



การวิเคราะห์ลึปสติกด้วยเทคนิค ATR-FTIR และการวัดสีเพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์



โดย  
นางสาวชนิกานต์ กองแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์ลิพิดิกด้วยเทคนิค ATR-FTIR และการวัดสีเพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติ  
วิทยาศาสตร์



โดย  
นางสาวชนิกานต์ กองแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2566  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ANALYSIS OF LIPSTICK USING ATR-FTIR AND COLOR MEASUREMENT FOR  
FORENSIC PURPOSES



By  
MISS Chanikarn KONGKAEW

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การวิเคราะห์ลิพิดิกด้วยเทคนิค ATR-FTIR และการวัดสีเพื่อ วัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์
โดย	นางสาวชนิกานต์ กองแก้ว
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

---

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ ฉิมพาลี)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม)  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)  
..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุภาพร สมิน้อย)

640720041 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : ลิปสติก, นิติวิทยาศาสตร์, Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), Spectrophotometer, อำนาจในการแยก

นางสาว ชนิกานต์ กองแก้ว: การวิเคราะห์ลิปสติกด้วยเทคนิค ATR-FTIR และการวัดสีเพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

ลิปสติกเป็นเครื่องสำอางยอดนิยมที่นำมาใช้ในหมู่ผู้หญิงและผู้ชาย สามารถพบร่องรอยของลิปสติกในการปนเปื้อนบนพื้นผิวต่างๆได้ ดังนั้นการระบุร่องรอยของลิปสติกที่เกิดเหตุอาจเป็นหลักฐานสำคัญทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในการนำไประบุตัวคนร้ายได้ ในการศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์ลิปสติกที่สามารถพบได้ง่ายในท้องตลาดจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ในช่วงความยาวคลื่น 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  ทำการทดลองในกรณีที่ไม่มีพื้นผิวและทดลองบนพื้นผิวที่เป็นผ้าดิบ พบว่าลิปสติกแต่ละตัวอย่างมีเลขคลื่นที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าสถิติอำนาจในการแยก (Discriminating power : DP) มีค่า 100% และในส่วนของทดลองวัดค่าสี (Color Measurement) ของร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer พบว่าในทุกตัวอย่างแสดงผลค่าสีออกมาแตกต่างกัน เมื่อนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) สามารถบ่งบอกได้ว่าลิปสติกทุกตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถแยกตัวอย่างของลิปสติกเพื่อนำมาประยุกต์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

640720041 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : lipstick, forensic science, Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), Spectrophotometer, discriminating power

MISS Chanikarn KONGKAEW : Analysis of lipstick using ATR-FTIR and Color measurement for forensic purposes Thesis advisor : Orathai Kheawpum

Lipstick is a popular cosmetic product used by both women and men. Traces of lipstick can be found in contaminants on various surfaces. Therefore, identifying traces of lipstick at the crime scene may be important forensic evidence in identifying the criminal. In this study, 20 samples of easily found lipsticks on the store were analyzed using the Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) in the wavelength range of 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . The experiment was conducted in the absence of a surface and experiment on a calico surface. It was found that each lipstick sample had a different wavenumber. Therefore, resulting in the Discriminating power has a value of 100%. In the experimental part the color measurement of lipstick traces on the calico using Spectrophotometer found that every sample displayed different color values. When calculated to find the color difference ( $\Delta E$ ), it can indicate that every lipstick sample has a different shade value. This allows the information obtained from this research to separate samples of lipstick for application in forensic science.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์ลิพิดิกด้วยเทคนิค ATR-FTIR และการวัดสีเพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา ข้อคิด และความช่วยเหลือในการแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยยังขอขอบพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ประธานกรรมการ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ยุภาพร สมีน้อย คณะกรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำการแก้ไข ความช่วยเหลือ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ เพื่อน รวมถึงบุคคลที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่คอยให้คำปรึกษา สนับสนุน รวมถึงให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



ชนิกันต์ กองแก้ว

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ลิปสติก.....	5
2.2 เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR).....	8
2.3 การวัดสี (Color Measurement).....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.5 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	14



3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	14
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล.....	22
บทที่ 4.....	24
4.1 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR.....	24
4.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer.....	30
บทที่ 5.....	35
5.1 สรุปและอภิปรายผล.....	35
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	36
รายการอ้างอิง.....	37
ภาคผนวก.....	39
ประวัติผู้เขียน.....	72



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ยี่ห้อและรุ่นของตัวอย่างลิปสติก .....	15
ตารางที่ 2 ภาพผลิตภัณฑ์และร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ .....	21
ตารางที่ 3 พิกของเลขคลื่นหลักที่พบในตัวอย่างลิปสติก.....	25
ตารางที่ 4 พิกของเลขคลื่นเพิ่มเติมที่พบในตัวอย่างลิปสติก .....	26
ตารางที่ 5 เลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันต่างๆบนตัวอย่างลิปสติก.....	27
ตารางที่ 6 พิกของเลขคลื่นหลักที่พบในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ.....	28
ตารางที่ 7 พิกของเลขคลื่นเพิ่มเติมที่พบในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ .....	29
ตารางที่ 8 ค่าสีของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบทั้งหมด.....	32
ตารางที่ 9 ค่าความแตกต่างสีของคู่ตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ .....	34



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ไชแคนเดลิลลา (Candelilla wax).....	6
ภาพที่ 2 น้ำมันเมล็ดแมคคาเดเมีย (Macadamia nut oil).....	7
ภาพที่ 3 ผงสีย้อม (Dye).....	8
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR.....	10
ภาพที่ 5 ภาพที่ 5 L*-a*-b* chart ของ CIE Lab Scale.....	11
ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	13
ภาพที่ 7 เครื่อง ATR-FTIR Spectrometer.....	14
ภาพที่ 8 เครื่อง Spectrophotometer.....	14
ภาพที่ 9 แผนผังแสดงภาพรวมของการทดลองในงานวิจัยนี้.....	23
ภาพที่ 10 สเปกตรัมของลิปสติกตัวอย่างที่ 1.....	24
ภาพที่ 11 สเปกตรัมของร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบตัวอย่างที่ 7.....	28
ภาพที่ 12 สเปกตรัมของผ้าดิบ.....	30
ภาพที่ 13 กราฟที่ได้จากเครื่อง Spectrophotometer ของตัวอย่างที่ 9.....	31
ภาพที่ 14 กราฟที่ได้จากเครื่อง Spectrophotometer ของตัวอย่างที่ 14.....	31
ภาพที่ 15 กราฟที่ได้จากเครื่อง Spectrophotometer ของตัวอย่างที่ 18.....	31
ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a*, b* และ L* ของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบน ผ้าดิบทุกตัวอย่าง.....	33

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันลิปสติกเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่นำมาใช้อย่างแพร่หลายมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ น้ำมัน ขี้ผึ้ง และสารให้ความชุ่มชื้น ใช้สำหรับทาปากให้มีสีสันทนสวยงามและสร้างความชุ่มชื้นให้กับริมฝีปาก โดยส่วนใหญ่ลิปสติกมักนิยมใช้ในหมู่ผู้หญิง แต่ในหมู่ผู้ชายก็สามารถใช้ในการบำรุงริมฝีปากได้ ซึ่งลิปสติกมีสีและประเภทให้เลือกใช้ได้หลากหลายเช่นเดียวกับเครื่องสำอางทั่ว ๆ ไป เช่น ลิปสติกเนื้อแมท (Matte Lipstick) ลิปบาล์ม (Lip balm) ลิปสติกเนื้อครีม (Cream Lipstick) และทินส์ (Tins) เป็นต้น (เทียงมณี, 2564)

ปัญหาอาชญากรรมในปัจจุบันมีแนวโน้มของความรุนแรง และความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นตามความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยี และความทันสมัยของการสื่อสารต่าง ๆ สิ่งที่ยืนยันได้ก็คือ สถิติคดีอาชญากรรมที่เพิ่มขึ้น (ไทยรัฐออนไลน์, 2567) จากข่าวอาชญากรรมในสื่อต่าง ๆ ของปี 2566 ประเทศไทยมีคดีที่เกี่ยวกับชีวิต ร่างกาย และเพศ โดยมีการแจ้งความ 17,848 คดี จับกุมได้ 16,678 คดี จำนวนคนร้าย 22,045 คน เรียกว่า จับกุมได้ 93.44% โดยคดีที่ก่อเหตุมากที่สุด คือ การทำร้ายร่างกาย 9,616 คดี รองลงมาคือ พยายามฆ่า 2,241 คดี ช่มชู้ 1,885 คดี และฆ่าผู้อื่น 1,308 คดี (ข้อมูลจากสำนักงานตำรวจแห่งชาติ เก็บระหว่างวันที่ 1 ต.ค. 65 ถึง 30 ก.ย. 66) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาจากปี 2565 ซึ่งภาพรวมในปี 2565 (ข้อมูล วันที่ 1 ต.ค. 64 ถึง 30 ก.ย. 65) คดีความผิดเกี่ยวกับชีวิตและร่างกาย มีแจ้งความ 15,038 คดี จับกุมได้ 14,395 คดี มีผู้กระทำความผิด 17,980 คน แบ่งเป็นคดีทำร้ายร่างกายมากที่สุด 6,985 คดี รองลงมา พยายามฆ่า 1,732 คดี ช่มชู้ 1,577 คดี และฆ่าผู้อื่น 1,210 คดี

นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) คือ การนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้ เพื่อประโยชน์ในการคลี่คลายปัญหา และการพิสูจน์ข้อเท็จจริง ซึ่งนิติวิทยาศาสตร์สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เช่น การพิสูจน์หลักฐาน การตรวจสถานที่เกิดเหตุ รวมถึงการเก็บวัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ เป็นต้น และนิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ โดยการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในสาขาต่าง ๆ มาประยุกต์ให้เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรม เช่น การตรวจสถานที่เกิดเหตุ การตรวจลายนิ้วมือ

ฝ่ามือฝ่าเท้า การตรวจร่องรอยการฉีดยา การตรวจทางนิติเวช และการตรวจทางชีววิทยา เป็นต้น โดยพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นที่ยอมรับในหลายประเทศ (สีมา, 2563)

ในด้านนิติวิทยาศาสตร์การเก็บพยานหลักฐานและพยานวัตถุจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการนำไปพิสูจน์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับคดีความเพื่อสามารถเชื่อมโยงไปยังตัวผู้กระทำความผิดได้ ผู้วิจัยจึงคาดว่า การตรวจหาคราบร่องรอยลิปสติกถือเป็นพยานหลักฐานที่สำคัญในการช่วยไขคดีความได้ เนื่องจากอาจพบร่องรอยคราบลิปสติกในสถานที่เกิดเหตุ เช่น ร่องรอยบนเสื้อผ้า ร่องรอยบนกระดาษทิชชู รวมถึงร่องรอยบนแก้วน้ำได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการจำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติกโดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ซึ่งเป็นเทคนิคทางเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบถึงหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของสารได้ นำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติอำนาจจำแนก (Discriminating power : DP) และมีการใช้เครื่อง Spectrophotometer ในการหาค่าสีในระบบ CIE เพื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เพื่อแยกความแตกต่างของแต่ละตัวอย่าง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อจำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติกและร่องรอยลิปสติกที่ติดผ้าดิบด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ได้
2. เพื่อแยกความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกที่ติดบนผ้าดิบ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ได้

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

สีของลิปสติกที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการจำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติกและร่องรอยลิปสติกที่ติดผ้าดิบ

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาลักษณะพิเศษของลิปสติกและร่องรอยลิปสติกที่ติดผ้าดิบด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และศึกษาค่าความต่างสีของร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบด้วยเครื่อง Spectrophotometer จำนวน 20 ตัวอย่าง

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ลิปสติก (lipstick) คือ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ประกอบด้วยรงควัตถุ น้ำมัน ขี้ผึ้ง และสารให้ความชุ่มชื้น ใช้สำหรับทาสี ลวดลาย และเกราะป้องกันไว้บนริมฝีปาก ลิปสติกเป็นเครื่องสำอางชนิดแรกๆ ที่ผู้หญิงมักนึกถึงและใช้อย่างกว้างขวาง นอกจากจะช่วยให้ริมฝีปากชุ่มชื้น ช่วยปกป้องผิวของริมฝีปากแล้ว ยังช่วยแต่งเติมรูปปากให้สวยงามขึ้น แต่งสีให้สะดุดตาแลดูงดงาม
2. นิติวิทยาศาสตร์ (forensic science) คือ การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในด้านกฎหมาย เช่น การเก็บและตรวจสอบหลักฐานต่าง ๆ เพื่อค้นหาความจริงและพิสูจน์การกระทำผิดของผู้ต้องหาหรือจำเลย ซึ่งจะนำไปสู่การลงโทษผู้ต้องหาหรือจำเลยในการกระทำผิดนั้น นิติวิทยาศาสตร์จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เช่น การพิสูจน์หลักฐาน การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุและเก็บรวบรวมวัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ และ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ซึ่งเป็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในสาขาต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ในกระบวนการยุติธรรม เช่น นิติเวชศาสตร์ ซึ่งเป็นการนำความรู้ทางการแพทย์มาใช้ในการแก้ปัญหาทางกฎหมายและพิสูจน์คดีความ นิติพันธุวิทยาเป็นการนำความรู้ทางพันธุวิทยามาใช้ในการตรวจพันเพื่อพิสูจน์ตัวบุคคล เป็นต้น
3. Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) คือเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง (Middle infrared region) ช่วงเลขคลื่น  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  นำมาประกอบกับเทคนิควิเคราะห์แบบ ATR สามารถตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และแผ่นฟิล์มบางได้ และไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่าง ใช้เวลาในการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว
4. Spectrophotometer คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของแสงและค่า intensity หรือความเข้มแสงในช่วงรังสียูวีจนถึงช่วงแสงขาวที่เกิดจากทั้งการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่างที่ถูกรังสีในตัวอย่าง โดยที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วงการวัดจะมีความสัมพันธ์กันทั้งในเชิงปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วน

ใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

5. อำนาจในการแยก (discriminating power) คือ สถิติที่บ่งชี้ว่าสามารถจำแนกความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างตามคุณลักษณะที่ต้องการได้ดีเพียงใด

#### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถจำแนกลักษณะพิเศษของลิปติกและร่องรอยลิปติกที่ติดผ้าดิบโดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ได้
2. สามารถหาค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ได้
3. สามารถนำไปประยุกต์ในด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้





## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง โดยทดลองจำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติกในตัวอย่างลิปสติกและร่องรอยลิปสติกที่ติดผ้าดิบด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ลิปสติก
2. เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)
3. การวัดสี (Color Measurement)
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
5. กรอบแนวคิดของการวิจัย

#### 2.1 ลิปสติก

ลิปสติก (lipstick) เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ใช้สำหรับทาสี ลวดลาย และเกราะป้องกันไว้บนริมฝีปาก เป็นเครื่องสำอางชนิดแรกๆ ที่ผู้หญิงมักนึกถึงและใช้กันอย่างกว้างขวาง จึงถือว่าเป็นของคู่กับผู้หญิงในทุกยุคทุกสมัย นอกจากจะช่วยให้ริมฝีปากชุ่มชื้น ช่วยปกป้องผิวของริมฝีปากแล้ว ยังช่วยแต่งเติมรูปปากให้สวยงามขึ้น แต่งสีให้สะดุดตา ลิปสติกมีหลากหลายรูปแบบและหลากหลายสี สัน ลิปสติกแบ่งออกเป็นหลายประเภท อาทิ ลิปสติกเนื้อครีม (Cream Lipstick) ลิปสติกเนื้อแมท (Matte Lipstick) ลิปสติกเนื้อซาติน (Satin Lipstick) ลิปทินส์ (Tins) และ ลิปบาล์ม (Lip balm) เป็นต้น (จำกัต์, 2565) โดยทั่วไปลิปสติกมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน ดังนี้

