วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตริกเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ของหมึกปากกาสีน้ำเงิน

โดย

นางสาวจิตรานุช สุรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตริกเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ของหมึกปากกาสีน้ำเงิน

โดย
นางสาวจิตรานุช สุรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

A SIMPLE AND RAPID SPECTROPHOTOMETRIC METHOD FOR FORENSIC DISCRIMINATION POTENTIAL OF BLUE COLORED PEN INKS

By

MISS Jitranooch SURAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตริกเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ของหมึกปากกาสีน้ำเงิน
โดย	นางสาวจิตรานุช สุรกุล
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุภาพร สมีน้อย)

630720051 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : หมึกปากกา, ประเภทของปากกา, เทคนิคเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์สเปกโทรสโกปี, เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

นางสาว จิตรานุช สุรกุล: วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตริกเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ของหมึกปากกาสีน้ำเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

การตรวจสอบและเปรียบเทียบสีหมึกปากกามีความสำคัญในการตรวจสอบพยานหลักฐานเกี่ยวกับเอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์ซึ่งปากกามักเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเอกสารหรือแก้ไขเอกสาร โดยเฉพาะการฉ้อโกงในกรณีการขึ้นเช็คเงินสด การปลอมแปลงเอกสารที่เกี่ยวกับการเกิดและการตายเป็นต้น ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปากกาหมึกสีน้ำเงินจำนวน 12 ตัวอย่างในปากา 6 ชนิดด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และเทคนิค UV-Vis spectroscopy ซึ่งการสกัดหมึกปากกาทำได้โดยเขียนปากกาลงบนกระดาษสีขาวแล้วนำสกัดไปโดยใช้เมทานอลและเอทิลอะซิเตท 50%โดยปริมาตร โดยจากผลการทดลองพบว่าสเปกตรัมของหมึกปากกาในแต่ละยี่ห้อแสดงองค์ประกอบที่แตกต่างกันแม้ว่าจะมีสีใกล้เคียงกันโดยรวมวิธีการนี้มีศักยภาพที่จะใช้ในการสืบสวนเบื้องต้นและเป็นวิธีที่มีความรวดเร็วในการตรวจสอบเอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

630720051 : Major (FORENSIC SCIENCE)
Keyword : pen ink, types of pen ink, ATR-FTIR spectroscopy, UV-vis spectroscopy

MISS JITRANOOCH SURAKUL : A SIMPLE AND RAPID SPECTROPHOTOMETRIC METHOD FOR FORENSIC DISCRIMINATION POTENTIAL OF BLUE COLORED PEN INKS
THESIS ADVISOR : ORATHAI KHEAWPUM, Ph.D.

Examination and comparison of colored pen inks are important in forensic questioned documentsexamination. Pens are frequently used to make alterations to documents during forgery. The chances offraud are possible in cases of cheques, entry of birth and death etc. In this study, In this experiment, 12 samples of blue ink pens in Pen 6. Type: Using ATR-FTIR spectroscopy and UV-Vis spectroscopy, pen ink extraction was performed by pen writing on white paper and extracted using methanol and ethyl acetate. 50% by volume The results showed that the spectra of each brand of pen ink exhibited different compositions, although they were generally similar in color. forensic document review

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครังนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.อรทัย เขียวพุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและปรึกษาข้อบกพร่องต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอบคุณขอบกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ชู สกุลเกรียง ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และรองศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมีน้อย กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจสอบปรับปรุงแก้ไข ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนางสาวปิยาภา จันทร์มล ที่คอยแนะนำการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์พร้อมทั้งแนวแนวทางในการดูผลจากเครื่องมือเหล่านี้เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการวิจัยได้อย่างถูกต้อง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่านซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมดจงขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาว จิตรานุช สุรกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย 2

3. สมมติฐานงานวิจัย 2

4. ขอบเขตการศึกษา 2

5. นิยามศัพท์เฉพาะ 3

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 1

1. พยานหลักฐาน 1

2. การตรวจพิสูจน์เอกสาร 1

3. ประวัติความเป็นมาของปากกา 2

4. ปากกาแต่ละประเภท 3

5. องค์ประกอบของหมึกปากกา 4

6. Attenuated Total Reflection Flourier Transform Infrared microscopy (ATR--FTIR) 4

7. อินฟราเรดสเปกตรัมของสารอินทรีย์ 5

8. UV-Vis Spectroscopy 8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 11
1. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 11
2. วิธีการทดลอง 11
3. การวิเคราะห์ทางสถิติ 13
บทที่ 4 ผลการทดลอง 14
การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy 14
การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค UV-vis Spectroscopy 18
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 24
สรุปและอภิปรายผล 24
ข้อเสนอแนะในงานวิจัย 24
รายการอ้างอิง 25
ประวัติผู้เขียน 44

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สเปกตรัมหมู่ฟังก์ชั่นของ FTIR..... 7

ตาราง 2 ตัวอย่างปากกาที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 12 ชนิด..... 11

ตาราง 3 ตำแหน่งเส้น FTIR ของหมึกปากกาสีน้ำเงิน 12 ตัวอย่าง..... 17

ตาราง 4 เลขคลื่นอ้างอิงของสเปกตรัม FTIR..... 17

ตาราง 5 ตำแหน่งของ UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำเงินทั้ง 12 ตัวอย่าง..... 23

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 หลักการทำงานของ Attenuated Total Reflection 5
ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer 8
ภาพที่ 3 FTIR สเปกตรัมของหมึกปากกาทั้ง 12 ชนิด 14
ภาพที่ 4 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S1 15
ภาพที่ 5 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S7 15
ภาพที่ 6 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S11 16
ภาพที่ 7 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S12 16
ภาพที่ 8 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำเงินทั้ง 12 ตัวอย่าง 18
ภาพที่ 9 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาลูกลื่น 19
ภาพที่ 10 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาเคมี 20
ภาพที่ 11 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาเจล 21
ภาพที่ 12 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาpermanent 22
ภาพที่ 13 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาเมจิก 22
ภาพที่ 14 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำ 22

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการยุติธรรม เพื่อใช้ในการพิสูจน์หลักฐานหรือข้อเท็จจริง ในการหาตัวผู้กระทำผิดมาดำเนินคดีตามกฎหมาย โดยพยานหลักฐานนั้นถูกแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ได้แก่ พยานบุคคล พยานวัตถุ หรือพยานหลักฐานประเภทเอกสาร สำหรับพยานหลักฐานประเภทเอกสารนั้นจะใช้ในการพิสูจน์เอกสารที่เป็นเกิดข้อพิพาท เช่น การปลอมแปลงเอกสาร การแก้ไขเอกสาร โดยเอกสารที่สามารถตรวจพิสูจน์ได้เลย โดยเป็นเอกสารกรณีที่มีรอยขีด ขูด ลบ หรือมีการแก้ไขที่สามารถเห็นได้อย่างเด่นชัด ส่วนอีกประเภทจะเป็นเอกสารที่ต้องมีการตรวจพิสูจน์โดยการเปรียบเทียบ เช่น เอกสารที่มีรอยประทับ มีการเขียนลายมือชื่อในลงใบสำคัญต่างๆ (เตชะสมบูรณ์, 2559). การวิเคราะห์หรือจำแนกหมึกปากกานั้นนับว่าเป็นการตรวจพิสูจน์หลักฐานอย่างนึง โดยพิสูจน์ว่าตรวจสอบเอกสารการว่ามีปลอมแปลงหรือแก้ไขซึ่งใช้นิติวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบเอกสารว่ามาจากปากกาชนิดใด และมีการเขียนอะไรเพิ่มเติมจากเอกสารต้นฉบับหรือไม่

องค์ประกอบสำคัญในการผลิตหมึกของปากกาส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือตัวทำละลาย สี และสารเติมแต่ง ส่วนแรกทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายหมึก (Vehicle) ใส่เพื่อทำให้หมึกปากกามีความไหลลื่น ทั่วไปจะใช้สารเคมีประเภท ไกลคอล หรือ อะโรมาติกแอลกอฮอล์ เป็นตัวทำละลายหลักโดยขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าจะใช้สารใดซึ่งสารประเภทนี้เป็นสารที่มีความเสถียรและมีจุดเดือดสูง ส่วนที่สอง คือ สี โดยจะเลือกใช้ผงสีให้มีความเหมาะสมกับตัวทำละลาย เพื่อให้สีสามารถผสมเข้ากับตัวทำละลายได้ดี ซึ่งความเข้มข้นของสีที่ใช้จะต้องมีน้ำหนักมากกว่า 50 เปอร์เซ็นโดยน้ำหนัก เพื่อจะให้น้ำหมึกติดเป็นฟิล์มอยู่บนกระดาษ ส่วนสุดท้าย คือ สารเติมแต่ง ใส่ขึ้นเพื่อให้ได้หมึกมีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น มีคุณสมบัติทำให้ปากกาแห้งไว ทำให้ปากกามีน้ำหมึกไหลได้อย่างต่อเนื่อง หรือคุณสมบัติอื่นๆที่เพิ่มมูลค่าให้กับปากกาที่ผลิตขึ้น (thanasoulias et al., 2003) ซึ่งสิ่งที่เติมแต่งเข้ามาก็ถือเป็นสิ่งที่เป็นเอกลักษณ์ของปากกาในแต่ละบริษัท เพราะแต่ละที่จะมีการใช้อัตราส่วนน้ำหมึกหรือสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน จึงสามารถเป็นประโยชน์และนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของหมึกปากกาได้ โดยเทคนิคทางเคมีนิยมที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำหมึกของปากกามีหลายวิธี เช่น Thin layer chromatography,high-performance liquid chromatography,

infrared spectroscopy (IR), capillary electrophoresis, Flourier Transform Infrared microscopy, FT-IR, UV-vis spectroscopy

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำ เทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และเทคนิค UV-VIS Spectroscopy ซึ่งเป็นเทคนิคที่รวดเร็ว ไม่มีขั้นตอนที่ซับซ้อนเหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้มาใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกปากกาสีน้ำเงิน 12 ตัวอย่าง ศึกษาในปากกา 6 ชนิด คือ ปากกาลูกลื่น ปากกาเคมี ปากกาเจล ปากกาpermanent ปากกาเมจิก และปากกาสีน้ำ

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

2.1. เพื่อแยกความแตกต่างของหมึกปากกาแต่ละชนิดเบื้องต้นด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และเทคนิค UV-VIS Spectroscopy

2.2. เพื่อเป็นฐานข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์หมึกปากกาด้วย เทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และเทคนิค UV-VIS Spectroscopy

3. สมมติฐานงานวิจัย

เทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และเทคนิค UV-VIS Spectroscopy สามารถแยกความแตกต่างองค์ประกอบหมึกปากกาได้

4. ขอบเขตการศึกษา

จะศึกษาความแตกต่างของหมึกปากกาสีน้ำเงิน 12 ตัวอย่าง ในปากกา 6 ชนิด ได้แก่ ปากกาลูกลื่น ปากกาเคมี ปากกาเจล ปากกาpermanent ปากกาเมจิก และ ปากกาสีน้ำ โดยจะนำตัวอย่างปากกาทั้งหมดมาเขียนลงในกระดาษขนาด 1.5 ซม. X 4 ซม.จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-VIS Spectroscopy จะนำปากกามาระบายลงในกระดาษขนาด 1.5 ซม. X 4 ซม. และนำไปสกัดเอาหมึกปากกาออกจากกระดาษด้วยเมทานอล และเอทิลอะซิเตต ในอัตราส่วน 1:1 จึงไปนำวิเคราะห์ โดยจะใช้ความยาวคลื่นในช่วง 350-750 nm

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 พยานหลักฐาน หมายถึง สิ่งต่างๆที่สามารถเป็นประโยชน์ในด้านการพิสูจน์หาความจริงในการหาตัวผู้กระทำผิดและสามารถใช้เป็นข้อเท็จข้อจริงในการขึ้นศาลได

5.2 สเปกโตรโฟโตเมตริก หมายถึง เทคนิคทางชีวเคมีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สารหรือสมบัติทางกายภาพของสาร เนื่องจากเป็นเทคนิคที่รวดเร็วในการวิเคราะห์ และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างของสารได้แม้จะมีปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังสามารถบอกได้ว่าสารที่ใช้วิเคราะห์เป็นสารใดและมีปริมาณเท่าไหร่

5.3 เทคนิค UV-Vis Spectroscopy หมายถึง เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแสงโดยอาศัยอาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนของแสง โดยแสงที่ใช้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) จนถึงช่วง Visible light โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ คือ เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของแสงหรือความเข้มของแสงในช่วงรังสียูวีจนถึงช่วงแสงขาวโดยที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วงการวัดนั้นจะมีความสัมพันธ์กับสารทั้งในเชิงปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง

5.4 Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR) หมายถึง เทคนิคทางเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือจำแนกประเภทของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์และพันธะเคมีของหมู่ฟังก์ชั่นในโมเลกุลของสาร โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมา ส่วนมากจะนิยมวัดในช่วงเลขคลื่น 4000 - 400 cm^{-1} และเทคนิคนี้ยังมีข้อดีคือเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่างโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังจากการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่ง ยาก ใช้เวลาในการวัดสั้น และมีความปลอดภัยสูงสามารถวัดตัวอย่างได้ทั้งในรูปของแข็งและของเหลว

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1. เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy และเทคนิค UV-VIS Spectroscopy ในการแยกความแตกต่างของหมึกปากกา

6.2. เป็นแนวทางในการพิสูจน์ความแตกต่างของหมึกปากกาเบื้องต้น

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พยานหลักฐาน

พยานหลักฐาน หมายถึง สิ่งต่างๆที่สามารถใช้ในการตรวจพิสูจน์ได้ว่ามีการกระทำผิดเกิดขึ้น และสามารถใช้บอกได้ว่าใครเป็นผู้กระทำผิด โดยสามารถเชื่อมโยงไปยังตัวผู้กระทำผิดได้ซึ่ง พยานหลักฐานจะประกอบไปด้วย

1) พยานบุคคล เป็นพยานที่สามารถใช้วิธีบันทึกถ้อยคำของบุคคลนั้น โดยพนักงานสอบสวนจะรวมเข้าไว้ในสำนวนเพื่อเสนอต่อศาล เช่น คำให้การของผู้กล่าวหา ผู้ต้องหา พยาน

2) พยานเอกสาร คือ เอกสารสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในด้านการสอบสวน เช่น บันทึกการตรวจใบสั่งแพทย์ ใบเสร็จรับเงิน เช็คเงินสด หรือใบสำคัญทางราชการ เป็นต้น

3) พยานวัตถุ ได้แก่ วัตถุของกลางที่จะใช้พิสูจน์หาความผิดหรือเพื่อทราบข้อเท็จจริง โดยจะนำมารวมในสำนวนของการสอบสวน เช่น มีด ไม้ อาวุธปืน เป็นต้น

(เองสมบุญ, 2551)

2. การตรวจพิสูจน์เอกสาร

เอกสารที่เป็นพยานหลักฐาน หรือเอกสารที่มีข้อพิพาท คือ เอกสารที่มีข้อสันนิฐานว่ามีผู้กระทำผิดหรือกล่าวหาว่ามีการทำปลอมแปลงหรือใช้เป็นเอกสารปลอมหรือเป็นเรื่องที่มีการพิพาท

- เอกสารที่เป็นพยานหลักฐานหรือเอกสารที่เกิดข้อพิพาทที่สามารถตรวจพิสูจน์ได้ทันที เช่น การตรวจร่องรอยที่มีการขูด การลบ มีการแก้ไข หรือตรวจสอบรอยกดบนกระดาษรองรับการเขียน
- เอกสารที่เป็นพยานหลักฐานหรือเอกสารที่เกิดข้อพิพาทที่ต้องมีเอกสารตัวอย่างที่แท้จริงเพื่อใช้ในการตรวจเปรียบเทียบด้วย เช่น การตรวจพิสูจน์ลายมือชื่อ ลายมือเขียนข้อความ ตัวอักษรพิมพ์ดีด รอยตราประทับ เครื่องหมายการค้า แผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ โฉนดที่ดิน ธนบัตร ฯลฯ

