, 50% red, 42% green) FLE (98% black, 94% blue, 99%red, 94% green) RAMAN (39% blue, 42% green) [36]

ปี 2017, Vishal Sharma และ Raj Kumar ได้ศึกษาตัวอย่างหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน 57 ตัวอย่าง จำแนกตามพื้นฐานของรงคเลขผิวบางประสิทธิภาพสูง (HPTLC) และ ATR–FTIR สเปกโทรสโกปีควบคู่ไปกับการวิเคราะห์หลายตัวแปร ซึ่งดูเหมือนว่าจะเหมือนกันและไม่แตกต่างกัน แนวทางของ ATR–FTIR ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำหนดลักษณะเฉพาะของสูตรหมึกที่ซับซ้อน และด้วยเหตุนี้ การเลือกปฏิบัติของหมึกอย่างเป็นระบบด้วยความช่วยเหลือของการวิเคราะห์หลายตัวแปร การเลือกปฏิบัติโดยรวมสำหรับหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินที่มีการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายของ ATR-FTIR อยู่ที่ 99.69% ซึ่งถือว่ามีนัยสำคัญอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจสอบสเปกตรัมด้วยสายตา (DP = 97.93%) และการวิเคราะห์แบบทำลายของโครมาโตกราฟี HPTLC (DP = 93.80) %) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นแต่ละชนิดมีเครื่องมือและอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 3.1 และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	อุปกรณ์	ยี่ห้อรายละเอียด
1. TLC silica gel 60 F254 (Aluminium sheets)	Macherey-Nagel	20x20 cm
2. บีกเกอร์	ไม่ระบุ	100 ml
3. หลอดทดลอง	ไม่ระบุ	13 x100 mm
4. ไดร์เป่าลมร้อน	PHILIPS	รุ่น BHD006 ขนาด 1600 วัตต์
5. Scanner	Canon MP 280	Optical:1200 x 2400 dpi. Interpolated:19,200x 19,200 dpi.
6. เข็ม spot สาร	ไม่ระบุ	25 µl
7. โหลแก้วที่มีฝาปิด	ไม่ระบุ	10x10x15 cm
8. XY plotter PCB drawing robot machine	ไม่ระบุ	20 x 20 cm
9. กระดาษ double A	ไม่ระบุ	80 แกรม สีขาว
10. ตุ้มเหล็ก	ไม่ระบุ	20 g

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	รายละเอียด
1. Ethanol (CH3CH2OH)	Merck
2. Ethyl acetate (CH3COOC2H5)	LAB-SCAN
3. n-Butanol (C4H10O)	LAB-SCAN

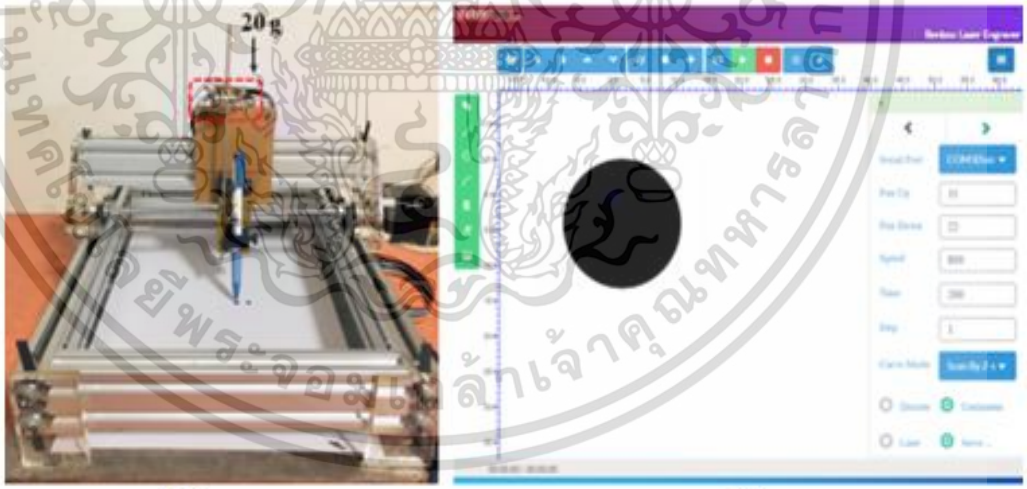
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี	รายละเอียด
4. Acetone (C3H6O	ไม่ระบุ
5. Methanol (CH3OH)	BHD
6. Ammonia (NH3)	Merck
7. Distilled water	ไม่ระบุ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง

นำปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินทั้งหมด 25 ชนิด มาระบายบนกระดาษ double A ขนาด 80 แกรม โดยใช้เครื่อง XY plotter PCB drawing robot machine ขนาด 20 cm x 20 cm และเพื่อควบคุมปริมาณหมึกและแรงกดปากกา ถ่วงน้ำหนักด้วยตุ้มเหล็ก 20 g แสดงในรูปที่ 3.1ก ใช้คำสั่งผ่านโปรแกรม BENBOX แสดงในรูปที่ 3.1ข วาดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm เพื่อควบคุมให้มีขนาดเท่ากัน นำไปทำการทดลองในการสกัดหมึกออกจากกระดาษต่อไป



รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน (ก) XY plotter PCB drawing robot machine (ข) โปรแกรม BENBOX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

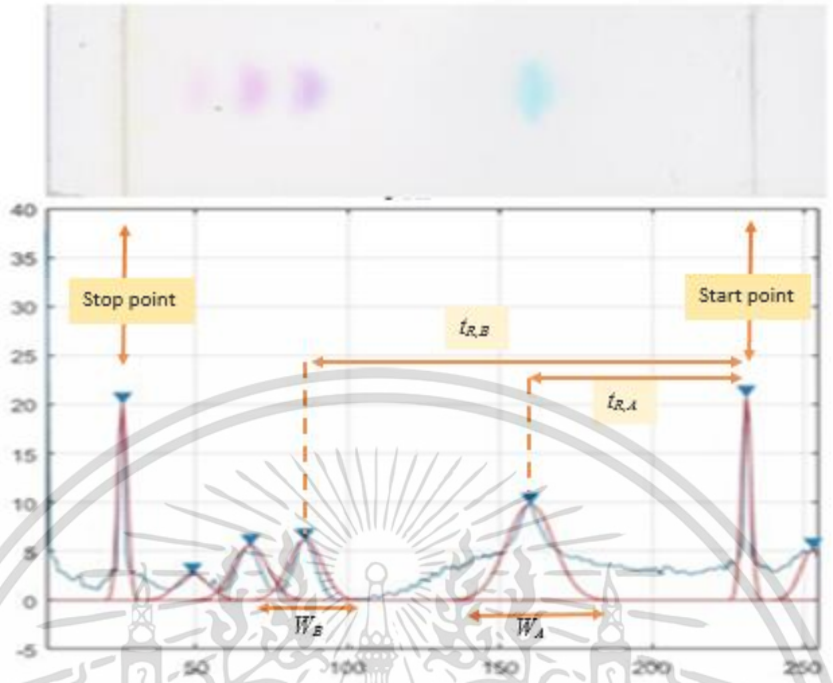
3.2.2 การศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดหมึกออกจากกระดาษ

ในขั้นตอนการหาสารสกัดที่เหมาะสมเพื่อสกัดหมึกออกจากกระดาษ เลือกตัวอย่างจากการระบายลงบนกระดาษมาทำการทดลอง ในการทดลองนี้ใช้ตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ Ethyl acetate, Ethanol, n-Butanol, Acetone และ Methanol โดยนำตัวอย่างมาใส่หลอดทดลอง 5 หลอด หลอดละ 10 ชิ้น แล้วเติมตัวทำละลายหลอดละ 1 ชนิด ด้วยปริมาณ 1 mm เขย่าประมาณ 1 นาที นำหมึกที่ได้จากสกัดออกจากกระดาษหยดลงบนแผ่นรงคเลขผิวบางโดยใช้ไมโครปิเปต หยดจุดละ 2.5 µl ที่จุดเริ่มต้น นำแผ่นรงคเลขผิวบางดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) Ethyl acetate : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 (v/v/v) รอจนวัฏภาคเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ไปถึงจุดสิ้นสุด นำแผ่นรงคเลขผิวบางไปเป่าแห้งเป็นเวลา 10 นาที เมื่อเป่าแห้งนำมาสแกนแล้วนำภาพไปวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้อัลกอลิทึม image processing toolbox ประมวลผลภาพเพื่อให้ได้กราฟแล้วสังเกตความแตกต่างของกราฟเพื่อหาตัวทำละลายที่นำมาสกัดที่เหมาะสมกับปากกามากที่สุดโดยพิจารณาจากจำนวนพีคและความเข้มของสีที่มาจากการวิเคราะห์กราฟ สุ่มปากกาเพิ่มอีก 4 ด้าม และทำการทดลองซ้ำ

3.2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบวัฏภาคเคลื่อนที่โดยใช้รงคเลขผิวบาง

นำตัวอย่างปากกาที่ได้จากการสกัดหมึกออกจากกระดาษโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมจากขั้นตอนการสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษ นำหมึกที่ได้หยดลงบนแผ่นรงคเลขผิวบางโดยใช้ไมโครปิเปต หยดจุดละ 2.5 µl ที่จุดเริ่มต้น นำแผ่นรงคเลขผิวบางที่ถูกหยดด้วยหมึกปากที่ถูกสกัดออกจากกระดาษดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) ที่ใช้ศึกษา 3 ระบบ ได้แก่ n-Butanol: Ethanol: H_2O อัตราส่วน 50:15:10 (v/v/v) Ethyl acetate: Butanol: NH_3 อัตราส่วน 60: 35: 5 (v/v/v) และ Ethyl acetate: Ethanol: H_2O อัตราส่วน 70: 35: 30 (v/v/v) รอจนวัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปถึงจุดสิ้นสุด นำแผ่นรงคเลขผิวบางไปทำให้แห้งเป็นเวลา 10 นาที เมื่อแห้งนำเข้าเครื่องสแกนเพื่อประมวลผล วิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ประมวลผลภาพเพื่อให้ได้กราฟแล้วสังเกตค่า Resolution (R_s) ที่จะบอกประสิทธิภาพการทำงานของคอลัมน์ และ ระบบ Chromatography ว่าสารประกอบที่ชะออกมานั้นถูกแยกออกจากกัน ตามสมการที่ 2.2 ต้องมีค่าตั้งแต่ 1.5 จากกราฟเพื่อหาวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับการทดลองมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.2

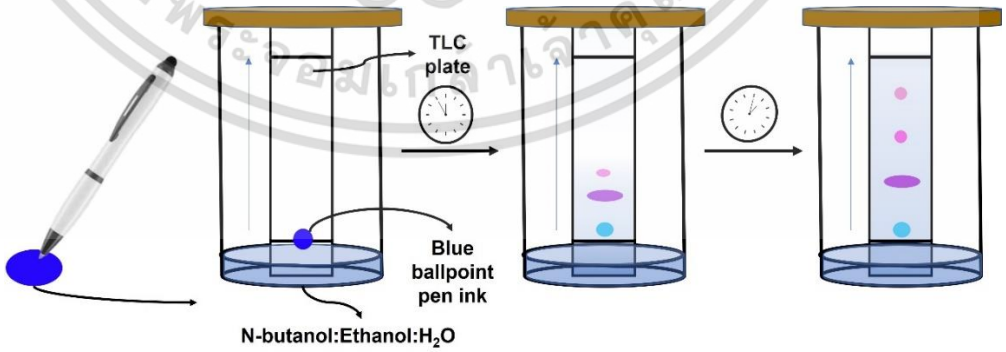
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Resolution ของโครมาโตแกรม

3.2.4 การทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกาทั้งหมด 25 ชนิด

นำตัวอย่างจากการระบายทั้งหมด 25 ชนิด มาทำการสกัดและทดลองรงคเลขผิวบางที่สภาวะที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.2 และ 3.2.3 เพื่อ spot ลงบนแผ่นรงคเลขผิวบางจุดละประมาณ 5 µl และทำการ ทดสอบเมื่อถึงขีดที่กำหนดไว้ให้หยุดการทดลอง ดังรูปที่ 3.3 และเป่าให้แห้งที่อุณหภูมิ เป็นเวลา 10 นาที เลือกโครมาโตแกรม ที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรมเพื่อนำปริมาณสารที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