1. แวกซ์ หรือไขแข็ง (Wax) ทำหน้าที่ในการช่วยทำให้ลิปสติกนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ง่าย เช่น ไขคาร์นوبا (Carnauba wax) เป็นไขที่ได้มาจากใบของพืชในตระกูลปาล์มประจำถิ่น ที่ขึ้นเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล มีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบเงา รักษาความชุ่มชื้น และเป็นไฮดรรมชาติที่แข็งที่สุด เหมาะสำหรับช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับลิปสติก ป้องกันไม่ให้ลิปสติกเหลวหรืออ่อนตัวเมื่ออยู่ในอุณหภูมิสูง (มีช่วงหลอมเหลวระหว่าง 82 ถึง 86 องศาเซลเซียส) ไม่ละลายในน้ำและเอทานอล ไขแคนเดลิลา (Candelilla wax) เป็นไขที่ได้มาจากต้นแคนเดลิลา มีถิ่นกำเนิดในแม็กซิโกตอนเหนือและตอนใต้ของอเมริกา มีคุณสมบัติเพิ่มความเงา



งามให้กับเนื้อลิปสติก มีจุดหลอมเหลวที่ 67 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) นุ่มกว่าไขคาร์นูบา แต่แข็งกว่าขี้ผึ้ง ขี้ผึ้ง (Bees wax) เป็นไขที่สกัดมาจากน้ำผึ้งในบริเวณท้องน้อยที่ผึ้งสร้างขึ้นมาเพื่อสร้างรัง จึงเป็นของแข็งเนื้ออ่อนนุ่มและให้เนื้อได้มาก ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขชนิดอื่นๆ ดังนั้นเพื่อให้ลิปสติกมีความคงตัวเป็นแท่ง จึงต้องผสมกับไขชนิดอื่นๆ และ ไขที่มาจากแร่ธาตุ (Mineral wax) ได้แก่ ไขไมโครคริสตัลไลน์ (Microcrystalline wax) เนื้อมีลักษณะเรียบเนียน มีการดูดซับน้ำมัน จึงช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำมัน นิยมนำมาทำลิปบาล์ม เป็นต้น



ภาพที่ 1 ไขแคนเดิลลลา (Candelilla wax)

ที่มา : [www.thesoapkitchen.co.uk](http://www.thesoapkitchen.co.uk)

2. น้ำมัน (Oil) น้ำมันในลิปสติกทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลาย หรือทำหน้าที่เป็นมอยส์เจอร์ไรเซอร์ ทำให้แว็กซ์, สีและส่วนผสมอื่นๆ รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ทำให้ลิปสติกอ่อนนุ่ม ช่วยให้ริมฝีปากนุ่มชุ่มชื้น ไม่แห้งแตกและเป็นขุยได้อย่างดี โดยน้ำมันที่นิยมใช้กัน มีดังนี้ น้ำมันแคสเตอร์ (Castor oil) หรือน้ำมันละหุ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (Polyunsaturated Fatty Acid) คือ กรดริซิโนเลอิก (Ricinoleic acid) ที่ช่วยกระตุ้นการผลิตคอลลาเจนและอีลาสติน ทำให้เนื้อลิปสติกเกาะตัวกันได้ดี และทำให้ริมฝีปากนุ่มนวล น้ำมันแมคคาเดเมีย (Macadamia nut oil) เป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกับผิวหนัง คือ มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid) สูงถึง 80% เช่น กรดปาลมิโตเลอิก (Palmitoleic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) และกรดไลโนเลนิก (linolenic acid) ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมสู่ผิวได้ง่าย ทำให้ริมฝีปากนุ่มลื่น น้ำมันอะโวคาโด (Avocado oil) เป็นน้ำมันที่สกัดจากเนื้อของผลอะโวคาโด อุดมไปด้วยวิตามินอี กรดไล

โนเลอิก และกรดโอเลอิกสูงกว่า 70% ช่วยในการซึมสู่ผิวได้ดี และเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ริมฝีปาก น้ำมันเมล็ดองุ่น (Grape seed oil) มีสาร OPC (oligomeric proanthocyanidin) ที่อยู่ในกลุ่มไบโอฟลาโวนอยด์ ในปริมาณที่สูงซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินซีถึง 20 เท่า มีกรดไลโนเลอิก และกรดโอเลอิกสูงกว่า 90% มีคุณสมบัติในการซึมสู่ผิวได้ง่าย และบำรุงริมฝีปากให้ชุ่มชื้น น้ำมันลาโนลิน (Lanolin oil) สกัดมาจากน้ำมันบนขนแกะ ที่ช่วยหล่อเลี้ยงให้ขนแกะมีความนุ่มนวลอยู่เสมอ ไม่ว่าจะอากาศจะแห้งแล้งหรือหนาวขนาดไหน ซึ่งนับเป็นไขมันบริสุทธิ์จากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติไม่เหนียวเหนอะหนะ ซึบซาบเข้ากับผิวหนังได้ง่าย ไม่อันตรายและไม่ระคายเคืองผิว น้ำมันโจโจ้บา (Jojoba Oil) น้ำมันยอดฮิตในวงการเครื่องสำอาง สกัดจากเมล็ดของโจโจ้บา ซึ่งเป็นไม้พุ่มพื้นเมืองในทวีปอเมริกา และมีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยบำรุงผิวพรรณชั้นยอด ทั้งลดเลือนริ้วรอยเหี่ยวย่น กักเก็บความชุ่มชื้นของผิว และอ่อนโยนเหมาะกับผิวแพ้ง่าย น้ำมันชนิดนี้ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรมความงาม เพราะหาได้ง่าย และราคาค่อนข้างถูกนอกจากนี้ ยังมีน้ำมันสกัดจากพืชชนิดอื่น ๆ ที่นิยมใช้แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับต้นทุนของลิปสติกแต่ละยี่ห้อ อาทิ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower Seed Oil), น้ำมันอัลมอนด์ (Almond Oil) และน้ำมันมะกอก (Olive Oil)



ภาพที่ 2 น้ำมันเมล็ดแมคคาเดเมีย (Macadamia nut oil)

ที่มา : [www.lipstickmaker.com](http://www.lipstickmaker.com)

3. สีย้อม (Dye) เนื่องจากมีกฎหมายห้ามใช้สารปรอทในเครื่องสำอาง ปัจจุบันวงการผู้ผลิตจึงหันมาใช้สีสังเคราะห์ที่ผ่านมาตรฐานการรับรอง ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เหมือนกับสีประเภทเดียวกับที่ใช้ทำอาหาร หรือสีสังเคราะห์จากธรรมชาติ เช่น สีสกัดจากผักและผลไม้ เช่น สีแดงจากบีทรูท หรือทับทิม สีสกัดจากดอกไม้ เช่น สีน้ำเงินจากดอกอัญชัน หรือดอกอัลคานेत (Alkanet) ส่วนสีเหลืองจากดอกดาวเรืองฝรั่ง (Calendula) และ สีสกัดจากแมลงและสัตว์ เช่น ผงสกัดจากแมลง

ปีกแข็ง จะให้สีแดงเลือดหมู ส่วนผงสกัดจากเกล็ดปลา จะให้สีเงินและเพิ่มประกายมุกให้กับลิปสติก



ภาพที่ 3 ผงสีย้อม (Dye)

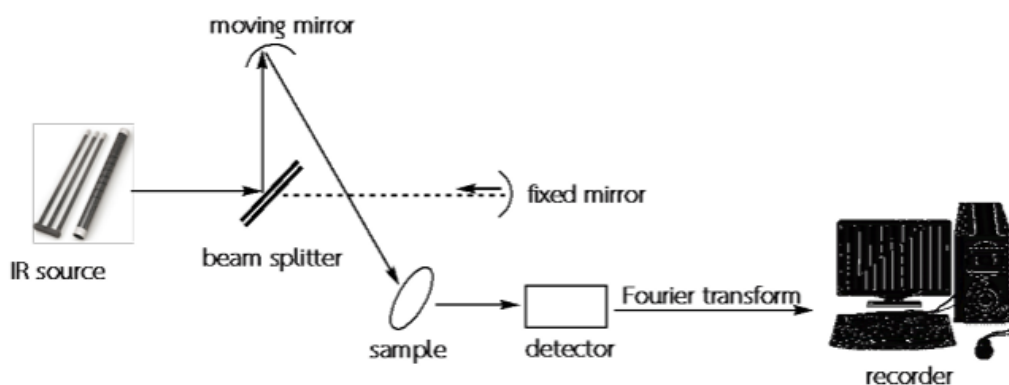
ที่มา : [www.brambleberry.com](http://www.brambleberry.com)

## 2.2 เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)

เทคนิค Infrared spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบโมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการการสั่น (Vibration) ของโมเลกุล โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดอยู่ในช่วงเลขคลื่นประมาณ  $12800$  ถึง  $10$   $\text{cm}^{-1}$  จำแนกออกเป็น 3 ช่วง คือ ย่านอินฟราเรดใกล้ Near IR ( $4,000 - 12,800$   $\text{cm}^{-1}$ ) ย่านอินฟราเรดกลาง Mid IR ( $200 - 4,000$   $\text{cm}^{-1}$ ) และย่านอินฟราเรดไกล Far IR ( $10 - 200$   $\text{cm}^{-1}$ ) เมื่อสารอินทรีย์ดูดกลืนรังสีย่านอินฟราเรดกลางหรือเรียกว่าความถี่ ทำให้เกิดแทรนซิชันการสั่นพร้อมกับแทรนซิชันการหมุน เรียกเทคนิคนี้ว่าอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งทรานซิชันการสั่นนี้จะทราบชนิดหมู่ทำหน้าที่ เช่น พันธะคู่ พันธะสาม หมู่คาร์บอนิล หมู่ไฮดรอกซิล หมู่อะมิโน หรือภายในโครงสร้างของสาร (อำนาจอนันต์, 2561) เมื่อนำมารวมกับเทคนิควิเคราะห์แบบ Attenuated Total Reflectance (ATR) ซึ่งเป็นเทคนิคอินฟราเรดอีกรูปแบบหนึ่ง มีอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบสัมผัสตัวอย่าง (Single Reflection ATR) 2 แบบ คือแบบที่ส่วนรองรับตัวอย่างเป็นผลึกเจอร์มาเนียม (Germanium Crystal) ให้ช่วงการใช้งานที่ความยาวคลื่นตั้งแต่  $5,500-550$   $\text{cm}^{-1}$  และ แบบที่ส่วนรองรับตัวอย่างเป็นเพชร (Pure Diamond) ให้ช่วงการใช้งานที่ความยาวคลื่นตั้งแต่  $6,000-80$   $\text{cm}^{-1}$  เทคนิค

วิเคราะห์แบบ ATR สามารถตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และแผ่นฟิล์มบางได้ และไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่าง ใช้เวลาในการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer มีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง ทำหน้าที่ให้รังสีอินฟราเรด ได้แก่ ไยเนิร์นสต์ (Nernst filament) โกลบาร์ (globar) และลวดนิโครม แต่ที่นิยม คือ ไยเนิร์นสต์ทำจากออกไซด์ของเซอร์โคเนียม ( $ZrO_2$ ) ทอเรียม ( $ThO_2$ ) และซีเรียม ( $CeO_2$ ) ให้พลังงานสูงสุด  $5,500\text{ cm}^{-1}$  และโกลบาร์ลักษณะเป็นแท่งซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) ให้พลังงานสูงสุด  $7,100\text{ cm}^{-1}$  (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2560)
2. เซลล์ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างบางชนิดต้องบรรจุในเซลล์ตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ โดยส่วนใหญ่ เซลล์ตัวอย่างทำมาจากเกลือของแฮไลด์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ลิเทียม-ฟลูออไรด์ (LiF) และซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) เป็นต้น มีลักษณะโปร่งใสและไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดช่วงเดียวกับตัวอย่าง
3. เครื่องตรวจหา ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของรังสีที่ผ่านตัวอย่างเป็นสัญญาณไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องตรวจหาดีวเทอเรทเทไทรไกลซีนซัลเฟต (deuterated triglycine sulfate detector) และเครื่องตรวจหาสภาพนำแสงทำจากโลหะผสมของปรอทและแคดเมียม (Hg/Cd) เทลลูไรต์ (Tellurite, Te) หรืออินเดียมแอนติโมนไนด์ (Indium antimonide, InSb) ซึ่งเครื่องตรวจหาสภาพนำแสงนิยมกับเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เรียกชื่อย่อว่า เอฟทีไออาร์ (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)
4. เครื่องบันทึก ทำหน้าที่บันทึกสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องตรวจหา ส่วนใหญ่การวิเคราะห์ หมู่ทำหน้าที่ของสารอินทรีย์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์จะเป็นโหมด (mode) การดูดกลืนมากกว่าการสะท้อน ปัจจุบันสเปกตรัมแบบดูดกลืนนิยมพลอต (plot) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความส่องผ่าน (%T) และเลขคลื่น (wavenumber,  $\text{cm}^{-1}$ ) ตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR

ที่มา : <https://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch3%20IR>

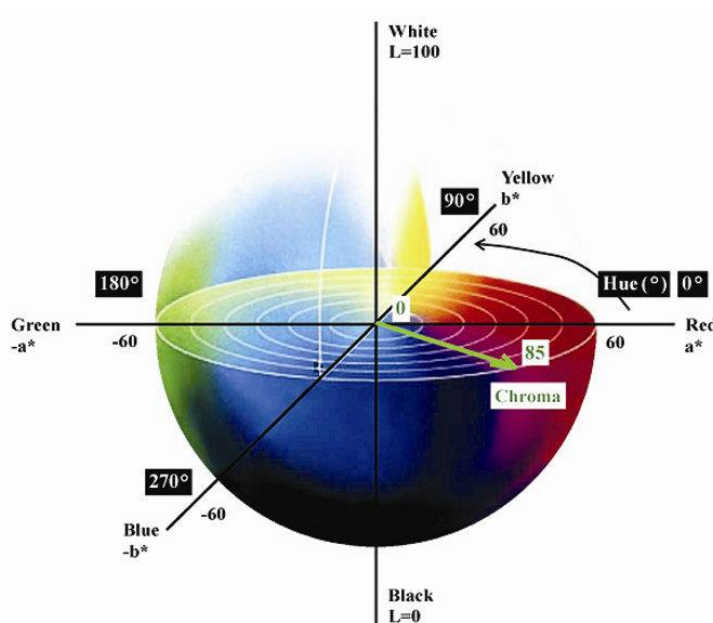
### 2.3 การวัดสี (Color Measurement)