เอกสารตัวอย่าง คือ เอกสารที่แท้จริงที่สามารถรู้แหล่งที่มาที่ไปได้อย่างชัดเจนและใช้ในการตรวจเปรียบเทียบกับเอกสารของกลางโดยลักษณะการตรวจพิสูจน์เอกสารมีหลายขั้นตอนในการตรวจสอบ เช่น

- ตรวจลายมือชื่อหรือลายมือเขียนข้อความที่เขียนลงในกระดาษ

- ตรวจหาร่องรอยต่างๆ บนเอกสารที่สงสัยว่ามีการแก้ไข เช่น รอยฉีกขาด ร่องรอยการเปลี่ยนแปลงแก้ไข รอยกดที่เกิดจากการเขียนหรือการพิมพ์ เอกสารไหม้ไฟ เป็นต้น

- ตรวจแม่พิมพ์หรือรอยตราประทับ ในเอกสารหนังสือสำคัญต่างๆ

กรณี ตรวจลายมือชื่อ/ลายมือเขียนข้อความ

- ลายมือชื่อในเอกสารที่ต้องการตรวจพิสูจน์ กับเอกสารตัวอย่างลายมือชื่อบุคคลคนเดียวกันใช่หรือไม่

กรณี ตรวจร่องรอยของการเปลี่ยนแปลงแก้ไข เช่น

- เอกสารที่เป็นพยานหลักฐานนั้นบริเวณใดจะมีร่องรอยของการเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือไม่ ถ้ามีข้อความเดิมอ่านว่าอย่างไร กรณี ตรวจชนิดหมึก ชนิดกระดาษ เช่น

- หมึกที่ใช้เขียนข้อความ ตรงบริเวณ.....ในเอกสาร.....กับหมึกที่ใช้เขียนข้อความตรงบริเวณนั้นในเอกสารจะเป็นหมึกชนิดเดียวกันใช่หรือไม่

(กลุ่มงานตรวจเอกสารศูนย์พิสูจน์หลักฐาน ๑, 2558)

3. ประวัติความเป็นมาของปากกา

ปากกาเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการสื่อสารหรือจดบันทึกที่มาอย่างยาวนาน ในยุคแรกๆหมึกปากกาจะถูกสกัดมาจากสารธรรมชาติ และใช้ขนนก ตัดปลายมาจุ่มแล้วใช้ในเขียน ในเวลาต่อมาจึงได้ต่อจึงได้มีการคิดค้นและพัฒนารูปแบบของน้ำหมึกและตัวปากกาให้สะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้นมาเป็นปากหมึกซึม ที่มีการใส่น้ำหมึกเหลวเข้าไปภายในปากกา ทำให้ไม่ต้องพกขวดน้ำหมึกอยู่ตลอด แต่ก็ยังมีปัญหาเรื่องการเลอะจากหมึกที่แห้งช้า และยังต้องคอยเติมหมึกบ่อยๆ อีกทั้งมีราคาค่อนข้างสูงพอสมควรสำหรับอุปกรณ์ชนิดนี้ แต่ต่อมาก็ได้มีการพัฒนาปากกาลูกลื่นขึ้น ซึ่งเขียนและใช้งานได้ง่ายกว่า แต่ก็ยังมีปัญหาเรื่องการเลอะของหมึกจากปลายปากกาที่เป็นหัวโลหะกลมอยู่จนได้มีการคิดค้นสิ่งที่เรียกว่า ปากกาหมึกแห้ง

หมึกแห้ง ก็คือ น้ำหมึกของปากกาที่เราใช้บรรจุเอาไว้ในตัวปากกา สำหรับเขียน แต่ไม่ได้เหมือนน้ำหมึกทั่วไป อย่างที่เคยเป็นมาก่อนหน้าในประวัติศาสตร์ เป็นหมึกที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ โดยมีการเติมสารที่เป็นตัวทำละลายที่ทำให้แห้งเร็วเมื่อโดนอากาศซึ่งได้แก่สารประเภท Glycol , Glycol Ether หรือแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ กับสารเติมแต่งที่มักเก็บเป็นสูตรลับของแต่ละบริษัทผู้ผลิต แต่ทำให้หมึกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเวลาที่เราใช้ปากกาที่มีหมึกแห้งบรรจุอยู่ภายใน เมื่อเรากดหัวของปากกาลงบนกระดาษ น้ำหมึกจะไหลออกมาผ่านลูกบอลกลมที่ปลาย ในตอนแรกที่หมึกไหลออกมา มันจะยังไม่แห้งทันที แต่จะแห้งเมื่อมันทำปฏิกิริยากับอากาศ ซึ่งจะส่งผลให้น้ำหมึกที่ไหลออกมาแห้งอย่าง

รวดเร็ว จึงเป็นที่มาของคำว่า หมึกแห้ง โดยสาเหตุที่ใส่สารที่เป็นตัวทำละลายลงไปไม่ได้มีไว้สำหรับทำให้มันแห้งอย่างรวดเร็วเมื่อถูกอากาศเพียงอย่างเดียว แต่มันยังส่งผลทำให้น้ำหมึกมีสภาพเป็นสารละลายที่ไหลซึมผ่านกระดาษลงไปได้อย่างรวดเร็ว (สรวารี, 2542)

4. ปากกาแต่ละประเภท

4.1 ปากกาลูกลื่น (Ballpoint Pen) เป็นปากกาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและมีราคาที่ถูก ซึ่งภายในปากกาลูกลื่นจะมีการใส่ไส้บรรจุหมึกแห้ง มีส่วนผสมของสารเคมีที่กันน้ำ ทำให้เมื่อแห้งแล้วสามารถทนน้ำได้ องค์ประกอบของหมึกปากกาลูกลื่นนิยมใช้สารจำพวก resin, polyvinyl, pyrrolidone, polyamines เป็นต้น

4.2 ปากกาเจล (Gel ink Pen) เป็นปากกาที่ใช้หมึกที่เกิดจากการผสมผงหมึก โดยมีส่วนผสมของผงหมึกในอัตราที่สูงเพื่อให้หมึกเจลติดลงบนกระดาษ และตัวน้ำหมึกมีการผสมตัวทำละลายทำให้มีความเหนียวข้นน้อยลงจนคล้ายเจล (Lamyai 2018). โดยมักพบสารประเภท alcohol aldehyde ketone hydrocarbon ester ether และ miscellaneous เป็นองค์ประกอบในการผลิตหมึกปากกาชนิดนี้ (saini, 2018)

4.3 ปากกาเคมี เป็นปากกาที่มักจะใช้ในการเขียนบนพื้นผิวเรียบ เพราะปากกาเคมีนั้นจะมีคุณสมบัติในการกันน้ำ โดยปากกาชนิดนี้จะไม่สามารถโดนอากาศได้ เพราะจะทำให้หมึกแห้ง ส่วนหัวของปากกาชนิดนี้นั้นจะทำจาก เส้นใยอัด ผ้าสักหลาด ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซึมน้ำหมึกได้ สารส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักคือสารประเภท alcohols ,1-propanol, 1-butanol, diacetone alcohol and cresols

4.4. ปากกาเมจิก คือปากกาที่มีน้ำหมึกบรรจุในตัว มีแกนกลางที่ทำจากกำมะหยี่ หรือไฟเบอร์ที่มีรูพรุนเพื่อให้น้ำหมึกซึมผ่านมาจนถึงหัวปากกาได้ส่วนสำคัญของปากกาชนิดนี้ก็คือหมึก ซึ่งนอกจากผงสีแล้วก็จะต้องมีตัวทำละลายเพื่อให้หมึกซึมออกมาถึงหัวปากกาได้

4.5. ปากกาสีน้ำ คือ สีน้ำในรูปแบบของปากกามีลักษณะคล้ายปากกาเมจิคือมีแกนกลางที่ทำจากกำมะหยี่ เป็นปากกามาร์กเกอร์ที่มีแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายจึงทำให้หมึกแห้งเร็ว

4.6. ปากกาpermanent เป็นปากกามาร์เกอร์ชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติกันน้ำ ส่วนใหญ่มักจะนำมาเขียนบนพื้นผิวเรียบ เช่น แผ่น CD หรือผ้า เพราะน้ำหมึกจะลบไม่ออกน้ำหมึกมักจะใช้โพลิเมอร์อะคริลิค ซึ่งก็คือสารเดียวกับที่ใช้สีทาบ้าน ทำให้หมึกของปากกาติดทนนาน เมื่อนำไปเขียนบนพื้นผิวเรียบโดยตัวทำละลายส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำหมึกปากกาเคมีจะใช้ toluene และ xylene

5. องค์ประกอบของหมึกปากกา

5.1. ตัวทำละลาย (Vehicle) มีหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นหรือตัวนำพาเพื่อให้น้ำหมึกไหลออกมาจากปากกา โดยสารเคมีประเภทนี้จะมีจุดเดือดสูงกว่า ๑๘๐ องศาเซลเซียส จึงเป็นสารที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิห้องทำให้การระเหยของตัวทำละลายบริเวณปลายปากกาไม่ระเหยออกมาอีก และยังป้องกันการเปรอะเปื้อนที่บริเวณปลายปากกาได้ด้วย โดยตัวทำละลายส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตหมึกปากกามักจะประกอบไปด้วยสารเหล่านี้เช่น 1,3 propylene glycol, hexylene glycol, diethyl glycol phenyl rther, octylene glycol, benzyl alcohol, 1,3 butylene glycol, 2 ethyl hexoic acid, di-triethylene glycol, ethylene glycol, dipropylene glycol, 2,3-butylene glycol, glycerine, monophenylether, phenoxyethanol, 1,2-propylene glycol, phenoxyethylene glycol, ethylene and diethylene glycol, monomethyl ether (แสนปลื้ม, 2005)

5.2. สี (pigment) ทำให้เราสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปากกานี้มีหมึกสีใด โดยจะใช้สีในรูปแบบของผงสีและเลือกให้เหมาะสมกับตัวทำละลาย ความสามารถในการผสมเข้ากับตัวทำละลายเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก เนื่องจากต้องใช้สีที่มีความเข้มข้นมากถึง 50 % เพื่อสีติดเป็นฟิล์มบางๆบนนกระดาษ

5.3. สารเติมแต่ง เป็นสารที่ที่ใส่เข้าไปเพิ่มเติมซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดยผู้คิดสูตรเพื่อให้ได้หมึกที่ดีมีคุณสมบัติเฉพาะ โดยในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เป็นความลับเพราะจะมีผลต่อการผลิตปากการุ่นใหม่ออกมา โดยส่วนมากสารเติมแต่งที่เติมลงไปนั้นจะมีคุณสมบัติพิเศษเช่น แห้งไว หมึกปากกาไหลได้อย่างต่อเนื่องไม่มีสะดุด เป็นต้น (Phorassamee, 2012)

โดยเมื่อเราใช้ปากกาเขียนบนกระดาษ ครั้งแรกน้ำหมึกจะยังไม่แห้งทันทีแต่จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายในปากกากับความชื้นในอากาศ รวมทั้งองค์ประกอบอื่น ๆในน้ำหมึกทำให้น้ำหมึกที่เขียนลงบนกระดาษมีลักษณะอย่างที่เห็น น้ำหมึกจะแห้งสนิทเมื่อตัวทำละลายระเหยหรือซึมลงไปในกระดาษ

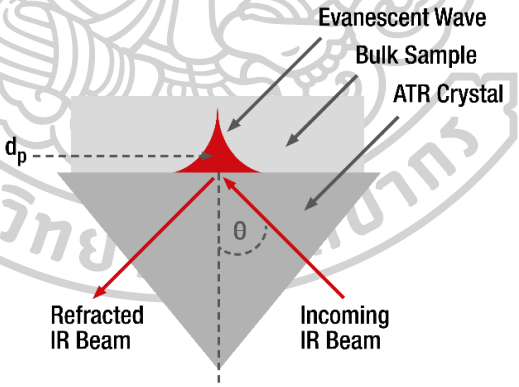
6. Attenuated Total Reflection Flourier Transform Infrared microscopy (ATR--FTIR)

เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เป็นเทคนิคที่ใช้กันแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยทางด้านการแพทย์และงานวิจัยทางด้านชีวภาพ

รวมถึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานประกันคุณภาพโดยเฉพาะในการใช้เทคนิคเพื่อตรวจเอกลักษณ์ยา หรือวัตถุดิบตั้งต้นหรือสารสังเคราะห์ซึ่งหลักการของ FTIR นั้นจะอาศัยการทรานส์ซิชั่นของการสั่น หรือการหมุนของหมู่ฟังก์ชั่นในโมเลกุลของของสารที่เราทำการวิเคราะห์ถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีการวิเคราะห์ขั้นสูงซึ่งได้มีการพัฒนามาจากเครื่อง IR Spectrometer เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น และมีความสามารถในการแยกสูงและความไวสูงและแม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์สารได้ทั้งที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เป็นเทคนิคการใช้การกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงอินฟาเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยแต่พลังงานของแต่ละความยาวคลื่นแปรผลออกมาในรูปแบบของสเปกตรัมและเนื่องจากสารแต่ละชนิดจะสเปกตรัมจะมีลักษณะที่จำเพาะ ซึ่งสามารถนำสเปคตรัมที่ได้มาเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัมอ้างอิงในฐานข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และบ่งบอกชนิดของตัวอย่างที่ต้องการศึกษาได้ นอกจากนี้เครื่อง Flourier Transform Infrared microscopy มักจะมีการใช้ร่วมกับ Attenuated Total Reflection หรือ ATR เป็นอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบสัมผัสตัวอย่าง (Single Reflection ATR) โดยแบ่งเป็น 2 แบบ

แบบที่ 1 ส่วนรองรับตัวอย่างเป็นผลึกเจอร์มาเนียม (Germanium Crystal) ให้ช่วงการใช้งานที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 5,500-550 cm^{-1}

แบบที่ 2 ส่วนรองรับตัวอย่างเป็น เพชร (Pure Diamond) ให้ช่วงการใช้งานที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 6,000-80 cm^{-1}



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของ Attenuated Total Reflection

ที่มา: Attenuated Total Reflection; Available from:
https://wiki.anton-paar.com/en/attenuated-total-reflectance-atr/

7. อินฟราเรดสเปกตรัมของสารอินทรีย์

เมื่ออิเล็กตรอนในพันธะที่ว่องไวต่อรังสีอินฟราเรดปะทะกับรังสีอินฟาเรดสารอินทรีย์จะดูดกลืนพลังงานที่ความยาวคลื่นตรงกับความถี่ของการสั่นหลักมูล อิเล็กตรอนจะไปอยู่ในสถานะของการถูกกระตุ้นส่งผลให้พันธะเกิดการสั่นที่มากขึ้น จากนั้นอิเล็กตรอนก็จะกลับสู่สถานะพื้นพร้อมกับ

คายพลังงานออกมาเท่ากับพลังงานที่ดูดกลืนเข้าไป ซึ่งความถี่ที่ดูดกลืนนั้นจะเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะในสารอินทรีย์ จึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์หมู่ของโครงสร้างได้ ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมของสารอินทรีย์แต่ละประเภทมีค่าที่เลขคลื่นต่างๆ ดังนี้

1. หมู่แอลเคน พันธะ C-H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 2,853-2,962 cm^{-1} และที่พันธะ C-H (แบบงอ) อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,365-1,395 cm^{-1} ซึ่งเป็นเฉพาะของหมู่ isopropyl และหมู่ t –BuOH

2. หมู่แอลคีน พันธะ =C-H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 3,000-3,100 cm^{-1} และที่พันธะ =C-H (แบบงอ) อยู่ที่ช่วงความถี่ 650-1,000 cm^{-1}