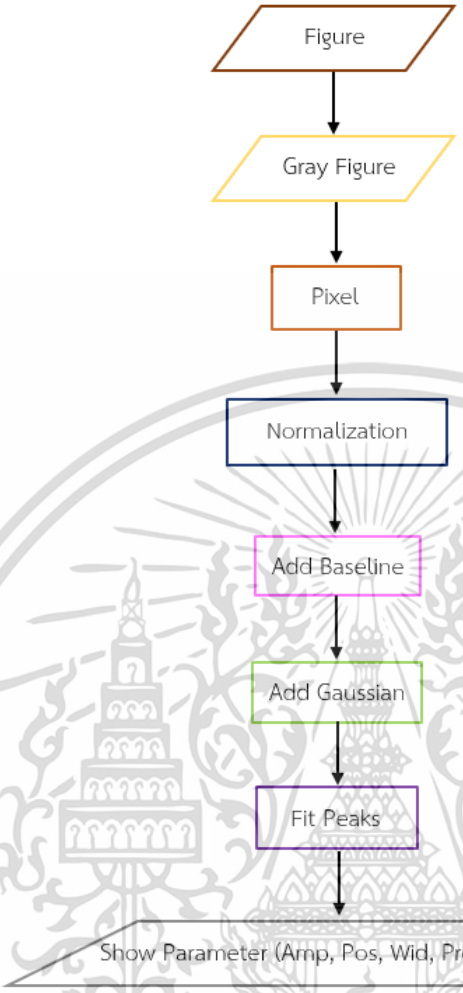
รูปที่ 3.3 การทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การประมวลผลภาพ

ในการประมวลผลภาพ ใช้แล็ปท็อปยี่ห้อ ASUS Intel Core i7-6500U (2.50 GHz, 4 MB L3 Cache, สูงสุด 3.10 GHz), หน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (RAM) 4 GB และฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุ 1 TB 5400 RPM สำหรับภายนอก พื้นที่จัดเก็บ. คอมพิวเตอร์ติดตั้งกราฟิกการ์ดออนบอร์ด (NviDiA GeForce 940MX) และสแกนเนอร์ (Canon MP287) ที่เชื่อมต่อสำหรับการสแกน (300 dpi) ตัวอย่างรงคเลขผิวบางเป็นภาพดิจิทัล รูปภาพถูกบันทึกเป็นไฟล์ JPG MATLAB (เวอร์ชัน 9.8.0, MathWorks, Inc.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ใบอนุญาต #40904942 ถูกใช้เพื่อเขียนอัลกอริทึมใหม่เพื่อวิเคราะห์รูปภาพที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้ โดยใช้กล่องเครื่องมือประมวลผลรูปภาพ ซึ่งเป็นอัลกอริทึมอ้างอิงมาตรฐานสำหรับรูปภาพ การประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพจะเริ่มโดยการรับภาพโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดลองมาเปลี่ยนจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray figure) เครื่องมือนี้ใช้ฟังก์ชัน rgb2gray โดยการกำจัดสีและข้อมูลความอิ่มตัวของสีในขณะที่ยังคงความสว่างไว้และทำการกำหนดดัชนีคอลัมน์ c และแถว r ของ pixel และใช้ฟังก์ชัน impixel ซึ่งจะรับค่าตั้งแต่หนึ่งค่าขึ้นไปของพิกเซลในรูปภาพและส่งกลับค่าพิกเซลในแต่ละตำแหน่งของภาพ จากนั้นพล็อตกราฟในแนวแกน x โดยให้แกน x มีค่าเท่ากับขนาดความยาวของแผ่นโครมาโตแกรมของภาพและทำการ normalization โดยการปรับกราฟเพื่อลบแนวโน้มแบบเชิงเส้นออกโดยใช้ฟังก์ชัน detrend และทำการเพิ่ม baseline โดยการหาจุดต่ำสุดของกราฟและทำการยกกราฟให้แกน y เท่ากับ 0 จากนั้นหาค่าความสูง (amp) ตำแหน่ง (pos) ความกว้าง (wid) และค่าความโดดเด่นของกราฟ (proms) จากฟังก์ชัน findpeaks เพื่อนำไปใช้ในฟังก์ชัน gaussian เป็นการแจกแจงแบบปกติเพื่อลดสัญญาณรบกวนของกราฟและไม่มีการเบ้ของกราฟเกิดขึ้น จากนั้นสามารถคำนวนพื้นที่ได้จาก trapezoid method และทำการแสดงผลข้อมูลของพารามิเตอร์ทั้งหมดผ่านหน้าจอประมวลผล ดังรูปที่ 3.4 ภาพต้นฉบับแปลงเป็นภาพระดับสีเทาและเปลี่ยนเป็นกราฟ ดังรูปที่ 3.5 กราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสารตั้งแต่จุดกำเนิดจนถึงสิ้นสุดกับความเข้มแสงของภาพ จากนั้นจึงใช้อัลกอริธึมจากกล่องเครื่องมือการประมวลผลภาพเพื่อแยกสัญญาณและรับพารามิเตอร์เชิงปริมาณสำหรับแต่ละชนิดผลลัพธ์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสารตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกับความเข้มแสงของภาพดังแสดงในรูปที่ 3.6 พารามิเตอร์ที่วัดได้ ได้แก่ จำนวนพีค ความสูง ตำแหน่ง ความกว้าง พื้นที่ ตลอดจนความแตกต่างของความสูงและความกว้างของพีคที่อยู่ติดกัน ดังรูปที่ 3.7

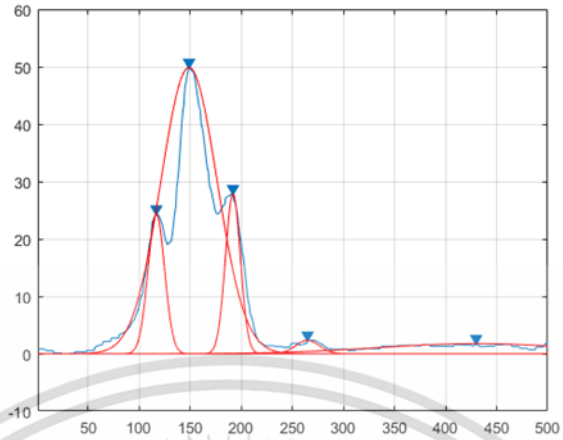
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



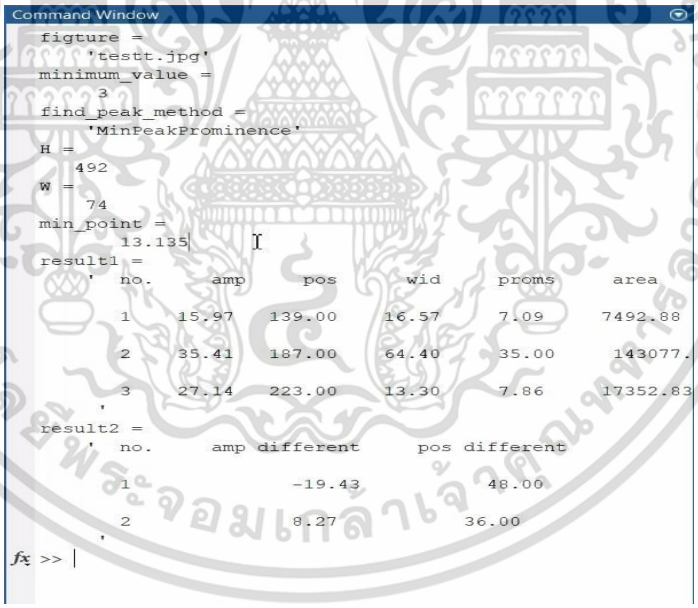
รูปที่ 3.4 การประมวลผลเพื่อใช้เก็บพารามิเตอร์ของอัตลักษณ์ในการวิเคราะห์หมึกปากกา

รูปที่ 3.5 การประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพ ภาพต้นฉบับแปลงเป็นภาพระดับสีเทาและเปลี่ยนเป็นกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสารตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกับความเข้มแสงของภาพ

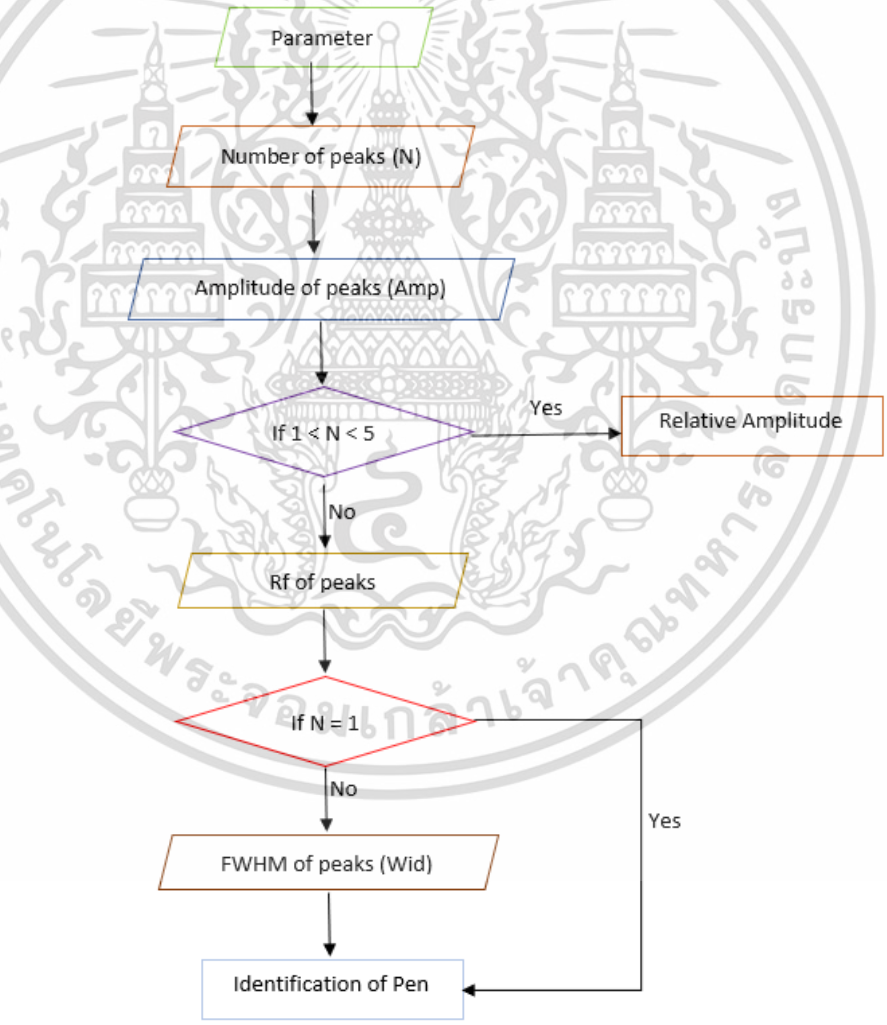


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการประมวลผลได้ข้อมูลเป็นพารามิเตอร์ได้แก่ จำนวนพีค ความสูง ตำแหน่ง ความกว้าง พื้นที่ และค่าที่โดดเด่นของแต่ละพีค ตลอดจนความแตกต่างของความสูงและความกว้างของพีคที่อยู่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การวิเคราะห์ภาพเปรียบเทียบแยกความแตกต่างของปากกาลูกลื่นด้วยวิธีแผนภาพต้นไม้

จากการรับค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างที่ได้ จากรูปที่ 3.4 มาแยกความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นโดยนำอัตลักษณ์ต่างๆ มาวิเคราะห์ ในขั้นตอนแรกจะสังเกตจากจำนวนของพีค (Number of peaks) เพื่อแยกพีคตั้งแต่ 1 พีค ไปจนถึง 4 พีค จากนั้นทำการสังเกตจากความสูงสัมพัทธ์ของแต่ละพีค (Relative Amplitude) ว่ามีลำดับความสูงแตกต่างกันอย่างไร ลำดับถัดไปแยกความแตกต่างจากค่า Rf ของพีคที่ได้จากการคำนวน และลำดับสุดท้ายสังเกตจากความกว้างของพีคว่าแต่ละพีคมีความกว้างแตกต่างกันอย่างไร จากการพิจารณาทั้งหมดทำให้สามารถระบุตัวอย่างปากกาได้ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนผังการตัดสินใจในการหาความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

