

ศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิคThin Layer Chromatography และ
เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี
สำหรับงานทางนิติวิทยาศาสตร์

Characterization of Black Fountain Pen Ink by Thin Layer Chromatography
and UV-Vis Spectroscopy for Forensic Science Application

สุกัญญา รามรัก
Sukanya Ramrak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Forensic Science

Prince of Songkla University

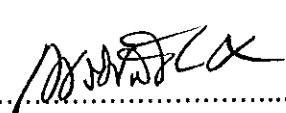
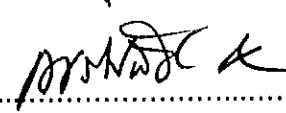

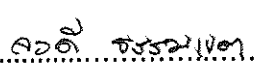
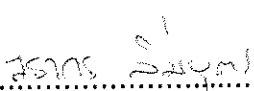
2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

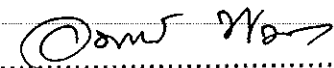
เลขหมู่	Qc459	ก72	2554	ค.2
Bib Key	352973			
	/ 22 พ.ย. 2554 /			

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ ศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี
และเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี สำหรับงานทางนิติ
วิทยาศาสตร์
ผู้เขียน นางสาวสุกัญญา รามรัก
สาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คณะกรรมการสอบ
.......... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา) (พล.ต.ต.สุเมธ พงษ์ลิมานนท์)
.......... กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา)
.......... กรรมการ
(ดร.จงดี ธรรมเขต) ..... กรรมการ
.......... กรรมการ
(ดร.วรากร ลิ้มบุตร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
นิติวิทยาศาสตร์

..........
(ศาสตราจารย์ ดร.อมวรรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี และเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี สำหรับงานทางนิติวิทยาศาสตร์
ผู้เขียน	นางสาวสุกัญญา รามรัก
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะเฉพาะของหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิกัน ไพลอต และเซฟเฟอร์ โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมพบว่าเฟสอยู่กับที่ และเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี คือ silica gel 60 ชนิด normal phase (แบบมีขั้ว) และตัวทำละลายผสมทั้งหมด 4 ชนิด คือ บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร ตามลำดับ ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหมึกซึมสีดำจากเอกสารตัวอย่าง ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน และทำการสกัดด้วยเทคนิคโซนิเคชัน (sonication) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และค่า R_f ของหมึกซึมสีดำระหว่างหมึกซึมสีดำมาตรฐาน และหมึกซึมสีดำที่สกัดจากเอกสารตัวอย่าง พบว่าสามารถใช้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง และค่า R_f ของหมึกซึมสีดำนี้ในการบ่งชี้เชิงคุณภาพได้ว่าหมึกซึมสีดำที่ใช้ในการเขียนเอกสารนั้นเขียนขึ้นมาจากหมึกซึมของบริษัทเดียวกันหรือไม่ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมึกซึม โดยใช้กระดาษ 8 ชนิด คือ กระดาษใบถนนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย ธนาคารกรุงไทย ธนาคารไทยพาณิชย์ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU และเขียนลายมือชื่อลงบนกระดาษต่างๆ แล้วเก็บไว้ในแฟ้มเอกสาร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน พบว่าเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี สามารถตรวจวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และค่า R_f ของหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท ในระยะเวลาที่ทำการศึกษาได้ในกระดาษทั้ง 8 ชนิด แต่ไม่สามารถใช้ปรัระยะเวลาที่ใช้ในการเขียนเอกสารได้

เพื่อเป็นการยืนยันว่ารูปร่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมึกซึมสีดำทั้ง 5 บริษัท มีความคงที่ จึงได้ศึกษาโดยการใช้หมึกที่ผลิตในเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าความสูงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ได้จากหมึกซึมทั้ง 3 ชนิด ของแต่ละบริษัทจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน แต่รูปร่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมึกซึมแต่ละบริษัทไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้เราสามารถนำความแตกต่างของรูปแบบหมึกซึมของแต่ละบริษัทข้างต้นนี้ไปใช้ประโยชน์ในการระบุได้ว่าเอกสารฉบับนั้นๆ เขียนขึ้นมาจากหมึกซึมของบริษัทเดียวกันหรือไม่

ในการศึกษาเอกสารตัวอย่างจริง 3 ตัวอย่าง พบว่าสามารถตรวจวัดรูปแบบหมึกซึม และยืนยันผลได้ทุกตัวอย่าง โดยหมึกซึมสีดำที่ตรวจวัดได้จากเอกสารตัวอย่างจริงทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ หมึกซึมสีดำที่ผลิตจากบริษัทพาร์คเกอร์ ฟीलิกัน และไฟลวด ตามลำดับ ดังนั้นเทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแยกรูปแบบของหมึกซึมสีดำ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย รวดเร็ว และสามารถใช้ในการพิสูจน์ชนิดของหมึกซึมสีดำในเอกสารได้อย่างถูกต้อง เพื่อประโยชน์ในงานทางด้าน การตรวจพิสูจน์เอกสาร

Thesis Title	Characterization of Black Fountain Pen Ink by Thin Layer Chromatography and UV-Vis Spectroscopy for Forensic Science Application
Author	Miss Sukanya Ramrak
Major Program	Forensic Science
Academic Year	2010

Abstract

The characteristics of black fountain pen ink from 5 manufacturers *i.e.* Lamy, Parker, Pelikan, Pilot and Sheaffer were investigated by UV-Vis spectroscopy and Thin Layer Chromatography (TLC). After optimization, silica gel 60 was chosen as the stationary phase, and the mobile phase was the mixture of butanol, ethanol, acetic acid and DI water at the ratio of 14: 4: 4: 8 by volume. The suitable technique for extracting the ink from paper was sonication for 15 minutes using DI water as solvent. The unique patterns of UV-Vis spectra and R_f values were obtained and they can be used to identify the brand of each black fountain pen ink. To study the effect of the writing time, the duration time the ink present on paper, all five inks were hand-written on the Bank deposit/withdrawal papers from Bank of Ayudhya, Bangkok Bank, Kasikorn Bank, Krung Thai Bank Public Company Limited, Siam Commercial Bank and on the A4 papers from Double A, Quality, and SHIS-TZU. It was found that the writing time (1 hour, 1 day, 1 week, 1 month, 2 month, 3 month) had no effect on either the pattern of UV-Vis spectra the chromatograms of TLC. However, both UV-Vis spectrophotometry and TLC cannot be used to indicate the writing time on the paper since there was no relationship between the absorbance or the chromatograms and the writing time.

To investigate the consistency of the spectra, the inks with different manufacturing dates were studied. Three bottles of each brand were used in this investigation and the results showed that there was no significant difference between different bottles of ink for all brand. Therefore, the unique pattern of UV-Vis spectrum of each ink can be used to identify the brand or the manufacturer.

To validate the method, 3 documentary evidences with black fountain pen ink written on were used as real samples. The ink on the real samples was extracted and investigated under the optimum conditions. From the results, it was indicated that the first, second and third samples were written with, Parker, Pelikan and Pilot, respectively and the results were in perfect agreement with the owner of these evidences. From the studies, it can be concluded that the method is simple, fast and can be used to identify the manufacturer of the black fountain pen ink for forensic investigation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน และจากหลายหน่วยงาน ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เปรตพิชญ์ คณาธารณา อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และ ดร. จงดี ธรรมเขต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจทานแก้ไข วิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ พล.ต.ต. สุเมธ พงษ์ลิมานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. วรากร ลีมบุตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. ชิตนนท์ บุรณชัย ดร. นรารักษ์ หลีสกุล และ ดร. จิตติมา รุจิราลัย ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการทำ วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์เขมิกา สุขเกษม ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ คำปรึกษาในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้มาจนถึง ปัจจุบัน

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการ วิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนผู้ช่วยสอน

ขอขอบพระคุณ สถานวิจัยการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยและไบโอเซนเซอร์ (Trace Analysis and Biosensor Research Center; TAB-RC) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ในการทำงานวิจัย รวมถึงวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี และหลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลืองานด้านเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือใน ด้านต่างๆ มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อจำเนียร คุณแม่ฝาตีมีะ รามรัก และ ครอบครัว สำหรับกำลังใจที่ดี และให้การสนับสนุนการศึกษา รวมทั้งให้คำปรึกษาในทุกๆ เรื่อง ด้วยดีเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สุกัญญา รามรัก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการตารางภาคผนวก	(13)
รายการรูป	(26)
รายการรูปภาคผนวก	(29)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(31)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	19
1.3 วัตถุประสงค์	29
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	30
2.1 สารเคมี	30
2.2 เครื่องมือวิเคราะห์	30
2.3 อุปกรณ์	31
2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	32
2.5 การเตรียมสารละลายที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง	32
2.6 วิธีดำเนินการ	33
บทที่ 3 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	43
3.1 ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำมาตรฐาน	43
3.2 ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง	52
3.3 เสถียรภาพขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์	58
3.4 ผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำ	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ศึกษาความสม่ำเสมอ/คงที่ (consistency)	77
3.6 ศึกษาตัวอย่างจริง	80
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	90
4.1 บทสรุป	90
4.2 ข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม	93
ภาคผนวก	97
ก ผลของระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเอกสารที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึม โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	99
ข การวิเคราะห์สถิติ (One Way ANOVA)	117
ค ลักษณะกราฟแท่งของหมึกซึมสีดำ 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์	148
ง ค่า R_f ของหมึกซึมสีดำทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์	166
จ เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	180
ประวัติผู้เขียน	185

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	องค์ประกอบโดยทั่วไปและสารเคมีที่เติมลงในหมึก	20
1.2	ตัวทำละลายที่ใช้ในการวัดอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกตรัมและช่วงความยาวคลื่นต่ำสุดที่จับวัดได้	23
1.3	สภาพผิวของตัวทำละลาย	25
1.4	การผสมกันได้ของตัวทำละลาย	26
1.5	ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี	27
2.1	อัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการศึกษา	35
2.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย	37
2.3	อัตราส่วนของปริมาตรตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ที่ใช้ในการศึกษา	39
3.1	พีดหลักที่มีอยู่ในหมึกซึมบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์	46
3.2	ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ (ทำซ้ำ 50 ครั้ง)	51
3.3	สีของสารละลายที่ได้จากการสกัดหมึกซึมของบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ออกจากกระดาษ โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัด	56
3.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	64
3.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	64
3.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	65
3.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	65

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	65
3.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	66
3.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	66
3.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	66
3.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	67
3.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	67
3.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	67
3.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	68
3.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	68

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	68
3.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	69
3.19 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซีมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ	75
3.20 เปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซีมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซีม ตัวอย่างจริง	81
3.21 เปรียบเทียบค่า R_f ทุกจุดของหมึกซีมมาตรฐานบริษัทปาร์คเกอร์ กับจุดหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว	83
3.22 เปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซีมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซีม ตัวอย่างจริง	84
3.23 เปรียบเทียบค่า R_f ทุกจุดของหมึกซีมมาตรฐานบริษัทฟิลิแกน และเซฟเฟอร์ กับจุดหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว	86
3.24 เปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซีมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซีม ตัวอย่างจริง	87
3.10 เปรียบเทียบค่า R_f ทุกจุดของหมึกซีมมาตรฐานบริษัทปาร์คเกอร์ และไพลอต กับจุดหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4	89

รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่	หน้า
ข-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	117
ข-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	117
ข-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	118
ข-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	118
ข-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	118
ข-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	119
ข-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	119
ข-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	119
ข-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	120

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข-10	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	120
ข-11	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	120
ข-12	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	121
ข-13	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	121
ข-14	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	121
ข-15	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	122
ข-16	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัททلامي ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	122
ข-17	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัททلامي ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	122
ข-18	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัททلامي ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	123

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	123
ข-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	123
ข-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	123
ข-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	124
ข-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	124
ข-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	124
ข-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	125
ข-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	125
ข-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	125

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	126
ข-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารอ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	126
ข-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	126
ข-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัททلامي ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	127
ข-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัททلامي ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	127
ข-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัททلامي ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	127
ข-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	128
ข-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	128
ข-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	128

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	129
ข-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	129
ข-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	129
ข-40 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไพลอด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	129
ข-41 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไพลอด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	130
ข-42 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทไพลอด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	130
ข-43 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	130
ข-44 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	131
ข-45 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	131

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-46 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	131
ข-47 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	132
ข-48 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	132
ข-49 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	132
ข-50 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	132
ข-51 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	133
ข-52 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	133
ข-53 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	133
ข-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมส์ดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	133

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-55 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	134
ข-56 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	134
ข-57 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	134
ข-58 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	134
ข-59 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	135
ข-60 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	135
ข-61 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	135
ข-62 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	135
ข-63 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	136

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-64 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	136
ข-65 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	136
ข-66 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	136
ข-67 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	137
ข-68 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	137
ข-69 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	137
ข-70 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	138
ข-71 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	138
ข-72 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	138

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-73 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	138
ข-74 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	139
ข-75 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	139
ข-76 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทหลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	139
ข-77 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทหลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	140
ข-78 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทหลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	140
ข-79 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	140
ข-80 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	140
ข-81 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	141

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-82 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	141
ข-83 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	141
ข-84 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	141
ข-85 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	142
ข-86 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	142
ข-87 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	142
ข-88 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	142
ข-89 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	143
ข-90 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	143

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข-91	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	143
ข-92	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	143
ข-93	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	144
ข-94	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาว คลื่น 317 นาโนเมตร	144
ข-95	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาว คลื่น 415 นาโนเมตร	144
ข-96	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาว คลื่น 567 นาโนเมตร	144
ข-97	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาว คลื่น 317 นาโนเมตร	145
ข-98	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาว คลื่น 415 นาโนเมตร	145
ข-99	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาว คลื่น 567 นาโนเมตร	145

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-100 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	146
ข-101 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	146
ข-102 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทไฟลोट ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	146
ข-103 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร	146
ข-104 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร	147
ข-105 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำ บริษัทเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร	147
ง-1 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไฟลोट และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	166
ง-2 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไฟลोट และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	168

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-3	ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของ ธนาคารกสิกรไทย ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	170
ง-4	ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของ ธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	172
ง-5	ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	174
ง-6	ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	176
ง-7	ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิกแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน	178

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การตรวจเช็คเดินทางในคดีฆาตกรรม น.ส. ดอริท ฟอน ฮาเฟน	14
1.2	เปรียบเทียบลายเซ็นชื่อของ น.ส.ดอริท ฟอน ฮาเฟน แสดงว่าเป็นลายเซ็นชื่อของบุคคลคนเดียวกัน	15
1.3	แสดงการตรวจลายมือชื่อของโจ มีลลิ่ง	16
1.4	เปรียบเทียบการเซ็นที่เป็นปัญหาเกี่ยวกับตัวอย่างลายมือของนายฟิลิซรัฐ จันทวัฒน์ เมื่อตรวจพิสูจน์แล้วปรากฏว่าเป็นลายมือที่เขียนขึ้นโดยบุคคลคนเดียวกัน	18
1.5	เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่สูง (ultrasonic cleaner) รุ่น AS7240AT	28
3.1	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำมาตรฐานของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) (ทำซ้ำ 100 ครั้ง)	43
3.2	กราฟแห่งแสดงรูปแบบของหมึกซึมสีดำมาตรฐานของบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ (ทำซ้ำ 100 ครั้ง)	47
3.3	รูปแบบของหมึกซึมมาตรฐานของบริษัทฟิลิแกน (1) ไพลอต (2) และปาร์คเกอร์ (3)	48
3.4	รูปแบบของหมึกซึมมาตรฐานของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) (ทำซ้ำ 50 ครั้ง)	50
3.5	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) เมื่อใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัด (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	53
3.6	ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดหมึกซึมสีดำของทั้ง 5 บริษัท จากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัดด้วยเทคนิคโซนิเคชัน	58

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่เวลาต่างๆ	58
3.8	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	61
3.9	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	70
3.10	ลักษณะของจุดของหมึกซึมที่สกัดได้จากกระดาษทั้ง 8 ชนิด โดยที่ A คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา B คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ K คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย T คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย S คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ D คือ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A H คือ กระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU และ Q คือ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	73
3.11	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)	77
3.12	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว (ทำซ้ำ 5 ครั้ง)	81
3.13	ลักษณะของจุดของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	82

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.14	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมตัวอย่างที่เขียนบนกระดาษสีเขียว (ทำซ้ำ 5 ครั้ง)	84
3.15	ลักษณะของจุดของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	85
3.16	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมตัวอย่างที่เขียนบนกระดาษ A4 (ทำซ้ำ 5 ครั้ง)	87
3.17	ลักษณะของจุดของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4 (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	88

รายการรูปภาพผนวก

รูปที่		หน้า
ก-1	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	99
ก-2	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	102
ก-3	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	104
ก-4	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	107
ก-5	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	109
ก-6	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	112
ก-7	รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีม สีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	114

รายการรูปภาพผนวก (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค-1	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	148
ค-2	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	151
ค-3	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารสิริกไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	153
ค-4	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	156
ค-5	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	158
ค-6	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	161
ค-7	กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเอ็มสี่ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)	163

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

GC/MS	เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี
XRF	เทคนิคเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรี
TLC	เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี
KHz	กิโลเฮิร์ตซ์
R _f (retardation factor)	อัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับ
λ	ความยาวคลื่นที่สารสามารถดูดกลืนแสงได้
ms	หนึ่งในพันของหนึ่งวินาที
cm	เซนติเมตร
nm	นาโนเมตร
cut-off	ค่าความยาวคลื่นที่ต่ำที่สุดที่จะใช้ได้
SiO ₂ .XH ₂ O	ซิลิกาเจล
Al ₂ O ₃	อลูมินา
conc.CH ₃ COOH	กรดอะซิติก
Butan-1-ol	บิวทานอล
MeOH	เมทานอล
EtOH	เอทานอล
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
DI water	น้ำปราศจากไอออน
n-butanol	นอร์มอล-บิวทานอล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

เอกสารมีความสำคัญกับชีวิตมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ไม่ว่าจะในด้านการค้า กฎหมาย ธุรกิจและสังคม ด้วยเหตุนี้งานด้านการตรวจพิสูจน์เอกสารจึงมีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการสืบสวนสอบสวนอย่างกว้างขวาง การตรวจลายมือชื่อ ลายมือเขียน ตัวอักษร พิมพ์ดีด และการตรวจหาการปลอมแปลงเอกสาร เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเอกสารในแง่ของแหล่งที่มาของเอกสาร ผู้เขียนเอกสารหรือสภาพเดิมของเอกสารนั้นๆ ซึ่งจะนำไปสู่การคลี่คลายคดีได้ในที่สุด

ตามประมวลกฎหมายอาญาของไทย ได้ระบุความหมายของคำว่า “เอกสาร” ไว้ดังนี้ “เอกสาร หมายความว่า กระดาษหรือวัตถุอื่นใดซึ่งได้ทำให้ปรากฏความหมายด้วยตัวอักษร ตัวเลข ผัง หรือแผนแบบอย่างอื่น จะเป็นโดยวิธีพิมพ์ ถ่ายภาพ หรือวิธีอื่นอันเป็นหลักฐานแห่งความหมายนั้น” (นัยนา เกิดวิชัย, 2541)

การปลอมแปลงเอกสารนั้นสามารถทำได้โดยการแก้ไข ดัดแปลง หรือเพิ่มเติมส่วนหนึ่งส่วนใดบนเอกสาร (Chen *et al.*, 2002) เช่น การปลอมแปลงเอกสารเกี่ยวกับตัวอักษรพิมพ์ดีด คือ

1. การต่อเติมข้อความเดิมให้ยาวขึ้น หรืออาจต่อเติมสระ พยัญชนะบางตัว ซึ่งจะทำให้ข้อความเดิมผิดไป เช่น “คนนั้นทำผิด” เปลี่ยนเป็น “คนนั้นทำผิด” จากคำว่า “คน” เป็น “คน” ความหมายก็เปลี่ยนไป เป็นต้น

2. การลบออกจากข้อความเดิม หรือลบเฉพาะบางคำออก จะทำให้ความหมายเดิมเปลี่ยนแปลงได้ เช่น “นายพันซ์ฆ่าคนตาย” เปลี่ยนเป็น “นายพนซ์ฆ่าคนตาย” ทำให้ความหมายเปลี่ยนไปเป็นคนละคน โดยทั่วไปแล้วจะทำการตรวจร่องรอยการลบนั้นว่าข้อความเดิมอ่านว่าอย่างไร

3. การปลอมแปลงโดยวิธีพิมพ์ซ้ำข้อความบางตัวจากข้อความเดิม หรืออาจเป็นการลบออกแล้วพิมพ์ซ้ำลงในข้อความนั้น เช่น ข้อความที่มีพยัญชนะ “น” พิมพ์ซ้ำเป็น “ณ” จะทำให้คำนั้นเปลี่ยนแปลงไป หรืออาจจะลบข้อความดังนี้ออก “นาย ก. รับเงิน นาย ข.” โดยลบคำว่า “รับ” ออกแล้วพิมพ์คำว่า “ให้” ลงแทน จะได้ว่า “นาย ก. ให้เงิน นาย ข.”

1.1.1 หลักการตรวจพิสูจน์งานทางด้านเอกสาร แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. **Classification** เป็นหลักการจำแนกว่าน่าจะตรวจเอกสารไหนก่อนหลัง และเอกสารไหนควรใช้ตรวจกับเอกสารไหน ซึ่งหลักการนี้จะต้องอาศัยความรู้และความชำนาญอย่างลึกซึ้ง

2. **Identification** เป็นการตรวจพิสูจน์ในเชิงตรวจเปรียบเทียบระหว่างเอกสาร ตัวอย่างกับเอกสารปัญหา หรือเอกสารพิพาท ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการตรวจพิสูจน์ปัญหาทางด้านอาชญากรรมทางเอกสาร (พงษ์ลิมานนท์, 2523) โดยเอกสารตัวอย่างกับเอกสารปัญหา หรือเอกสารพิพาทนั้นมีความหมายดังนี้

เอกสารตัวอย่าง

ในการตรวจพิสูจน์เอกสารนั้น สามารถตรวจพิสูจน์จากเอกสารปัญหาได้โดยตรง แต่บางครั้งจะต้องมีการตรวจเปรียบเทียบเอกสารปัญหา กับเอกสารตัวอย่างที่ทราบแหล่งที่มา ด้วย ซึ่งเอกสารตัวอย่างจะต้องมีการคัดเลือกและจัดเตรียมอย่างเหมาะสม คือ ต้องกระชับ และเป็นตัวแทนของเอกสารที่แท้จริงได้ ทั้งลักษณะ วัสดุ และแหล่งที่มา เป็นต้น

เอกสารปัญหา

เอกสารปัญหา หรือเอกสารพิพาท หมายถึง เอกสารที่ถูกสงสัยว่าจะมีการปลอมแปลง หรือเอกสารที่ความเป็นมายังมีข้อโต้แย้งกันอยู่

เอกสารปัญหาก็เช่นเดียวกับเอกสารทั่วไป คือ อาจทำมาจากวัสดุ เครื่องมือหรือเครื่องเขียนต่าง ๆ ซึ่งบางครั้งวัสดุที่ประกอบกันเป็นเอกสารนั้น อาจทำให้เอกสารนั้นลดความน่าเชื่อถือลง หรือนำสงสัยก็ได้ นอกจากนี้วัสดุ เครื่องมือหรือเครื่องเขียนต่าง ๆ อาจจะถูกถึงความ เป็นมา ความมุ่งหมายของเอกสาร รวมทั้งอาจบอกได้ว่าเอกสารนั้นเป็นของจริงหรือของปลอมได้

อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่เอกสารปัญหาจะเป็นเพียงเอกสารที่มีการปลอมแปลงเกิดขึ้นเท่านั้น บางครั้งเอกสารปัญหาที่ไม่มีการปลอมแปลงเกิดขึ้น แต่อาจต้องตรวจพิสูจน์เพื่อหาตัวผู้เขียนเอกสารนั้นก็ได้ เช่น กรณีของจดหมายชุกกรโซกทรัพย์ เราก็สามารถใช้จดหมายดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับลายเซ็นของผู้ต้องสงสัยได้ ตามหลักเกณฑ์ดังนี้ (แซมสุวรรณวงศ์, 2547)

1. กระดาษ และปากกาที่ใช้เหมือนกัน คือ จะเป็นหมึกซึม หรือลูกลื่นก็ควรจะให้เหมือนกัน
2. ระยะเวลาของลายเขียนทั้งสองควรจะใกล้เคียงกัน
3. พิจารณาการวางตัวบนเส้นบรรทัด

4. พิจารณาพยานุชนะแต่ละตัว
5. สระแต่ละตัว
6. เลขที่เขียนแต่ละตัว
7. ได้คำหนึ หรือลักษณะที่เหมือนกัน 12 – 16 ตำแหน่ง จึงพิจารณา

ความเห็นว่ใช่

การกระทำผิดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเอกสารนั้นมีหลายคดีด้วยกัน เช่น คดีเกี่ยวกับการคินภาษี ภาษีกรรม การประกันภัย หนังสือสัญญาการกู้ยืมเงินและเครดิต สลากกินแบ่งรัฐบาล เช็คธนาคาร หนังสือเดินทาง เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วเป็นที่ทราบกันดีว่า เอกสารประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายอย่าง เช่น กระดาษ หมีก ปากกาหรือเครื่องพิมพ์ดีด แต่น้อยคนที่จะทราบว่าวัสดุและอุปกรณ์แต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว (สุขว้จัน, 2549) ซึ่งจะช่วยในการระบุหรือยืนยันความผิดปกติของเอกสารได้ การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมของเอกสารนั้น สามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ลูมิเนสเซนซ์ ฟลูออเรสเซนซ์ และทีนเลเยอร์ โครมาโทกราฟี (Chen *et al.*, 2002) เป็นต้น

1.1.2 การตรวจเอกสาร

ในการตรวจเอกสารนั้นจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากทั้งด้านศิลปะ และวิทยาศาสตร์ โดยทางด้านศิลปะ จะพิจารณาในเรื่องของปัจจัยการเขียน ลักษณะลายมือ คุณลักษณะของการเขียน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล การประดิษฐ์ตัวอักษรพิมพ์ดีดของแต่ละบริษัท แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ ความชำรุด สึกหรือ หรือลักษณะพิเศษในกลไกของเครื่อง ซึ่งจะให้ลักษณะที่แตกต่างกัน ส่วนการใช้หลักวิทยาศาสตร์นั้น เป็นการนำประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ด้านฟิสิกส์ และเคมี มาใช้เพื่อตรวจสอบข้อเท็จจริงบางประการของเอกสารนั้น เช่น การตรวจหาชนิด อายุของหมีก ตรวจรอยชูดลบ แก้วไข รอยกด เอกสารไฟไหม้ เป็นต้น

1.1.2.1 การตรวจเอกสารด้านศิลปะ

การตรวจเอกสารด้านศิลปะ เป็นการอาศัยหลักวิชาการศิลปะต่างๆ เช่น การสังเกตจากอุปนิสัย ความเคยชินในการเขียนของบุคคลหนึ่งๆ ซึ่งจะต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจพิสูจน์ รวมไปถึงอาศัยอารมณ์ทางศิลปะร่วมด้วยในการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจถึงลายมือเขียน ลายมือชื่อหรือลายเซ็น และอักษรพิมพ์ดีด ดังนี้

1.1.2.1.1 ลายมือเขียน (handwriting)

การตรวจทางด้านศิลปะในลายมือเขียน จำเป็นต้องพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้ คือ

- ปัจจัยการเขียน

ปัจจัยที่สำคัญในเรื่องนี้ คือ

- เครื่องเขียน โดยการเขียนด้วยเครื่องเขียนต่างชนิดกันอาจทำให้ลายมือต่างกันได้ เช่น

- ดินสอดำ การเขียนด้วยดินสอดำ แม้จะลบออกได้ แต่ลายเส้นที่เกิดจากตะกั่วดำ ซึ่งเป็นไส้ดินสอ นั้นไม่สามารถละลายน้ำได้

- ปากกาถูกลิ้น การเขียนด้วยปากกาถูกลิ้นจะเกิดเป็นร่อง ซึ่งเกิดจากการกดของปากกา หมึกจะเดินไม่สม่ำเสมอ ขาดเป็นช่วง ๆ หรือเห็นเป็นจุด ๆ ลายเส้นจากปากกาถูกลิ้นไม่สามารถละลายน้ำได้

- ปากกาหมึกซึม การเขียนด้วยปากกาหมึกซึมนั้นเส้นจะเรียบ และสม่ำเสมอ เมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจะพบว่าขอบของลายเส้นมีหมึกไหลซึมกระจายเล็กน้อย ซึ่งลายเส้นของปากกาหมึกซึมนี้อาจมีทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้ และชนิดที่ไม่ละลายน้ำ

- ปากกาไส้สักหลาด การเขียนด้วยปากกาชนิดนี้จะให้ลายเส้นที่ใหญ่ หมึกจะซึมเข้าสู่เนื้อกระดาษได้ดีกว่าปากกาหมึกซึม และสามารถละลายน้ำได้

- ลักษณะท่าทางในการเขียน การเขียนในท่าทางที่ต่างกัน อาจทำให้ลายมือต่างกันได้ เช่น การนั่งเขียนบนโต๊ะ บนรถ หรือการนอนเขียน เป็นต้น

- สภาพาร่างกายและจิตใจ ผู้ที่มีร่างกายและจิตใจปรกติ อาจมีลายมือที่ต่างกันได้ เมื่ออยู่ในสภาวะเครียด หรือเจ็บป่วย นอกจากนี้เมื่ออายุเพิ่มขึ้น ลายมือของบุคคลเดียวกันก็อาจแตกต่างกันได้

- ลักษณะลายมือ

สิ่งสำคัญในการพิจารณาลักษณะลายมือ มีดังนี้

- เพื่อดูว่าลักษณะลายมือนั้นเป็นลักษณะลายมือตามธรรมชาติหรือไม่ โดยสังเกตจากเส้นจะมีลักษณะเรียบ เขียนได้จังหวะเฉพาะโดยตลอด ตรงปลายที่เป็นจุดตั้งต้น และจุดลงท้ายของเส้นจะเรียวแหลม เป็นต้น

- เพื่อดูว่าลายมือนั้นเป็นลายมือดัดแปลงหรือไม่ โดยสังเกตจาก ตัวอักษรจะตัวโต หรือเล็กกว่าปกติ และมีลักษณะเป็นตัวบรรจงมากขึ้น การเว้นช่องไฟห่าง หรือชิดกันเกินไปกว่าที่ตนถนัด เป็นต้น

- เพื่อดูว่าลายมือนั้นเป็นลักษณะลายมือที่เขียนขึ้นด้วยความตั้งใจบางประการ เช่น การปลอมลายมือเพื่อประโยชน์บางอย่าง โดยสังเกตจากลักษณะเส้นจะไม่เรียบ จุดตั้งต้น และจุดลงท้ายจะหนาที่ปลายเส้นซ้ำทับโดยไม่มีเหตุผล เป็นต้น

- **ลักษณะพิเศษของลายมือเขียน**

โดยทั่วไปลายมือเขียนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ลายมือเขียนตัวบรรจง และลายมือเขียนหวัดหรือหวัดแกมบรรจง ในการตรวจลักษณะพิเศษของลายมือเขียน มักจะพิจารณาจากลายมือเขียนหวัด เพราะมีลักษณะพิเศษที่ผิดแผกไป และเป็นลักษณะเฉพาะของเจ้าของลายมือ ผู้อื่นจะเขียนให้เหมือนได้ยาก

- **คุณลักษณะทั่วไปของลายมือเขียน**

คือ ลักษณะของลายมือเขียนที่แสดงถึงลักษณะเฉพาะของเจ้าของลายมือนั้น

ซึ่งมีดังนี้

- ความชัดเจนในการเขียน
- ขนาดของลายมือ
- เส้นที่ลากต่อเนื่องกัน
- ระยะช่องไฟ
- ความเอนเอียงของลายมือ
- เส้นหนักเบา
- คุณสมบัติของลายเส้น
- เครื่องมือที่ใช้เขียน
- แนวของการเขียน

- **คุณลักษณะของการเขียนถาวร**

หมายถึง ลายมือที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก ประกอบด้วย คุณสมบัติของลายเส้น ความเร็วในการเขียน รูปร่าง และความเอนเอียงของตัวอักษร และระยะช่องไฟ เป็นต้น

- **ความผิดพลาดและความแตกต่าง**

ความผิดพลาดของการเขียน คือ การที่เขียนขึ้นแล้วผิดพลาดจากการเขียนถาวรบ้าง แต่ยังคงลักษณะเฉพาะของตัวเองไว้อยู่ เพราะการเขียนในทุกครั้งไม่เหมือนกันอย่างแท้จริงทุกครั้ง ถ้าเกิดความผิดพลาดของการเขียนเล็กน้อย ถือว่าไม่มีความผิดพลาด แต่ถ้าผิดพลาดไปมาก ถือว่าเป็นความผิดพลาดตามธรรมชาติ

ส่วนความแตกต่างของการเขียน คือ การเขียนที่แตกต่างไปอย่างแท้จริง และไม่ปรากฏลักษณะเฉพาะของเจ้าของลายมือนั้น (ภักดีกุล, 2534)

- การปลอมลายมือ

การปลอมลายมือมีหลายรูปแบบ เช่น การปลอมสัญญา พิษัยกรรม เช็ค ตัวแลกเงิน เป็นต้น โดยลักษณะต่างๆ ของการปลอมแปลงสามารถแบ่งได้เป็น 5 แบบ ดังนี้

- การปลอมโดยการเลียนแบบ การปลอมด้วยวิธีนี้มีลักษณะที่แตกต่างกันเห็นได้ชัดจากลักษณะทั่วไป เช่น รูปร่างลักษณะตัวอักษร ช่องไฟ เป็นต้น จะแตกต่างจากลายมือจริง

- การปลอมโดยการลากทาบแบบ เป็นการปลอมโดยใช้ลายมือจริงเป็นแม่แบบ แล้วลากเส้นตามแบบ ซึ่งจะมีความแตกต่างจากลายมือจริงในความเร็วของการเขียน รอยหยุดปากกา เป็นต้น

- การปลอมโดยเขียนขึ้นเอง เป็นการปลอมโดยการเขียนขึ้นเองอย่างอิสระ ซึ่งไม่คำนึงว่าจะเหมือนกับลายมือเจ้าของจริงๆ หรือไม่

- การปลอมโดยวิธีเขียนขึ้นหลายๆ คน

- การปลอมโดยวิธีจับมือให้เขียน (ชูเวช, 2531)

1.1.2.1.2 ลายมือชื่อ (signature)

ในการตรวจลายมือชื่อนั้นนอกจากจะใช้หลักการตรวจทางศิลปะของลายมือเขียนแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้ด้วย คือ

- ความแตกต่างของลายมือชื่อของบุคคลเดียวกัน

ในการเขียนแต่ละครั้งแม้จะเป็นคนๆ เดียวกัน แต่ลายมืออาจไม่เหมือนกันได้ จึงมีความผิดเพี้ยนตามธรรมชาติอยู่เสมอ ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะ ดังนี้

- ขนาดลายมือชื่อ

- ความเร็วในการวาดตัวอักษร

- ความเอนเอียงของตัวอักษร

- ความหนักเบาของการกดปากกา

- บุคคลนั้นมีความสามารถในการเขียนตัวหนังสือได้หลายรูปแบบ

- การปลอมเอกสารโดยใช้ลายมือที่แท้จริง

- ลายมือชื่อแท้จริงปรากฏอยู่ในกระดาษเปล่า หรือแบบฟอร์มเปล่า ผู้ที่ไม่ใช่เจ้าของลายมือได้เติมข้อความลงไป ทำให้เกิดความเสียหายแก่เจ้าของลายมือ
- ลายมือชื่อแท้จริงปรากฏอยู่ในเอกสารที่สมบูรณ์ แต่เอกสารได้ถูกทำลายบางส่วน เช่น ตัดข้อความที่ไม่ต้องการออก ลบล้างข้อความเดิมออกไปโดยผู้อื่นที่ไม่ใช่เจ้าของลายมือชื่อ เป็นต้น

- ลายมือชื่อสังเคราะห์ (synthetic signature)

เจ้าของลายมืออาจทำลายมือชื่อสังเคราะห์ขึ้น ซึ่งมีหลายแบบ คือ

- offset signature ทำโดยการถ่ายภาพ และแกะบนแผ่นโลหะ เช่น การพิมพ์ธนบัตร
- writing machine signature ทำโดยใช้แม่พิมพ์ และสามารถตรวจได้ว่าเป็นลายมือที่แท้จริงหรือไม่ เพราะลายมือจากแม่พิมพ์อันเดียวกันจะเหมือนกัน
- rubber stamp impression ทำโดยแกะลายมือชื่อลงบนตรายาง และมักมีความแตกต่างจากลายมือชื่อที่แท้จริง
- writing transmission system ใช้หลักการเช่นเดียวกับการส่งโทรพิมพ์ (ภักดีกุล, 2534)

1.1.2.1.3 อักษรพิมพ์ดีด

ในการกระทำผิดที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ดีดมีหลายรูปแบบ เช่น การพิมพ์เป็นบัตรสนเท่ห์ การโจทกรรม พิมพ์กรรมปลอม เป็นต้น เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องพิมพ์ดีดแต่ละบริษัท ได้ออกแบบรูปร่างตัวอักษร และตัวเลขแตกต่างกันไปตามรุ่น และยี่ห้อ จึงสามารถใช้ประโยชน์นี้กับการตรวจตัวอักษรพิมพ์ดีดได้ โดยขั้นตอนการตรวจพิสูจน์มีดังนี้

- ตรวจหาขนาดตัวอักษรพิมพ์ดีด

ขนาดของตัวอักษรพิมพ์ดีดมีหลายขนาด ในปัจจุบันพิมพ์ดีดที่ใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ

- แบบไพกา (Pica) มีวิธีการพิสูจน์ คือ ใช้ไม้บรรทัดวัดตัวอักษรพิมพ์ดีดตามแนวนอนไม่เว้นวรรค ถ้าใน 1 นิ้ว นับตัวพิมพ์ดีดได้ 10 ตัว แสดงว่าใช้ตัวพิมพ์ดีดแบบไพกา
- แบบอีลิท (Elite) มีวิธีการพิสูจน์ คือ ใช้ไม้บรรทัดวัดตัวอักษรพิมพ์ดีดตามแนวนอนไม่เว้นวรรค ถ้าใน 1 นิ้ว นับตัวพิมพ์ดีดได้ 11 หรือ 12 ตัว แสดงว่าใช้ตัวพิมพ์ดีดแบบอีลิท

- แบบของตัวอักษร และตัวเลข เนื่องจากต่างบริษัท ต่างยี่ห้อ จะออกแบบตัวอักษร และตัวเลขไม่เหมือนกัน สามารถใช้ในการบ่งชี้ความแตกต่างได้
- ข้อบกพร่องของที่ตั้งระยะหน้ากระดาษ เช่น การไม่ได้ตั้งระยะกระดาษเวลาพิมพ์ หรือเมื่อดึงออกแล้วใส่เข้าไปพิมพ์ใหม่เพื่อเติมข้อความ แนวเส้นระยะในแกนตั้งจะไม่คงที่
- ข้อบกพร่องอื่น ๆ ของตัวอักษรพิมพ์ดีด เช่น เกิดจากการชำรุด สึกหรือที่หน้าพิมพ์ และความสกปรกของตัวพิมพ์ดีดบางตัว เป็นต้น

1.1.2.2 การตรวจเอกสารด้านวิทยาศาสตร์

เนื่องจากคนเราอาจมีการเปลี่ยนแปลงลายมือได้ เช่น เมื่ออายุเพิ่มขึ้น เกิดจากความมึนเมา ความเจ็บป่วย เป็นต้น และยังต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความชำนาญเป็นอย่างมาก จึงทำให้ยากในการตรวจพิสูจน์ทางด้านศิลปะ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการตรวจทางด้านวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น ซึ่งการตรวจทางด้านวิทยาศาสตร์ เป็นการนำวิทยาการทางด้านฟิสิกส์ และเคมีเข้ามาช่วยในการพิสูจน์หลักฐาน เพื่อนำไปสู่การคลี่คลายคดี ซึ่งการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นทางเคมี หรือฟิสิกส์ ในการตรวจเอกสาร ก็ด้วยเหตุผลต่างๆ ดังนี้ (ภักดีกุล, 2534)

1.1.2.2.1 การตรวจชนิดของหมึก (type of ink)

เราสามารถพิสูจน์ได้ว่าหมึกที่ใช้เขียนเป็นหมึกชนิดใด จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับความแตกต่างของหมึกแต่ละชนิด โดยทั่วไปแล้วหมึกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ (ชูเวช, 2531) คือ

- หมึกน้ำ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่
 - หมึกคงทน (permanent) หมึกชนิดนี้จะมีส่วนผสมของธาตุเหล็ก ทำให้สามารถหาอายุของหมึกได้ ทนทานต่อการซักล้าง
 - หมึกสีย้อม (washable) หมึกชนิดนี้ไม่มีส่วนผสมของธาตุเหล็ก จึงไม่สามารถหาอายุของหมึกได้ ซักล้างออกได้ นิยมใช้ในโรงเรียน
 - หมึกแห้งเร็ว นิยมใช้กับปากกาเมจิก โดยใช้ชื่อว่า Super Chrome
- หมึกแห้ง (หมึกปากกาลูกลื่น) มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ
 - ตัวหล่อลื่น เช่น น้ำมัน ตัวทำละลาย แอลกอฮอล์ และยางสนธรรมชาติ เป็นต้น
 - ตัวสีย้อม อาจได้มาจากสีย้อมจากน้ำมัน แอนิลิน กรดสารละลาย แอลกอฮอล์ เป็นต้น

การตรวจหมึกโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการวิเคราะห์ทางโครมาโทกราฟี เนื่องจากสามารถแยกหมึกได้ทุกชนิด และยังสามารถแยกสีของหมึกได้อีกด้วย (ชูเวช, 2531)

1.1.2.2.2 การตรวจอายุของหมึก (age of ink)

การตรวจอายุของหมึก พิจารณาได้ 2 ด้าน (ภักดีกุล, 2534) คือ

- พิจารณาจากสภาพภายนอก ทำได้โดยการเปรียบเทียบกับหมึกตัวอย่างมาตรฐาน

- พิจารณาการแปรสภาพของหมึก โดยเมื่อหมึกสัมผัสกับออกซิเจน จะมีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่ค่อนข้างจะได้สัดส่วนกับเวลาจนถึงระดับหนึ่ง ดังนั้นการพิจารณาเกี่ยวกับการแปรสภาพของหมึก มีดังนี้

- สภาพของหมึก ปากกา และการเดินของหมึก

สภาพของหมึก อยู่ในสภาพใด ขวดหมึกตกตะกอนหรือไม่ ใช้ได้กับ กระดาษซับหรือไม่ เป็นต้น สภาพปากกา เขียนคล่องหรือไม่ เป็นปากกาชนิดใด เช่น หมึกซึม หมึกจุ่ม หมึก หรือปากกาคอแร้ง เป็นต้น นอกจากนี้การเดินของหมึกมีสิ่งกีดขวางหรือไม่

- ส่วนผสมของหมึก

ในขั้นตอนการผลิต ผู้ผลิตอาจเปลี่ยนแปลงส่วนผสมได้ตลอดเวลา ดังนั้น ต้องมีการติดต่อกับบริษัทผู้ผลิต และทำการทดสอบเองด้วย เพื่อดูความแตกต่างของหมึกนั้นๆ

- ชนิดของกระดาษ กระดาษต่างชนิดกันจะทำให้ปริมาณการซึมของหมึกบนกระดาษแตกต่างกันด้วย

- สภาพการเก็บเอกสารตัวอย่าง เมื่อที่เก็บเอกสารแตกต่างกัน เช่น เก็บในที่มืด ที่แสงแดดส่องถึง ในที่ชื้น หรือที่แห้ง เป็นต้น สภาพของเอกสารที่ปรากฏจะแตกต่างกันด้วย

1.1.2.2.3 การตรวจรอยขูดลบ แก้ไข และรอยเขียนทับ

รอยขูดลบ หมายถึง การนำผิวกระดาษ และหมึกออกจากกระดาษแผ่นนั้น มีอยู่ 2 ชนิด คือ

- การขูดลบโดยใช้เครื่องมือลบ เช่น ยางลบ ไข่มืด เป็นต้น โดยการสังเกตรอยขูดลบโดยใช้เครื่องมือลบ สามารถทำได้ (ภักดีกุล, 2534) ดังนี้

- สังเกตด้วยตาเปล่า ใช้แว่นขยาย หรือกล้องจุลทรรศน์ ว่ามีรอยขูดลบเกิดขึ้นที่ผิวกระดาษหรือไม่ เป็นต้น

- ใช้แสงผ่านทะลุ คือ ถ้ามีรอยขูดลบจะเห็นกระดาษบางกว่าบริเวณอื่น

- ส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต หรืออินฟราเรด กระดาษตรงที่มีรอยขูดลบจะเรืองแสงแตกต่างจากบริเวณที่ไม่มีรอยขูดลบ

- การขูดลบโดยใช้สารเคมีลบ เช่น น้ำยาลบหมึก ซึ่งทดสอบโดยการใช้กระดาษวัดความเป็นกรดต่าง ถ้ากระดาษมีการเปลี่ยนสี แสดงว่ามีการใช้ยาลบหมึก หรือการใช้กระดาษเคลือบไอโอดีน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำยาลบหมึกชนิดไฮโดรคลอไรด์เป็นสีน้ำเงิน

การแก้ไข หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่มีอยู่เดิม โดยการลบแต่งของที่เขียนไว้เดิมให้มีข้อความผิดไป หรือการเขียนเติมลงไปเฉยๆ ซึ่งสามารถตรวจรอยแก้ไขต่อเติมได้โดยใช้กล้อง Stereoscopic Binocular Microscope ทำให้มองเห็นการแก้ไขต่อเติมได้ง่าย ในกรณีของการเขียนเติมลงไปเฉยๆ ลักษณะของเครื่องเขียน เช่น หมึกที่ใช้ สามารถบอกถึงความแตกต่างของอักษรที่ถูกเติมลงไปได้เช่นกัน

รอยเขียนทับทาบ หมายถึง การเขียนทับไม่ให้เห็นรอยเขียนเดิม หรือเติมข้อความทับการเขียนเดิม ซึ่งวิธีการตรวจรอยเขียนทับนั้นทำได้โดยใช้กล้องอินฟราเรดส่องตรงบริเวณที่มีรอยเขียนทับทาบ หมึกที่เขียนไว้ก่อน กับหมึกที่เขียนทับจะดูดแสงอินฟราเรดได้แตกต่างกัน ทำให้หมึกที่เขียนทับนั้นหายไป ส่วนหมึกเดิมจะเห็นชัดขึ้น

1.1.2.2.4 การตรวจรอยกด

รอยกดที่เกิดจากการเขียนนั้นสามารถนำมาใช้ในการคลี่คลายคดีได้ การตรวจพิสูจน์รอยกดนั้น สามารถทำได้โดยใช้แสงเฉียง ซึ่งเราจะต้องอยู่ตรงข้ามกับแสง ดังนั้นด้านที่เรามองจะเกิดมุมสว่างขึ้น เนื่องจากแสงกระทบ ทำให้เห็นภาพตัวอักษรขึ้นได้จากการเกิดเงา

1.1.2.2.5 การตรวจเอกสารไฟไหม้

การตรวจเอกสารไฟไหม้มีประโยชน์ในการคลี่คลายคดีได้มาก เอกสารไฟไหม้ที่ยังไม่เสียหายจนเกินไป ยังมีลักษณะเป็นแผ่นอยู่ บางกรณีสามารถอ่านข้อความได้ แต่ในกรณีที่เอกสารโดนไหม้จนเป็นถ่านนั้น จะต้องเก็บเอกสารตัวอย่างอย่างระมัดระวัง เพื่อให้เอกสารอยู่ในสภาพเดิม โดยการนำกระดาษแข็งแผ่นใหญ่สอดลงไปใต้เอกสารไฟไหม้ แล้วนำไปที่ห้องทดลองเพื่อทำการตรวจพิสูจน์ต่อไป ซึ่งการตรวจพิสูจน์นั้นมีหลายวิธี เช่น ตรวจโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต หรือถ่ายรูปด้วยแสงอินฟราเรด ใช้น้ำยาเคมี คือ 5 เปอร์เซ็นต์ ของซิลเวอร์ไนเตรด แช่เอกสารไฟไหม้ไว้ น้ำยาดังกล่าว แล้ววางไว้ในที่มืด หรือแสงสลัวๆ ข้อความก็จะปรากฏขึ้นได้

1.1.2.2.6 การตรวจเอกสารประเภทที่เกิดจาก Contact Writing

ในการเขียนเอกสารต่างๆ ที่ใช้ปากกาหมึกซึม ถ้าหมึกยังไม่แห้ง หรือใช้กระดาษซับไว้จะทำให้ข้อความติดไปด้วย จะทำการตรวจพิสูจน์โดยแช่ในซิลเวอร์ไนเตรตก็จะทำให้เห็นข้อความได้

1.1.2.2.7 การตรวจเอกสารลับ

การเขียนเอกสารลับอาจเขียนขึ้นจากน้ำ สบู่ น้ำหอม น้ำลาย เป็นต้น ซึ่งจะทำให้มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จะต้องใช้วิธีอื่นจึงจะอ่านข้อความได้ เช่น ใช้ความร้อน รดด้วยไอระเหยของไอโอดีน เป็นต้น (ภักดีกุล, 2534)

ข้อสังเกตในการพิสูจน์เอกสาร (วัฒนชัยนันท์, 2540)

1. ลายเซ็นในเอกสารนั้นเป็นลายเซ็นอันแท้จริงหรือไม่
2. ลายเซ็นในเอกสารนั้นเขียนโดยปกติหรือมีส่วนพลิกแพลง
3. ลายเซ็นพยานเป็นลายเซ็นแท้จริงหรือไม่
4. ถ้าลายเซ็นทับตัวอักษรอื่น ตัวที่ทับตัวไหนเป็นลายเซ็นลงก่อน
5. ข้อความในเอกสารทั้งฉบับมีตอนใดที่มีข้อโต้แย้งหรือสงสัยว่าไม่สมบูรณ์
6. มีใจความใดในเอกสารมีพิรุณผิดปกติหรือไม่
7. ที่ลายเซ็นมีลายดินสอดหรือกระดาษก๊อปปีหรือไม่
8. ลายเซ็นมีรอยลากเส้นจนเกิดเป็นเส้นนูนขึ้นบนหลังเอกสารบ้างหรือไม่
9. ข้อความในเอกสารนั้นได้เขียนก่อนเอกสารถูกพับ หรือได้พับแล้วจึงเขียน
10. ลายเซ็นได้เขียนก่อนหรือหลังเอกสารถูกพับ
11. เอกสารใช้หมึกชนิดใด
12. อายุของหมึก กับวัน เดือน ปี ในเอกสารสมกันหรือไม่
13. เอกสารนั้นมีลายน้ำหรือไม่ เอกสารที่ได้แย้งมีมากกว่า 1 ฉบับ ปรากฏว่าเป็น

เอกสารเดียวกันทั้งหมดหรือต่างกันประการใด

14. เอกสารหลายฉบับ การพับริมและการย่อหน้าเว้นปลายบรรทัดเหมือนกันหรือ

ต่างกันอย่างไรบ้าง

15. เอกสารมีรอยฉีกขาด เปื้อน หรือไหมไฟบ้างหรือไม่
16. เอกสารที่ขนาดผิดแปลกอย่างไร รอบขอบมีรอยตัดหรือรอยฉีกจากกันบ้างหรือไม่
17. สีของเอกสารเก่าอยู่ย้อย่างน่าสงสัยหรือไม่
18. เอกสารนั้นสงสัยว่าได้ย้อมหรือมีรอยต่างผิดธรรมดาประการใดบ้างหรือไม่
19. เอกสารนั้นมีรอยแก้ ขูดลบ หรือล้างด้วยน้ำยาบ้างหรือไม่

20. เอกสารนั้นเมื่อส่องกับแสงสว่าง มีรอยเนื้อกระดาษบางโดยเนื่องจากการขูดลบบ้างหรือไม่
21. เอกสารนั้นมีรอยหมึกพ่น้ำ แสดงว่าได้ตกน้ำหรือชุบน้ำบ้างหรือไม่
22. เอกสารพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ดีด จะเป็นพิมพ์ดีดเครื่องเดียวกันหรือไม่
23. สันนิษฐานว่าเป็นพิมพ์ดีดชนิดอะไร
24. เอกสารนั้นพิมพ์ได้ครั้งเดียวตลอดหมด หรือได้เอาออกจากเครื่องพิมพ์ครั้งหนึ่งแล้วกลับไปพิมพ์ข้อความเติมลงไปภายหลัง
25. อายุของเอกสารกับอายุของเครื่องพิมพ์นั้นสมกันหรือไม่
26. มีข้อความหรือตัวเลขซึ่งพิมพ์โดยเครื่องพิมพ์อื่นเติมลงไปบนเอกสารนั้นบ้างหรือไม่
27. ผู้พิมพ์เอกสารนั้นเป็นผู้ชำนาญในการพิมพ์หรือไม่
28. เอกสารที่ได้แย้งได้พิมพ์โดยบุคคลตามที่อ้างนั้นหรือไม่
29. ถ้าอ้างว่าเอกสารนั้นได้พิมพ์ขึ้นพร้อมสำเนา เมื่อเอาสำเนามาเทียบจะเป็นจริงหรือไม่
30. วัน เดือน ปี ในเอกสารที่ส่งมาจาก ปณ. และ วัน เดือน ปี ของ ปณ. ใกล้เคียงกันหรือไม่
31. รอยครั่งบนซองเป็นอย่างไร
32. ดวงตราประทับบนเอกสารปลอมหรือไม่

ตัวอย่างคดีความที่เกี่ยวข้องกับเอกสาร

คดีฆาตกรรมนางแบบสาวชาวเดนมาร์ก น.ส. ดอริท ฟอนฮาเฟิน (Miss Doris Von Haven) (แหม่มสุวรรณวงศ์, 2547)

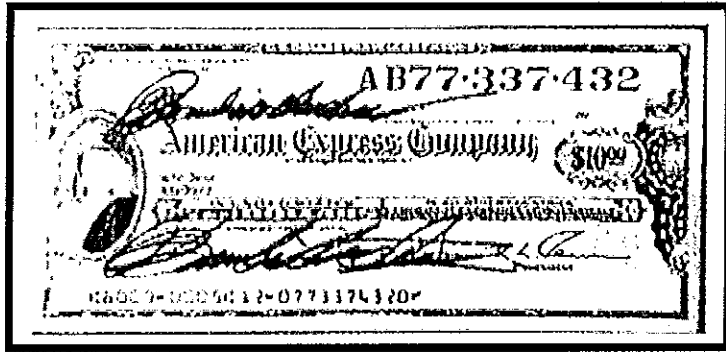
เมื่อวันที่ 22 ม.ค. 2511 กำนันตำบลลิ่งชัน อ. แก่งคอย จ. สระบุรี ได้มาแจ้งต่อ พ.ต.ต. มหิดล สังขะเมฆะ ผู้บังคับกองสถานีตำรวจภูธรอำเภอเมืองสระบุรีว่า มีผู้พบศพผู้หญิงฝรั่งเปลือยกาย ถูกฆ่าตาย โดยมีบาดแผลถูกเชือดคอ จมูก ปาก และบาดแผลอื่นๆ อีกหลายแห่ง

ปัญหาสำคัญของพนักงานสอบสวนที่จะต้องดำเนินการสืบสวนในเบื้องต้น คือ ผู้ตายเป็นใคร มาจากไหน ตายเพราะเหตุใด และตายเมื่อไหร่ ซึ่งในช่วงที่กำลังสืบสวนอยู่ ที่ปรึกษากงสุลเดนมาร์ก ได้แจ้งเรื่องต่อ พล.ต.ท. จำรัส มั่นชุกานนท์ พร้อมกับมอบรูปถ่ายให้ด้วย โดยสงสัยว่าศพผู้หญิงที่พบจะเป็น น.ส. ดอริท ฟอนฮาเฟิน เนื่องจาก น.ส. ดอริท มีผมสีบลอนด์ รูปร่าง อายุ คล้ายกับชาวที่ปรากฏในหนังสือพิมพ์ อีกทั้ง น.ส. ดอริท ไม่ได้มาทำงานที่บริษัทแอทเวอร์ไทซิ่ง ตามกำหนดที่ได้ตกลงกันได้