3. หมู่แอลไคน์ พันธะ C≡H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 3,333-3,627 cm^{-1} มีเฉพาะแอลไคน์ที่มีพันธะสามตรงปลายโซ่ และพันธะ C≡C (แบบยืด) ที่อยู่ช่วงความถี่ 2,100-2,260 cm^{-1}

4. หมู่แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน พันธะ =C-H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 3,000-3,100 cm^{-1} พันธะ =C-H (แบบงอ) อยู่ที่ช่วงความถี่ 675-900 cm^{-1} และที่ช่วงความถี่ 1,667-2,000 cm^{-1} มีลายบ่งชี้เฉพาะรูปแบบของการแทนที่บนวงแหวนเบนซีน

5. หมู่แอลกอฮอล์และฟีนอล พันธะ O-H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 3,200-3,500 cm^{-1} กรณี และพันธะ C-O (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,000-1,410 cm^{-1} โดยกรณีของฟีนอลจะปรากฏแถบความถี่เกินที่ช่วงความถี่ 1,667-2,000 cm^{-1}

6. หมู่อีเทอร์ พันธะ C-O (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,000-1,300 cm^{-1}

7. หมู่คีโตนอิ่มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) อยู่ที่ความถี่ 1,715 cm^{-1}

8. หมู่แอลดีไฮด์อิ่มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) อยู่ที่ความถี่ 1,725 cm^{-1} และพันธะ C-H

9. หมู่เอสเทอร์อิ่มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) อยู่ที่ความถี่ 1,735 cm^{-1} และพันธะ C-O (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,000-1,300 cm^{-1}

10. หมู่กรดคาร์บอกซิลิกอิ่มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) อยู่ที่ความถี่ 1,710 cm^{-1} และพันธะ O-H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 2,400-3,400 cm^{-1} แถบกว้าง

11. หมู่แอซิดแอนไฮไดรด์อิ่มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,800-1,850 cm^{-1} และ 1,740-1,790 cm^{-1}

12. หมู่แอไมด์อิ่มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,640-1,690 cm^{-1} และพันธะ N-H (แบบยืด) อยู่ที่ช่วงความถี่ 3,100-3,500 cm^{-1}

13. หมู่แอซิดคลอไรด์ อยู่ที่ช่วงความถี่ 1,780-1,850 cm^{-1}

14. หมู่แอมีน อยู่ที่ช่วงความถี่ 3,300-3,500 cm cm^{-1}

15. หมู่ไนไทรล์อิ่มตัว พันธะ C≡ N (แบบยืด) ที่ความถี่ 2,250 cm^{-1}

16. สารประกอบไนโทร พันธะ NO_2 ที่ช่วงความถี่ 1,300-1,390 cm^{-1} และ1,500-1,600 cm^{-1} (Manjusha, 2019)

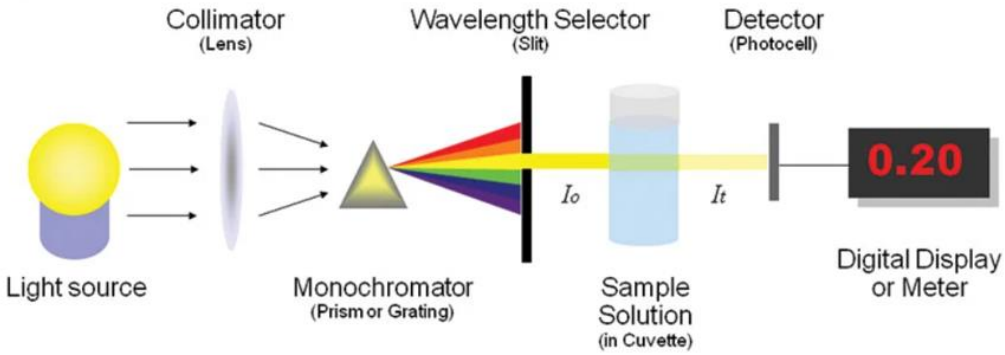
ตาราง 1 สเปกตรัมหมู่ฟังก์ชั่นของ FTIR

Functional Group	**Characteristic Absorption (s) (cm^{-1})**
Alkyl C-H Stretch 2950 – 2850 (m or s)	Alkyl C-H Stretch 2950 – 2850 (m or s)
Alkenyl C- H Stretch	3100 – 3010 (m)
Alkenyl C=C Stretch	1680 – 1620 (v)
Alkynyl C-H Stretch	-3300 (s)
Alkynyl C= C Stretch	2260 – 2100 (v)
Aromatic C- H Stretch	-3030 (v)
Aromatic C- H Bending	860 – 680 (s)
Aromatic C=C Bending	1700 – 1500 (m,m)
Alcohol/Phenol O-H Stretch	3550 – 3200 (broad,v)
CarboxylicAcid O-H Stretch	3000 – 2500 (broad,v)
Amine N-H Stretch	3500 – 3300 (m)
Nitrile C=N Stretch	2260 – 2220 (m)
Aldehyde C=O Stretch	1740 – 1690 (s)
Ketone C=O Stretch	1750 – 1680 (s)
Ester C=O Stretch	1750 – 1735 (s)
Carboxylic Acid C=O Stretch	1780 – 1710 (s)
Amide C=O Stretch	1690 -1630 (s)
Amide N-H Stretch	3700 – 3500 (m)

ที่มา http://www.queensu.ca/ asu/instrumentation/other

8. UV-Vis Spectroscopy

เครื่องมือที่วัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเลต และช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer)ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของแสงและค่า intensity หรือความเข้มแสงในช่วงรังสียูวีจนถึงช่วงแสงขาวที่เกิดจากทั้งการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่างที่ถูกวางไว้ในตัวเครื่องมือ โดยที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วงการวัดจะมีความสัมพันธ์กับทั้งในเชิงปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้โดยหลักการทั่วไปของการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวที่มีพลังงานที่เหมาะสมนั้นไปที่วัสดุตัวอย่างจะทำให้เกิดการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของสสารนั้นๆ ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงดังกล่าว ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วเกิดการคายพลังงานออกมาอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมในรูปของความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งตัวเครื่องจะทำการ detect ช่วงของพลังงานเหล่านั้น เพื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านการสะท้อน และการส่องผ่านจากวัสดุตัวอย่าง แล้วนำมาทำการเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของ Beer-Lambert โดยค่าการดูดกลืนแสงหรือ ค่า absorbance ของสสารนั้นๆ จะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้น เราจึงสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้สำหรับการระบุทั้งชนิด และปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัสดุตัวอย่างได้ (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล)



ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

ที่มา: UV-Vis spectrophotometer from:

https://www.slri.or.th/bdd/th/22-บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์/68-uv-vis-spectrophotometer.html

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาของ (Sharma et al., 2017). ที่ทำการวิเคราะห์อย่างหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน 57 ตัวอย่างถูกจำแนกโดย Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR–FTIR) และ (HPTLC) แนวทางของ ATR–FTIR โดยจากผลการทดลองได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำหนดลักษณะเฉพาะของสูตรหมึกที่ซับซ้อน ATR–FTIR สามารถแยกความแตกต่างได้ 99.69% ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจสอบสเปกตรัม (DP = 97.93%) และโครมาโตกราฟีแบบ HPTLC (DP = 93.80%) วิธีการที่คล้ายคลึงกันนี้สามารถนำไปใช้ในกรณีจริงของห้องปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจสอบว่ารายการของหมึกสองรายการบนแผ่นเอกสารมาจากแหล่งเดียวกัน

จากงานวิจัยของ (Gautam et al., 2021) ที่ได้ทำการศึกษาหมึกปากกาเจลและปากกาลูกลื่นสีดำจำนวน 50 ด้าม วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy จากผลการผลการทดลองพบว่าสามารถจำแนกประเภทของปากกาทั้งสองประเภท 100 % โดยมีค่า PLSDiscrimination เท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงมีความไวและความจำเพาะ 100 %

จากงานวิจัยของ (sharma, 2021). ได้ทำการศึกษาแยกความแตกต่างของหมึกตราประทับโดยใช้หมึกตราประทับสีน้ำเงิน 16 ยี่ห้อและหมึกตราประทับสีแดง 12 ยี่ห้อ วิเคราะห์ผลด้วยเครื่องสเปกโตรสโกปี Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared (ATR FT-IR) ในช่วง IR กลาง หมึกตราประทับของแบรนด์ต่างๆ มีความแตกต่างกันโดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตา ผลลัพธ์สเปกตรัมที่ปรากฏความสามารถในการแยกแยะ 96.6% และ 93.9% สำหรับหมึกสีน้ำเงินและสีแดงตามลำดับ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจด้วยอัตราความแม่นยำที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์หมึกพิมพ์ตราประทับบนกระดาษต่างๆ และได้มีการหารือถึงผลลัพธ์ ต่อจากนี้ไป ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าเทคนิค ATR FT-IR spectroscopy เป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดอ่อนและเชื่อถือได้ โดยมีข้อกำหนดในการเตรียมตัวอย่างเพียงเล็กน้อยเพื่อระบุและแยกความแตกต่างในการผลิตหมึกพิมพ์ต่างๆ จึงเป็นการขยายแนวทางใหม่ในการตัดสินความถูกต้องของเอกสาร

ในงานวิจัยของ (วิวัฒน์สำเร็จกุล, 2541). ได้ศึกษาการจำแนกกลุ่มของปากกาลูกลื่น โดยได้นำเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี (uv-visible spectroscopy) และฟูเรียทรานส์ฟอร์มสเปกโตรสโกปี (FT-IR : Fourier Transform Infrared Spectroscopy) มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อระบุว่าปากกาลูกลื่นแต่ละชนิดนั้น สำหรับปากกาลูกลื่นที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ปากกาลูกลื่นที่สามารถหา

ได้ทั่วไปตามท้องตลาดที่มีความแตกต่างกันทั้งสี ยี่ห้อและรุ่นรวมทั้งหมด 51 ชนิด 3 สี คือ แดง น้ำเงิน และสีดำ จากนั้นจึงวิเคราะห์หาความต่างโดยทำการนำมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกความแตกต่างและแบ่งปากกาออกเป็นกลุ่มๆ ด้วยเทคนิคดังกล่าวจากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าการแบ่งกลุ่มโดยใช้เทคนิค uv-visible spectroscopy นั้นสามารถแบ่งกลุ่มได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ

การศึกษาของ (Sharma et al. 2016). ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหมึกของปากกาลูกลื่นปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินทั้งหมด 57 ตัวอย่างโดยการเขียนปากกาลงในกระดาษ A4 รอให้แห้งจากนั้นนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลและวิเคราะห์ จากผลการต้นลองข้างต้นพบว่า สามารถจำแนกหมึกปากกาสีน้ำเงินได้ 99.46 %

การศึกษาของ (Adam et al. 2008). ที่วิเคราะห์องค์ประกอบของปากกาลูกลื่นสีดำหลากหลายชนิดที่มีจำหน่ายในตลาดสหราชอาณาจักร 25 ด้าม ด้วยเทคนิค UV–Vis pectroscopy โดยทำการขีดเส้นหมึกปากกาลงบนกระดาษแล้วนำไปสกัดจากนั้น จากผลการศึกษาพบว่าหมึกปากกาทั้งหมดสามารถแยกความแตกต่างและแสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อระบุหมึกของปากกาจากฐานข้อมูลของสเปกตรัม UV-vis อ้างอิง

งานวิจัยของ (Sharma et al. 2018). ที่ได้ทำการวิเคราะห์การวิเคราะห์หมึกปากกามาร์กเกอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในสถานที่ต่างๆ เช่น เอกสารในกล่องพัสดุ เพื่อรับรองภาพถ่าย และใช้เป็นสื่อการเรียนในห้องเรียน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ประเด็นสำคัญ อย่างแรกคือการกำหนดลักษณะของหมึกมาร์กเกอร์ ประการที่สอง เพื่อแยกแยะหมึกมาร์กเกอร์แบบถาวรและหมึกไวท์บอร์ดโดยใช้การสกัด (การแยกตัวอย่างหมึกออกจากพื้นผิวกระดาษ) โดยเทคนิค UV–Vis pectroscopy โดยผลการทดลองสามารถจำแนกตัวอย่างหมึกมาร์กเกอร์ได้อย่างถูกต้อง 87.5% วิธีการนี้ยังสามารถใช้เพื่อกำหนดแบบจำลองทางสถิติสำหรับการกำหนดกลุ่มของทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ด้วย

จากรายงานของ (Sharif et al. 2019). ที่ตรวจสอบและเปรียบเทียบหมึกปากกาหมึกซึมมีความสำคัญมากในการตรวจสอบเอกสารทางนิติเวชในประเทศกำลังพัฒนาที่มีโอกาสเกิดการฉ้อโกงมากขึ้นในกรณีของเช็ค เอกสารการแต่งงาน การเกิดขึ้นและการตาย เป็นต้น โดยทดลองหมึกปากกาหมึกซึมสีน้ำเงิน สีดำ สีเขียว และสีแดงที่ ทำการแยกความแตกต่างโดยเทคนิค UV-Vis, TLC และ FTIR โดยผลการแยกด้วยเทคนิค UV/Visible Spectroscopy ของหมึกปากกาหมึกซึมของแบรนด์ต่างๆ แสดงองค์ประกอบที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะมีสีใกล้เคียงกัน เทคนิค TLC ก็ได้ผลทดลอง และผลการทดลองด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าแต่ละแบรนด์สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ด้วยการศึกษารูปแบบของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ปรากฏเนื่องจากการมีอยู่ของกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1.1 เครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Spectrum 100 ยี่ห้อ PerkinElmer

1.2 เครื่อง UV-vis Spectrophotometer รุ่น Cary 60 บริษัท Agilent technologies

1.3 Methanol และ ethyl acetate จากบริษัท RCI Labscan

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการศึกษานี้จะใช้ปากกาสีน้ำเงินที่วางขายตามท้องตลาดจำนวน 12 ตัวอย่าง 6 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2

ตาราง 2 ตัวอย่างปากกาที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 12 ชนิด

ชื่อตัวอย่าง	ชนิดปากกา	รุ่น/ยี่ห้อ
s1	ปากกาลูกลื่น	Quantum skate
s2	ปากกาลูกลื่น	Camry shine 525
s3	ปากกาลูกลื่น	Geluoial
s4	ปากกาเคมี	House
s5	ปากกาเคมี	pentel
s6	ปากกาเจล	Pentel energel
s7	ปากกาเจล	Deli gel pen
s8	ปากกาเจล	Lotus
s9	ปากกาpermanent	Monami XF
s10	ปากกาpermanent	Faber Castel 1523
s11	ปากกาเมจิ	Hourse Signing pen
s12	ปากกาสีน้ำ	hourse

2.2 การเตรียมเครื่อง ATR-FTIR

2.2.1 เสียบปลั๊ก เปิดเครื่องสำรองไฟ เปิดเครื่องทิ้งไป 30 นาทีเพื่อให้ค่าพลังงานของเครื่องพร้อมสำหรับใช้งาน

2.2.2 เปิดโปรแกรมสำหรับวัดค่า IR

2.2.3 set โปรแกรมเครื่อง โดยตั้งค่าช่วงคลื่นในการแสกนตั้งแต่ 4000-400 cm^{-1} ที่ 16 แสกน แล้วตั้ง Resolution ที่ 4 cm^{-1}

2.2.4 ทำการวัดผลแต่ละตัวอย่างโดยการวางบน aperture mask ที่ sample stage

2.2.5 นำผล spectrum ที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

2.3 การเตรียมเครื่อง UV-vis spectrophotometer

2.3.1. เปิดเครื่อง UV-vis spectrophotometer กำหนดความยาวคลื่นแสงที่ 350-750 nm

2.3.2. ใส่ Methanol และ ethyl acetate ที่เป็น blank ลงใน cuvette เช็ดด้านข้างของ cuvette ให้แห้งสะอาด ในช่องสำหรับใส่ในเครื่อง ปิดฝาเครื่อง และอ่านค่าการดูดกลืนแสงจากจอแสดงผล