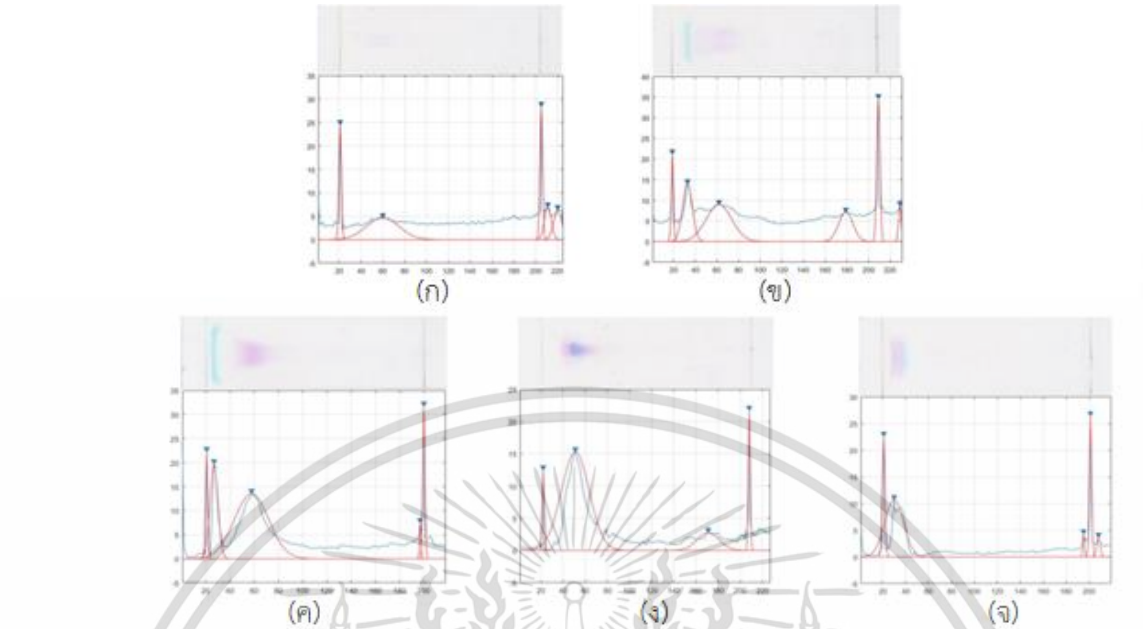
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยของ Djavanshir Djozan จากมหาวิทยาลัย Tabriz Tabriz ประเทศอิหร่าน (Djavanshir และคณะ, 2008) และได้ศึกษางานวิจัยของ มยุรี สัมบูรณ์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ประเทศไทย (มยุรี, 2553) ที่เลือกใช้วิธีแบบรงคเลขผิวบางโดยใช้มือฝนปากกาลงบนกระดาษนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย จุ่มลงบนวัฏภาคเคลื่อนที่เพื่อให้สารเกิดการแยกองค์ประกอบ มาใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างโดยการนำภาพสีที่ได้จากการสแกนโครมาโตแกรมด้วยเครื่องสแกนมาประมวลผลโดยการคำนวณความคล้ายคลึงกันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน(RGB) งานวิจัยได้แนวคิดมาเพื่อปรับปรุงและพัฒนาโดยลำดับแรกจะคำนึงถึงการทดสอบของแรงกดปากกาเนื่องจากน้ำหนักมือในการกดของปากกาแต่ละครั้งไม่เท่ากันโดยใช้เครื่อง XY plotter pen และปรับเปลี่ยนวิธีการประมวลผลภาพเป็นแบบเกรย์สเกล โดยจะใช้ภาพโครมาโตแกรมที่ได้จากเทคนิครงคเลขผิวบางมาประมวลผลที่ได้ออกมาเป็นกราฟ แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่เป็นจุดเด่นของกราฟออกมาเพื่อหาตัวทำละลายที่ใช้สกัดหมึกปากกาลูกลื่นและหาวัฏภาคเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นทั้ง 25 ชนิด

4.1 ผลการสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษ

งานวิจัยได้ทำการหาตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ Ethyl acetate, Ethanol, Methanol, Acetone และ n-Butanol เพื่อได้ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการใช้สกัดหมึก โดยการนำหมึกมาหยดลงบนโครมาโตแกรมแบบแผ่น และ ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็น Ethyl acetate : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 (v/v/v) (Djavanshir และคณะ, 2008) เมื่อนำโครมาโตแกรมที่ได้ไปประมวลผลภาพ จะแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยแสดงให้เห็นว่ากราฟของ Ethanol และ Acetone สามารถแยกแถบองค์ประกอบของสีหมึกปากกาเป็นแถบสีฟ้ากับสีชมพูได้ชัดเจน โดย Ethanol ให้จำนวนพีคมากที่สุด เพราะเป็นการบอกว่าสามารถแยกองค์ประกอบของสารในหมึกปากกาได้ดี จึงเลือกใช้สารละลาย Ethanol เป็นตัวทำละลายหลักในการทดลอง

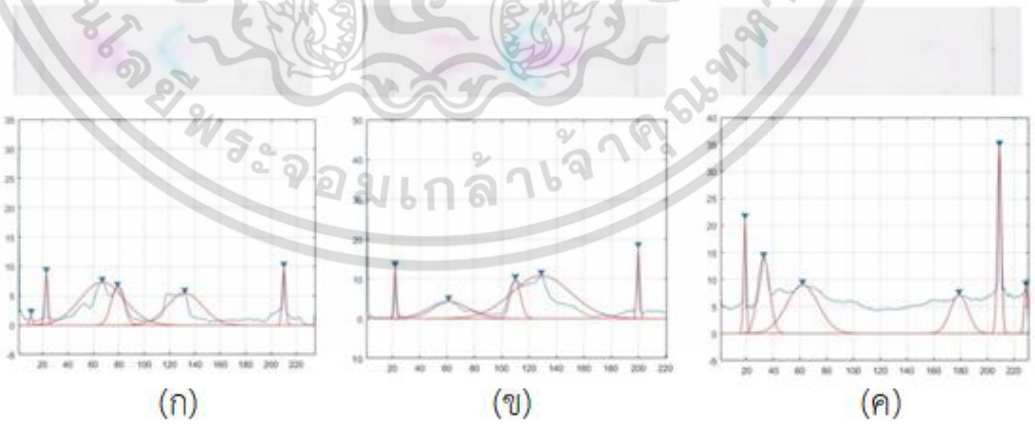
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมใช้ตัวทำละลายสกัดหมึกทั้ง 5 ชนิด (ก) Ethyl acetate (ข) Ethanol (ค) Methanol (ง) Acetone (จ) n-Butanol

4.2 ผลการหาวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

จากนั้นเมื่อได้ตัวทำละลายหลักแล้ว ทางผู้วิจัยทำการหาวัฏภาคเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป โดยนำแผ่นรงคเลขผิวบางที่ถูกหยดด้วยหมึกปากที่ถูกสกัดออกจากกระดาษดังกล่าว ไปวางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase)ใช้ศึกษา 3 ระบบ แสดงผลการประมวลภาพในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมโดยใช้ระบบวัฏภาคเคลื่อนที่ 3 ระบบ (ก) 50:15:10 v: v: v (ข) 60:35:5 v: v: v (ค) 70:35:30 v: v: v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าวัฏภาคเคลื่อนที่ อัตราส่วน 50:15:10 สามารถแยกแถบโครมาโตแกรมออกมาได้ดีกว่าเฟสระบบอื่นๆ ทางผู้วิจัยจึงนำอัตราส่วน 50:15:10 มาหาค่าอัตราส่วนเหมาะสมกับการทดลองโดยคำนึงจากค่า R_s ได้ผลดังตารางที่ 4.1

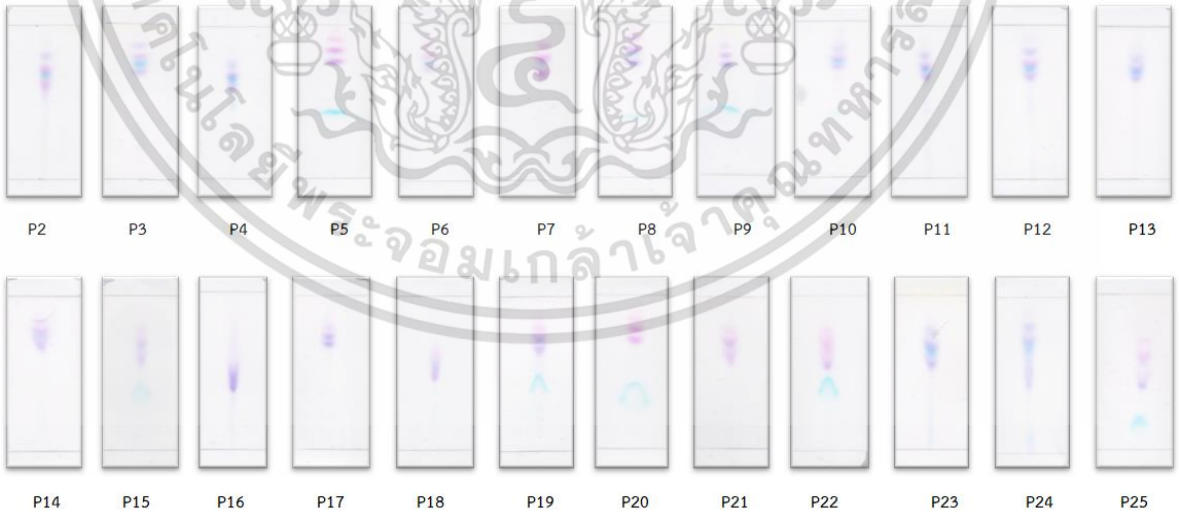
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองในการหาค่า Resolution

Rs Ratio(V :V:V)	1				2				3				4				5			
	Rs12	Rs23	Rs34	Rs45	Rs12	Rs23	Rs34	Rs45	Rs12	Rs23	Rs34	Rs45	Rs12	Rs23	Rs34	Rs45	Rs12	Rs23	Rs34	Rs45
50:15:10	8.07	2.37	2.23		2.28	1.97			1.58	1.42	19.4		3.34	8.18	2.26	2.37	2.28	1.97		
50:15:15	8.43	2.28	2.03		2.4	4.94	2.17		2.26	2.51	2.18		2.40	4.94	2.17	2.05	7.97	2.63	2.24	
50:20:10	4.01	1.43	3.22		0.97	2.24			2.6	5.82			0.81	2.47	186	2.24	2.25	2.72	2.30	
55:15:10	2.97	0.73	2.23	10.77	1.91	2.03			2.85	2.45			5.34	2.54	2.65	3.36	2.24	2.65		
55:20:10	5.71	1.92	2.37		6.81	1.46	1.75		1.75	1.77	6.16		2.91	6.87	2.79	2.92	2.76	5.18		
55:25:05	1.67	2.43	4.07		0.91	3.47	14.59		1.57	3.44			4.06	1.65	2.43		4.36	2.79	2.6	2.24
60:20:10	6.14	2.05	3.00		0.83	1.94	2.4	2.97	0.92	7.78	0.66		5.32	1.68	2.69		1.25			
60:25:05	1.60	2.36	3.21		2.09	2.63			6.98	1.82	1.92	3.31	6.94	1.43	2.57	2.79	0.8			

จากตารางที่ 4.1 ค่า R_s 12 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคเริ่มต้นกับพีคที่ 1, ค่า R_s 23 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคที่ 1 กับ พีคที่ 2, ค่า R_s 34 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคที่ 2 กับ พีคที่ 3 และ ค่า R_s 45 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคที่ 3 กับ พีคที่ 4 โดยอัตราส่วนที่ 50:15:15 ให้จำนวนพีคที่มากกว่าในแต่ละปากกา และมีค่า R_s มากกว่า 1.5 ของทุกปากกา ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับระบบมากที่สุด