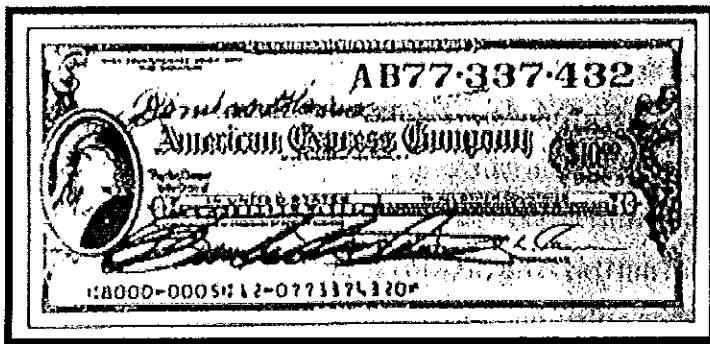
คดีฆาตกรรมหญิงฝรั่งยังไม่ทันเสร็จสิ้น ก็ปรากฏข่าวเกี่ยวกับการปลอมแปลงเช็คเดินทางของบริษัท อเมริกันเอ็กซ์เพรส เกิดขึ้น โดยระหว่างการสืบสวนคดีนี้ ในวันที่ 24 ม.ค. 2511 นายภู่เกียรติ เรืองฤทธิ์ ได้เข้าไปติดต่อกับเจ้าหน้าที่การเงินของโรงแรมเอราวัณ อ้างตนเป็นเจ้าของชายจากประเทศจอร์แดน ขอแลกเปลี่ยนเช็คเดินทางเป็นเงินไทย อ้างว่าเป็นชื่อของตนเอง จำนวนเช็คเดินทางทั้งหมด 1,150 ดอลลาร์ นายประเสริฐ ลือวัฒนานนท์ เจ้าหน้าที่การเงินได้หลงเชื่อ จึงยินยอมให้แลกเปลี่ยนเป็นเงินไทย 23,287.50 บาท ภายหลังจากที่จ่ายเงินให้ไปแล้ว เจ้าหน้าที่การเงินของโรงแรมเอราวัณ ได้นำเช็คมาตรวจดูใหม่ ปรากฏว่าลายเซ็นที่เช็คมีลักษณะเซ็นชื่อทับลายเซ็นเดิม เจ้าหน้าที่การเงินของโรงแรมจึงเข้าแจ้งความต่อพนักงานสอบสวน สน. ลุมพินี 1 ต่อมาหลังจากเจ้าหน้าที่ตำรวจได้จับกุมนายภู่เกียรติได้ เบื้องต้นรับสารภาพว่าพบเช็คเดินทางตกอยู่จึงเก็บมา เห็นว่าตรงช่องว่างสำหรับเซ็นชื่อบนมีลายเซ็นชื่ออ่านไม่ออกปรากฏอยู่แล้ว จึงได้ใช้หมึกดำเซ็นชื่อลงไปทับลายเซ็นเดิม โดยเซ็นในชื่อ โปดินดา ซึ่งคิดขึ้นมาเอง จากนั้นจึงนำไปแลกที่โรงแรมเอราวัณ และเซ็นชื่อในช่องว่างด้านล่างต่อหน้า นายประเสริฐ ให้คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ทางโรงแรมเอราวัณได้สอบถามเรื่องเช็คเดินทางไปยังบริษัทเวลทราเวลเซอร์วิส ตัวแทนของบริษัท อเมริกันเอ็กซ์เพรส ได้รับคำตอบว่า เช็คเดินทางนั้นบริษัท อเมริกันเอ็กซ์เพรส สาขาฮ่องกง ได้จำหน่ายให้แก่ น.ส. ดอริท

พนักงานสอบสวนได้สืบสวนหลายลายเซ็นตัวอย่างของ น.ส. ดอริท จากที่ต่างๆ หลายแห่ง และได้ยึดมาประกอบการสืบสวนดำเนินคดี พบว่ามีการเขียนลายมือชื่อขึ้นใหม่ซ้อนทับลายมือชื่อเดิมไว้ ตรวจพิสูจน์ลายมือชื่อเดิมอ่านได้ความเป็น "Dorrit von Haven" เปรียบเทียบ

กับลายมือที่แท้จริงของ น.ส. ดอริท แล้วปรากฏว่ามีคุณสมบัติในการเขียนรูปร่างลักษณะของตัวอักษรคล้ายคลึงกัน จึงเชื่อได้ว่าเป็นลายมือชื่อของบุคคลเดียวกัน

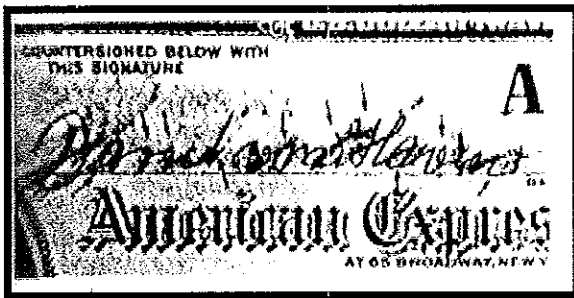


เช็คเดินทางฉบับของกลางฉบับหนึ่งก่อนทำการตรวจพิสูจน์

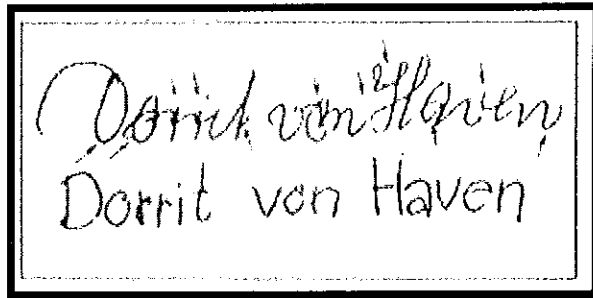


เช็คของกลางฉบับเดียวกัน หลังทำการตรวจพิสูจน์

รูปที่ 1.1 การตรวจเช็คเดินทางในคดีฆาตกรรม น.ส. ดอริท ฟอน ฮาเฟน (แฉ่มสุวรรณวงศ์, 2547)



ลายเซ็นชื่อในเช็คเดินทางของกลางฉบับหลัง
ทำการตรวจพิสูจน์



ลายเซ็นชื่อแท้จริงของ น.ส.ดอริท ฟอน
ฮาเฟิน

รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบลายเซ็นชื่อของ น.ส.ดอริท ฟอน ฮาเฟิน แสดงว่าเป็นลายเซ็นชื่อของ
บุคคลคนเดียวกัน (แซมสุวรรณวงศ์, 2547)

จากผลการตรวจเช็คเดินทางทั้ง 63 ฉบับ และการตรวจชั้นสูตรพลิกศพนี้เอง
เจ้าหน้าที่ตำรวจจึงนำไปใช้เป็นกุญแจไขนทางไปสู่อาชญากรในคดีฆาตกรรมหญิงฝรั่งได้

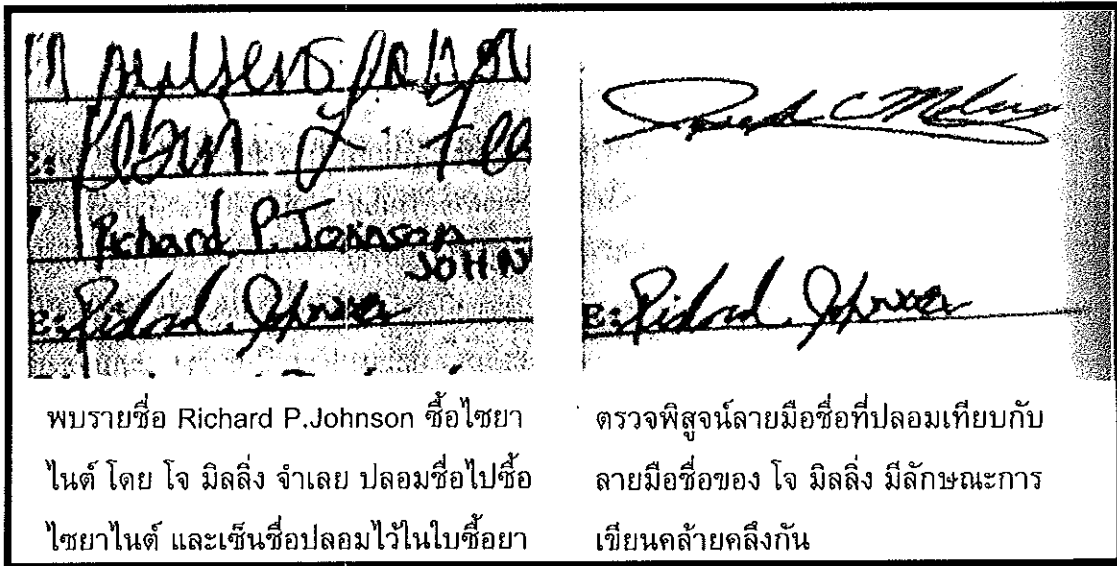
คดีลอกเลียนแบบโดยวิธีการวางยาพิษ (แซมสุวรรณวงศ์, 2547)

โจ มีลิ่ง เอาอย่างคดีของสเตลลา หลังจากอ่านเรื่องของเธอในนิตยสารวีตเดอริ์โด
เจสท์ เมื่อวันที่ 2 ก.พ. 2534 ที่เมืองทอมวอเตอร์ รัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา เย็นวันหนึ่ง
ขณะที่กำลังเข้านอน โจ เตือน เจนนิเฟอร์ ผู้เป็นภรรยาให้กินยาซูโดเฟร็ด เนื่องจากบอกว่านอน
ไม่หลับเพราะเสียงกรนของเขา หลังจากนั้นไม่นาน เจนนิเฟอร์ ก็ล้มลงและหมดสติอย่างรวดเร็ว

โจ โทรแจ้ง 911 บรรยายสภาพภรรยาของเขา เธอตื่นด้วยความทรมาน อยู่ใน
อาการโคม่า แพทย์พยายามช่วยเหลืออย่างเต็มที่ ในสุดเจนนิเฟอร์ก็ฟื้น และบอกกับแพทย์ว่า
เธอกินยาซูโดเฟร็ดเข้าไป แพทย์เตือนตำรวจให้ตรวจพิสูจน์โซยาไนต์ในยาดังกล่าวด้วย

วันต่อมาพบว่ามิโซยาไนต์ในเลือดของเจนนิเฟอร์ ไม่มีใครนึกถึงการวางยาพิษ
ตลอดการสืบสวน เจ้าหน้าที่ได้ศึกษาชีวิตของโจทุกแง่มุม พยายามหาแรงจูงใจ และต้องการรู้
ทุกอย่างให้มากที่สุด จากการสืบสวนพบว่าโจและเจนนิเฟอร์แต่งงานกัน เมื่อปี 2529 และวิวาท
กันตั้งแต่เริ่มต้น ส่วนใหญ่เกี่ยวกับเรื่องเงิน เจนนิเฟอร์ทำงานหลายอย่าง โจหมกหมุ่นกับงาน
อดิเรก เช่น การถ่ายภาพ แต่งหน้าตัวละคร คอมพิวเตอร์ แต่ช่วงก่อนเกิดเหตุ เจนนิเฟอร์
ยอมรับว่าโจมีพฤติกรรมเปลี่ยนไป โจซื้อแคปซูลซูโดเฟร็ด ซึ่งทั้งคู่ไม่เคยใช้มาก่อน เจนนิเฟอร์
กลับบ้านพบโจกำลังขัดเครื่องซั้งซึ่งเขาไม่เคยใช้มาก่อน และที่แปลก คือ โจสวมถุงมืออย่างทั้งที่
ตนเองไม่เคยทำความสะอาดครัวเลย ในที่สุดก็พบว่ามีการประกันชีวิต โดยโจขอให้เจนนิเฟอร์

เซ็นชื่อในกรมธรรม์ โดยบอกว่าเป็นการประกันเพียงเล็กน้อย 30,000 ดอลลาร์ แต่ถ้าเจนนีเฟอร์ ตายจะได้เป็นเงินประกันถึง 700,000 ดอลลาร์

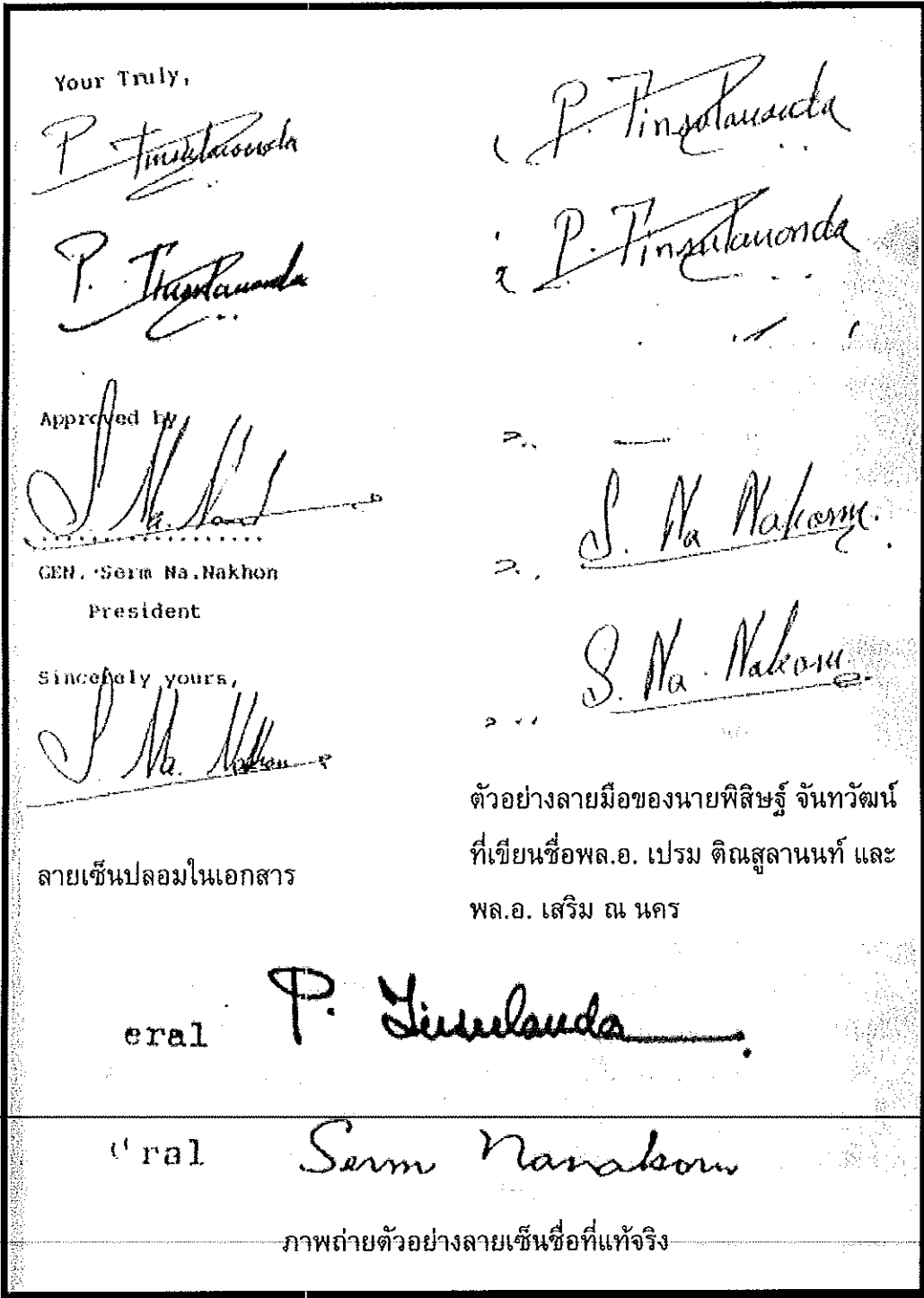


รูปที่ 1.3 แสดงการตรวจลายมือชื่อของโจ มิลลิ่ง (แซมสุวรรณวงศ์, 2547)

โจบอกว่าชื้อยาจากร้านใกล้บ้าน เจ้าหน้าที่ได้ดักฟังโทรศัพท์ตั้งแต่การสืบสวนช่วงแรกๆ พบว่าตึกแห่งหนึ่งที่โจบรรยายถึงนั้น เป็นบริษัท เคมีภัณฑ์ เอ็มเมอร์ลด์ ซิตี ในเมืองเคนท์ ซึ่งขายไชยาไนต์ด้วย จากการตรวจสอบสมุดลงลายมือชื่อผู้ชื้อยาที่ร้านยาไม่พบลายเซ็นของโจ แต่พบว่าผู้ชายชื่อ Richard P. Johnson ชื้อยาไชยาไนต์ จากการวิเคราะห์ลายมือพบว่ามีความคล้ายกับลายมือของโจ เช่น การก่อรูปของตัว J, O และตัวอักษรวางอยู่เหนือเส้นตัดสินได้ว่าโจ ชื่อไชยาไนต์ 1 ปอนด์ ซึ่งเป็นยาพิษที่เยอะมาก พนักงานขายดูภาพถ่ายแต่จำใจไม่ได้ เพราะโจแต่งหน้า จากนั้นได้ทำการตรวจค้นที่พักของโจพบอุปกรณ์แต่งหน้าตัวละคร และมีพยานให้การว่าอุปกรณ์ที่พบนี้สามารถใช้แต่งหน้าคนจนไม่สามารถจดจำได้ การสืบสวนใช้เวลาทั้งสิ้น 18 เดือน คดีก็เสร็จสมบูรณ์ สรุปได้ว่า โจได้ทำการวางยาพิษภรรยาจริง ศาลจึงตัดสินจำคุกโจ มิลลิ่งตลอดชีวิต

คดีปลอมแปลงเอกสารและลายเซ็น พล.อ. เปรม ติณสูลานนท์ และ พล.อ. เสริม ฅ นคร (ชวเวช, 2531)

เมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2524 เจ้าพนักงานตำรวจกองปราบปราม ได้รับแจ้งจากเจ้าหน้าที่ศูนย์รักษาความปลอดภัยกองบัญชาการทหารสูงสุด ว่านายพิสิษฐ์ จันทวัฒน์ ได้ปลอมแปลงเอกสารทางราชการ เกี่ยวกับการให้เครดิตเงินกู้จากธนาคารต่างประเทศเป็นจำนวนเงิน 3 พันล้านเหรียญสหรัฐ และปลอมแปลงลายเซ็นของ พล.อ. เปรม ติณสูลานนท์ และ พล.อ. เสริม ฅ นคร เพื่อเรียกเงินจาก นายสุพจน์ ลิ้มธนากุล และนายออสมอน เอนโทโร่ เป็นค่านายหน้าจำนวนเงิน 16 ล้านบาท ต่อมาเจ้าหน้าที่ตำรวจได้จับกุมตัวนายพิสิษฐ์ จันทวัฒน์ พร้อมกับเอกสารจำนวนหนึ่ง และได้ส่งเอกสารทั้งหมดไปตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบลายเซ็นชื่อในเอกสารตัวอย่างกับลายมือชื่อของ พล.อ. เปรม ติณสูลานนท์ และ พล.อ. เสริม ฅ นคร พบว่าไม่ใช่ลายมือชื่อของ พล.อ. เปรม ติณสูลานนท์ และ พล.อ. เสริม ฅ นคร แต่มีลักษณะการเขียนแบบเดียวกับลายมือชื่อของนายพิสิษฐ์ จันทวัฒน์ ที่เขียนชื่อของ พล.อ. เปรม ติณสูลานนท์ และ พล.อ. เสริม ฅ นคร จากผลการตรวจดังกล่าวจึงยืนยันได้ว่านายพิสิษฐ์ จันทวัฒน์ ได้ทำการปลอมแปลงเอกสารทางราชการจริง



รูปที่ 1.4 เปรียบเทียบการเซ็นที่เป็นปัญหากับตัวอย่างลายมือของนายพิสิษฐ์ จันทวัฒน์ เมื่อ
ตรวจพิสูจน์แล้วปรากฏว่าเป็นลายมือที่เขียนขึ้นโดยบุคคลคนเดียวกัน (ชูเวช, 2531)

จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นว่าหลักฐานทางเอกสารมีความสำคัญในการนำมาใช้ประโยชน์ในการคลี่คลายคดีต่างๆ ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษารูปแบบของหมึกซึมแต่ชนิดที่เป็นสารมาตรฐานและหมึกซึมที่สกัดจากเอกสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี และอัลตราไวโอเล็ต และวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในด้านนิติวิทยาศาสตร์

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อนปี ค.ศ. 1950 การตรวจวิเคราะห์หมึกบนเอกสารนั้นจะใช้วิธีการสังเกต และการถ่ายรูปเพื่อใช้ในการตรวจเปรียบเทียบ จากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการสังเกต โดยนำมาส่องภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต และอินฟราเรด ที่ความยาวคลื่นต่างๆ และยังมีวิเคราะห์หมึกโดยการตรวจวัดโลหะที่ผสมอยู่ในหมึก เช่น ทองแดง วาเนเดียม และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งวิธีการข้างต้นนี้สามารถนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของหมึก แต่ไม่สามารถบอกถึงองค์ประกอบของหมึกได้ (Morsy *et al.*, 2005)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการตรวจวิเคราะห์หมึกบนเอกสารโดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น ทินเลเยอร์ โครมาโทกราฟี อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี คาปิลลารีอิเล็กโตโพรซิซิส สเปกโทรโฟโตเมตรี เอกซ์เรย์ สเปกโทรสโกปี เป็นต้น (Kher *et al.*, 2006) จากนั้นได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสีของหมึกปากกาลูกกลิ้งที่ถูกลบไป โดยการศึกษาจะใช้ปากกาลูกกลิ้ง ยี่ห้อ Friction เป็นตัวอย่าง พบว่าสีของหมึกปากกาที่ถูกลบไปจะสามารถมองเห็นได้โดยส่องภายใต้แสงยูวี และในการที่จะทราบถึงสีเดิมของหมึกว่าเป็นสีอะไรนั้น สามารถทำได้โดยการทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C โดยสามารถนำวิธีการนี้มาใช้ประโยชน์ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ คือ ใช้หาสีของหมึกในกรณีที่เขียนแล้วมีการลบออกไป (Welch, 2007)

การวิเคราะห์เกี่ยวกับหมึก ส่วนใหญ่จะทำการศึกษาองค์ประกอบของหมึก และอายุของหมึก ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ได้มีคดีฟ้องร้องแพทย์เกิดขึ้น ซึ่งทางญาติของผู้ตายได้ฟ้องแพทย์ผู้ทำการรักษาว่าปฏิบัติหน้าที่ไม่ถูกต้องหรือละเลยในการปฏิบัติหน้าที่ โดยในการรักษาแพทย์ไม่ได้บันทึกผลการรักษา แต่กลับบันทึกหลังจากที่ผู้ป่วยได้เสียชีวิตแล้ว ทางด้านแพทย์ผู้รักษาได้ยืนยันว่าตนเองได้ทำการบันทึกระหว่างการรักษาอย่างถูกต้อง (Siegel *et al.*, 2005) จากคดีดังกล่าวการศึกษาในเรื่องของอายุหมึกจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการคลี่คลายคดี

จากความสำคัญข้างต้นจึงต้องมีวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาอายุของหมึก เช่น เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาอายุของหมึกปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงิน โดยทำการศึกษาสารระเหยที่อยู่

ในหมึก คือ phenoxyethanol พบว่าสามารถตรวจพบ phenoxyethanol ในหมึกแต่ละชนิดได้มากกว่า 90% (Wegermann *et al.*, 2007) จากการศึกษาอายุของหมึก พบว่าปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นออกซิเจน แสงยูวี หรือแสงวิสิเบิล จะส่งผลให้สีที่เป็นองค์ประกอบในน้ำหมึกเสื่อมสภาพหรือสลายไปได้ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับเวลาที่ได้รับปัจจัยต่างๆ นี้ด้วยว่าได้รับในชวงไหนและได้รับนานเท่าไร (Siegel *et al.*, 2005) ซึ่งความแตกต่างขององค์ประกอบที่เปลี่ยนไปนี้สามารถใช้ในการระบุว่เอกสารปัญหานั้นเป็นของจริงหรือถูกปลอมแปลงขึ้นมา (Liu *et al.*, 2006)

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปและสารเคมีที่เติมลงในหมึก (Zlotnick *et al.*, 1999)

องค์ประกอบของหมึก	ลักษณะเฉพาะ	สมบัติ	
ส่วนประกอบของสี (coloring material)	สี (dye)	จัดเป็นพวกกรด เบส หรือตัวทำละลายอื่นๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของสีนั้นๆ และสามารถละลายได้ในสารทำละลาย	ทำให้มองเห็นหมึกเป็นสีต่างๆ
	เม็ดสี (pigment)	ประกอบด้วยโมเลกุลขนาดเล็กที่ไม่ละลายในสารทำละลาย	
สารทำละลาย (vehicle)	น้ำมัน (oil)	สามารถใช้ไขมันลินซีด (linseed oil) ถั่วเหลือง แร่ธาตุ หรือน้ำมันชนิดอื่นๆ แบ่งออกเป็นชนิดที่ทำให้แห้งไม่ทำให้แห้ง หรือทั้งสองชนิดรวมกัน ขึ้นอยู่กับระดับความไม่อิมตัวของน้ำมัน	ทำให้หมึกมีคุณสมบัติในการไหลได้และแห้งเร็ว
	ตัวทำละลาย (solvent)	สามารถใช้ได้ทั้งตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป หรือน้ำ และสามารถเป็นตัวทำละลายนี้ในการวิเคราะห์หาอายุของหมึกได้	
	เรซิน (resin)	เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและไม่เป็นผลึก อาจจะได้มาจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้น	
สารเติมแต่ง (additive)	สารช่วยให้แห้ง (drier)	เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันชนิดแห้ง สารพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นเกลืออินทรีย์	ทำให้หมึกแห้งเร็ว
	สารเพิ่มความยืดหยุ่น (plasticizer)	ลดความเปราะบางของหมึก ประกอบด้วยตัวทำละลายที่มีความสามารถในการระเหยต่ำ	ทำให้หมึกคงอยู่ได้นาน
	สารลดแรงตึงผิว (surfactant)	เปลี่ยนแรงตึงผิวของหมึก ประกอบด้วยสบู่และสารลดแรงตึงผิว	ช่วยให้หมึกละลายน้ำได้
	ไขมัน (wax)	เพิ่มความยืดหยุ่น และลดความเปราะบางของหมึก อาจจะเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอนแว็กซ์ หรือน้ำมันหล่อลื่น เช่น ปีโตรเลียมเจล	ช่วยเพิ่มความทนทานและการยืดหยุ่นของหมึก

เทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของหมึก ได้แก่ เทคนิคทางโครมาโทกราฟี เช่น เทคนิคThin Layer Chromatography หรือ เทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และราคาถูก แต่มีข้อเสีย คือไม่สามารถสังเกตเห็นองค์ประกอบของหมึกที่ไม่มีสีได้ และไม่สามารถจำแนกประเภทของหมึกที่มีรูปแบบของสีเหมือนกันได้ (Zlotnick *et al.*, 1999)

นอกจากนี้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีความสนใจในงานวิเคราะห์เกี่ยวกับหมึก เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการแยกสูง (Liu *et al.*, 2006) และให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกได้ ข้อจำกัดสำหรับเทคนิคนี้ คือ ทำลายสารตัวอย่าง ขั้นตอนในการเตรียมสารค่อนข้างยุ่งยาก (Kher *et al.*, 2006) และสามารถตรวจวิเคราะห์ได้เฉพาะสารที่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวเท่านั้น

หลังจากนั้นได้มีการศึกษาการแยกองค์ประกอบของหมึกในปากกาลูกกลิ้งสีน้ำเงินและสีดำ และปากกาเจล ประมาณ 70 ชนิด โดยใช้เทคนิค micro-FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy และ X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) พบว่าเทคนิค infrared spectroscopy นั้นสามารถแยกองค์ประกอบของหมึกได้ โดยการแยกสีที่เป็นองค์ประกอบหลักในหมึกแต่ละชนิด ซึ่งสามารถแยกได้โดยใช้ความยาวคลื่นของสีที่เป็นองค์ประกอบหลักในหมึกแต่ละชนิด และเมื่อเพิ่มเทคนิค Raman spectroscopy เข้าไปจะช่วยให้สามารถตรวจวัดองค์ประกอบของหมึกในปากกาลูกกลิ้งและปากกาเจลได้ง่าย และเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ทำให้เป็นประโยชน์ในคดีที่สำคัญๆ และต้องเก็บตัวอย่างไว้ในด้านอื่นๆ แต่ในบางคดีเทคนิค micro-FTIR spectroscopy และ Raman spectroscopy ไม่สามารถที่จะแยกความแตกต่างของตัวอย่างได้ ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิค X-ray ควบคู่ไปด้วยเพื่อใช้ในการแยกแยะตัวอย่าง ซึ่งพบว่าสามารถแยกแยะความแตกต่างในปากกาลูกกลิ้งได้ 95% และปากกาเจล 90% เมื่อเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสีของปากกาเจลด้วย ซึ่งการแยกความแตกต่างของปากกาจะเกิดขึ้นได้ดีนั้นควรจะใช้เทคนิคทั้ง 3 เทคนิคควบคู่กันไป (Zieba-Palus *et al.*, 2006)

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่มีความรวดเร็ว ราคาถูก (Kher *et al.*, 2006) และสามารถวิเคราะห์สารต่าง ๆ ได้ทั้งสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีข้อจำกัด คือ ขั้นตอนในการวิเคราะห์สารค่อนข้างยุ่งยาก ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้น เซลล์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ ถ้ามีการใช้โดยไม่ถูกต้องจะชำรุดเสียหายง่ายมาก ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ เป็นต้น (อมรสิทธิ์ และเพชรสม, 2539)

ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว คือ เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย ประยุกต์ใช้ได้กว้าง มีความรวดเร็ว และความแม่นยำสูง อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูงอีกด้วย (อมรสิทธิ์ และเพชรสม, 2539)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจวิเคราะห์รูปแบบของหมึกซึม โดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี ควบคู่กับเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และใช้การสกัดหมึกจากตัวอย่างกระดาษด้วยคลื่นความถี่สูง

1.2.2 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

สารที่มีการดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร ส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี โดยที่สมบัติดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำดี และมีสภาพไวสูง

เทคนิคการวิเคราะห์นี้บางครั้งนิยมเรียกว่า อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์มีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น และสารที่มีสีนั้นดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิล อาจเรียกว่า คัลเลอร์ิเมตรี (colorimetry)

เมื่อแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสาร สารนั้นจะดูดกลืนแสงเฉพาะบางช่วง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electronic transition) จากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ซึ่งส่วนที่ถูกดูดกลืนหรือหายไปนี้เรียกว่า แอ็บซอร์พชันสเปกตรัม (absorption spectrum) (อมรสิทธิ์ และเพชรสม, 2539)

1.2.3 การเตรียมสารตัวอย่างและการวัดสเปกตรัม

ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารต่างๆ ส่วนใหญ่จะวัดในสถานะที่เป็นสารละลาย จึงต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสม ตัวทำละลายที่ดีต้องละลายสารตัวอย่างได้ดี ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี และไม่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันกับสารตัวอย่าง (ตามพวรรณ, 2539)

ตารางที่ 1.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการวัดอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกตรัมและช่วงความยาวคลื่นต่ำสุดที่ใช้วัดได้ (Braun R.D., 1987)

ตัวทำละลาย	Cut-off wavelength (nm)	ตัวทำละลาย	Cut-off wavelength (nm)
กรดอะซิติก	260	เอทิลเอเทอร์	215
อะซิโตน	330	นอมอลเฮปเทน	197
อะซิโตนไนไตรล์	190	เฮกซะเดเคน	200
เบนซีน	280	นอมอลเฮกเซน	195
1-ปิพทานอล	210	เมทานอล	205
คาร์บอนไดซัลไฟด์	380	ไนโตรมีเทน	380
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	265	นอมอลเพนเทน	190
คลอโรฟอร์ม	245	1-โพรพานอล	205
ไซโคลเฮกเซน	205	2-โพรพานอล	205
1,2-ไดคลอโรอีเทน	226	ฟิวรีน	315
ไดคลอโรมีเทน	239	เตตระไฮโดรฟิวเรน	220
<i>N,N</i> -ไดเมทิลอะเซตาไมด์	268	โทลูอิน	285
<i>N,N</i> -ไดเมทิลฟอมาไมด์	270	2,2,2-ไตรฟลูออโรเอทานอล	190
ไดเมทิลซัลฟอกไซด์	265	2,2,4-ไตรเมทิลเพนเทน(ไอโซออกเทน)	205
1,4-ไดออกเซน	215	น้ำ	192
เอทานอล (95%)	204	อโทไซลีน	290

1.2.4 เทคนิคทึนเลเยอร์โครมาโทกราฟี

โครมาโทกราฟี (chromatography) เป็นเทคนิคที่ใช้แยกสารออกจากกันโดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายตัวของสารตัวอย่างในระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสคงที่ (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยเฟสคงที่จะทำหน้าที่ในการแยกสารหรือองค์ประกอบของสารตัวอย่างออกจากกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความจำเพาะเจาะจงของสารตัวอย่างที่มีต่อเฟสอยู่กับที่ ส่วนเฟสเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ในการชะล้างหรือพาสารเคลื่อนที่ผ่านเฟสคงที่ องค์ประกอบหรือสารชนิดต่าง ๆ ในตัวอย่างจะมีการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออก หรือมีการหน่วงเหนี่ยวไว้ในเฟสคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีขององค์ประกอบหรือสารแต่ละชนิดที่อยู่ในสารตัวอย่าง ที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อเฟสทั้งสอง จากความแตกต่างนี้ทำให้สารแต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ผ่านเฟสคงที่ในอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการแยกของสารขึ้นเป็นแถบ ๆ

เทคนิคทึนเลเยอร์โครมาโทกราฟี เป็นโครมาโทกราฟีแบบดูดซับ (solid-liquid chromatography) ของผสมที่แยกจะถูกดูดซับโดยเฟสอยู่กับที่ที่เป็นของแข็ง ส่วนเฟสเคลื่อนที่ซึ่งเป็นของเหลวจะพาสารให้เคลื่อนที่ไป เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายและดูดซับได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นสารแต่ละชนิดจึงสามารถแยกออกจากกันได้ ทำให้เกิดการแยกของสารขึ้นเป็นแถบ ๆ

เฟสคงที่มีหลายชนิด ในการเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการแยก ตัวอย่างกับที่ที่ดีจะต้องไม่ละลายในเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยก และต้องไม่เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยา โดยเฟสคงที่ที่นิยมใช้คือ silica gel ($\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) และ alumina (Al_2O_3) ส่วนเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ในขบวนการโครมาโทกราฟีมีหลายชนิด ในบางกรณีเฟสเคลื่อนที่ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดเดียว มีความเป็นขั้วไม่เหมาะสมกับตัวอย่างและเฟสอยู่กับที่ จึงต้องมีการหาสภาวะที่เหมาะสม (ชนิด และอัตราส่วน) ของเฟสเคลื่อนที่เพื่อปรับสภาพขั้วให้เหมาะสม ทำให้สามารถแยกรูปแบบของตัวอย่างได้ชัดเจนขึ้น (Snyder et al., 1979)

ตารางที่ 1.3 สภาพขั้วของตัวทำละลาย (Phenominex for chromatography, 1994)

สภาพขั้ว	สูตรของสารประกอบ	กลุ่ม	องค์ประกอบของตัวทำละลาย
↑ ไม่มีขั้ว ↓	$R - H$	แอลเคน	ปิโตรเลียมอีเทอร์, ลิกโรอิน, และเฮกเซน
	$Ar - H$	อะโรมาติก	โทลูอิน เบนซิน
	$R - O - R$	อีเทอร์	ไดเอทิลอีเทอร์
	$R - X$	แอลคิลเฮไลด์	เตตระคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม
	$R - COOR$	เอสเทอร์	เอทิลอะซิเตต
	$R - CO - R$	แอลดีไฮด์ และคีโตน	อะซิโตน เมทิลเอทิลคีโตน
	$R - NH_2$	เอมีน	พริดีน ไตรเอทิลลามีน
	$R - OH$	แอลกอฮอล์	เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล บิวทานอล
$R - COHN_2$	เอไมด์	ไดเมทิลฟอมาไมด์	
มีขั้ว ↓	$R - COOH$	กรดคาร์บอกซิลิก	กรดเอทาโนอิก
	$H - OH$	น้ำ	น้ำ

ตารางที่ 1.4 การผสมกันได้ของตัวทำละลาย (Phenomenex for chromatography, 1994)

ตัวทำละลาย	ความเข้มข้น	การรบกวนที่ 20 °C	nm (nm cutoff) 1 AU	จุดเดือด (°C)	ความหนืด (cP@20)	การละลายในน้ำ (mg/ml)
กทอซิลิก	0.2	1.372	230	118	1.26	100
อะซิโตน	5.1	1.359	330	56	0.32	100
อะซิโตนไนไตรล์	5.8	1.344	190	82	0.37	100
เมทิลีน	2.7	1.501	280	80	0.65	0.18
เมทิลเอทิลทานดอล	4.0	1.384	254	125	0.73	0.43
อีทิลอะซิเตต	3.9	1.399	215	118	2.98	7.81
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	1.6	1.466	283	77	0.97	0.08
คลอโรฟอร์ม	4.1	1.448	245	61	0.57	0.815
ไซโคลเฮกเซน	0.2	1.428	200	81	1.00	0.01
1, 2 ไดคลอโรอีเทน	3.5	1.444	235	84	0.79	0.81
ไดคลอโรมีเทน	3.1	1.424	235	41	0.44	1.6
ไดเมทิลซัลไฟด์	6.4	1.431	288	155	0.92	100
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์	7.2	1.478	268	186	2.00	100
ไดออกเซน	4.8	1.422	215	101	1.54	100
เฮกซาน	5.2	1.360	210	78	1.20	100
เฮกซิลอะซิเตต	4.4	1.372	280	77	0.45	8.7
ไซลีนออร์โธ	2.8	1.353	220	35	0.32	6.89
ไซลีนเมตา	0.0	1.367	200	98	0.39	0.0003
ไซลีนพารา	0.0	1.375	200	86	0.30	0.001
เมทานอล	5.1	1.329	205	65	0.60	100
เมทิล เทอร์ติวรีลเอทิลเออร์	2.5	1.369	210	55	0.27	4.8
เมทิล เอทิล คีโตน	4.7	1.378	328	80	0.45	24
เพนเทน	0.0	1.356	200	36	0.23	0.004
นบอดีโพรพานอล	4.0	1.364	210	97	2.27	100
นิโรโซรทานอล	3.9	1.377	210	82	2.30	100
ไดออกซีโทลีนออร์โธ	2.2	1.368	220	66	0.37	100
เตตระไฮโดรฟิวแรน	4.0	1.407	215	65	0.55	100
โทลูอีน	2.4	1.468	285	111	0.56	0.051
ไตรคลอโรเอทิลีน	1.0	1.477	273	87	0.57	0.11
น้ำ	9.0	1.303	200	100	1.00	100
ไซลีน	2.5	1.500	280	139	0.61	0.018

ผสมกันไม่ได้

ผสมกันได้

บิวโรนอล	ผสมกันไม่ได้
นบอดีโพรพานอล	ผสมกันได้
ไตรคลอโรเอทิลีน	ผสมกันได้
โทลูอีน	ผสมกันได้
ไซลีนออร์โธ	ผสมกันได้
ไซลีนเมตา	ผสมกันได้
ไซลีนพารา	ผสมกันได้
เฮกซิลอะซิเตต	ผสมกันได้
ไซลีนออร์โธ	ผสมกันได้
ไซลีนเมตา	ผสมกันได้
ไซลีนพารา	ผสมกันได้
เมทานอล	ผสมกันได้
เมทิล เอทิล คีโตน	ผสมกันได้
เพนเทน	ผสมกันได้
นบอดีโพรพานอล	ผสมกันได้
นิโรโซรทานอล	ผสมกันได้
ไดออกซีโทลีนออร์โธ	ผสมกันได้
เตตระไฮโดรฟิวแรน	ผสมกันได้
โทลูอีน	ผสมกันได้
ไตรคลอโรเอทิลีน	ผสมกันได้
น้ำ	ผสมกันได้
ไซลีน	ผสมกันได้

ตารางที่ 1.5 ตัวทำลายที่นิยมใช้ในเทคนิคกึ่งเลเซอร์โครมาโทกราฟี
(Zlotnick *et al.*, 1999)

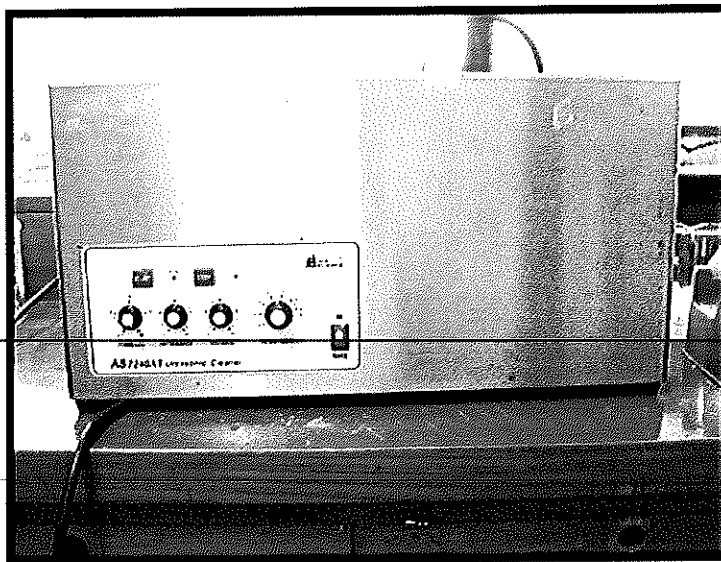
ผู้วิจัย	ระบบของตัวทำลาย		
	จำนวน หรือชนิดของหมึก	องค์ประกอบของตัวทำลาย	อัตราส่วน
Tappolet (Tappolet, 1983)	หมึกปากกาหมึกซึม		
	สีดำ สีน้ำเงิน-ดำ สีน้ำเงินเข้ม หรือ สีน้ำเงิน	ไอโซบิวทานอล	20
		เอทานอล	5
		99% กรดอะซิติก	5
		น้ำกลั่น	10
	หมึกสีแดง	ไอโซโพรพานอล	12
		1-เพนทานอล	22
		น้ำกลั่น	6
	หมึกสีเขียว	กรดฟอร์มิกเข้มข้น	3
		บิวทานอล (อิมัลชันด้วยน้ำ)	97
	หมึกปากกาถูลิ้น		
	สีดำและสีน้ำเงิน	แอททิลอะซิเตต	70
		เอทานอล	35
		น้ำกลั่น	30
	สีน้ำเงินและสีแดง	เมทานอล	2
		นอมอลโพรพานอล	10
		1-เพนทานอล	26
		น้ำกลั่น	4
หมึกซึมปากกาสักหลาด			
สีดำและสีน้ำเงิน	ไอโซโพรพานอล	10	
	1-เพนทานอล	25	
	น้ำกลั่น	5	
สีดำ	ไอโซบิวทานอล	23	
	ไอโซโพรพานอล	10	
	น้ำกลั่น	7	
Aginsky (Aginsky, 1993)	หมึกพริ้นท์ สีภาพวาด หรือหมึก เครื่องถ่ายเอกสาร	(1) 10 ซม. ของคลอโรฟอร์ม	-
		(2) 7 ซม. ของแอททิลอะซิเตต	30
		ไอโซโพรพานอล	15
		น้ำ	10
		กรดอะซิติก	1
		(3) 2 ซม. ของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น	-

1.2.5 การสกัดโดยใช้คลื่นความถี่สูง (Sonication)

คลื่นเสียงความถี่ที่มนุษย์ได้ยินจะอยู่ในช่วง 20 Hz ถึง 20 kHz แต่คลื่นอัลตราโซนิคจะมีคลื่นเสียงความถี่สูงเกินกว่าช่วงที่มนุษย์จะได้ยิน คือมากกว่า 20 kHz (Wang, 2006)

ปัจจุบันอัลตราซาวด์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการทำ ความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์การแพทย์ หรืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ การทำงานของเครื่องนี้จะอาศัยแรงขับเคลื่อนที่เกิดจากสภาวะโพรงอากาศ (cavitation) ที่เกิดจากกระบวนการเดือดเย็น (cold boiled) คือ เกิดจากการเคลื่อนไหวหรือสั่นอย่างรวดเร็ว ซึ่งโพรงอากาศเหล่านี้ จะถูกควบแน่นโดยการแทนที่ของโมเลกุลน้ำรอบๆ ที่เติมเข้าไปในช่องว่างอยู่เสมอ โมเลกุลเหล่านี้เมื่อเข้าไปถึงใจกลางของช่องว่างจะเกิดการปะทะด้วยแรงกระทำจำนวนมากจากสภาวะโพรงอากาศ ทำให้โมเลกุลสะท้อนกลับเกิดเป็นคลื่น shock wave แล้วพุ่งออกสู่ภายนอกเข้าไปปะทะกับผิวของชิ้นงาน ทำให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวของชิ้นงานค่อยๆ ถูกกัดกร่อน และหลุดออกในที่สุด (สุวรรณโมลี, 2548)

นอกจากนี้ยังมีประยุกต์ใช้ในการสกัดได้อีกด้วย โดยคลื่นอัลตราซาวด์จะช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้น (Bonggotgetsakul, 2010)



รูปที่ 1.5 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaner) รุ่น AS7240AT (Automatic Science (Tianjin) Instrument co., TLD, China)

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 หาสมภาวะที่เหมาะสมของเทคนิคกินเลเยอร์ โครมาโทกราฟี และอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปีในการตรวจวิเคราะห์รูปแบบของหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ Lamy, Pilot, Pelikan, Parker และ Sheaffer เพื่อให้ได้รูปแบบมาตรฐานที่แน่นอนของหมึกซึมที่ผลิตจากทั้ง 5 บริษัท

1.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบมาตรฐานของหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท ระหว่างรูปแบบของหมึกซึมที่เป็นสารมาตรฐานและหมึกซึมที่สกัดจากเอกสารตัวอย่าง

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

- 2.1.1 กรดอะซิติก (conc.CH₃COOH, AR grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.2 บิวทานอล (Butan-1-ol, AR grade, บริษัท CARLO ERBA, ประเทศอิตาลี)
- 2.1.3 เมทานอล (MeOH, AR grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.4 เอทานอล (EtOH, AR grade, บริษัท Lab Scan Analytical Sciences, ประเทศไทย)
- 2.1.5 ไอโซโพรพานอล (iso-propanol, AR grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.7 แผ่น TLC ชนิด ซิลิกาเจล 60 (บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.8 น้ำปราศจากไอออน (DI water)
- 2.1.9 หมึกซิมส์ดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ
 - 2.1.8.1 ลามี (Lamy, ประเทศเยอรมัน)
 - 2.1.8.2 ไพลอต (Pilot, ประเทศไทย)
 - 2.1.8.3 พีลิแกน (Pelikan, ประเทศเยอรมัน)
 - 2.1.8.4 ปาร์คเกอร์ (Parker, ประเทศอังกฤษ)
 - 2.1.8.5 เซฟเฟอร์ (Sheaffer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2 เครื่องมือวิเคราะห์

- 2.3.1 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น SPECORD S 100 (บริษัท Analytikjena, Germany)
- 2.3.2 เครื่อง Ultrasonic Bench รุ่น AS7240AT Ultrasonic Cleaner (บริษัท Automatic Science (Tianjin) Intrument co., TLD, ประเทศจีน)
- 2.3.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น EBA 20 (ยี่ห้อ Hettich, ประเทศเยอรมัน)

- 2.3.5 เครื่องวัดความเป็นกรด – เบส (pH meter) (บริษัท METTLER TOLEDO Inlab[®] Expert Pro pH, ประเทศจีน)
- 2.3.6 กล้องถ่ายภาพแคนนอน รุ่น Power Shot SD1100 IS
- 2.3.7 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) อุณหภูมิ 0 – 200 องศาเซลเซียส

2.3 อุปกรณ์

- 2.3.1 กระดาษชนิดต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่
 - 2.3.1.1 กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย และธนาคารไทยพาณิชย์
 - 2.3.1.2 กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU
- 2.3.2 TLC tank
- 2.3.3 กระดาษกรอง เบอร์ 1 ขนาดรูปวง 60 อังสตรอม ยี่ห้อ Whatman (บริษัท Whatman International Ltd, ประเทศอังกฤษ)
- 2.3.4 บีเปต ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 2.3.5 ไมโครบีเปต ยี่ห้อ Eppendorf Research ขนาด 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร และบีเปตทึบ
- 2.3.6 ขวดเกลียวมีฝาปิด (vial) ขนาด 15 มิลลิลิตร
- 2.3.7 กรรไกร
- 2.3.8 ไม้บรรทัด
- 2.3.9 ถังมือ
- 2.3.10 คีม
- 2.3.11 ขวดน้ำกลั่น
- 2.3.12 เครื่องแก้วอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ เช่น ขวดวัดปริมาตร กระบอกตวง และบีกเกอร์ เป็นต้น

2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

2.4.1 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

ละลายหมึกซีมสีดำซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ ด้วยน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 1:1

2.4.2 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

2.4.2.1 เตรียม stock solution ของหมึกซีมสีดำมาตรฐาน

1. ปิเปตหมึกซีมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัทลามี ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

2.4.2.2 เตรียม working solution ของหมึกซีมสีดำมาตรฐาน

1. ปิเปตหมึกซีมสีดำมาตรฐานจาก stock solution ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน
3. นำสารละลายที่ได้ไปศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

หมายเหตุ การเตรียม stock solution และ working solution ของหมึกซีมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัทไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ เตรียมได้ในลักษณะเดียวกัน

2.5 การเตรียมสารละลายที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง

2.5.1 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

1. เขียนลายมือชื่อจำนวน 20 ลายมือชื่อ ลงบนกระดาษต่างๆ ได้แก่ กระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย ธนาคารไทยพาณิชย์ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, SHIS-TZU กระดาษละ 2 แผ่น แผ่นละ 10 ลายมือชื่อ โดยใช้หมึกซีมสีดำที่ผลิตจากบริษัทลามี
2. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. ตัดกระดาษส่วนที่มีลายมือชื่อลงในขวดเกลียวมีฝาปิด (vial) ขนาด 15 มิลลิลิตร
4. เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 ไมโครลิตร
5. เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที
6. นำสารละลายที่ได้ไปศึกษารูปแบบการแยกด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

หมายเหตุ หมึกชิมสีดำที่ผลิตจากบริษัทไฟลोट ฟิสิกส์ แอนด์ เคมี และ เซฟเฟอร์ เตรียมได้ในลักษณะเดียวกัน

2.5.2 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.5.1 (ข้อ 1-3)
2. เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 4 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการ sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic Bench เป็นเวลา 15 นาที
4. นำสารละลายที่ได้ไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100 ที่ความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร

หมายเหตุ การเตรียมหมึกชิมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัทไฟลोट ฟิสิกส์ แอนด์ เคมี และ เซฟเฟอร์ เตรียมได้ในลักษณะเดียวกัน

2.6 วิธีดำเนินการ

2.6.1 ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกชิมสีดำมาตรฐาน

2.6.1.1 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

โครมาโทกราฟีแบบดูดซับ (solid-liquid chromatography) ของผสมที่แยกจะถูกดูดซับโดยเฟสอยู่กับที่ที่เป็นของแข็ง ส่วนเฟสเคลื่อนที่ซึ่งเป็นของเหลวจะพาสารให้เคลื่อนที่ไป เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายและดูดซับได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นสารแต่ละชนิดจึงสามารถแยกออกจากกันได้ ทำให้เกิดการแยกของสารขึ้นเป็นแถบๆ เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกรูปแบบของหมึกชิมจึงต้องศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.6.1.1.1 เฟสอยู่กับที่ (stationary phase)

เฟสอยู่กับที่มีหลายชนิด ในการเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการแยก เฟสอยู่กับที่ที่ดีจะต้องไม่ละลายในเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยกและต้องไม่เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยา จากการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้เฟสอยู่กับที่เป็นกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่มีรูพรุนขนาด 60 อังสตรอม และเฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำกลั่น พบว่ามีกัมมิ์คัมมาตรฐานที่นำมาทดสอบจะเกิดการแยกเป็นแถบสีอยู่บริเวณด้านบนของกระดาษ แสดงว่าองค์ประกอบของกัมมิ์คัมจากทั้ง 5 บริษัท มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับน้ำกลั่นที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากโครงสร้างของกระดาษเป็นแบบเส้นใย และมีรูพรุนมาก ตัวทำละลายจึงเคลื่อนที่ได้เร็ว ทำให้แถบสีไม่สามารถแยกออกจากกันได้ชัดเจน และมีการกระจายเป็นวงกว้าง ดังนั้นจึงเลือกใช้ Silica gel 60 ชนิด normal phase (แบบมีขั้ว) ซึ่งเป็นแผ่นทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีสำเร็จรูปเป็นเฟสอยู่กับที่ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เนื่องจาก Silica gel มีความละเอียดมากกว่ากระดาษกรอง ทำให้การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายช้าลง และสารเกิดการแยกได้ดีขึ้น

หมายเหตุ normal phase คือ เฟสอยู่กับที่มีความเป็นขั้วมากกว่าเฟสเคลื่อนที่

2.6.1.1.2 เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase)

เฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ในเทคนิคโครมาโทกราฟีมีหลายชนิด ซึ่งเรียงลำดับความเป็นขั้วจากต่ำไปหาสูง ดังนี้ เฮกเซน < คาร์บอนเตตระคลอไรด์ < เบนซีน < อีเทอร์ < คลอโรฟอร์ม < เอทิลอะซิเตต < อะซิโตน < เอทานอล < น้ำ (Phenominex for chromatography, 1994)

ในบางกรณีเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดเดียว มีสภาพขั้วไม่เหมาะสมกับกัมมิ์คัมตัวอย่างและเฟสอยู่กับที่ จึงต้องมีการหาสภาวะที่เหมาะสม (ชนิดและอัตราส่วน) ของเฟสเคลื่อนที่เพื่อปรับสภาพขั้วให้เหมาะสม ทำให้สามารถแยกรูปแบบของกัมมิ์คัมได้ชัดเจนขึ้น

การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม เพื่อศึกษารูปแบบของกัมมิ์คัมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ สามารถศึกษาได้โดย

1. จุด (spot) กัมมิ์คัมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัทลามี (เตรียมตามวิธีในข้อ 2.4.1) ลงบนแผ่น TLC ชนิด normal phase (Silica gel 60) ขนาด 6 × 12 เซนติเมตร
2. ศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับการแยกรูปแบบของกัมมิ์คัมสีดำ ซึ่งเป็นตัวทำละลายผสม โดยประกอบด้วยตัวทำละลายทั้งหมด 4 ชนิด คือ บิวทานอล เอทานอล

กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ซึ่งในเบื้องต้นได้ใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายผสมระหว่าง บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร (Zlotnick *et al.*, 1999) พบว่าสามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้ โดยสังเกตจากจุด (spot) ของหมึกที่แยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน จากนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าอัตราส่วนของตัวทำละลายนี้เหมาะสมแล้ว จึงได้ลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น โดยใช้เฟสอยู่กับที่เป็นกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่มีรูพรุนขนาด 60 อังสตรอม และเฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำกลั่น พบว่าหมึกซึมมาตรฐานที่นำมาทดสอบจะเกิดการแยกเป็นแถบสีอยู่บริเวณด้านบนของกระดาษ แสดงว่าองค์ประกอบของหมึกซึมสีดำจากทั้ง 3 บริษัท มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับน้ำกลั่นที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด โดยการคงที่อัตราส่วนของเอทานอล และกรดอะซิติก แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของบิวทานอล (ขั้วต่ำที่สุด) และน้ำปราศจากไอออน (ขั้วสูงที่สุด) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	อัตราส่วน (มิลลิลิตร)			
	นอร์มอล-บิวทานอล (n-butanol)	เอทานอล (Ethanol)	99 % กรดอะซิติก (acetic acid)	น้ำปราศจาก ไอออน (DI water)
1	12.0	4.0	4.0	10.0
2	13.0	4.0	4.0	9.0
3	14.0	4.0	4.0	8.0
4	15.0	4.0	4.0	7.0
5	16.0	4.0	4.0	6.0
6	17.0	4.0	4.0	5.0
7	18.0	4.0	4.0	4.0
8	19.0	4.0	4.0	3.0
9	20.0	4.0	4.0	2.0
10	21.0	4.0	4.0	1.0
11	22.0	4.0	4.0	0.0

จากการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายดังแสดงในตารางที่ 2.1 หมึกซึมทั้ง 5 บริษัทสามารถละลายได้ในทุกอัตราส่วน แต่เมื่อทำการทดลองโดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี พบว่าจะสามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้แตกต่างกัน โดยอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร สามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้ดีที่สุด สังเกตจากจุด (spot) ของหมึกที่แยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน

2.6.1.1.3 การหารูปแบบที่แน่นอนของหมึกซึมด้วยเทคนิค

ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับ หรือค่า R_f (retardation factor) เป็นค่าเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายและการถูกดูดซับของสารนั้น ทำให้สารแต่ละชนิดมีค่า R_f ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการหารูปแบบที่แน่นอนของหมึกซึมด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี จึงใช้ค่า R_f เป็นตัวบ่งชี้รูปแบบของหมึกซึมแต่ละชนิด โดยทำการศึกษาในระบบที่มีอุณหภูมิคงที่ คือ 32 ± 1 องศาเซลเซียส และศึกษาซ้ำเป็นจำนวน 50 ครั้ง โดย

1. นำแผ่น TLC ชนิด normal phase (Silica gel 60) ขนาด 6×12 เซนติเมตร ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (Djozan *et al.*, 2008) เพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในแผ่น TLC
2. จุดหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัทลามี่ (เตรียมตามวิธีในข้อ 2.4.1) ลงบนแผ่น TLC ดังกล่าว
3. แยกรูปแบบของหมึกซึมโดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นตัวทำละลายผสมทั้งหมด 4 ชนิด คือ บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร
4. หาค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท เพื่อใช้เป็นรูปแบบมาตรฐานในการเปรียบเทียบเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

2.6.1.2 เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.4.2
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100 ที่ความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร
3. ในการศึกษาจะทำซ้ำตัวอย่างละ 100 ครั้ง

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
Integration (ms)	40.0
Path length (cm)	1
Accumulation	10
Range (nm)	190 - 800
Scan mode	Single scan

2.6.2 ศึกษาารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง

2.6.2.1 เทคนิคThin Layer Chromatography

1. นำแผ่น TLC ชนิด normal phase (Silica gel 60) ขนาด 6 × 12 เซนติเมตร ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

2. จุดหมึกซึมสีดำผลิตจากบริษัทลามี (เตรียมตามวิธีในข้อ

2.5.1) ลงบนแผ่น TLC ดังกล่าว

3. ทำการแยกรูปแบบของหมึกซึมโดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นตัวทำละลายผสมทั้งหมด 4 ชนิด คือ บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร

4. หาค่า R_f ของจุดทุกจุดที่ได้จากหมึกซึมของบริษัทลามี

หมายเหตุ การศึกษาหมึกซึมสีดำที่ผลิตจากบริษัทไพลอด ฟीलิกาน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ ทำได้ในลักษณะเดียวกัน

2.6.2.2 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

สารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์โดยส่วนใหญ่ สามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร จากสมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง ดังนั้นเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยก รูปแบบของหมึกซึมจึงต้องศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.6.2.2.1 ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัด

หมึกซึมจากเอกสารตัวอย่าง

1. เขียนลายมือชื่อจำนวน 20 ลายมือชื่อ ลงบนกระดาษใบถอนเงินของ ธนาคารไทยพาณิชย์ 2 แผ่น แผ่นละ 10 ลายมือชื่อ โดยใช้หมึกซึมสีดำที่ผลิตจากบริษัทลามี
2. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
3. ตัดกระดาษส่วนที่มีลายมือชื่อลงในขวดเกลียวมีฝาปิด (vial) ขนาด 15

มิลลิลิตร

4. เดิมตัวทำละลายที่ต้องการศึกษา คือ เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล และน้ำปราศจากไอออน ซึ่งผลสมกับบอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 (Vogt *et al.*, 1997) พบว่าไม่สามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้ โดยสังเกตจากรูปแบบของหมึกซึมแต่ละชนิดที่ให้ลักษณะที่แตกต่างจากหมึกซึมมาตรฐาน จากนั้นจึงได้ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของปริมาตรตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	ปริมาตร (มิลลิลิตร)				
	เมทานอล (methanol)	เอทานอล (ethanol)	ไอโซโพรพานอล (isopropanol)	น้ำปราศจาก ไอออน (DI water)	บอเรตบัฟเฟอร์ (borate buffer pH 8.25)
1	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
2	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00
3	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00
4	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00
5	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00
6	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00

5. นำตัวอย่างที่ได้ไปสกัดโดยการ sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic Bench เป็นเวลา 15 นาที (Vogt *et al.*, 1997)

6. นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100 ที่ความยาวคลื่น 190–800 นาโนเมตร โดยใช้พารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.2

หมายเหตุ การศึกษาหมีกซิมส์ดำที่ผลิตจากบริษัทไฟลอสต์ ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ ทำได้ในลักษณะเดียวกัน

จากการศึกษาอัตราส่วนของปริมาตรตัวทำละลายดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่าทุกอัตราส่วนสามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้ แต่จะให้ลักษณะรูปแบบของหมึกซึมที่แตกต่างจากรูปแบบของหมึกซึมมาตรฐาน ยกเว้นน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ที่ให้รูปแบบของการดูดกลืนแสงที่มีลักษณะเดียวกับหมึกซึมที่เป็นสารมาตรฐาน ดังนั้นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดหมึกซึมจากเอกสารตัวอย่าง คือ น้ำปราศจากไอออน

2.6.2.2.2 เวลาที่ใช้ในการสกัด

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.6.2.2.1 (ข้อ 1-3)
2. เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 4 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปสกัดโดยการ sonicate ด้วยเครื่อง

Ultrasonic Bench ที่เวลาต่างๆ คือ 0 15 30 และ 60 นาทีตามลำดับ

4. นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง

UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100 ที่ความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร ซึ่งในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยใช้พารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.2

หมายเหตุ การศึกษาหมึกซึมสีดำที่ผลิตจากบริษัทไฟลोट ฟीलิกาน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ ทำได้ในลักษณะเดียวกัน

2.6.3 ศึกษาเสถียรภาพขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามิ ไฟลोट ฟीलิกาน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์

ในการศึกษาเสถียรภาพของหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท ที่เตรียมเป็นสารละลายแล้ว วางทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ เพื่อทดสอบว่าองค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมของบริษัทต่างๆ มีการระเหยไปในระหว่างการเตรียมสาร และการทดลองหรือไม่ ดังนั้นเสถียรภาพขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้การตรวจพิสูจน์มีความถูกต้อง ซึ่งการศึกษาเสถียรภาพขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมสามารถศึกษาได้โดย

1. เตรียมสารละลายหมึกซึมสีดำมาตรฐานของทั้ง 5 บริษัท (เตรียมตามวิธีใน

ข้อ 2.4.2)

2. เปิดฝาตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ คือ 0 10 20 30 40 50 และ 60 นาทีตามลำดับ
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD

S 100 ที่ความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร

2.6.4 ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึม

เอกสารที่เกิดเป็นคดีความนั้นอาจเพิ่งเขียนขึ้น หรือเขียนไว้นานแล้วก็ได้ ดังนั้น การศึกษาระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างจึงสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ทราบถึง ระยะเวลาที่ยังสามารถตรวจพิสูจน์เอกสาร อีกทั้งสามารถใช้ในการประมาณเวลาที่ใช้ในการ เขียนเอกสารนั้นๆได้ ซึ่งการศึกษาระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างสามารถศึกษาได้โดย

2.6.4.1 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

1. เขียนลายมือชื่อจำนวน 120 ลายมือชื่อ ลงบนกระดาษชนิดต่างๆ

คือ

- กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา

ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย และธนาคารไทยพาณิชย์

- กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU

กระดาษละ 12 แผ่น แผ่นละ 10 ลายมือชื่อ โดยใช้หมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ไพลอด ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์

2. เขียนไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ

3 เดือน ตามลำดับ

3. ตัดกระดาษส่วนที่มีลายมือชื่อลงในขวดเกลียวมีฝาปิด (vial) ขนาด

15 มิลลิลิตร

4. เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 ไมโครลิตร

5. เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.6.2.1 โดยหมึกซึมที่ใช้ในการจุด

(spot) คือ หมึกซึมที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง

7. ในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวนตัวอย่างละ 10 ครั้ง

2.6.4.2 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.6.4.1 (ข้อ 1-3)
2. เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 4 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปสกัดโดยการ sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic

Bench เป็นเวลา 15 นาที

4. นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100 ที่ความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร ซึ่งในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวนตัวอย่างละ 10 ครั้ง โดยใช้พารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.6.5 ศึกษาความสม่ำเสมอ/คงที่ (consistency)

ศึกษาความสม่ำเสมอ/คงที่ของรูปแบบหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดหรืออายุของหมึก ซึ่งในการศึกษาจะใช้หมึกซึมต่างขนาดกันบริษัทละ 3 ขนาด และทำซ้ำเป็นจำนวนตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดย

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ ข้อ 2.4.2
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD

S 100 ที่ความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร

2.6.6 ศึกษาตัวอย่างจริง

ตัวอย่างจริงที่ใช้ในการศึกษา เป็นตัวอย่างหมึกซึมที่เขียนไว้บนกระดาษชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กระดาษสีขาว กระดาษสีเขียว และกระดาษ A4 ซึ่งจะทำการศึกษาโดย

2.6.6.1 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.6.4.1 (ข้อ 3-6) โดยหมึกซึมที่ใช้ในการจุด (spot) คือ หมึกซึมที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่างจริง

2.6.6.2 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

1. ตัดกระดาษส่วนที่มีลายมือชื่อลงในขวดเกลียวมีฝาปิด (vial) ขนาด 15 มิลลิลิตร
2. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.6.4.2 (ข้อ 2-4)
3. ในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวนตัวอย่างละ 5 ครั้ง

บทที่ 3

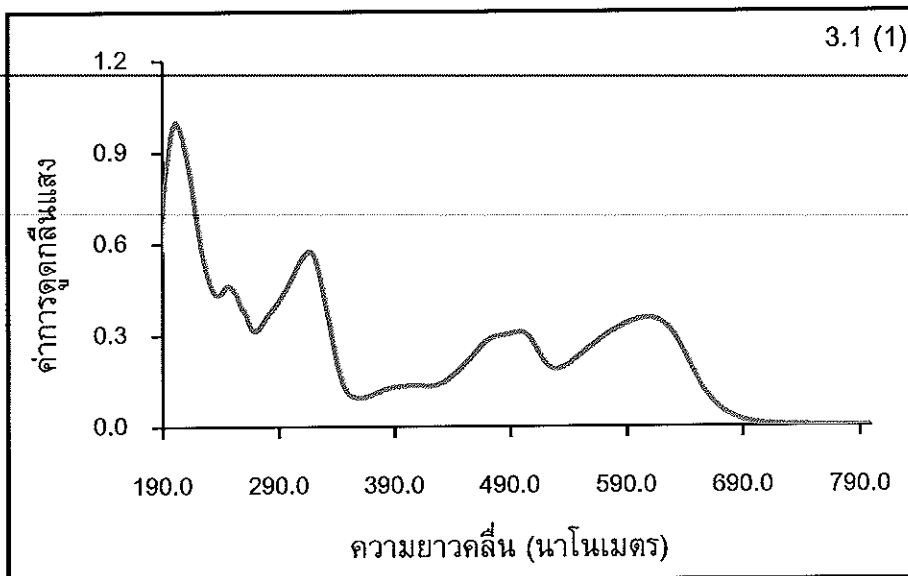
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

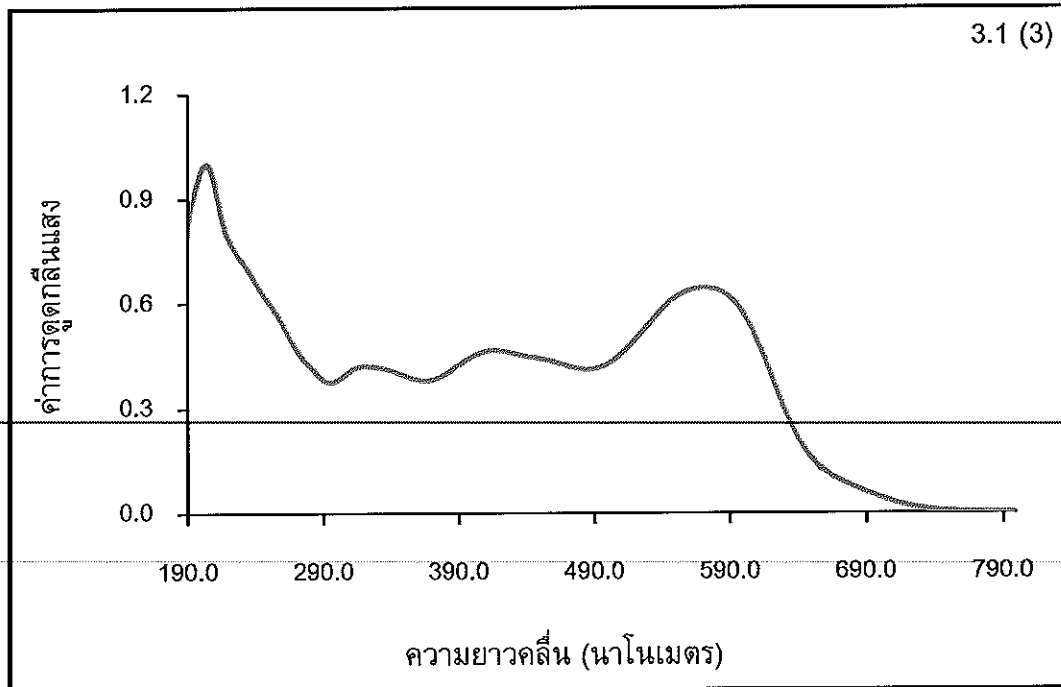
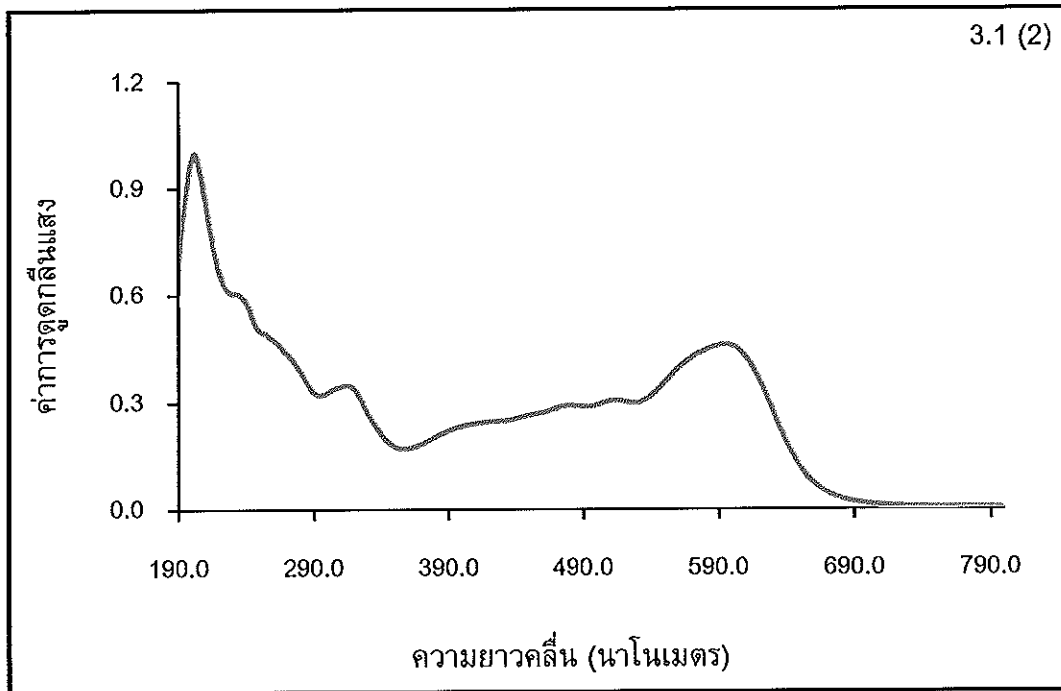
งานวิจัยนี้ทำการศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทึนเลเยอร์โครมาโทกราฟี เพื่อประยุกต์ใช้ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อการตรวจพิสูจน์งานทางด้านเอกสาร ซึ่งในส่วนของผลการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

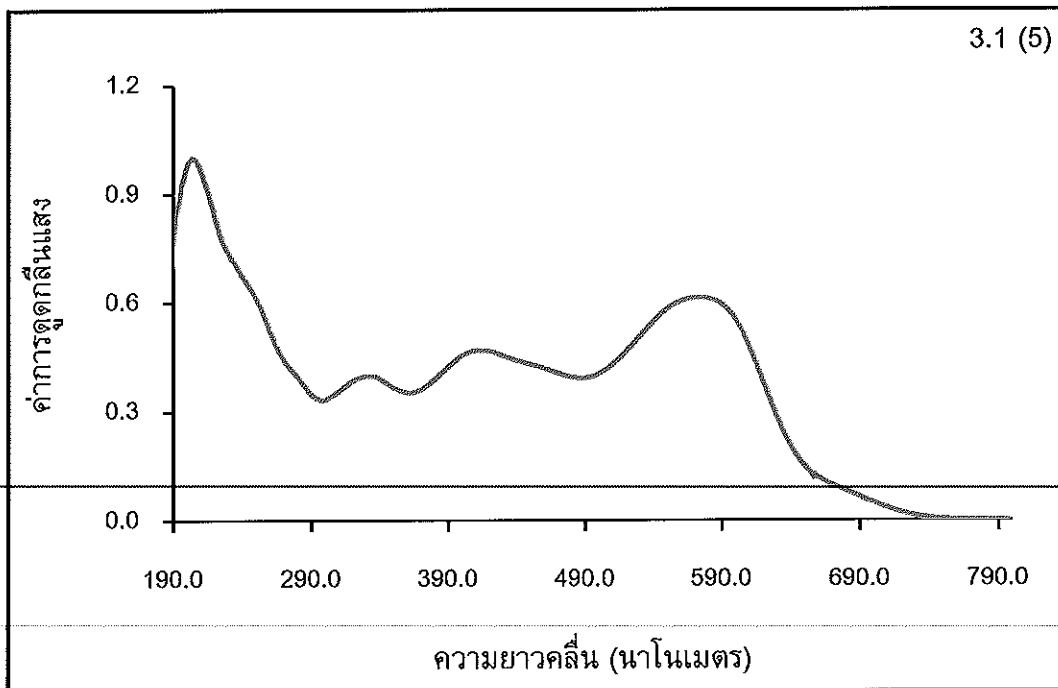
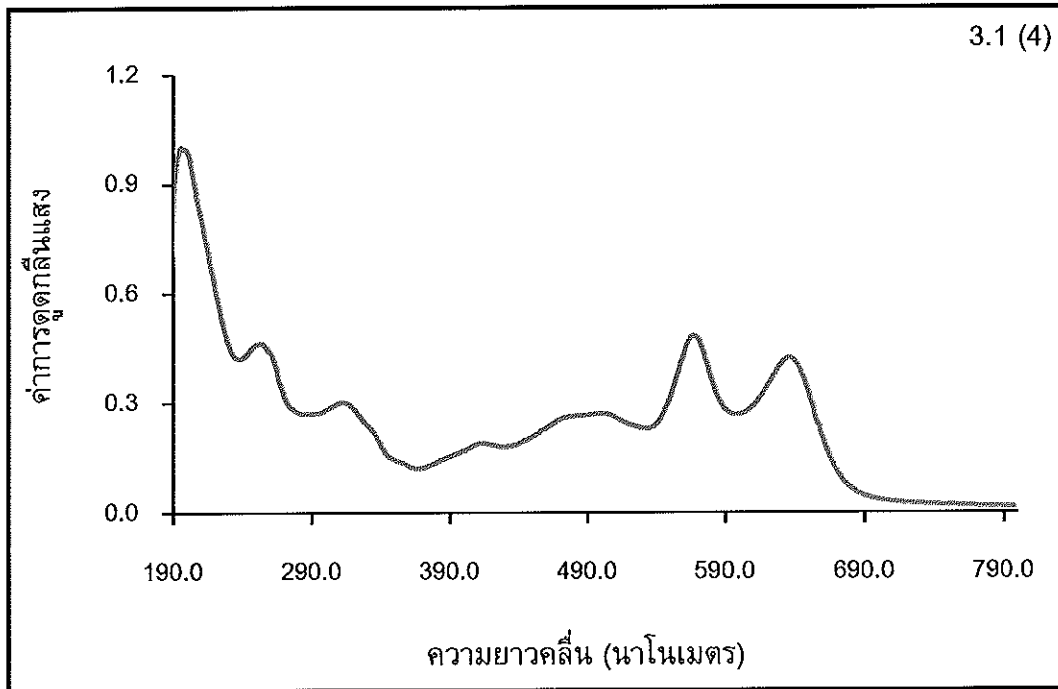
3.1 ศึกษาารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำมาตรฐาน

3.1.1 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

การศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ทำการศึกษาในช่วงความยาวคลื่น 190 - 800 นาโนเมตร โดยการเจือจางหมึกซึมสีดำมาตรฐานของทั้ง 5 บริษัท คือ บริษัทลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิกัน ไพลอด และเซฟเฟอร์ ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งตัวทำละลายที่เลือกใช้จะต้องไม่ดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับสารตัวอย่าง โมเลกุลไม่ควรมี conjugated system ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ คือ น้ำปราศจากไอออน (DI water) เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ สามารถละลายหมึกซึมได้ และค่าความยาวคลื่นที่ต่ำที่สุดที่จะใช้ได้ (cut-off) ต่ำ คืออยู่ที่ 190 นาโนเมตร จากการศึกษาพบว่ารูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงของหมึกซึมสีดำแต่ละบริษัทจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1







รูปที่ 3.1 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำมาตรฐานของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) (ทำซ้ำ 100 ครั้ง)

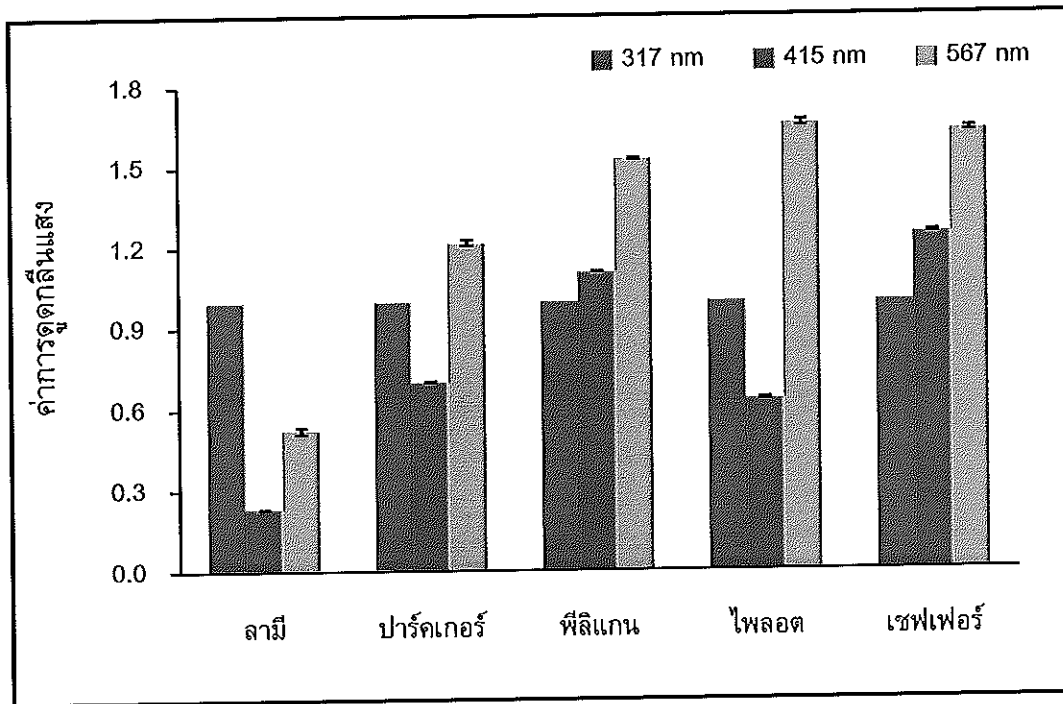
จากผลการทดลองในรูปที่ 3.1 พบว่ารูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ และไพลอต มีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน ส่วนหมึกซึมสีดำของบริษัทฟิลิแกน และเซฟเฟอร์จะให้ลักษณะรูปร่างที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงทำการหาพีคหลักของหมึกซึมมาตรฐานทั้ง 5 บริษัท โดยดูจากพีคที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 190 – 800 นาโนเมตร เพื่อแยกความแตกต่างของหมึกซึมสีดำแต่ละบริษัท

ตารางที่ 3.1 พีคหลักที่มีอยู่ในหมึกซึมบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์

บริษัท	พีคหลักที่ดูดกลืนแสงสูงสุด					
	1	2	3	4	5	6
ลามี	λ_{248}	λ_{317}	λ_{499}	λ_{608}	-	-
ปาร์คเกอร์	λ_{232}	λ_{315}	λ_{480}	λ_{514}	λ_{595}	-
ฟิลิแกน	λ_{321}	λ_{414}	λ_{571}	-	-	-
ไพลอต	λ_{253}	λ_{313}	λ_{414}	λ_{501}	λ_{567}	λ_{636}
เซฟเฟอร์	λ_{333}	λ_{413}	λ_{572}	-	-	-

จากตารางที่ 3.1 พบว่าหมึกซึมสีดำบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ และไพลอต จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ส่วนหมึกซึมสีดำของบริษัทฟิลิแกน และเซฟเฟอร์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกันมาก

จากนั้นเพื่อให้ง่ายในการศึกษา จึงทำการเลือกความยาวคลื่นมา 3 ตำแหน่งที่หมึกซึมทั้ง 5 บริษัทให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ ความยาวคลื่นที่ 317 415 และ 567 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวของหมึกซึมทุกบริษัทมาพล็อตข้อมูลในรูปของกราฟแท่ง โดยกำหนดให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร มีค่าเป็น 1 เพื่อให้การเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเมนต์ดำมาตรฐานของบริษัทلامي ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ (ทำซ้ำ 100 ครั้ง)

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.2 พบว่ารูปแบบของหมึกซีเมนต์ดำมาตรฐานของแต่ละบริษัทจะมีลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกันในบางบริษัท ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 หมึกซีเมนต์ดำของบริษัทلامي คือ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด และที่ความยาวคลื่น 567 และ 317 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

กลุ่มที่ 2 หมึกซีเมนต์ดำของบริษัทปาร์คเกอร์ และไพลอต จะมีรูปแบบของหมึกซีเมนต์ดำที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน คือ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด และที่ความยาวคลื่น 317 และ 567 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

กลุ่มที่ 3 คือ หมึกซีเมนต์ดำของบริษัทฟิลิแกน และเซฟเฟอร์จะให้รูปแบบที่ต่างออกไป คือ จะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับที่ความยาวคลื่นจาก 317 415 และ 567 นาโนเมตร ทั้งนี้เนื่องจากหมึกซีเมนต์ดำของแต่ละบริษัทจะมีองค์ประกอบและสารเคมีที่เติมลงในหมึกซีเมนต์ที่ต่างกัน และองค์ประกอบของหมึกต่างๆ เหล่านี้ ย่อมขึ้นอยู่กับความต้องการของโรงงานผู้ผลิต เพื่อจำหน่ายในท้องตลาดด้วย ทำให้เราสามารถนำความแตกต่างของรูปแบบหมึกซีเมนต์ดำนี้ไปใช้ประโยชน์ในการระบุว่าเป็นสารฉบับนั้นๆ เขียนขึ้นมาจากหมึกซีเมนต์ของบริษัทเดียวกันหรือไม่ได้ในบางบริษัท

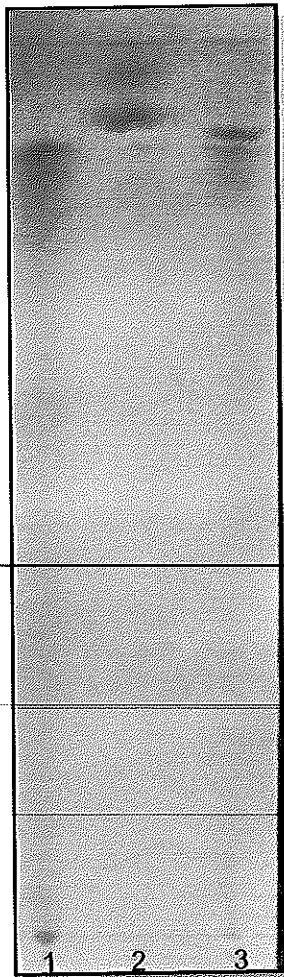
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย เพื่อช่วยในการแยกความแตกต่างของหมึกซีมส์ดำทั้ง 5 บริษัทออกจากกันอย่างชัดเจน

3.1.2 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกรูปแบบของหมึกซีมส์จึงต้องศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1.2.1 เฟสอยู่กับที่ (stationary phase)

จากการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้เฟสอยู่กับที่เป็นกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่มีรูพรุนขนาด 60 อังสตรอม และเฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำกลั่น พบว่าหมึกซีมส์ดำมาตรฐานของบริษัทฟิลิแกน ไพลอต และปาร์คเกอร์ ที่นำมาทดสอบจะเกิดการแยกเป็นแถบสีอยู่บริเวณด้านบนของกระดาษ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



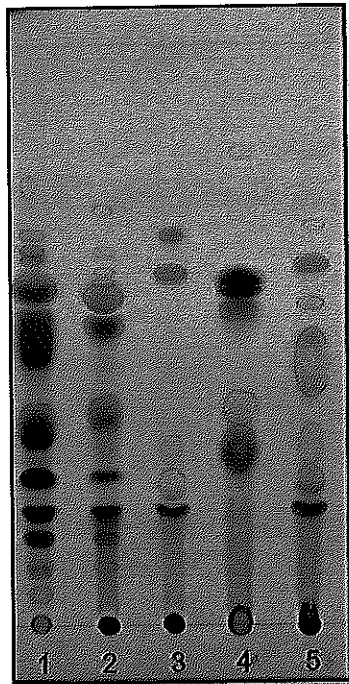
รูปที่ 3.3 รูปแบบของหมึกซีมส์มาตรฐานของบริษัทฟิลิแกน (1) ไพลอต (2) และปาร์คเกอร์ (3)

จากรูปที่ 3.3 พบว่าหมึกซึมมาตรฐานของบริษัทฟิลิแกน ไพลอต และปาร์คเกอร์ จะเกิดการแยกเป็นแถบสีอยู่บริเวณด้านบนของกระดาษ มีการกระจายเป็นวงกว้าง และไม่สามารถแยกแถบสีออกจากกันได้ชัดเจน เนื่องจากโครงสร้างของกระดาษเป็นแบบเส้นใย และมีรูพรุนมาก ตัวทำละลายจึงเคลื่อนที่ได้เร็ว ดังนั้นจึงเลือกใช้ silica gel 60 ชนิด normal phase (แบบมีขั้ว) ซึ่งเป็นแผ่นทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีสำเร็จรูปเป็นเฟสอยู่กับที่ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เนื่องจาก silica gel มีความละเอียดมากกว่ากระดาษกรอง ทำให้การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายช้าลง และองค์ประกอบที่อยู่ในหมึกซึมสามารถเกิดอันตรกิริยากับ silica gel ได้ อีกทั้ง silica gel เป็นสารมีขั้ว และจากการทดสอบเบื้องต้น โดยใช้เฟสอยู่กับที่เป็นกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่มีรูพรุนขนาด 60 อังสตรอม และเฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำกลั่น พบว่าหมึกซึมมาตรฐานที่นำมาทดสอบ จะเกิดการแยกเป็นแถบสีอยู่บริเวณด้านบนของกระดาษ แสดงว่าองค์ประกอบของหมึกซึมสีดำจากทั้ง 3 บริษัท มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับน้ำกลั่นที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ดังนั้นองค์ประกอบของหมึกซึมสีดำจึงถูกดูดซับบนเฟสอยู่กับที่ได้ดี ทำให้สารเกิดการแยกได้ดีขึ้น

3.1.2.2 เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase)

ทำการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับการแยกรูปแบบของหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และเซฟเฟอร์ ซึ่งเป็นตัวทำละลายผสม โดยประกอบด้วยตัวทำละลายทั้งหมด 4 ชนิด คือ บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน โดยอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 พบว่าอัตราส่วนของตัวทำละลายผสมระหว่างบิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร สามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้ โดยสังเกตจากจุด (spot) ของหมึกที่แยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน

จากนั้นได้ทำการหารูปแบบที่แน่นอนของหมึกซึมสีดำมาตรฐานแต่ละบริษัท โดยใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายดังกล่าวข้างต้นเป็นจำนวน 50 ครั้ง พบว่าลักษณะของจุด (spot) ของหมึกซึมสีดำมาตรฐานแต่ละบริษัทแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแบบของหมึกซึมมาตรฐานของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ฟิโลต (4) และเซฟเฟอร์ (5) (ทำซ้ำ 50 ครั้ง)

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่ารูปแบบของหมึกซึมสีดำมาตรฐานแต่ละบริษัทจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นได้ทำการหาอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับ หรือค่า R_f (retardation factor) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของเฟสเคลื่อนที่ เฟสอยู่กับที่ และสภาวะของการทดลอง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ดังนั้นการบอกค่า R_f ของสารแต่ละชนิดจึงต้องบอกชนิดของเฟสเคลื่อนที่ และเฟสอยู่กับที่เสมอ โดยสารต่างชนิดกันจะมีค่า R_f แตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงสามารถนำค่า R_f มาใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของสารได้ นั่นคือถ้าใช้ตัวทำละลายและตัวดูดซับชนิดเดียวกันและมีสภาวะของการทดลองเหมือนกัน แล้วปรากฏว่ามีค่า R_f เท่ากัน อาจสันนิษฐานได้ว่า สารดังกล่าวเป็นสารชนิดเดียวกัน หรือนำสารตัวอย่างมาทำการทดลองเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ก็จะทราบว่าในตัวอย่างมีสารชนิดเดียวกับสารมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งค่า R_f สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (ซม.)}}{\text{ระยะทางที่เฟสเคลื่อนที่เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดที่กำหนดไว้ (ซม.)}}$$

จากนั้นได้ทำการหาค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท พบว่าหมึกซึมสีดำมาตรฐานของทั้ง 5 บริษัท จะให้ค่า R_f ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ทำให้สามารถนำค่า R_f ดังกล่าวมาใช้ในการบ่งชี้หมึกซึมของแต่ละบริษัทได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมสีดำทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ (ทำซ้ำ 50 ครั้ง)

จำนวนจุด (spot)	R_f ของหมึกซึมสีดำ 5 บริษัท				
	ลามี	ปาร์คเกอร์	ฟิลิแกน	ไพลอต	เซฟเฟอร์
1	0.05 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.18 ± 0.01
2	0.08 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.24 ± 0.01
3	0.13 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.30 ± 0.01
4	0.18 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.44 ± 0.01
5	0.24 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.65 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.53 ± 0.01
6	0.34 ± 0.01	0.50 ± 0.01	-	0.80 ± 0.01	0.60 ± 0.01
7	0.48 ± 0.01	0.54 ± 0.01	-	-	0.66 ± 0.01
8	0.52 ± 0.01	0.57 ± 0.01	-	-	-
9	0.56 ± 0.01	0.58 ± 0.01	-	-	-
10	0.61 ± 0.01	0.62 ± 0.01	-	-	-
11	0.62 ± 0.01	0.69 ± 0.01	-	-	-
12	0.65 ± 0.01	-	-	-	-
13	0.73 ± 0.01	-	-	-	-

หมายเหตุ เฟสคงที่ คือ Silica gel 60 ชนิด normal phase (แบบมีขั้ว) เฟสเคลื่อนที่ คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายผสมระหว่างบิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจาก

ไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 32 ± 1 องศาเซลเซียส

3.2 ศึกษาารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง

3.2.1 เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกรูปแบบของหมึกซึม จึงต้องศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.2.1.1 ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหมึกซึมจากเอกสารตัวอย่าง

ในการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหมึกซึมจากเอกสารตัวอย่าง ได้ทดสอบความสามารถในการละลายเบื้องต้น โดยการเขียนลายมือชื่อลงบนกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ โดยใช้หมึกซึมที่ผลิตจากบริษัทหลามี แล้วหยดตัวทำละลายที่ต้องการศึกษา อย่างละ 2 หยด ซึ่งมี 5 ชนิด (Vogt *et al.*, 1997) คือ

- น้ำปราศจากไอออน (DI water) 2 มิลลิลิตร + บอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 2 มิลลิลิตร

- เมทานอล (MeOH) 2 มิลลิลิตร + บอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 2 มิลลิลิตร

- เอทานอล (EtOH) 2 มิลลิลิตร + บอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 2 มิลลิลิตร

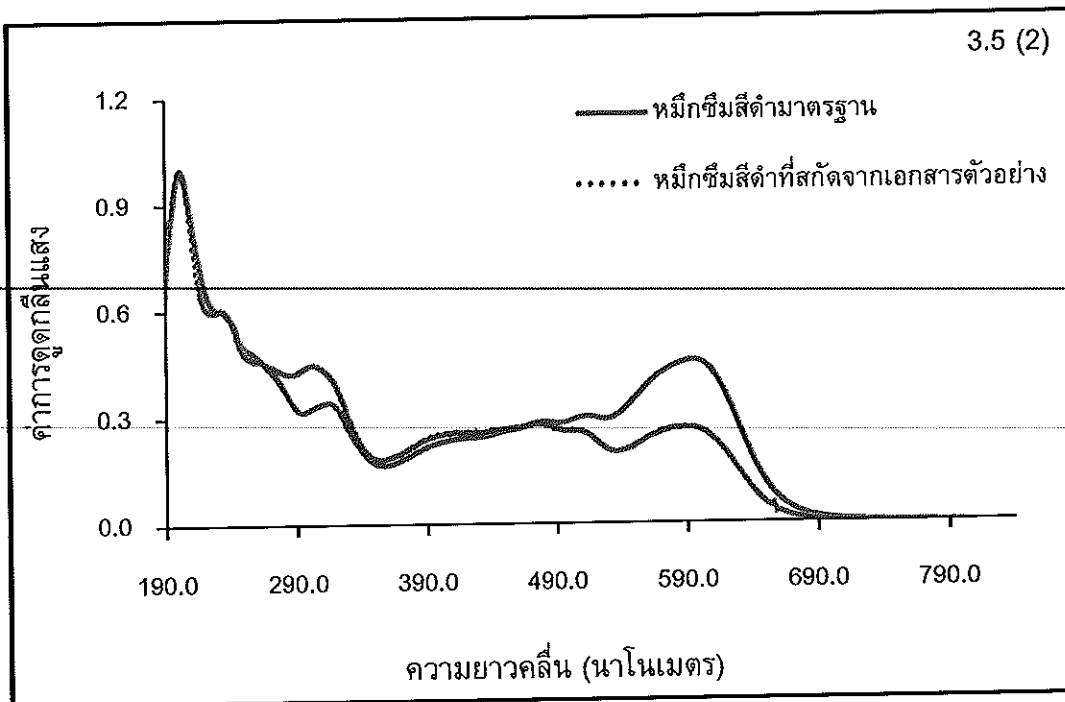
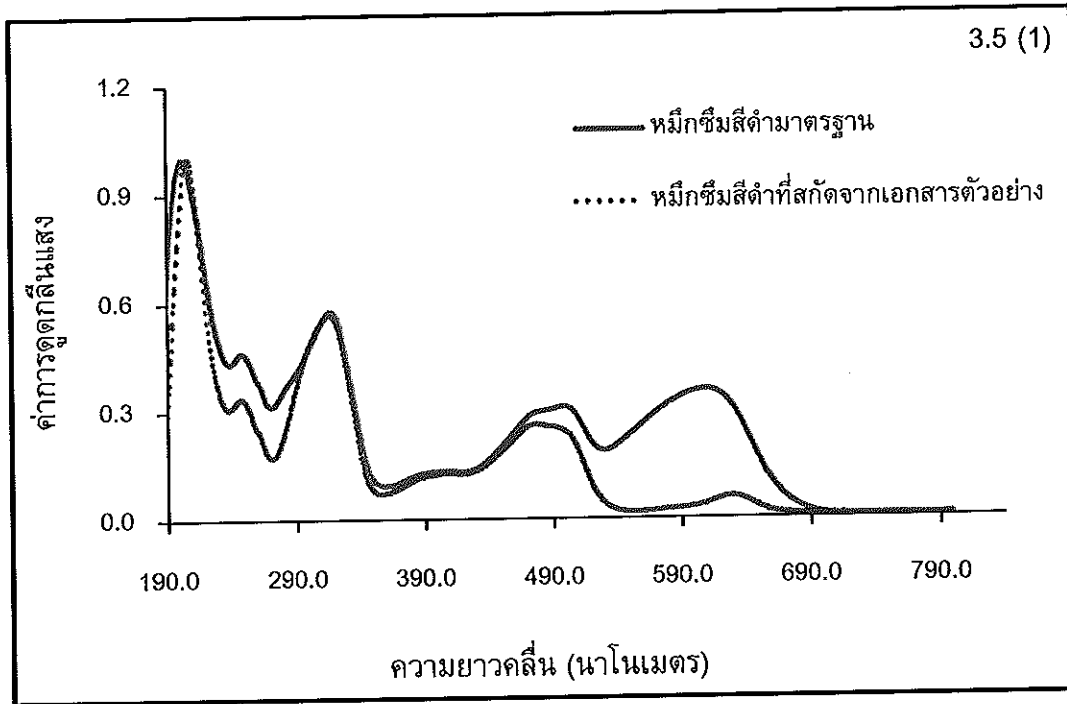
- ไอโซโพรพานอล 2 มิลลิลิตร + บอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 2 มิลลิลิตร

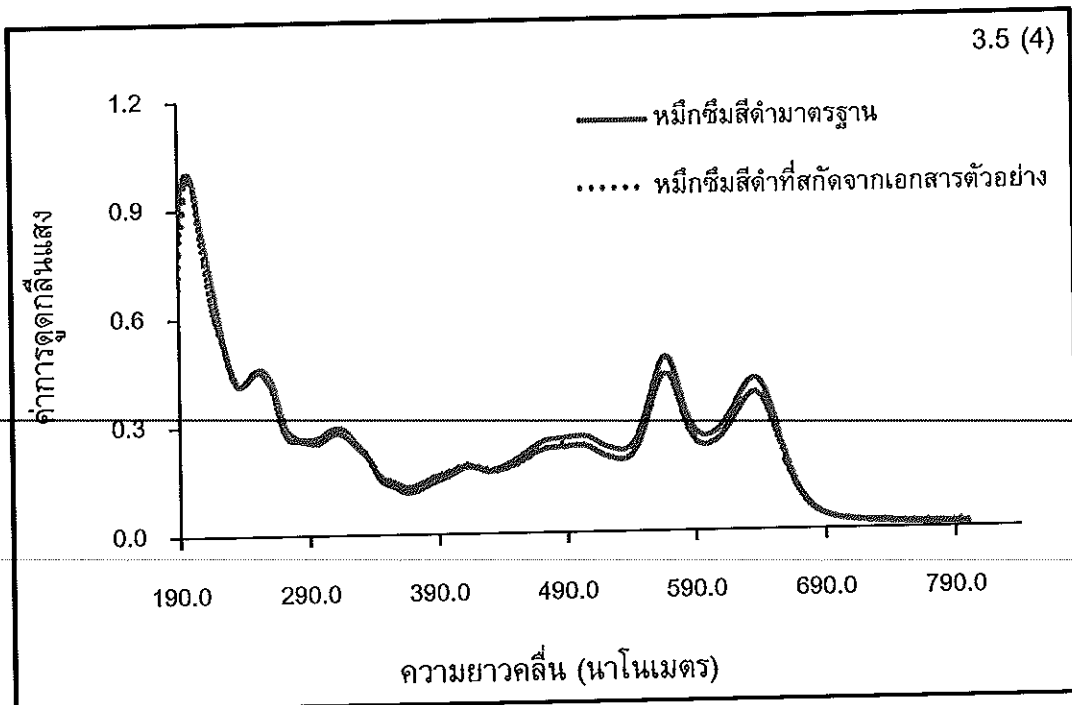
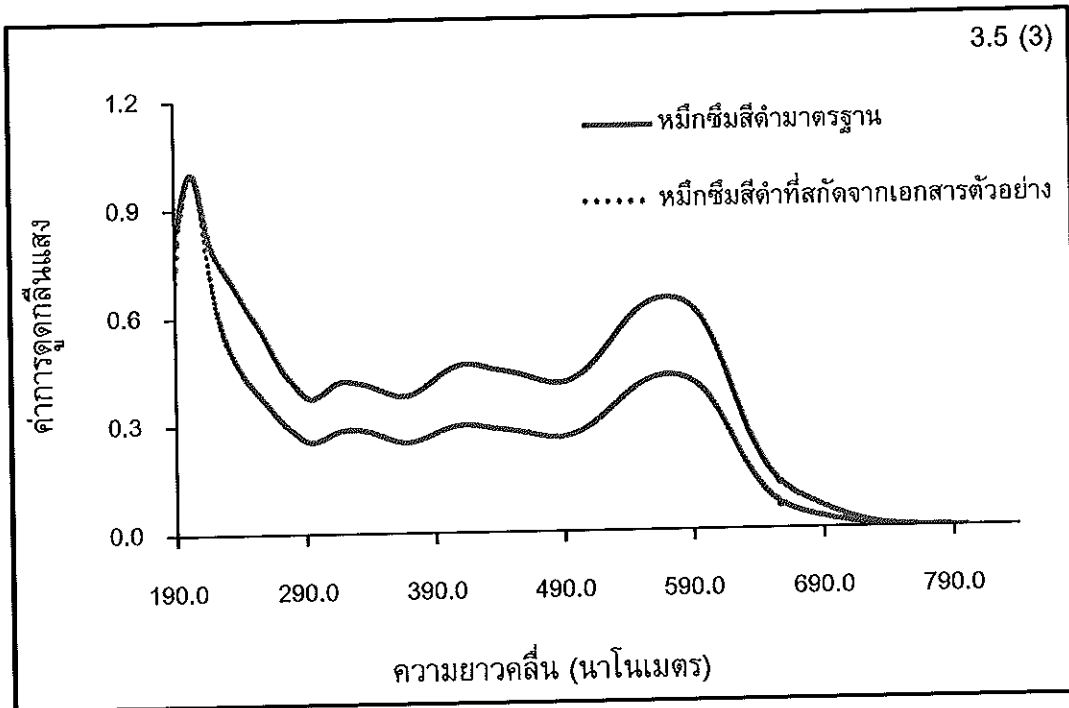
สังเกตผลที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่อหยดน้ำปราศจากไอออนลงบนลายมือชื่อหมึกซึม จะมีการกระจายตัวอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อทำการหยดซ้ำด้วย บอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 หมึกซึมยังมีการกระจายตัวเช่นเดิม เมื่อหยดเมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอลนั้นจะไม่สามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของหมึกได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อทำการหยดซ้ำด้วย บอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 หมึกซึมจะมีการกระจายตัวเกิดขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าหมึกซึมของบริษัทหลามีสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่น และถ้าใช้ตัวทำละลายเมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอลนั้น จะต้องใช้ควบคู่กับบอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 เพื่อช่วยในการละลายด้วย

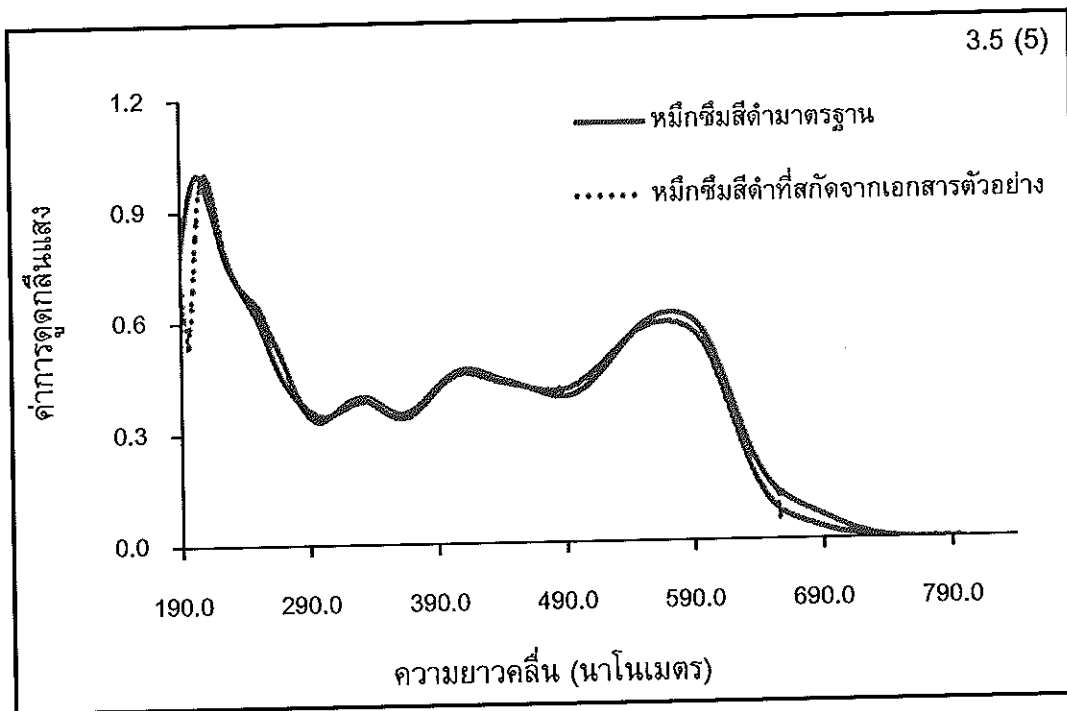
ดังนั้นจึงทำการสกัดหมึกซึมทั้ง 5 บริษัทออกจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ โดยใช้ตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิดข้างต้น พบว่าสามารถแยกรูปแบบของหมึกซึมได้ แต่จะให้ลักษณะรูปแบบของหมึกซึมที่แตกต่างจากรูปแบบของหมึกซึมมาตรฐาน

จากนั้นจึงได้ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 จากการปรับเปลี่ยนตัวทำละลาย และปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด โดยใช้ตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิดข้างต้นในการ

สกัดหมึกซีมจากกระดาษ พบว่า น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลายที่สามารถสกัดหมึกซีมจากกระดาษได้ โดยให้รูปแบบของการดูดกลืนแสงที่มีลักษณะเดียวกับหมึกซีมที่เป็นสารมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



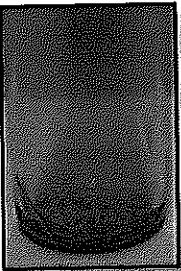
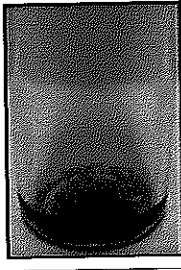
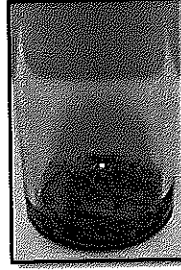

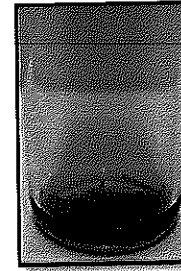




รูปที่ 3.5 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทلامي (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) เมื่อใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัด (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของหมึกซึมแต่ละบริษัทนั้นมีค่าที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากกระดาษอาจจะดูดซับความเข้มข้นของหมึกซึมไว้บางส่วน แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงของหมึกซึมทั้ง 5 บริษัทยังมีลักษณะรูปร่าง และพีคหลักเหมือนเดิม แสดงให้เห็นว่าน้ำปราศจากไอออนสามารถสกัดหมึกซึมออกจากกระดาษได้ และในการสกัดสามารถแยกชนิดของหมึกซึมสีดำของแต่ละบริษัทได้เบื้องต้น โดยการสังเกตสีของสารละลายที่ได้จากการสกัด ซึ่งหมึกซึมของแต่ละบริษัทจะให้สีของสารละลายแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

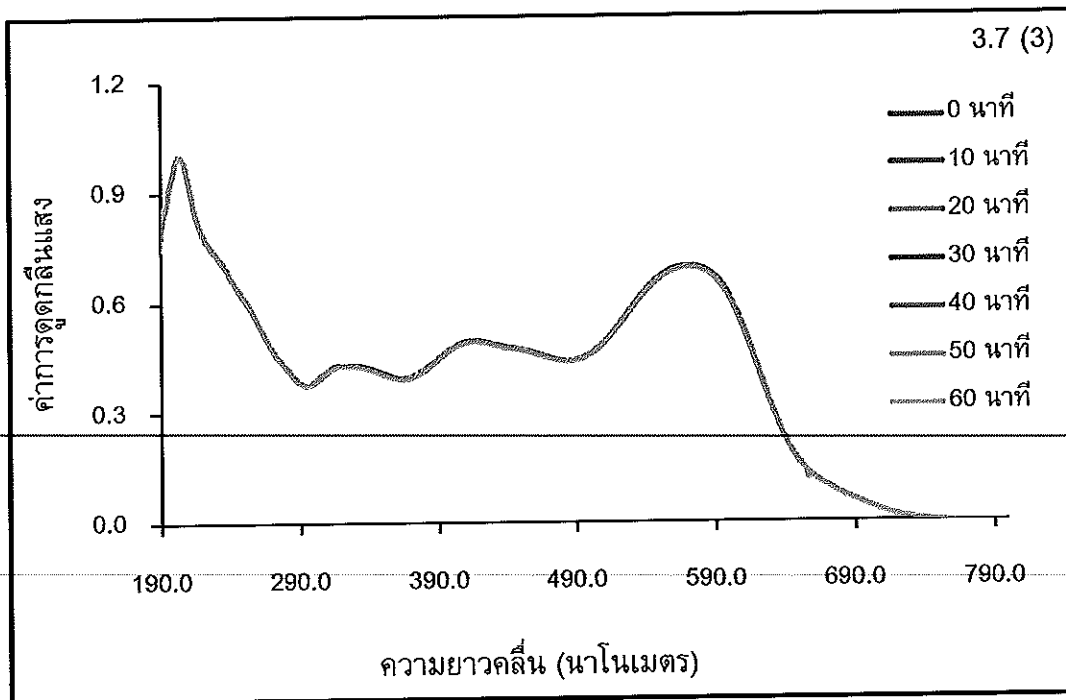
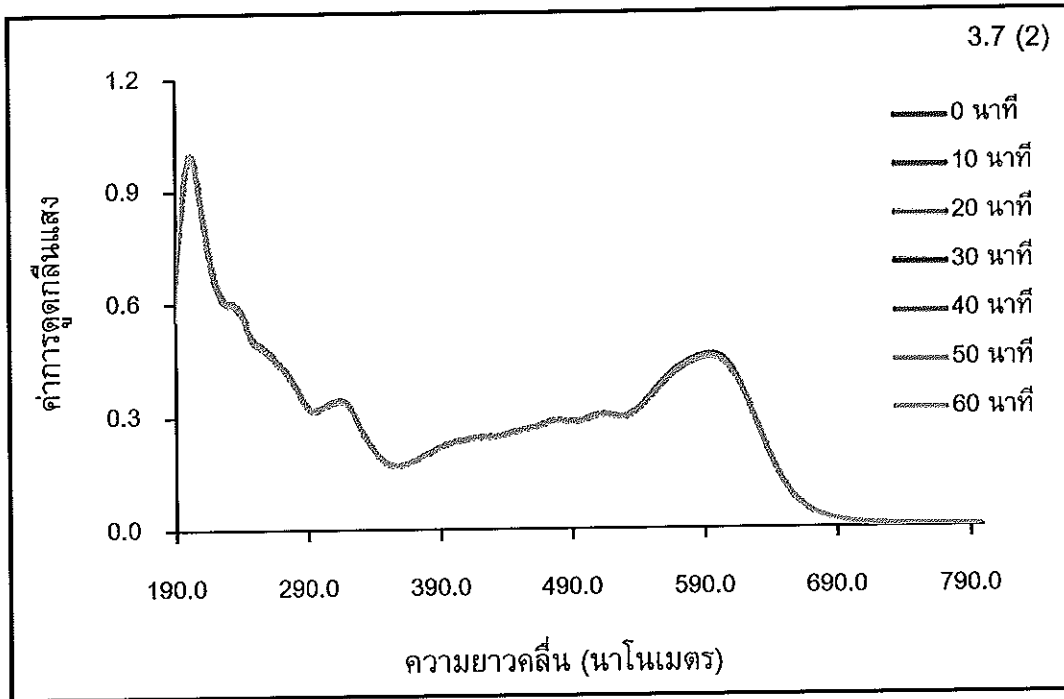
ตารางที่ 3.3 สีของสารละลายที่ได้จากการสกัดหมึกซีมของบริษัทลามี่ ปาร์คเกอร์ ฟีลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ออกจากกระดาษ โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัด

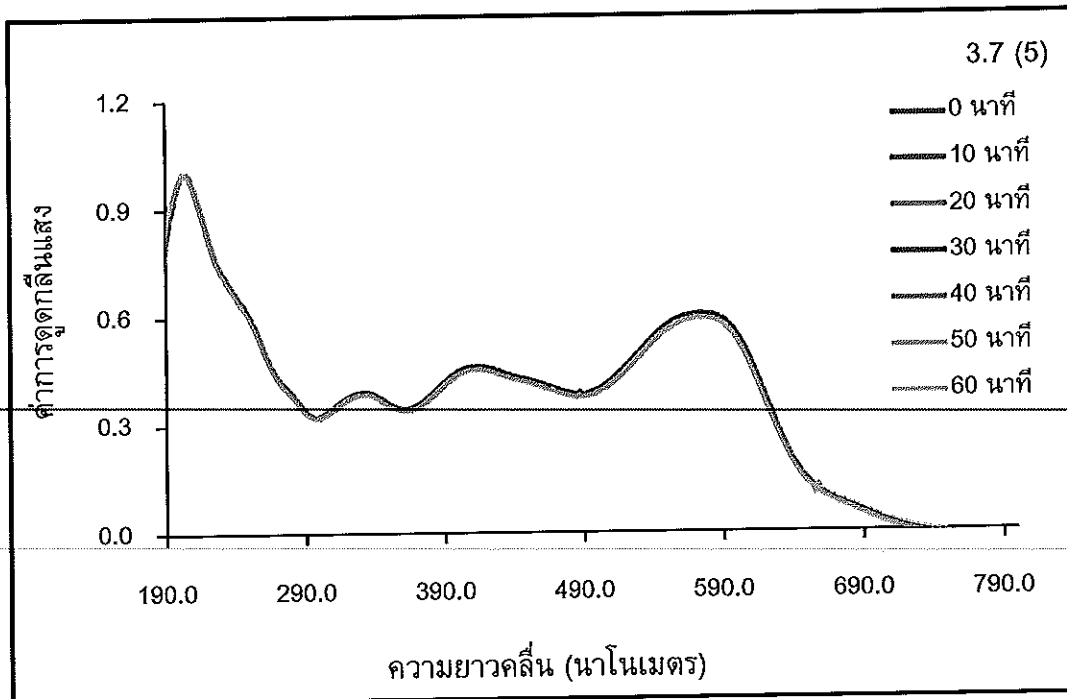
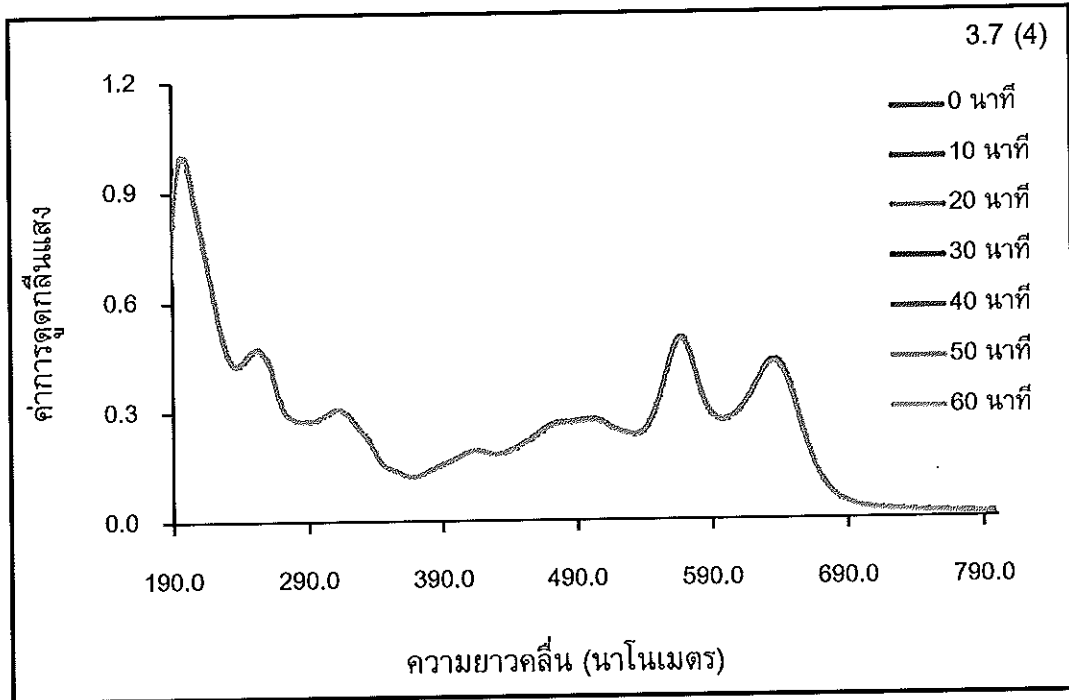
บริษัทผู้ผลิตหมึกซีม	ภาพของสารละลายที่ได้จากการสกัด	สีของสารละลายที่ได้จากการสกัด
ลามี่		เหลือง
ปาร์คเกอร์		น้ำตาลอมเขียว
ฟีลิแกน		ม่วงอ่อนมาก
ไพลอต		ม่วงอ่อน
เซฟเฟอร์		ม่วงเข้ม

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.3 จะเห็นว่าสีของสารละลายของหมึกซีมีสีดำบริษัท ลามี ปาร์คเกอร์ และเซฟเฟอร์ มีสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนบริษัทฟีลิแกน และไพลอด จะให้สีของสารละลายที่ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถใช้สีของสารละลายในการบ่งชี้เบื้องต้นได้ว่า หมึกที่ใช้ในการเขียนเอกสารนั้นน่าจะเป็นหมึกซีมีสีดำของบริษัทใด ก่อนที่จะนำไปยืนยันผล ด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และเทคนิคทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟี

3.2.1.2 เวลาที่ใช้ในการสกัด

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัด จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด ดังนั้นจึงศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดด้วยเทคนิคโซนิเคชัน (sonication) ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน ดังนี้ 0 15 30 และ 60 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 190-800 นาโนเมตร โดยในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง จากนั้นเลือกความยาวคลื่นมา 1 ตำแหน่ง ที่หมึกซีมีทั้ง 5 บริษัทให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ ความยาวคลื่นที่ 317 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวมาพล็อตกราฟ พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีมีสีดำทั้ง 5 บริษัทก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จนถึงเวลาสกัดที่ 15 นาที หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีมีสีดำ 4 บริษัท คือ บริษัท ลามี ปาร์คเกอร์ ไพลอด และเซฟเฟอร์จะมีค่าลดลง ส่วนบริษัทฟีลิแกนหลังจากการ sonicate เป็นเวลา 15 นาที ค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีมีสีดำจะลดลงจนถึงเวลาสกัดที่ 30 นาที จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีมีสีดำกลับเพิ่มขึ้นจนเมื่อใช้เวลาในการสกัด 60 นาที ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อเวลาในการสกัดมากกว่า 15 นาที อาจจะทำให้องค์ประกอบบางชนิดในหมึกซีมี สลายไปได้ ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นจึงเลือกการสกัดโดยการ sonicate เป็นเวลา 15 นาที เป็น เวลาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงทั้ง 5 บริษัท ดังแสดงในรูปที่ 3.6





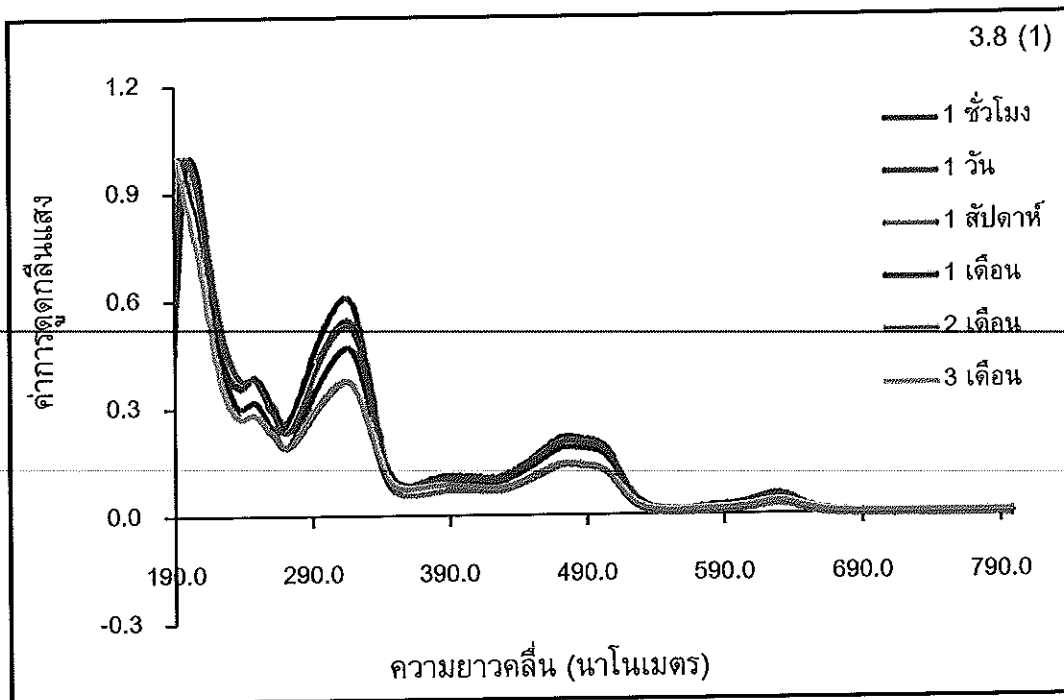
รูปที่ 3.7 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่เวลาต่างๆ

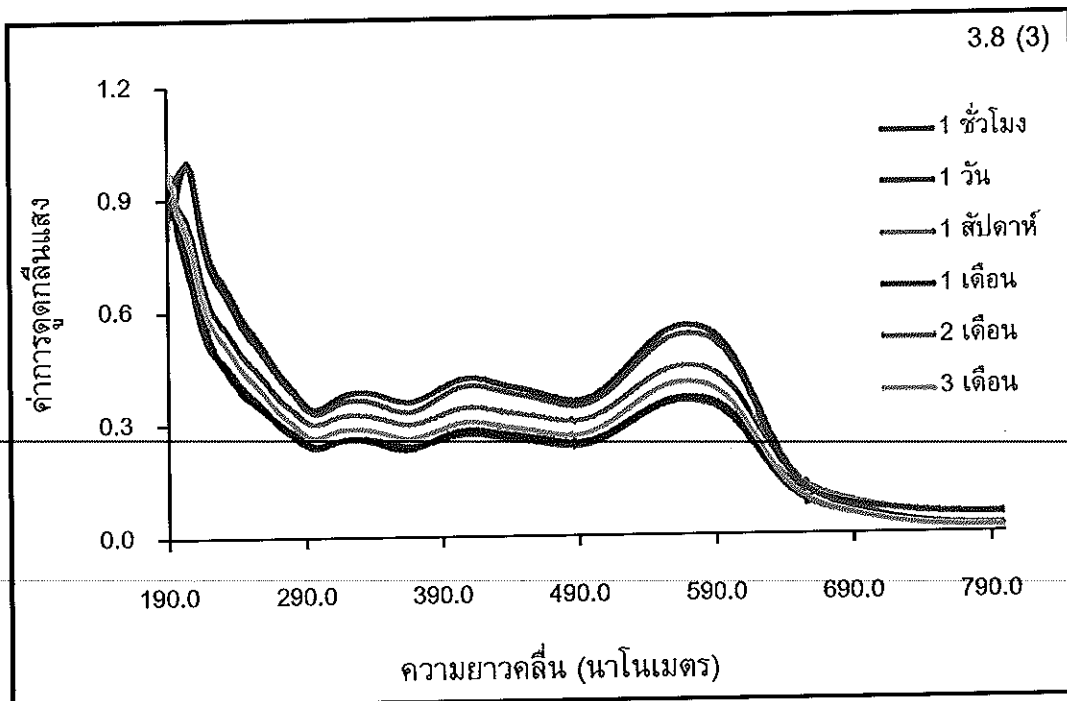
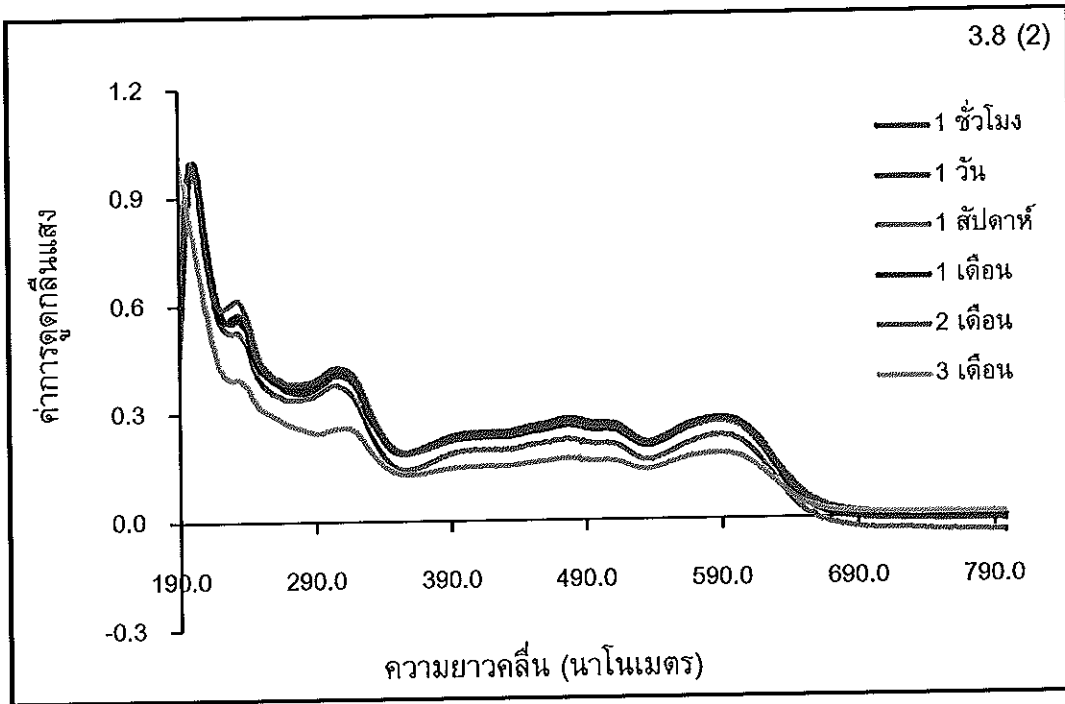
จากผลการทดลองในรูปที่ 3.7 พบว่ารูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึมในแต่ละบริษัทมีลักษณะเหมือนกัน และให้ค่าการดูดแสงที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบที่อยู่ในหมึกซึมของทั้ง 5 บริษัท ไม่มีการระเหยสูญหายไปในช่วงทำการทดลอง (ภายใน 60 นาที) และในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เวลาไม่เกิน 60 นาที ทำให้การศึกษาเสถียรภาพขององค์ประกอบของหมึกซึมสีดำจึงศึกษาในระยะเวลาไม่เกิน 60 นาที

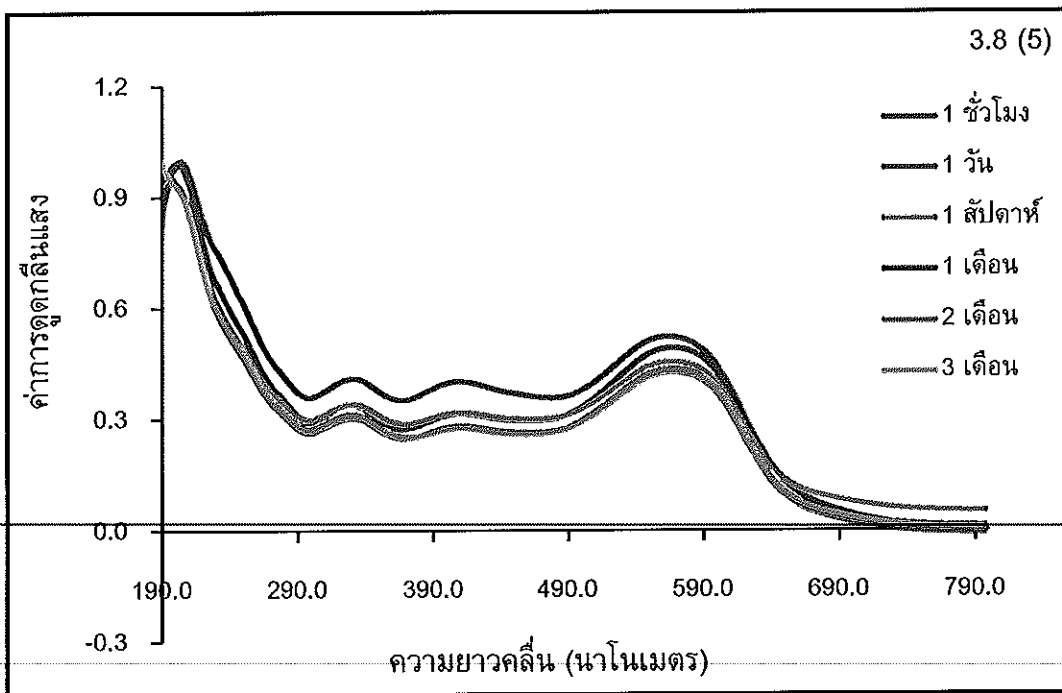
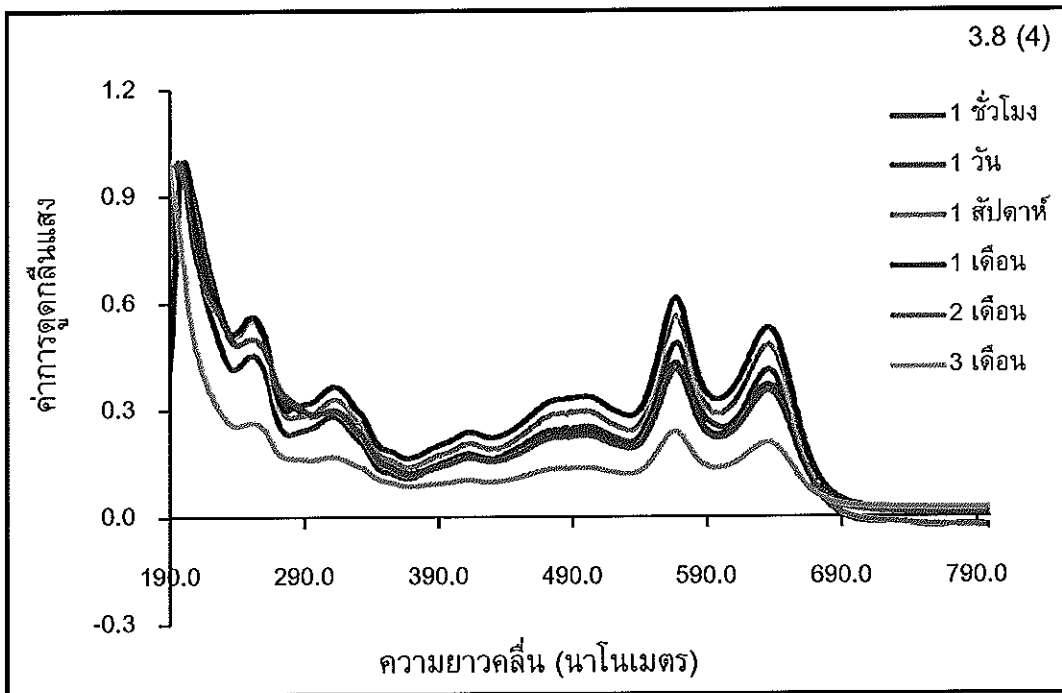
3.4 ผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำ

3.4.1 เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึม จะทำการศึกษาโดยใช้กระดาษ 8 ชนิด คือ กระดาษไบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย ธนาคารกรุงไทย ธนาคารไทยพาณิชย์ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU โดยจะศึกษาระยะเวลาที่เขียนลายมือชื่อลงบนกระดาษต่างๆ แล้วเก็บไว้ในแฟ้มเอกสาร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ซึ่งให้ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.8







รูปที่ 3.8 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี่ (1) ปาร์ตเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสาร ตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซีม สีดำบริษัทต่างๆ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงิน ของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ ด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี พบว่าสามารถตรวจวัดค่า การดูดกลืนแสงของหมึกซีมสีดำได้ในระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่ เท่ากัน ณ เวลาต่างๆ เนื่องจากจากกระดาษแต่ละชนิดอาจมีองค์ประกอบหรือสารเคมีที่แตกต่าง กัน และการเขียนลายมือชื่อทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ อาจทำให้องค์ประกอบบางชนิดในหมึกซีม เปลี่ยนแปลงไปได้ เนื่องจากสภาวะแวดล้อม เช่น แสงแดด อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น (กิตติขจร, 2496) ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีมสีดำบริษัทเดียวกันที่เขียนทิ้งไว้ที่เวลา ต่างๆ มีค่าการดูดกลืนแสงไม่เท่ากัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ One Way ANOVA เพื่อศึกษาว่าสามารถใช้ค่าการดูดกลืนแสงดังกล่าวในการประมาณเวลาของการเขียน เอกสารได้หรือไม่ โดยเลือกความยาวคลื่นมา 3 ตำแหน่งที่หมึกซีมสีดำทั้ง 5 บริษัทให้ค่าการ ดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ ความยาวคลื่นที่ 317 415 และ 567 นาโนเมตร จาก การทดสอบคุณสมบัติของข้อมูล พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติทุกกลุ่ม และมีความ แปรปรวนเท่ากัน ใช้สถิติทดสอบ คือ Kolmogorov-Smirnov Test จากการวิเคราะห์ One Way ANOVA จะให้ค่าการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.4-3.18

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี ที่ สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.003	5	0.401	173.538	< 0.01
Within Groups	0.125	54	0.002		
Total	2.128	59			

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี ที่ สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.684	5	0.337	85.509	< 0.01
Within Groups	0.213	54	0.004		
Total	1.896	59			

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.409	5	2.282	22.419	< 0.01
Within Groups	5.191	51	0.102		
Total	16.599	56			

ตารางที่ 3.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.067	5	0.213	194.206	< 0.01
Within Groups	0.059	54	0.001		
Total	1.126	59			

ตารางที่ 3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.750	5	0.350	155.025	< 0.01
Within Groups	0.122	54	0.002		
Total	1.872	59			

ตารางที่ 3.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.415	5	0.283	110.082	< 0.01
Within Groups	0.139	54	0.003		
Total	1.554	59			

ตารางที่ 3.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟีลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.345	5	0.269	69.934	< 0.01
Within Groups	0.208	54	0.004		
Total	1.553	59			

ตารางที่ 3.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟีลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.654	5	0.331	104.680	< 0.01
Within Groups	0.171	54	0.003		
Total	1.825	59			

ตารางที่ 3.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.751	5	0.350	203.449	< 0.01
Within Groups	0.093	54	0.002		
Total	1.844	59			

ตารางที่ 3.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.588	5	0.718	224.823	< 0.01
Within Groups	0.172	54	0.003		
Total	3.760	59			

ตารางที่ 3.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.935	5	0.787	146.486	< 0.01
Within Groups	0.290	54	0.005		
Total	4.225	59			

ตารางที่ 3.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึ่มสีดำบริษัท ไพลอด ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.500	5	1.100	195.700	< 0.01
Within Groups	0.304	54	0.006		
Total	5.804	59			

ตารางที่ 3.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึ่มสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.612	5	0.122	46.950	< 0.01
Within Groups	0.141	54	0.003		
Total	0.752	59			

ตารางที่ 3.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึ่มสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

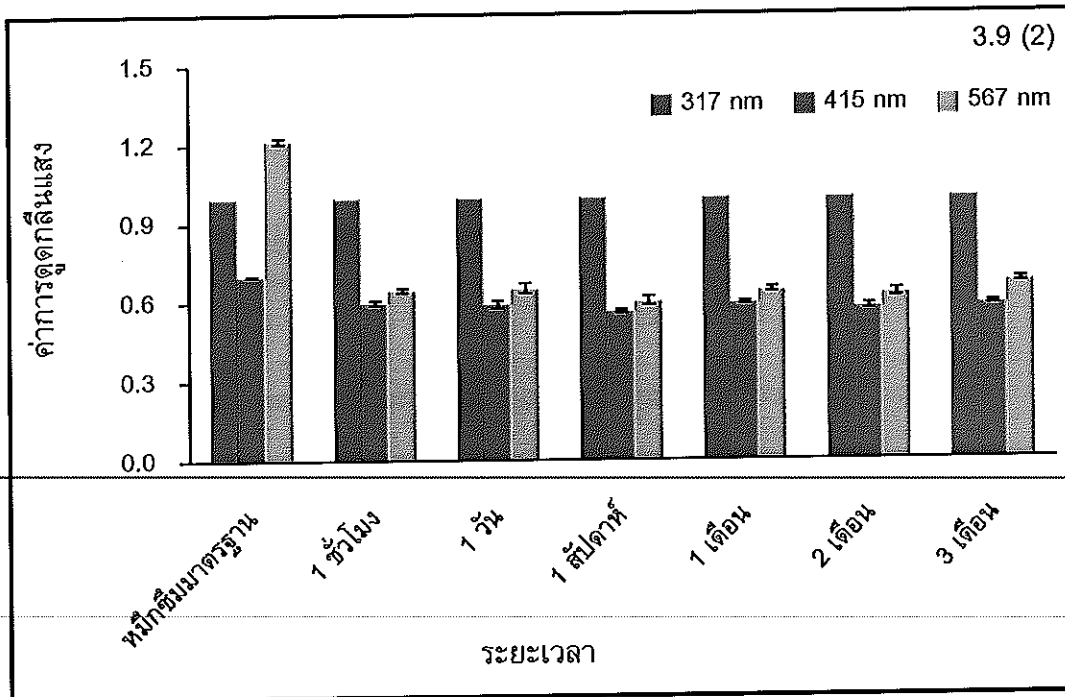
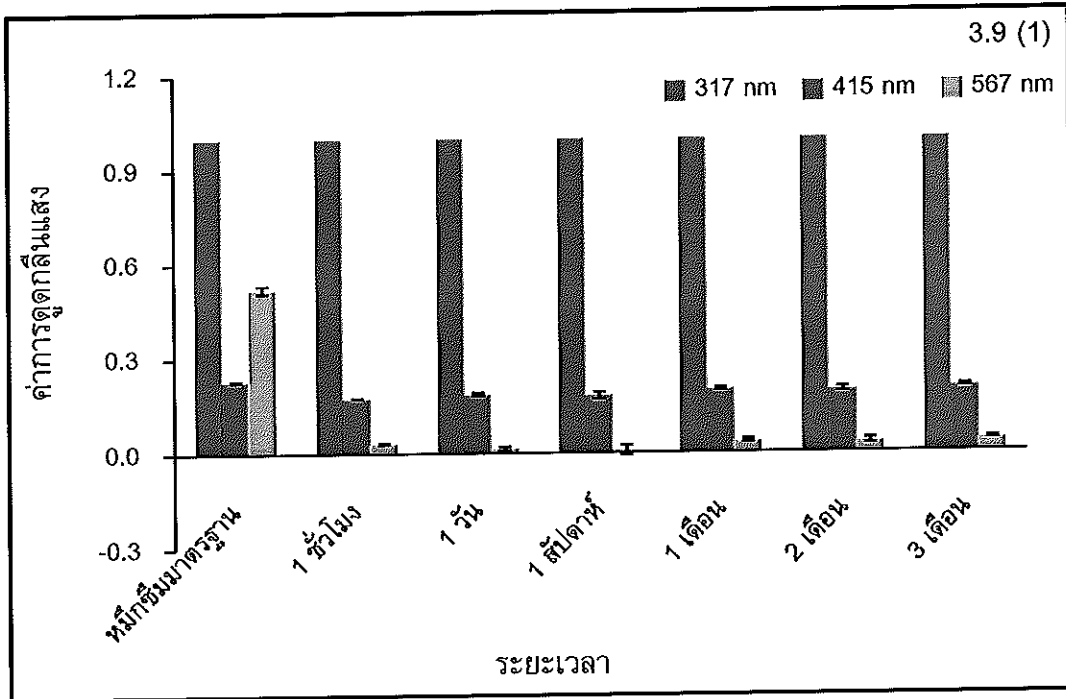
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.021	5	0.204	64.734	< 0.01
Within Groups	0.170	54	0.003		
Total	1.191	59			

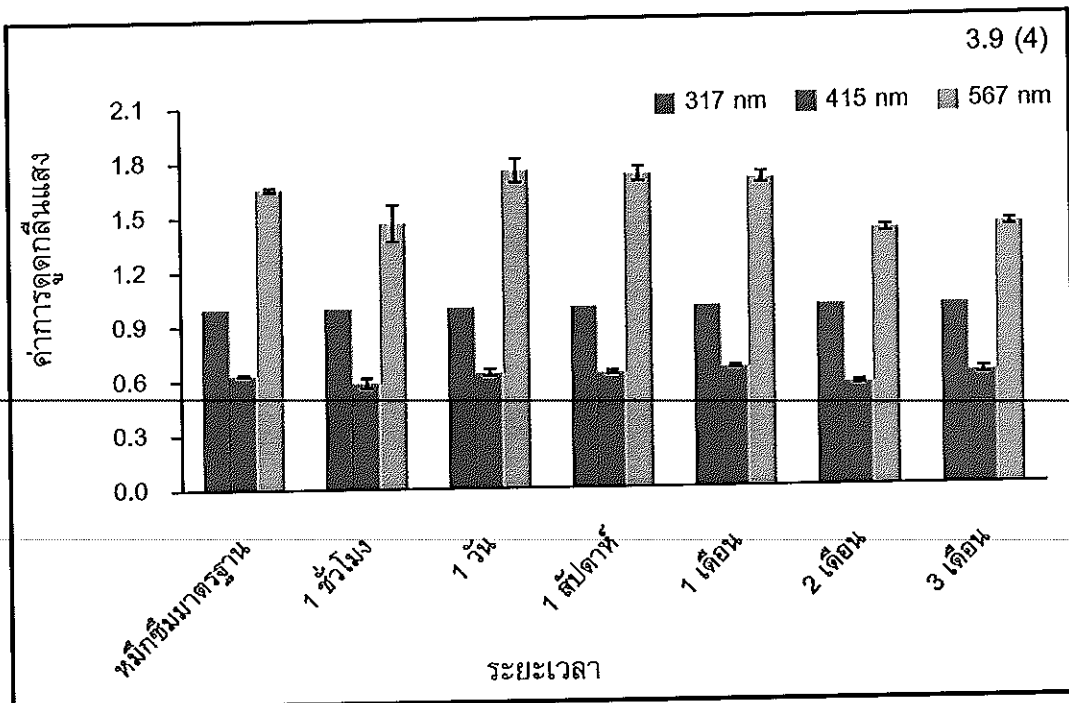
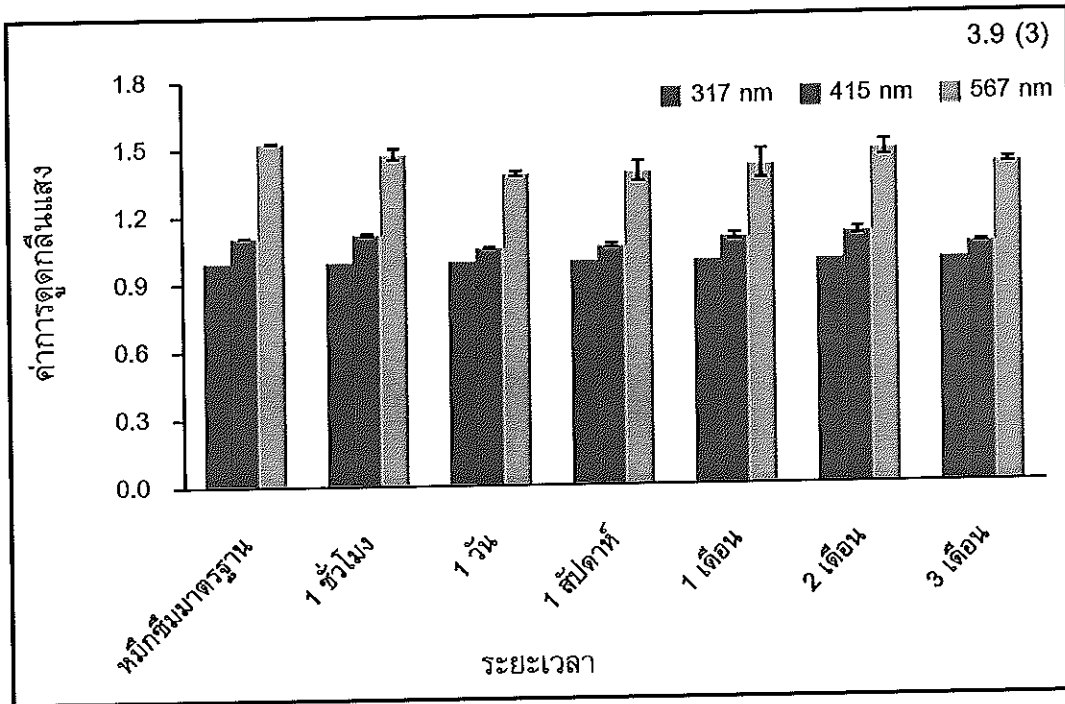
ตารางที่ 3.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

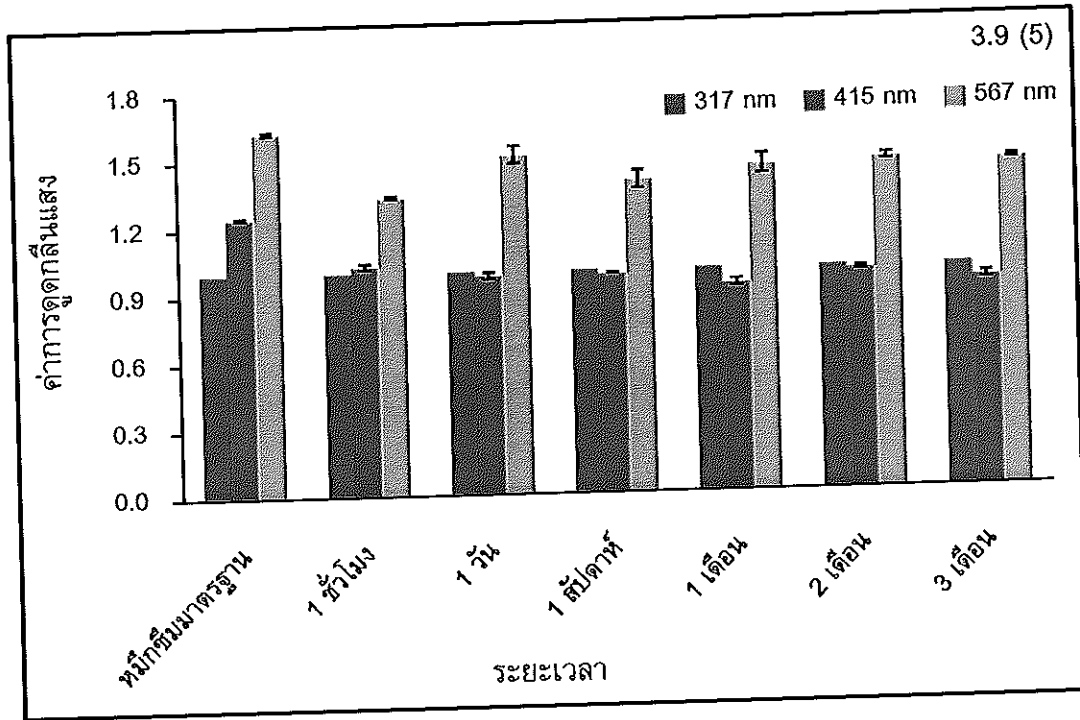
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.327	5	0.065	52.049	< 0.01
Within Groups	0.068	54	0.001		
Total	0.395	59			

จากผลการวิเคราะห์ One Way ANOVA ในตารางที่ 3.4-3.18 จะทำการพิจารณาค่าในคอลัมน์ Sig. จะเห็นว่าค่าในคอลัมน์ Sig. ทุกตารางมีค่าน้อยกว่า 0.01 ซึ่งแสดงว่าค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีม ณ เวลาต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Sig. < 0.01) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีม แต่อย่างไรก็ตามลักษณะรูปแบบการดูดกลืนแสงที่ได้ของแต่ละบริษัทยังเหมือนเดิม จึงทำให้สามารถบ่งชี้เชิงคุณภาพได้ว่าหมึกซีมที่ใช้เป็นหมึกซีมชนิดเดียวกันหรือไม่ หรือผลิตจากบริษัทใด แต่ไม่สามารถใช้ประมาณเวลาที่ใช้ในการเขียนเอกสารได้ โดยผลที่ได้จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซีมสีดำทั้ง 5 บริษัทในกระดาษอีก 7 ชนิด คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU ในระยะเวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน แสดงไว้ในภาคผนวก ก และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ One Way ANOVA แสดงไว้ในภาคผนวก ข

เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์ความแตกต่างของหมึกซีมแต่ละบริษัท จึงทำการเลือกความยาวคลื่นมา 3 ตำแหน่งที่หมึกซีมทั้ง 5 บริษัทให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ ความยาวคลื่นที่ 317 415 และ 567 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวของหมึกซีมทุกบริษัทมาพล็อตข้อมูลในรูปของกราฟแท่ง โดยกำหนดให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร มีค่าเป็น 1 เพื่อให้การเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9





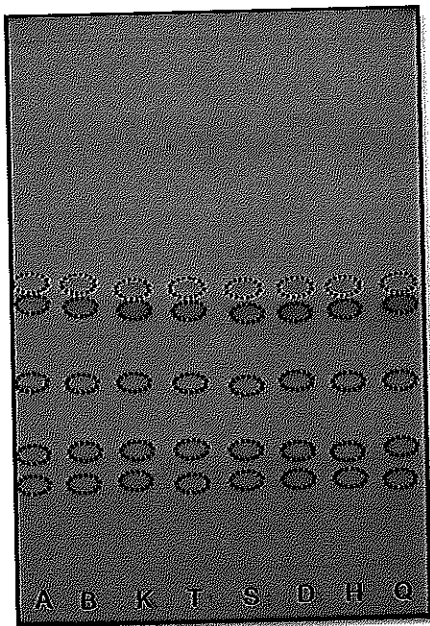


รูปที่ 3.9 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเมนต์ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

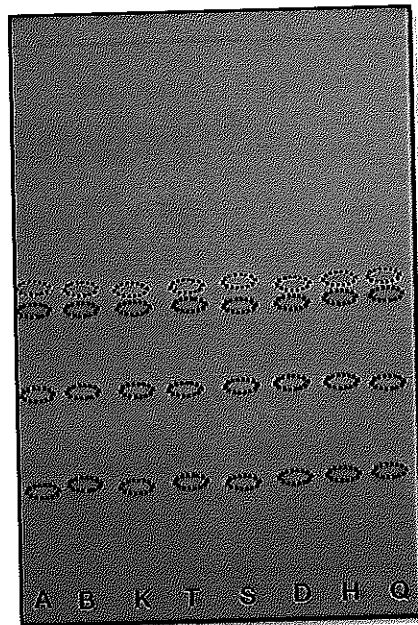
จากรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่ารูปแบบของกราฟแท่งหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทลามี จะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจากความยาวคลื่น 567 415 และ 317 นาโนเมตร รูปแบบของกราฟแท่งหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทปาร์คเกอร์ จะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจากความยาวคลื่น 415 567 และ 317 นาโนเมตร รูปแบบของกราฟแท่งหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทฟิลิแกน จะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับที่ความยาวคลื่นจาก 317 415 และ 567 นาโนเมตร รูปแบบของกราฟแท่งหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทไพลอต จะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจากความยาวคลื่น 415 317 และ 567 นาโนเมตร ส่วนรูปแบบของกราฟแท่งหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทเซฟเฟอร์ มีลักษณะที่ไม่แน่นอน จากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้ไม่สามารถใช้รูปแบบของกราฟแท่งในการบ่งชี้ว่าหมึกซีเมนต์ที่ใช้เป็นหมึกซีเมนต์ชนิดเดียวกันหรือไม่ หรือผลิตจากบริษัทใด เนื่องจากไม่สามารถบอกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เช่นเดียวกันกับการศึกษาในกระดาษอีก 7 ชนิด คือ กระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU ในระยะเวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.4.2 เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

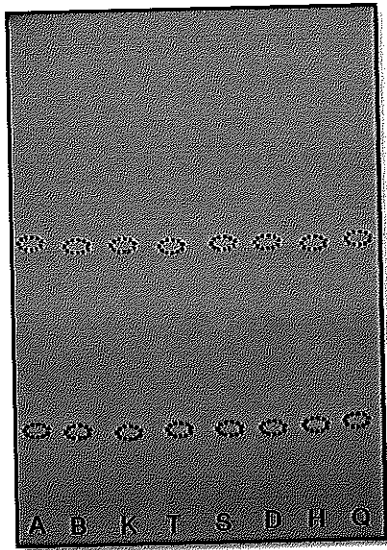
จากการศึกษารูปแบบของหมึกซีมสีดำโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปีพบว่าไม่สามารถแยกรูปแบบของหมึกซีมได้ทั้ง 5 บริษัท ทำให้ต้องมีการศึกษาด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 32 ± 1 องศาเซลเซียส เฟสคงที่ที่ใช้ คือ Silica gel 60 ชนิด normal phase (แบบมีขี้วัว) เฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายผสมระหว่างปิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร จากนั้นทำการหาอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับหรือค่า R_f พบว่าหมึกซีมสีดำของแต่ละบริษัทจะให้รูปแบบค่า R_f และลักษณะของจุดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.10



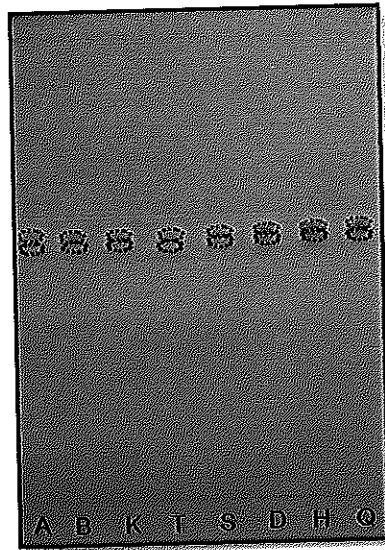
หมึกซีมบริษัทลามี



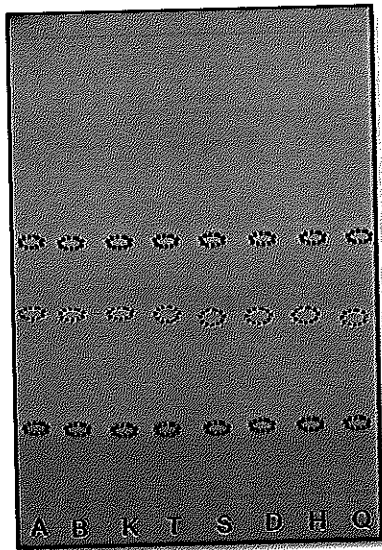
หมึกซีมบริษัทปาร์คเกอร์



หมึกซึมบริษัทฟิลิแกน



หมึกซึมบริษัทไพลอต



หมึกซึมบริษัทเซฟเฟอร์

รูปที่ 3.10 ลักษณะของจุดของหมึกซึมที่สกัดได้จากกระดาษทั้ง 8 ชนิด โดยที่ A คือ กระดาษใบ
 ถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา B คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ K คือ
 กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย T คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย S คือ
 กระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ D คือ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A H คือ
 กระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU และ Q คือ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าจุดของหมึกซีมที่สกัดได้จากกระดาษทั้ง 8 ชนิด จะมีจำนวนจุดที่น้อยกว่าจุดของหมึกซีมมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบบางตัวในหมึกซีมอาจจะถูกดูดซับไว้บนกระดาษ ทำให้สกัดออกมาไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงจุดหลักไว้ ซึ่งสามารถใช้ในการแยกรูปแบบของหมึกซีมได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 3.19 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซีมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอด และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษไปถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.22 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.21 ± 0.01
	2	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.00	0.27 ± 0.02
	3	0.36 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.41 ± 0.02
	4	0.51 ± 0.02	0.51 ± 0.02	0.53 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.57 ± 0.02
	5	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.57 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.61 ± 0.03
	1	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01
ปาร์คเกอร์	2	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	3	0.54 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.52 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.51 ± 0.01	0.50 ± 0.01
	4	0.57 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01

ตารางที่ 3.19 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ (ต่อ)

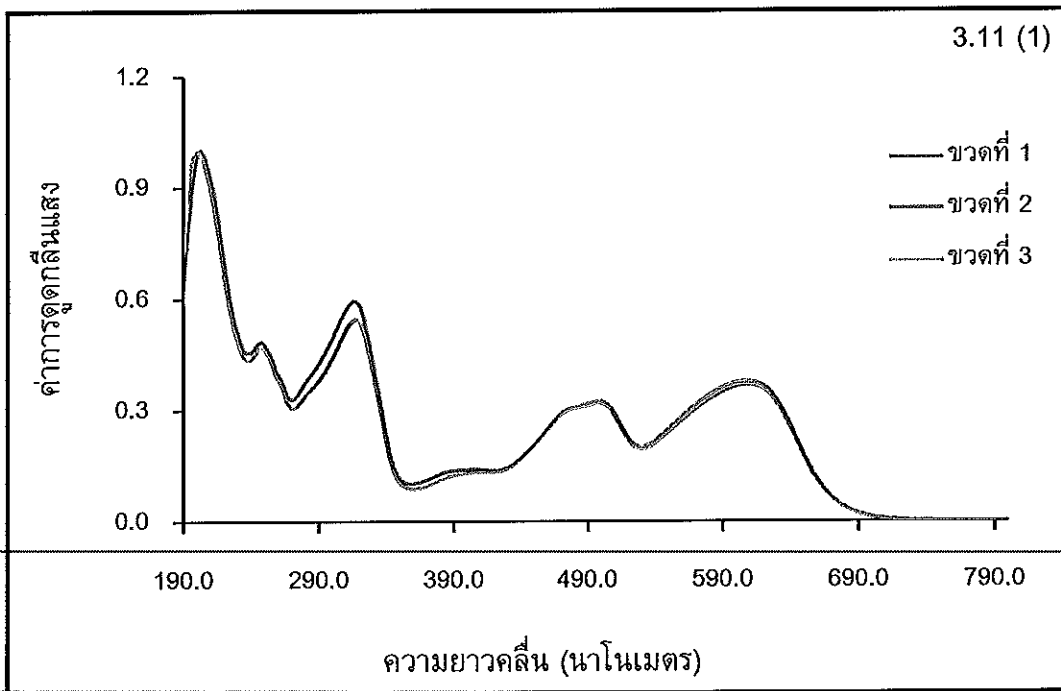
บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ฟิลิแกน	1	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-	-
	2	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.61 ± 0.02
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.57 ± 0.01
	3	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.42 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.44 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.42 ± 0.01
	3	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.59 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01

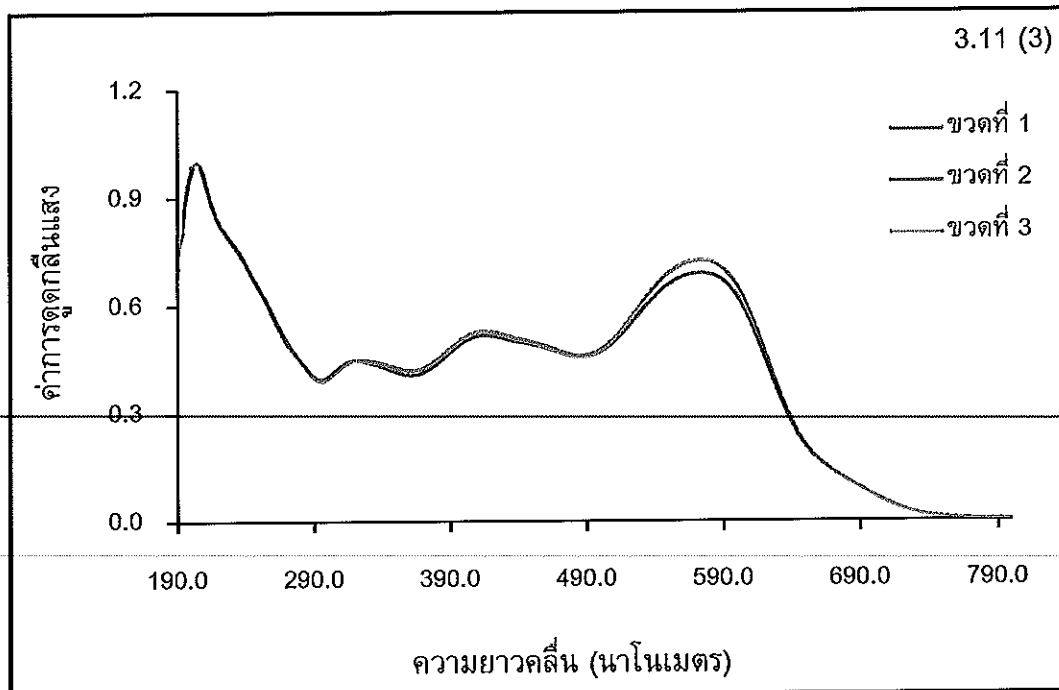
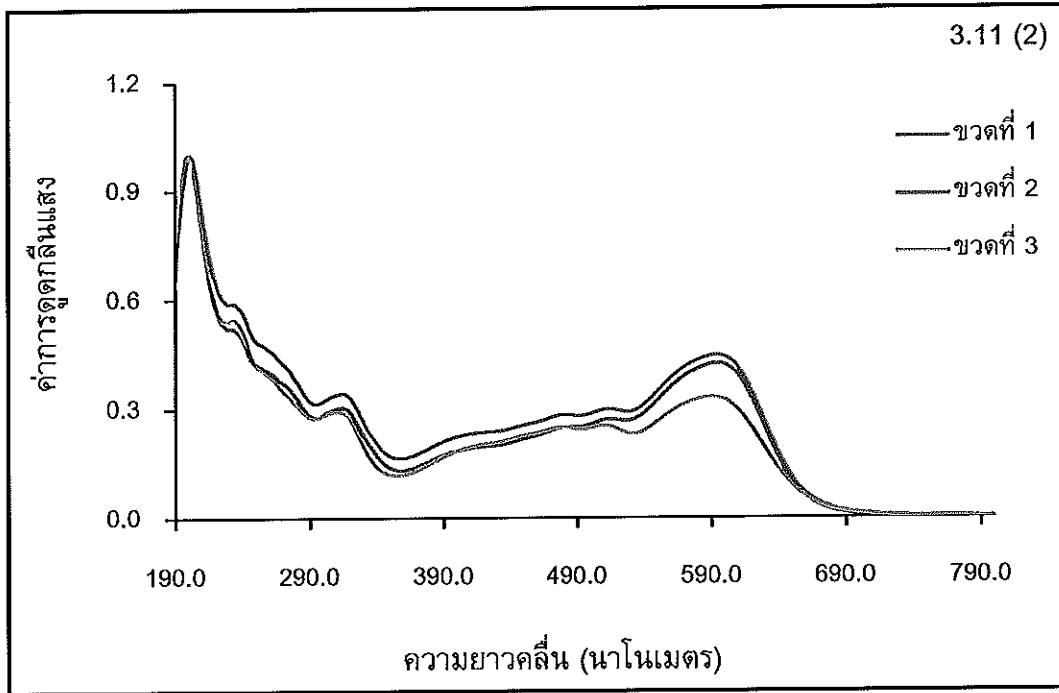
จากตารางที่ 3.19 จะเห็นว่าค่า R_f ของหมึกซึมทั้ง 5 บริษัทที่วัดได้มีค่าเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน แสดงว่าองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในหมึกซึมแต่ละบริษัทเหมือนกัน แม้เวลาที่เอกสารวางทิ้งไว้เพิ่มขึ้น จึงสามารถใช้ในการบ่งชี้บริษัทผู้ผลิตได้ แต่เมื่อเขียนทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ หมึกซึมบางบริษัทจะมีจุดบางจุดที่มองไม่เห็น หรือหายไป ได้แก่ เมื่อเขียนลายมือชื่อด้วยหมึกซึมบริษัทฟิลิแกน แล้วเก็บไว้เป็นเวลา 2 และ 3 เดือน จะไม่สามารถวัดค่า R_f ของจุดที่ 1 ได้ และหมึกซึมของบริษัทไพลอต จะไม่สามารถวัดค่า R_f ของจุดที่ 1 ได้ เมื่อเก็บไว้ 1 วันขึ้นไป เช่นเดียวกันกับการศึกษาในกระดาษอีก 7 ชนิด คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A,

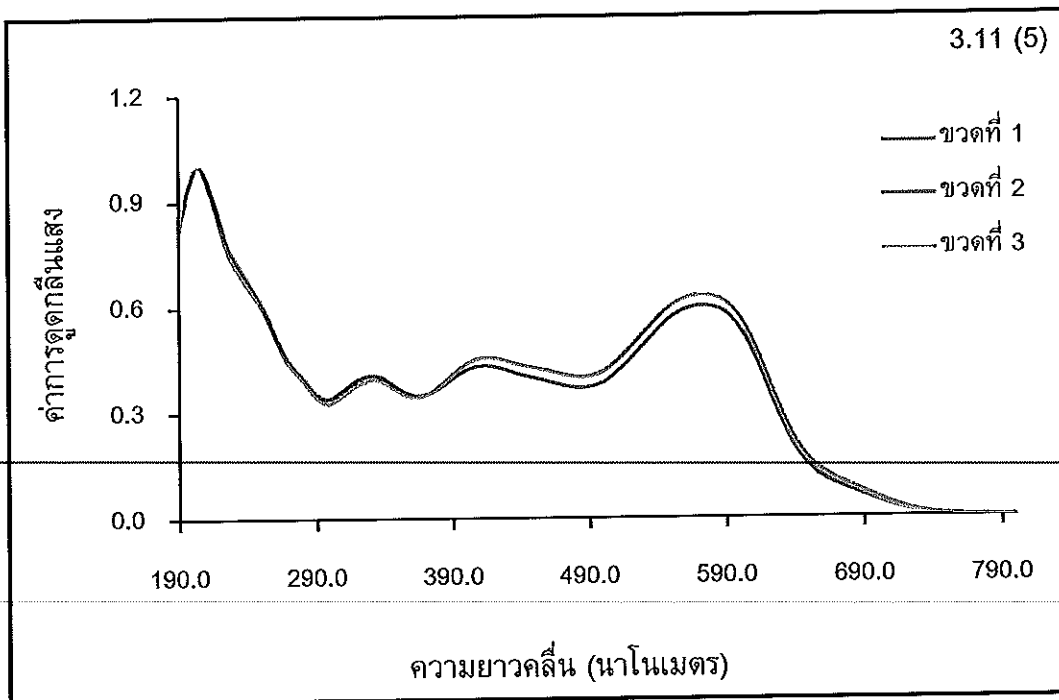
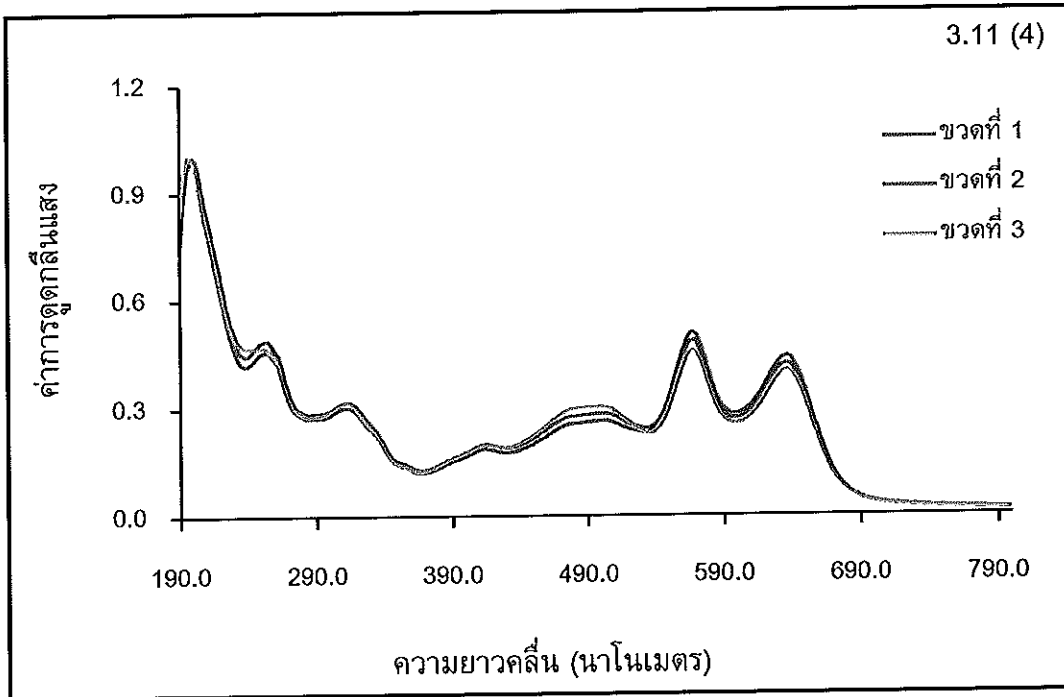
Quality, และ SHIS-TZU ในระยะเวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน แสดงไว้ในภาคผนวก ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อม เช่น แสงแดด อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น ซึ่งทำให้องค์ประกอบบางชนิดในหมึกซึมเปลี่ยนแปลงไป หรืออาจเกิดจากสารบางชนิดที่มีอยู่ในกระดาษสามารถเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมแต่ละบริษัทได้ (กิตติขจร, 2496)