2.3.3 ล้างและเช็ด cuvette ให้สะอาด จากนั้นใส่สารตัวอย่างลงใน cuvette ใส่ cuvette ในช่องสำหรับใส่ในเครื่อง ปิดฝาเครื่อง และอ่านค่าการดูดกลืนแสงจากจอแสดงผลโดยเครื่องจะทำการหักลบค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างและ blank ให้จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

2.4 การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy

นำตัวอย่างปากกาน้ำเงินทั้ง 12 ตัวอย่าง มาเขียนลงในกระดาษสีขาวขนาด 1.5 ซม.X4 ซม. จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATR-FTIR Spectroscopy (เครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Spectrum 100 ยี่ห้อ PerkinElmer) ตั้งค่าการสแกน ที่ 4000-400 cm^{-1} ที่16 scans มีค่า resolution 4 cm^{-1} ผลลัพธ์ที่ได้คือสเปกตรัมที่พล๊อตระหว่าง % Transmittance กับ เลขคลื่น cm^{-1} จากนั้นนำผลสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของพีคและนำประมวลผลต่อไป

2.5 การศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometer

นำมาระบายลงในกระดาษสีขาวขนาด 1.5 ซม. X 4 ซม. สกัดน้ำหมึกออกจากปากกาด้วยสารละลายผสมระหว่างเมทานอล และเอทิลอะซิเตต จากบริษัท RCI Labscan ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายจากการสกัดหมึกปากกาที่ได้มาเจือจางลง 4 เท่า เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม และนำไปการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (เครื่อง UV-vis Spectrophotometer รุ่น Cary 60 บริษัท Agilent technologies) ที่ความยาวคลื่นที่ 350-750 nm แล้วนำค่าสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

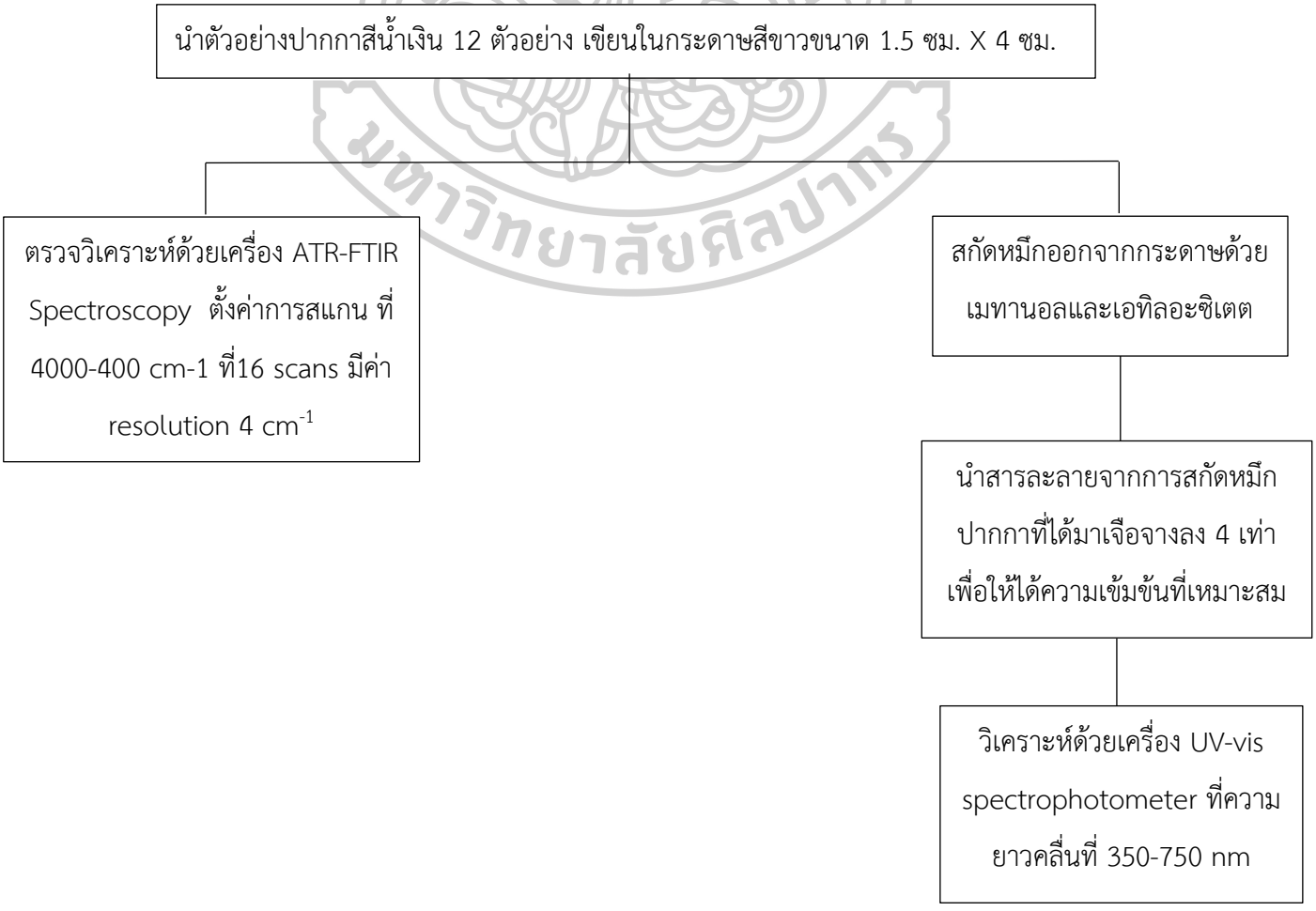
ในงานวิจัยนี้จะใช้สถิติการวิเคราะห์ Discrimination power ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้การแยกความแตกต่างของหมึกปากกาแต่ละชนิด โดยใช้สูตร

ค่าอำนาจการจำแนก = (จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้ / จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด) x100

จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด x (จำนวนตัวอย่างทั้งหมด - 1) / 2

จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้ = จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด – จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกไม่ได้

แผนการทดลอง

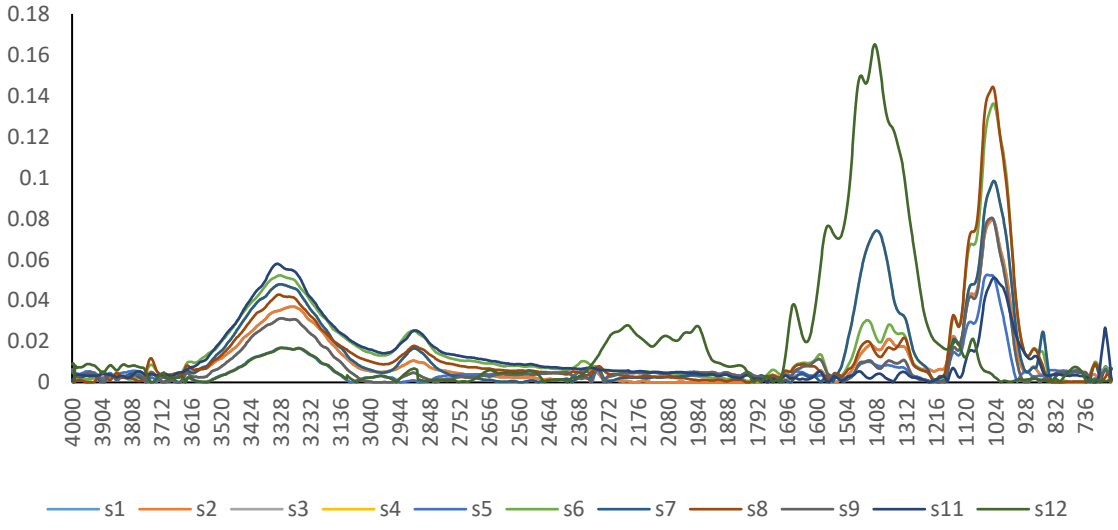


บทที่ 4

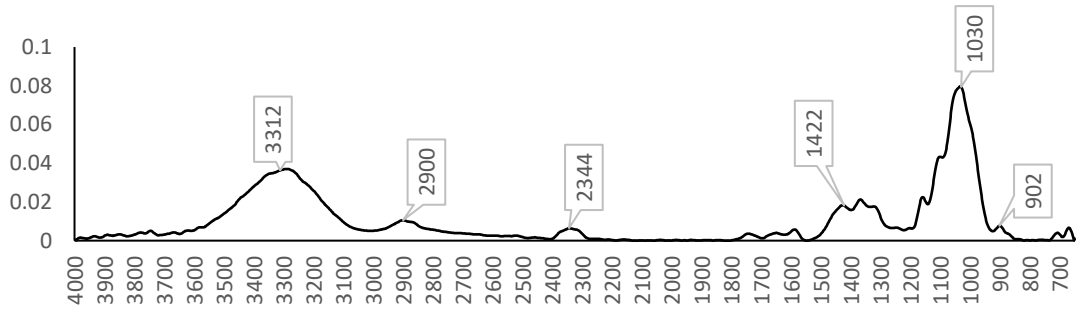
ผลการทดลอง

การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy

จากการศึกษาตัวอย่างหมึกปากกาสีน้ำเงิน 6 ชนิดได้แก่ ปากกาลูกลื่น ปากกาเคมี ปากกาเจล ปากกาpermanent ปากกาเมจิก และปากกาสี ทั้งหมด 12 ตัวอย่างแล้วนำวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy ที่ 4000-400 cm^{-1} เพื่อใช้ในการแยกความแตกต่างองค์ประกอบภายในหมึกปากกาแต่ละชนิด จากผลการศึกษาจะพบสเปกตรัม IR ส่วนใหญ่ ในช่วงเลขคลื่น 3200-3600 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ Alcohol ช่วงเลขคลื่น 2800-2910 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-H aldehyde ที่ช่วงเลขคลื่น 1400-1600 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C=C aromatic compound และที่ช่วงเลขคลื่น 1020-1200 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-OH ซึ่งสเปกตรัมแต่ละช่วงคลื่นที่ปรากฏนั้นเป็นสเปกตรัมที่เป็นขององค์ประกอบหลักในการผลิตหมึกปากกา

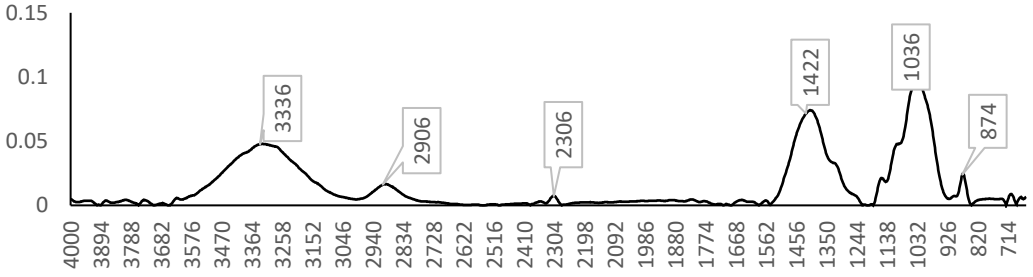


ภาพที่ 3 FTIR สเปกตรัมของหมึกปากกาทั้ง 12 ชนิด



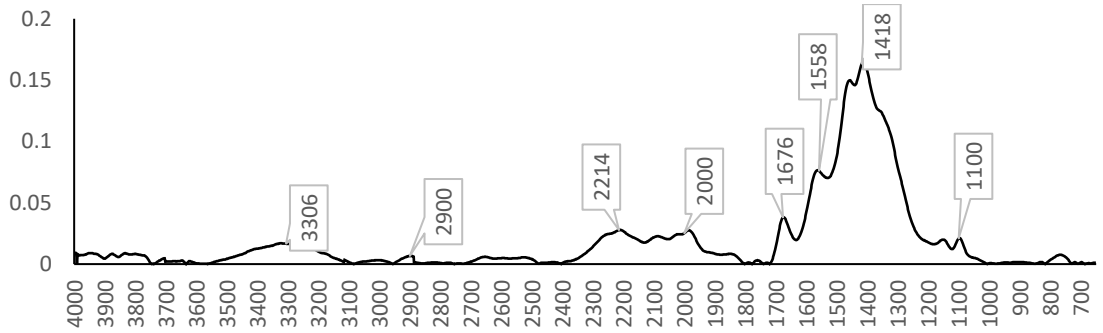
ภาพที่ 4 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S1

ภาพที่ 4 สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S1 จะพบสเปกตรัม IR ที่เลขคลื่น 3312 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ Alcohol ที่เลขคลื่น 2900 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-H aldehyde ที่ช่วงเลขคลื่น 1422 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C=C aromatic compound และที่เลขคลื่น 1030 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-OH และยังพีคอื่นๆที่ เช่น 902 cm^{-1} ซึ่งมีรูปแบบคล้ายสเปคตรัมที่พบในตัวอย่าง S2, S3, S5, S6, S8, S9, S10



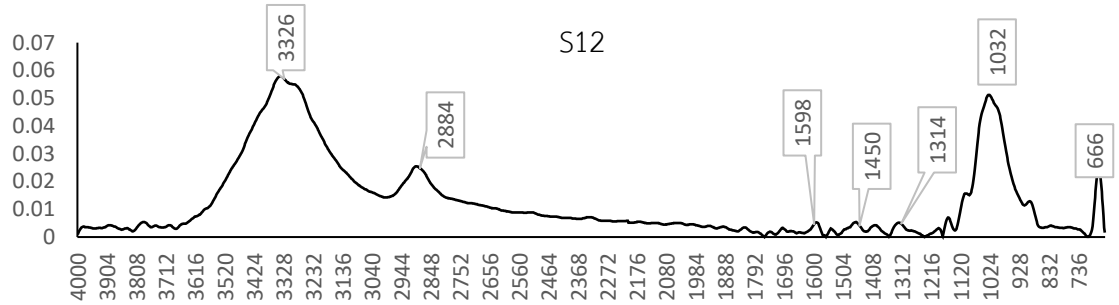
ภาพที่ 5 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S7

ภาพที่ 5 สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S7 จะพบสเปกตรัม IR ที่เลขคลื่น 3336 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ Alcohol ที่เลขคลื่น 2905 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-H aldehyde ช่วงเลขคลื่น 1422 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C=C aromatic compound และที่เลขคลื่น 1036 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-OH และพบพีคอื่นๆที่ เช่น 874 cm^{-1} ซึ่งมีรูปแบบคล้ายสเปคตรัมที่พบในตัวอย่างที่ S4



ภาพที่ 6 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S11

ภาพที่ 6 สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S11 จะพบสเปกตรัม IR ที่เลขคลื่น 3306 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ Alcohol ที่เลขคลื่น 2900 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-H aldehyde ที่เลขคลื่น 1418 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C=C aromatic compound และที่ช่วงเลขคลื่น 1100 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-OH และมีพีคอื่นๆที่เลขคลื่น เช่น 2214 cm^{-1} 2000 cm^{-1} 1558 cm^{-1} และ 1676 cm^{-1} ซึ่งไม่ปรากฏพีคดังกล่าวในตัวอย่างใดเลย



ภาพที่ 7 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S12

ภาพที่ 7 สเปกตรัมของตัวอย่างปากกา S12 จะพบสเปกตรัม IR ที่เลขคลื่น 3326 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ Alcohol ที่เลขคลื่น 2884 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-H aldehyde ที่เลขคลื่น 1314 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C=C aromatic compound และที่ช่วงเลขคลื่น 1032 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-OH และมีพีคอื่นๆที่เลขคลื่น เช่น 1598 cm^{-1} 1450 cm^{-1} และ 666 cm^{-1} ซึ่งไม่ปรากฏพีคดังกล่าวในตัวอย่างใดเลย