สีคือคุณสมบัติเชิงแสงที่บ่งบอกลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และถูกนำมาเป็นตัวแปรหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ หลายโรงงานอุตสาหกรรมประสบปัญหาการควบคุมคุณภาพของสีจากกระบวนการตรวจวัดสีด้วยสายตาจากคนธรรมดา ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนสูงเกิดจากหลากหลายปัจจัยเช่น แห้งเงา กำเนิดแสง สายตาคูคูล เป็นต้น การมองเห็นสีของมนุษย์นั้นเกิดจากการที่แสงตกกระทบบนวัตถุวัตถุจะดูดกลืนแสงสีอื่น ๆ และสะท้อนแสงของสีของวัตถุนั้นออกมาเข้าสู่ดวงตาของมนุษย์ผ่านจอตาหรือฉากรตา (Retina) อยู่ด้านหลังแก้วตา มีลักษณะเป็นผนังที่ประกอบด้วยใยประสาทซึ่งไวต่อแสง เซลล์ของประสาทเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นจอร์รับภาพตามที่เป็นแล้วส่งความรู้สึกผ่านเส้นประสาทตา ซึ่งทอดทะลุออกทางเป็นเยื่อชั้นในสุดทำหน้าที่เป็นจอร์รับภาพ จอตาประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือเซลล์รูปแท่ง (Rod cell) กับเซลล์รูปกรวย (Cone cell) การทำงานของเซลล์รูปแท่ง เซลล์รูปแท่งทำหน้าที่รับแสงทำให้มองเห็นรูปร่างของวัตถุต่างๆได้ การทำงานของเซลล์รูปกรวย เซลล์รูปกรวยทำหน้าที่รับสีทำให้มองเห็นวัตถุมีสีต่างๆ ประกอบไปด้วย เซลล์ 3 ชนิด คือเซลล์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อได้รับแสง เซลล์รับแสงทั้งสามจะ ถูกกระตุ้นในอัตราส่วนที่ต่างกัน ขึ้นกับสีและความเข้มของแสงที่ตกกระทบ จากนั้นสมองก็จะแปลสัญญาณเป็นสีต่างๆ ขึ้นมา (INSTRUMENT, 2562)

หนึ่งในองกรณ์สำคัญที่กำหนดหน่วยการวัดสีให้เป็นมาตรฐาน คือ International Commission on Illumination แต่ด้วยอ้อมักจะเป็นภาษาฝรั่งเศส Commission International de l'Eclairage (CIE) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดสีเนื่องจากสายตาและแหล่งกำเนิดแสง องค์กร CIE ได้กำหนดหน่วยวัดสีมีสัญลักษณ์  $L^*a^*b^*$  โดยทั้ง 3 ตัวแปร มีรายละเอียด ดังนี้



1. แกน  $L^*$  บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว
2. แกน  $a^*$  บรรยายแกนสี จากสีเขียว ( $-a^*$ ) จนถึง สีแดง ( $+a^*$ )
3. แกน  $b^*$  บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) จนถึงสีเหลือง ( $+b^*$ )



ภาพที่ 5 ภาพที่ 5  $L^*-a^*-b^*$  chart ของ CIE Lab Scale

ที่มา : <https://www.ptallinstrument.com/article/5/%E0%B8%81%E0%B8%>

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Vishal S., 2019) ได้ศึกษาร่องรอยหลักฐานของลิปสติกในทางนิติวิทยาศาสตร์ ลิปสติกถือเป็นหลักฐานร่องรอยที่สำคัญเนื่องจากช่วยในการเชื่อมโยงผู้กระทำผิดกับสถานที่เกิดเหตุ ในงานได้ใช้ตัวอย่างลิปสติกจำนวน 25 ตัวอย่าง นำมาจำแนกลักษณะ ATR-FTIR ควบคู่กับวิธีการทางสถิติหลายตัวแปร แนวทางที่ใช้ไม่ทำลายตัวอย่าง รวดเร็ว และให้ผลลัพธ์ที่สามารถทำซ้ำได้ จากสเปกตรัม FTIR พบว่าลิปสติกประกอบด้วย aliphatic และ aromatic หลายชนิด เช่น Propyl ester ของ Hexanoic acid และ Silicates เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ 3 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบด้วยสายตา การวิเคราะห์แบบ cluster (HCA และ k-means) และการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ วิธีการพัฒนานี้ได้รับการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ซ้ำกัน 5 ตัวอย่าง และคาดการณ์กับแบนด์ที่เกี่ยวข้องอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษานี้กำหนดวิธีการที่เป็นหลักฐานเกี่ยวกับการเลือกปฏิบัติแนวคิด

ของตัวอย่างลิปสติก ในอนาคต อาจค่อนข้างเป็นไปได้ที่จะสร้างฐานข้อมูล FTIR ของตัวอย่างลิปสติกเพิ่มเติมเพื่อระบุตัวอย่างลิปสติกที่ไม่ทราบ/ต้องสงสัย

(Rito C., 2020) ได้ศึกษาองค์ประกอบของลิปสติก ซึ่งลิปสติกถูกใช้เป็นประจำและมีความแพร่หลาย จึงสามารถพบได้ในที่เกิดเหตุเพื่อเป็นร่องรอยหลักฐานได้ การวิเคราะห์สามารถให้หลักฐานเพื่อยืนยันและเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยกับเหยื่อหรือกับสถานที่ที่เกิดเหตุได้ ในการศึกษาครั้งนี้ ลิปสติกสีแดง 38 เฉดสีจากผู้ผลิต 20 รายได้รับการวิเคราะห์โดยใช้ ATR-FT-IR (attenuated Total Reflectance-Fourier Transformer-Infrared) มีการใช้วิธี Chemometric สำหรับนำมาวิเคราะห์คือ PCA (การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก) และ PCA-LDA (การวิเคราะห์จำแนกเชิงเส้น) นำไปใช้เพื่อให้การตีความผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ ส่งผลให้สามารถจำแนกองค์ประกอบได้ 100% และการจำแนกที่ถูกต้อง 81.48% นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของพื้นผิวที่แตกต่างกัน ระยะเวลาการจางหายไปของลิปสติกในหนึ่งวัน และการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งยังมีความจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อเชื่อมโยงรอยเปื้อนลิปสติกบนพื้นผิวต่างๆ กับแหล่งที่มาโดยใช้วิธีทางเคมี

(Justina X.W. W., 2019) ได้ศึกษาร่องรอยของลิปสติก โดยรอยของลิปสติกอาจพบได้จากการวิเคราะห์ทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยเป็นรอยที่หลงเหลืออยู่บนเสื้อผ้า เครื่องดื่ม กระจาดาชิซุ หรือพื้นผิวอื่นๆ ในงานนี้ใช้เทคนิค spectroscopy ร่วมกับ chemometrics เพื่อวิเคราะห์หาร่องรอยของลิปสติก ให้ครบตามวัตถุประสงค์และไม่ทำลายตัวอย่าง วิเคราะห์ลิปสติกเฉดสีแดง 22 เฉดสี และเฉดสีน้ำตาล 18 เฉดสี โดยใช้ spectroscopy การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถแยกแยะตัวอย่างส่วนใหญ่ได้อย่างง่ายดายโดยพิจารณาจากสเปกตรัม โดยให้ความแม่นยำในการแยกแยะเกิน 94% มีการทดสอบเพิ่มเติมโดยใช้ชุดการตรวจสอบความถูกต้องทำให้เกิดความแม่นยำในการระบุได้ 73–100 % ซึ่งอาจช่วยให้พบเบาะแสในการสืบสวนจากร่องรอยลิปสติกได้ง่ายขึ้น

(Kiranpreet K., 2020) ได้ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของลิปสติก โดยเครื่องสำอางมักถูกพบเป็นหลักฐานในการสืบสวนทางนิติเวช มักพบในกรณีของการทารุณกรรมเด็ก การค้าเด็ก การลักพาตัว การฆาตกรรม การข่มขืน การล่วงละเมิดทางเพศ และคดีฆาตกรรมด้วย ในงานนี้ ใช้เทคนิค Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) และเทคนิค Chemometrics (PCA และ LDA) เพื่อจำแนกตัวอย่างลิปสติกสีน้ำตาล สีชมพู และสีแดง ซึ่ง PCA สามารถจำแนกตัวอย่างลิปสติกสีน้ำตาล ชมพู และแดงได้อย่างแม่นยำ 93.61 %, 75.43 % และ 87.27 % ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม LDA มีการตรวจสอบความถูกต้องจากภายนอกเพื่อทำนาย

ยี่ห้อลิปติกสีน้ำตาลและสีชมพูด้วยความแม่นยำ 100 % ในขณะที่ตัวอย่างลิปติกสีแดงยี่ห้อต่างๆ วิเคราะห์ด้วยความแม่นยำ 96 % ผลลัพธ์เหล่านี้มีความสำคัญมากและบ่งชี้ว่าสามารถนำไปใช้ในการ จำแนกประเภทและการทำนายตัวอย่างลิปติกได้สำเร็จ เห็นได้ชัดว่า ATR-FTIR เป็นเทคนิคที่ไม่ ทำลายตัวอย่าง รวดเร็ว คุ่มค่า ใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพ และแม่นยำ ซึ่งสามารถนำไปใช้อย่างมี ประสิทธิภาพร่วมกับเครื่องมือเคมีเมตริกในการจำแนกประเภทตัวอย่างลิปติก

## 2.5 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดการวิจัย



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติกในตัวอย่างลิปสติกและร่องรอยลิปสติกที่ติดผ้าดิบด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
2. วิธีดำเนินการวิจัย
3. วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่อง ATR-FTIR Spectrometer โดยประกอบด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Frontier และ Attenuated Total Reflectance (ATR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Universal ATR sampling accessory แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เครื่อง ATR-FTIR Spectrometer

2. เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 60 UV-VIS แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่อง Spectrophotometer

## 3. ตัวอย่างลิปสติกจำนวน 20 ตัวอย่าง แสดงตามตารางที่ 1

ตัวอย่าง	ยี่ห้อและรุ่นของตัวอย่าง
1	Merrez'ca glow ink color lip tint 03
2	Merrez'ca glow ink color lip tint 04
3	Sasi jolly sweet lip tint 02
4	Sasi jolly sweet lip tint 01
5	4U2 make love lip glam 02
6	4U2 it's you lip glam vol.2 08
7	Sasi jolly sweet lip tint 05
8	4U2 jelly tint 06 M&M
9	Sasi fruity pop lip balm orange
10	Maybelline New York sensational liquid matte 06
11	Maybelline New York sensational liquid matte 02
12	Cute press superpower silky matte 05
13	4U2 Heart dance velvet lip V59
14	Cute press Heart ID matte lip 13
15	Mamond Creamy Tint color balm intense 11
16	Beauty cottage elegant impressionist semi matte lipstick 09
17	odbo baby tint
18	Sasi Fruity POP Lip Balm Cherry
19	Sistar velvet matte mousse lip color 02 Autumn rust
20	Cute Press Nonstop Beauty Matte Lock Liquid Lip 04 Sand Dune







ตารางที่ 1 ยี่ห้อและรุ่นของตัวอย่างลิปสติก









### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างลิปสติกที่วางขายในท้องตลาดที่สามารถหาซื้อได้ง่าย มีราคาไม่แพง และเป็นที่ยอมรับ จำนวน 20 ตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างผ้า โดยการตัดผ้าดิบให้มีขนาด 5x5 เซนติเมตร นำตัวอย่างลิปสติกทาที่ปากหลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 5 นาที (1 ครั้ง / 1




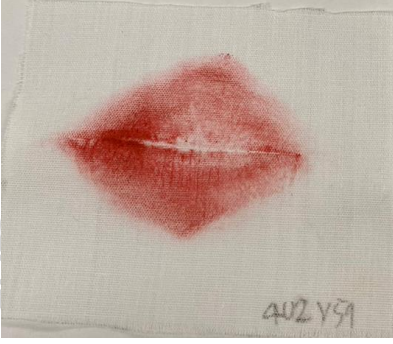




ตัวอย่าง) แล้วนำผ้าดิบที่เตรียมไว้ (1 ตัวอย่าง / 1 ชนิดของลิปสติก) มาทาบบที่บริเวณปากที่ทาลิปสติกไว้









ตัวอย่าง	ยี่ห้อและรุ่นของลิปสติก	ภาพผลิตภัณฑ์	ร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ
1	Merrez'ca glow ink color lip tint 03		
2	Merrez'ca glow ink color lip tint 04		
3	Sasi jolly sweet lip tint 02		

4	Sasi jolly sweet lip tint 01		
5	4U2 make love lip glam 02		
6	4U2 it's you lip glam vol.2 08		
7	Sasi jolly sweet lip tint 05		

<p>8</p>	<p>4U2 jelly tint 06 M&amp;M</p>		
<p>9</p>	<p>Sasi fruity pop lip balm orange</p>		
<p>10</p>	<p>Maybelline New York sensational liquid matte 06</p>		
<p>11</p>	<p>Maybelline New York sensational liquid matte 02</p>		



12	Cute press superpower silky matte 05		
13	4U2 Heart dance velvet lip V59		
14	Cute press Heart ID matte lip 13		
15	Mamond Creamy Tint color balm intense 11		

<p>16</p>	<p>Beauty cottage elegant impressionist semi matte lipstick 09</p>		
<p>17</p>	<p>odbo baby tint</p>		
<p>18</p>	<p>SASI Fruity POP Lip Balm Cherry</p>		
<p>19</p>	<p>sistar velvet matte mousse lip color 02 Autumn rust</p>		

20	Cute Press Nonstop Beauty Matte Lock Liquid Lip 04 Sand Dune		
----	---	---	---

ตารางที่ 2 ภาพผลิตภัณฑ์และร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ

### 3.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง ATR-FTIR

#### 3.2.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปสติกโดยตรง (ไม่มีพื้นผิว)

นำตัวอย่างลิปสติกทั้ง 20 ตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATR-FTIR โดยมีการตั้งค่าดังนี้ Background ที่ใช้เป็นอากาศที่อยู่ในห้องทดลอง Wavenumber 4000 ถึง 400  $\text{cm}^{-1}$  Resolution 4  $\text{cm}^{-1}$  Accumulations 16 scan Force gauge 60 แล้วบันทึกผลสเปกตรัมที่ได้

#### 3.2.2.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปสติกบนพื้นผิวที่เป็นผ้าดิบ

นำผ้าตัวอย่างผ้าที่มีร่องรอยลิปสติกทั้ง 20 ตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATR-FTIR โดยมีการตั้งค่าดังนี้ Background ที่ใช้เป็นอากาศที่อยู่ในห้องทดลอง Wavenumber 4000 ถึง 400  $\text{cm}^{-1}$  Resolution 4  $\text{cm}^{-1}$  Accumulations 16 scan Force gauge 60 แล้วบันทึกผลสเปกตรัมที่ได้

### 3.2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Spectrophotometer

นำตัวอย่างผ้าที่มีร่องรอยของลิปสติกแล้วมาสแกนลงบริเวณกล้องส่องของเครื่อง spectrophotometer โดยมีการตั้งค่าดังนี้ Blank คือผ้าที่สะอาดไม่มีร่องรอยเปื้อน โดยมีการตั้งค่าความยาวคลื่นช่วง 360-830 nm, interval 1 nm และ Observer Angle 2 Degrees แล้วบันทึกค่า  $L^*a^*b$  ที่ได้



### 3.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.3.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากเทคนิค ATR-FTIR

เมื่อได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ในการทดลองทั้งสองคือ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปติกโดยตรง (ไม่มีพื้นผิว) และ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปติกบนพื้นผิวที่เป็นผ้า นำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มาสร้างตารางเพื่อหาจุดที่แตกต่างของพีคที่ Wavenumber ต่างๆ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้คือ สถิติอำนาจจำแนก (Discriminating power : DP) มีสูตรตามการศึกษาก่อนหน้า (Vishal S., 2019) ดังนี้

อำนาจการจำแนก (DP) = (จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้/จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด) × 100  
 โดยที่ จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้ = จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด - จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกไม่ได้  
 จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด × (จำนวนตัวอย่างทั้งหมด - 1) / 2