3.5 ศึกษาความสม่ำเสมอ/คงที่ (consistency)

ศึกษาความสม่ำเสมอ/คงที่ของรูปแบบหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดหรืออายุของหมึกซึมจะสามารถตรวจวัดรูปแบบหมึกซึมสีดำได้เหมือนเดิมหรือไม่ เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะใช้หมึกซึมต่างขนาดกันบริษัทละ 3 ขนาด จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึมต่างขนาดกันก็จะให้ลักษณะของรูปแบบการดูดกลืนแสงที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11







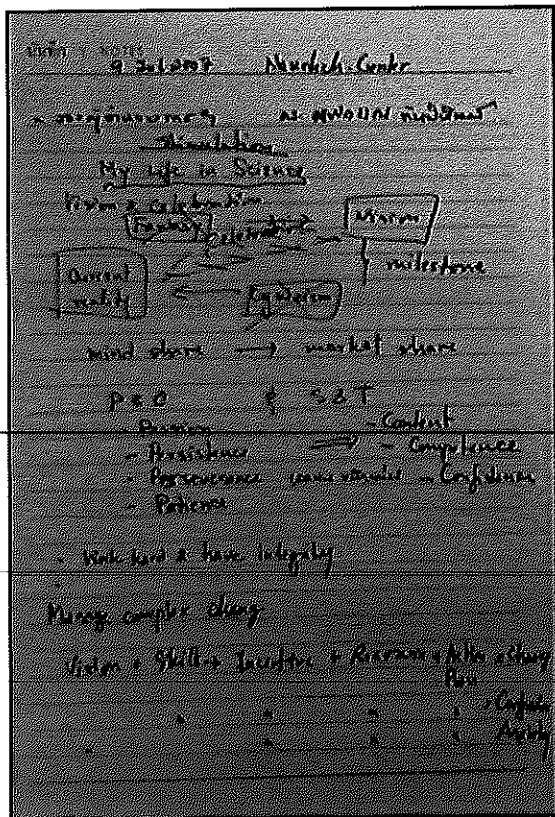
รูปที่ 3.11 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีเมนต์ดำของบริษัท ลามี่ (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

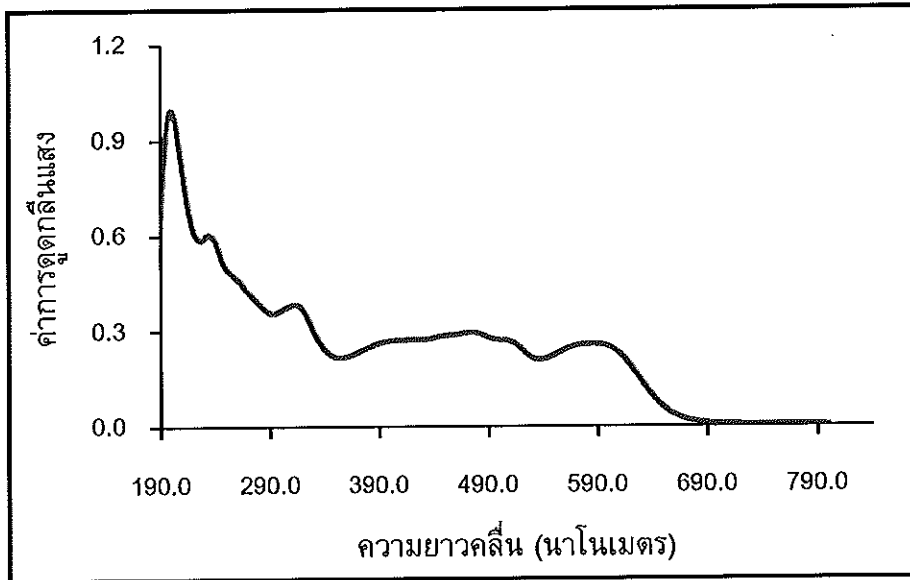
จากรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากหมึกซึมทั้ง 3 ชนิด ของแต่ละบริษัทจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน แต่รูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึมแต่ละบริษัทนั้นมีลักษณะที่เหมือนเดิม แสดงว่าองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในหมึกซึมของแต่ละบริษัทเหมือนเดิม แต่อาจจะเติมลงไปปริมาณที่ไม่เท่ากันในแต่ละครั้งของการผลิต ดังนั้นจึงสามารถใช้รูปแบบการดูดกลืนแสงดังกล่าวนี้ในการบ่งชี้เชิงคุณภาพว่าหมึกซึมนั้นๆ ผลิตจากบริษัทไหนได้

3.6 ศึกษาตัวอย่างจริง

ตัวอย่างจริงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้หมึกซึมสีดำที่เขียนไว้บนกระดาษชนิดต่างๆ 3 ชนิด คือ หมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว หมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว และหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4 ซึ่งจะทำการศึกษาโดยเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟี ในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวนตัวอย่างละ 5 ครั้ง ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดง

ตัวอย่างที่ 1 หมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว



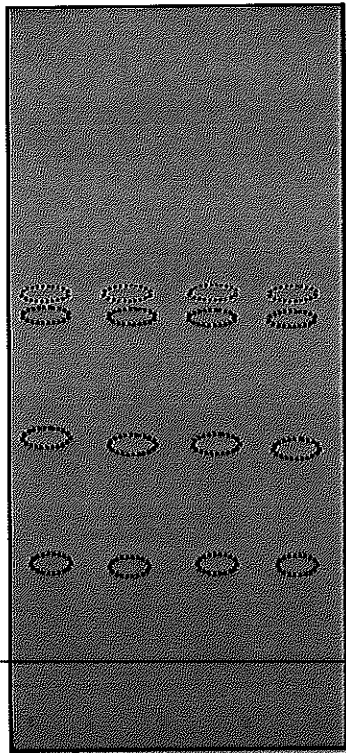


รูปที่ 3.12 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว (ทำซ้ำ 5 ครั้ง)

ตารางที่ 3.20 เปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซึมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซึมตัวอย่างจริง

บริษัท	พีคหลักที่ดูดกลืนแสงสูงสุด					
	1	2	3	4	5	6
ลามี่	λ_{248}	λ_{317}	λ_{499}	λ_{608}	-	-
ปาร์คเกอร์	λ_{232}	λ_{315}	λ_{480}	λ_{514}	λ_{595}	-
ฟิลิแกน	λ_{321}	λ_{414}	λ_{571}	-	-	-
ไพลอต	λ_{253}	λ_{313}	λ_{414}	λ_{501}	λ_{567}	λ_{636}
เซฟเฟอร์	λ_{333}	λ_{413}	λ_{572}	-	-	-
หมึกซึมตัวอย่างจริง	λ_{234}	λ_{314}	λ_{474}	λ_{502}	λ_{587}	

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าลักษณะรูปแบบของการจุดคลื่นแสงของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว นั้นมีลักษณะเหมือนกับหมึกซีมของบริษัทปาร์คเกอร์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซีมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริง ดังแสดงในตารางที่ 3.20 พบว่าหมึกซีมตัวอย่างจริง และหมึกซีมมาตรฐานมีจำนวนพีคหลักเท่ากัน และพีคหลักทั้ง 5 พีค ก็ปรากฏที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน และเพื่อยืนยันความถูกต้องอีกครั้ง จึงทำการทดลอง โดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย พบว่ารูปแบบของจุดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเหมือนกันกับหมึกซีมของบริษัทปาร์คเกอร์ที่สกัดจากกระดาษทั้ง 8 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และเมื่อหาค่า R_f ของจุดทุกจุด พบว่าหมึกซีมมาตรฐานกับหมึกซีมตัวอย่างจริงมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 3.21 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าหมึกซีมตัวอย่างจริงนั้นเป็นหมึกซีมที่ผลิตจากบริษัทปาร์คเกอร์

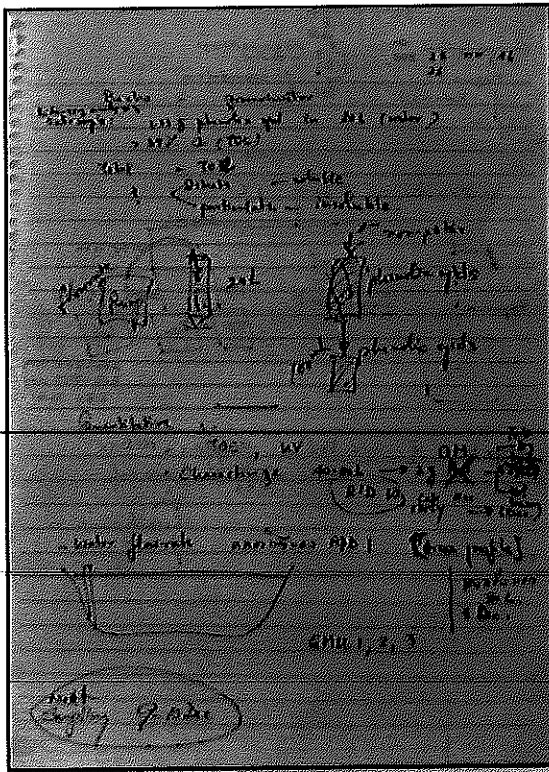


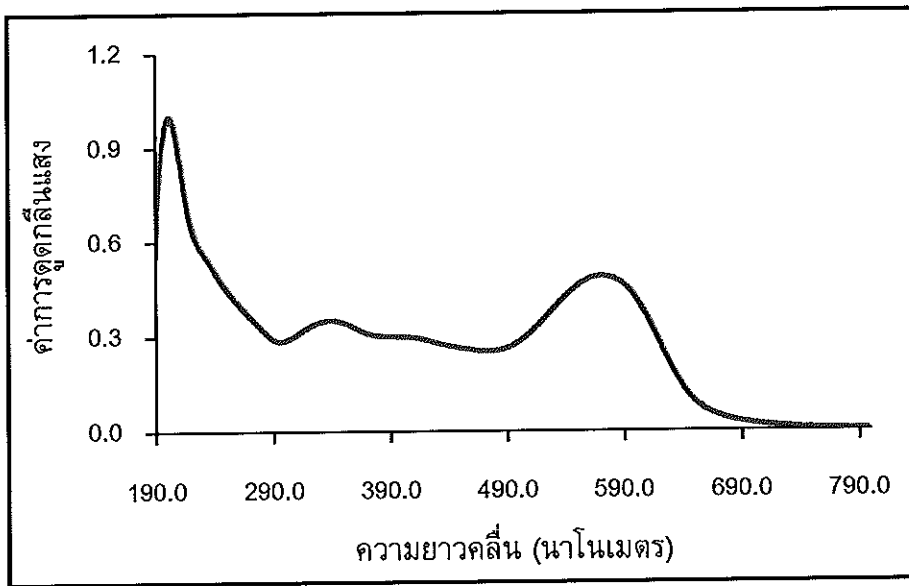
รูปที่ 3.13 ลักษณะของจุดของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

ตารางที่ 3.21 เปรียบเทียบค่า R_f ทุกจุดของหมึกซีมมาตรฐานบริษัทปาร์คเกอร์ กับจุดหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว

จำนวนจุด (spot)	ค่า R_f	
	หมึกซีมบริษัทปาร์คเกอร์	หมึกซีมตัวอย่างจริง
1	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01
2	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01
3	0.53 ± 0.02	0.50 ± 0.01
4	0.56 ± 0.01	0.54 ± 0.01

ตัวอย่างที่ 2 หมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว





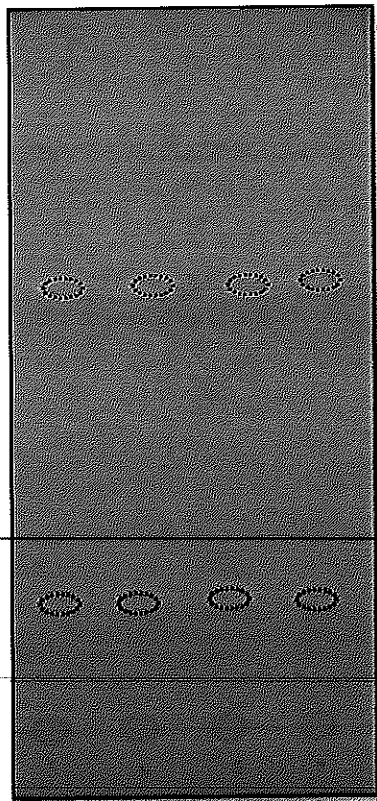
รูปที่ 3.14 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมตัวอย่างที่เขียนบนกระดาษสีเขียว (ทำซ้ำ 5 ครั้ง)

ตารางที่ 3.22 เปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซึมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซึมตัวอย่างจริง

บริษัท	พีคหลักที่ดูดกลืนแสงสูงสุด					
	1	2	3	4	5	6
ลามี่	λ_{248}	λ_{317}	λ_{499}	λ_{608}	-	-
ปาร์คเกอร์	λ_{232}	λ_{315}	λ_{480}	λ_{514}	λ_{595}	-
ฟีลิกาน	λ_{321}	λ_{414}	λ_{571}	-	-	-
ไพลอต	λ_{253}	λ_{313}	λ_{414}	λ_{501}	λ_{567}	λ_{636}
เซฟเฟอร์	λ_{333}	λ_{413}	λ_{572}	-	-	-
หมึกซึมตัวอย่างจริง	λ_{338}	λ_{403}	λ_{571}			

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าลักษณะรูปแบบของการดูดกลืนแสงของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว นั้นมีลักษณะเหมือนกับหมึกซึมของบริษัทฟิลิแกน และเซฟเฟอร์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบพิกัดหลักของหมึกซึมมาตรฐานกับพิกัดหลักของหมึกซึมตัวอย่างจริง ดังแสดงในตารางที่ 3.22 พบว่าหมึกซึมตัวอย่างจริง และหมึกซึมมาตรฐานของทั้ง 2 บริษัท มีจำนวนพิกัดหลักเท่ากัน และพิกัดหลักทั้ง 3 พิกัด ก็ปรากฏที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน จากการศึกษาด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี จึงยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าหมึกซึมตัวอย่างผลิตจากบริษัทใด

ดังนั้นจึงทำการทดลองต่อโดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย พบว่ารูปแบบของจุดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเหมือนกันกับหมึกซึมของบริษัทฟิลิแกนที่สกัดจากกระดาษทั้ง 8 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และเมื่อหาค่า R_f ของจุดทุกจุด พบว่าหมึกซึมมาตรฐานบริษัทฟิลิแกนกับหมึกซึมตัวอย่างจริงมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 3.23 จากการทำทดลองดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่าหมึกซึมตัวอย่างจริงนั้นเป็นหมึกซึมที่ผลิตจากบริษัทฟิลิแกน

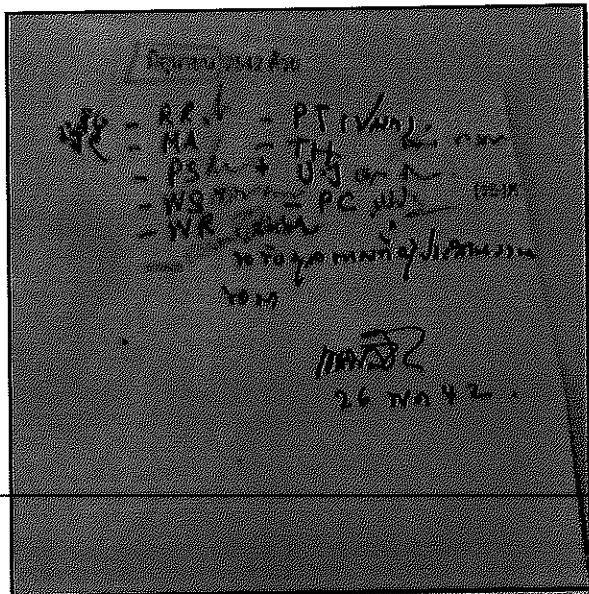


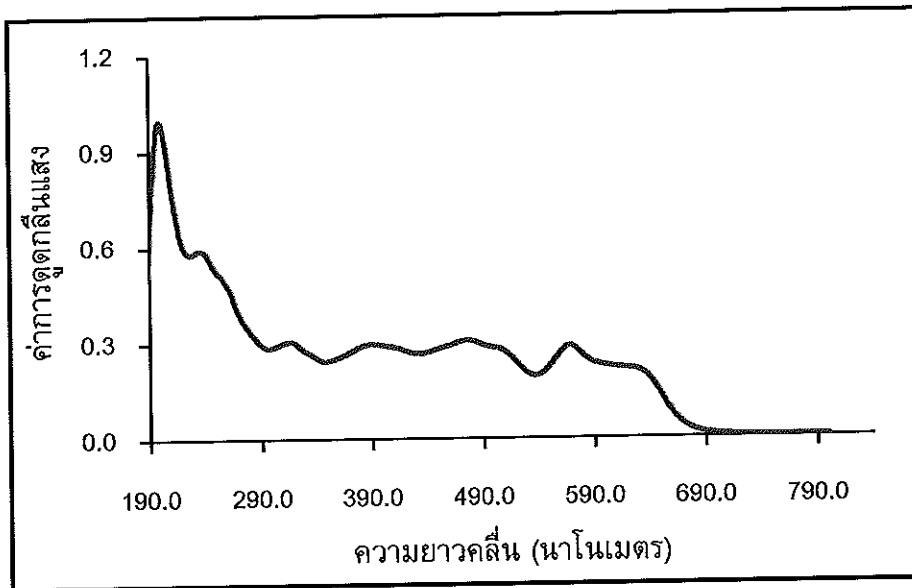
รูปที่ 3.15 ลักษณะของจุดของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

ตารางที่ 3.23 เปรียบเทียบค่า R_f ทุกจุดของหมึกซีมมาตรฐานบริษัทฟิลิแกน และเซฟเฟอร์ กับจุดหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียว

จำนวนจุด (spot)	ค่า R_f		
	หมึกซีมบริษัทฟิลิแกน	หมึกซีมบริษัทเซฟเฟอร์	หมึกซีมตัวอย่างจริง
1	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.00
2	0.57 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.57 ± 0.01
3	-	0.58 ± 0.01	-

ตัวอย่างที่ 3 หมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4





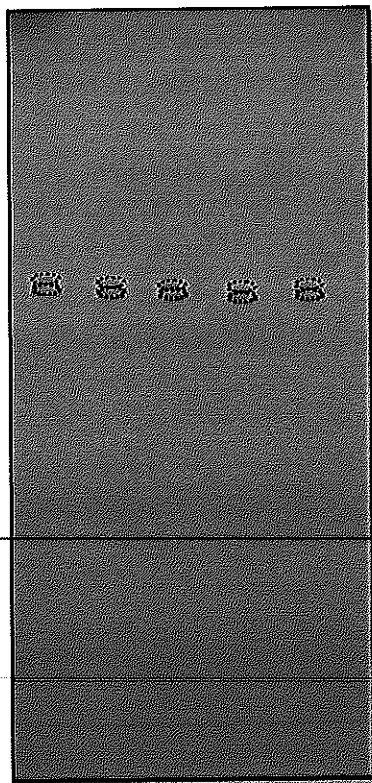
รูปที่ 3.16 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมตัวอย่างที่เขียนบนกระดาษ A4 (ทำซ้ำ 5 ครั้ง)

ตารางที่ 3.24 เปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซึมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซึมตัวอย่างจริง

บริษัท	พีคหลักที่ดูดกลืนแสงสูงสุด						
	1	2	3	4	5	6	7
ลามี่	λ_{248}	λ_{317}	λ_{499}	λ_{608}	-	-	
ปาร์คเกอร์	λ_{232}	λ_{315}	λ_{480}	λ_{514}	λ_{595}	-	
ฟิลิแกน	λ_{321}	λ_{414}	λ_{571}	-	-	-	
ไพลอด	λ_{253}	λ_{313}	λ_{414}	λ_{501}	λ_{587}	λ_{636}	
เซฟเฟอร์	λ_{333}	λ_{413}	λ_{572}	-	-	-	
หมึกซึมตัวอย่างจริง	λ_{235}	λ_{316}	λ_{389}	λ_{475}	λ_{500}	λ_{568}	λ_{619}

จากรูปที่ 3.16 จะเห็นว่าลักษณะรูปแบบของการดูดกลืนแสงของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4 นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับหมึกซึมของบริษัทปาร์คเกอร์ และไพลอต และเมื่อทำการเปรียบเทียบพีคหลักของหมึกซึมมาตรฐานกับพีคหลักของหมึกซึมตัวอย่างจริง ดังแสดงในตารางที่ 3.24 พบว่าหมึกซึมตัวอย่างจริง และหมึกซึมมาตรฐานของทั้ง 2 บริษัท มีจำนวนพีคหลักไม่เท่ากัน แต่ปรากฏที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกับหมึกซึมทั้ง 2 บริษัท จากการศึกษาโดยเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี จึงยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าหมึกซึมตัวอย่างผลิตจากบริษัทใด

ดังนั้นจึงทำการทดลองต่อโดยใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย พบว่ารูปแบบของจุดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเหมือนกันกับหมึกซึมของบริษัทไพลอตที่สกัดจากกระดาษทั้ง 8 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และเมื่อหาค่า R_f ของจุดทุกจุด พบว่าหมึกซึมมาตรฐานของบริษัทไพลอตกับหมึกซึมตัวอย่างจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.25 จากการทดลองดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่าหมึกซึมตัวอย่างจริงนั้นเป็นหมึกซึมที่ผลิตจากบริษัทไพลอต



รูปที่ 3.17 ลักษณะของจุดของหมึกซึมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4 (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

ตารางที่ 3.25 เปรียบเทียบค่า R_f ทุกจุดของหมึกซีมมาตรฐานบริษัทปาร์คเกอร์ และไพลอต กับจุดหลักของหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4

จำนวนจุด (spot)	ค่า R_f		
	หมึกซีมบริษัทปาร์คเกอร์	หมึกซีมบริษัทไพลอต	หมึกซีมตัวอย่างจริง
1	0.18 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.58 ± 0.01
2	0.36 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.59 ± 0.01
3	0.53 ± 0.02	0.57 ± 0.01	-
4	0.56 ± 0.01	-	-

จากการการศึกษารูปแบบของหมึกซีมสีดำที่เขียนไว้บนกระดาษชนิดต่างๆ 3 ชนิด คือ หมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว หมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียวก และหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4 พบว่าสามารถตรวจวัดรูปแบบหมึกซีม และยืนยันผลได้ทุกตัวอย่าง โดยหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีขาว เป็นหมึกซีมที่ผลิตจากบริษัทปาร์คเกอร์ หมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษสีเขียวก เป็นหมึกซีมที่ผลิตจากบริษัทฟีลิแกน และหมึกซีมตัวอย่างจริงที่เขียนบนกระดาษ A4 เป็นหมึกซีมที่ผลิตจากบริษัทไพลอต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของกระดาษ ไม่มีผลต่อรูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซีม

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

การศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิลีเบลสเปกโทรสโกปีควบคู่กับเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี เพื่อประยุกต์ใช้ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้หมึกซึมสีดำของบริษัทลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ เป็นตัวแทนของหมึกซึมสีดำที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน จากการศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำมาตรฐานของทั้ง 5 บริษัท โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิลีเบลสเปกโทรสโกปี พบว่าลักษณะรูปร่างของสเปกตรัม และพีคหลักที่แตกต่างกัน ยกเว้นหมึกซึมสีดำของบริษัท ฟีลิแกน และเซฟเฟอร์ที่ให้ลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ส่วนในข้อมูลของกราฟแท่งที่ทำการวิเคราะห์ของหมึกซึมสีดำมาตรฐานของแต่ละบริษัทนั้น (ดังในรูปที่ 3.1 และ 3.2) พบว่าลักษณะของกราฟแท่ง 5 บริษัท มีลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกันในบางบริษัท ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 หมึกซึมสีดำของบริษัทลามี กลุ่มที่ 2 หมึกซึมสีดำของบริษัท ปาร์คเกอร์ และไพลอต ซึ่งจะมีรูปแบบของหมึกซึมสีดำที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน และกลุ่มที่ 3 คือ หมึกซึมสีดำของบริษัทฟีลิแกน และเซฟเฟอร์จะให้รูปแบบที่ต่างออกไป ทำให้สามารถใช้รูปแบบของกราฟแท่งในการบ่งชี้ว่าหมึกซึมที่ใช้เป็นหมึกซึมชนิดเดียวกันหรือไม่ หรือผลิตจากบริษัทใด ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม เฟสอยู่กับที่ที่เลือกใช้ คือ silica gel 60 ชนิด normal phase (แบบมีข้าว) ซึ่งเป็นแผ่นทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีสำเร็จรูป เฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์คือ ตัวทำละลายผสมทั้งหมด 4 ชนิด คือ บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 14 : 4 : 4 : 8 โดยปริมาตร จากนั้นทำการหาค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท พบว่าหมึกซึมสีดำมาตรฐานของทั้ง 5 บริษัท จะให้ค่า R_f ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ทำให้สามารถบ่งชี้เชิงคุณภาพได้ว่าหมึกซึมที่ใช้ในการเขียนเอกสารนั้นเป็นหมึกซึมชนิดเดียวกันหรือไม่ หรือผลิตจากบริษัทใด

จากนั้นได้ทำการศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำที่สกัดได้จากเอกสารตัวอย่าง โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหมึกซึมสีดำออกจากเอกสารตัวอย่าง ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน และทำการสกัดด้วยเทคนิคโซนิเคชันเป็นเวลา 15 นาที เบื้องต้นการสังเกตสีของสารละลายที่ได้จากการสกัด พบว่า

หมึกซึมสีดำของแต่ละบริษัทจะให้สีของสารละลายแตกต่างกันในบางบริษัท จึงสามารถใช้สีของสารละลายในการบ่งชี้เบื้องต้นได้ว่าหมึกที่ใช้ในการเขียนเอกสารนั้นน่าจะเป็นหมึกซึมสีดำของบริษัทใด

เนื่องจากการทำการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการทดลองประมาณ 60 นาที ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน ดังนั้นเพื่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ จึงได้มีการศึกษาเสถียรภาพขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัทด้วย โดยทำการศึกษาในช่วงเวลาต่างๆ คือ 0 10 20 30 40 50 และ 60 นาที พบว่ารูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึมในแต่ละบริษัทมีลักษณะเหมือนกัน และให้ค่าการดูดแสงที่ใกล้เคียงกันมาก (ดังในรูปที่ 3.7) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบที่อยู่ในหมึกซึมของทั้ง 5 บริษัทมีความเสถียรมาก และไม่มีการระเหยสูญหายไปในช่วงทำการทดลอง

จากนั้นได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึม ทำการศึกษาโดยใช้กระดาษ 8 ชนิด คือ กระดาษใบดองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย ธนาคารกรุงไทย ธนาคารไทยพาณิชย์ กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU และศึกษาระยะเวลาที่เขียนลายมือชื่อลงบนกระดาษต่างๆ แล้วเก็บไว้ในแฟ้มเอกสาร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟี พบว่าสามารถตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท ในระยะเวลาที่ทำการศึกษาได้ทั้ง 8 ชนิดกระดาษ และจากการวิเคราะห์ One Way ANOVA พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซึมแต่ละบริษัทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Sig. < 0.01) แต่อย่างไรก็ตามลักษณะรูปแบบการดูดกลืนแสงที่ได้ของแต่ละบริษัทยังเหมือนเดิม ค่า R_x ของหมึกซึมทั้ง 5 บริษัทที่วัดได้มีค่าเท่ากัน หรือใกล้เคียงกันในกระดาษทั้ง 8 ชนิด เมื่อเขียนทิ้งไว้วันๆ หมึกซึมบางบริษัทจะมีจุดบางจุดที่มองไม่เห็น หรือหายไป แต่ยังคงมีจุดหลักๆ ที่สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นหมึกซึมของบริษัทใด ทำให้เราสามารถนำความแตกต่างของรูปแบบหมึกซึมของแต่ละบริษัทข้างต้นนี้ไปใช้ประโยชน์ในการระบุเอกสารฉบับนั้นๆ เขียนขึ้นมาจากหมึกซึมของบริษัทเดียวกันหรือไม่

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาความสม่ำเสมอ/คงที่ของรูปแบบหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนขวดหรืออายุของหมึกจะสามารถตรวจวัดรูปแบบหมึกซึมสีดำได้เหมือนเดิมหรือไม่ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากหมึกซึมทั้ง 3 ขวด ของแต่ละบริษัทจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน แต่รูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึมแต่ละบริษัทนั้นมีลักษณะรูปร่างที่เหมือนเดิม ทำให้สามารถใช้รูปแบบการดูดกลืนแสงดังกล่าวในการบ่งชี้เชิงคุณภาพว่าหมึกซึมนั้นๆ ผลิตจากบริษัทใด

จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นว่าเทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟี สามารถใช้ในการแยกรูปแบบของหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5

บริษัทได้อย่างชัดเจน จึงได้นำวิธีการดังกล่าวมาใช้กับตัวอย่างจริง โดยตัวอย่างจริงที่ใช้ในการศึกษาเป็นหมึกซึมสีดำที่เขียนไว้บนกระดาษชนิดต่างๆ 3 ชนิด คือ หมึกซึมที่เขียนบนกระดาษสีขาว หมึกซึมที่เขียนบนกระดาษสีเขียว และหมึกซึมที่เขียนบนกระดาษ A4 พบว่าสามารถตรวจวัดรูปแบบหมึกซึม และยืนยันผลได้ทุกตัวอย่าง โดยหมึกซึมที่เขียนบนกระดาษสีขาว เป็นหมึกซึมที่ผลิตจากบริษัทปาร์คเกอร์ หมึกซึมที่เขียนบนกระดาษสีเขียว เป็นหมึกซึมที่ผลิตจากบริษัทฟีลิกแกน และหมึกซึมที่เขียนบนกระดาษ A4 เป็นหมึกซึมที่ผลิตจากบริษัทไพลอต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของกระดาษ ไม่มีผลต่อรูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึม

ดังนั้นเทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ควบคู่กับเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแยกรูปแบบของหมึกซึมสีดำ เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อีกด้วย เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ และสารเคมีที่มีราคาแพง ส่วนข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่ใช้ในการเขียนเอกสาร

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปีเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถแยกบริษัทที่ผลิตหมึกซึมได้ทุกบริษัท จึงควรใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีควบคู่ไปด้วย เพื่อช่วยเพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์
2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีต้องมีการควบคุมความชื้น และอุณหภูมิให้คงที่ทุกครั้งที่ทำการศึกษา
3. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี หลังจากทำการวิเคราะห์เสร็จสิ้นลง สีของจุด (spot) ที่เกิดขึ้นจะมีสีที่อ่อนมาก จึงต้องทำการวงจุดที่เกิดขึ้นก่อนการถ่ายภาพเสมอ เพื่อช่วยลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์
4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าหลังจากเก็บเอกสารไว้นานเกิน 3 เดือน จะมีผลต่อรูปแบบการดูดกลืนแสงของหมึกซึมสีดำหรือไม่ โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551. การใช้ SPSS for windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 11. พิมพ์ที่บริษัทธรรมสาร: กรุงเทพฯ.
- ไทพีศรีนิวัต ภัคดีกุล. 2534. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานสืบสวนสอบสวน และนิติวิทยาศาสตร์. คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นัยนา เกิดวิชัย. 2541. ประมวลกฎหมายอาญา. โรงพิมพ์พิทักษ์อักษร: กรุงเทพฯ.
- พงศกรณ์ ชูเวช. 2531. การพิสูจน์หลักฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์นิติบรรณการ: กรุงเทพฯ.
- แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2535. Principles and Techniques of Instrumental Analysis. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- วีระ วัฒนชัยนันท์. 2540. การสอบสวนภาคปฏิบัติ เล่ม 1. รัฐศาสตรบัณฑิต นิติศาสตรมหาบัณฑิต เนติบัณฑิตไทย รองผู้กำกับการหัวหน้าสถานีตำรวจภูธรอำเภออุบลราชธานี ศรีสะเกษ.
- ศิรินันต์ สุวรรณโมลี. 2548. LAB Today. ปีที่ 4. ฉบับที่ 28.
- สง่า กิตติขจร. 2496. วิทยาการตำรวจเกี่ยวกับการสืบสวน. วิทยาการกรมตำรวจ.
- ~~สันต์ สุขวัจน์. 2549. นิติวิทยาศาสตร์ 1. วิทยาการตำรวจ กลุ่มงานวิชาสืบสวน และสอบสวนกองบังคับการวิชาการ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ.~~
- สุขเมธ พงษ์ลิมานนท์. 2523. การจำแนกอักษรพิมพ์ดีดภาษาไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์. 2546. นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัทที่ซีจี พรินติ้ง: กรุงเทพฯ.

อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์. 2547. นิติวิทยาศาสตร์ 4 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทดาวฤกษ์: กรุงเทพฯ.

A. Kher, M. Mulholland, E. Green, B. Reedy. 2006. Forensic classification of ballpoint pen inks using high performance liquid chromatography and infrared spectroscopy with principal components analysis and linear discriminant analysis. *Vibrational Spectroscopy* **40**: 270–277

Braun R.D. 1987. Introduction to Instrumental Analysis. McGraw-Hill Book Company: New York.

C.D. Adam, S.L. Sherratt, V.L. Zholobenko. 2008. Classification and individualisation of black ballpoint pen inks using principal component analysis of UV–vis absorption spectra. *Forensic Science International* **174**: 16–25

C. Roux, M. Novotny, I. Evans, C. Lennard. 1999. A study to investigate the evidential value of blue and black ballpoint pen inks in Australia. *Forensic Science International* **101**: 167–176

C. Vogt, J. Vogt, A. Becker, E. Rohde. 1997. Separation, comparison and identification of fountain pen inks by capillary electrophoresis with UV-visible and fluorescence detection and by proton-induced X-ray emission. *Journal of Chromatography A* **781**: 391-405

C. Weyermann, D. Kirsch, C.C. Vera, B. Spengler. 2007. A GC/MS study of the drying of ballpoint pen ink on paper. *Forensic Science International* **168**: 119–127

D. Djozan, T. Baheri, G. Karimian, M. Shahidi. 2008. Forensic discrimination of blue ballpoint pen inks based on thin layer chromatography and image analysis. *Forensic Science International* **179**: 199–205

- F.A. Morsy; Ph.D., S.I. El-sherbiny; Ph.D., M. Awadalla; M.S. 2005. A systematic approach to Egyptian ballpoint ink analysis for forensic science application. *Forensic Science Journal* **4**: 1-13
- J. Siegel, J. Allison, D. Mohrc, J. Dunn. 2005. The use of laser desorption/ionization mass spectrometry in the analysis of inks in questioned documents. *Talanta* **67**: 425-429
- J. Zięba-Palus, M. Kunicki. 2006. Application of the micro-FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy and XRF method examination of inks. *Forensic Science International* **158**: 164-172
- J.A. Zlotnick, F.P. Smith. 1998. Separation of some black rollerball pen inks by capillary electrophoresis: preliminary data. *Forensic Science International* **92**: 269-280
- J.A. Zlotnick, F.P. Smith. 1999. Chromatographic and electrophoretic approaches in ink analysis. *Journal of Chromatography B* **733**: 265-272
- H.S. Chen, H.H. Meng, K.C. Cheng. 2002. A survey of methods used for the identification and characterization of inks. *Forensic Science Journal* **1**: 1-14
- K.M. Varshney, T. Jettappa, V.K. Mehrotra, T.R. Baggi. 1995. Ink analysis from typed script of electronic typewriters by high performance thin layer chromatography. *Forensic Science International* **72**: 107-115
-
- K. Tsutsumi, K. Ohga. 1998. Analysis of writing ink dyestuffs by TLC and FT-IR and its application to forensic science. *Analytical Science* **14**: 269-274
- M.D. Green, D.L. Mount, H. Nettey. 2002. High-performance liquid chromatographic assay for the simultaneous determination of sulfadoxine and pyrimethamine from whole blood dried onto filter paper. *Journal of Chromatography B* **767**: 159-162

NL. Poon, SSH. Ho, CK. Li. 2005. Differentiation of coloured inks of inkjet printer cartridges by thin layer chromatography and high performance liquid chromatography. *Scientific and technical* **45**: 187-194

Phenominex for Chromatography. 1994.

Snyder L.R. and Kirkland J.J. 1979. Introduction to modern liquid chromatography. 2 nd ed. John wiley: New York.

W.D. Mazzella, P. Buzzini. 2005. Raman spectroscopy of blue gel pen ink. *Forensic Science International* **152**: 241-247

Y.Z. Liu, J. Yu, M.X. Xie, Y. Chen, G.Y. Jiang, Y. Gao. 2006. Studies on the degradation of blue gel pen dyes by ion-pairing high performance liquid chromatography and electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* **1125**: 95-103

Y.Z. Liu, J. Yu, M.X. Xie, Y. Liu, J. Han, T.T. Jing. 2006. Classification and dating of black gel pen ink by ion-pairing high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* **1135**: 57-64

Y. Xu, J. Wang, L. Yao. 2006. Dating the writing age of black roller and gel inks by gas chromatography and UV-vis spectrophotometer. *Forensic Science International* **162**: 140-143

ภาคผนวก

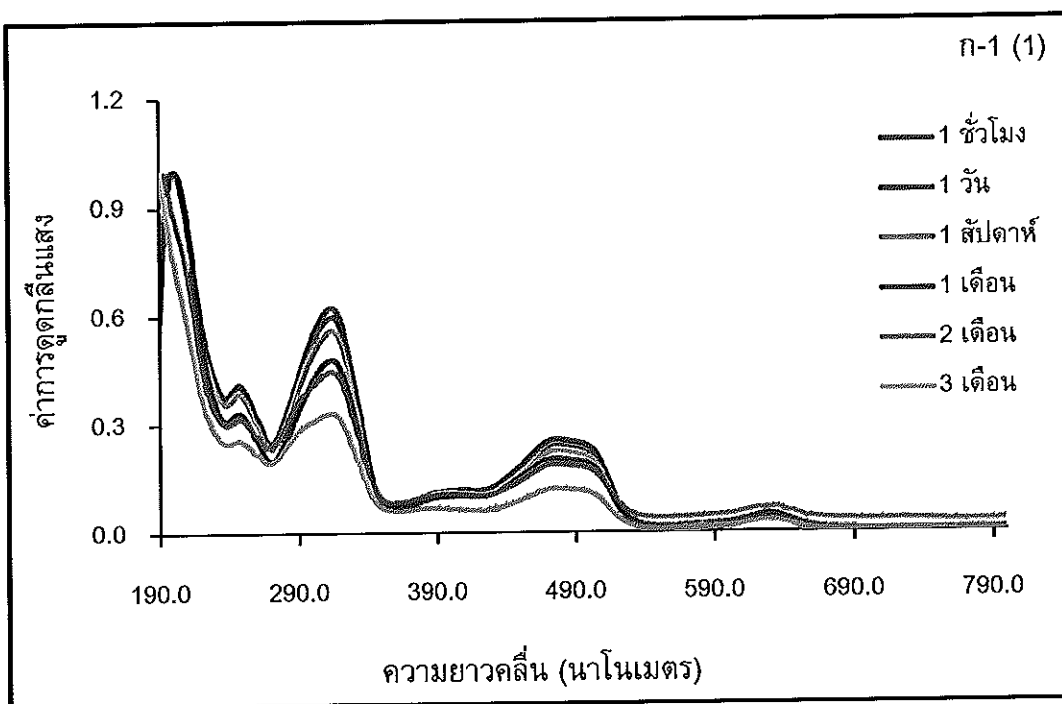
ภาคผนวก

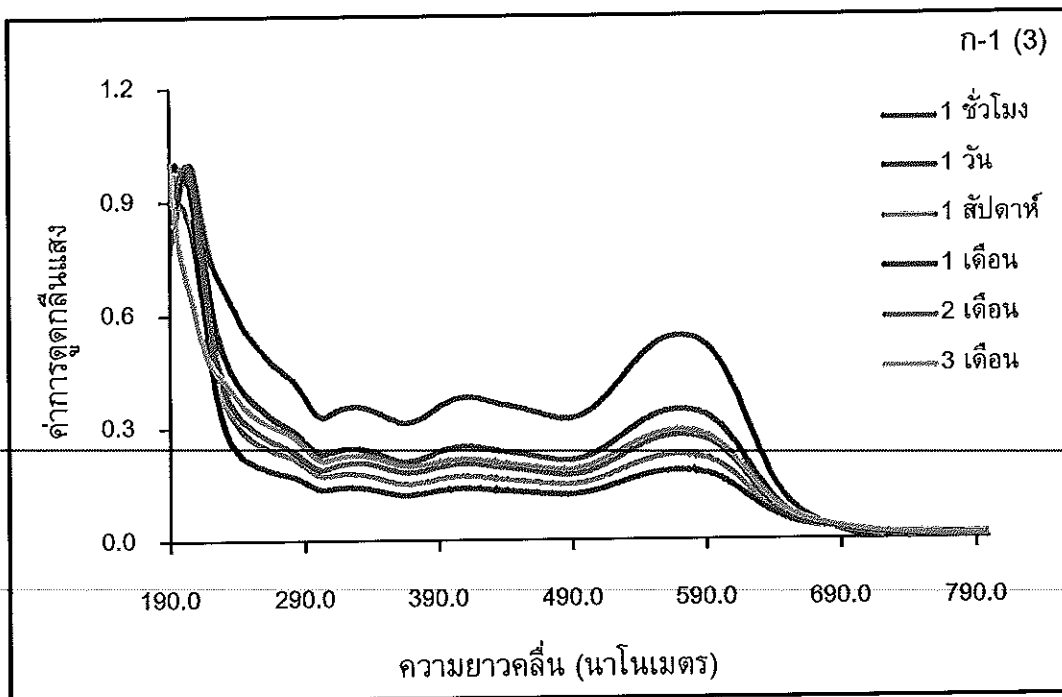
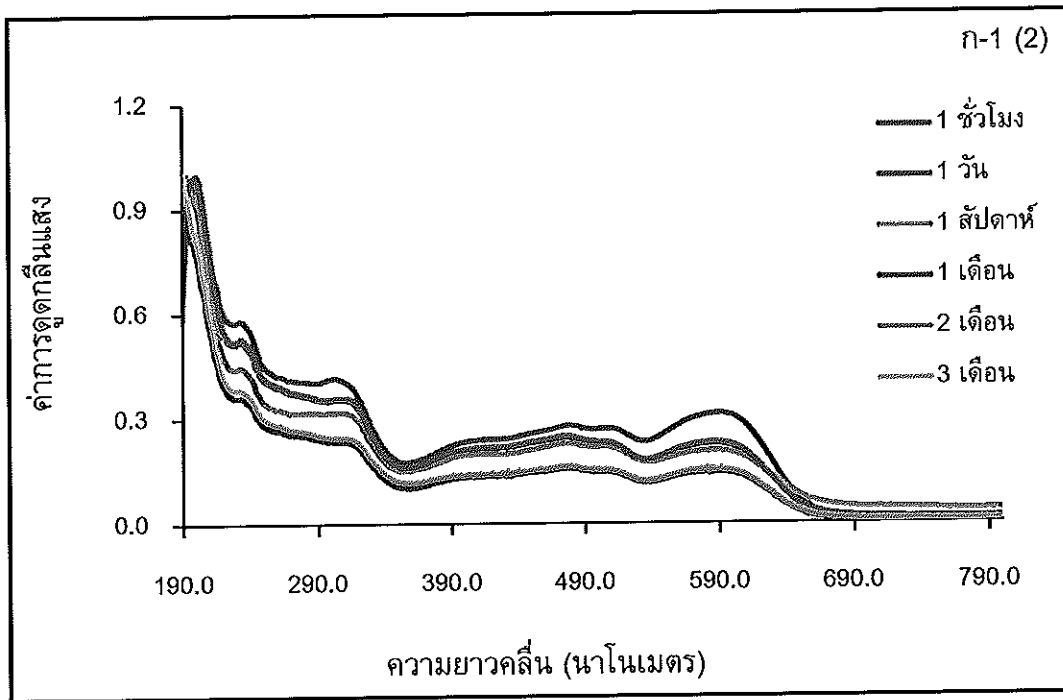
- ภาคผนวก ก ผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึม โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี
- ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สถิติ (One Way ANOVA)
- ภาคผนวก ค ลักษณะกราฟแท่งของหมึกซึมสีดำ 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์
- ภาคผนวก ง ค่า R_f ของหมึกซึมสีดำทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์
- ภาคผนวก จ เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน
-

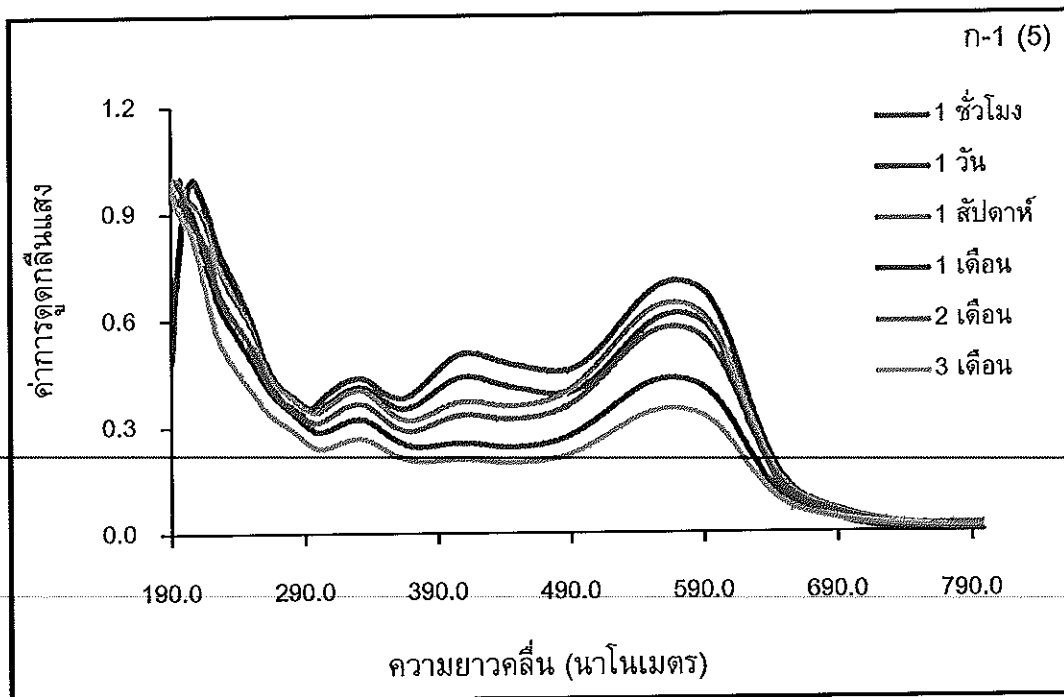
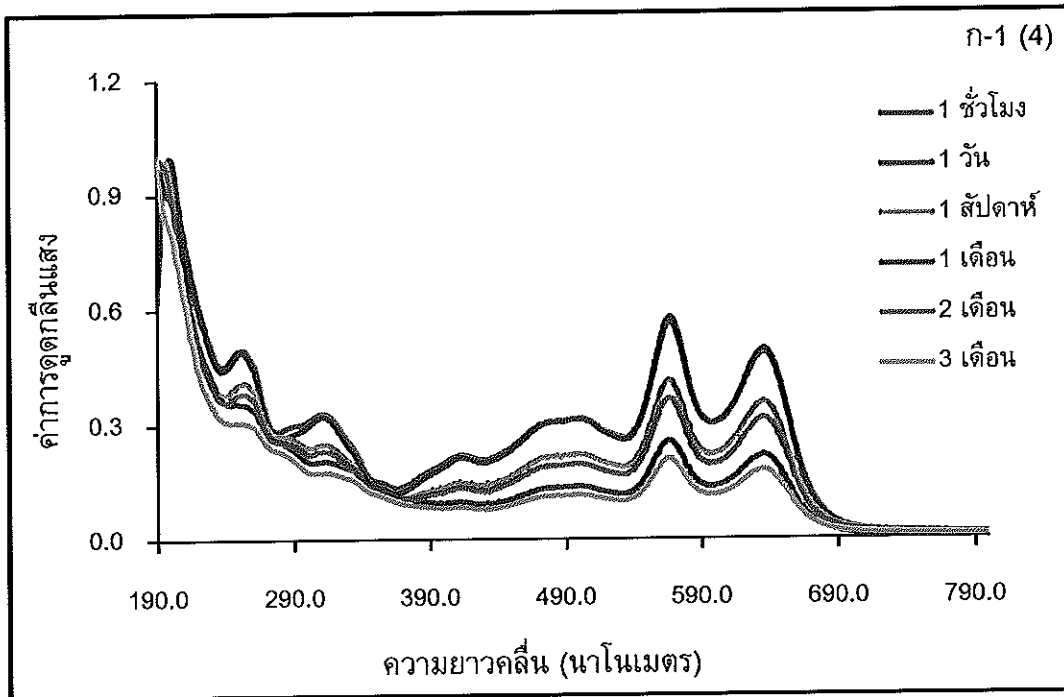
ภาคผนวก ก

ผลของระยะเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างที่มีต่อรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซีเอ็ม โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา

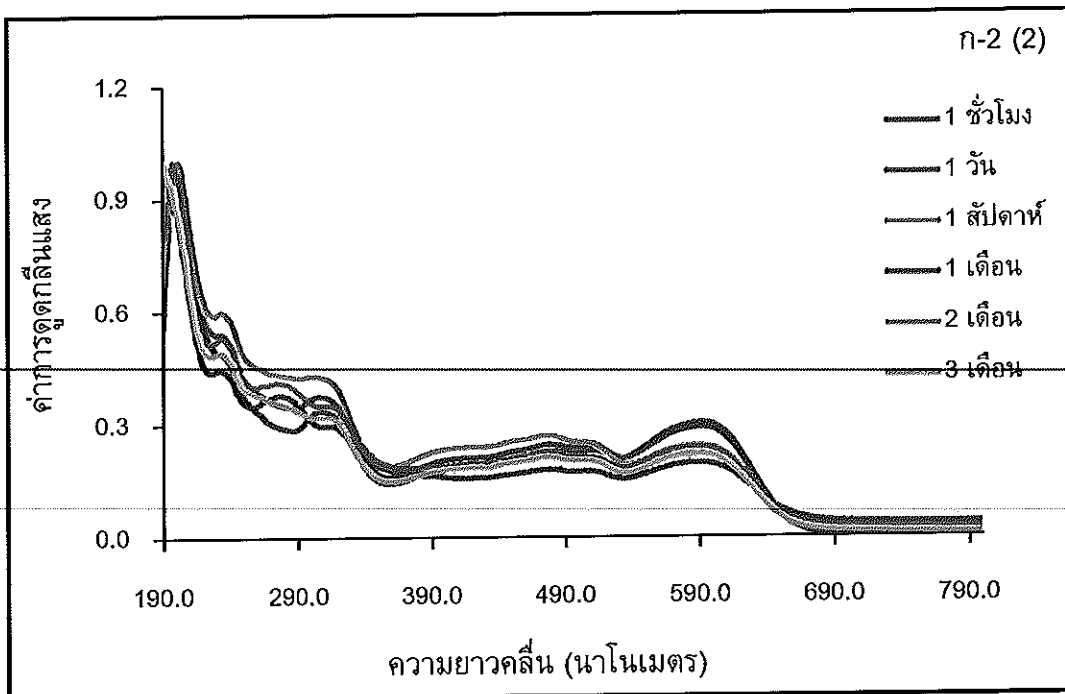
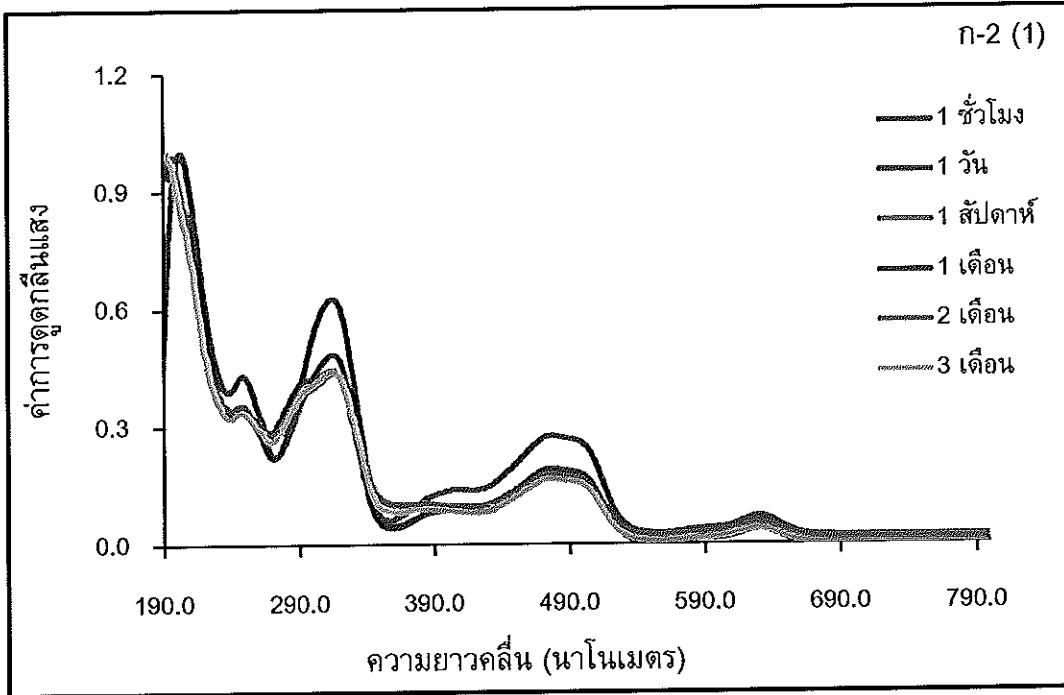


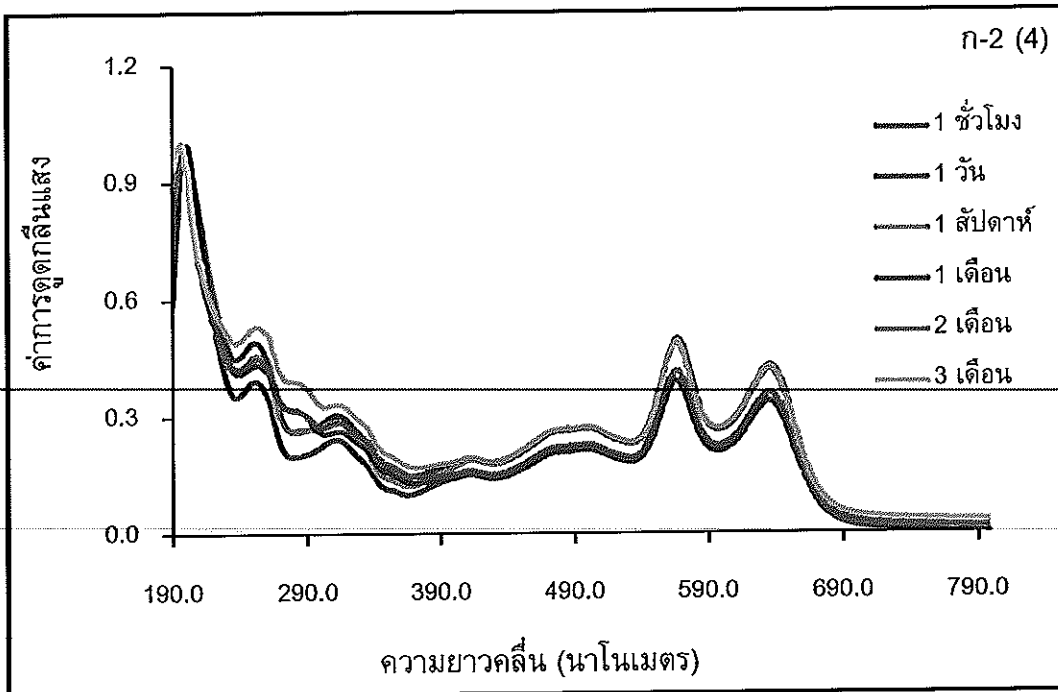
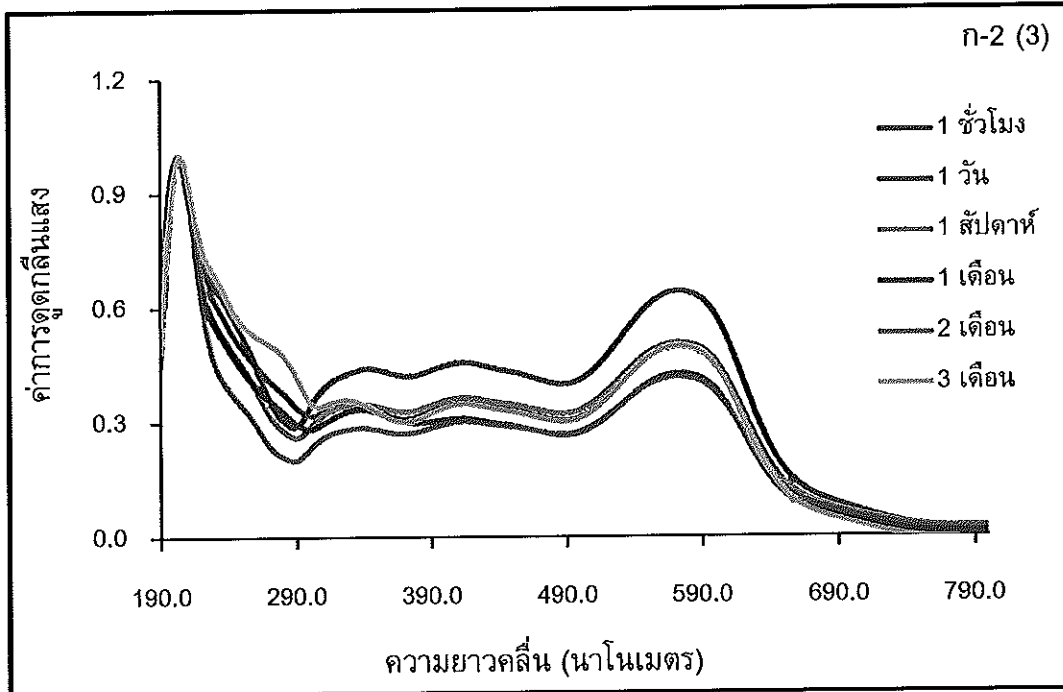