ตาราง 3 ตำแหน่งเส้น FTIR ของหมึกปากกาสีน้ำเงิน 12 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	Wavenumber (cm^{-1})				พีคอื่นๆ (cm^{-1})
S1	3312	2900	1372	1030	1734 ,1598 ,1156, 1106, 902
S2	3286	2896	1584	1034	1746, 1582, 1438, 1340, 898
S3	3342	2884	1448	1035	1700, 1549, 1092, 902
S4	3312	2906	1368	1040	2346, 1572, 879
S5	3318	2890	1412	1032	2312, 1818, 1700, 1534, 934
S6	3360	2910	1444	1035	2313, 1734, 1584, 696
S7	3336	2906	1398	1036	2314, 1560, 820
S8	3326	2888	1432	1048	2310, 1672, 894, 710
S9	3306	2906	1358	1034	2314, 1560, 1544, 820
S10	3308	2896	1454	1035	2352, 1640, 1536, 900
S11	3306	2900	1418	1100	2000, 2214, 1558, 1676
S12	3326	2884	1314	1032	1598, 1450, 1314, 890, 666

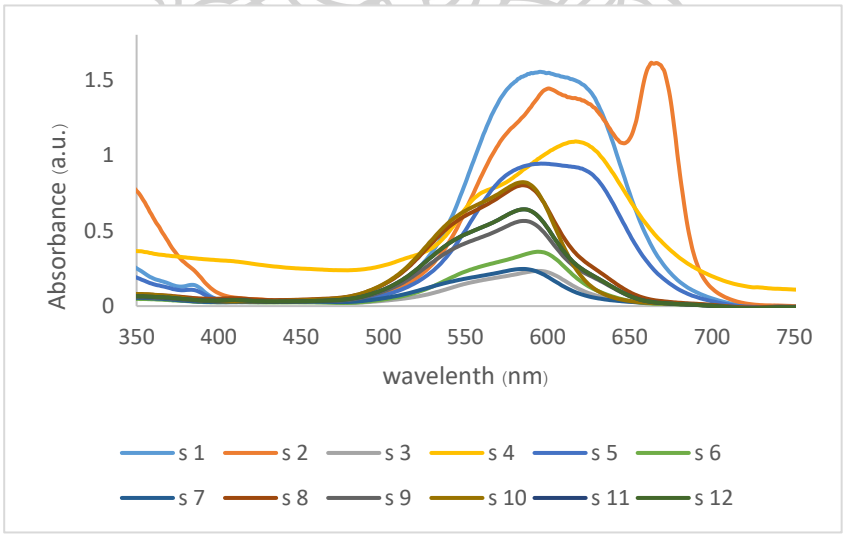
ตาราง 4 เลขคลื่นอ้างอิงของสเปกตรัม FTIR

ช่วงเลขคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชั่น
1020-1200	C-OH
1400-1600	C=C aromatic compound
2800-2900	C-H aldehyde
3200-3600	Alcohol OH stretch , poly-ethylene glycol

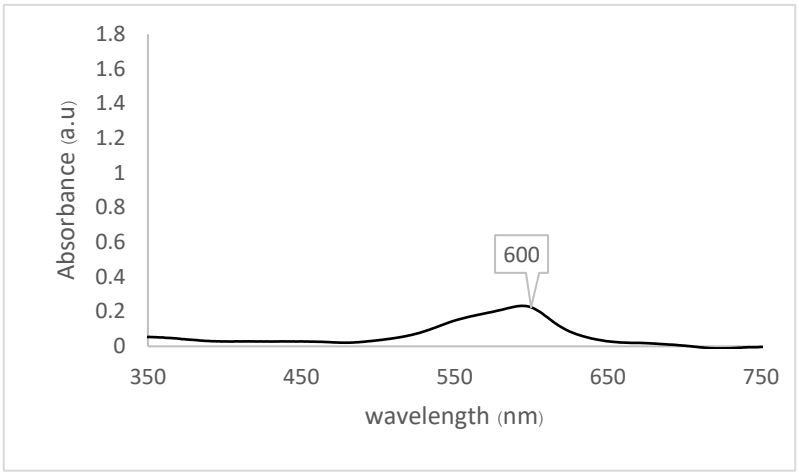
การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการใช้ค่าอำนาจการจำแนก (Discrimination power) การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy มีค่าอำนาจในการจำแนกเท่ากับ เท่ากับ 100 %

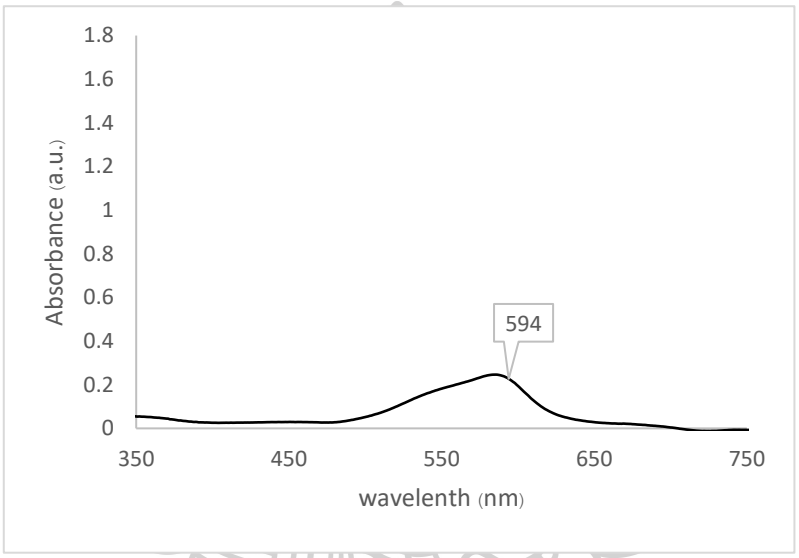
การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค UV-vis Spectroscopy

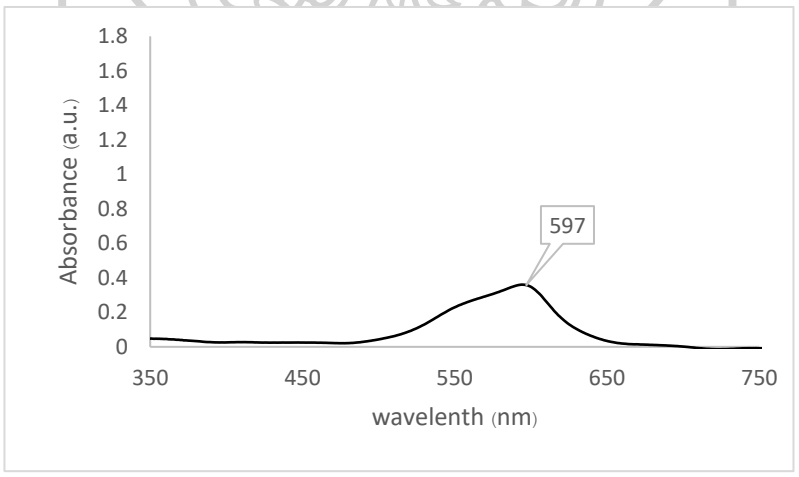
จากการศึกษาตัวอย่างหมึกปากกาสีน้ำเงิน 6 ชนิดได้แก่ ปากกาลูกลื่น ปากกาเคมี ปากกาเจล ปากกาpermanent ปากกาเมจิก และปากกาสี ทั้งหมด 12 ตัวอย่างแล้วนำวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-vis Spectroscopy ในช่วงความยาวคลื่น 350-750 nm เพื่อใช้ในการแยกความแตกต่างองค์ประกอบภายในหมึกปากกาแต่ละชนิด จากผลการศึกษาพบว่าสเปกตรัมของหมึกปากกาแต่ละชนิดมีการแสดงองค์ประกอบของหมึกปากกาที่แตกต่างกัน (ดังภาพที่) โดยในปากกาลูกลื่น 3 ตัวอย่าง มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสูด (λ_{max}) คือ ที่ 600 nm 597 nm และ 594 nm ในหมึกปากกาเคมี 2 ตัวอย่าง มีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 594 nm และ 597,663 nm ในหมึกปากกาเจลมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 592 nm เท่ากันในทั้ง 3 ตัวอย่าง ในหมึกปากกาpermanent มีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 594 nm และ 596 nm ในหมึกปากกาเมจิกมีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 625 nm และในหมึกปากกาสีน้ำมีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 588 nm ซึ่งช่วงค่าดูดกลืนแสงดังกล่าวเป็นสารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีน ไฮโดรคาร์บอน หรือหมู่ไฮดอกซิล



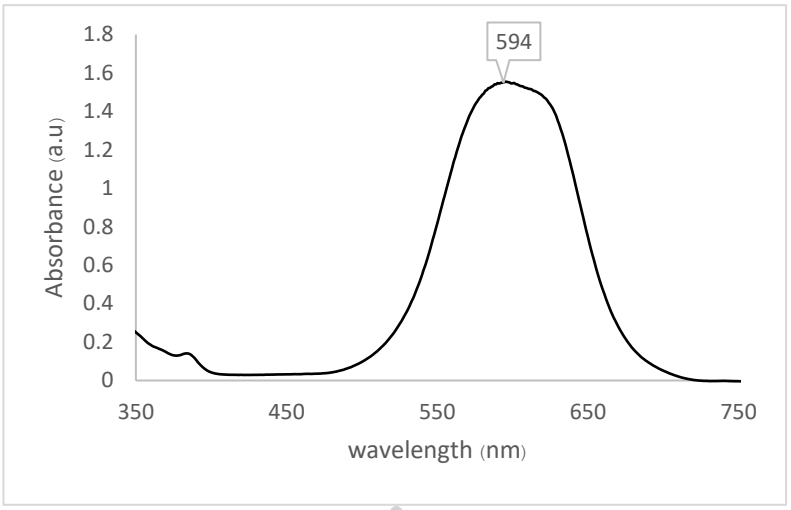
ภาพที่ 8 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำเงินทั้ง 12 ตัวอย่าง

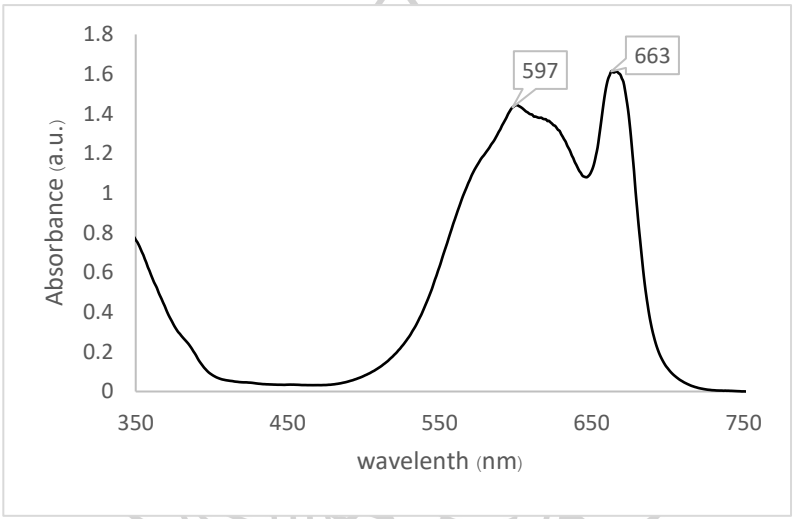




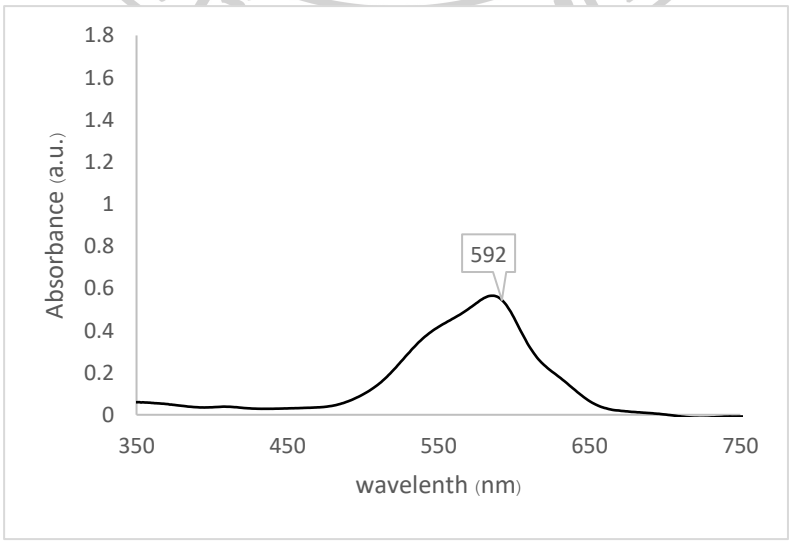


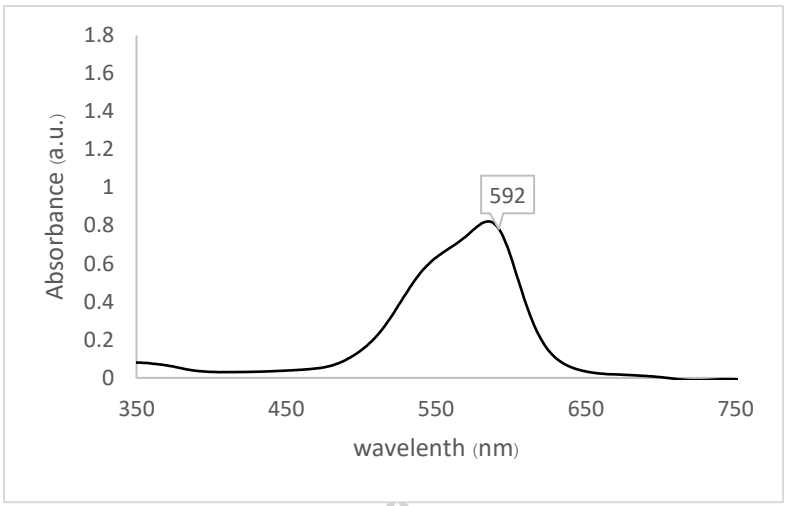
ภาพที่ 9 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาลูกลื่น

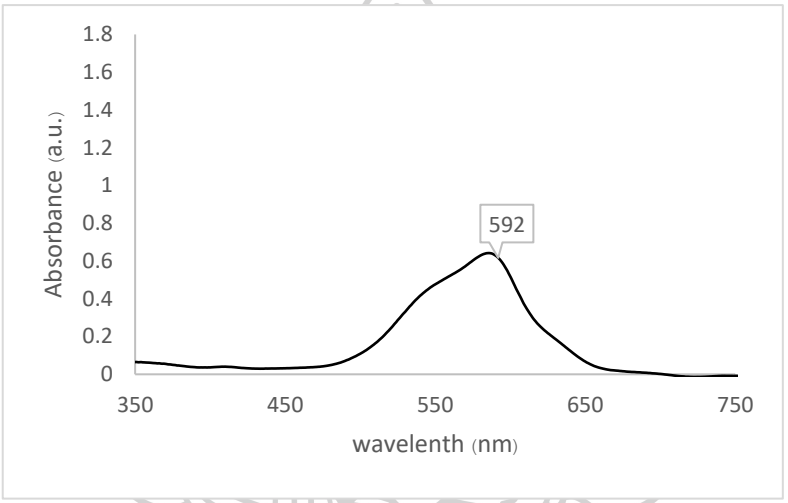




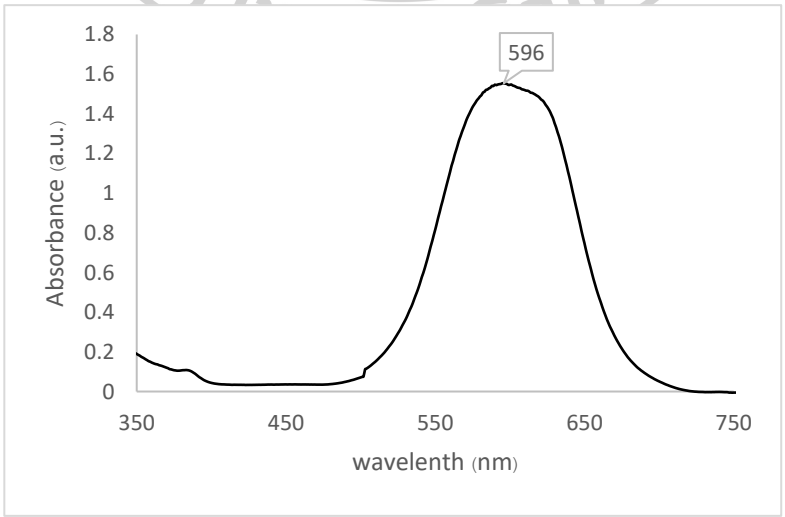
ภาพที่ 10 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาเคมี