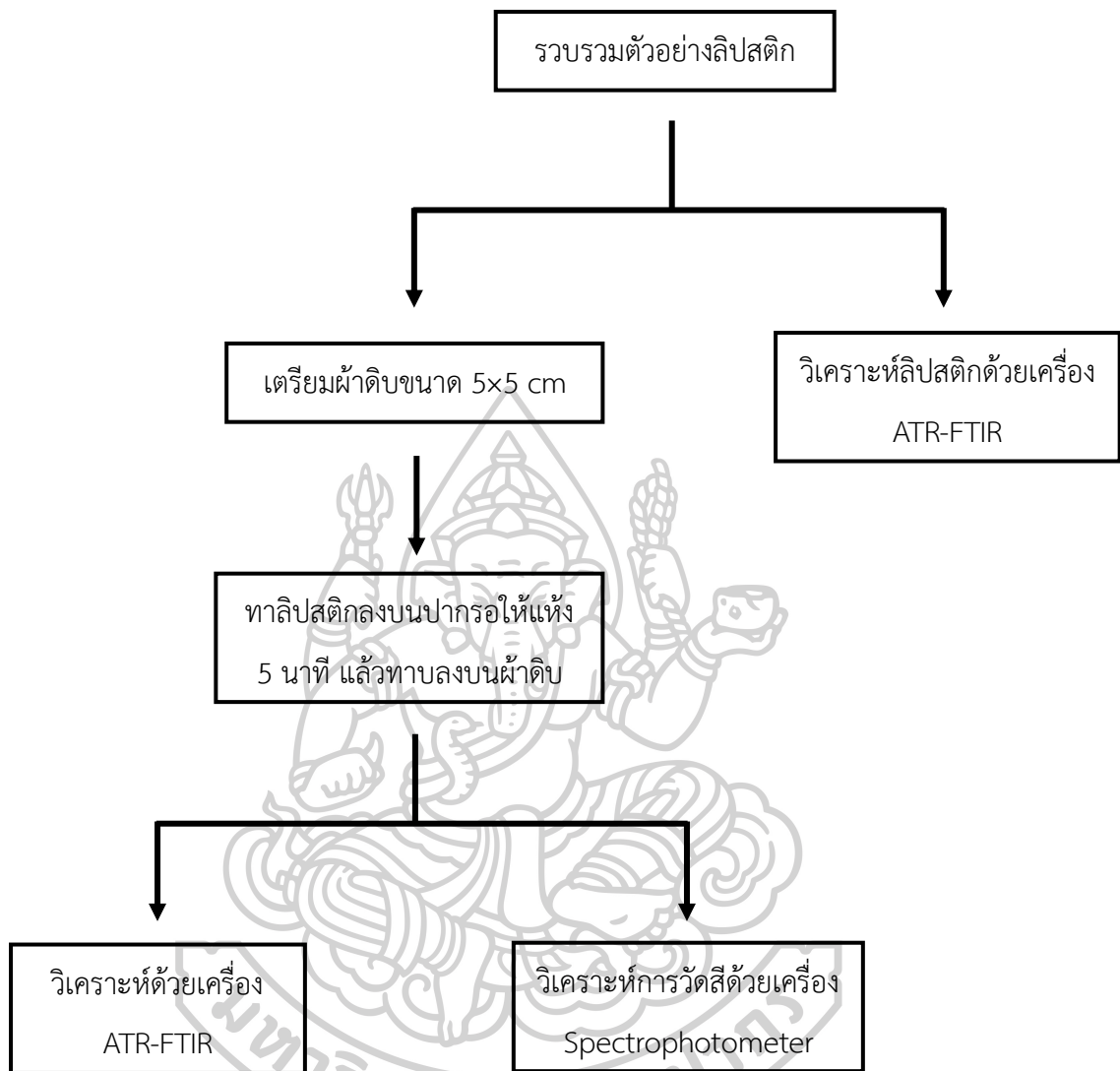
#### 3.3.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่อง Spectrophotometer

เมื่อได้ข้อมูลค่า  $L^*a^*b$  ของแต่ละตัวอย่างแล้ว นำค่าที่ได้มาหาค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ในทุกตัวอย่างลิปติก โดยมีสูตรดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2}$$

โดยที่ หมายเลข 1 คือ สีทดสอบที่ 1 หมายเลข 2 คือสีทดสอบที่ 2





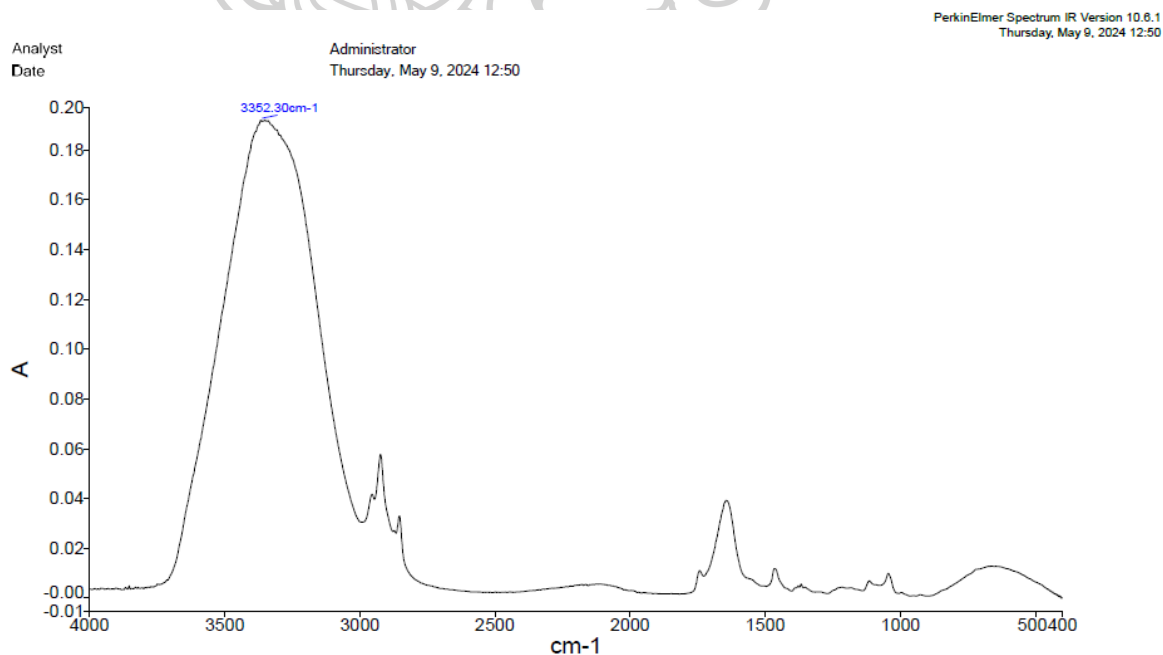
ภาพที่ 9 แผนผังแสดงภาพรวมของการทดลองในงานวิจัยนี้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR

จากการนำตัวอย่างลิปสติก และตัวอย่างร่องรอยลิปสติกทั้ง 20 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ที่ช่วงความยาวคลื่น 4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$  เพื่อวิเคราะห์จำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติกพบว่า ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปสติกโดยตรง (ไม่มีพื้นผิว) ด้วยเทคนิค ATR-FTIR แล้วนำสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง ATR-FTIR ตัวอย่างตามภาพที่ 10 มาสรุปว่าแต่ละตัวอย่างมีปรากฏพีกที่เลขคลื่นใดบ้าง พบว่าสเปกตรัมที่ได้ปรากฏพีกของเลขคลื่นหลักที่พบในลิปสติกดังนี้ 3400  $\text{cm}^{-1}$ , 2960  $\text{cm}^{-1}$ , 1740  $\text{cm}^{-1}$ , 1640  $\text{cm}^{-1}$ , 1460  $\text{cm}^{-1}$ , 1400  $\text{cm}^{-1}$ , 1360  $\text{cm}^{-1}$ , 1260  $\text{cm}^{-1}$ , 1100  $\text{cm}^{-1}$ , 1050  $\text{cm}^{-1}$ , 1000  $\text{cm}^{-1}$  และ 690  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งพีกดังกล่าวเป็นพีกที่พบได้ในเกือบทุกตัวอย่างลิปสติก ซึ่งพีกทั้งหมดที่พบในตัวอย่างลิปสติกแสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ส่วนตารางที่ 5 แสดงหมู่ฟังก์ชันที่คาดว่าพบบนตัวอย่างลิปสติกอย่างเช่นตัวอย่างลิปสติกที่มีเนื้อเป็นน้ำจะพบพีกที่ 3400  $\text{cm}^{-1}$  และ 1740  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีกของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching และ O-H bending ของน้ำ



ภาพที่ 10 สเปกตรัมของลิปสติกตัวอย่างที่ 1

Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )											
	3400	2960	1740	1640	1460	1400	1360	1260	1100	1050	1000	670
1	√	√	√	√		√	√		√	√	√	√
2	√	√	√	√	√		√		√	√	√	√
3	√			√	√				√	√	√	
4	√			√	√					√		
5	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√
7	√			√	√				√	√	√	√
8	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
9	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
10		√	√		√	√	√	√	√		√	
11	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√
12	√	√	√		√	√	√	√	√			
13	√	√	√		√	√	√	√		√	√	√
14	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
15	√	√	√	√	√		√	√			√	√
16	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√
17				√					√	√	√	
18		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
19		√	√		√	√	√	√		√		√
20	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

ตารางที่ 3 พีคของเลขคลื่นหลักที่พบในตัวอย่างลิปสติก

Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> ) ของพีคอื่นที่พบ
1	2920, 2850
2	2920, 2850
3	620
4	2100
5	2920, 2850, 1600, 1510, 1160, 790, 720
6	2920, 2850, 1540, 1160, 790, 720
7	1490, 920
8	1190, 920, 790
9	2920, 2850, 1600, 1510, 1160, 820, 720, 470
10	3600, 2850, 820, 720, 530, 450
11	3600, 2850, 1790, 1200, 860, 750, 530, 450
12	2920, 2850, 840, 790
13	2890, 1600, 1180, 840, 620
14	2920, 2850, 1540, 720, 460
15	2920, 2850, 1570, 1160, 840, 790, 750
16	3070, 2920, 2850, 840, 720, 540, 480
17	3300, 2100, 590
18	2920, 2850, 2730, 1600, 1510, 760, 480
19	2920, 2850, 1190, 1150, 860, 760, 480
20	2920, 2850, 2160, 1430, 1170, 860, 760, 700, 600, 550, 480

ตารางที่ 4 พีคของเลขคลื่นเพิ่มเติมที่พบในตัวอย่างลิปสติก

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	หมู่ฟังก์ชัน
3600 - 3400	O-H stretching
3000 - 2800	C-H stretching
1500 - 1300	C-H bending
1800 - 1650	C=O stretching
1420 - 1310	O-H bending
1650 - 1600	C=C stretching
1465 - 1375	C-H bending
1600 - 1400	C-C stretching (in ring)
1300 - 1000	C-O stretching
1200 - 1050	Si - O - Si stretching

ตารางที่ 5 เลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันต่างๆบนตัวอย่างลิปสติก

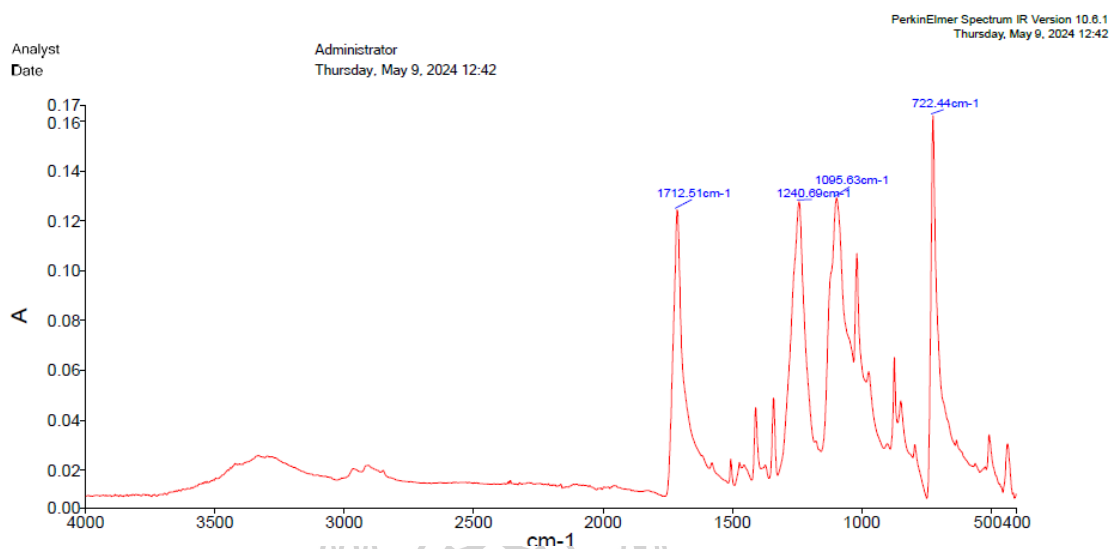
เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ได้มาทำการคำนวณทางสถิติด้วยการอธิบายด้วยค่าอำนาจจำแนก (Discriminating power : DP) โดยกำหนดให้คู่ตัวอย่างที่พิกมีเลขคลื่นต่างกันจำนวน 1 พิกขึ้นไป จึงจะบ่งชี้ได้ว่าตัวอย่างลิปสติกมีความแตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้มีจำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด 190 คู่ตัวอย่าง และเมื่อทำการเปรียบเทียบแต่ละคู่ตัวอย่างพบว่าทุกคู่ตัวอย่างพิกมีเลขคลื่นต่างกันจำนวน 1 พิกขึ้นไปทั้งหมด จึงส่งผลให้เมื่อนำค่าไปแทนในสูตรเพื่อหาค่าอำนาจจำแนก (DP) มีค่าเท่ากับ 100%

จากสูตร  $DP = (\text{จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้} / \text{จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด}) \times 100$

$$DP = (190/190) \times 100$$

$$DP = 100\%$$

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปสติกบนพื้นผิวที่เป็นผ้าดิบด้วยเทคนิค ATR-FTIR แล้วนำสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง ATR-FTIR ตัวอย่างตามภาพที่ 11 มาสรุปว่าแต่ละตัวอย่างมีปรากฏพิกที่เลขคลื่นใดบ้าง พบว่าสเปกตรัมที่ได้ปรากฏพิกของเลขคลื่นหลักที่พบในลิปสติกดังนี้ 3330 cm<sup>-1</sup>, 2960 cm<sup>-1</sup>, 2920 cm<sup>-1</sup>, 1710 cm<sup>-1</sup>, 1580 cm<sup>-1</sup>, 1500 cm<sup>-1</sup>, 1400 cm<sup>-1</sup>, 1240 cm<sup>-1</sup>, 1090 cm<sup>-1</sup>, 1010 cm<sup>-1</sup>, 870 cm<sup>-1</sup>, 850 cm<sup>-1</sup>, 790 cm<sup>-1</sup>, 500 cm<sup>-1</sup> และ 430 cm<sup>-1</sup> ซึ่งพิกดังกล่าวเป็นพิกที่พบได้ในทุกตัวอย่างร่องรอยของลิปสติกบนผ้าดิบ ซึ่งพิกทั้งหมดที่พบในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกแสดงดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7



ภาพที่ 11 สเปกตรัมของร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบตัวอย่างที่ 7

Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )														
	3300	2960	2920	1710	1580	1500	1400	1240	1090	1010	870	850	790	500	430
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