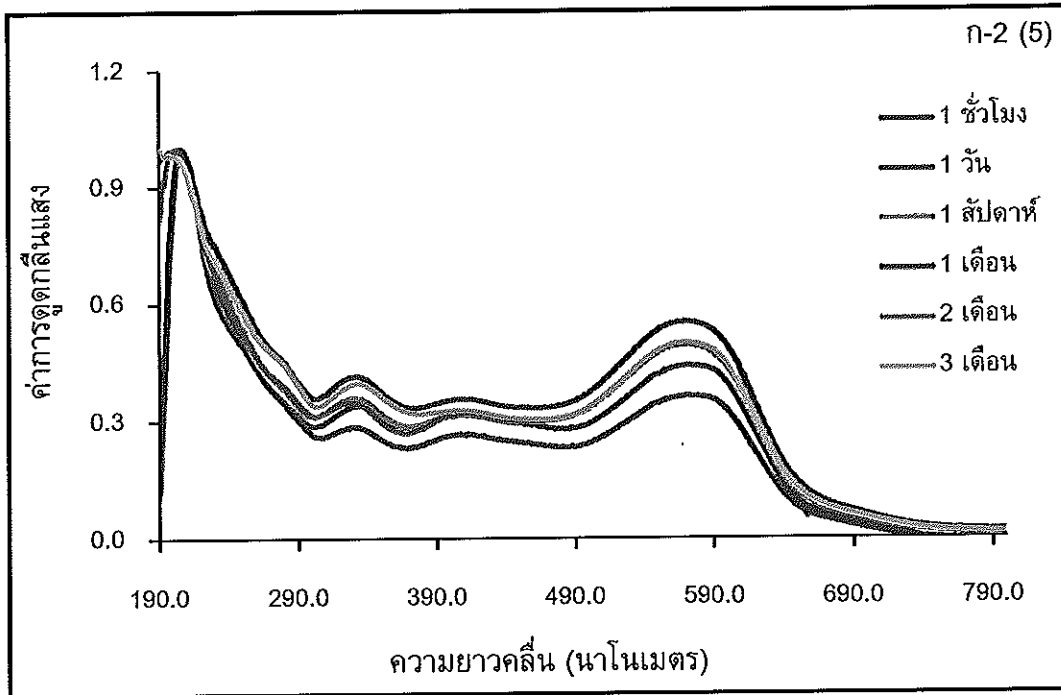


รูปที่ ก-1 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ

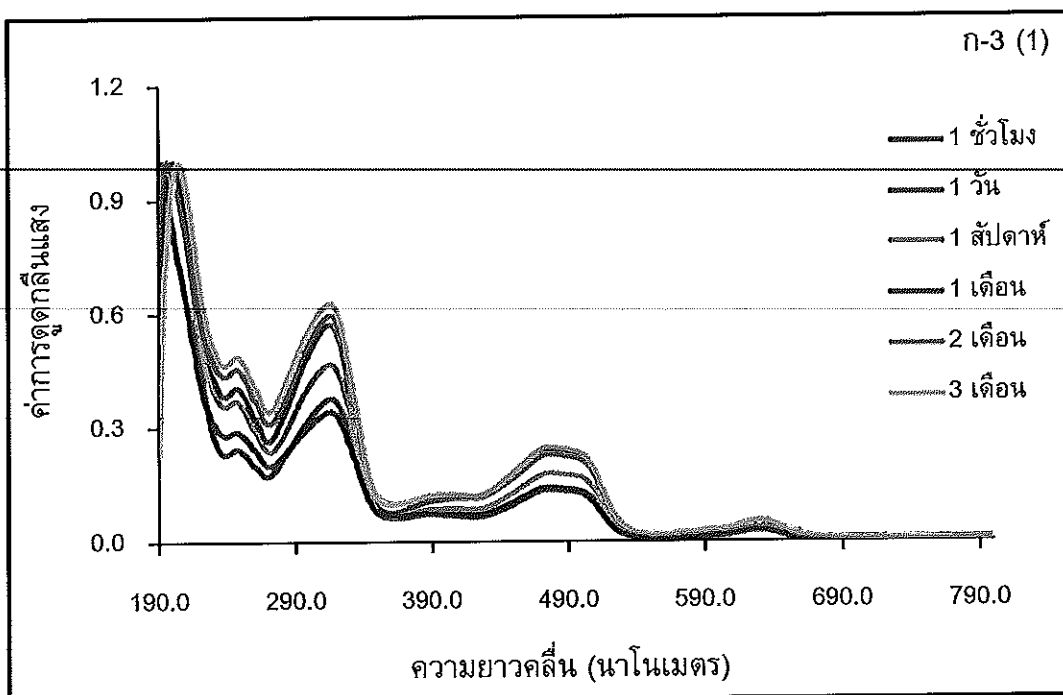


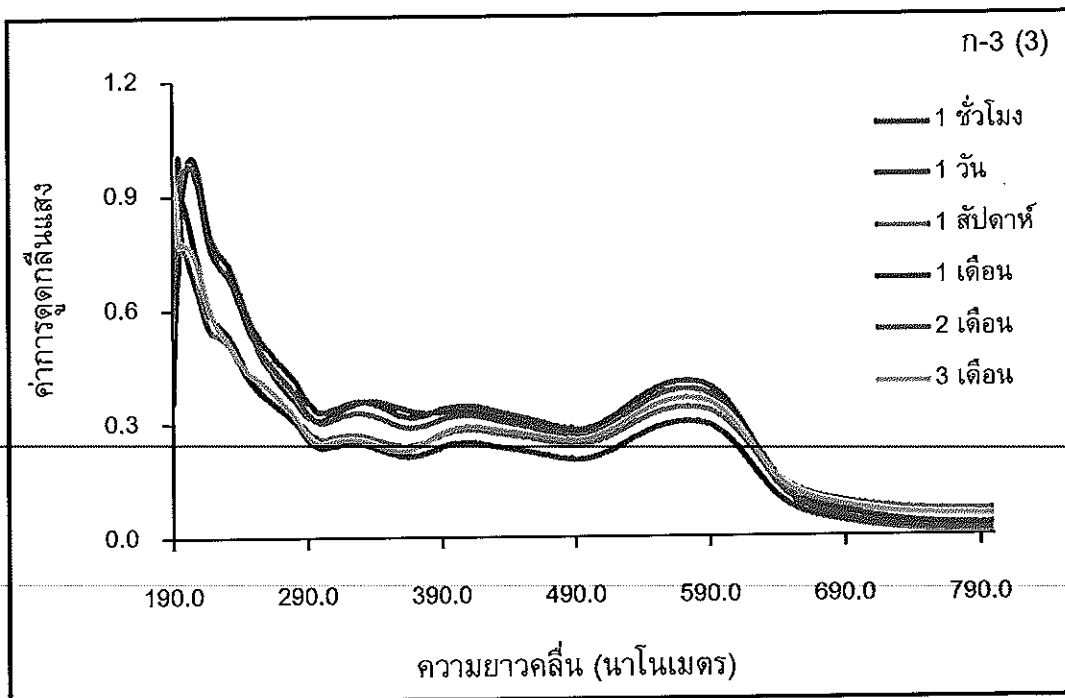
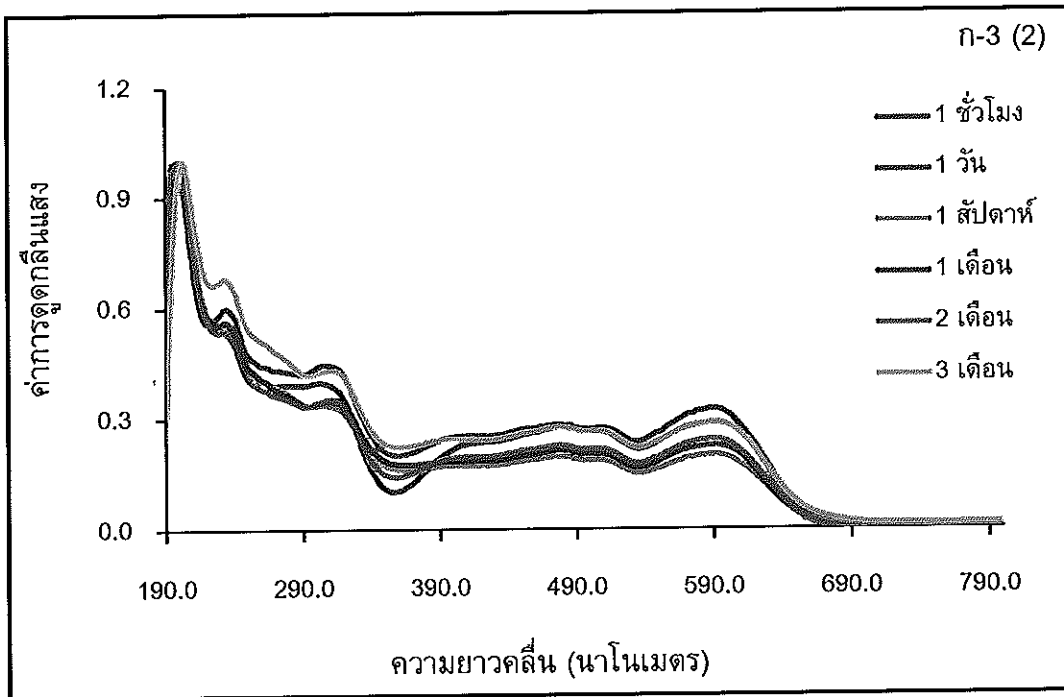


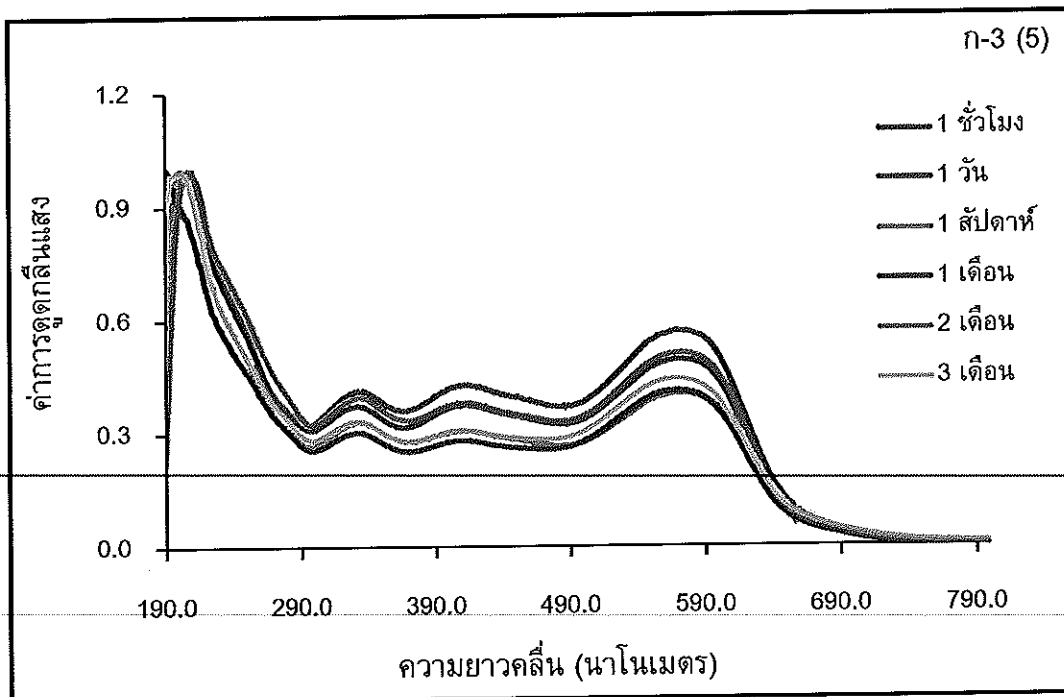
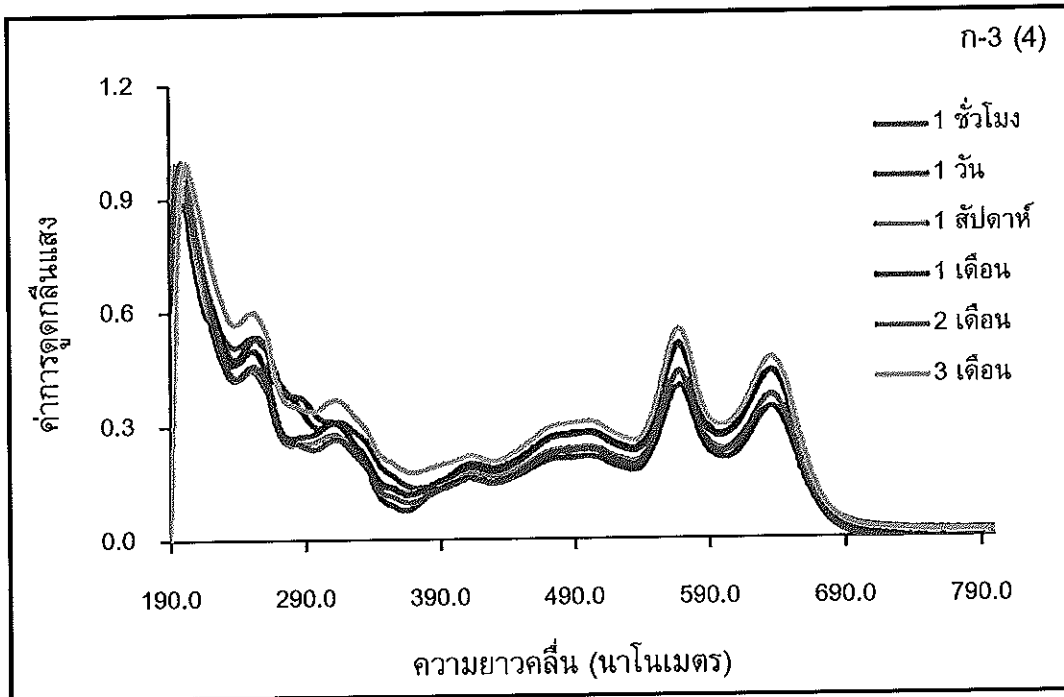


รูปที่ ก-2 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกชิมสีดำของบริษัทลามี่ (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟีลิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย

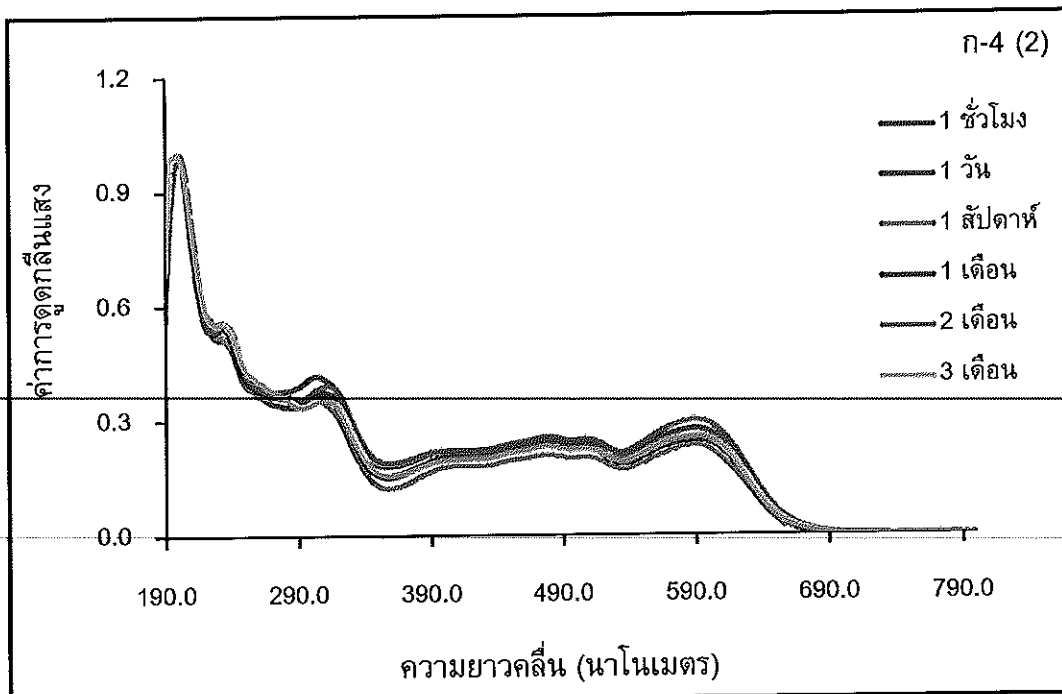
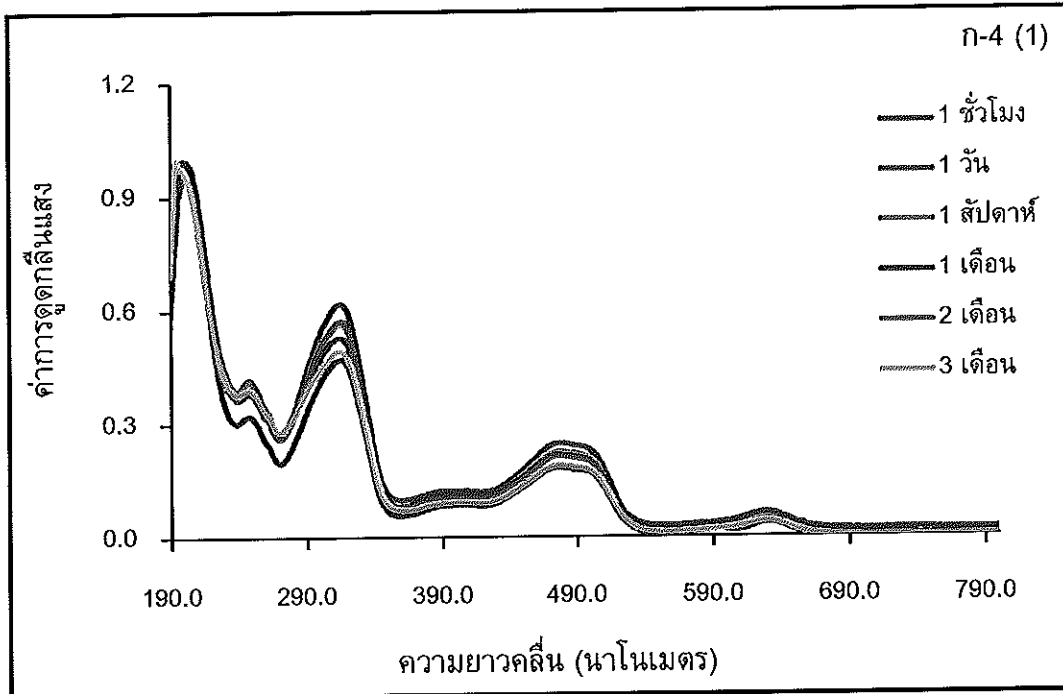


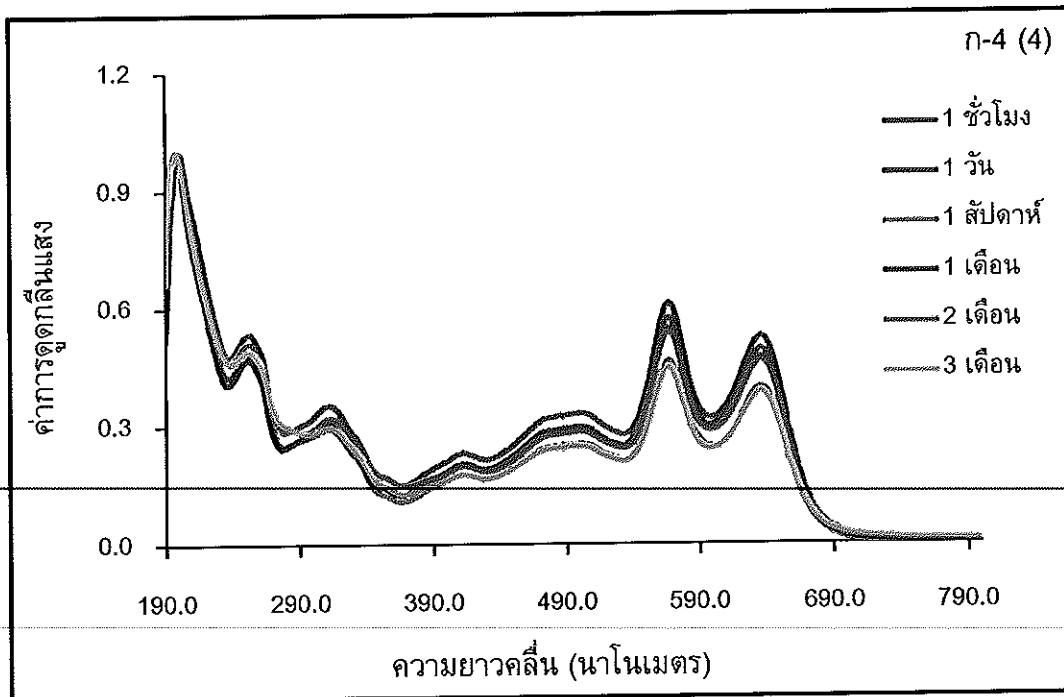
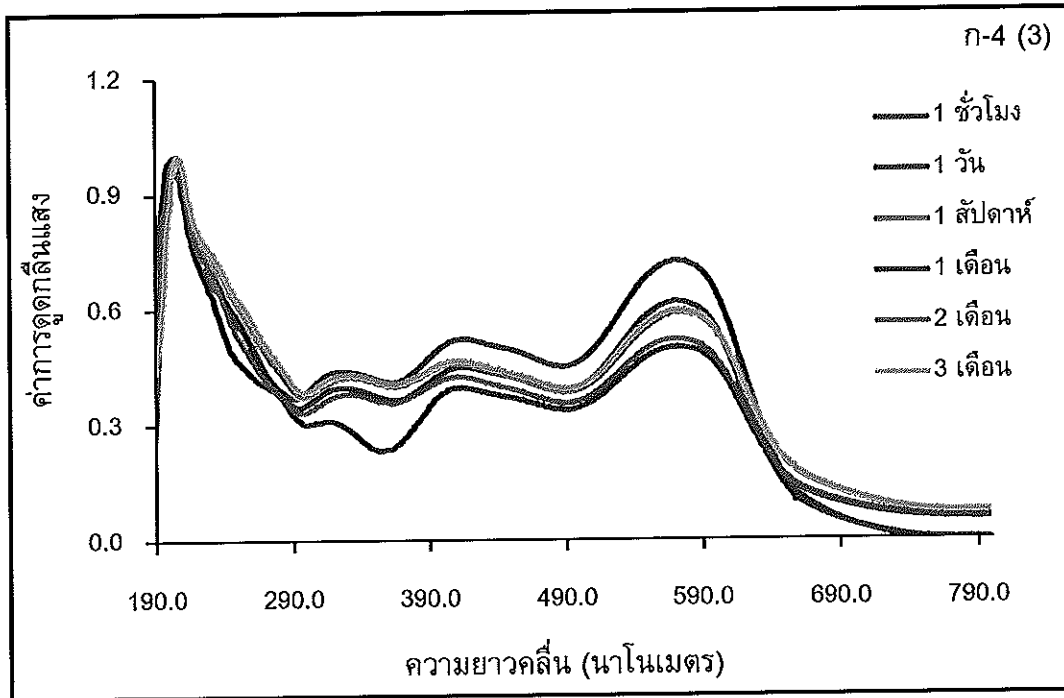


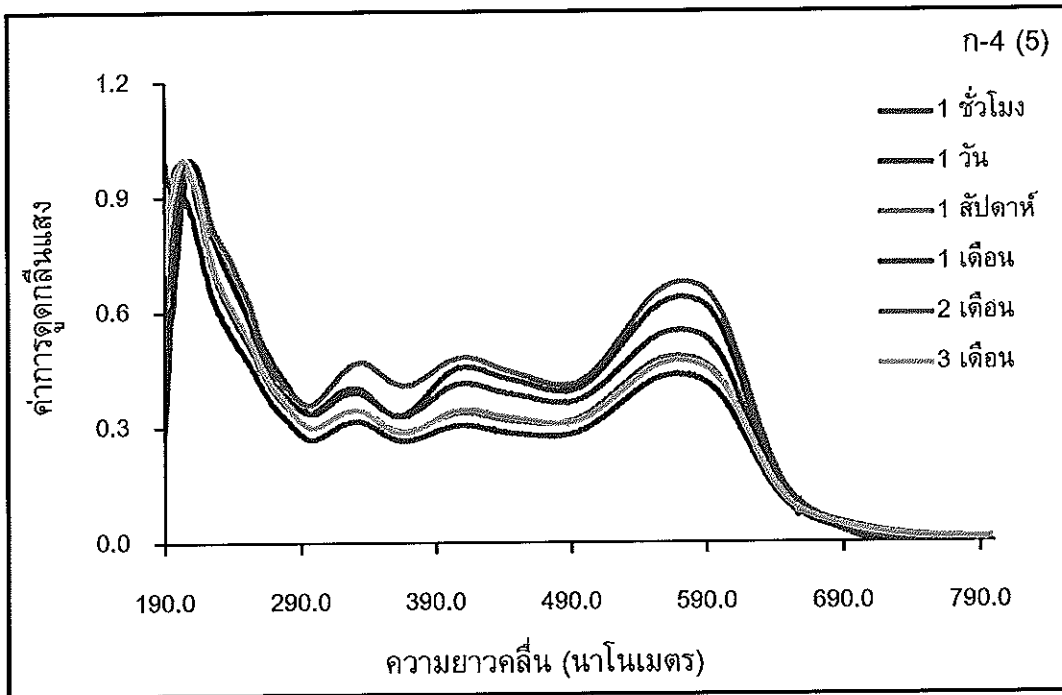


รูปที่ ก-3 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีเมนต์ดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษไปถอนเงินของ ธนาคารกสิกรไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษใบกอนเงินของธนาคารกรุงไทย

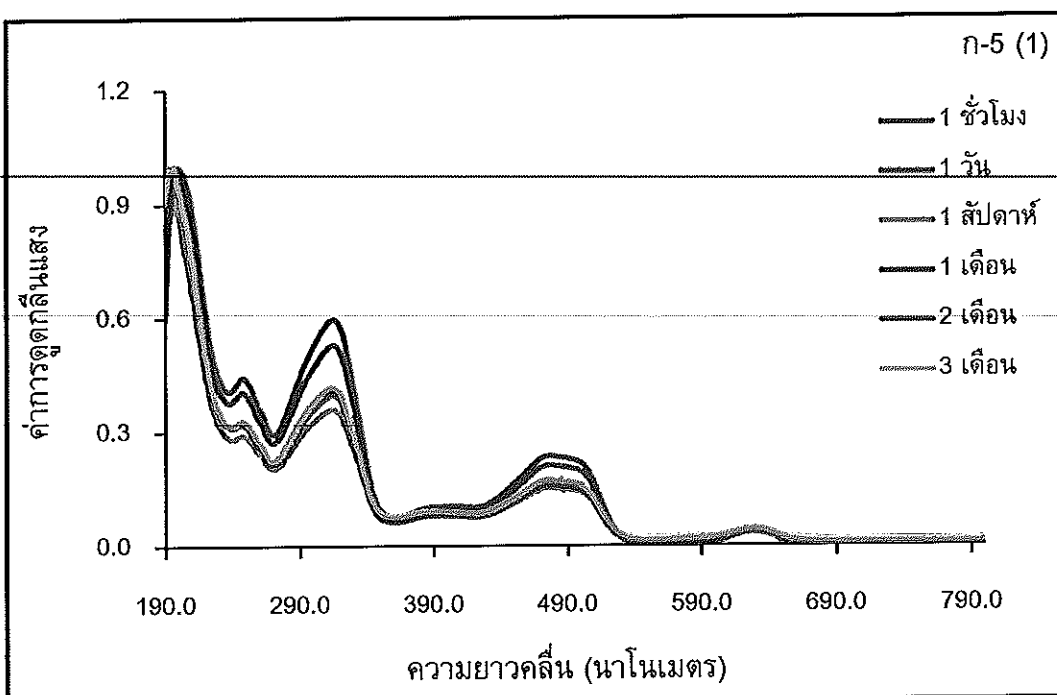


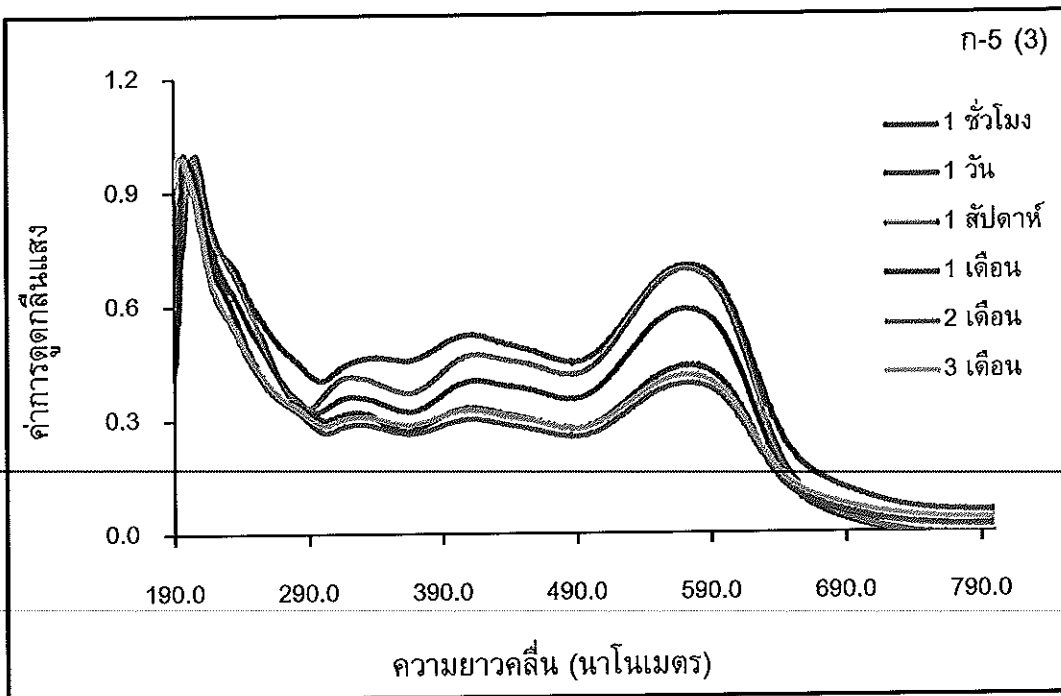
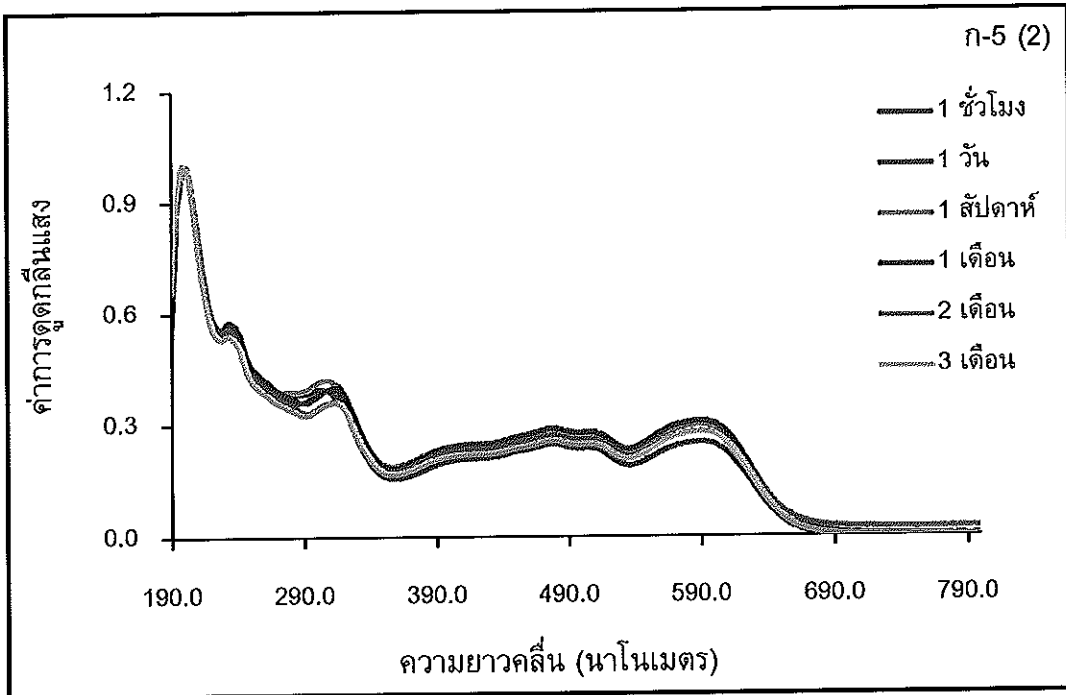


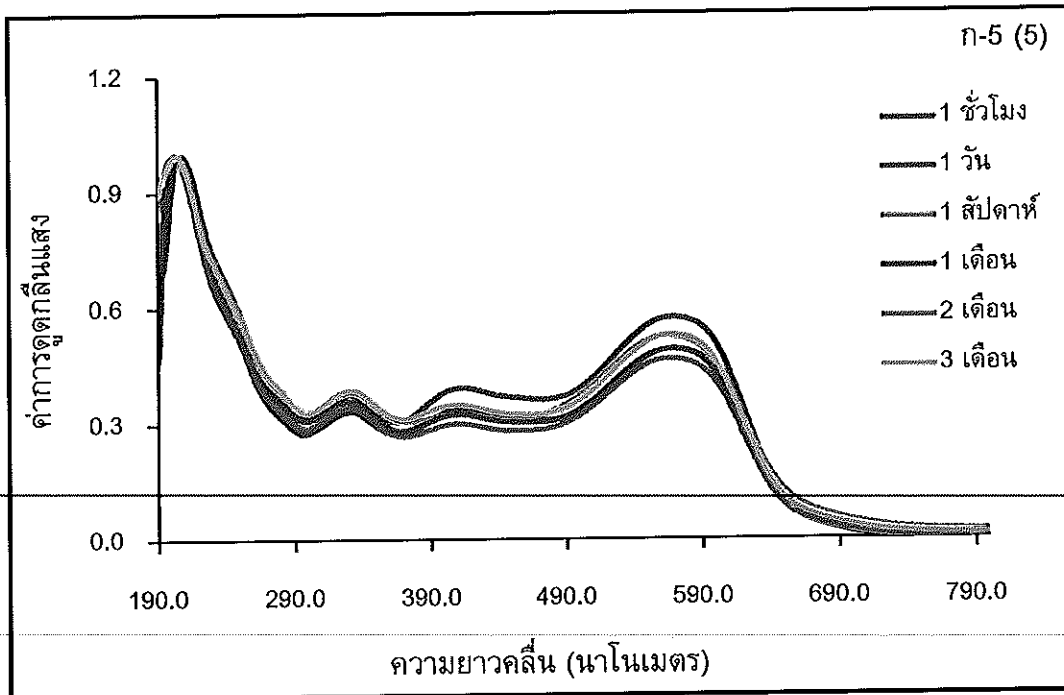
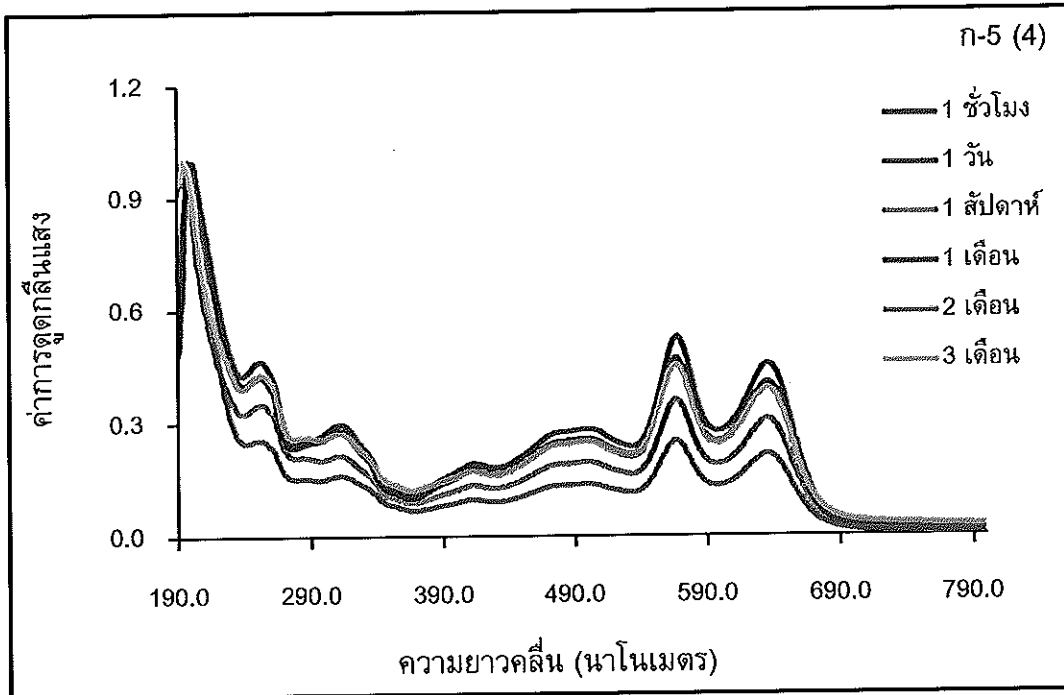


รูปที่ ก-4 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซีมีลีดำของบริษัทลามี่ (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A

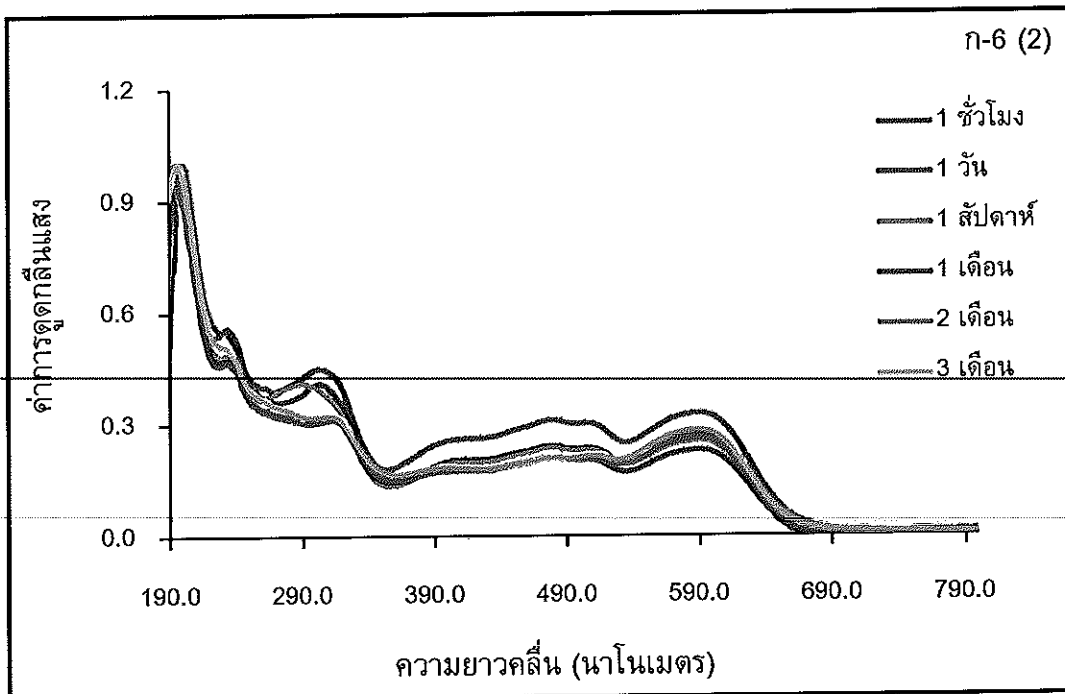
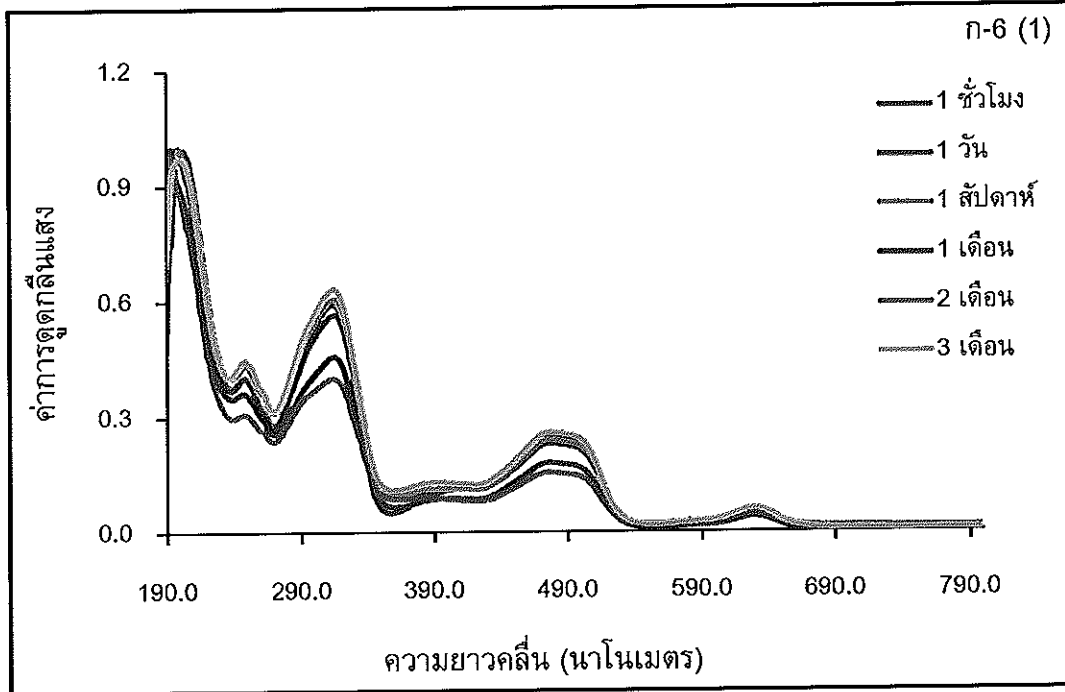


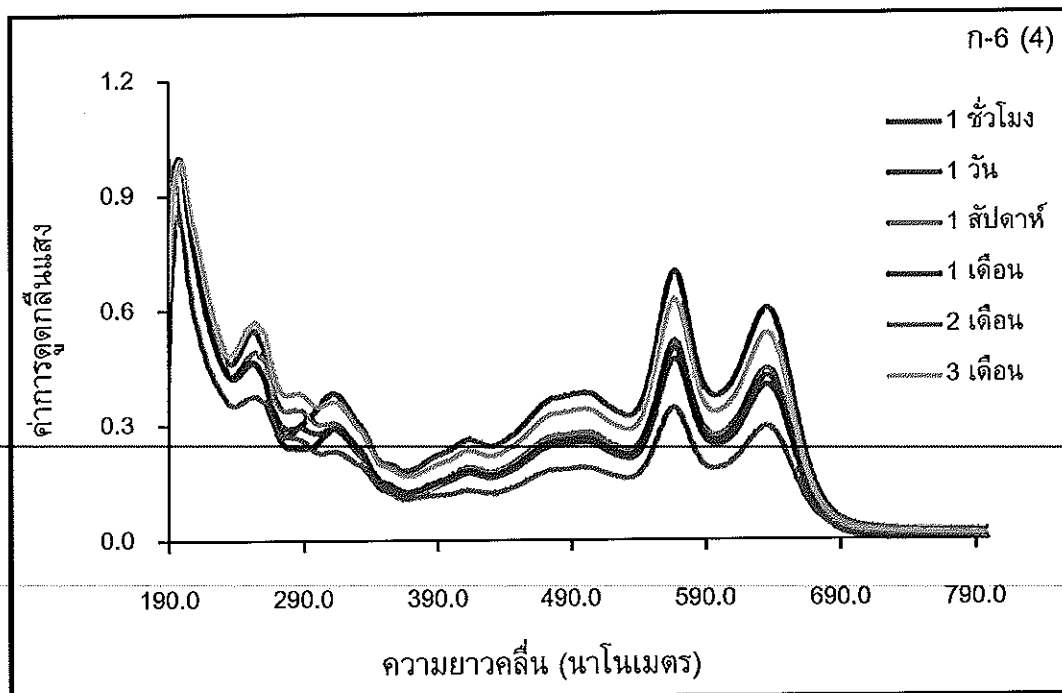
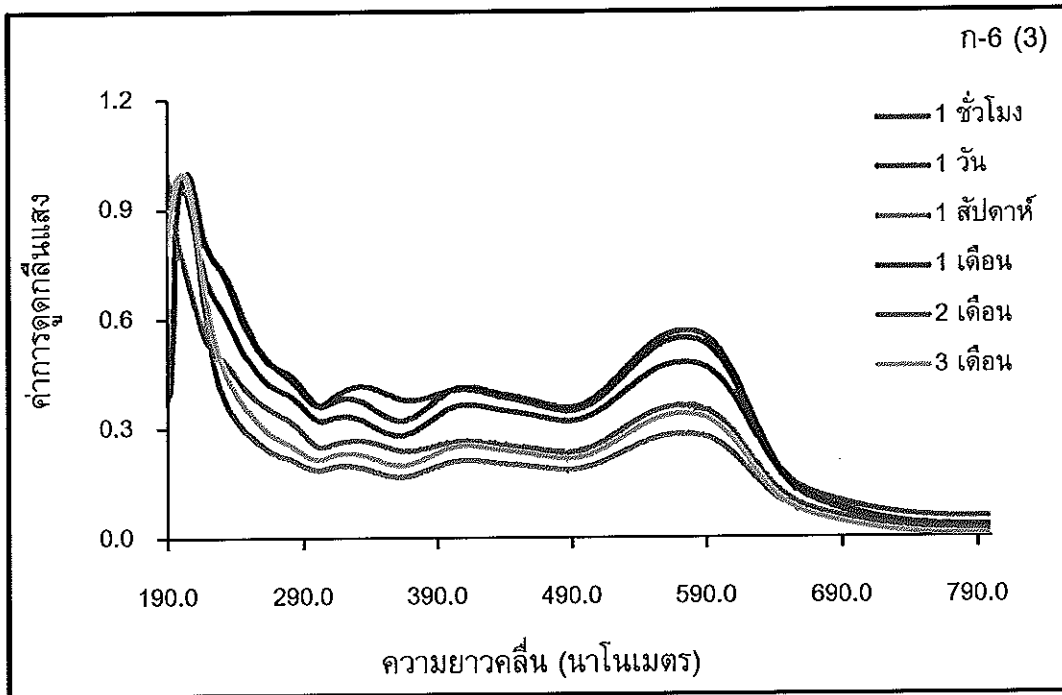


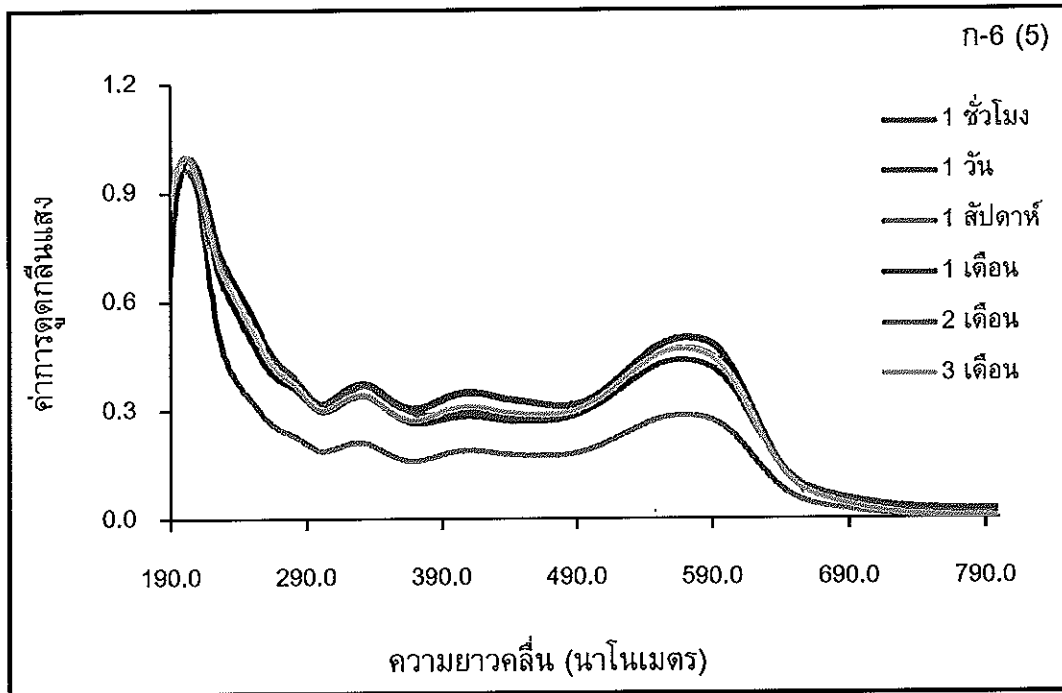


รูปที่ ก-5 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟีลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality

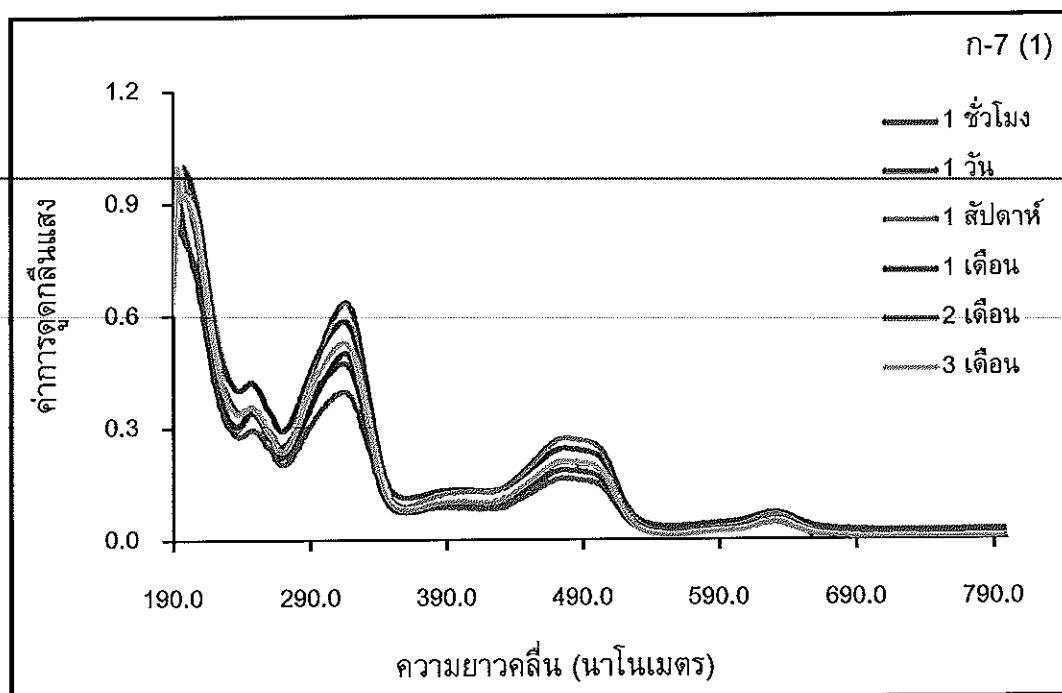


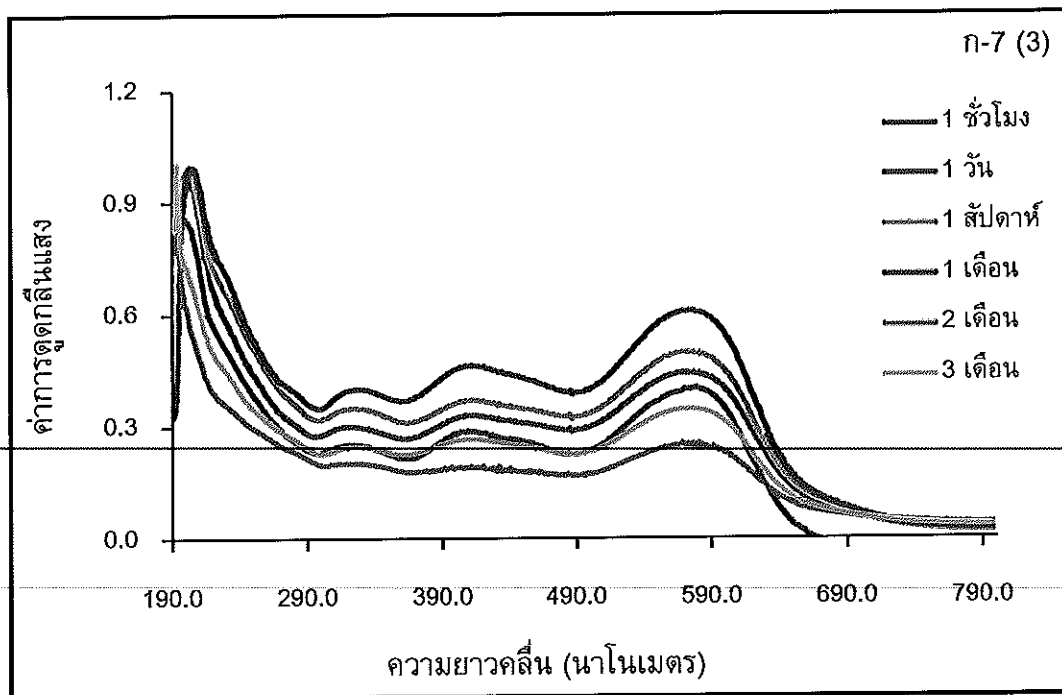
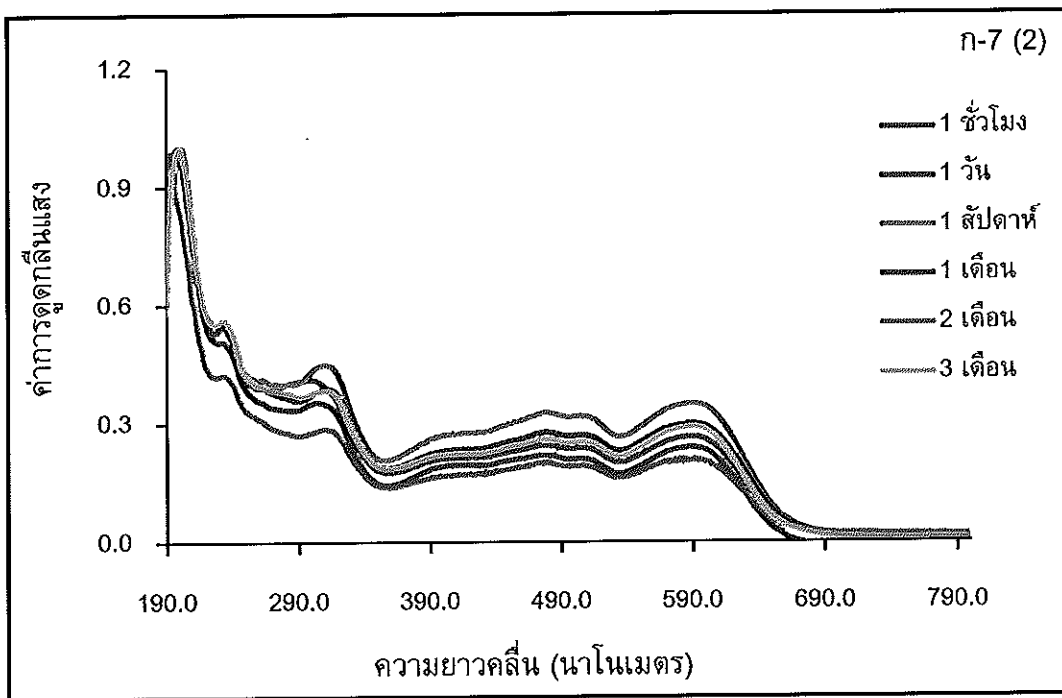