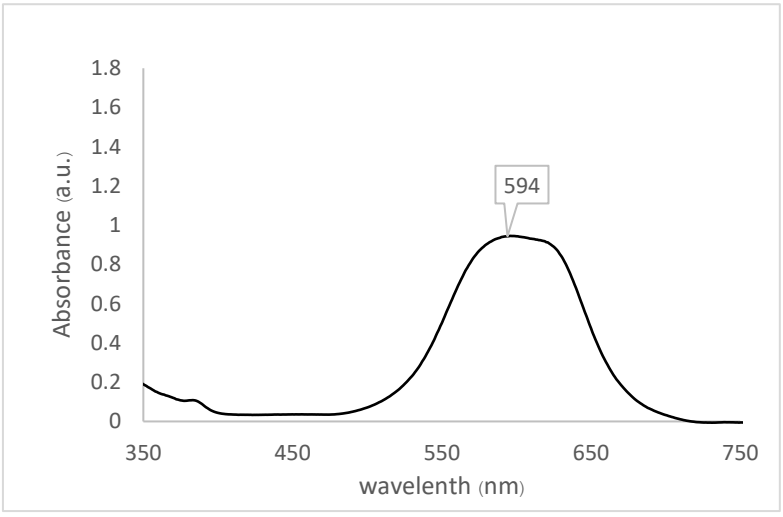




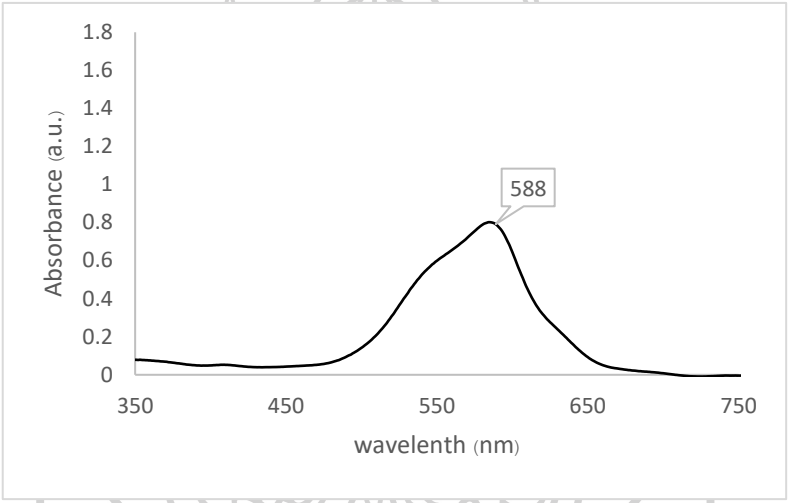


ภาพที่ 11 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาเจล

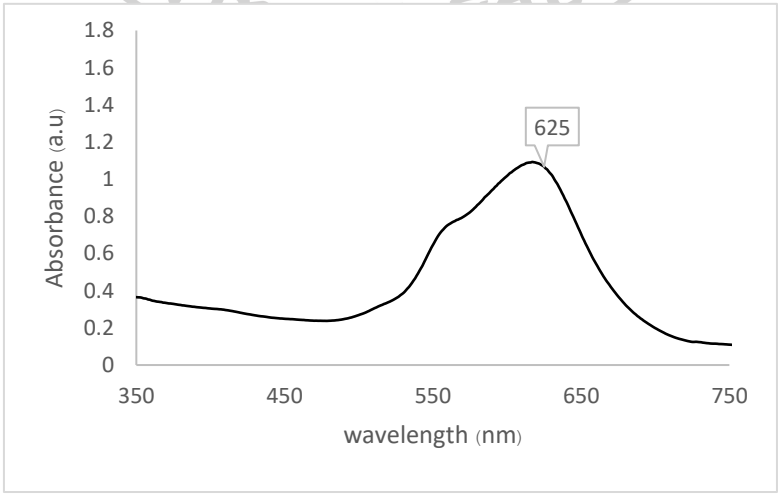




ภาพที่ 12 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาpermanent



ภาพที่ 13 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาเมจิก



ภาพที่ 14 UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำ

ตาราง 5 ตำแหน่งของ UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำเงินทั้ง 12 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	ชนิดปากกา	ความยาวคลื่นสูงสุด λ_{max} (nm)
1	ปากกาลูกลื่น	600
2	ปากกาลูกลื่น	597
3	ปากกาลูกลื่น	594
4	ปากกาเคมี	594
5	ปากกาเคมี	597,663
6	ปากกาเจล	592
7	ปากกาเจล	592
8	ปากกาเจล	592
9	ปากกาpermanent	594
10	ปากกาpermanent	596
11	ปากกาเมจิ	625
12	ปากกาสีน้ำ	588

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการใช้ค่าอำนาจการจำแนก (Discrimination power) การศึกษาความแตกต่างองค์ประกอบของหมึกปากกาแต่ละชนิดด้วยเทคนิค Uv-vis Spectroscopy มีค่าอำนาจในการจำแนกเท่ากับ เท่ากับ 95.45 %

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาความแตกต่างของหมึกปากกาสีน้ำเงิน 12 ตัวอย่าง ในปากกา 6 ชนิด ด้วยเทคนิค ATR-FTIR spectroscopy โดยจาก FTIR สเปกตรัมของหมึกปากกาทั้ง 12 ชนิดแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบหลักของหมึกปากกาแต่ละชนิดที่มีการขึ้นพีคในเลขช่วงคลื่นที่ใกล้เคียงกันคือในช่วงเลขคลื่น 3200-3600 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ Alcohol ช่วงเลขคลื่น 2800-2910 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-H aldehyde ที่ช่วงเลขคลื่น 1400-1600 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C=C aromatic compound และ ที่ช่วงเลขคลื่น 1020-1200 cm^{-1} เป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบ C-OH โดยเลขช่วงคลื่นที่พบส่วนใหญ่ในหมึกปากกาทั้ง 12 ตัวอย่างนั้นสอดคล้องว่าเป็นสารประกอบหรือองค์ประกอบหลักที่อยู่ในหมึกปากกา ถึงแม้ว่าจะมีองค์ประกอบหลักที่คล้ายกันแต่ก็ยังสามารถความแตกต่างของหมึกปากกาได้โดยการเปรียบเทียบพิเศษที่พบในปากกาแต่ละตัวอย่างซึ่งสามารถระบุถึงความแตกต่างของหมึกปากกาแต่ละชนิดถึงแม้ว่าหมึกปากกาจะมีสีที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอำนาจในการจำแนก 100%

จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-VIS Spectroscopy จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของหมึกปากกาในแต่ละประเภทมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ในช่วง 500-625 ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่มากว่าช่วงปกติ ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของหมู่คลอโมฟอม ซึ่งทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมีช่วงที่สูงขึ้นกว่าสารอื่นๆ โดยสารคลอโมฟอร์มมักจะเป็นสารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีนไฮโดรคาร์บอน หรือหมู่ไฮดอกซิล ซึ่งสอดคล้องกับสารในหมึกปากกาที่พบว่ามีองค์ประกอบดังกล่าวเป็นสารหลักในการผลิตหมึกปากกา โดยมีค่าอำนาจในการจำแนก 95.45 % เนื่องจากจำแนกได้เพียงกลุ่มใหญ่ๆ ซึ่งเทคนิคทั้งสองเทคนิคนี้มีศักยภาพที่จะใช้ในการสืบสวนเบื้องต้น และเป็นวิธีที่มีความรวดเร็วในการตรวจสอบเอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์โดยสามารถแยกความแตกต่างของหมึกปากกาได้เพียงเป็นกลุ่มสีที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปได้ว่าหมึกปากกาแต่ละชนิดมีส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกันหรือมีแหล่งผลิตจากที่เดียวกัน

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

ควรมีการใช้เทคนิคการวิเคราะห์รูปแบบอื่นๆร่วมด้วยเพื่อใช้ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทดลองให้มีความแม่นยำและเพื่อประยุกต์หาเทคนิคที่ดีที่สุดต่อไป

รายการอ้างอิง

Adam, D. C., Sherratt L. S., and L. V. & Zholobenko. " Classification and Individualisation of Black Ballpoint Pen Inks Using Principal Component Analysis of Uv–Vis Absorption Spectra." *Forensic Science International* 174(1) (2008): 16–25.

Djozan, D., T. Baheri, Karimian, G.,, and M. & Shahidi. "Forensic Discrimination of Blue Ballpoint Pen Inks Based on Thin Layer Chromatography and Image Analysis." *Forensic Science International* 179(2-3) (2008): 199-205.

Gautam, R., Chauhan, R., Kumar, R., & Sharma, V. . "Pls-Da and Infrared Spectroscopy Based Rapid and Non-Destructive Discrimination of Black Ball and Gel Pen Inks for Forensic Application." *Forensic Science International* (2021). 100-112.

Kumar, R., Sharma, V. . " A Novel Combined Approach of Diffuse Reflectance Uv–Vis-Nir Spectroscopy and Multivariate Analysis for Non-Destructive Examination of Blue Ballpoint Pen Inks in Forensic Application. Spectrochimica Acta Part." *Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (2016): 1386-142.

Lamyai, s. "ปากกาแต่ละชนิด ลูกลื่น โรลเลอร์บอลเจลและหมึกซึม." 2018. https://writing.in.th/2018/04/28/pen-differences.

Manjusha, P., Muthu, s., prasana, C. J., & Rajaraman, B. C.. Journal of , and . "Density Functional Studies and Spectroscopic Analysis (Ft-Ir, Ft-Raman, Uv–Visible, and Nmr) with Molecular Docking Approach on an Antifibrotic Drug Pirfenidone." *Molecular Structure* (2019): 144-53.

Phorassamee, W. . "Analysis of Black Ballpoint Pen Inks Using Thin Layer Chromatographyand Image Analysis.", silpakorn university, 2012.

Sharif, M., I. M. Jalees, A. s. Tirmazi, m.m. Athar, l. a. Durrani, and m. & Batool. "Research Articleforensic Discrimination Potential of Blue, Black, Green, Andred Colored Fountain Pen Inks Commercially Used in Pakistan,by Uv/Visible Spectroscopy, Thin Layer Chromatography, Andfourier Transform Infrared Spectroscopy." *International Journal of Analytical Chemistry* (2019).

Sharma, V., R. Kumar, D. Karan, P. Kumar, E. Adam, K. Vijay, and K. & Vinay. "Multivariate Analysis for Forensic Characterization, Discrimination, and Classification of Marker Pen Inks." *Spectroscopy Letters* 51(5) (2018): 205–15.

Sharma, V., & Kumar, R. " 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.* (2017). 96–104

Sharma, s., Garg, D., Choph, R., & Singh, R. "On the Spectroscopic Investigation of Stamp Inks Using Atr-Ftir and Chemometrics: Application in Forensic Document Examination." *Forensic Chemistry* 26 (2021).

Saini, K., Rathore, R. "Identification of Valatile Component of Gel -Pen Inks Though Gas Choromatography Mass Spectrometry." *Forensic Chemistry* 1026(1-2) (2018): 9-18.

Thanasoulias , C. N., Parisis N., and & Evmiridis P N. "Multivariate Chemometrics for Theforensic Discrimination of Blue Ball-Point Pen Inks Based on Their Vis Spectra." *forensic Sci Int.* (2003): 75-82.

กลุ่มงานตรวจเอกสารศูนย์พิสูจน์หลักฐาน. 2558. คำแนะนำในการส่งตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานประเภทเอกสารสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานสืบสวนสอบสวน.

แคนยุกต์, ปิยะวรรณ, ชูชาติ ธรรมเจริญ, and สนอง เอกสิทธิ์. "การวิเคราะห์หมึกปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิคเอทีเอฟทีไออาร์ไมโครสเปกโทรสโกปี." Paper presented at the การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 15 คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

เตชะสมบูรณ์, สมพงษ์. นิติวิทยาศาสตร์กับการเสริมสร้างความยุติธรรม. (2559).

วิวัฒน์สำเร็จกุล, จันทร์จิรา"การจำแนกกลุ่มของปากกาลูกลื่น โดยได้นำเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี (Uv-Visible Spectroscopy) และฟูเรียทรานส์ฟอร์มสเปกโตรสโกปี (Ft-Ir : Fourier Transform Infrared Spectroscopy)." มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541.

สมบูรณ์., มยุรี. "การวิเคราะห์หมึกปากกาน้ำเงินจากปากกาลูกลื่นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตรกราฟีและการวิเคราะห์ภาพ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร., 2010.

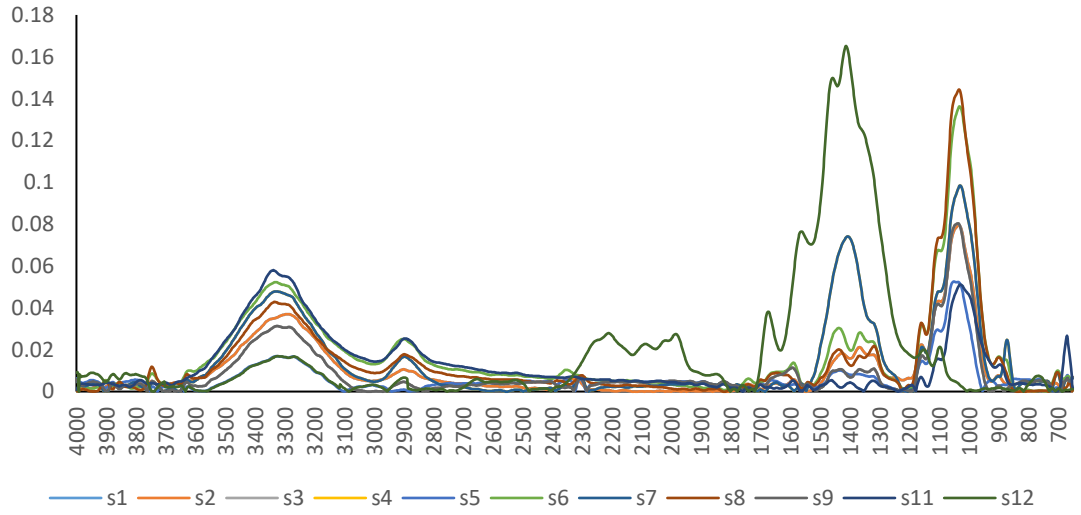
มหาวิทยาลัยมหิดล, สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้สีและแสงการวัดการดูดกลืนแสง. (2555).

แสนปลื้ม, กฤษณา. "การศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของหมึกตามอายุหมึก." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล., 2005.

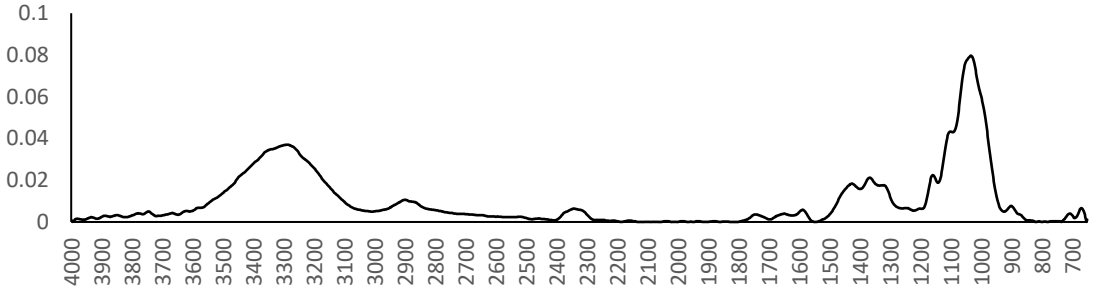
สรวารี, อรอุษา. สารเคลือบผิว (สีวารนิชและแลกเกอร์). (พิมพ์ที่โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย: 2542).