4.3 ผลการทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกาทั้งหมด 25 ชนิด

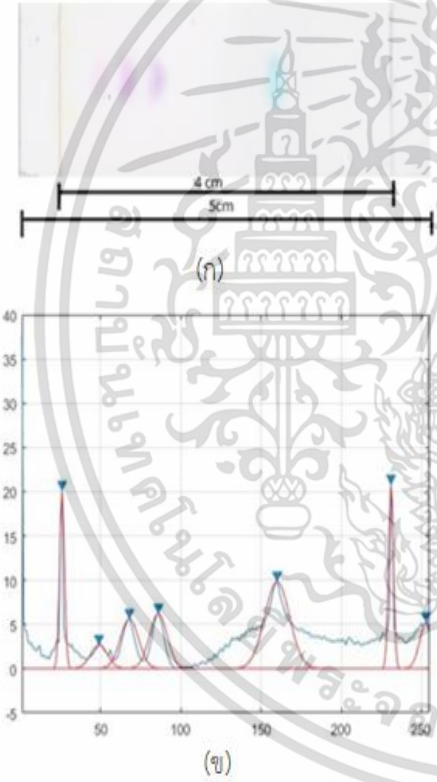
เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างในองค์ประกอบของแต่ละตัวอย่าง สารสกัดหมึก 10 µl หยดลงบนแผ่นรงคเลขผิวบางตัวอย่างซะโดยใช้อะลูมินาเคลือบด้วยซิลิกาเจลเป็นวัฏภาคนิ่งและผสมตัวทำ n-butanol: ethanol: H_2O (50:15:15, V: V: V) เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ เมื่อระบบเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดให้นำโครมาโตแกรมมาสแกน โดยภาพที่ได้จากการสแกน แสดงดังรูปที่ 4.3 ภาพที่ได้จากการทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกา 24 ตัวอย่าง และภาพที่ได้จากการทดลองปากกา P1 อีก 1 ตัวอย่างแสดงดังรูป 4.4ก รวมเป็น 25 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.3 แสดงโครมาโตแกรม 24 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโครมาโตแกรม 25 ตัวอย่างที่ได้จากปากกาสแกนด้วยเครื่องสแกน และนำภาพที่ได้มาตัดด้วยโปรแกรม Paint โดยจะตัด 1 ภาพ ต่อตัวอย่างปากกา 1 ด้าม ขนาดภาพ 102*255 พิกเซล โดยตัดตามขอบโครมาโตแกรม ภาพที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.4 และภาพที่ได้จะถูกประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB จากนั้นนำภาพที่ได้มาประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB โครมาโตแกรมที่แสดงปากกาด้ามที่ 1 (P1) ในรูปที่ 4.4 (ก) วิเคราะห์เป็นกราฟ แสดงจุดสูงสุดของกราฟที่แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย โดยแสดงแถบการเคลื่อนที่ของปากการะหว่างจุดสูงสุดทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข) อัตลักษณ์ของกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.4 (ค) ค่าที่ได้จะเป็นจำนวนคลื่น ค่าความสูงสัมพัทธ์ (amp) ค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ (pos) ค่าความกว้างสัมพัทธ์ (wid) ค่าที่โดดเด่นของแต่ละพีค (proms) และพื้นที่ของแต่ละคลื่น (area)



no.	amp	pos	wid	proms	area
1	20.11	26.00	2.10	19.02	1504.43
2	2.69	49.00	7.36	1.61	94.39
3	5.63	68.00	7.98	4.73	448.20
4	6.22	86.00	7.73	5.33	529.31
5	9.85	160.00	10.86	7.21	1865.21
6	20.81	231.00	2.10	17.93	1613.15
7	5.24	253.00	5.73	1.43	191.79

(ค)

รูปที่ 4.4 แสดงโครมาโตแกรมปากกาด้ามที่ 1(P1) (ก) แสดงจุดสูงสุดของกราฟที่แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย (ข) แสดงแถบการเคลื่อนที่ของปากการะหว่างจุดสูงสุดทั้งสอง (ค) แสดงอัตลักษณ์ของกราฟเป็นจำนวนคลื่น ค่าความสูงสัมพัทธ์ (amp) ค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ (pos) ค่าความกว้างสัมพัทธ์ (wid) ค่าที่โดดเด่นของแต่ละพีค (proms) และพื้นที่ของแต่ละคลื่น (area)

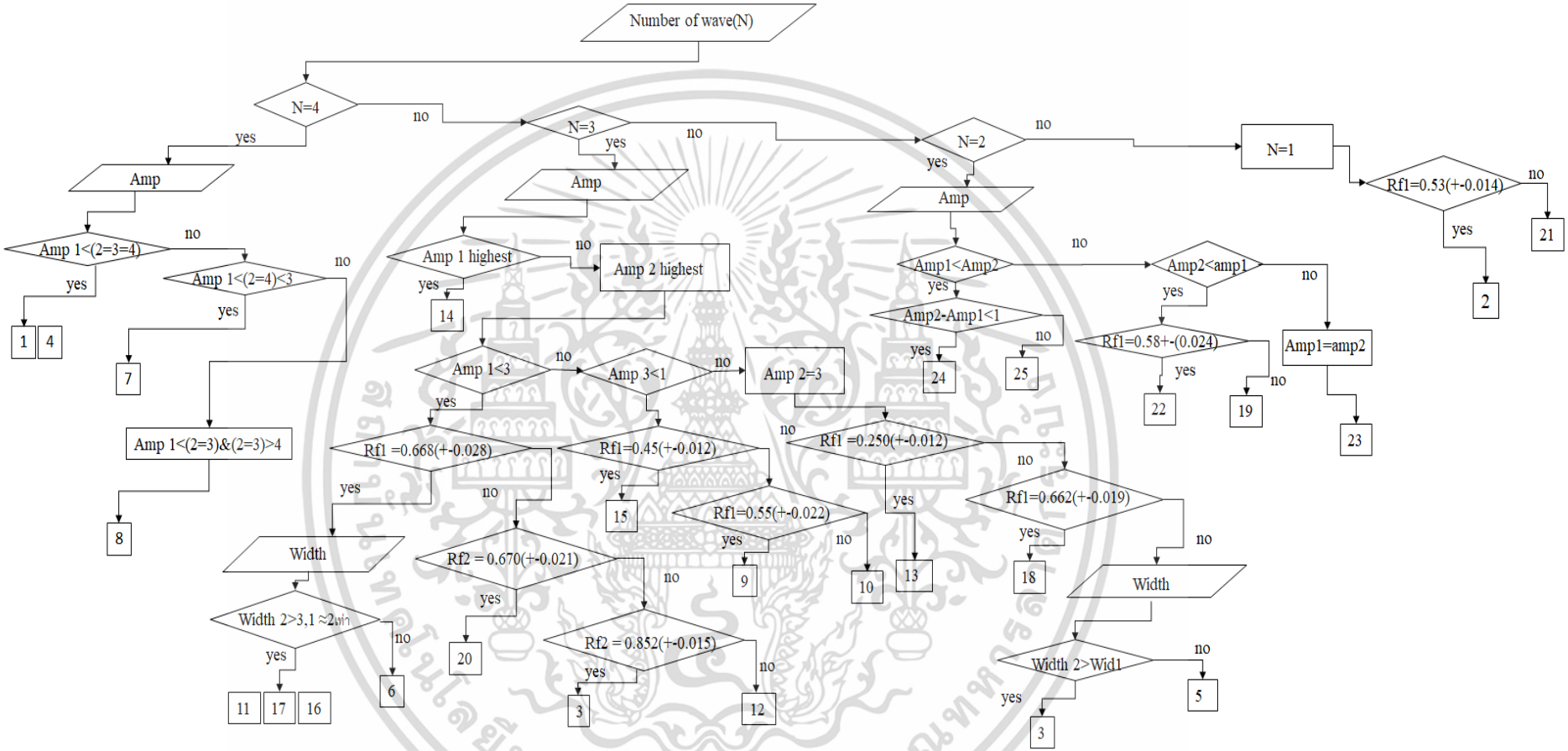
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์ภาพเปรียบเทียบแยกความแตกต่างของปากกาลูกลื่นด้วยวิธีแผนภาพต้นไม้

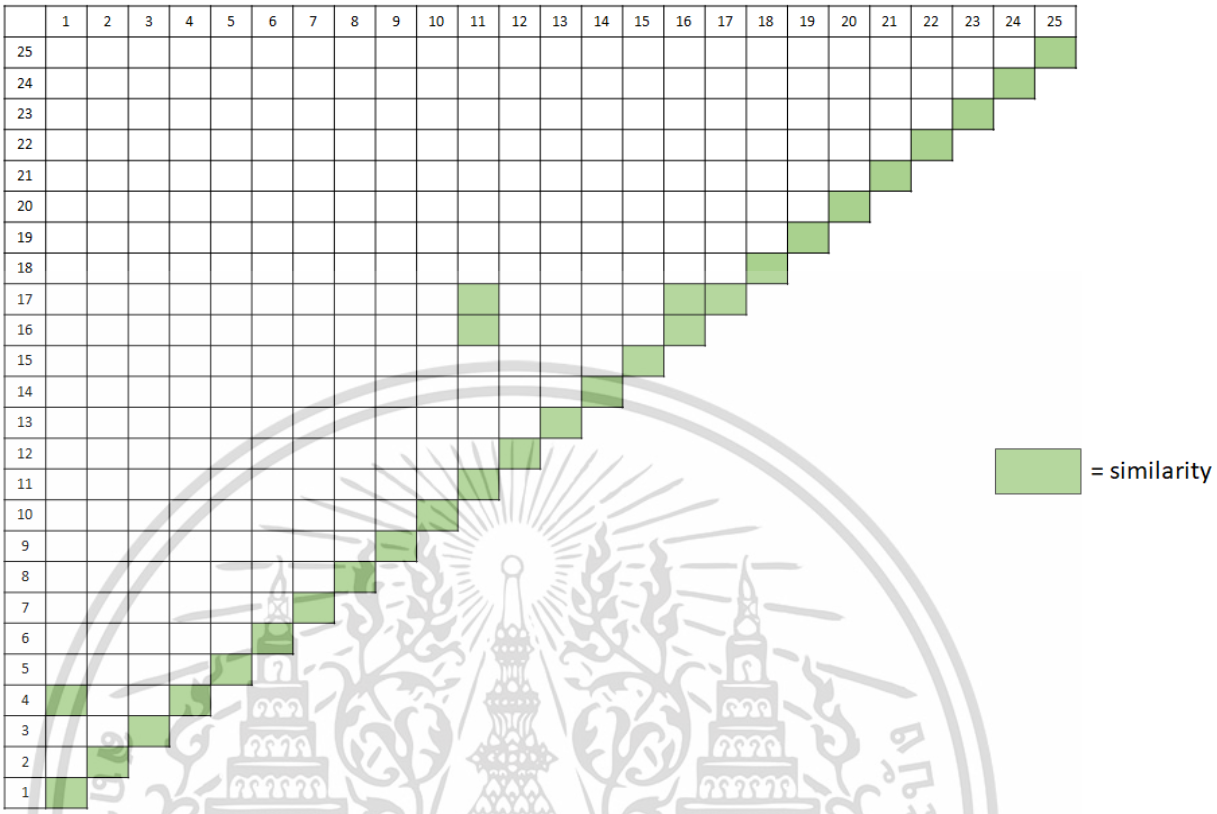
ค่าที่ได้รับจากการประมวลผล MATLAB จะได้รับการวิเคราะห์จากกราฟเพื่อแยกความแตกต่างโดยใช้ไดอะแกรมต้นไม้เพื่อสร้างโหนดจากคุณสมบัตินั้น คุณสมบัติที่เห็นได้ชัดเจนอันดับแรกของตัวเลือกคือจำนวนคลื่น (N) ที่เกิดจากแถบของโครมาโตแกรม ต่อไปจะพิจารณาลักษณะความสูงสัมพัทธ์ของแต่ละจุดสูงสุดของกราฟโดยแยกแต่ละจุดที่เกิดขึ้นตามลำดับความสูง จากนั้นนำตำแหน่งของพีคที่ได้ไปหาค่าของ Rf โดยใช้วิธีคำนวณในสมการที่ 2.1 เพื่อใช้เป็นตัวเลือกในการแยกต่อไป และนำแอมพลิจูดของแต่ละคลื่น (FWHM) มาพิจารณาเป็นค่าสุดท้าย โดยจะแสดงแยก ดังรูปที่ 4.5 จากภาพการแยกของปากกาจำนวนคลื่นสูงสุดที่แยกได้คือ 3 ยอด คิดเป็นร้อยละ 60

ในการตรวจสอบความเป็นไปได้ในการแยกความแตกต่างของปากกาลูกลื่น 25 ด้ามโดย Discrimination Power (DP) พบอัตราส่วนระหว่างจำนวนของคู่ตัวอย่างที่แตกต่างกันซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนรวมของการผสมผสานที่เป็นไปได้ทั้งหมด ในสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจในการแยกความแตกต่างของหมึกปากกาทั้ง 25 ชนิดจากการทดลอง