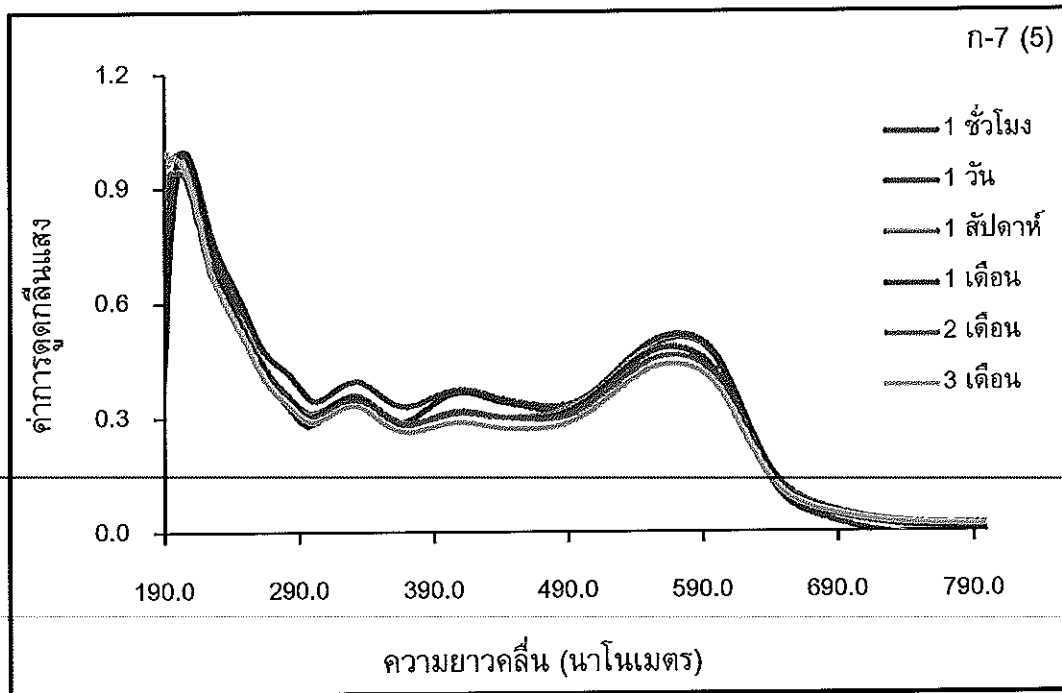
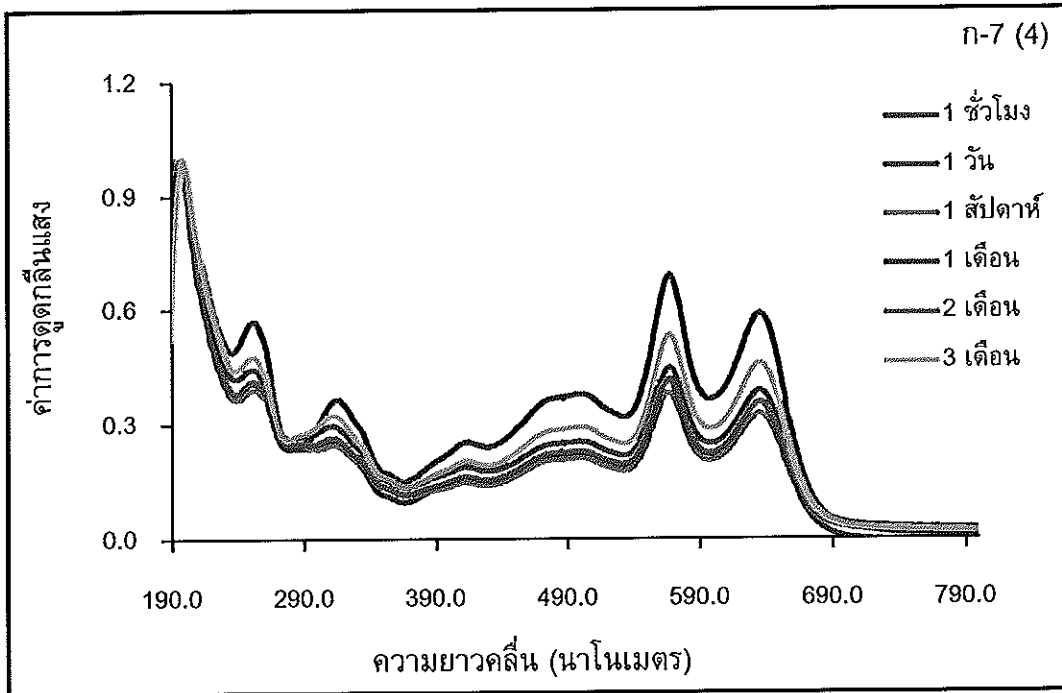


รูปที่ ก-6 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU







รูปที่ ก-7 รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซึมสีดำของบริษัทลามี่ (1) บาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สถิติ

เลือกความยาวคลื่นมา 3 ตำแหน่งที่หมึกซึมทั้ง 5 บริษัทให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ ความยาวคลื่นที่ 317 415 และ 567 นาโนเมตร แล้วทำการวิเคราะห์ One Way ANOVA กระดาษทั้ง 7 ชนิด คือ กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย ธนาคารกรุงไทย กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, และ SHIS-TZU ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน โดยทำการพิจารณาค่าในคอลัมน์ Sig. จะเห็นว่าค่าในคอลัมน์ Sig. ทุกตารางมีค่าน้อยกว่า 0.01 ซึ่งแสดงว่าค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซึม ณ เวลาต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Sig. < 0.01) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาในการเก็บเอกสารตัวอย่างมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของหมึกซึม

ตารางที่ ข-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.586	5	0.117	258.177	< 0.01
Within Groups	0.025	54	0.000		
Total	0.611	59			

ตารางที่ ข-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.733	5	0.547	71.793	< 0.01
Within Groups	0.411	54	0.008		
Total	3.144	59			

ตารางที่ ข-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.790	5	4.958	9.266	< 0.01
Within Groups	26.219	49	0.535		
Total	51.009	54			

ตารางที่ ข-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.346	5	0.469	201.751	< 0.01
Within Groups	0.126	54	0.002		
Total	2.472	59			

ตารางที่ ข-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.981	5	0.596	185.955	< 0.01
Within Groups	0.173	54	0.003		
Total	3.154	59			

ตารางที่ ข-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.878	5	0.77	225.976	< 0.01
Within Groups	0.185	54	0.003		
Total	4.063	59			

ตารางที่ ข-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟีลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.256	5	0.051	336.430	< 0.01
Within Groups	0.008	54	0.000		
Total	0.264	59			

ตารางที่ ข-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟีลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.356	5	0.071	510.443	< 0.01
Within Groups	0.008	54	0.000		
Total	0.363	59			

ตารางที่ ข-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.783	5	0.157	1400.250	< 0.01
Within Groups	0.006	54	0.000		
Total	0.789	59			

ตารางที่ ข-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.173	5	0.035	223.672	< 0.01
Within Groups	0.008	54	0.000		
Total	0.181	59			

ตารางที่ ข-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไฟลวด ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโน
เมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.984	5	1.597	222.983	< 0.01
Within Groups	0.387	54	0.007		
Total	8.371	59			

ตารางที่ ข-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.587	5	1.717	398.197	< 0.01
Within Groups	0.233	54	0.004		
Total	8.820	59			

ตารางที่ ข-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.692	5	0.338	225.515	< 0.01
Within Groups	0.081	54	0.002		
Total	1.773	59			

ตารางที่ ข-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.626	5	0.125	701.677	< 0.01
Within Groups	0.010	54	0.000		
Total	0.636	59			

ตารางที่ ข-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.919	5	0.184	663.664	< 0.01
Within Groups	0.015	54	0.000		
Total	0.934	59			

ตารางที่ ข-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.946	5	0.189	30.045	< 0.01
Within Groups	0.340	54	0.006		
Total	1.286	59			

ตารางที่ ข-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชิมสีดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.864	5	0.373	37.469	< 0.01
Within Groups	0.537	54	0.010		
Total	2.401	59			

ตารางที่ ข-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.358	5	2.272	12.676	< 0.01
Within Groups	9.139	51	0.179		
Total	20.497	56			

ตารางที่ ข-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.636	5	0.127	122.819	< 0.01
Within Groups	0.056	54	0.001		
Total	0.691	59			

ตารางที่ ข-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.968	5	0.194	53.622	< 0.01
Within Groups	0.195	54	0.004		
Total	1.163	59			

ตารางที่ ข-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.064	5	0.013	78.348	< 0.01
Within Groups	0.009	54	0.000		
Total	0.073	59			

ตารางที่ ข-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟีลีแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.103	5	0.021	203.762	< 0.01
Within Groups	0.005	54	0.000		
Total	0.108	59			

ตารางที่ ข-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟีลีแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.153	5	0.031	328.475	< 0.01
Within Groups	0.005	54	0.000		
Total	0.158	59			

ตารางที่ ข-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟีลีแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.322	5	0.064	769.160	< 0.01
Within Groups	0.005	54	0.000		
Total	0.326	59			

ตารางที่ ข-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.635	5	0.127	54.147	< 0.01
Within Groups	0.127	54	0.002		
Total	0.761	59			

ตารางที่ ข-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.019	5	0.004	30.166	< 0.01
Within Groups	0.007	54	0.000		
Total	0.025	59			

ตารางที่ ข-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.572	5	0.114	33.207	< 0.01
Within Groups	0.186	54	0.003		
Total	0.759	59			

ตารางที่ ข-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.803	5	0.161	149.912	< 0.01
Within Groups	0.058	54	0.001		
Total	0.861	59			

ตารางที่ ข-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.467	5	0.093	69.520	< 0.01
Within Groups	0.073	54	0.001		
Total	0.540	59			

ตารางที่ ข-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชึ่มสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.087	5	0.217	300.588	< 0.01
Within Groups	0.039	54	0.001		
Total	1.126	59			

ตารางที่ ข-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.703	5	0.141	432.837	< 0.01
Within Groups	0.018	54	0.000		
Total	0.720	59			

ตารางที่ ข-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.032	5	0.006	158.628	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.034	59			

ตารางที่ ข-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.002	5	0.000	13.349	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.003	59			

ตารางที่ ข-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.101	5	0.020	334.971	< 0.01
Within Groups	0.003	54	0.000		
Total	0.105	59			

ตารางที่ ข-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.057	5	0.011	280.831	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.059	59			

ตารางที่ ข-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567
นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.093	5	0.019	234.170	< 0.01
Within Groups	0.004	54	0.000		
Total	0.097	59			

ตารางที่ ข-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.136	5	0.227	69.637	< 0.01
Within Groups	0.176	54	0.003		
Total	1.312	59			

ตารางที่ ข-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.062	5	0.012	48.572	< 0.01
Within Groups	0.014	54	0.000		
Total	0.076	59			

ตารางที่ ข-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.076	5	0.015	58.458	< 0.01
Within Groups	0.014	54	0.000		
Total	0.090	59			

ตารางที่ ข-40 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.067	5	0.013	57.007	< 0.01
Within Groups	0.013	54	0.000		
Total	0.080	59			

ตารางที่ ข-41 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.029	5	0.006	44.469	< 0.01
Within Groups	0.007	54	0.000		
Total	0.036	59			

ตารางที่ ข-42 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.167	5	0.033	50.562	< 0.01
Within Groups	0.036	54	0.001		
Total	0.203	59			

ตารางที่ ข-43 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทเซฟ
เฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.072	5	0.014	104.153	< 0.01
Within Groups	0.007	54	0.000		
Total	0.080	59			

ตารางที่ ข-44 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.293	5	0.259	203.843	< 0.01
Within Groups	0.069	54	0.001		
Total	1.362	59			

ตารางที่ ข-45 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.892	5	0.178	156.510	< 0.01
Within Groups	0.062	54	0.001		
Total	0.954	59			

ตารางที่ ข-46 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.151	5	0.030	46.227	< 0.01
Within Groups	0.035	54	0.001		
Total	0.186	59			

ตารางที่ ข-47 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.010	5	0.002	39.708	< 0.01
Within Groups	0.003	54	0.000		
Total	0.013	59			

ตารางที่ ข-48 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.004	5	0.001	24.382	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.005	59			

ตารางที่ ข-49 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.251	5	0.050	21.175	< 0.01
Within Groups	0.128	54	0.002		
Total	0.379	59			

ตารางที่ ข-50 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.310	5	0.062	18.947	< 0.01
Within Groups	0.177	54	0.003		
Total	0.487	59			

ตารางที่ ข-51 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.429	5	0.086	24.323	< 0.01
Within Groups	0.191	54	0.004		
Total	0.620	59			

ตารางที่ ข-52 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.101	5	0.020	84.831	< 0.01
Within Groups	0.013	54	0.000		
Total	0.113	59			

ตารางที่ ข-53 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.438	5	0.088	38.000	< 0.01
Within Groups	0.124	54	0.002		
Total	0.562	59			

ตารางที่ ข-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.868	5	0.174	87.511	< 0.01
Within Groups	0.107	54	0.002		
Total	0.975	59			

ตารางที่ ข-55 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.228	5	0.046	12.332	< 0.01
Within Groups	0.200	54	0.004		
Total	0.428	59			

ตารางที่ ข-56 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.477	5	0.095	29.164	< 0.01
Within Groups	0.177	54	0.003		
Total	0.653	59			

ตารางที่ ข-57 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.720	5	0.144	40.760	< 0.01
Within Groups	0.191	54	0.004		
Total	0.910	59			

ตารางที่ ข-58 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.840	5	0.168	119.160	< 0.01
Within Groups	0.076	54	0.001		
Total	0.916	59			

ตารางที่ ข-59 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีเมนต์ดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.667	5	0.333	86.145	< 0.01
Within Groups	0.209	54	0.004		
Total	1.876	59			

ตารางที่ ข-60 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีเมนต์ดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงไทย ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.497	5	0.299	75.140	< 0.01
Within Groups	0.215	54	0.004		
Total	1.712	59			

ตารางที่ ข-61 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีเมนต์ดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.857	5	0.371	288.909	< 0.01
Within Groups	0.069	54	0.001		
Total	1.927	59			

ตารางที่ ข-62 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีเมนต์ดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.640	5	0.128	42.413	< 0.01
Within Groups	0.163	54	0.003		
Total	0.803	59			

ตารางที่ ข-63 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20.700	5	4.140	12.136	< 0.01
Within Groups	16.374	48	0.341		
Total	37.074	53			

ตารางที่ ข-64 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.019	5	0.004	39.977	< 0.01
Within Groups	0.005	54	0.000		
Total	0.024	59			

ตารางที่ ข-65 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.011	5	0.002	37.129	< 0.01
Within Groups	0.003	54	0.000		
Total	0.014	59			

ตารางที่ ข-66 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.018	5	0.004	36.264	< 0.01
Within Groups	0.005	54	0.000		
Total	0.024	59			

ตารางที่ ข-67 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.599	5	0.320	187.927	< 0.01
Within Groups	0.092	54	0.002		
Total	1.691	59			

ตารางที่ ข-68 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.496	5	0.499	174.457	< 0.01
Within Groups	0.155	54	0.003		
Total	2.651	59			

ตารางที่ ข-69 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.474	5	0.695	207.256	< 0.01
Within Groups	0.181	54	0.003		
Total	3.655	59			

ตารางที่ ข-70 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.128	5	0.026	129.798	< 0.01
Within Groups	0.011	54	0.000		
Total	0.139	59			

ตารางที่ ข-71 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.063	5	0.013	111.253	< 0.01
Within Groups	0.006	54	0.000		
Total	0.070	59			

ตารางที่ ข-72 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.492	5	0.098	167.560	< 0.01
Within Groups	0.032	54	0.001		
Total	0.523	59			

ตารางที่ ข-73 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.205	5	0.041	36.846	< 0.01
Within Groups	0.060	54	0.001		
Total	0.265	59			

ตารางที่ ข-74 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.420	5	0.084	76.868	< 0.01
Within Groups	0.059	54	0.001		
Total	0.479	59			

ตารางที่ ข-75 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.265	5	0.053	50.257	< 0.01
Within Groups	0.057	54	0.001		
Total	0.322	59			

ตารางที่ ข-76 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.425	5	0.085	237.163	< 0.01
Within Groups	0.019	54	0.000		
Total	0.445	59			

ตารางที่ ข-77 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.015	5	0.003	77.964	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.017	59			

ตารางที่ ข-78 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.001	5	0.000	5.219	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.003	59			

ตารางที่ ข-79 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.710	5	0.142	239.701	< 0.01
Within Groups	0.032	54	0.001		
Total	0.742	59			

ตารางที่ ข-80 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.107	5	0.221	229.741	< 0.01
Within Groups	0.052	54	0.001		
Total	1.159	59			

ตารางที่ ข-81 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.050	5	0.010	108.005	< 0.01
Within Groups	0.005	54	0.000		
Total	0.055	59			

ตารางที่ ข-82 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.332	5	0.066	443.194	< 0.01
Within Groups	0.008	54	0.000		
Total	0.340	59			

ตารางที่ ข-83 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.926	5	0.785	330.636	< 0.01
Within Groups	0.128	54	0.002		
Total	4.054	59			

ตารางที่ ข-84 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.679	5	0.136	402.746	< 0.01
Within Groups	0.018	54	0.000		
Total	0.697	59			

ตารางที่ ข-85 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.142	5	0.028	185.490	< 0.01
Within Groups	0.008	54	0.000		
Total	0.150	59			

ตารางที่ ข-86 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.109	5	0.022	275.264	< 0.01
Within Groups	0.004	54	0.000		
Total	0.113	59			

ตารางที่ ข-87 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.771	5	0.154	343.028	< 0.01
Within Groups	0.024	54	0.000		
Total	0.796	59			

ตารางที่ ข-88 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.157	5	0.031	411.673	< 0.01
Within Groups	0.004	54	0.000		
Total	0.161	59			

ตารางที่ ข-89 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชอล์กสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.587	5	0.517	347.648	< 0.01
Within Groups	0.080	54	0.001		
Total	2.667	59			

ตารางที่ ข-90 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชอล์กสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.268	5	0.454	200.929	< 0.01
Within Groups	0.122	54	0.002		
Total	2.390	59			

ตารางที่ ข-91 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชอล์กสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.378	5	0.276	140.856	< 0.01
Within Groups	0.106	54	0.002		
Total	1.484	59			

ตารางที่ ข-92 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกชอล์กสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.565	5	0.313	60.494	< 0.01
Within Groups	0.279	54	0.005		
Total	1.844	59			

ตารางที่ ข-93 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทลามี่ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.645	5	1.129	9.180	< 0.01
Within Groups	6.642	54	0.123		
Total	12.287	59			

ตารางที่ ข-94 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.150	5	0.230	388.166	< 0.01
Within Groups	0.032	54	0.001		
Total	1.182	59			

ตารางที่ ข-95 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.065	5	0.013	304.688	< 0.01
Within Groups	0.002	54	0.000		
Total	0.067	59			

ตารางที่ ข-96 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซีมสีดำบริษัทปาร์คเกอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.637	5	0.327	304.063	< 0.01
Within Groups	0.058	54	0.001		
Total	1.695	59			

ตารางที่ ข-97 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.252	5	0.050	327.331	< 0.01
Within Groups	0.008	54	0.000		
Total	0.260	59			

ตารางที่ ข-98 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.649	5	0.930	379.540	< 0.01
Within Groups	0.132	54	0.002		
Total	4.782	59			

ตารางที่ ข-99 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ฟิลิแกน ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.663	5	0.933	371.006	< 0.01
Within Groups	0.136	54	0.003		
Total	4.798	59			

ตารางที่ ข-100 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.202	5	0.240	153.812	< 0.01
Within Groups	0.084	54	0.002		
Total	1.287	59			

ตารางที่ ข-101 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.913	5	0.383	142.580	< 0.01
Within Groups	0.145	54	0.003		
Total	2.058	59			

ตารางที่ ข-102 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
ไพลอต ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.380	5	0.476	240.727	< 0.01
Within Groups	0.107	54	0.002		
Total	2.486	59			

ตารางที่ ข-103 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท
เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.151	5	0.030	22.258	< 0.01
Within Groups	0.073	54	0.001		
Total	0.225	59			

ตารางที่ ข-104 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.506	5	0.101	50.332	< 0.01
Within Groups	0.108	54	0.002		
Total	0.614	59			

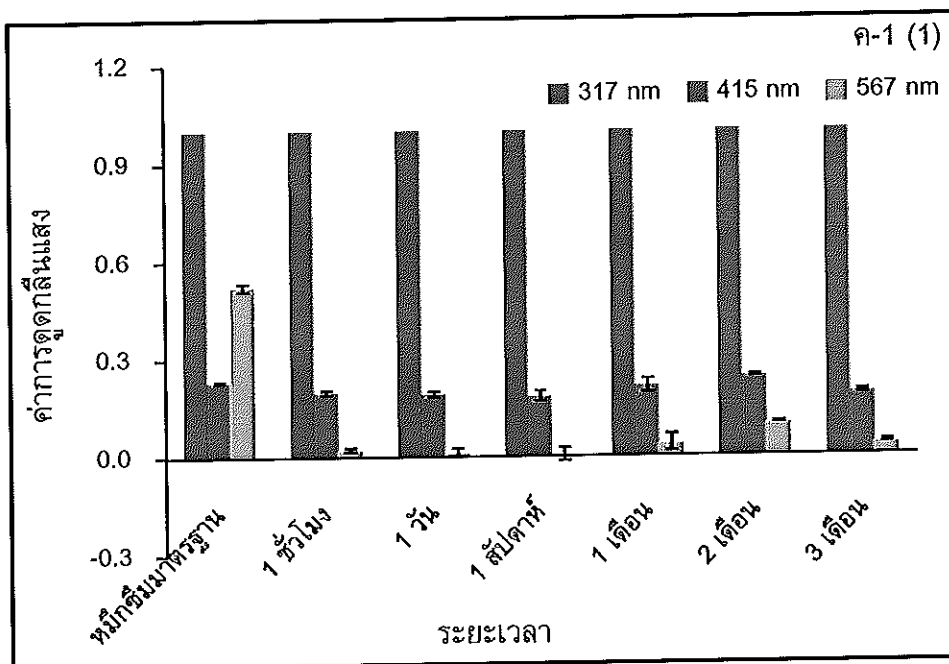
ตารางที่ ข-105 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way ANOVA) ของหมึกซึมสีดำบริษัท เซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่ความยาวคลื่น 567 นาโนเมตร

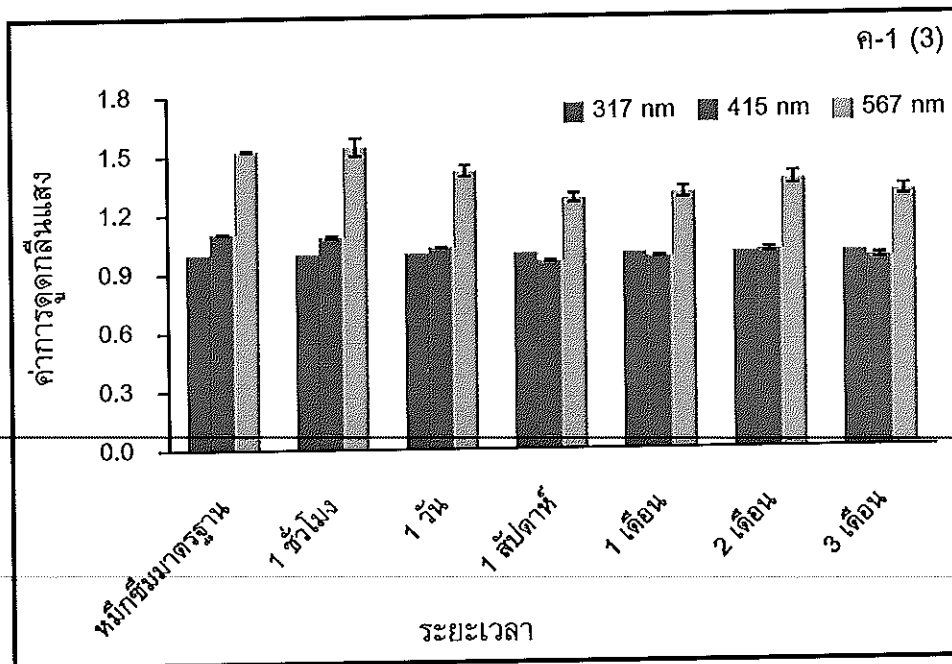
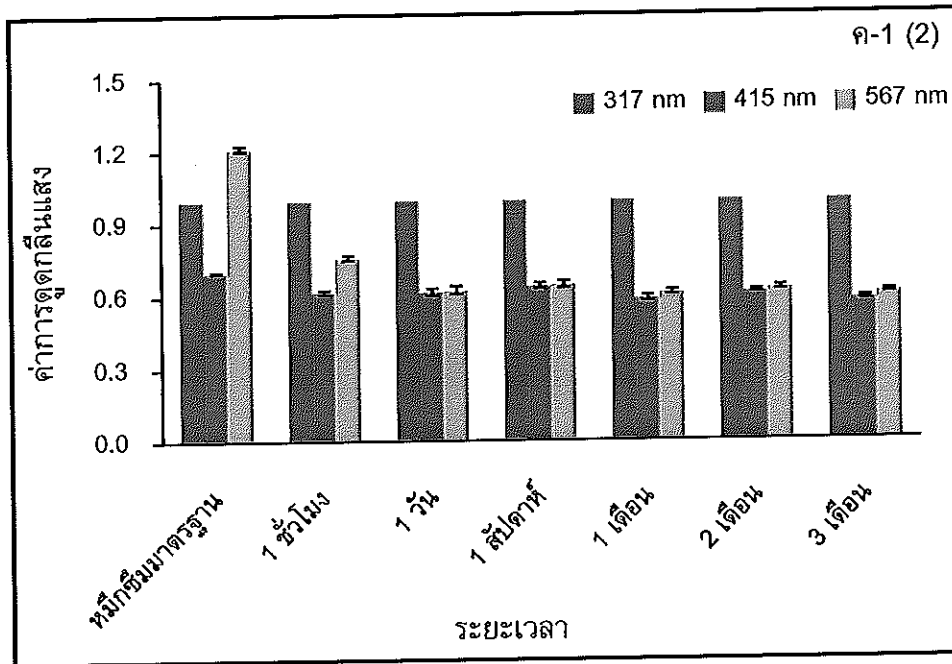
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.172	5	0.034	21.831	< 0.01
Within Groups	0.085	54	0.002		
Total	0.257	59			

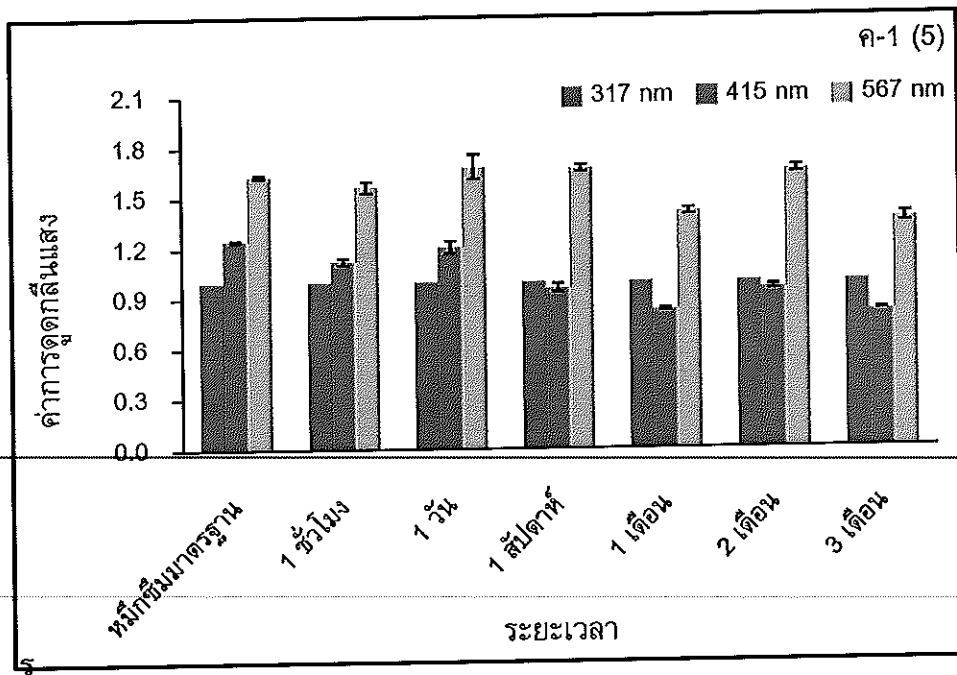
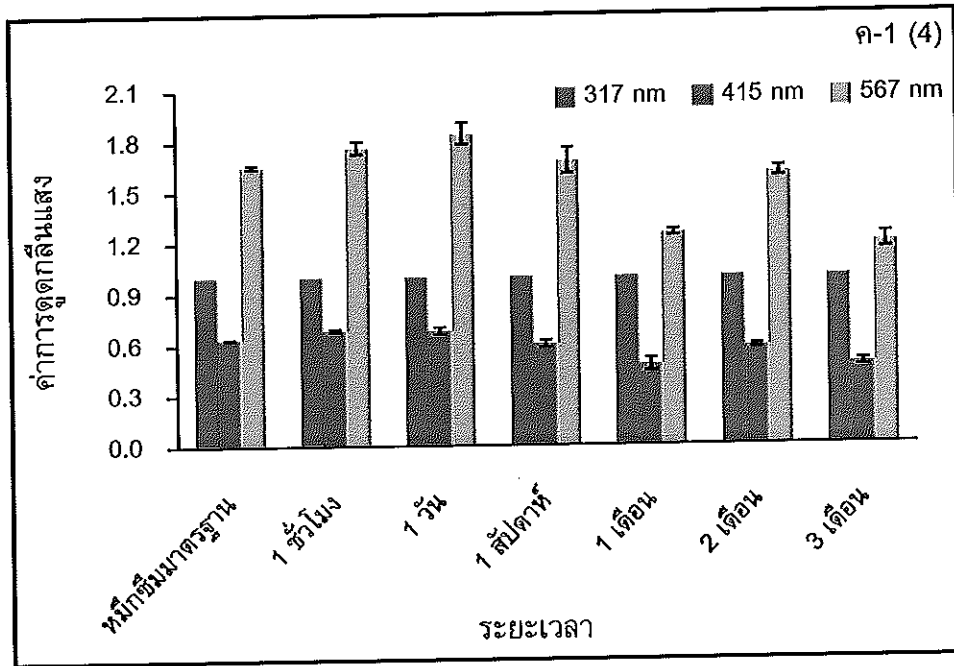
ภาคผนวก ค

ลักษณะกราฟแท่งของหมึกซีมสีดำ 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์

กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา

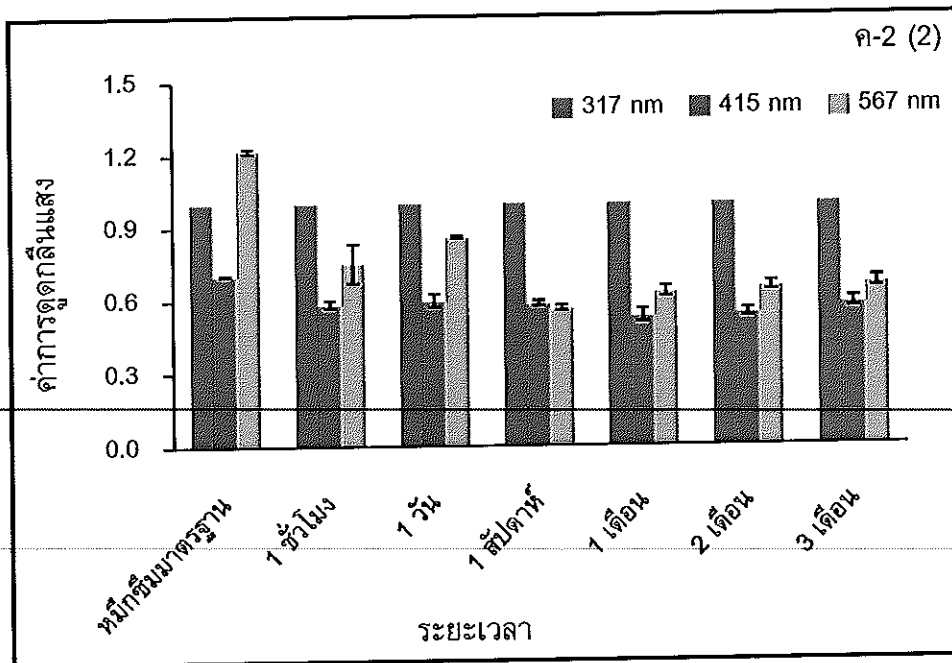
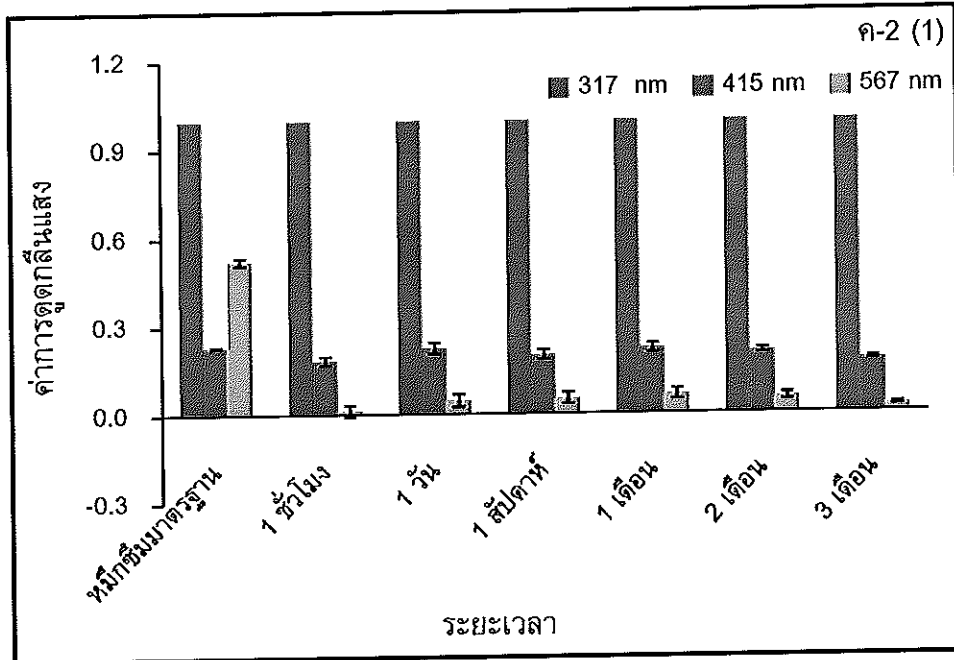


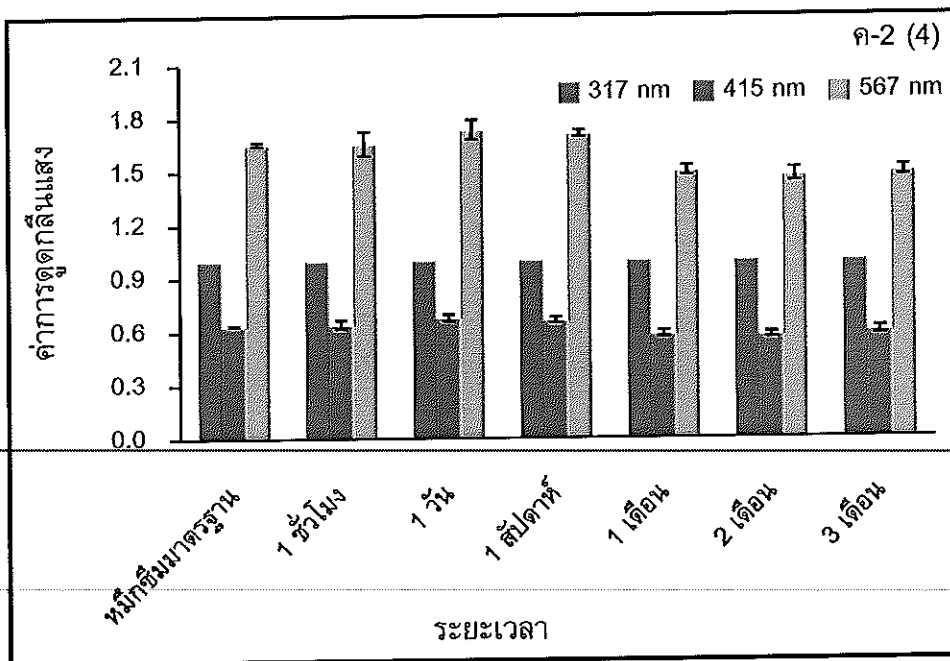
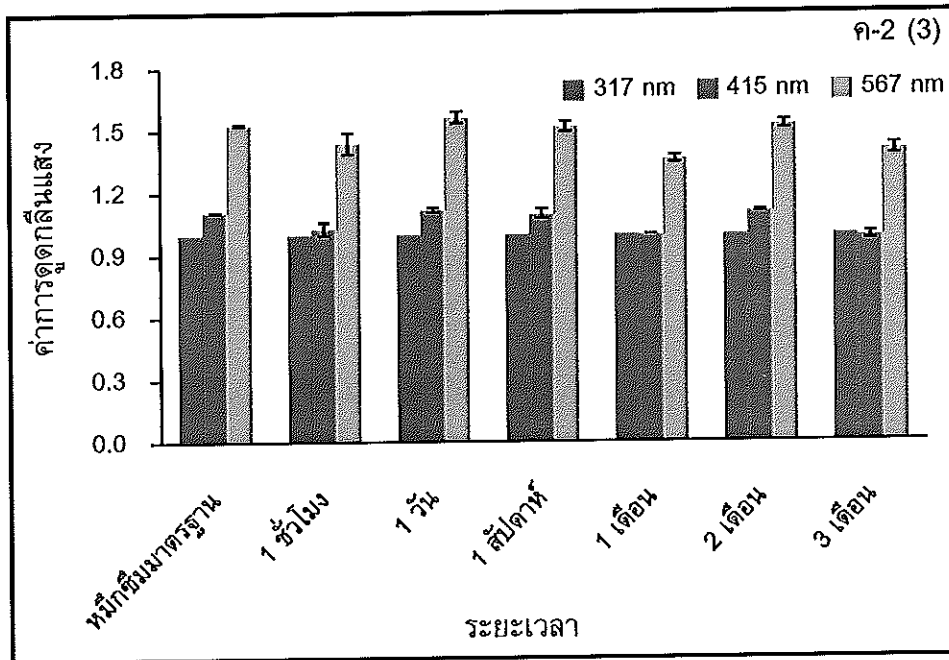


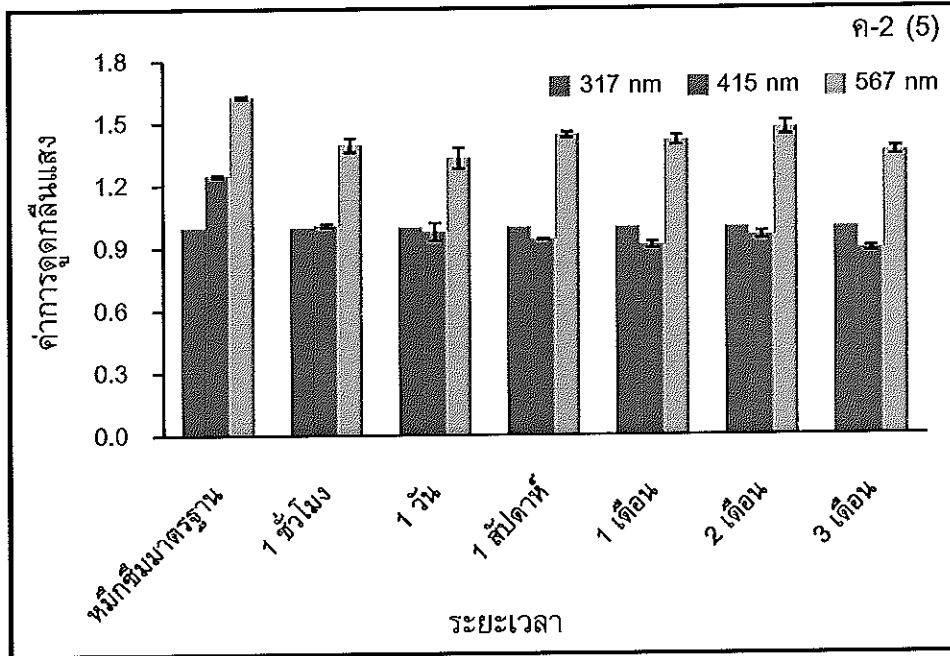


รูปที่ ค-1 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกัน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษใบทองเงินของธนาคารกรุงเทพ

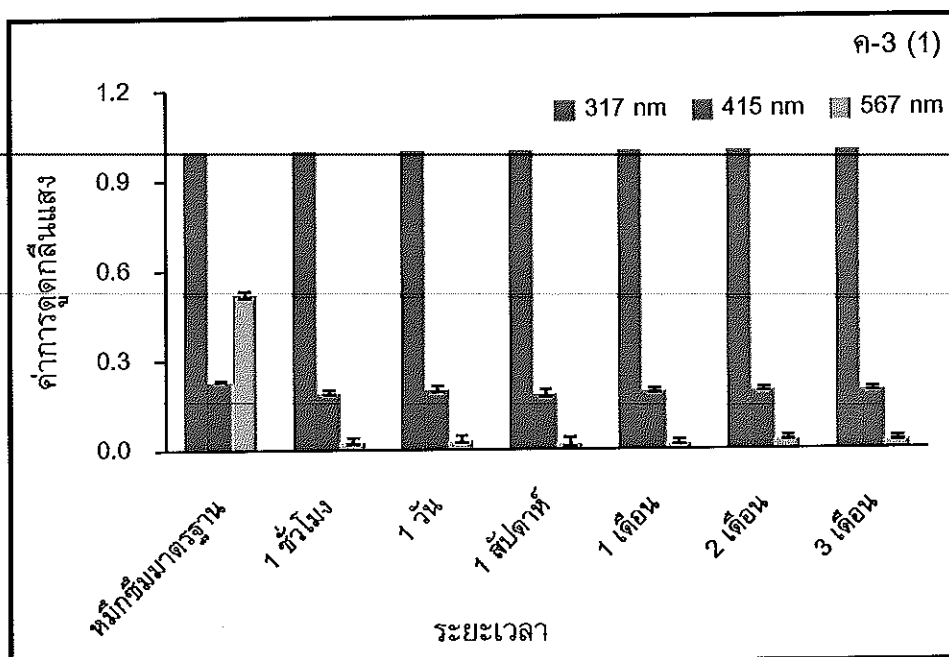


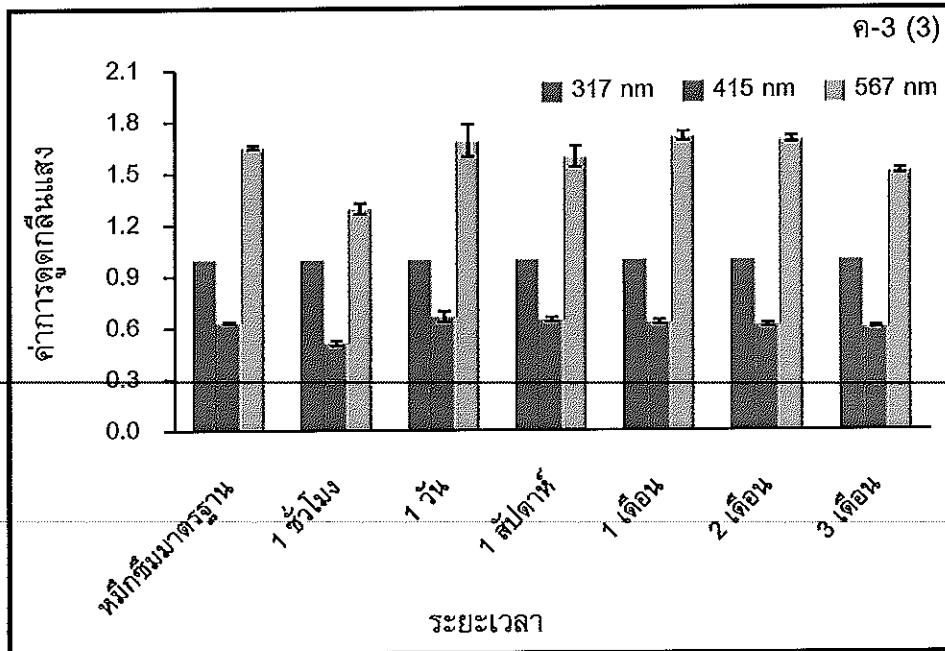
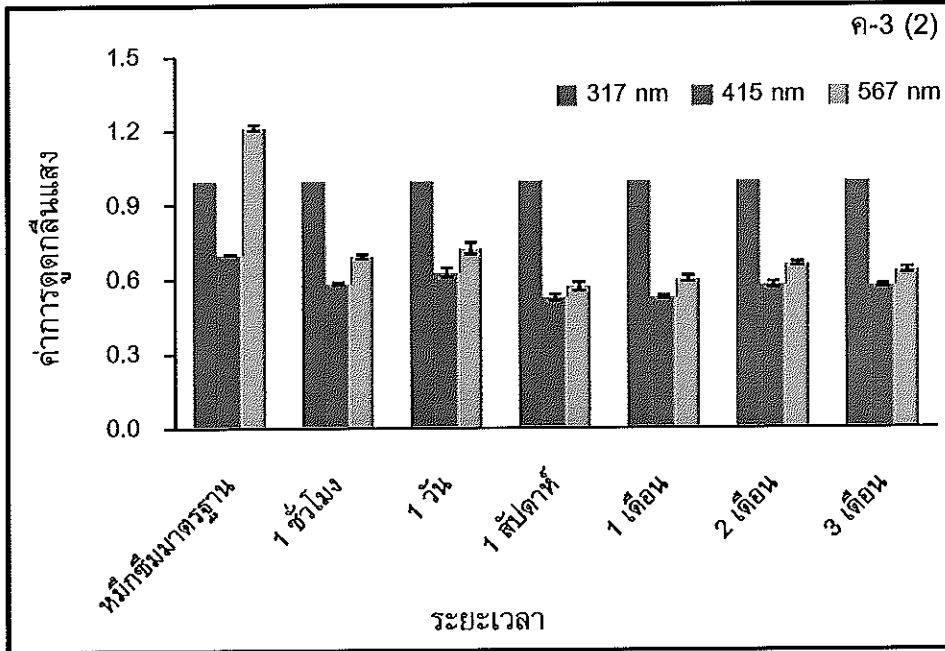


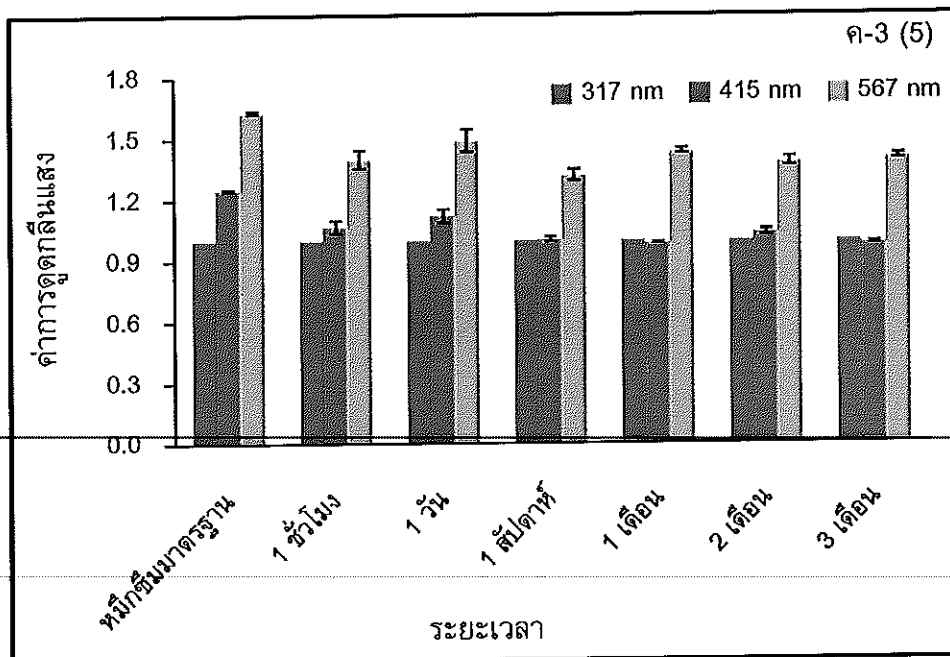
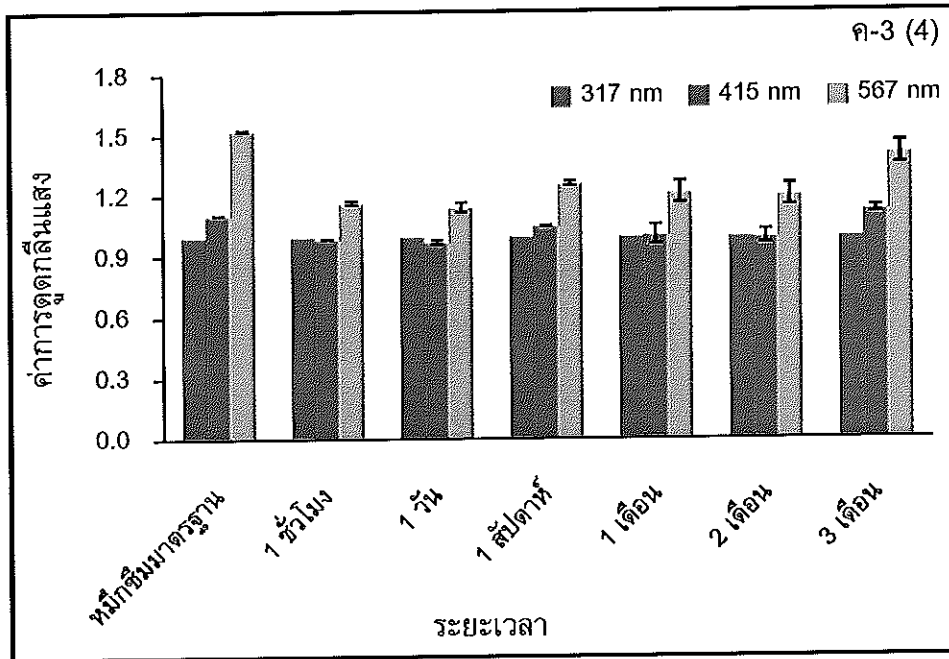


รูปที่ ค-2 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอว์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย

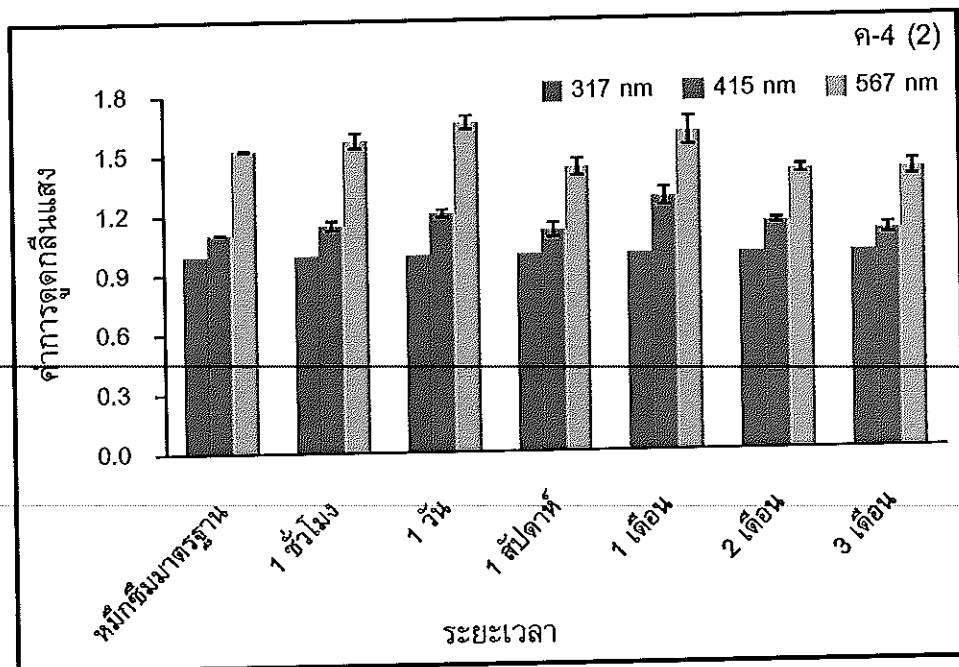
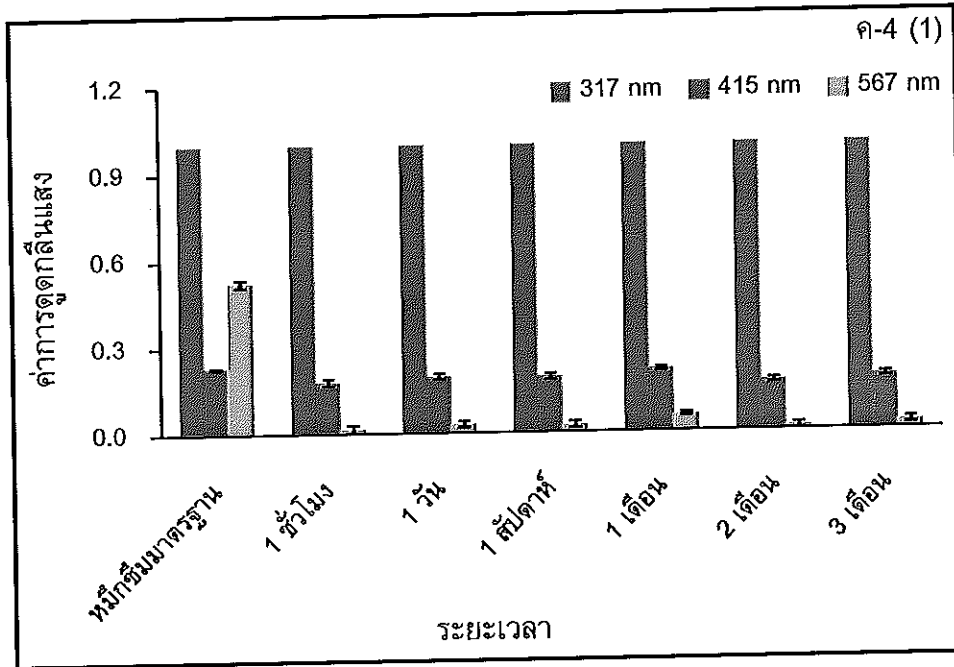