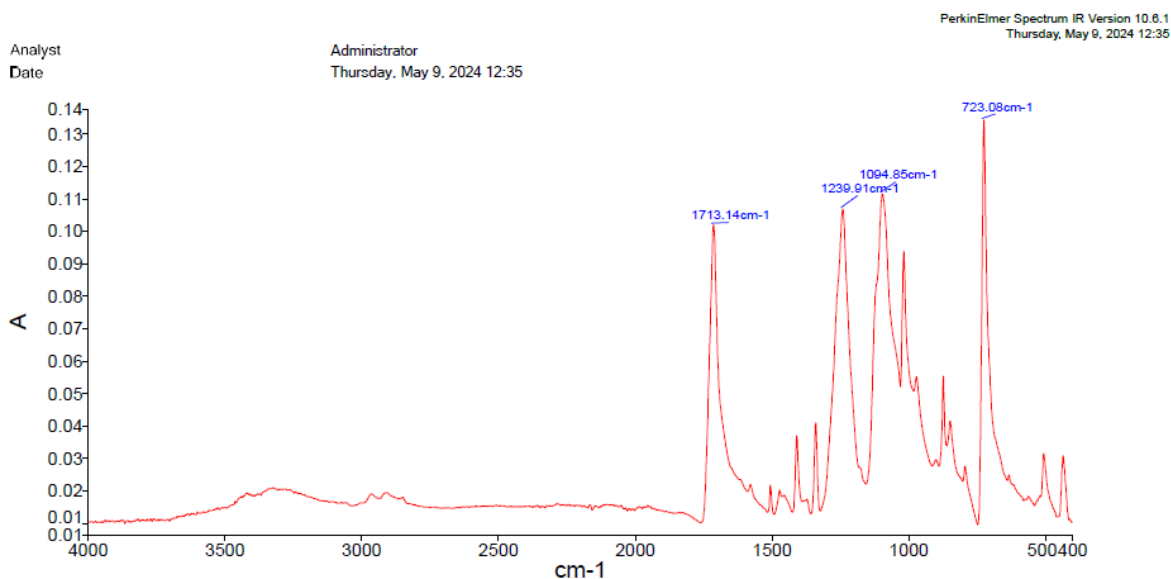
ตารางที่ 6 พีคของเลขคลื่นหลักที่พบในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ

Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> ) ของพีคอื่นที่พบ
1	2850, 1460, 1360, 1330, 970, 890, 720, 630
2	2850, 1460, 1360, 1330, 970, 720
3	2850, 1460, 1370, 1330, 970, 890, 630
4	1460, 1330, 970, 720
5	2850, 1460, 1370, 1330, 970, 720, 630, 550
6	2850, 2100, 1460, 1330, 970, 890, 660, 630
7	2850, 1460, 1330, 970, 720, 630
8	2850, 2360, 1460, 1330, 720, 630, 400
9	2850, 1630, 1600, 1460, 1380, 1360, 1330, 1170, 820, 800, 720, 630
10	2850, 2360, 1460, 1330, 970, 720, 630, 550
11	2850, 2360, 1460, 1360, 1330, 720, 630, 550
12	2850, 2280, 1950, 1460, 1370, 1330, 970, 720, 630
13	1950, 1460, 1360, 1330, 720, 630
14	2850, 1450, 1370, 1330, 890, 720, 630, 550, 400
15	3570, 2850, 2100, 1460, 1370, 1330, 1170, 970, 720, 630, 550
16	3280, 2850, 2280, 1460, 1330, 970, 750, 720, 630, 550
17	3420, 2850, 2160, 1950, 1610, 1460, 1450, 1360, 1330, 1170, 970, 890, 720, 630, 550
18	2870, 2850, 1630, 1600, 1460, 1380, 1360, 1330, 1170, 1030, 980, 970, 890, 820, 800, 760, 720, 630, 550, 520
19	3420, 2850, 2160, 2050, 1950, 1810, 1610, 1460, 1450, 1360, 1330, 1170, 970, 900, 720, 630, 610, 550, 520, 460, 450
20	3420, 3270, 3050, 2870, 2850, 2160, 1950, 1460, 1450, 1370, 1330, 1170, 970, 890, 720, 660, 630, 550, 460, 410

ตารางที่ 7 พีคของเลขคลื่นเพิ่มเติมที่พบในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ

เมื่อนำผ้าดิบที่ไม่มีร่องรอยเปื้อนมาทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR-FTIR แล้วนำสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง ATR-FTIR ตัวอย่างตามภาพที่ 12 มาสรุปว่าปรากฏพีคที่เลขคลื่นใดบ้าง พบว่าสเปกตรัมของผ้าดิบที่ได้ปรากฏพีคของเลขคลื่นที่พบดังนี้ 3330 cm<sup>-1</sup>, 2960 cm<sup>-1</sup>, 2920 cm<sup>-1</sup>, 1710 cm<sup>-1</sup>, 1580 cm<sup>-1</sup>, 1500 cm<sup>-1</sup>, 1400 cm<sup>-1</sup>, 1240 cm<sup>-1</sup>, 1090 cm<sup>-1</sup>, 1010 cm<sup>-1</sup>, 870 cm<sup>-1</sup>, 850 cm<sup>-1</sup>, 790 cm<sup>-1</sup>, 500 cm<sup>-1</sup> และ 430 cm<sup>-1</sup> ซึ่งพีคทั้งหมดคือพีคที่พบในผ้าดิบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพีคของผ้าดิบคือพีคทั้งหมดที่พบในตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบในทุกตัวอย่าง





ภาพที่ 12 สเปกตรัมของผ้าดิบ

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ได้มาทำการคำนวณทางสถิติด้วยการอธิบายด้วยค่าอำนาจจำแนก (Discriminating power : DP) โดยกำหนดให้พีคที่มีเลขคลื่นต่างกันจำนวน 1 พีคขึ้นไป จึงจะบ่งชี้ได้ว่าตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้ามีความแตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้มีจำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด 190 คู่ตัวอย่าง และเมื่อทำการเปรียบเทียบแต่ละคู่ตัวอย่างพบว่าทุกคู่ตัวอย่างพีคมีเลขคลื่นต่างกันจำนวน 1 พีคขึ้นไปทั้งหมด จึงส่งผลให้เมื่อนำค่าไปแทนในสูตรเพื่อหาค่าอำนาจจำแนก (DP) มีค่าเท่ากับ 100%

จากสูตร  $DP = (\text{จำนวนคู่ตัวอย่างที่จำแนกได้} / \text{จำนวนคู่ตัวอย่างทั้งหมด}) \times 100$

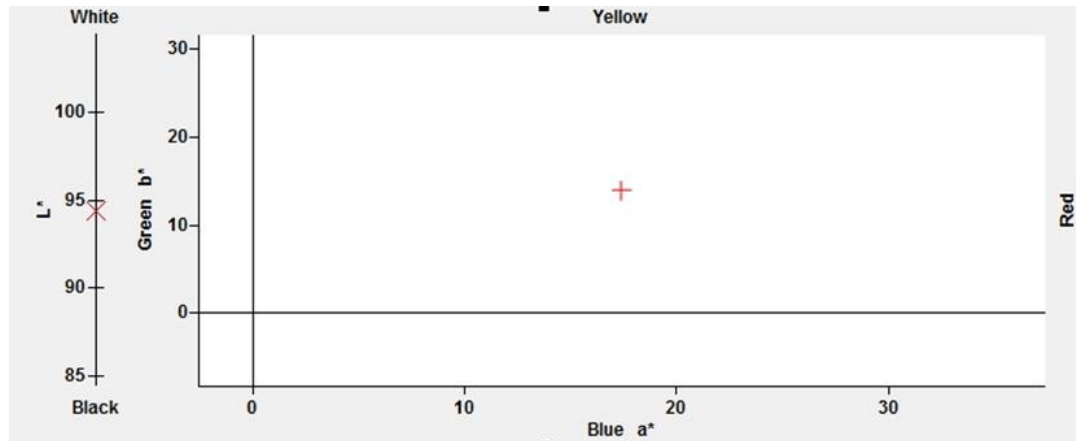
$$DP = (190/190) \times 100$$

$$DP = 100\%$$

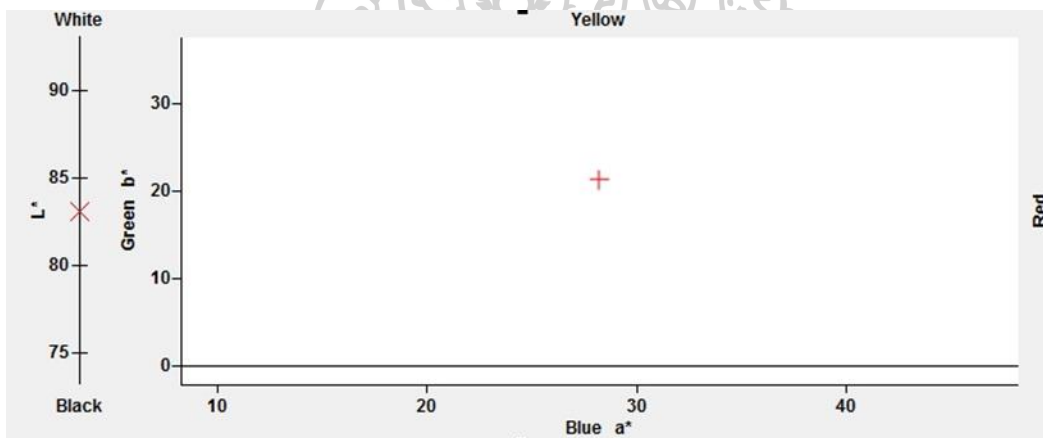
#### 4.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าด้วยเครื่อง Spectrophotometer พบว่าได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ที่แสดงค่าเฉดสีและกราฟแสดงค่า  $L^*$  ที่แสดงค่าความสว่างตั้งตัวอย่างภาพที่ 13, 14 และ 15 ซึ่งเครื่องมือปรากฏค่า  $L^*a^*b^*$  ซึ่งเป็นค่าเฉดสีของร่องรอยลิปสติกที่ได้จากการทดลองแต่ละตัวอย่างแตกต่างกัน โดยแสดงค่า  $L^*a^*b^*$  ของทุกตัวอย่างตามตารางที่ 8 แล้วนำค่า  $L^*a^*b^*$  ของทุกตัวอย่างสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ซึ่งเป็นกราฟที่บอกเฉดสีของลิปสติก และกราฟ  $L^*$  ที่บอกความสว่างของตัวอย่างลิปสติกบน

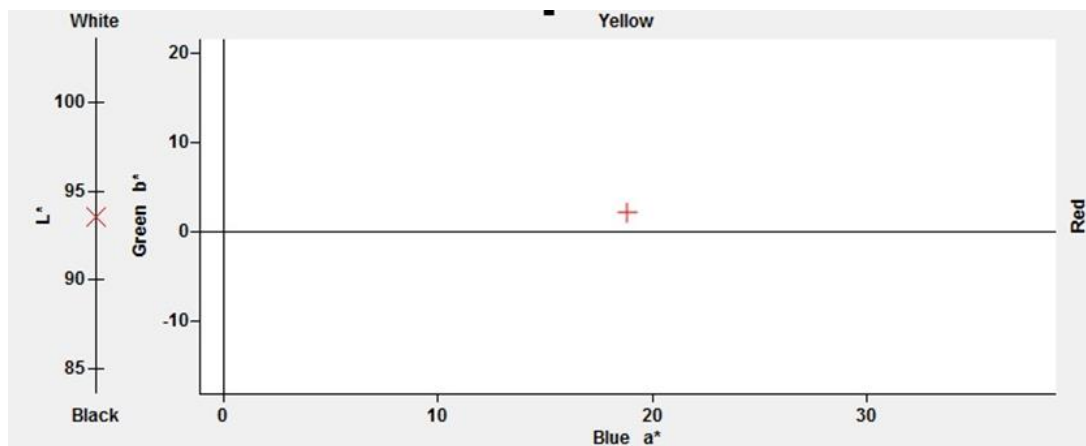
ผ้าดิบทุกตัวอย่างตามภาพที่ 16



ภาพที่ 13 กราฟที่ได้จากเครื่อง Spectrophotometer ของตัวอย่างที่ 9



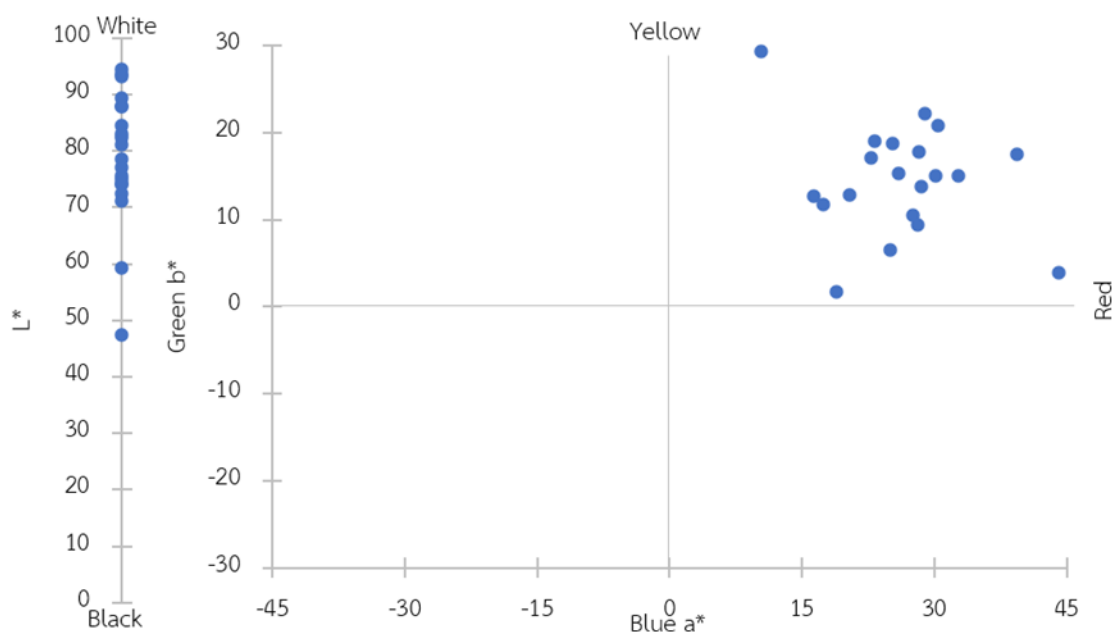
ภาพที่ 14 กราฟที่ได้จากเครื่อง Spectrophotometer ของตัวอย่างที่ 14



ภาพที่ 15 กราฟที่ได้จากเครื่อง Spectrophotometer ของตัวอย่างที่ 18

Sample	ค่า L*a*b		
	L*	a*	b*
1	81.2105	28.8722	22.2222
2	84.4826	20.3868	12.8487
3	87.9014	23.2715	18.9871
4	93.2426	24.9814	6.4920
5	89.3704	10.3782	29.3040
6	74.0485	30.0911	15.0725
7	72.4014	28.0962	9.4445
8	88.0019	16.2802	12.7780
9	94.4172	17.4505	11.7123
10	78.5191	27.6225	10.5609
11	47.4116	39.3428	17.5365
12	75.0226	22.8347	17.1596
13	83.1316	28.2536	17.7628
14	75.5778	32.7523	15.0296
15	77.0412	28.5500	13.7592
16	59.3405	25.8911	15.3273
17	71.2590	44.0444	3.9600
18	93.5837	18.8753	1.7179
19	74.0412	25.2196	18.7243
20	82.3982	30.4011	20.8457