รูปที่ 4.6 แสดงการจับคู่ตัวอย่างของเปรียบเทียบหมึกปากกาทั้ง 25 ชนิด

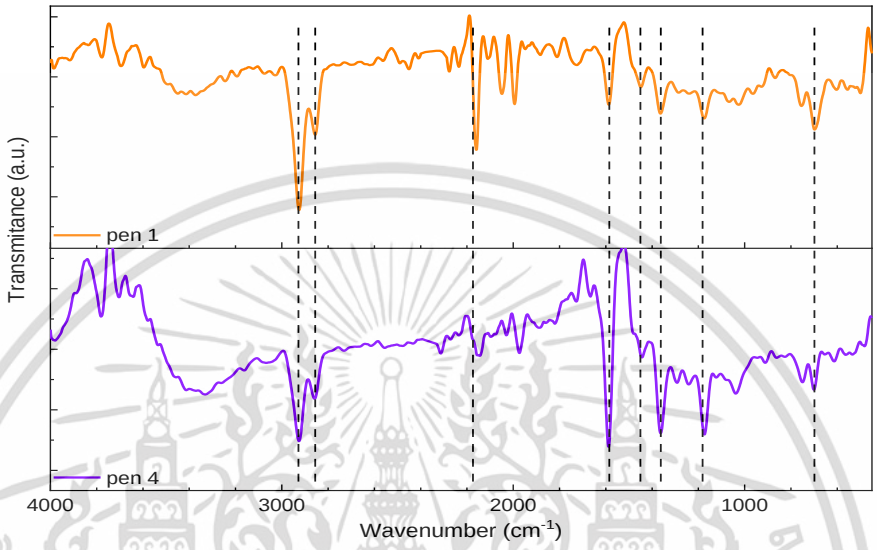
จากการทดลองของ Djavanshir Djozan ได้หาค่า DP โดยไม่คำนึงถึงคู่ปากกาเดียวกัน (Djavanshir และคณะ, 2008) ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้เผยให้เห็นว่าในการแยกความแตกต่างของหมึกปากกาจากคู่ตัวอย่าง 300 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ คู่ปากกา 296 ตัวอย่างถูกแยกความแตกต่างโดยใช้วิธีรงคเลขผิวบางในขณะที่มีเพียง 4 คู่ปากกาคือคู่ปากกา P1 กับ P4 คู่ปากกา P11 กับ P16 ปากกา คู่ปากกา P11 กับ P17 และคู่ปากกา P16 กับ P17 เท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างดังแสดงในรูปที่ 4.6 สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยการคำนวน DP จากสมการ 2.3 ได้ 98.67%

4.5 ผลการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR

จากการทดลองวิธีรงคเลขผิวบางเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง ใช้วิธี FT-IR เนื่องจากเป็นการตรวจสอบขั้นสูงมาตรวจสอบหาค่าสหสัมพันธ์เพื่อไปเทียบกับตารางที่ 2.1 ที่แสดงความสัมพันธ์ของสหสัมพัทธ์เพื่อบ่งบอกความคล้ายคลึงกันในการแยกความแตกต่าง โดยนำปากกา P1

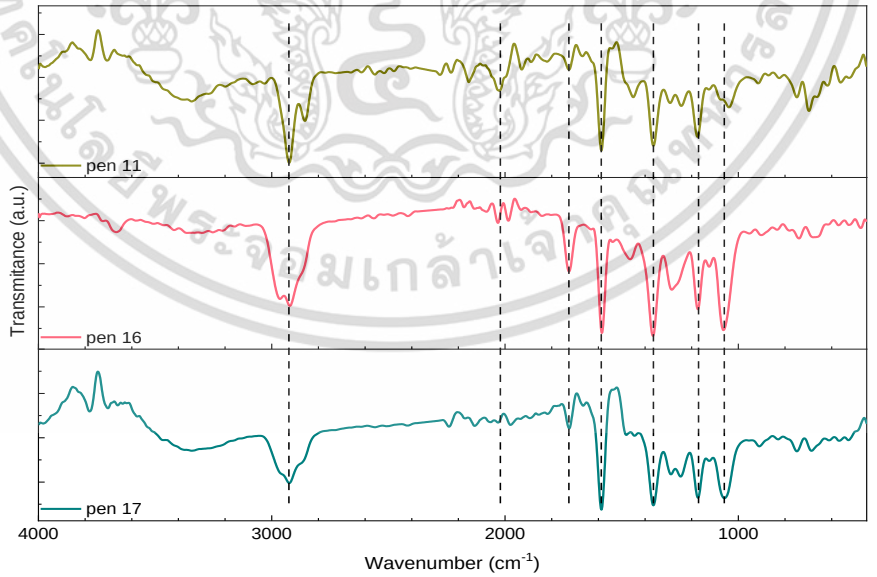
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ P4 ที่การทดลองวิธีรงคเลขผิวบางระบุว่าทั้งสองด้ามมีความคล้ายคลึงกันมาทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.7 และนำปากกา P11, P16 และ P17 ตรวจสอบผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แสดงการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR ปากกา 1 และ ปากกา 4

จากรูปที่ 4.7 ปากกา P1 กับปากกา P4 มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.5754 เมื่อเทียบกับตารางที่ 2.1 ผลที่ได้คือความสัมพันธ์ที่ Strong Correlation คือมีความคล้ายคลึงกันมาก

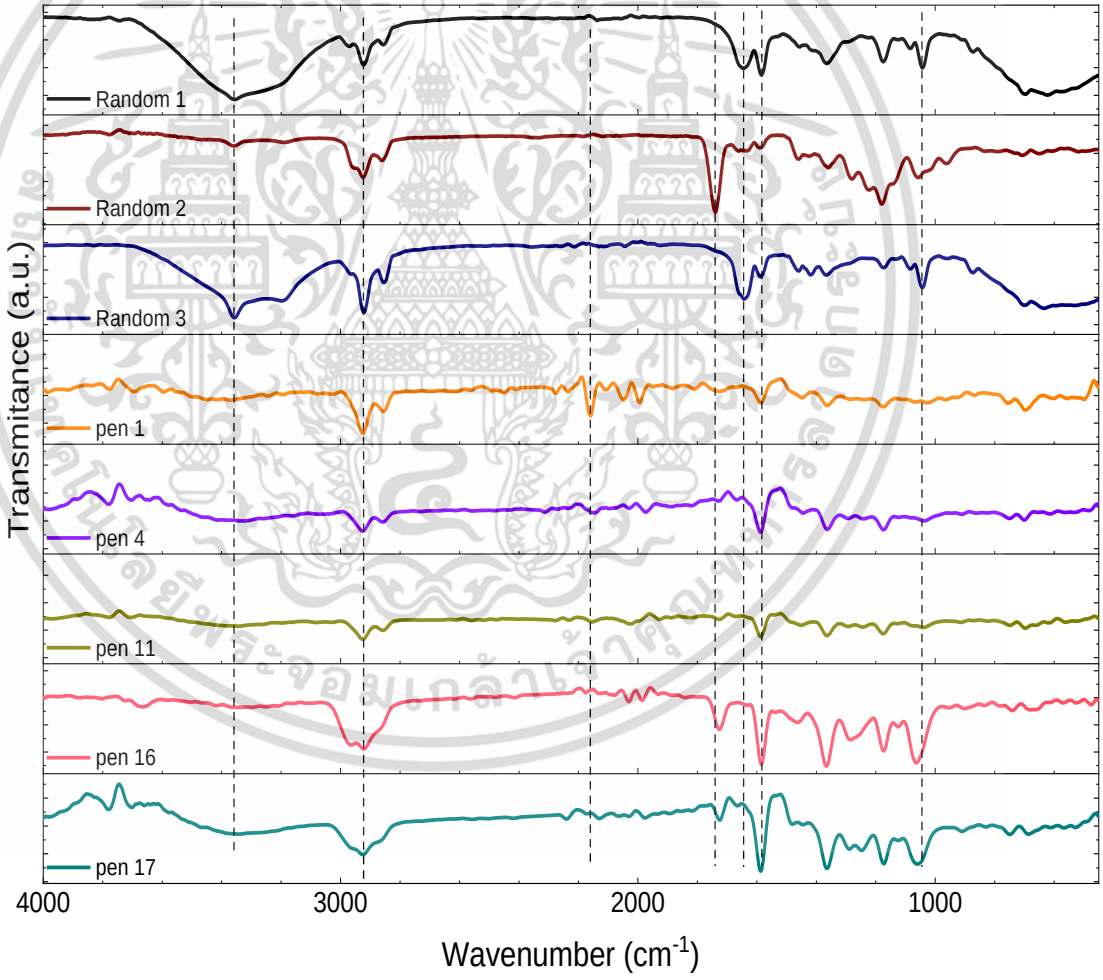


รูปที่ 4.8 แสดงการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR ปากกา 11 ปากกา 16 และ ปากกา 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 ปากกา P11 กับ ปากกา P16 มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.7711 เมื่อเทียบกับตารางที่ 2.1 และผลที่ได้คือ Very Strong Correlation ปากกา P16 กับปากกา P17 มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.8431 เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง ผลลัพธ์ที่ได้คือ Very Strong Correlation และปากกา P11 กับปากกา P17 มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.5541 เมื่อเทียบกับตาราง ผลลัพธ์คือ Strong Correlation ในที่นี้หมายถึงปากกา P11, P16 และ P17 มีความคล้ายคลึงกันมากจนไม่สามารถแยกความแตกต่างได้

เพื่อทดสอบประสิทธิผลของการทดลอง นำปากกาที่การทดลองโดยการสุ่มปากกาที่ TLC สามารถวิเคราะห์ได้มา 3 ด้ามเพิ่มเติมได้แก่ Random1, Random2 และ Random3 เพื่อดูความแตกต่างของปากกาทั้ง 3 แบบ กับปากกา 5 แบบที่การทดลอง TLC ระบุว่ามีความคล้ายคลึงกันข้างต้น แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR ปากกาที่สุ่มทั้ง 3 ด้ามและปากกาทั้ง 5 แบบข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสุ่มปากกา Random1, Random2 และ Random3 และปากกา P1, P4, P11, P16 และ P17 จากรูปที่ 4.9

Type of Pens	Random 1	Random 2	Random 3
Random 1	**N/A**	0.2610	0.8188
Random 2	0.2610	**N/A**	0.2749
Random 3	0.8188	0.2749	**N/A**
Pen 1	0.2743	0.2993	0.1989
Pen 4	0.2713	0.2987	0.0962
Pen 11	0.2306	0.2942	0.0600
Pen 16	0.3969	0.4132	0.1855
Pen 17	0.4692	0.3307	0.2443

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าสหสัมพันธ์จากการสุ่มปากกา Random 1, Random 2, Random 3 มาหาความคล้ายคลึงกันกับปากกา P1, P4, P11, P16, P17 ผลการทดลอง FT-IR ที่แสดงในตารางบ่งบอกว่าปากกาเกือบทั้งหมดมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในระดับ Sufficient Correlation คือมีความคล้ายคลึงกันน้อยสามารถหาความแตกต่างได้ ยกเว้นผลของสหสัมพันธ์ระหว่าง Random1 กับ Random 3 เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์ในระดับ Very Strong Correlation หมายถึงมีความคล้ายคลึงกันมากไม่สามารถแยกความแตกต่างได้

ในงานวิจัยที่ศึกษาเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงในตารางที่ 4.4 เป็นการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ง่าย รวดเร็ว และง่ายต่อการประมวลผล และเลือกประมวลผลภาพเป็นกราฟโดยโปรแกรม MATLAB ภาพที่ใช้วิเคราะห์เป็นภาพโทนสีเทาทำให้วิเคราะห์ได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีฟังก์ชั่นการประมวลผลภาพให้เลือกใช้งานอย่างหลากหลาย สามารถรับข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์และแยกความแตกต่างได้ดีโดยไม่ต้องปรับทุกภาพให้ตรงกัน ใช้การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดแทน เมื่อเราประมวลผลภาพ สามารถแยกแยะข้อมูลเพื่อจัดกลุ่มและเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว และผลของการแยกอยู่ในระดับดีมาก และเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่าการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR จะมีปากกาที่วิธี FT-IR ระบุว่าคล้ายคลึงกันมากไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ แต่วิธี TLC ในที่นี้สามารถแยกความแตกต่างได้