เองสมบุญ, สมภพ. การตรวจสถานที่เกิดเหตุเบื้องต้น. นครปฐม. โรงเรียนนายร้อยตำรวจ (2551).

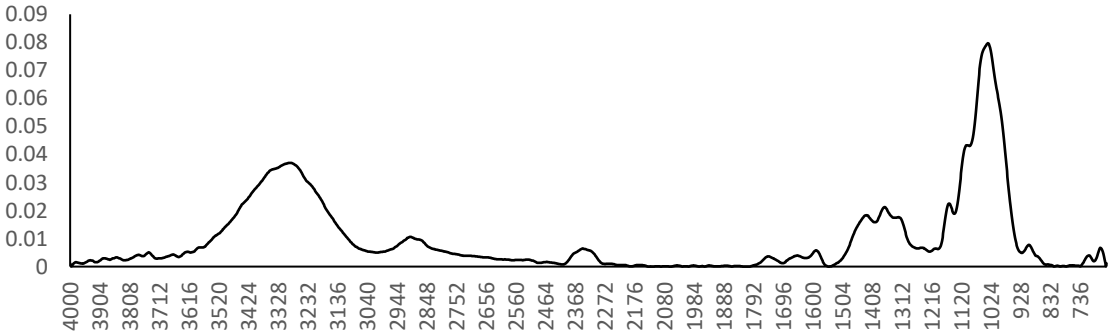
ภาคผนวก



FTIR สเปกตรัมของหมึกปากกาทั้ง 12 ชนิด

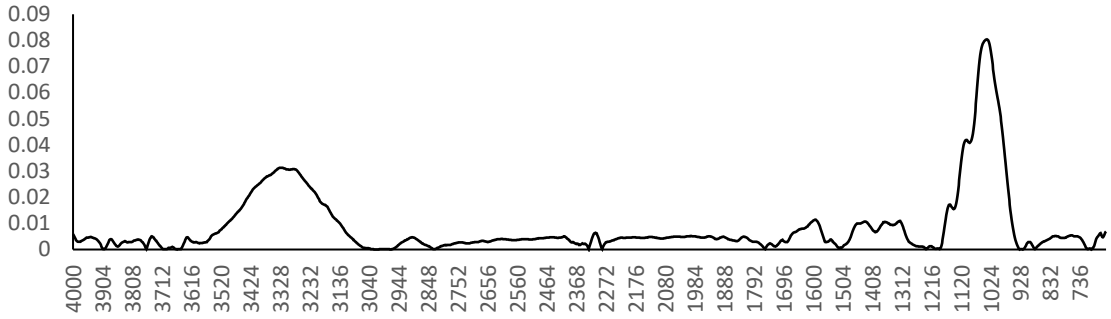


ตัวอย่าง s1

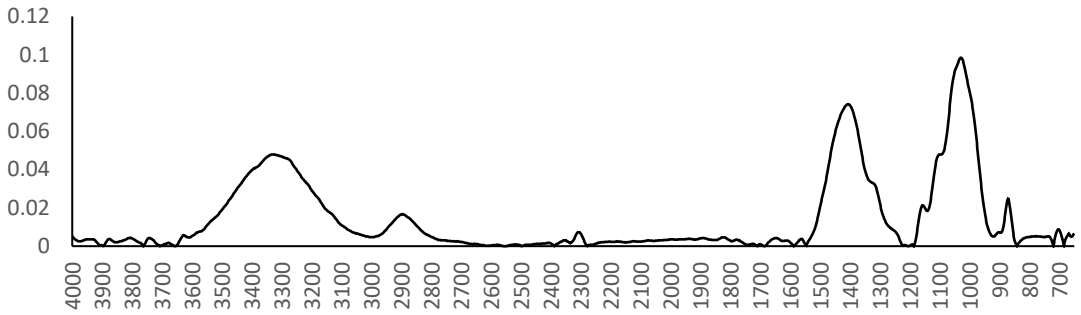


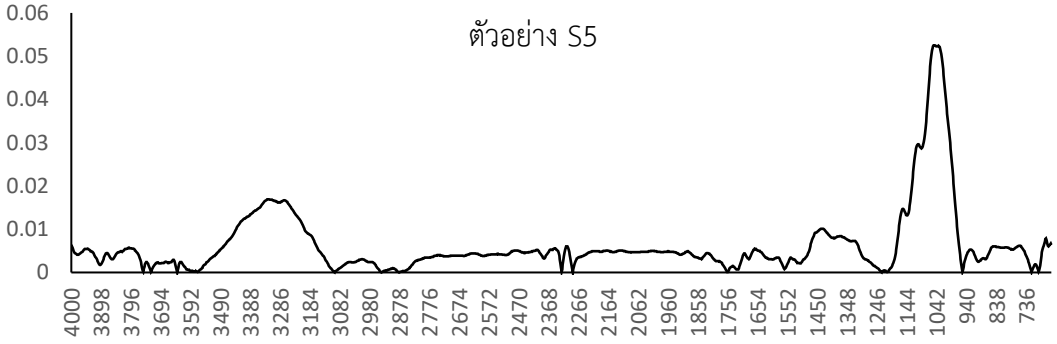
ตัวอย่าง s2

ตัวอย่าง S3

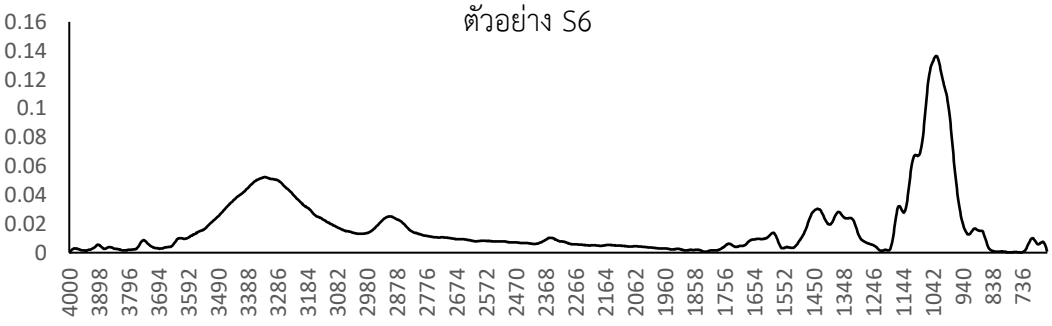


ตัวอย่าง S4

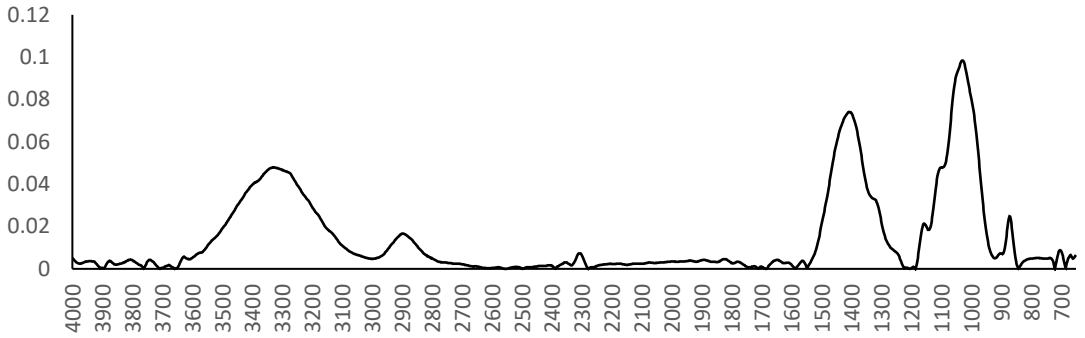




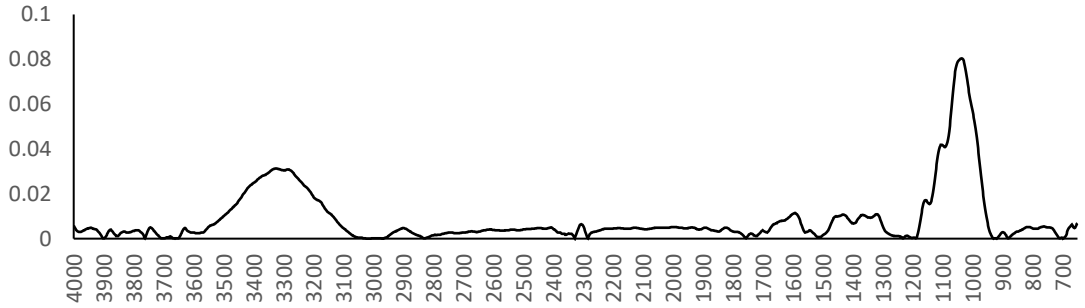
ตัวอย่าง S5



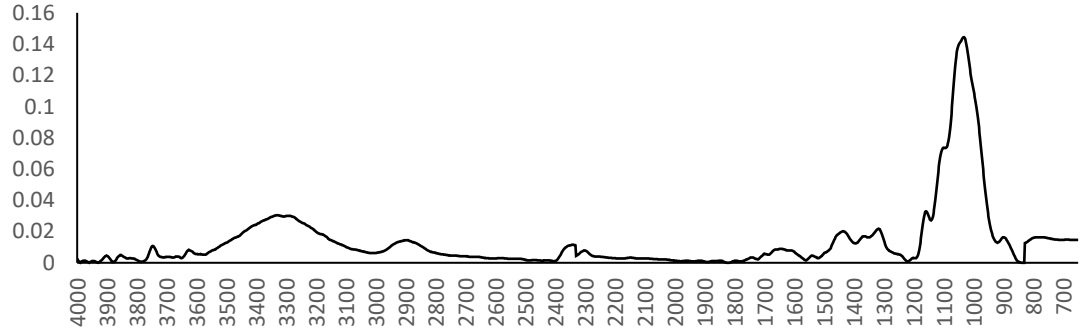
ตัวอย่าง S6



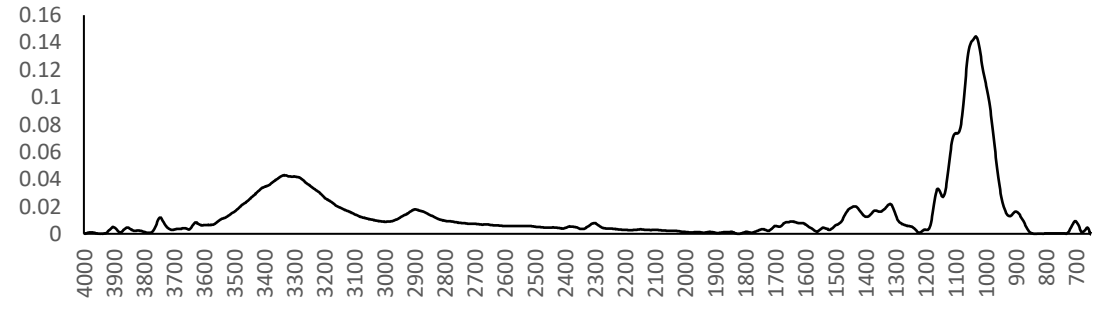
ตัวอย่าง S7



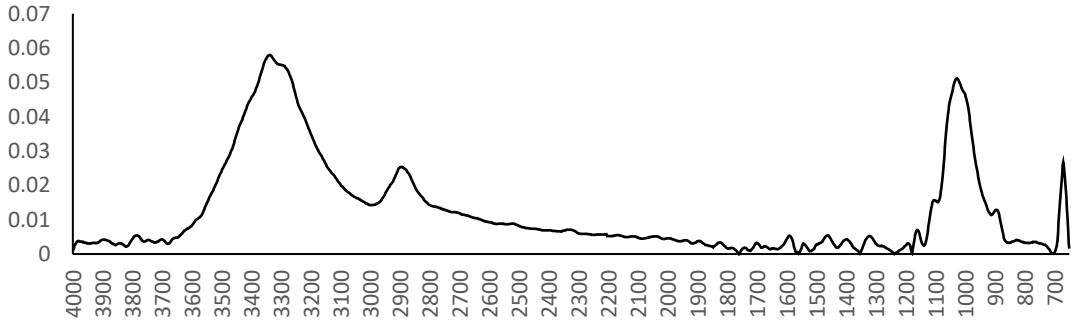
ตัวอย่าง S8



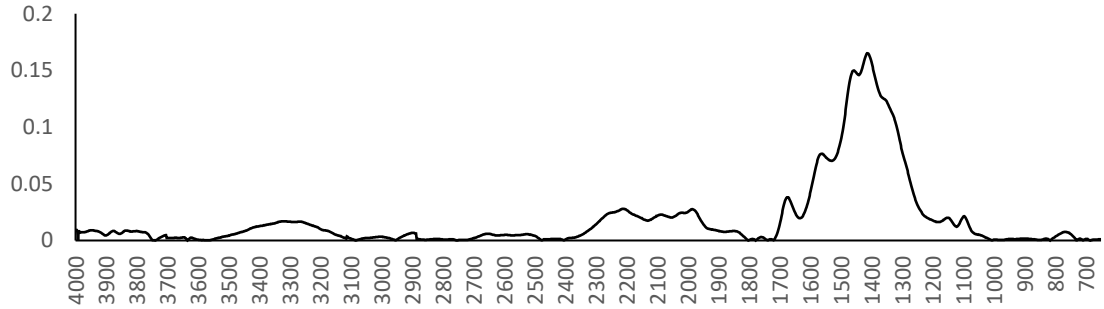
ตัวอย่าง S9



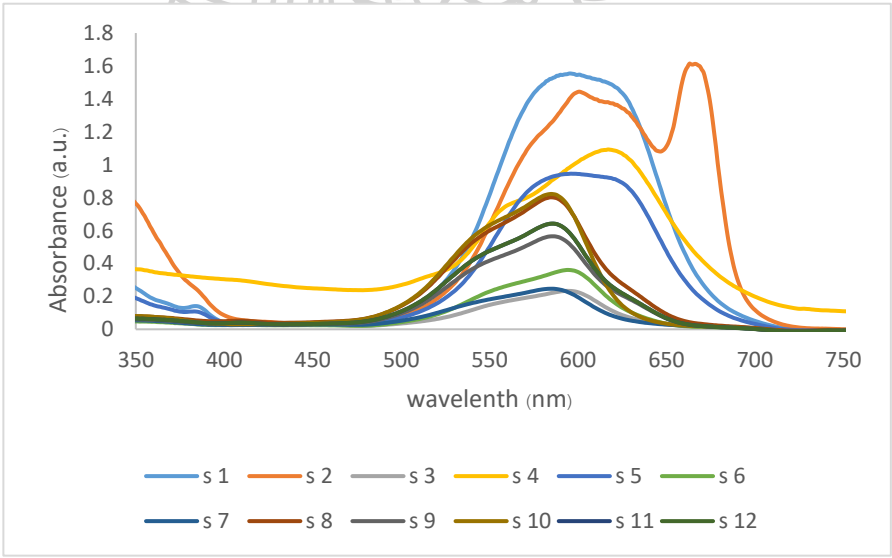
ตัวอย่าง S10



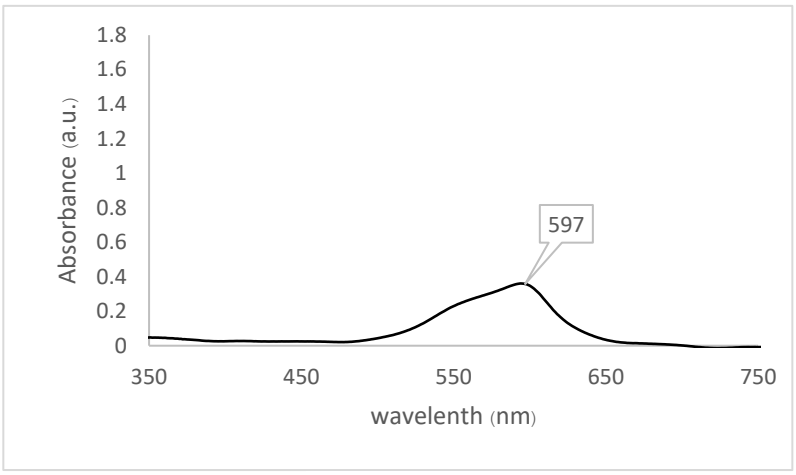
ตัวอย่าง S11



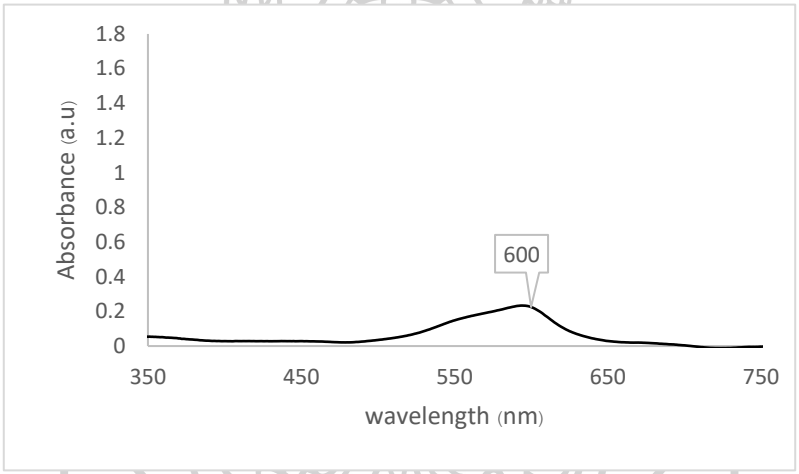
ตัวอย่าง S12



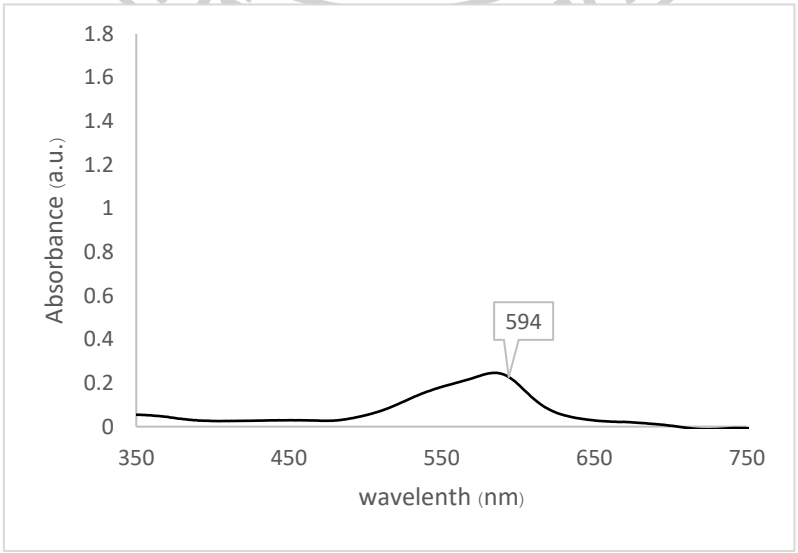
UV-vis สเปกตรัมของหมึกปากกาสีน้ำเงินทั้ง 12 ตัวอย่าง



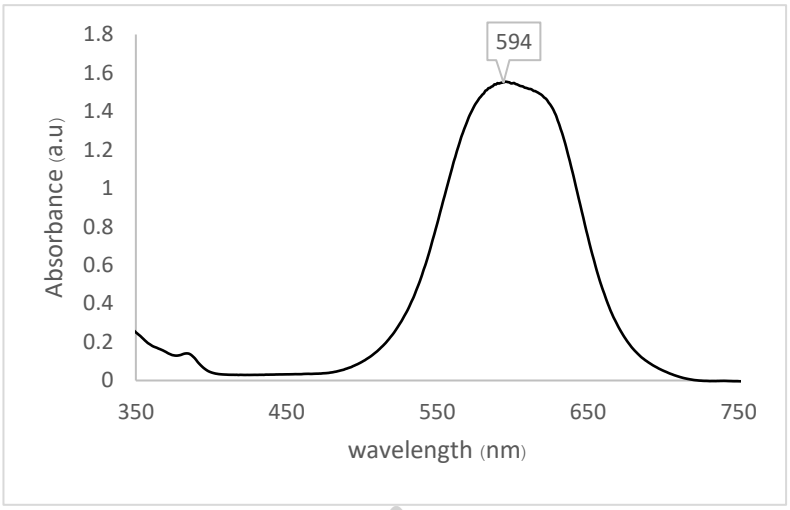
ตัวอย่าง S1



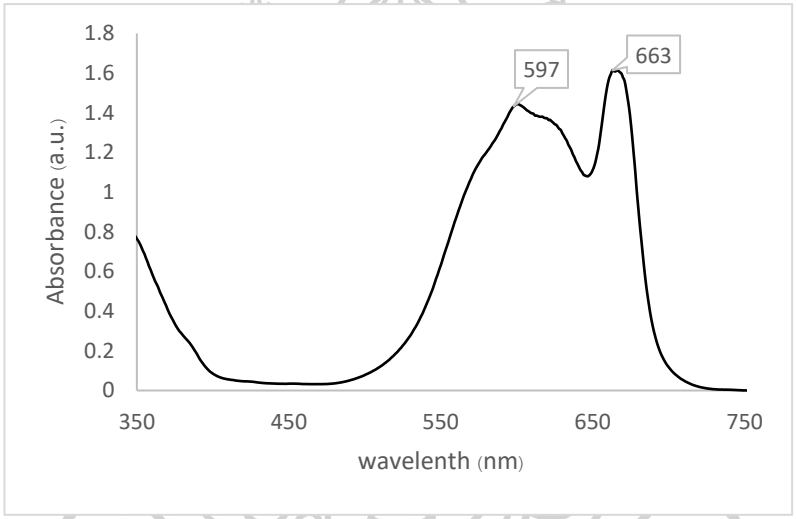