ตารางที่ 8 ค่าสีของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบทั้งหมด



ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $L^*$  ของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบทุกตัวอย่าง

จากนั้นนำค่า  $L^*a^*b^*$  ที่ได้หาค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ในทุกคู่ตัวอย่างร่องรอยของลิปสติกบนผ้า ตามสูตรการคำนวณจะได้ค่าการคำนวณตามตาราง ซึ่งค่า  $\Delta E$  นี้สามารถบ่งบอกได้ถึง ความแตกต่างของสีในทุกตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบว่ามีความแตกต่างกัน โดยมีค่าตั้งแต่ 2.38 ถึง 52.92 ซึ่งแสดงค่าความแตกต่างของสีของทุกคู่ตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบตามตารางที่ 9

คู่ตัวอย่าง	$\Delta E$	คู่ตัวอย่าง	$\Delta E$	คู่ตัวอย่าง	$\Delta E$	คู่ตัวอย่าง	$\Delta E$	คู่ตัวอย่าง	$\Delta E$
1-2	13.06	3-5	16.58	5-12	22.55	8-11	46.93	11-19	30.17
1-3	9.31	3-6	15.93	5-13	22.17	8-12	15.19	11-20	36.26
1-4	20.18	3-7	18.83	5-14	29.91	8-13	13.85	12-13	9.77
1-5	21.42	3-8	9.35	5-15	26.90	8-14	20.75	12-14	10.16
1-6	10.06	3-9	11.37	5-16	36.58	8-15	16.48	12-15	6.95
1-7	15.54	3-10	13.34	5-17	45.87	8-16	30.34	12-16	16.08
1-8	17.14	3-11	43.59	5-18	29.17	8-17	33.60	12-17	25.26
1-9	20.38	3-12	13.02	5-19	23.82	8-18	12.66	12-18	24.47
1-10	12.03	3-13	7.01	5-20	22.83	8-19	17.62	12-19	3.01
1-11	35.69	3-14	16.04	6-7	6.19	8-20	17.20	12-20	11.19
1-12	10.02	3-15	13.17	6-8	19.77	9-10	18.91	13-14	9.21
1-13	4.89	3-16	28.91	6-9	24.21	9-11	52.18	13-15	7.29
1-14	9.93	3-17	30.57	6-10	6.81	9-12	20.85	13-16	24.03
1-15	9.44	3-18	18.70	6-11	28.31	9-13	16.75	13-17	24.10
1-16	23.12	3-19	14.00	6-12	7.61	9-14	24.50	13-18	21.32
1-17	25.74	3-20	9.20	6-13	9.65	9-15	20.72	13-19	9.63

1-18	25.95	4-5	27.36	6-14	3.07	9-16	36.26	13-20	3.83
1-19	8.77	4-6	21.64	6-15	3.62	9-17	36.11	14-15	4.63
1-20	2.38	4-7	21.28	6-16	15.30	9-18	10.13	14-16	17.63
2-3	7.60	4-8	11.95	6-17	18.05	9-19	22.91	14-17	16.39
2-4	11.76	4-9	9.24	6-18	26.19	9-20	19.89	14-18	26.34
2-5	19.87	4-10	15.50	6-19	6.09	10-11	33.97	14-19	8.53
2-6	14.42	4-11	49.28	6-20	10.16	10-12	8.87	14-20	9.27
2-7	14.73	4-12	21.22	7-8	19.85	10-13	8.58	15-16	17.97
2-8	5.41	4-13	15.49	7-9	24.56	10-14	7.41	15-17	19.22
2-9	10.42	4-14	21.10	7-10	6.24	10-15	3.46	15-18	22.63
2-10	9.65	4-15	18.11	7-11	28.57	10-16	19.84	15-19	6.69
2-11	41.90	4-16	35.05	7-12	9.70	10-17	19.13	15-20	9.07
2-12	10.68	4-17	29.21	7-13	13.58	10-18	19.54	16-17	24.51
2-13	9.37	4-18	7.76	7-14	7.93	10-19	9.62	16-18	34.51
2-14	15.39	4-19	22.77	7-15	6.35	10-20	11.34	16-19	15.10
2-15	11.08	4-20	18.79	7-16	14.35	11-12	32.17	16-20	24.13
2-16	25.86	5-6	28.74	7-17	16.90	11-13	37.40	17-18	33.72
2-17	28.52	5-7	31.56	7-18	24.36	11-14	29.04	17-19	24.09
2-18	14.46	5-8	17.60	7-19	9.85	11-15	31.76	17-20	24.40
2-19	12.92	5-9	19.62	7-20	15.34	11-16	18.11	18-19	26.67
2-20	12.98	5-10	27.68	8-9	6.60	11-17	27.84	18-20	24.98
3-4	13.70	5-11	52.33	8-10	14.95	11-18	52.92	19-20	10.06

ตารางที่ 9 ค่าความแตกต่างสี่ของคู่ตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ

ในการตัดสินความถูกต้องของสีมักใช้ค่า  $\Delta E$  ในการระบุโดยมีเงื่อนไข

$\Delta E < 1.00$  หมายถึง ไม่มีความแตกต่างในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญในการเปรียบเทียบสองสี ควบคู่กันไป

$\Delta E < 3.00$  หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไป

กำหนดให้ ผู้เชี่ยวชาญหมายถึงผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์สีหรือช่างภาพที่มีประสบการณ์ นักออกแบบ นักถ่ายภาพ ฯลฯ

ดังนั้นในการทดลองนี้มีค่า  $\Delta E$  อยู่ในช่วง 2.38 – 52.92 โดยค่า  $\Delta E$  ที่น้อยกว่า 3 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไป แต่มีความแตกต่างในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญ จึงสรุปว่าทั้ง 2 สีมีความแตกต่างกัน

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิปสติกโดยตรง (ไม่มีพื้นผิว) และร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ในช่วงความยาวคลื่น  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  ของตัวอย่างลิปสติกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง พบว่า สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างที่ได้ปรากฏพีคของเลขคลื่นส่วนมากที่พบในตัวอย่างลิปสติก โดยพีคที่พบสามารถบ่งบอกถึงน้ำ, aromatic compounds, aliphatic compounds, hydroxyl group, hydrogen bonds และ silicates ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของลิปสติก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Vishal S., 2019) โดยศึกษาร่องรอยของลิปสติกในทางนิติวิทยาศาสตร์ จำนวน 25 ตัวอย่าง จำแนกลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิค ATR-FTIR ควบคู่กับวิธีการทางสถิติ พบว่าลิปสติกประกอบด้วย สารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เช่น น้ำ, hydroxy group, พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล, aliphatic compound และ aromatic compound หลายชนิด เช่น Propyl ester ของ Hexanoic acid และ Silicates และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Justina X.W. W., 2019) ศึกษาร่องรอยของลิปสติกที่ติดบนพื้นผิวต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับ chemometrics วิเคราะห์ลิปสติกเม็ดสีแดง 22 เม็ดสี และเม็ดสีน้ำตาล 18 เม็ดสี พบว่าลิปสติกประกอบด้วย Alkyl C-H stretches, O-H stretch,  $\text{CH}_3$  symmetric deformation of  $\text{Si-CH}_3$ , Si-O-Si stretch และ Si-C stretch ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าเทคนิค ATR-FTIR สามารถบ่งบอกพีคที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของลิปสติกได้

จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติอำนาจการจำแนก (Discriminating power : DP) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าในตัวอย่างลิปสติกและตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบให้ค่าสถิติอำนาจการจำแนกมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์เหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Vishal S., 2019) โดยศึกษาร่องรอยของลิปสติกในทางนิติวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ตัวอย่างลิปสติกจำนวน 25 ตัวอย่าง นำมาจำแนกลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิค ATR-FTIR ควบคู่กับวิธีการทางสถิติ ซึ่งได้ค่าสถิติอำนาจในการแยก 99.00 เปอร์เซ็นต์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rito C., 2020) ที่ศึกษาองค์ประกอบของลิปสติกจำนวน 38 เม็ดสี ที่มาจากผู้ผลิตจำนวน 20 ราย วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR มีการใช้วิธีทางสถิติมาจำแนก ซึ่งได้



ค่าสถิติอำนาจในการแยก 100 เปอร์เซนต์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Vishal Sharma, 2019) ที่ศึกษาผงทาบอบตาจำนวน 33 ตัวอย่าง วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ควบคุมกับวิธีการทางสถิติ ซึ่งได้ค่าสถิติอำนาจในการแยก 99.43 เปอร์เซนต์ จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าการใช้เทคนิค ATR-FTIR ควบคุมกับสถิติอำนาจในการแยกเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการจำแนกลักษณะพิเศษของลิปสติก และเครื่องสำอางชนิดอื่น ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

จากการวัดค่าสีของตัวอย่างด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 360-830 nm ของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง พบว่าปรากฏค่าสีของทุกตัวอย่างออกมาในระบบ CIE Lab scale แตกต่างกัน ค่า  $L^*$  บ่งบอกถึงความสว่างของสีลิปสติกมีค่า 1 ถึง 100 โดยค่าที่น้อยแสดงว่าความเข้มสีมีความเข้มมากเช่นสีแดงเข้ม แต่ค่ามากแสดงว่ามีความเข้มของสีน้อยหรือเรียกว่าสว่างเช่นสีชมพูอ่อน ค่า  $a^*$  บ่งบอกสีเขียวถึงสีแดง โดยมีค่าตั้งแต่  $-a^*$  (สีเขียว) จนถึง  $+a^*$  (สีแดง) แสดงว่าลิปสติกมีค่าเข้าใกล้โทนสีแดงโดยลิปสติกสีโทนแดงเข้มจะมีค่ามากกว่า ค่า  $b^*$  บ่งบอกถึงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง โดยมีค่าตั้งแต่  $-b^*$  (สีน้ำเงิน) จนถึง  $+b^*$  (สีเหลือง) แสดงว่าลิปสติกมีค่าเข้าใกล้โทนสีเหลืองโดยลิปสติกสีอ่อนจะมีค่ามากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ (F. M. Zibetti, 2016) ศึกษาการวิเคราะห์พารามิเตอร์สี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) โดยวิธี reflectance spectrophotometry ของตัวอย่างลิปสติกจำนวน 17 แท่ง ซึ่งค่า  $b^*$  ได้รับการยืนยันโดยการวิเคราะห์ด้วยสายตา ซึ่งค่า  $b^*$  ต่ำสุดมีแนวโน้มเป็นสีน้ำเงิน ส่งผลให้ได้ลิปสติกสีแดงเข้ม และค่า  $b^*$  ที่สูงมีแนวโน้มเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ได้ลิปสติกสีแดงอ่อน ซึ่งสามารถแยกสีว่ามีความแตกต่างกัน และในส่วนของการหาค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ในทุกคู่ตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบทั้งหมด 190 คู่ตัวอย่าง โดยค่า  $\Delta E$  นี้สามารถบ่งบอกได้ถึงความแตกต่างของสีในทุกตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบทุกตัวอย่างว่ามีความแตกต่างกัน โดยมีค่าตั้งแต่ 2.38 ถึง 52.92

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไปผู้วิจัยควรทำการศึกษการเปลี่ยนพื้นผิวของร่องรอยลิปสติกเป็นชนิดอื่น, ระยะเวลาในการจัดเก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป และ ทำการทดลองในตัวอย่างลิปสติกที่หลากหลายมากกว่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลและเพิ่มขอบเขตของข้อมูล

## รายการอ้างอิง

- F. M. Zibetti, A. C. A. C., G. C. Desmarais, K. B. de Almeida, L. M. do Nascimento, L. F. Rolim, ... D. Q. Falcao. (2016). Application of a central composite design to evaluate the influence of colouring agents in lipstick formulation. *Cosmetic Science*, 38(5), 481-486.
- INSTRUMENT, P. A. (2562). การวัดสี (*Color Measurement*).  
<https://www.ptallinstrument.com/article/5>
- Justina X.W. W., G. S., & Simon W. L. (2019). Forensic discrimination of lipsticks using visible and attenuated total reflectance infrared spectroscopy. *Journal of Forensic Science International*, 298, 88-96.
- Kiranpreet K., P. K. Y., Gurvinder S. B., & Rakesh M. S. . (2020). Forensic classification of lipsticks using attenuated total reflectance –Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy. *Journal of Vibrational Spectroscopy*, 110(103146), 1-13.
- Rito C., S. S., & Rajinder S. (2020). Forensic analysis of red lipsticks using ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics. *Journal of Forensic Chemistry*, 17(100209), 1-11.
- Vishal S., A. B., & Raj K. . (2019). On the spectroscopic investigation of lipstick stains: Forensic trace evidence. *Journal of Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 215, 48-57.
- Vishal Sharma, S. B. R. K. (2019). On the spectroscopic investigation of Kohl stains via ATR-FTIR and multivariate analysis: Application in forensic trace evidence. *Vibrational Spectroscopy*, 101, 81-91.
- เที่ยงมณี, อ. (2564). สารละลายเกี่ยวกับลิปสติก. <https://mx.nimt.or.th/?p=13444>
- ไทยรัฐออนไลน์. (2567). เปิดสถิติอาชญากรรม 2566 เพิ่มขึ้นแต่อาจยังไม่สะท้อนความเป็นจริง? <https://www.thairath.co.th/scoop/infographic/2752159>
- จำกัด, บ. ม. ไ. (2565). ประโยชน์ของลิปสติก มีอะไรที่บ้าง. [https://www.medentthailand.com/blog\\_inside.html?read=178](https://www.medentthailand.com/blog_inside.html?read=178)
- สีมา, ศ. (2563). บทบาทนิติวิทยาศาสตร์กับกระบวนการยุติธรรม.
- อำนาจอนันต์, ศ. ธ. แ. ป. (2561). เทคโนโลยี Fourier Transform Infrared Spectroscopy: ทฤษฎี

และการประยุกต์ใช้. วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์และเทคโนโลยี, 2(1), 29-33.