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

No Reference	No of samples	Instrument used	Statistical/other methods	Nature of analysis	Conclusion DP
1	57 ballpoint pens	HPTLC/FT-IR	PCA	Destructive and Non-destructive	93.80% Destructive 99.69% Non-destructive
2	49 blue and 42 black ballpoint pens	FLE/MSP/TLC	Qualitative analysis	Destructive and Non-destructive	FLE(83%blue,96%black) MSP(83%blue,83% black) TLC(98% blue,99%black)
3	12 blue ballpoint pens	HPTLC	RSD	Destructive	89.4%
4	12 red ballpoint pens	HPTLC	HPTLC profiles	Destructive	77.27%
5	41 blue ballpoint pens	TLC	RGB profiles	Destructive	92.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No Reference	No of samples	Instrument used	Statistical/other methods	Nature of analysis	Conclusion DP
6	24 black, 18 blue, 21 red and 15 green ballpoint pens	TLC/FT-IR/VIS/FLE/ RAMAN	spectroscopic/ analytical technique with chemometric/ linear discriminant analysis/ cluster analysis	Destructive and Non-destructive	TLC (95%black, 99%blue, 85%red, 66%green) FTIR (74%black, 74%blue, 38%red, 42%green) VIS (0%black, 20%blue, 50%red, 42%green) FLE (98%black, 94%blue, 99%red, 94%green) RAMAN(39%blue,42 %green)
7	41 blue ballpoint pens	TLC	RGB profiles	Destructive	92.8%
8 (this study)	25 blue ballpoint pens	TLC	Image analysis, decision tree	Destructive	98.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เพื่อวิเคราะห์หมึกปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิครงคเลขผิวบางและการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายในการตรวจสอบทางพิสูจน์หลักฐานสามารถหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดหมึกปากกาลูกลื่น คือ Ethanol เพราะว่าสามารถแยกแถบองค์ประกอบของหมึกปากกาได้และให้ความเข้มสีที่เหมาะสม และสามารถหาระบบของวัฏภาคเคลื่อนที่ คือ n-Butanol:Ethanol:H_2O ที่อัตราส่วน 50:15:15 v: v: v เพราะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคมีค่าตั้งแต่ 1.5 ขึ้นไปเพื่อนำไปใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่หลักในการหาความแตกต่างของหมึกกาลูกลื่นแต่ละชนิดได้ การวิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นจำนวน 25 ชนิด เลือกวิธีการประมวลผลภาพที่ได้จากการสแกนโครมาโตแกรมโดยการประมวลผลผ่านโปรแกรม MATLAB โปรแกรมจะเลือกแยกคุณลักษณะของกราฟเพื่อใช้ค่าเฉพาะของกราฟในการแยกความแตกต่างด้วยวิธีแผนผังการตัดสินใจ วิธีนี้สามารถใช้เป็นวิธีการพิสูจน์แนวคิดเพิ่มเติมเพื่อช่วยเพิ่มน้ำหนักของคดีในด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดย Discrimination Power (DP) 98.67%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานเราใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ง่าย รวดเร็ว และง่ายต่อการประมวลผล และเลือกประมวลผลภาพเป็นกราฟโดยโปรแกรม MATLAB ภาพที่ใช้วิเคราะห์เป็นภาพโทนสีเทาทำให้วิเคราะห์ได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีฟังก์ชั่นการประมวลผลภาพให้เลือกใช้งานอย่างหลากหลาย สามารถรับข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์และแยกความแตกต่างได้ดีโดยไม่ต้องปรับทุกภาพให้ตรงกัน ใช้การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดแทน เมื่อเราประมวลผลภาพ เราสามารถแยกแยะข้อมูลเพื่อจัดกลุ่มและเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว และผลของการแยกอยู่ในระดับดีมาก และเมื่อเปรียบเทียบค่าการตรวจสอบด้วยวิธี FT-IR จะมีปากกาที่วิธี FT-IR ระบุว่าคล้ายกันแต่วิธีรงคเลขผิวบางในที่นี้สามารถแยกความแตกต่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศรันยา สีมา, นิติกรชำนาญการพิเศษ กลุ่มงานบริการวิชาการ 1 สำนักวิชาการ.บทบาทนิติวิทยาศาสตร์กับกระบวนการยุติธรรม[ออนไลน์].2563, แหล่งที่มา : https://mycontent-thai.com/2018/11/08/%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1-%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7/ [12 ธันวาคม 2564]

[2] Manpreet Kaur, Komal Saini, "Forensic examination of effects of Parkinsonism on various handwriting characteristics," **Science & Justice**,Vol 62, 2022, pp.10–20

[3] Sueblinvong T, Sirisup N, Anomasiri W, Makarasara N. Person identification in the DNA era. **Chula Med J**, Vol 40(11), 1996, pp. 889-905

[4] Aisling A., Galligan, Craig Fries, Judy Melinek "Gunshot wound trajectory analysis using forensic animation to establish relative positions of shooter and victim," **Forensic Science International**, Vol 271, 2017, e8–e13

[5] S. Farid, M.A. Kasem, A.F. Zedan, G.G. Mohamed, A. El-Hussein "Exploring ATR Fourier transform IR spectroscopy with chemometric analysis and laser scanning microscopy in the investigation of forensic documents fraud," **Optics & Laser Technology**, Vol 135, 2021, 106704

[6] Malur Sudhanva, Tania Senior-McKenzie, Rajesh Hembrom, Barnaby Clark "Genomic DNA "finger-printing" in diagnostic virology to clarify discrepant HIV results," **Journal of Clinical Virology**, Vol 73, 2015, pp. 36–41

[7] Faruk Asicioglu, Aysegul Sen Yilmaz, Jan de Kinder, Ilgim Pekacar, Ali Gelir "Technical note: A novel 3D scan-based optical method for analyzing lines drawn at different pen pressure," **Forensic Science International**, Vol 338, 2022, 111388

[8] Raj Kumar, Vishal Sharma "A novel combined approach of diffuse reflectance UV–Vis-NIR spectroscopy and multivariate analysis for non-destructive examination of blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ballpoint pen inks in forensic application," **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Vol 175, 2017, pp. 67-75

[9] Muhammad Naeim Mohamad Asri, Wan Nur Syuhaila Mat Desa, Dzulkiflee Ismail "Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy with Chemometric Techniques for the Classification of Ballpoint Pen Inks," **Arab Journal of Forensic Sciences and Forensic Medicine** Vol 1, Issue 2, 2015, pp. 194-200

[10] Vishal Sharma, Raj Kumar "Fourier transform infrared spectroscopy and high-performance thin layer chromatography for characterization and multivariate discrimination of blue ballpoint pen ink for forensic applications," **Vibrational Spectroscopy**, Vol 92, 2017, pp. 96–104

[11] OscarDíaz Santana, DauraVega Moreno, FranciscoConde Hardisson "Gas chromatography-mass spectrometry and high-performance liquid chromatography-diode array detection for dating of paper ink," **Journal of Chromatography A**, Vol 1515 , 2017, pp. 187-195

[12] Xiang-Feng Wang, Jing Yu, Meng-Xia Xie, Ya-Tong Yao, Jie Han "Identification and dating of the fountain pen ink entries on documents by ion-pairing high-performance liquid chromatography," **Forensic Science International**, Vol 180, Issue 1, 2008, pp. 43-49

[13] N.L.Poon, S.S.H.Ho, C.K.Li "Differentiation of coloured inks of inkjet printer cartridges by thin layer chromatography and high performance liquid chromatography," **Science & Justice**, Vol 45, Issue 4, 2005, pp. 187-194

[14] Djavanshir Djoza,Tahmineh Baheri, Ghader Karimianc, Masomeh Shahidia "Forensic discrimination of blue ballpoint pen inks based on thin layer chromatography and image analysis," **Forensic Science International**, Vol 179, Issues 2–3, 2008, pp. 199-205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Wenxuan He, Robert Shanks, Gandara Amarasinghe. “Analysis of additives in polymers by thin layer chromatography couple with Fourier transform-infrared microscopy.” **Vibration spectroscopy,** Vol 30, 2002, pp. 147-156.

[16] Panadda Phattanawasin, Uthai Sotanaphun, Uthai Sotanaphun, Lawan Sriphong, Jankana Burana, Jankana Burana-Osot , Jariya Akkarawaranthorn, Jariya Akkarawaranthorn, Arunya Nanta , Arunya Nanta Arunya Nantanakor “Thin-Layer Chromatography and Image analysis for Quantitation,” **Thai Bull Pharm Sci**, Vol 13(1), 2018, pp. 79-92

[17] เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin layer chromatography, TLC),คู่มือการปฏิบัติงาน เรื่อง เทคนิคปฏิบัติการเคมีและการช่วยสอนสำหรับนักวิชาชีพที่ปฏิบัติหน้าที่สนับสนุนการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการเคมี[ออนไลน์], 2560, แหล่งที่มา : http://elife-news.blogspot.com/2017/06/thin-layer-chromatography-tlc.html [12 ธันวาคม 2564]

[18] LaythKamil Almajmaie, Osman N. Ucan, Oguz Bayat “Fingerprint recognition system based on modified multi-connect architecture (MMCA),” **Cognitive Systems Research,** Vol 58, 2019, pp. 107-113

[19] G.Cabour., Ledoux S., Bassetto “Aligning work analysis and modeling with the engineering goals of a Cyber-Physical-Social System for industrial inspection,” **Applied Ergonomics**, Vol 102, 2022, 103703

[20] กีรติ อินทวิเศษ, นราธร สังขประเสริฐ. (2557). ศึกษารูปแบบการรู้จำรหัสไปรษณีย์. สงขลา. มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย

[21] Alamgir Sardar, Saiyed Umer “Implementation of face recognition system using Bio Cryptosystem as template protection scheme,” **Journal of Information Security and Applications**, Vol 70, 2022, 103317

[22] Samantha Di Nardo, Who Invented the Ballpoint Pen?: A Brief History [online](2022), แหล่งที่มา : https://www.dayspringpens.com/blogs/the-jotted-line/who-invented-the-ballpoint-pen-history [13 ธันวาคม 2565]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] วิมลมาศ โพธ์รัศมี. (2555). การวิเคราะห์หมึกสีดำจากปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตรกราฟี และการวิเคราะห์ภาพ.นครปฐม.มหาวิทยาลัยศิลปากร

[24] Introduction to Digital Image Processing [ออนไลน์] http://fivedots.coe.psu.ac.th/~montri/Teaching/image/chap1.htm [16 ธันวาคม 2564]

[25] นิโลบล ปิยะทักษานนท์, นิตยา นัดสูงวงศ์ และ ปาริฉัตร เสริมวุฒิสาร. Passengers Counting System. นครปฐม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

[26] รองศาสตราจารย์ ดร.สุภมาส อังศุโชติ, เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร [ออนไลน์],https://www.stou.ac.th/offices/ore/info/cae/uploads/pdf/636366560441132172.pdf [14 ธันวาคม 2564]

[27] ลาวัลย์ ศรีพงษ์. (2553). การทดสอบความเหมาะสมของระบบในวิธีทางโครมาโทกราฟี. นครปฐม. มหาวิทยาลัยศิลปากร

[28] SHIMADZU, About Resolution, Part 1 [ออนไลน์], https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/analysis-basics/basic/resol-1.html [14 ธันวาคม 2564]

[29] ชิตพงษ์ กิตตินราดร. (2563) Decision Tree [ออนไลน์] https://guopai.github.io/ml-blog09.html [16 ธันวาคม 2565]

[30] จิตรานุช สุรกุล. (2564). วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตริกเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ของหมึกปากกาสี น้ำเงิน นครปฐม. มหาวิทยาลัยศิลปากร

[31] มยุรี สมบูรณ์ “การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีและการวิเคราะห์ภาพ,” **Veridian E-Journal,Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)**, Vol 3,No 1, 2010

[32] ภาวดี ทับศรีแก้ว “การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของน้ำหมึกพิมพ์ โดยวิธี Thin layer chromatography Comparison study of ink by thin layer chromatography,” **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University**, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[33] Claude Roux, Michelle Novotny, Ian Evans, Chris Lennard “A study to investigate the evidential value of blue and black ballpoint pen inks in Australia,” **Forensic Science International**, Vol 101, 1999, pp.167–176

[34] Loong Chuen Lee, Sitti Mariam Nunurung, Ab Aziz Isha “FORENSIC ANALYSIS OF BLUE BALLPOINT PEN INKS ON QUESTIONED DOCUMENTS BY HIGH PERFORMANCE THIN LAYER CHROMATOGRAPHY TECHNIQUE (HPTLC),” **The Malaysian Journal of Analytical Sciences**, Vol 18 No 2, 2014, pp. 226 – 233

[35] Loong Chuen LEE, Eng Leng LEE, Ab Aziz ISHAK “FEASIBILITY OF HIGH PERFORMANCE THIN LAYERCHROMATOGRAPHY FOR THE FORENSIC ANALYSIS OF REDBALLPOINT PEN INKS,” **Problems of Forensic Sciences**, vol. 97, 2014, pp. 14–22

[36] M. Irfan Nunkoo, M., Bilall Saib-Sunassy, Henri Li Kam Wah,Sabina Jhaumeer Laulloo “Forensic Analysis of Black, Blue, Red, and Green Ballpoint Pen Inks,” **Crystallizing Ideas The Role of Chemistry** , 2016, pp.323-339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษ

ทำการหาตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ Ethyl acetate, Ethanol, Methanol, Acetone และ n-Butanol เพื่อได้ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการใช้สกัดหมึก โดยการนำหมึกมาหยดลงบนโครมาโตแกรมแบบแผ่น และ ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็น Ethyl acetate : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 70 : 35 : 30 (v/v/v)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการหาวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