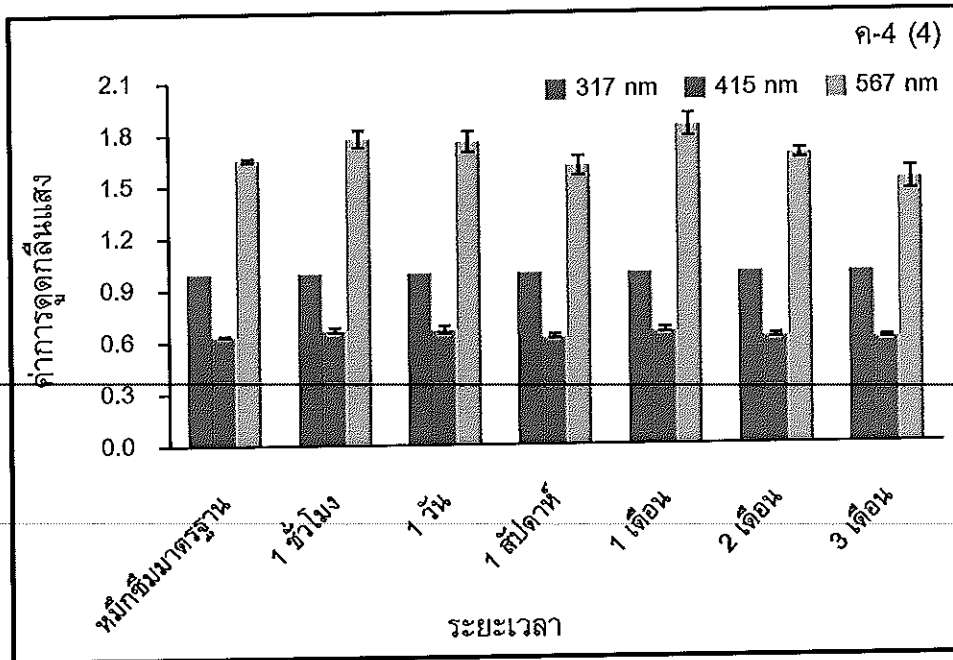
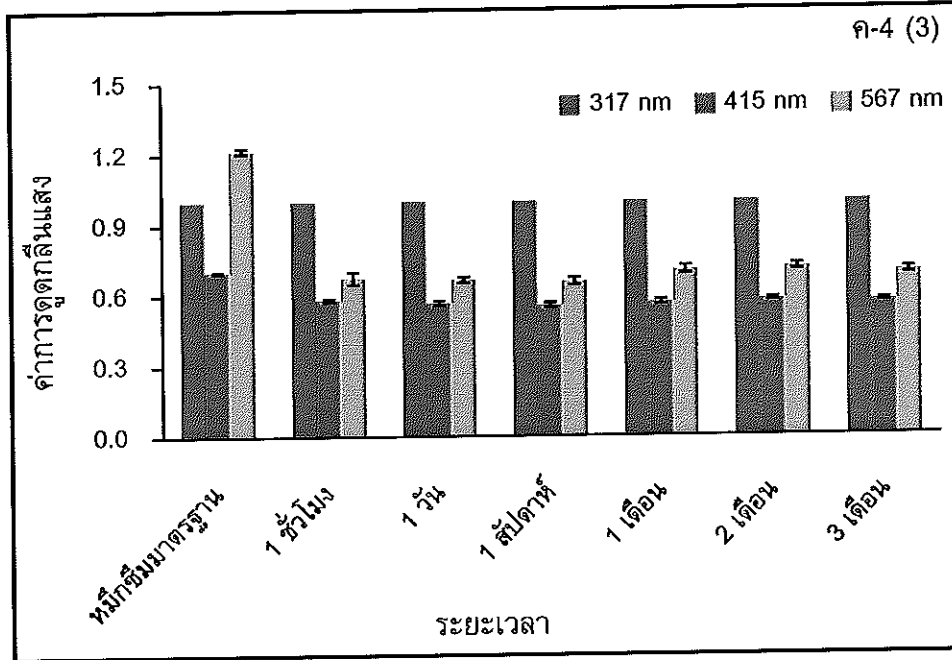


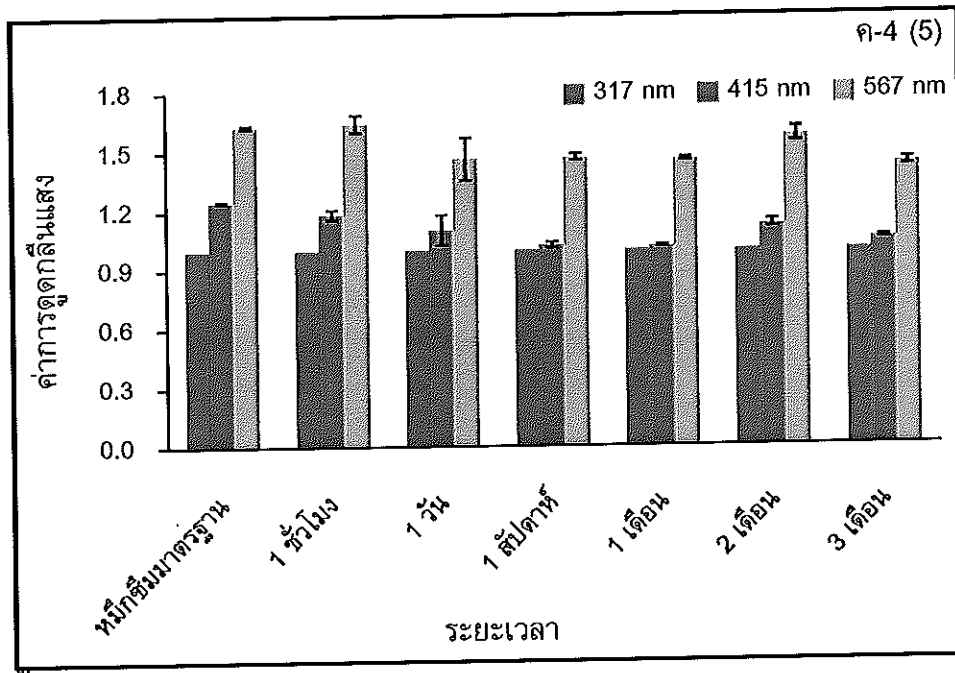


รูปที่ ค-3 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเมนต์ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษใบกอนเงินของธนาคารกรุงไทย

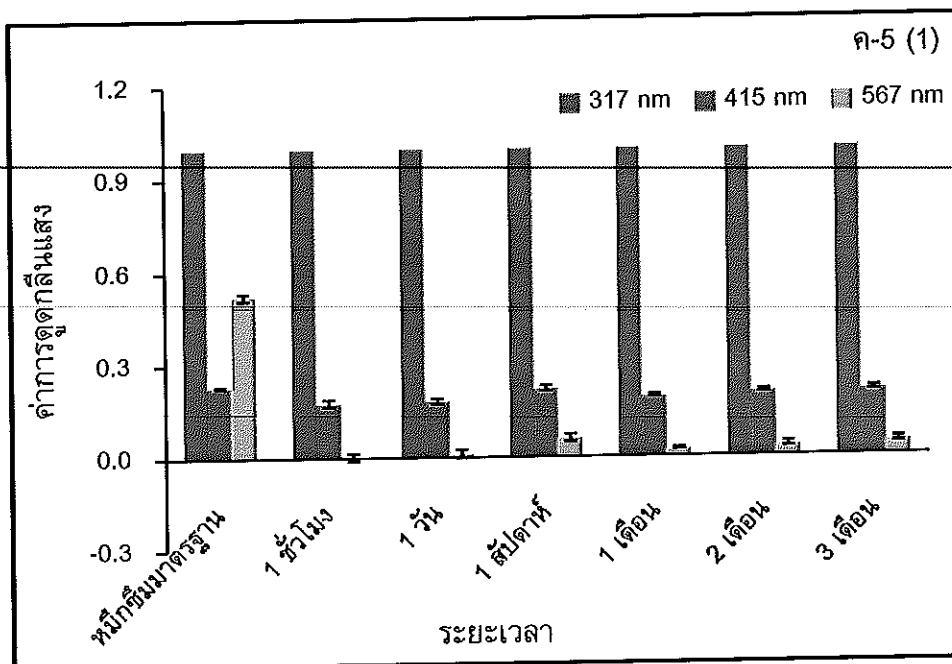


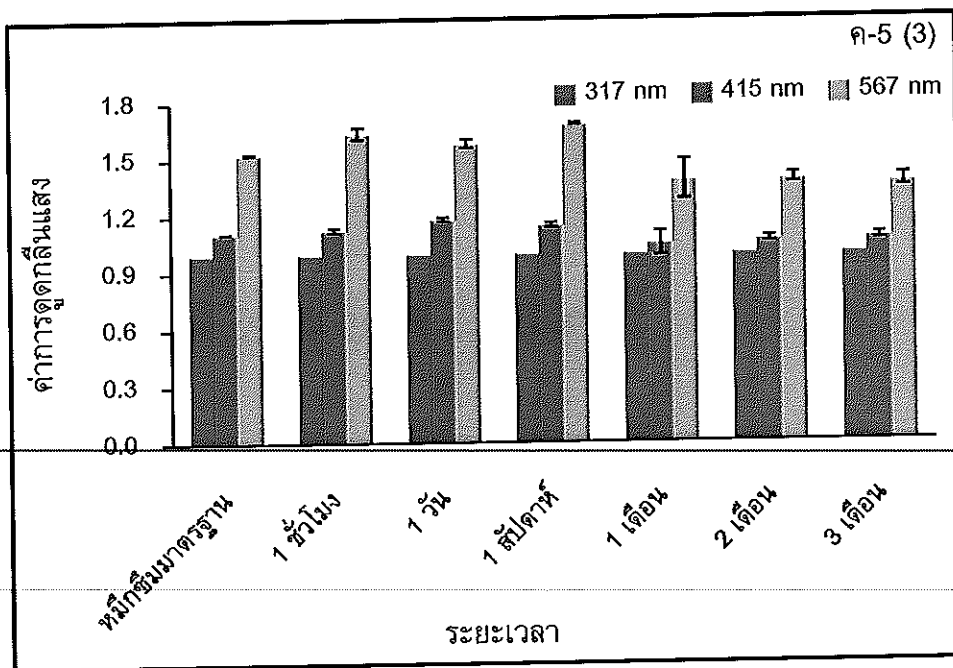
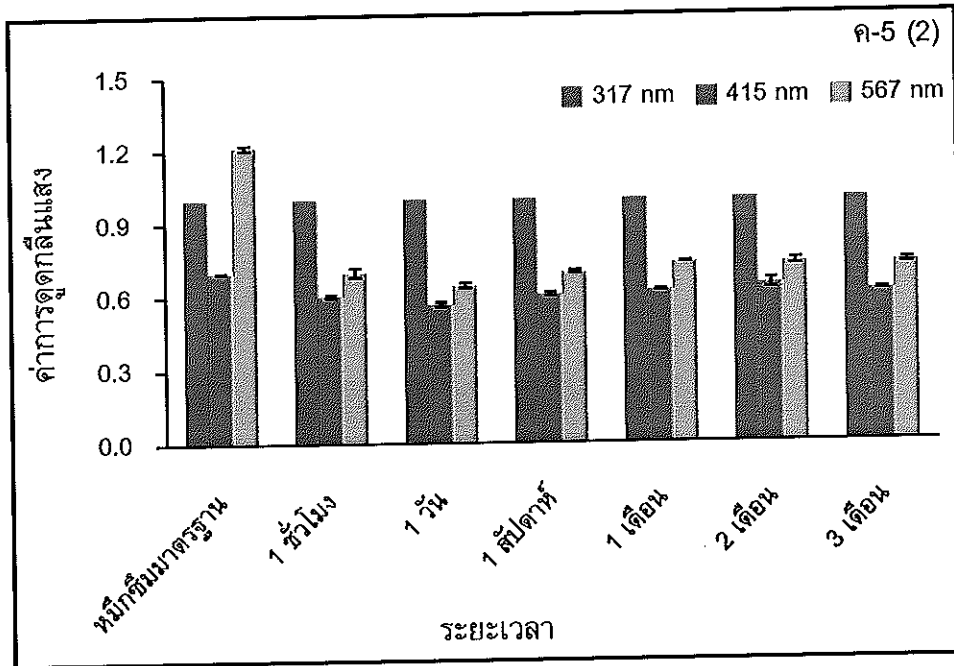


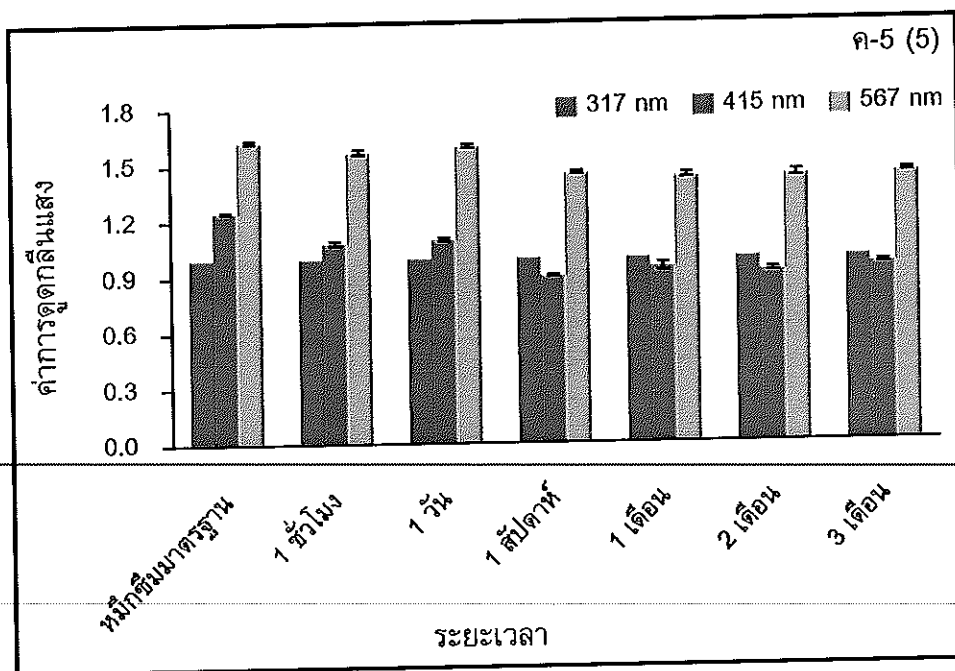
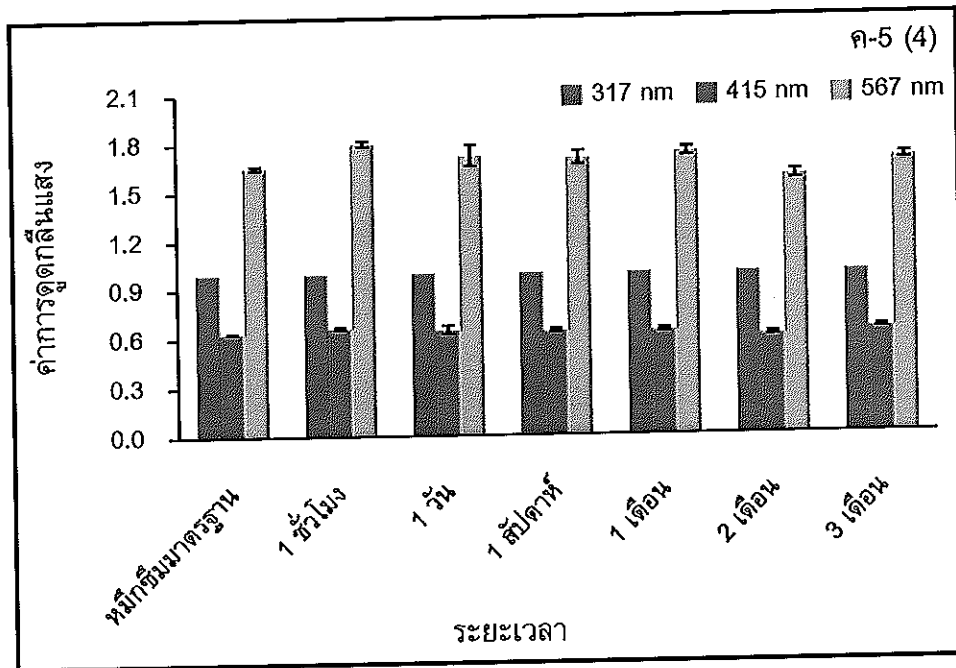


รูปที่ ค-4 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกพิมพ์สีดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกอน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A

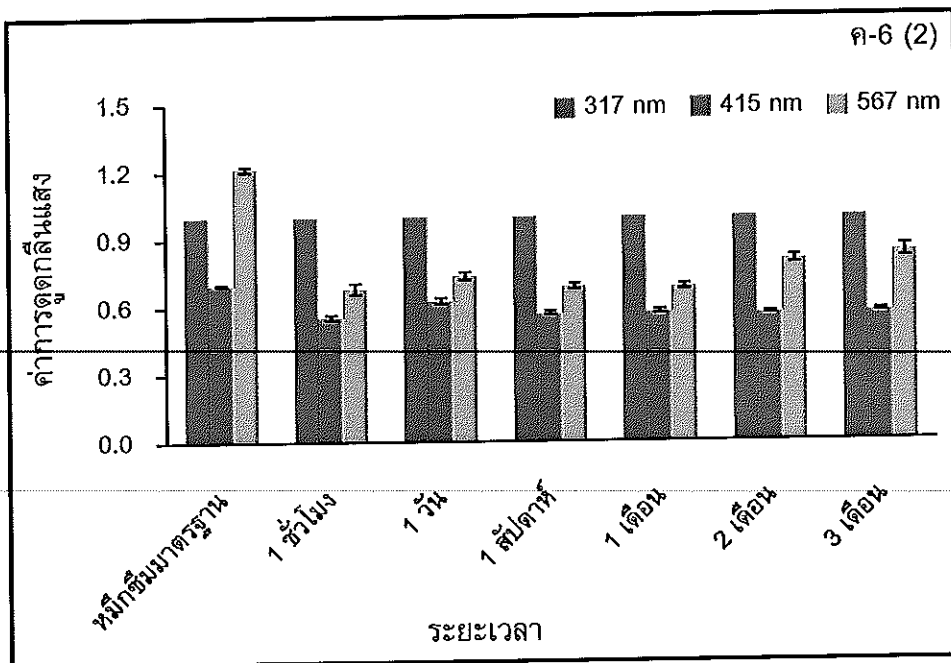
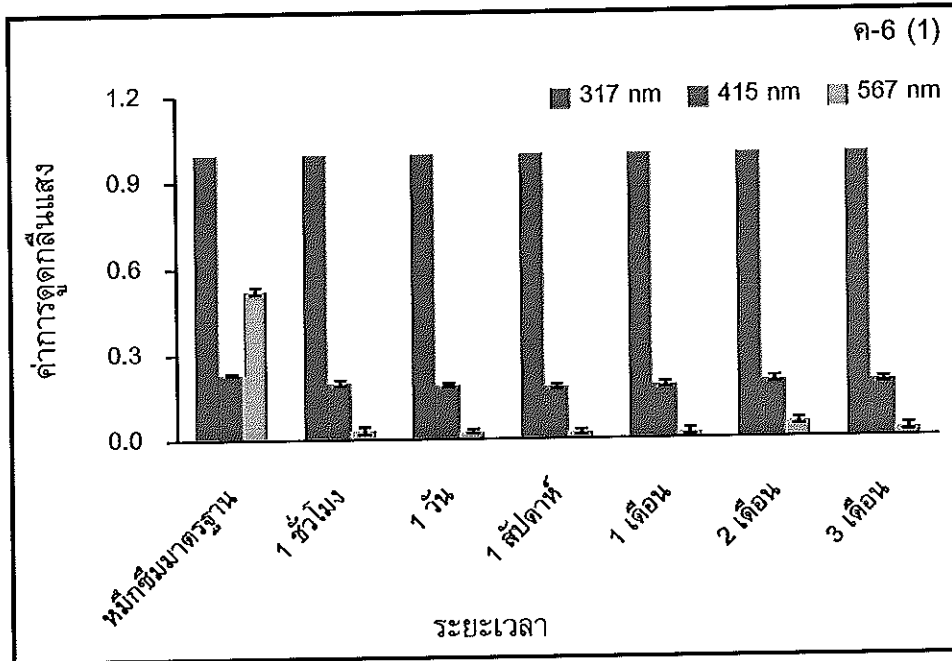


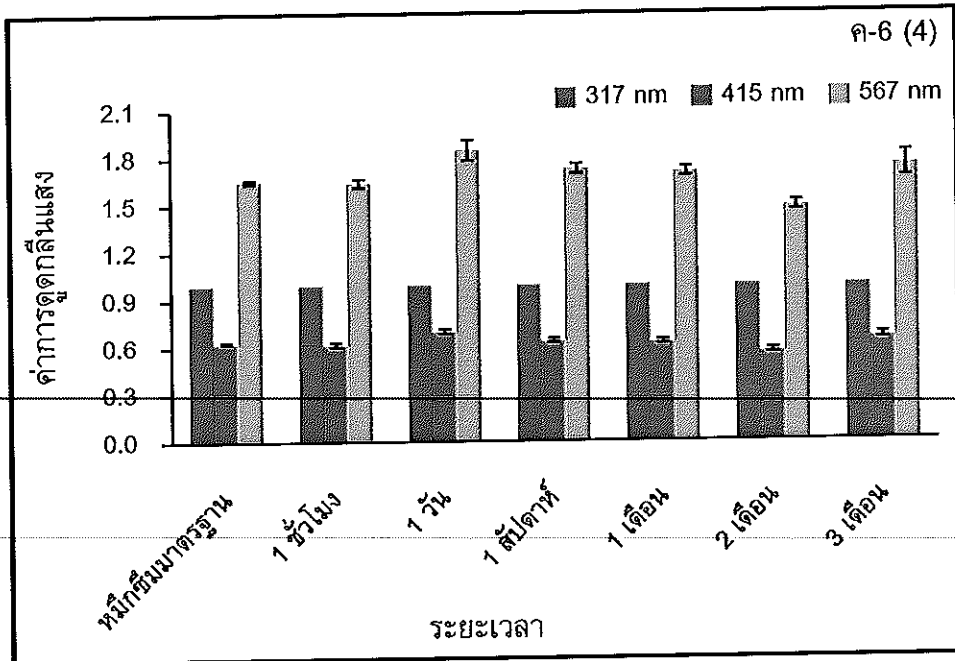
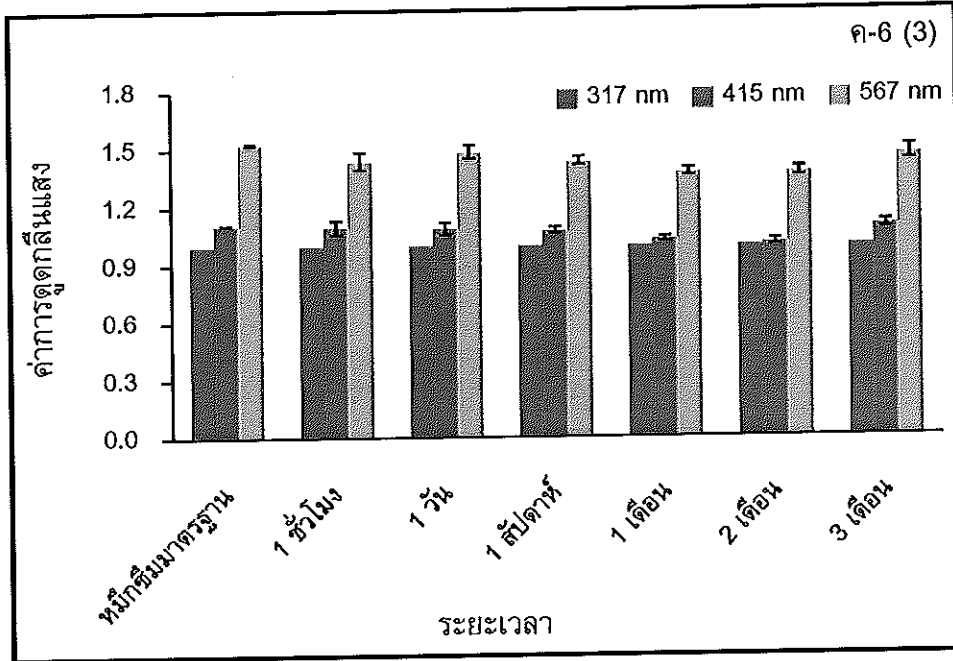


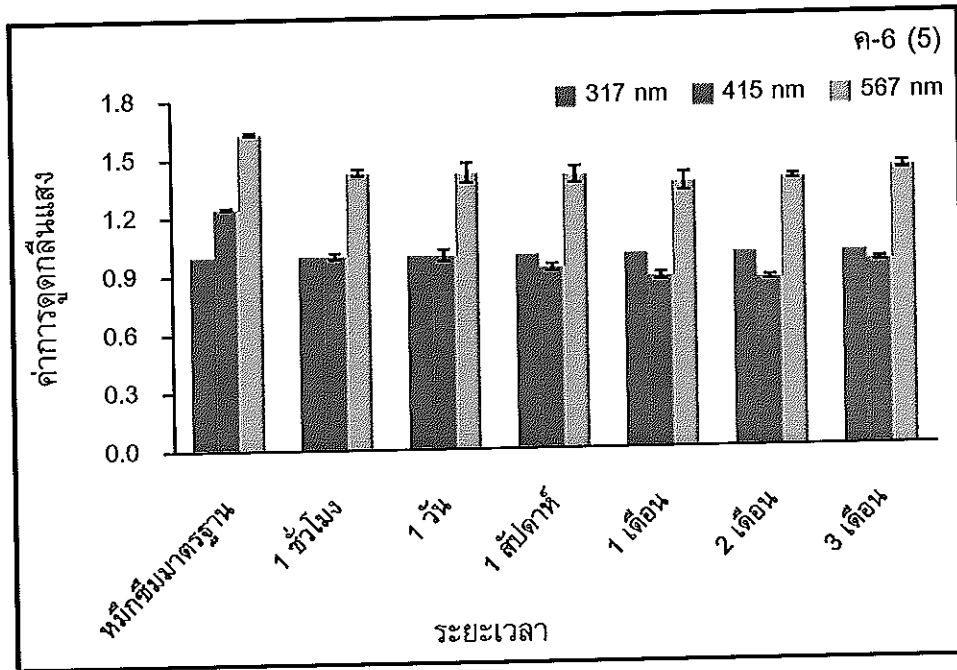


รูปที่ ค-5 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมีกซึมสีด้าบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกาน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality

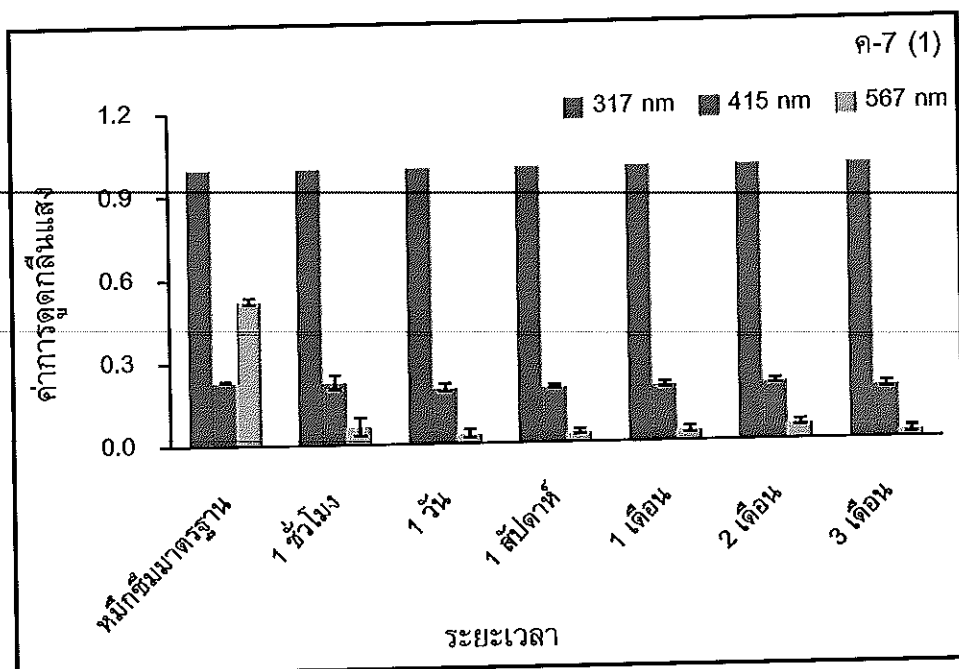


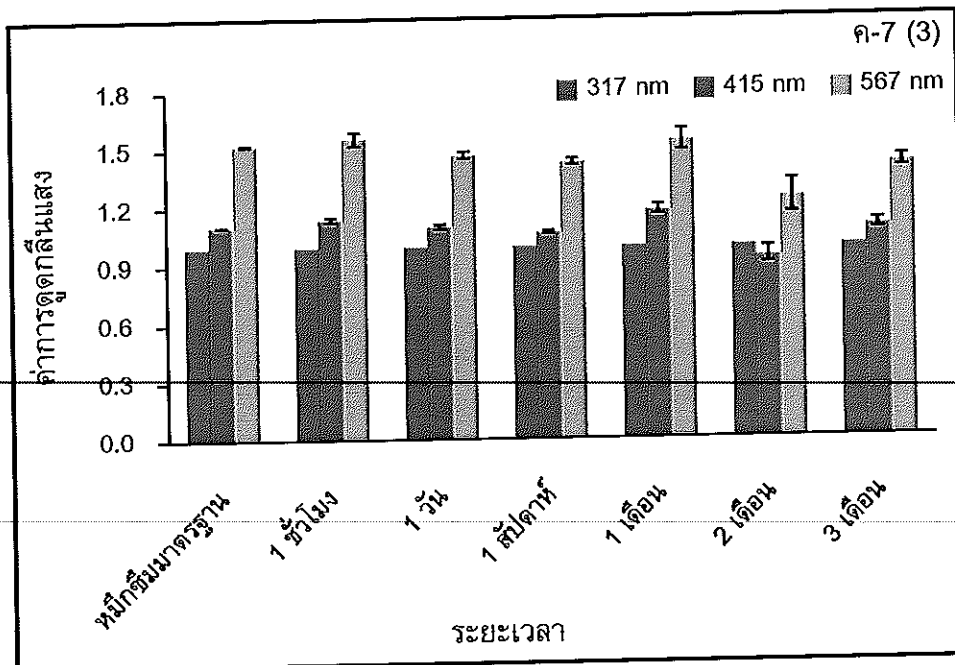
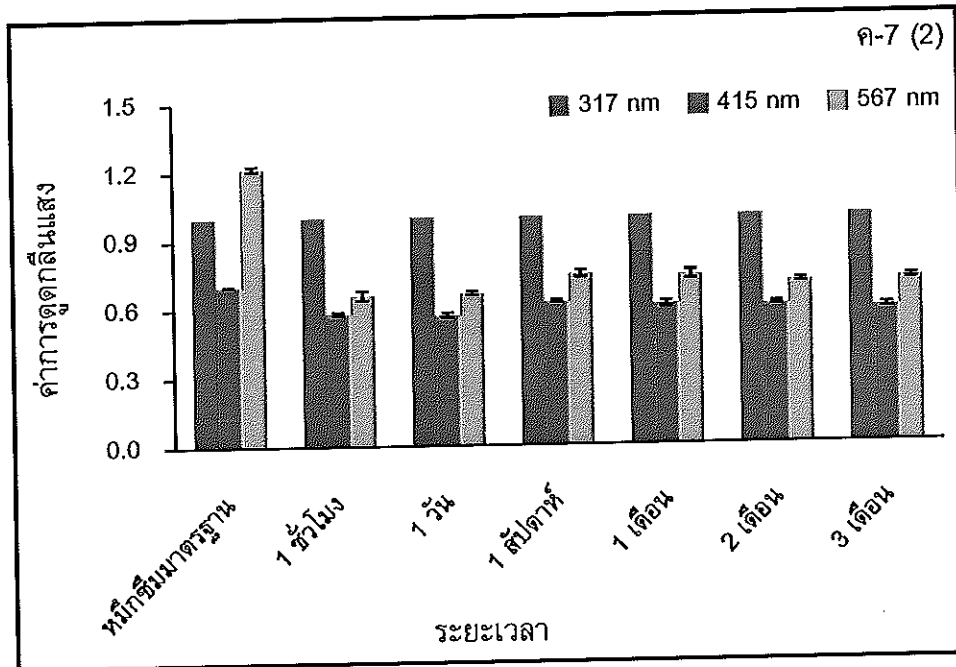


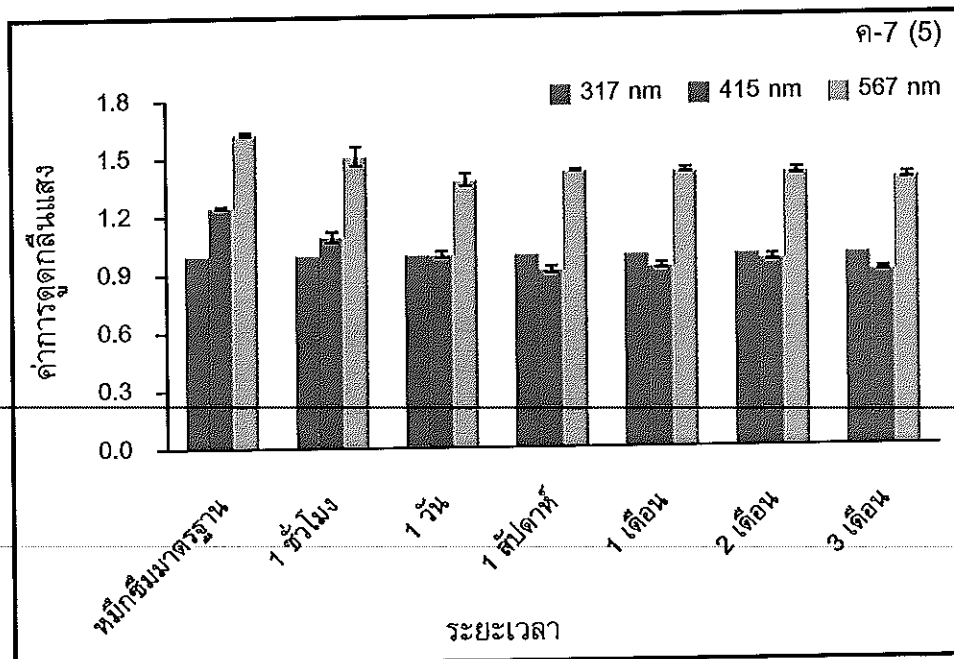
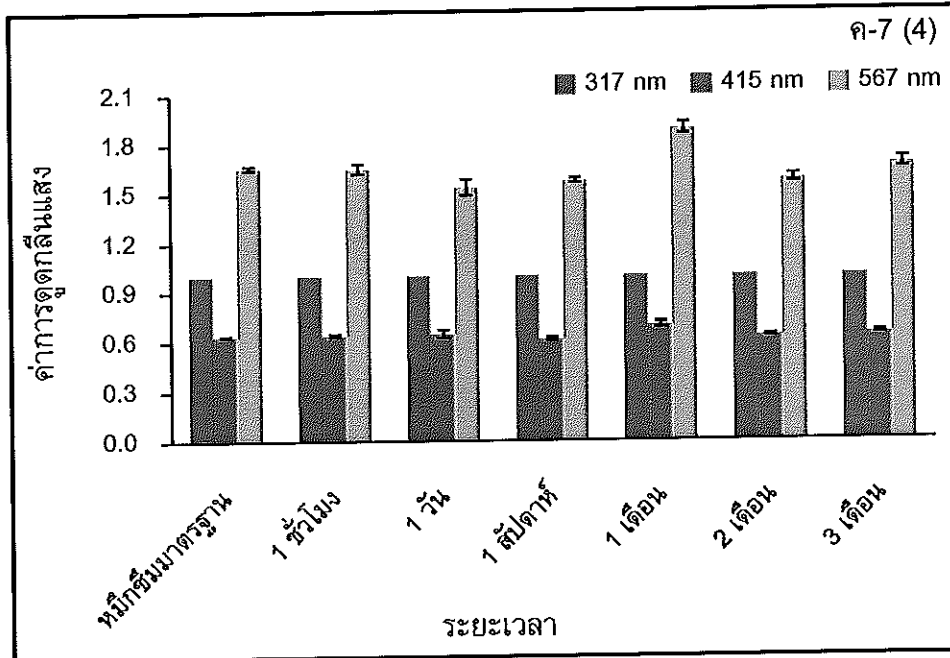


รูปที่ ค-6 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซึมสีดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟิลิแกน (3) ไพลอด (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่าง ๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

กระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU







รูปที่ ก-7 กราฟแท่งแสดงรูปแบบของหมึกซีเมนต์ดำบริษัทลามี (1) ปาร์คเกอร์ (2) ฟीलิกอน (3) ไพลอต (4) และเซฟเฟอร์ (5) ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ (ทำซ้ำ 10 ครั้ง)

ภาคผนวก ง

ค่า R_f ของหมึกซึมสีดำทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์

ตารางที่ ง-1 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.20 ± 0.01
	2	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.23 ± 0.00	0.23 ± 0.01	0.26 ± 0.02
	3	0.36 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.36 ± 0.00	0.37 ± 0.01	0.39 ± 0.01
	4	0.51 ± 0.01	0.50 ± 0.03	0.52 ± 0.01	0.50 ± 0.00	0.51 ± 0.01	0.54 ± 0.02
	5	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.54 ± 0.00	0.55 ± 0.01	0.58 ± 0.02

ตารางที่ ง-1 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ปาร์คเกอร์	1	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.15 ± 0.00	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.36 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.00	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	3	0.53 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.52 ± 0.02	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.01	0.50 ± 0.01
	4	0.56 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.53 ± 0.00	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01
ฟีลิกาน	1	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-	-
	2	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.00	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.01
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.56 ± 0.01
	3	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.00
	2	0.43 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.42 ± 0.01
	3	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.00	0.57 ± 0.01

ตารางที่ ง-2 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.20 ± 0.01
	2	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.01
	3	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.39 ± 0.01
	4	0.50 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.52 ± 0.02	0.50 ± 0.03	0.50 ± 0.01	0.54 ± 0.01
	5	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.53 ± 0.00	0.54 ± 0.01	0.58 ± 0.02
ปาร์คเกอร์	1	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.00	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	3	0.53 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.49 ± 0.00	0.50 ± 0.01	0.50 ± 0.01
	4	0.56 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.53 ± 0.00	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01
ฟีลิกาน	1	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-	-
	2	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.00	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.01

ตารางที่ ง-2 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงเทพ ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.01
	3	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.57 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.00
	2	0.42 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.42 ± 0.01
	3	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01

ตารางที่ ง-3 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.19 ± 0.02
	2	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.01
	3	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.39 ± 0.01
	4	0.50 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.52 ± 0.02	0.49 ± 0.00	0.50 ± 0.01	0.54 ± 0.01
	5	0.54 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.53 ± 0.00	0.54 ± 0.01	0.58 ± 0.02
ปาร์คเกอร์	1	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.00	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	3	0.53 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.50 ± 0.01
	4	0.56 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01
ฟิลิแกน	1	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-	-
	2	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.01

ตารางที่ ง-3 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟีลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกสิกรไทย ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.56 ± 0.01
	3	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.57 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.00
	2	0.42 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.42 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.42 ± 0.01
	3	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01

ตารางที่ ง-4 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอด และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.19 ± 0.01
	2	0.23 ± 0.00	0.23 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.01
	3	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.39 ± 0.01
	4	0.50 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.53 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.55 ± 0.02
	5	0.54 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.59 ± 0.02
ปาร์คเกอร์	1	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.00	0.34 ± 0.01	0.34 ± 0.01
	3	0.53 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.50 ± 0.01
	4	0.57 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01
ฟิลิแกน	1	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-	-
	2	0.55 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.01

ตารางที่ ง-4 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษใบถอนเงินของธนาคารกรุงไทย ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.56 ± 0.01
	3	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.58 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.42 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.44 ± 0.02	0.42 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.41 ± 0.01
	3	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01

ตารางที่ ง-5 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.19 ± 0.01
	2	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.00	0.25 ± 0.01
	3	0.37 ± 0.01	0.38 ± 0.02	0.42 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.40 ± 0.02
	4	0.53 ± 0.02	0.53 ± 0.02	0.54 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.51 ± 0.01	0.55 ± 0.02
	5	0.56 ± 0.02	0.56 ± 0.02	0.56 ± 0.03	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.59 ± 0.02
ปาร์คเกอร์	1	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01
	2	0.37 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	3	0.55 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.52 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.52 ± 0.01
	4	0.58 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01
ฟีลิกาน	1	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.00	-
	2	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.61 ± 0.02

ตารางที่ ง-5 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.00	0.58 ± 0.01
	3	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.59 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.17 ± 0.00	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.00
	2	0.43 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.45 ± 0.03	0.46 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.42 ± 0.01
	3	0.58 ± 0.01	0.58 ± 0.02	0.59 ± 0.02	0.58 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.56 ± 0.01

ตารางที่ ง-6 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.02
	2	0.24 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.28 ± 0.03	0.23 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.26 ± 0.02
	3	0.38 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.36 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.41 ± 0.02
	4	0.57 ± 0.02	0.57 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.56 ± 0.02
	5	0.60 ± 0.02	0.59 ± 0.02	0.59 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.59 ± 0.02
ปาร์คเกอร์	1	0.21 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.01
	2	0.39 ± 0.02	0.35 ± 0.01	0.37 ± 0.02	0.35 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.38 ± 0.01
	3	0.57 ± 0.02	0.52 ± 0.01	0.55 ± 0.03	0.51 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.02
	4	0.59 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.58 ± 0.02	0.54 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.59 ± 0.02
ฟิลิแกน	1	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-
	2	0.57 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.60 ± 0.02	0.57 ± 0.01	0.62 ± 0.02

ตารางที่ ง-6 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ Quality ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ไพลอต	1	0.30 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.56 ± 0.01	0.56 ± 0.02	0.56 ± 0.02	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.61 ± 0.02
	3	0.58 ± 0.02	0.58 ± 0.02	0.58 ± 0.02	0.58 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.63 ± 0.02
เซฟเฟอร์	1	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.19 ± 0.01
	2	0.46 ± 0.02	0.48 ± 0.03	0.47 ± 0.05	0.49 ± 0.01	0.42 ± 0.02	0.46 ± 0.01
	3	0.59 ± 0.01	0.60 ± 0.02	0.61 ± 0.02	0.60 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.01

ตารางที่ ง-7 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟิลิแกน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ลามี	1	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.00	0.19 ± 0.01
	2	0.24 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.24 ± 0.00	0.25 ± 0.02
	3	0.37 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.40 ± 0.02
	4	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.02	0.55 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.55 ± 0.02
	5	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.57 ± 0.03	0.54 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.59 ± 0.02
ปาร์คเกอร์	1	0.20 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01
	2	0.38 ± 0.02	0.35 ± 0.01	0.36 ± 0.02	0.34 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.37 ± 0.01
	3	0.56 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.53 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01
	4	0.58 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.56 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01
ฟิลิแกน	1	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	-
	2	0.56 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.61 ± 0.02

ตารางที่ ง-7 ค่า R_f ของจุดทุกจุดในหมึกซึมทั้ง 5 บริษัท คือ ลามี ปาร์คเกอร์ ฟीलิกาน ไพลอต และเซฟเฟอร์ ที่สกัดจากกระดาษ A4 ยี่ห้อ SHIH-TZU ที่เวลาต่างๆ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน (ต่อ)

บริษัท	จุดที่ (spot)	1 ชั่วโมง	1 วัน	1 สัปดาห์	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
ไพลอต	1	0.29 ± 0.01	-	-	-	-	-
	2	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.56 ± 0.00	0.59 ± 0.01
	3	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.00	0.61 ± 0.01
เซฟเฟอร์	1	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.00
	2	0.44 ± 0.02	0.46 ± 0.01	0.46 ± 0.04	0.48 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.44 ± 0.01
	3	0.58 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0.60 ± 0.02	0.59 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.58 ± 0.01

ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิค อัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี สำหรับงานนิติวิทยาศาสตร์ Characterization of Black Fountain Pen Ink by UV-Vis spectroscopy for Forensic Science

สุกัญญา งามรัก¹, จงดี ธรรมเขต², ชิตนนท์ บุรณชัย³, วรากร ลีมบุตร⁴ และเพริศพิชญ์ คณาธารณา⁵

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ ลามี่ ไพลอต ฟิลิแกน ปาร์คเกอร์ และ เซฟเฟอร์ โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ซึ่ง ทำการศึกษา รูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำทั้ง 5 บริษัท และทำการเปรียบเทียบรูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำ ระหว่างหมึก ซึมสีดำมาตรฐานและหมึกซึม สีดำที่สกัดจากเอกสารตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่ารูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงของหมึกซึม สีดำแต่ละบริษัทจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ยกเว้นหมึกซึม สีดำของบริษัท ฟิลิแกน และ เซฟเฟอร์ ที่ให้ลักษณะของสเปกตรัมที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งสามารถใช้สมบัติของสเปกตรัม ในการพิสูจน์ชนิดของหมึกซึมสีดำในเอกสารได้ และเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

Abstract

This research investigated the characteristic of black fountain pen ink from 5 manufacturers i.e. Lamy, Pilot, Peilikan, Parker and Sheaffer by UV-Vis spectroscopy. The results showed that the UV-Vis spectrums of 5 brands of black fountain pen ink are different except the Pelikan and Sheaffer. The technique was applied to the document samples and showed the validity so, it could be used for the forensic investigation.

คำสำคัญ : เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี รูปแบบหมึกซึม นิติวิทยาศาสตร์

Keywords : UV-Vis spectroscopy, Characteristic of fountain pen ink, Forensic Science

1 นักศึกษาสาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2 อาจารย์ ดร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3 อาจารย์ ดร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4 อาจารย์ ดร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
5 รองศาสตราจารย์ ดร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทนำ

เอกสารมีความสำคัญกับชีวิตมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นในด้านการค้า กฎหมาย ธุรกิจ และสังคม ด้วยเหตุนี้งานด้านการตรวจพิสูจน์เอกสารจึงมีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการสืบสวนสอบสวน อย่างกว้างขวาง การตรวจลายมือชื่อ ลายมือเขียน ตัวอักษรพิมพ์ดีด และการตรวจหาการปลอมแปลงเอกสาร เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเอกสารในแง่ของแหล่งที่มาของเอกสาร ผู้เขียนเอกสารหรือสภาพเดิมของเอกสาร นั้น ๆ ซึ่งจะนำไปสู่การคลี่คลายคดีได้ในที่สุด

การกระทำผิดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเอกสารนั้นมีหลายคดีด้วยกัน เช่น คดีเกี่ยวกับการคืนภาษี หนี้นายกรม การประกันภัย เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วเป็นที่ทราบกันดีว่า เอกสารประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายอย่าง เช่น กระดาษ หมึก ปากกาหรือเครื่องพิมพ์ดีด แต่น้อยคนที่จะทราบว่าวัสดุและอุปกรณ์ แต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว [1] ซึ่งจะช่วยในการระบุหรือยืนยันความผิดปกติของเอกสารได้

การวิเคราะห์เกี่ยวกับหมึก ส่วนใหญ่จะทำการศึกษางองค์ประกอบของหมึก และอายุของหมึก เทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของหมึก ได้แก่ เทคนิคทางโครมาโตกราฟี เช่น เทคนิคทินเลเยอร์ โครมาโตกราฟี หรือ เทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และราคาถูก แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถสังเกตเห็นองค์ประกอบของหมึกที่ไม่มีสีได้ และไม่สามารถจำแนกประเภทของหมึกที่มีรูปแบบของสีเหมือนกันได้ [2] นอกจากนี้เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีความสนใจในงานวิเคราะห์เกี่ยวกับหมึก เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการแยกสูง [3] และให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นขององค์ประกอบที่มีอยู่ในหมึกได้ ข้อจำกัดสำหรับเทคนิคนี้ คือ ทำลายสารตัวอย่าง ขั้นตอนในการเตรียมสารก่อนข้างยุ่งยาก และสามารถตรวจวิเคราะห์ได้เฉพาะสารที่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวเท่านั้น เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่มีความรวดเร็ว ราคาถูก [4] และสามารถวิเคราะห์สารต่าง ๆ ได้ทั้งสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีข้อจำกัด คือ ขั้นตอนในการเตรียมสารก่อนข้างยุ่งยาก ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้น เซลล์ ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ ถ้ามีการรั่วโดยไม่ถูกต้องจะชำรุดเสียหายง่ายมาก ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ เป็นต้น [5]

ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว คือ เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิลีเบลสเปกโทรสโกปี เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย ประยุกต์ใช้ได้กว้าง มีความรวดเร็ว และความแม่นยำสูง อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูงอีกด้วย [5] ดังนั้นงานวิจัยที่สนใจวิเคราะห์รูปแบบของหมึกขึ้น โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิลีเบลสเปกโทรสโกปี

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำมาตรฐานโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิลีเบลสเปกโทรสโกปี

ทำการเจือจางหมึกซึมสีดำมาตรฐานที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ Lamy, Pilot, Pelikan, Parker และ Sheaffer อย่างละ 2,000 เท่า แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100 (Analytikjena, Germany) ซึ่งในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวน 100 ซ้ำ

2. ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึม สีดำ ที่สกัดได้ จากเอกสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิลีเบลสเปกโทรสโกปี

ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัด โดยการเขียนลายเส้น ลงบนกระดาษทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ โดยใช้หมึกซึม สีดำที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ Lamy, Pilot, Pelikan, Parker และ Sheaffer ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ตัดกระดาษส่วนที่มีลายเส้นลงในขวดสกัด เติมตัวทำละลายที่ต้องการศึกษา คือ เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล และน้ำปราศจากไอออน ซึ่งผสมกับบอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.25 นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการ sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic Bench รุ่น AS7240AT Ultrasonic Cleaner (Automatic Science (Tianjin) Instrument co., TLD, China) เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัด การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer SPECORD S 100

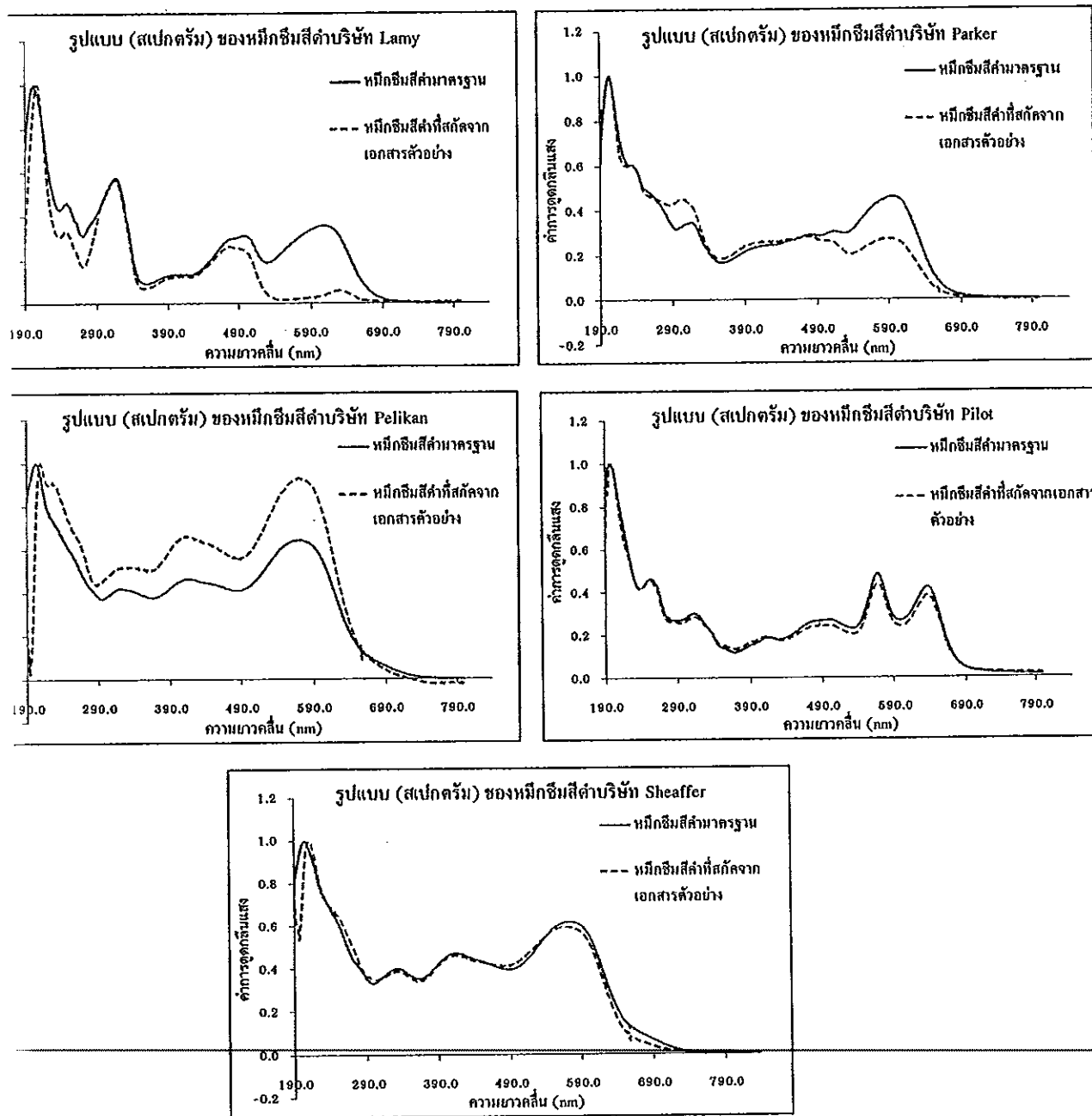
ศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด โดยได้ทำการสกัดที่เวลาต่างๆ คือ sonicate เป็นเวลา 15 30 และ 60 นาทีตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ซ้ำ

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการใช้ได้ของวิธีการ โดยการสกัดหมึกซึมสีดำจากกระดาษชนิดต่างๆ ได้แก่ กระดาษทองเงินของธนาคารกรุงศรีอยุธยา ธนาคารกรุงไทย ธนาคารกรุงเทพ ธนาคารกสิกรไทย กระดาษ A4 ยี่ห้อ Double A, Quality, SHIS-TZU และกระดาษเช็ดของธนาคาร Washington Mutual Bank ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งในการศึกษาจะทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ซ้ำ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเล็ต -วิลีเบลสเปกโทรสโกปี พบว่ารูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงของหมึกซึม สีดำแต่ละบริษัทจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ยกเว้นหมึกซึม สีดำของบริษัท Pelikan และ Sheaffer ที่ให้ลักษณะของสเปกตรัมที่คล้ายคลึงกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

และเมื่อทำการศึกษารูปแบบของหมึกซึมสีดำที่สกัด ได้จากกระดาษทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดหมึกซึมสีดำออกจากเอกสารตัวอย่าง คือ น้ำปราศจากไอออน (DI water) เนื่องจากให้รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงที่มีลักษณะเดียวกับหมึกซึม สีดำที่เป็นสารมาตรฐาน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลของหมึกซิมสีดำมาตรฐาน และหมึกซิมสีดำที่สกัดจากเอกสารตัวอย่างของบริษัท Lamy, Parker, Pelikan, Pilot และ Sheaffer

ในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด นั้น เมื่อสกัดหมึกซิม สีดำทั้ง 5 บริษัทออกจากกระดาษทองเงินของธนาคารไทยพาณิชย์ โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นตัวสกัด และ sonicate เป็นเวลา 15 30 และ 30 นาทีตามลำดับ พบว่าหมึกซิมสีดำทั้ง 5 บริษัทให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกวิธีการสกัดโดยการ sonicate เป็นเวลา 15 นาที เป็นวิธีการและเวลาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงและประหยัดเวลา

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการใช้ได้ของวิธี โดยนำสภาวะที่เหมาะสมมาใช้ในการสกัดหมึกซึมสีด้าออกจากกระดาษชนิดต่าง ๆ และเมื่อนำสารละลายที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่า รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงมีลักษณะเดียวกับหมึกซึมสีด้าที่เป็นสารมาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษารูปแบบของหมึกซึม สีด้าที่ผลิตจาก 5 บริษัท คือ Lamy, Pilot, Pelikan, Parker และ Sheaffer โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิลิเบิลสเปกโทรสโกปี ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดหมึกซึมสีด้าออกจากเอกสารตัวอย่าง คือ น้ำปราศจากไอออน (DI water) โดยจะทำการสกัดด้วยการ sonicate เป็นเวลา 15 นาที จากการศึกษาพบว่า รูปแบบ (สเปกตรัม) การดูดกลืนแสงของหมึกซึม สีด้าแต่ละบริษัท จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ยกเว้นหมึกซึม สีด้าของบริษัท Pelikan และ Sheaffer ที่ให้ลักษณะของ สเปกตรัม ที่คล้ายคลึงกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และหลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณสถานวิจัยการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยและไบโอเซนเซอร์ (Trace Analysis and Biosensor Research Center) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย นอกจากนี้ยังรวมไปถึงคณาจารย์ และ นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่สนับสนุน และให้คำปรึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สันต์ สุขวัจน์. 2549. นิติวิทยาศาสตร์ 1. วิทยาการตำรวจ กลุ่มงานวิชาสืบสวนและสอบสวนกองบังคับการวิชาการ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ.
- [2] J.A. Zlotnick, F.P. Smith. 1999. Chromatographic and electrophoretic approaches in ink analysis. *Journal of Chromatography B* 733: 265-272
- [3] Y.Z. Liu, J. Yu, M.X. Xie, Y. Chen, G.Y. Jiang, Y. Gao. 2006. Studies on the degradation of blue gel pen dyes by ion-pairing high performance liquid chromatography and electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1125: 95-103
- [4] A. Kher, M. Mulholland, E. Green, B. Reedy. 2006. Forensic classification of ballpoint pen inks using high performance liquid chromatography and infrared spectroscopy with principal components analysis and linear discriminant analysis. *Vibrational Spectroscopy* 40: 270-277
- [5] แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2539. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวสุกัญญา งามรัก	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010220148	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการการศึกษา)

1. ปีการศึกษา 2551 – 2552 ได้รับทุนผู้ช่วยสอน จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุกัญญา งามรัก, จงดี ธรรมเขต, ชิตนนท์ บุรณชัย, วรากร ลิ้มบุตร และเพริศพิชญ์ คณา
 ธารณา. 2552. “ศึกษารูปแบบ (สเปกตรัม) ของหมึกซึมสีดำ โดยใช้เทคนิค
 อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี สำหรับงานนิติวิทยาศาสตร์”. การประชุมเสนอ
 ผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 วันที่ 10 - 11 กันยายน 2552 ณ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.