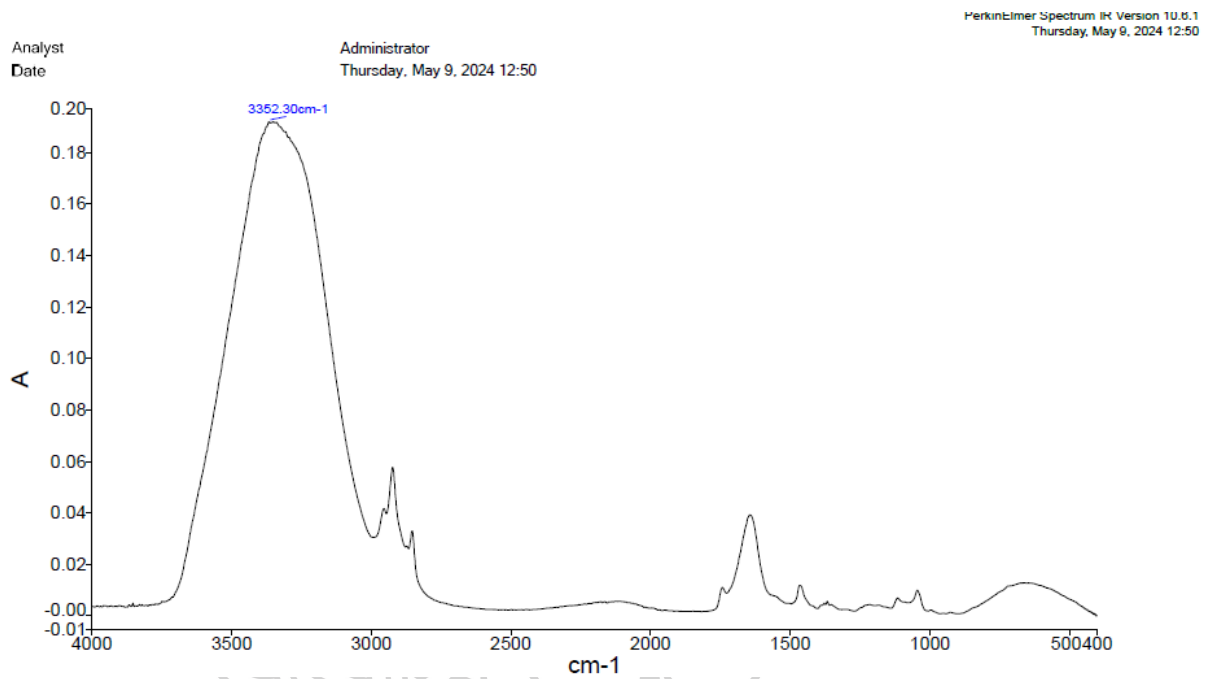




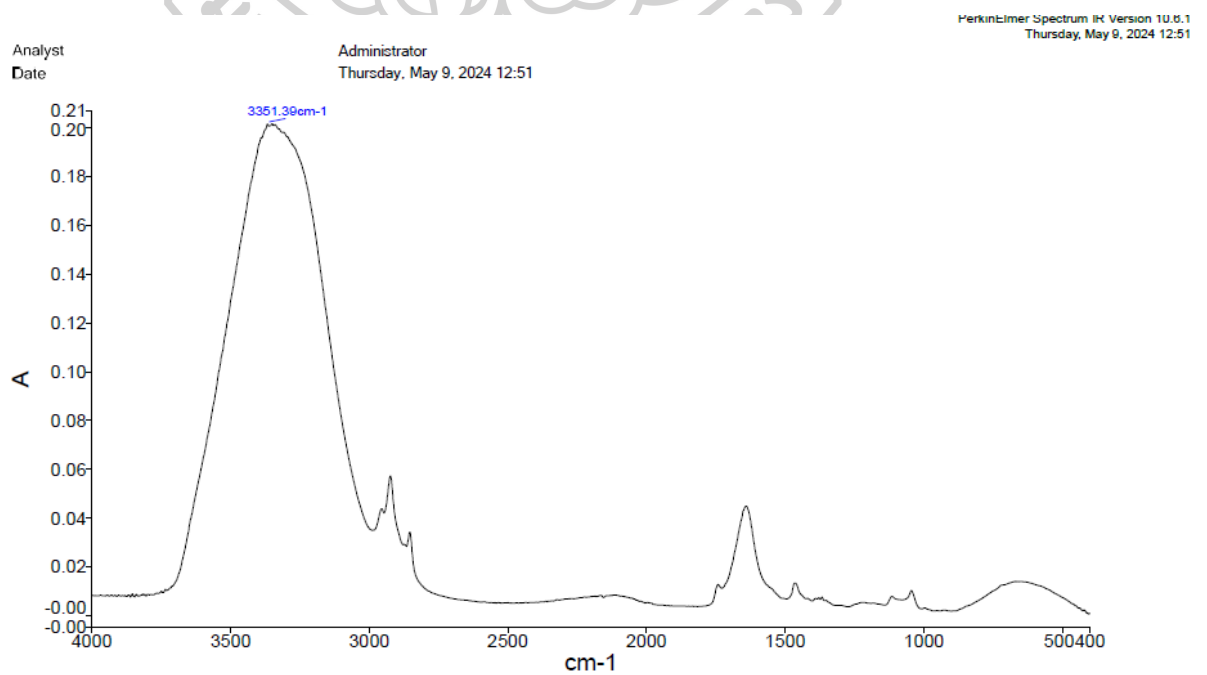
ภาคผนวก

## สเปกตรัมของตัวอย่างลิปสติก

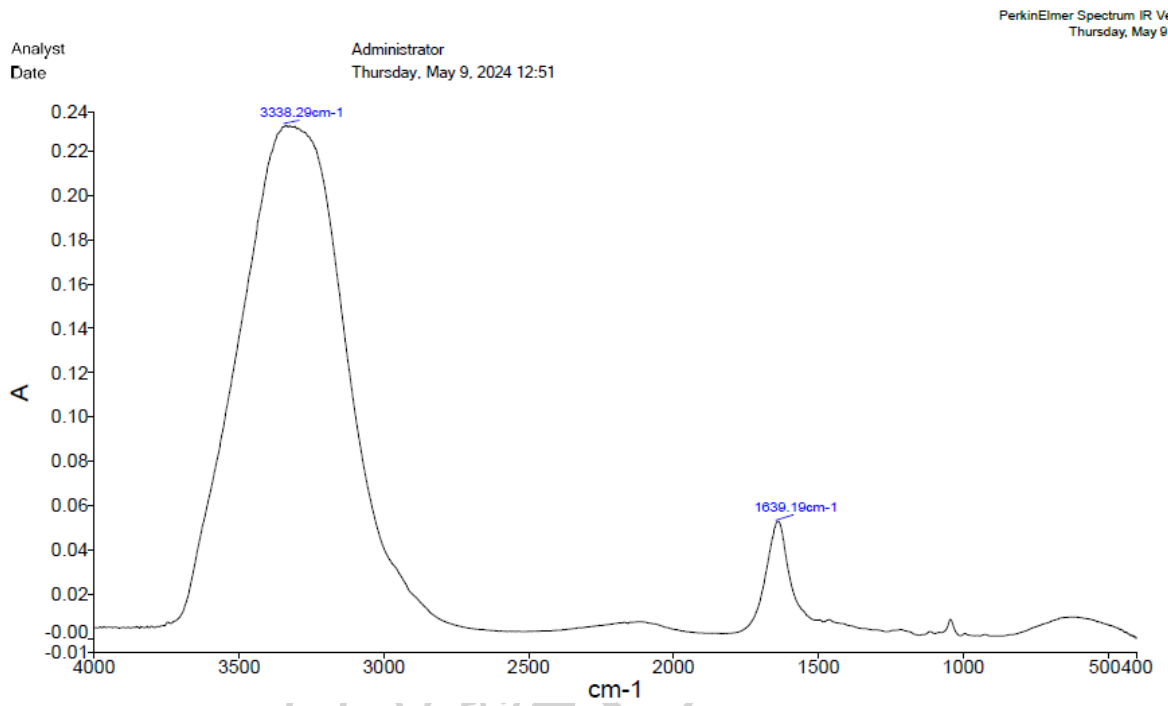
## ตัวอย่างที่ 1



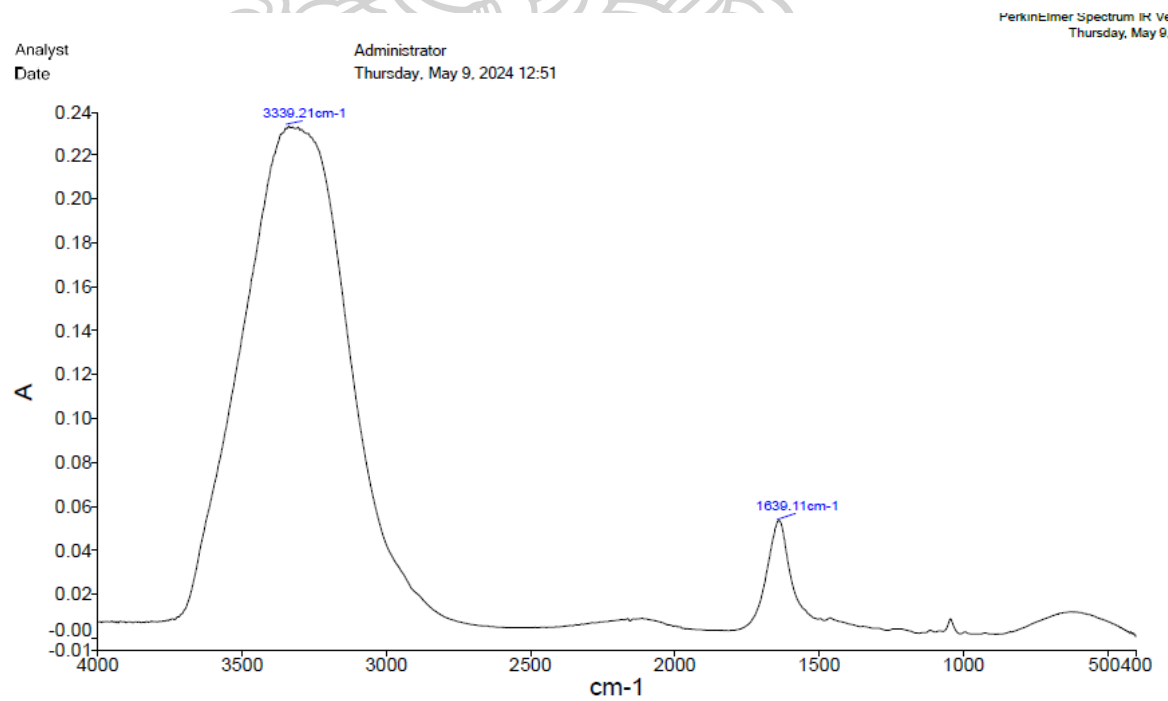
## ตัวอย่างที่ 2



## ตัวอย่างที่ 3

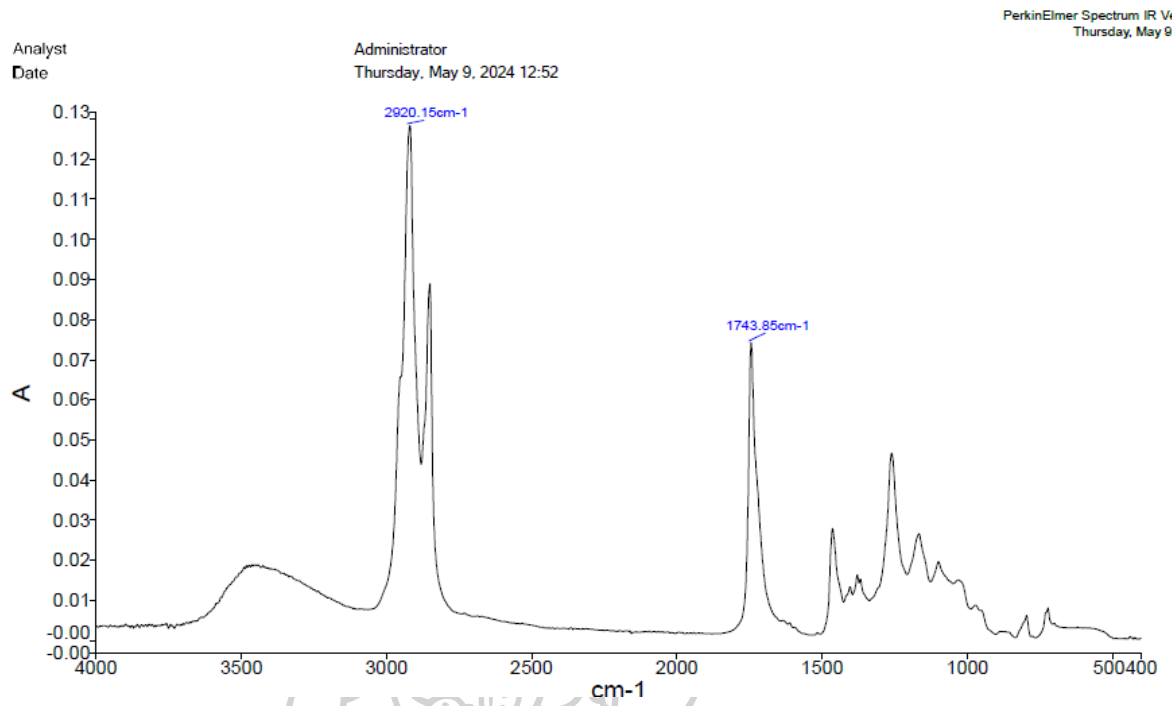


## ตัวอย่างที่ 4

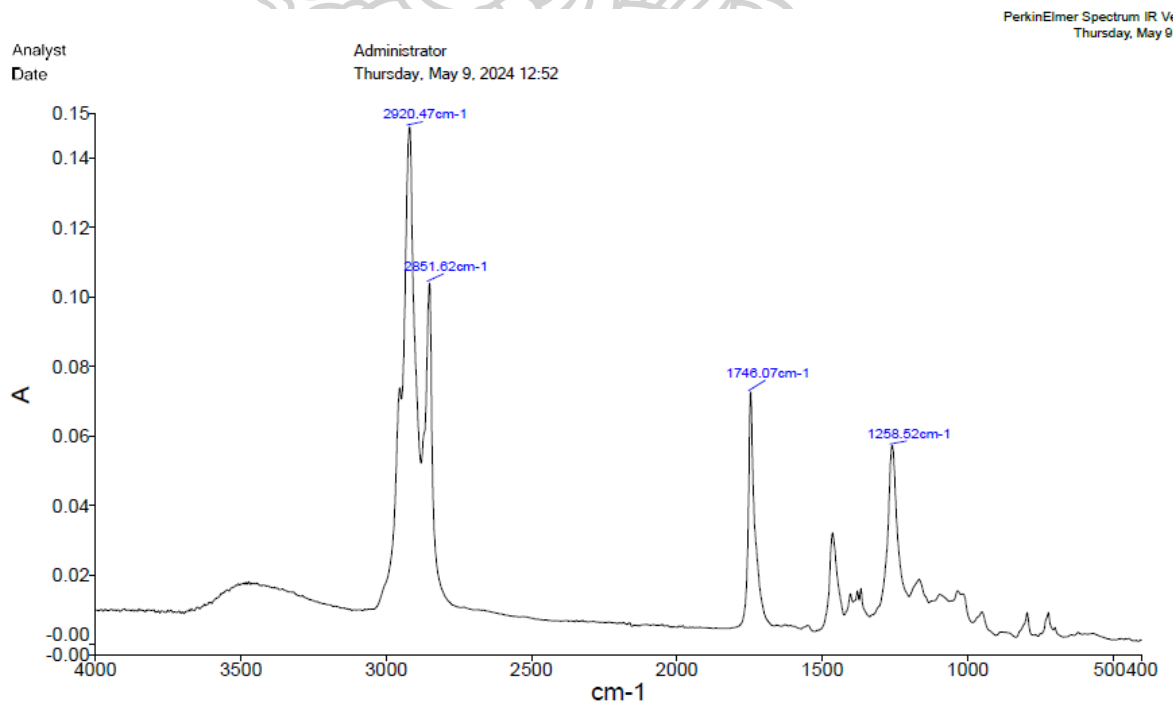