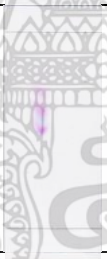
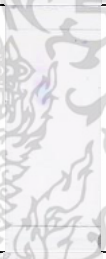
โดยนำแผ่นรงคเลขผิวบางที่ถูกหยดด้วยหมึกปากที่ถูกสกัดออกจากกระดาษดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) ใช้ศึกษา 3 ระบบ

วัฏภาคเคลื่อนที่ (v :v :v)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
50 :15 :10					
60 :35 :5					
70 :35 :30					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองในการหาค่า Resolution

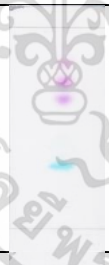
ทางผู้วิจัยจึงนำอัตราส่วน 50:15:10 มาหาค่าอัตราส่วนเหมาะสมกับการทดลองโดยคำนึงจากค่า R_s

วัฏภาคเคลื่อนที่ (v :v :v)	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5
50:15:10					
50:15:15					
50:20:10					
55:15:10					
55:20:10					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55:25:5					
60:20:10					
60:25:5					

ผลการทดลองรงคเลขผิวบางจากหมึกปากกาทั้งหมด 25 ชนิด

ปากกา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
P1					
P2					
P3					

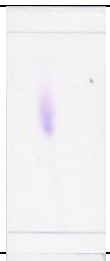
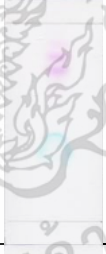
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P4					
P5					
P6					
P7					
P8					
P9					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P10					
P11					
P12					
P13					
P14					
P15					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P16					
P17					
P18					
P19					
P20					
P21					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P22					
P23					
P24					
P25					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณสารสกัดหมึกปากกาและวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับเทคนิครงคเลขผิวบางและการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย

Quantification of blue ballpoint pen ink extract and mobile phase for thin layer chromatography technique and image analysis

พัชราภรณ์ จรเสมอ, ภาณุพล โชลนกระโทก*, อาภาภรณ์ สกุลการะเวก

Patcharaporn Jornsamer, Bhanopol Klongratog*, Aparporn Sakulkalavek

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Department of Applied Physics, Faculty of science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*Corresponding author. Email address: bhanupol.kl@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงการวิเคราะห์ด้วยรงคเลขผิวบางของหมึกเพื่อใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและรวดเร็วไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน ในกระบวนการวิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นที่หาได้จากร้านสะดวกซื้อทั่วไป ผู้วิจัยคำนึงถึงตัวทำละลายที่ใช้สกัดหมึกและวัฏภาคเคลื่อนที่ เพื่อทำให้รงคเลขผิวบางแสดงแถบสำหรับแยกความแตกต่างของหมึกปากกาได้ดีที่สุด ซึ่ง Ethanol เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหมึกและวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ใช้เป็น n-Butanol : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 50:15:15 v:v:v ให้ภาพของโครมาโตแกรมแสดงการแยกได้เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การวิเคราะห์ข้อมูล, ปากกาลูกลื่น, พิสูจน์หลักฐาน, รงคเลขผิวบาง

Abstract

This article is an analysis of thin layers of chromatography ink for forensic use. The researchers looked at the solvents used to separate inks and mobile phases so that thin layers of chromatography showed the best differences between pen inks. Ethanol is solvent for ink extraction and mobile phase n-Butanol : Ethanol : H_2O. The ratio of 50:15:15 v:v:v provides the best separation of chromatogram images.

Keywords: Ballpoint pen, Data analytic, Forensic, Image analysis, Thin-layer chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในปัจจุบันกระบวนการพิสูจน์หลักฐานมีความจำเป็นต่อการพิจารณาคดีเพื่อให้คดีเป็นไปอย่างเที่ยงตรงและเป็นธรรมต่อรูปคดี ในการพิสูจน์หลักฐานจะใช้กระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้ในการเก็บและพิสูจน์หลักฐาน ตรวจร่างกาย สภาพแวดล้อม และวัตถุพยาน เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ เคมี คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีการรวบรวมพยานหลักฐาน มายืนยันให้สามารถพิสูจน์ความผิดได้อย่างชัดเจน กระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ที่พบในส่วนใหญ่ เป็นการพิสูจน์ลายนิ้วมือ ตรวจดีเอ็นเอ ตรวจเขม่าปืน และการตรวจสอบด้านเอกสาร(ณัฐดนัย, 2560) โดยการตรวจสอบด้านเอกสารจะมีทั้งพินัยกรรม เอกสารที่เป็นธุรกรรมทางการเงิน และเอกสารอสังหาริมทรัพย์ เป็นต้น ซึ่งเอกสารจะสามารถถูกปลอมแปลงได้ง่าย

การปลอมแปลงเอกสารจะทำให้รูปคดีเปลี่ยนแปลงได้ง่ายจึงมีความจำเป็นต้องพิสูจน์การปลอมแปลงเอกสาร การพิสูจน์การปลอมแปลงเอกสารนั้นได้แก่ ตรวจลายเซ็น ลายมือเขียน แรงกดปากกา (พิชศาล, 2560) และตรวจสอบชนิดของน้ำหมึกปากกา ซึ่งในการตรวจสอบชนิดของน้ำหมึกปากกาจะมีหลายเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบได้แก่ ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี(UV-visible spectroscopy)(Mehwish et al., 2019) เทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์มสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) (Muhammad et al., 2015) เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) (Mohamed et al., 2013) เทคนิค X-ray fluorescence spectroscopy (Daniela and Aurelia, 2014) เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคสเปคโทรมิเตอร์ (Gas chromatography/Mass spectrometry, GC/MS) (Weyermann et al., 2006) และเทคนิคครงคเลขแบบผิวบาง(Thin layer chromatography, TLC) (Djavanshir et al., 2008; Mehwish et al., 2019) จะเป็นการนำเทคนิคต่างๆ ไปตรวจสอบด้วยวิธีประมวลผลภาพเพื่อทราบข้อมูล

การประมวลผลภาพเป็นการนำภาพมาประมวลผลหรือคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ที่สำคัญ คือ การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกมาจากภาพ โดยเปลี่ยนภาพที่ต้องการวิเคราะห์ออกมาเป็นกราฟ เพื่อนำกราฟที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ โดยระบบที่ใช้ได้แก่ ระบบคัดกรองภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด(อภิชิต และสุวเดช, 2558) ระบบรู้จำใบหน้า(ชัญญาวุฒิ และคณะ, 2562) เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลจากระบบที่ใช้ประมวลผลภาพไปจำแนกความแตกต่างเพื่อระบุข้อมูลให้ชัดเจน

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยของ Djavanshir Djozan จากมหาวิทยาลัย Tabriz Tabriz ประเทศอิหร่าน (Djavanshir et al., 2008) และได้ศึกษางานวิจัยของ มยุรี สัมบูรณ์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ประเทศไทย (มยุรี, 2553) ที่เลือกใช้วิธีแบบ Thin layer chromatography โดยใช้มือฝนปากกาลงบนกระดาษนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย จุ่มลงบนวัฏภาคเคลื่อนที่เพื่อให้สารเกิดการแยกองค์ประกอบ มาใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างโดยการนำภาพสีที่ได้จากการสแกนโครมาโตแกรมด้วยเครื่องสแกนมาประมวลผลโดยการคำนวณความคล้ายคลึงกันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) งานวิจัยได้แนวคิดมาเพื่อปรับปรุงและพัฒนาโดยลำดับแรกจะคำนึงถึงการทดสอบของแรงกดปากกาเนื่องจากน้ำหนักมือในการกดของปากกาแต่ละครั้งไม่เท่ากันโดยใช้เครื่อง XY plotter pen และปรับเปลี่ยนวิธีการประมวลผลภาพเป็นแบบเกรย์สเกล โดยจะใช้ภาพโครมาโตแกรมที่ได้จากเทคนิคครงคเลขผิวบาง มาประมวลผลที่ได้ออกมาเป็นกราฟ แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่เป็นจุดเด่นของกราฟออกมาเพื่อหาตัวทำละลายที่ใช้สกัดหมึกปากกาลูกลื่นและหาวัฏภาคเคลื่อนที่เพื่อให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกปากกาลูกลื่นทั้ง 25 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมสารตัวอย่าง

สุ่มเลือกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน 25 แบบจากผู้ผลิตหลายราย แสดงใน Table 1

Table 1 The trademarks of collected samples are listed

No.	Commercial characteristics	Size(mm)
1	G'soft fizz101	0.38
2	Java Russian blue naong	0.38
3	Quantum GeloPlus Sport1250	0.50
4	San-x Rilakkuma	0.38
5	Lancer spiral 825	0.50
6	Java Slim Ball 400	0.38
7	Yoyo 1301	0.50
8	M&G MF 1011	0.50
9	M&G tropical	0.50
10	G'soft Titus	0.38
11	Yoyo 1031	0.50
12	Quantum Rhythm	0.50
13	Quantum GeloPlus Cute 1245	0.70
14	Faster daily patt CX911	0.38
15	Faber Castell RX5	0.50
16	Horse H-402	0.70
17	Quantum Skate 222 duo	0.50
18	Quantum snow bear	0.38
19	M&G TR1	0.50
20	Quantum point	0.38
21	Java e-office ball	0.70
22	M&G QBP888R6	0.38
23	Staedler 4273F	0.70
24	Yoyo 1037	0.50
25	Quantum liner2233	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษ

การสกัดหมึกออกจากกระดาษ

สุ่มปากกาลูกลื่น 1 ด้ามจากปากกาจำนวน 25 ด้าม ใช้เครื่อง XY plotter pen ที่มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตรโดยมีการถ่วงด้วยตุ้มถ่วงน้ำหนัก 20 กรัม วาดวงกลมที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ลงบนกระดาษขาว A4 โดยตัดกระดาษตามวงกลมที่วาดเป็นชิ้นจำนวน 10 ชิ้น นำตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ Ethyl acetate, Ethanol, Methanol, Acetone และ n-Butanol นำตัวทำละลายแต่ละชนิดมาใส่หลอดทดลองอย่างละ 5 หลอด หลอดละ 1 ml นำตัวอย่างปากกาที่ตัดเตรียมไว้มาใส่หลอดทดลอง เขย่า 1 นาทีเพื่อสกัดหมึก

การทดลอง TLC เพื่อไปประมวลผลข้อมูล

นำหมึกที่ได้จากสกัดออกจากกระดาษหยดลงบนแผ่น TLC โดยใช้ไมโครปิเปต หยดจุดละ 2.5 ไมโครลิตร ที่จุดเริ่มต้น นำแผ่น TLC ดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) Ethyl acetate : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 70:35:30 (v/v/v) รอจนวัฏภาคเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ไปถึงจุดสิ้นสุด นำแผ่น TLC ไปเป่าแห้งเป็นเวลา 10 นาที เมื่อเป่าแห้งนำมาสแกนแล้วนำภาพไปวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ฮิลกอลิทึม image processing toolbox ประมวลผลภาพเพื่อให้ได้กราฟแล้วสังเกตความแตกต่างของกราฟเพื่อหาตัวทำละลายที่นำมาสกัดที่เหมาะสมกับปากกามากที่สุดโดยพิจารณาจากจำนวนพีคและความเข้มของสีที่มาจากการวิเคราะห์กราฟ สุ่มปากกาเพิ่มอีก 4 ด้ามและทำการทดลองซ้ำ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบวัฏภาคเคลื่อนที่โดยใช้ TLC

นำตัวอย่างปากกาที่ได้จากการสกัดหมึกออกจากกระดาษโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมจากขั้นตอนการสกัดหมึกปากกาลูกลื่นออกจากกระดาษ นำหมึกที่ได้หยดลงบนแผ่น TLC โดยใช้ไมโครปิเปต หยดจุดละ 2.5 ไมโครลิตร ที่จุดเริ่มต้น นำแผ่น TLC ที่ถูกหยดด้วยหมึกปากที่ถูกสกัดออกจากกระดาษดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) ที่ใช้ศึกษา 3 ระบบ ได้แก่ n-Butanol : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 50:15:10 (v/v/v) Ethyl acetate : Butanol : NH3 อัตราส่วน 60:35:5 (v/v/v) และ Ethyl acetate : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 70:35:30 (v/v/v) รอจนวัฏภาคเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ไปถึงจุดสิ้นสุด นำแผ่น TLC ไปทำให้แห้งเป็นเวลา 10 นาที เมื่อแห้งนำเข้าเครื่องสแกนเพื่อประมวลผลวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ประมวลผลภาพเพื่อให้ได้กราฟแล้วสังเกตค่าResolution(R_s)ที่จะบอกประสิทธิภาพการทำงานของคอลัมน์และระบบโครมาโทกราฟีว่าสารประกอบที่ระออกมานั้นถูกแยกออกจากกัน ตาม Equation1 ต้องมีค่าตั้งแต่ 1.5 จากกราฟเพื่อหาวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับการทดลองมากที่สุด

$$R_s = \frac{2(t_{R'B} - t_{R'A})}{W_A + W_B} \quad (1)$$

โดยที่ $t_{R'A}$ คือ ระยะจากจุดเริ่มต้นถึงจุดยอดของพีคที่ 1, $t_{R'B}$ คือ ระยะจากจุดเริ่มต้นถึงจุดยอดของพีคที่ 2, W_A คือความกว้างของพีคที่ 1, W_B คือความกว้างของพีคที่ 2 แสดงดัง Fig. 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