ตัวอย่าง S2



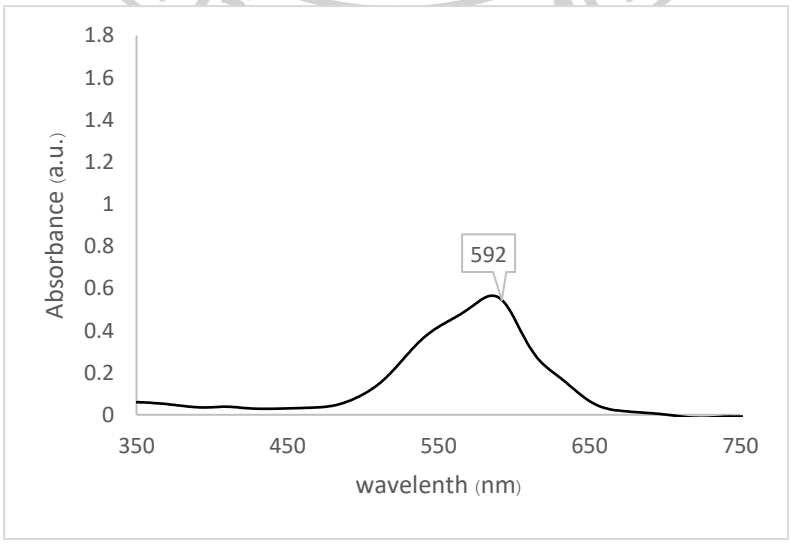
ตัวอย่าง S3



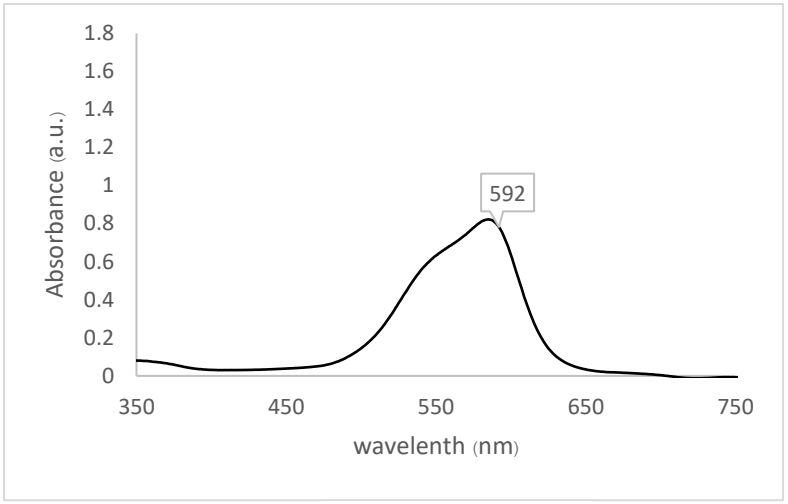
ตัวอย่าง S4



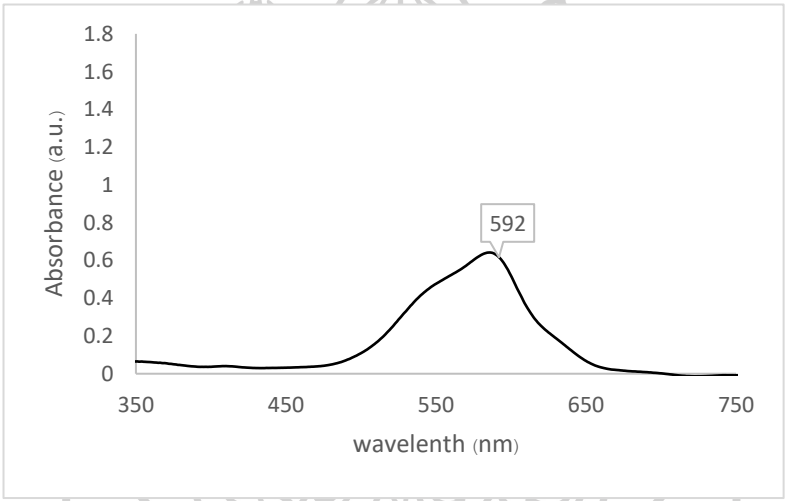
ตัวอย่าง S5



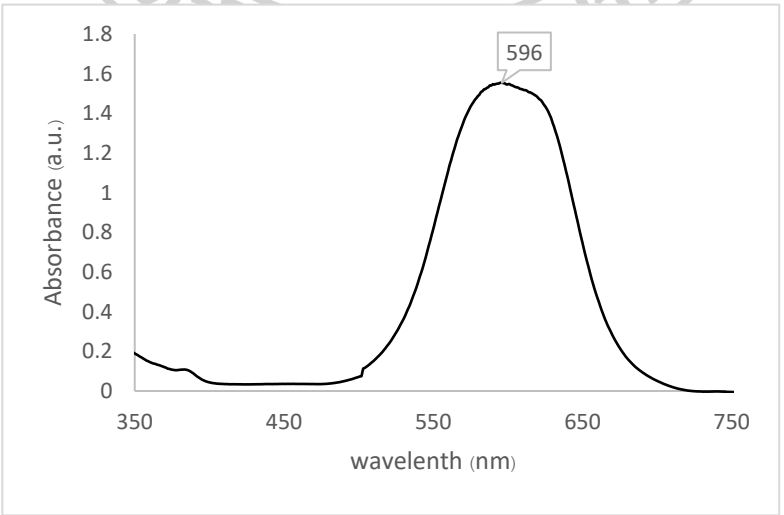
ตัวอย่าง S6



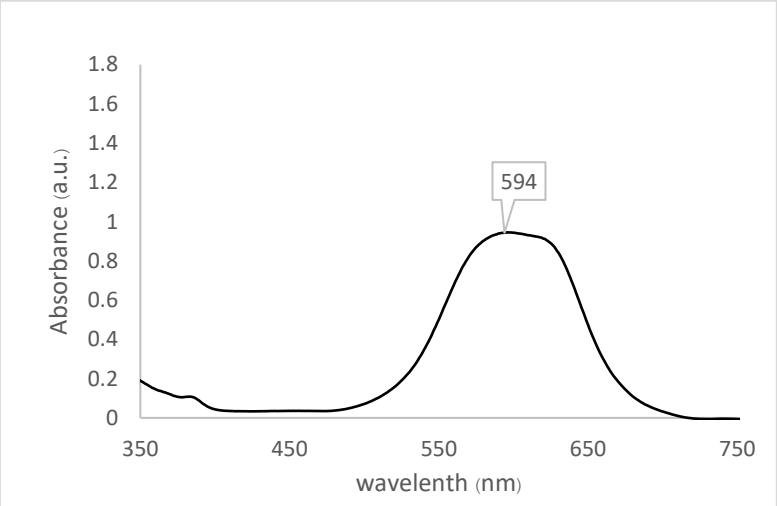
ตัวอย่าง S7



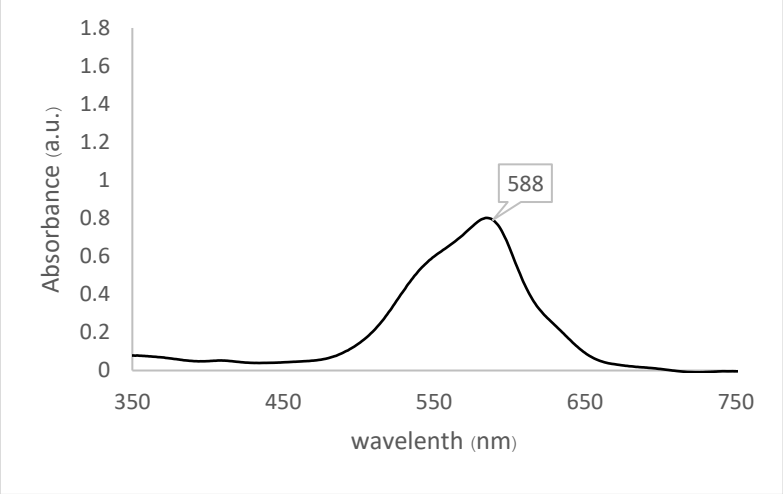
ตัวอย่าง S8



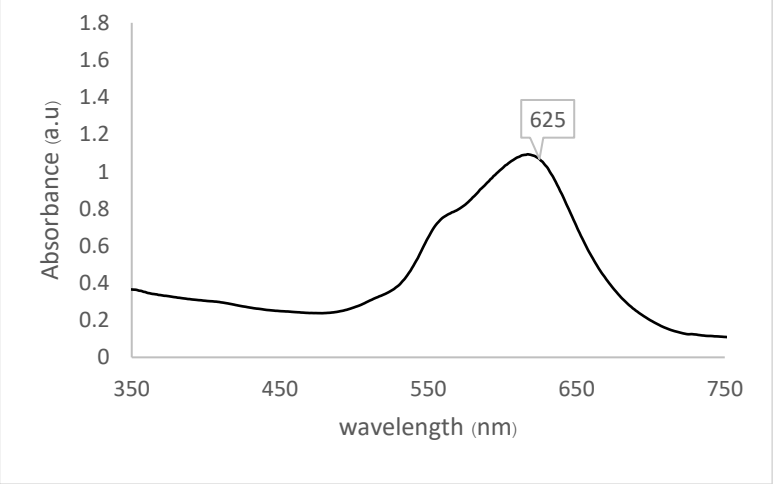
ตัวอย่าง S9



ตัวอย่าง S10



ตัวอย่าง S11



ตัวอย่าง S12

ตัวอย่าง	ภาพปากกา
S1 ปากกาลูกลื่น Quantum skate	
S2 Camry shine 525	
S3.ปากกาลูกลื่น Geluoial	

S4 ปากกาเคมี House	
S5 ปากกาเคมี pentel	
S6 ปากกาเจล Pentel energel	

S7 ปากกาเจล Deli gel pen	
S8 ปากกาเจล Lotus	
S9 ปากกาเปอร์มาเน้นท์ Monami XF	

S10.ปากกาเปอร์มาเน้นท์ Faber Castel 1523	
S11 ปากกาเมจิ Hourse Signing pen	
S12 ปากกาสีน้ำ hourse	

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จิตรานุช สุรกุล
วัน เดือน ปี เกิด	17 มีนาคม 2541
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสมเด็จพระราชเทวี ณ ศรีราชา
ที่อยู่ปัจจุบัน	30/11 ม.3 ต.เสม็ด อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000