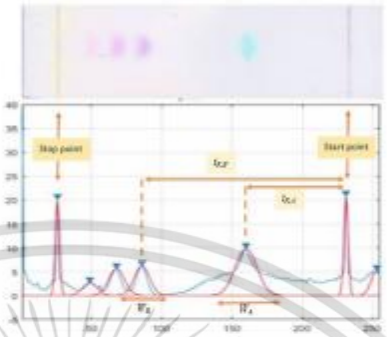


Fig. 1 Resolution of chromatogram

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยได้ทำการหาตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ Ethyl acetate, Ethanol, Methanol, Acetone และ n-Butanol เพื่อได้ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการใช้สกัดหมึก โดยการนำหมึกมาหยดลงบนแผ่นโครมาโตแกรมและ ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็น Ethyl acetate : Ethanol : H_2O อัตราส่วน 70:35:30 (v/v/v) (Djavanshir et al., 2008) เมื่อนำโครมาโตแกรมที่ได้ไปประมวลผลภาพ จะแสดงดัง Fig. 2 โดยแสดงให้เห็นว่ากราฟของ Ethanol และ Acetone สามารถแยกแถบองค์ประกอบของสีหมึกปากกาเป็นแถบสีฟ้ากับสีชมพูได้ชัดเจน โดย Ethanol ให้จำนวนพีคมากที่สุดเพราะเป็นการบอกว่าสามารถแยกขององค์ประกอบของสารในหมึกปากกาได้ดี จึงเลือกใช้สารละลาย Ethanol เป็นตัวทำละลายหลักในการทดลอง

จากนั้นเมื่อได้ตัวทำละลายหลักแล้ว ทางผู้วิจัยทำการหาวัฏภาคเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป โดยนำแผ่น TLC ที่ถูกหยดด้วยหมึกปากกาที่ถูกสกัดออกจากกระดาษดังกล่าวไปจางลงในภาชนะที่บรรจุวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) ใช้ศึกษา 3 ระบบ แสดงผลการประมวลภาพใน Fig. 2

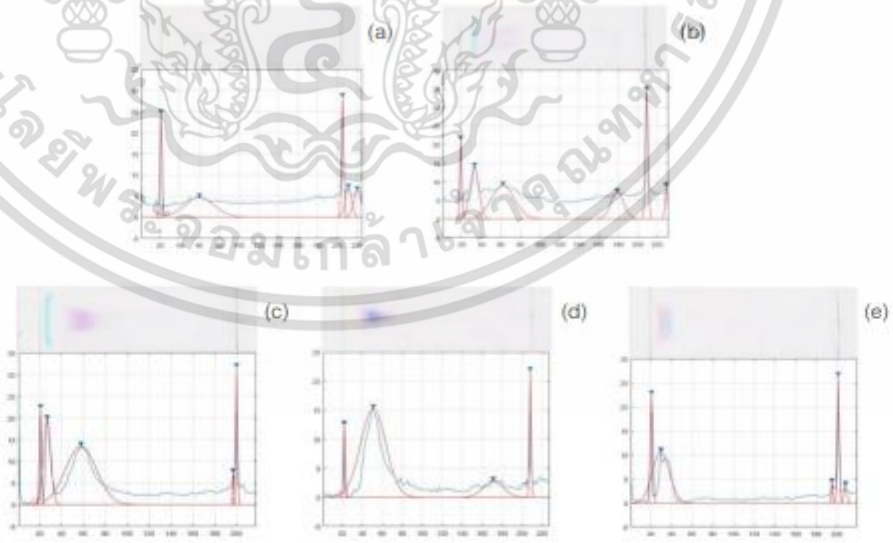


Fig. 2 Chromatograms obtained from the droplets of 5 types: (a) Ethyl acetate, (b) Ethanol, (c) Methanol, (d) Acetone, and (e) n-Butanol of solutions were processed for image processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Fig. 3 จะแสดงให้เห็นว่าวัฏภาคเคลื่อนที่ อัตราส่วน 50:15:10 สามารถแยกแถบโครมาโตแกรมออกมาได้ดีกว่าวัฏภาคระบบอื่นๆ ทางผู้วิจัยจึงนำอัตราส่วน 50:15:10 มาหาค่าอัตราส่วนเหมาะสมกับการทดลองโดยคำนึงจากค่า R_s ได้ผลดัง Table 2

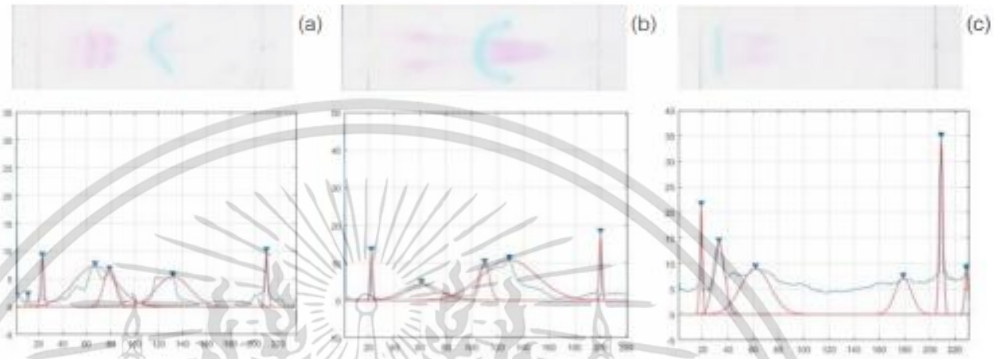


Fig. 3 Chromatograms using mobile phase 3 systems (a) 50:15:10 v:v:v (b) 60:35:5 v:v:v (c) 70:35:30 v:v:v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 R_s values of mobile phases of various systems

Ratio (v/v/v)	R_s																			
	Pen1				Pen2				Pen3				Pen4				Pen5			
	R_s12	R_s23	R_s34	R_s45	R_s12	R_s23	R_s34	R_s45	R_s12	R_s23	R_s34	R_s45	R_s12	R_s23	R_s34	R_s45	R_s12	R_s23	R_s34	R_s45
50:15:10	8.07	2.37	2.23		2.28	1.97			1.58	1.42	19.4		3.34	8.18	2.26	2.37	2.28	1.97		
50:15:15	8.43	2.28	2.03		2.4	4.94	2.17		20.26	2.51	2.18		2.40	4.94	2.17	2.05	7.97	2.63	2.24	
50:20:10	4.01	1.43	3.22		0.97	2.24			2.6	5.82			0.81	2.47	1.86	2.24	2.25	2.72	2.30	
55:15:10	2.97	0.73	2.23	10.77	1.91	2.03			2.85	2.45			5.34	2.54	2.65	3.36	2.24	2.65		
55:20:10	5.71	1.92	2.37		6.81	1.46	1.75		1.75	1.77	6.16		2.91	6.87	2.79	2.92	2.76	5.18		
55:25:05	1.67	2.43	4.07		0.91	3.47	14.59		1.57	3.44			4.06	1.65	2.43		4.36	2.79	2.6	2.24
60:20:10	6.14	2.05	3.00		10.83	1.94	2.4	2.97	0.92	7.78	0.66		5.32	1.68	2.69		1.25			
60:25:05	1.6	2.36	3.21		2.09	2.63			6.98	1.82	1.92	3.31	6.94	1.43	2.57	2.79	0.8			

จาก Table 2 ค่า R_s 12 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคเริ่มต้นกับพีคที่ 1, ค่า R_s 23 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคที่ 1 กับพีคที่ 2, ค่า R_s 34 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคที่ 2 กับพีคที่ 3 และ ค่า R_s 45 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคที่ 3 กับพีคที่ 4 โดยอัตราส่วนที่ 50:15:15 ให้จำนวนพีคที่มากกว่าในแต่ละปากกา และมีค่า R_s มากกว่า 1.5 ของทุกปากกา ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับระบบมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

งานวิจัยฉบับนี้เพื่อวิเคราะห์หมึกปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิครงคเลขผิวบางและการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายในการตรวจสอบทางพิสูจน์หลักฐานสามารถหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดหมึกปากกาลูกลื่น คือ Ethanol เพราะว่าสามารถแยกแถบองค์ประกอบของหมึกปากกาได้และให้ความเข้มสีที่เหมาะสม และสามารถหาระบบของวัฏภาคเคลื่อนที่ คือ n-Butanol : Ethanol : H_2O ที่อัตราส่วน 50:15:15 v:v:v เพราะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานในการแยกของพีคมีค่าตั้งแต่ 1.5 ขึ้นไปเพื่อนำไปใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่หลักในการหาความแตกต่างของหมึกกาลูกลื่นแต่ละชนิดได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนผู้ช่วยวิจัยและผู้ช่วยสอน ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ณัฐดนัย เนียมทอง. 2560. พิสูจน์หลักฐานคืองานตำรวจ. https://www.scimath.org/article-biology/item/7466-2017-09-08-02-55-47. 15 มิถุนายน 2564.

อภิชิต ยาสนาทิพย์, สุรเดช บุญลือ. 2558. การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อคัดกรองภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด. วารสารพยาบาลตำรวจ 7: 166–182.

ธัญญาวุฒิ รองวุฒิโกร, อังขรา แน่นหนา, ศิริรัตน์ พรหมดวง, มหัทธิ์ เกตุจำ. 2562. ระบบตรวจจับบุคคลเพื่อเฝ้าระวังในพื้นที่ที่กำหนด. วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม 1: 35–41.

พิชศาล พันธุ์วัฒนา. 2560. การตรวจสอบลายมือเขียนที่ปรากฏในเอกสาร. วารสารวิชาการชาญญาวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ 3: 28–36.

มยุรี สมบูรณ์. 2553.การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีและการวิเคราะห์ภาพ. Veridian E – Journal 3: 1.

Daniela, L.F., Aurelia, M. 2014. Possibilities to differentiate ballpoint pen inks by spectroscopic and chromatographic techniques. U.P.B. Sci. Bull. Series B, 76: 113–126.

Djavanshir, D., Tahmineh, B., Ghader, K., Shahidi, M. 2008. Forensic discrimination of blue ballpoint pen inks based on thin layer chromatography and image analysis. Forensic Sci. Int. 179: 199–205. doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.05.013

Mehwish, S., Madeeha, B., Sohail, C., Farooqi, Z.H., Tinmazi, S.A.A.S., Athar, M. 2019. Forensic discrimination potential of blue, black, green, and red colored fountain pen inks commercially used in Pakistan, by UV/Visible spectroscopy, thin layer chromatography, and fourier transform infrared spectroscopy. Int. J. Environ. Anal. Chem. 1: 1–11. doi.org/10.1155/2019/5980967

Mohamed, I.A.H., Norashikin, S., Rozita, O., Jasmani, H. Abidin, N.N.Z. 2013. Discrimination of black ballpoint pen inks by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Malays. J. Anal. Sci. 17(2): 230–235.

Muhammad, N.M., Wan, N.S.M.D., Dzulkiflee, I. 2015. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy with chemometric techniques for the classification of ballpoint pen inks. Arab J. Forensic Sci. Forensic. Med. 1(2): 194–200. doi.org/10.12816/0017699

Weyermann, C., Kirsch, D., Costa, V.C. 2006. A GC/MS study of the drying of ballpoint pen ink on paper. Forensic. Sci. Int. 168(2–3): 119–127. doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.06.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพัชราภรณ์ จรเสมอ
วัน เดือน ปีเกิด	6 กรกฎาคม 2539
ที่อยู่ปัจจุบัน	16 ม.2 ต.ชะเมา อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช 80330
ประวัติการศึกษา	(2561) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.96 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) (2565) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.75 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยวิจัยและทุนผู้ช่วยสอนในระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	Patcharaporn Jornsamer, Aparporn Sakulkalavek, Bhanuphol Klongratog, Quantification of blue ballpoint pen ink extract and mobile phase for thin layer chromatography technique and image analysis. E-Proceedings KU Annual Conference, 18-25 (2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้