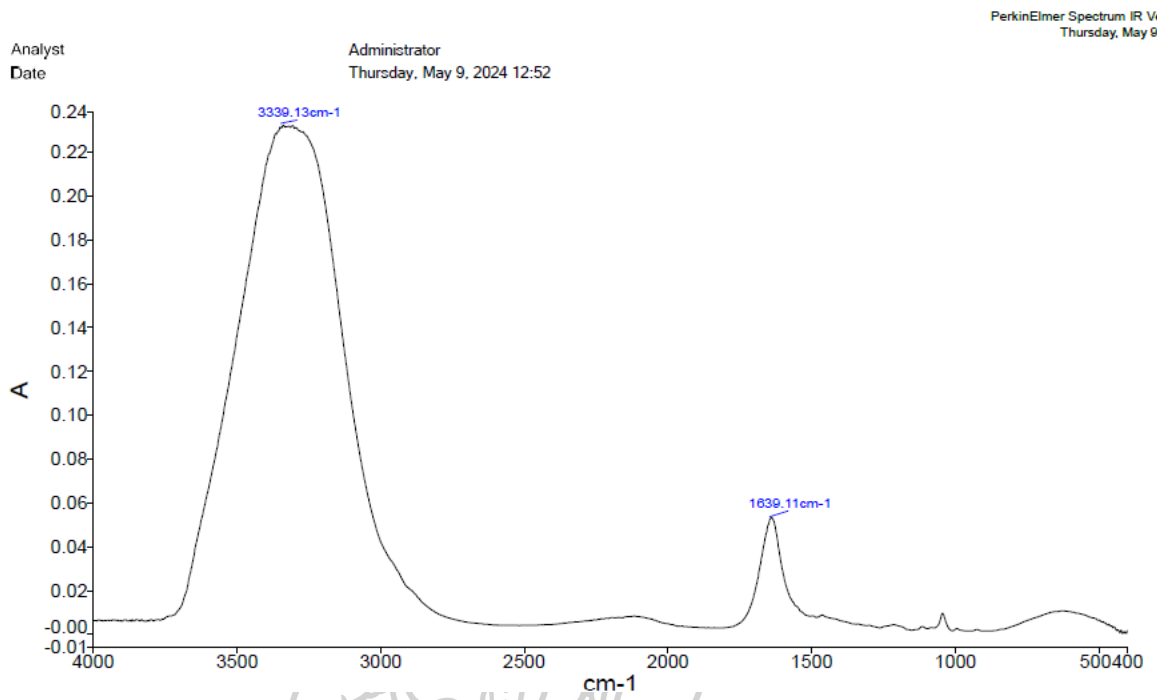
## ตัวอย่างที่ 5



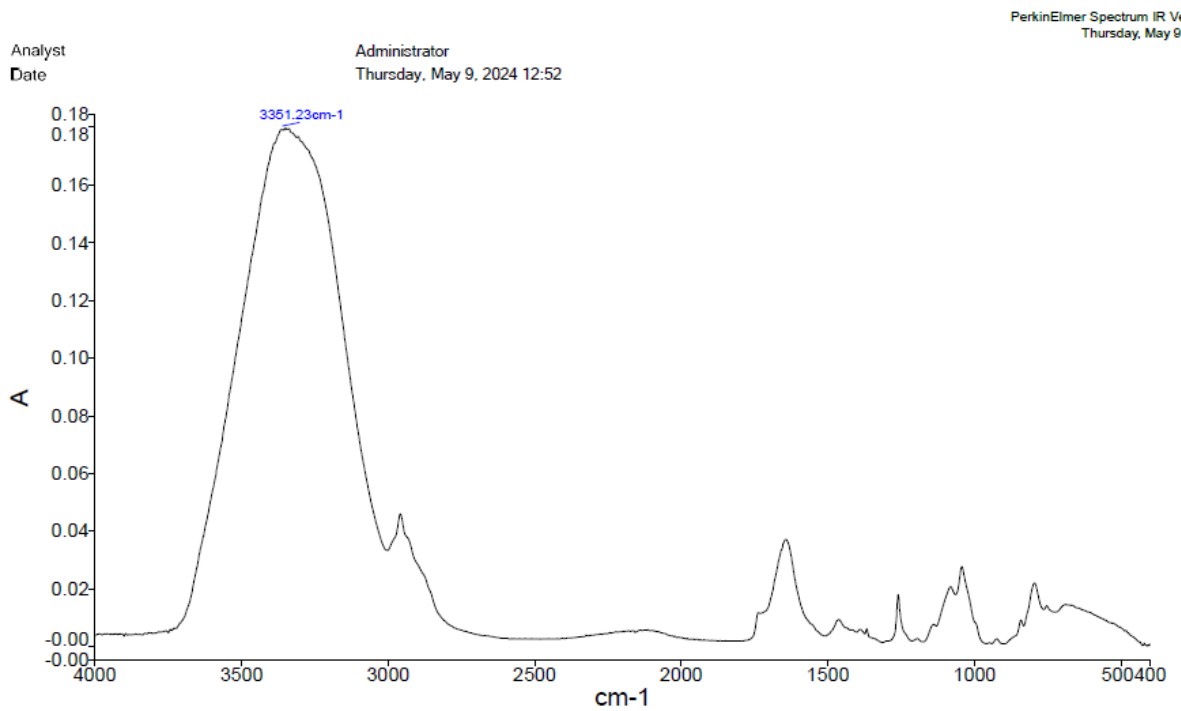
## ตัวอย่างที่ 6



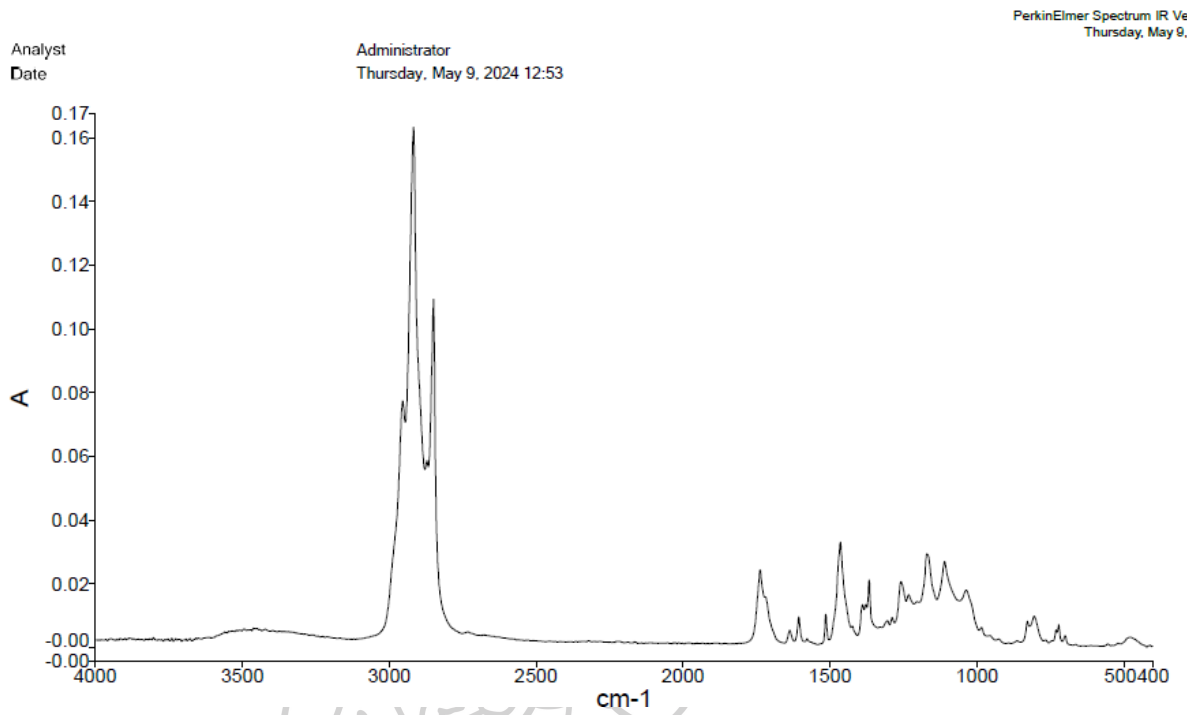
## ตัวอย่างที่ 7



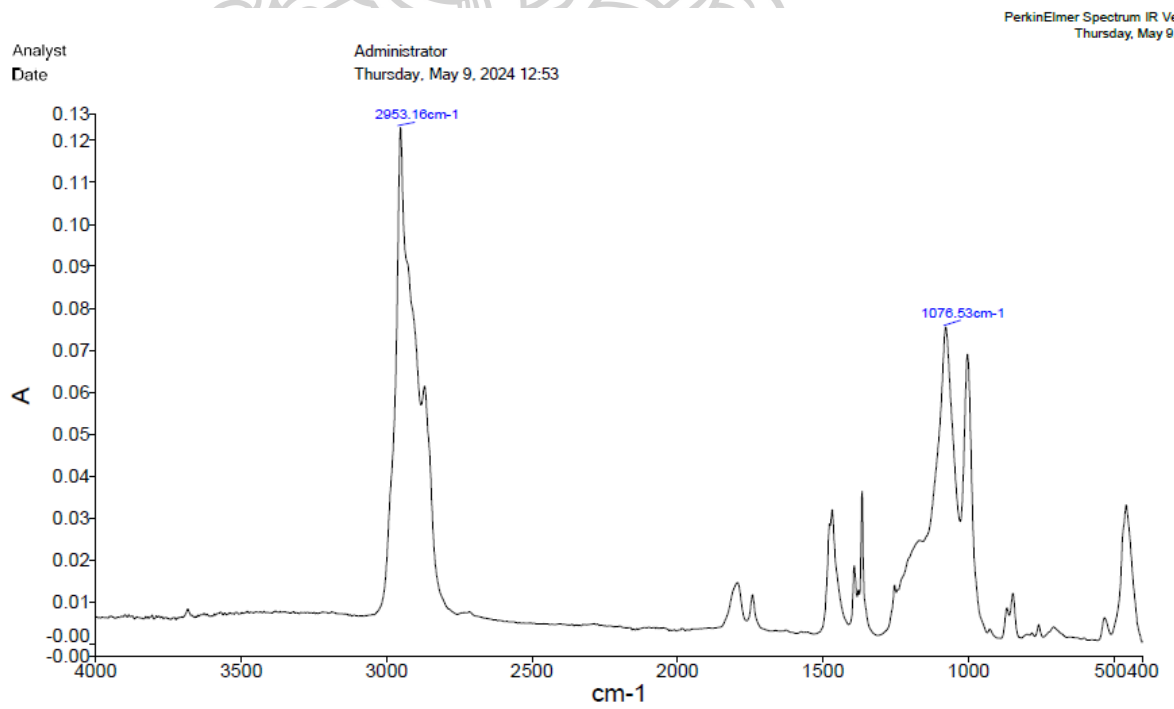
## ตัวอย่างที่ 8



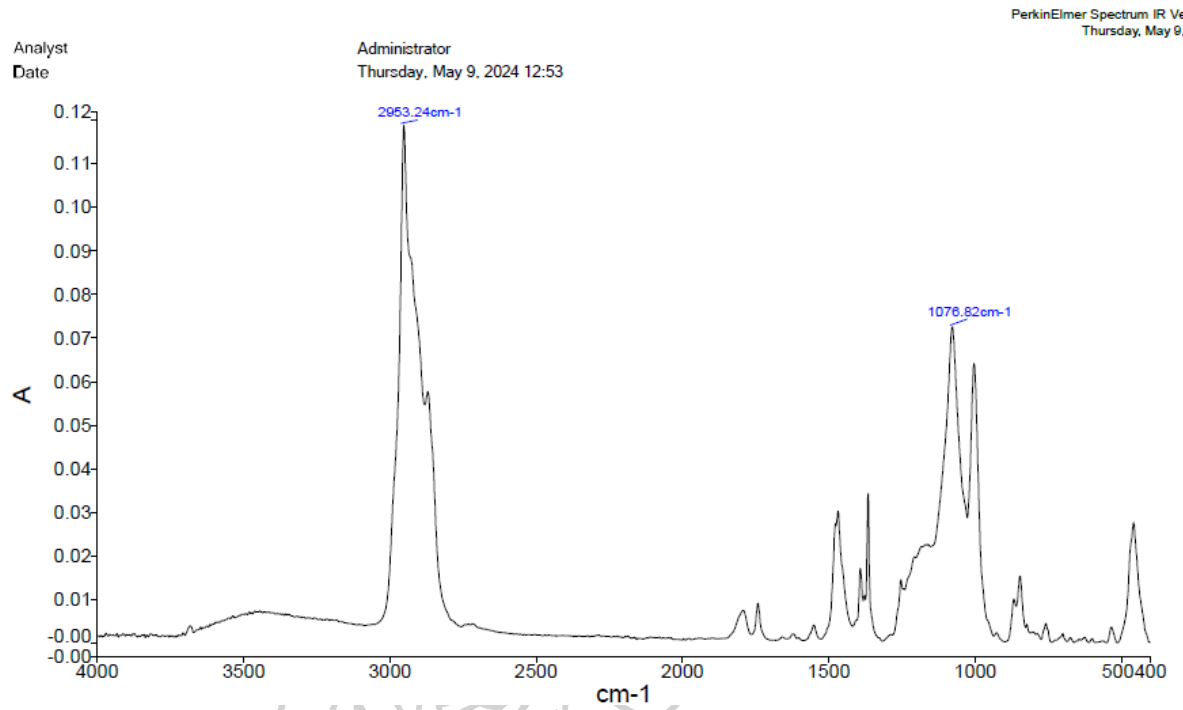
ตัวอย่างที่ 9



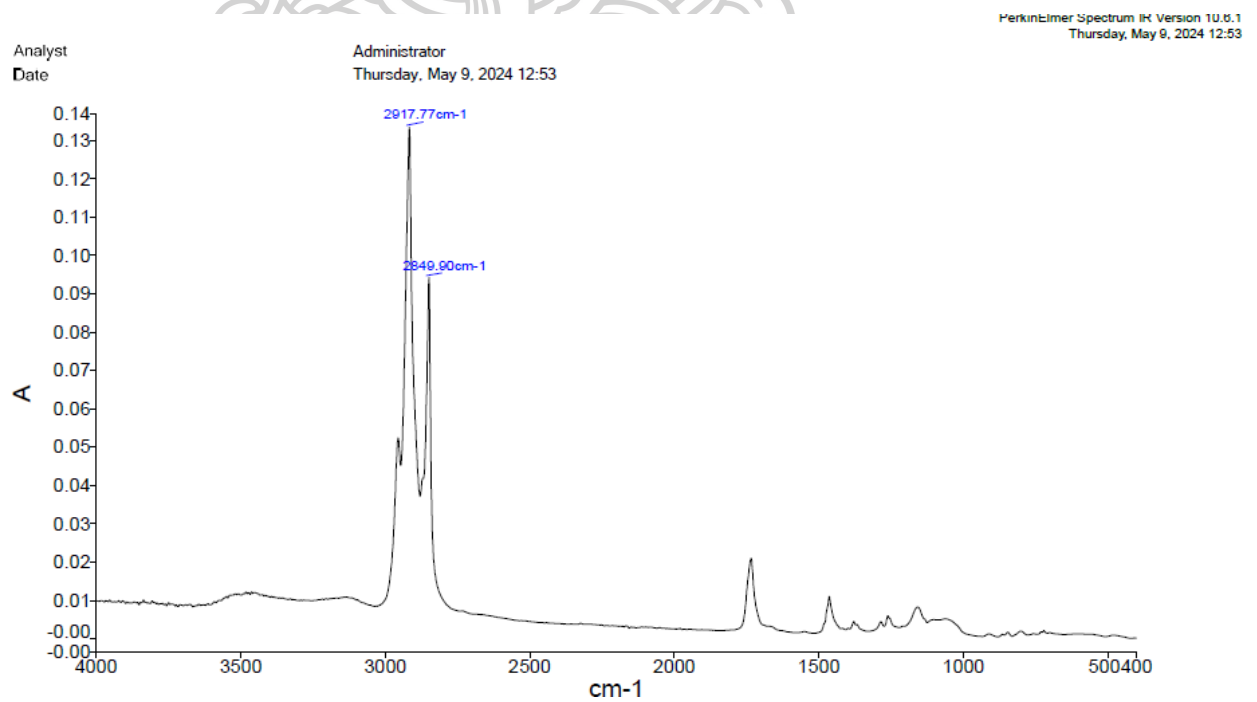
ตัวอย่างที่ 10



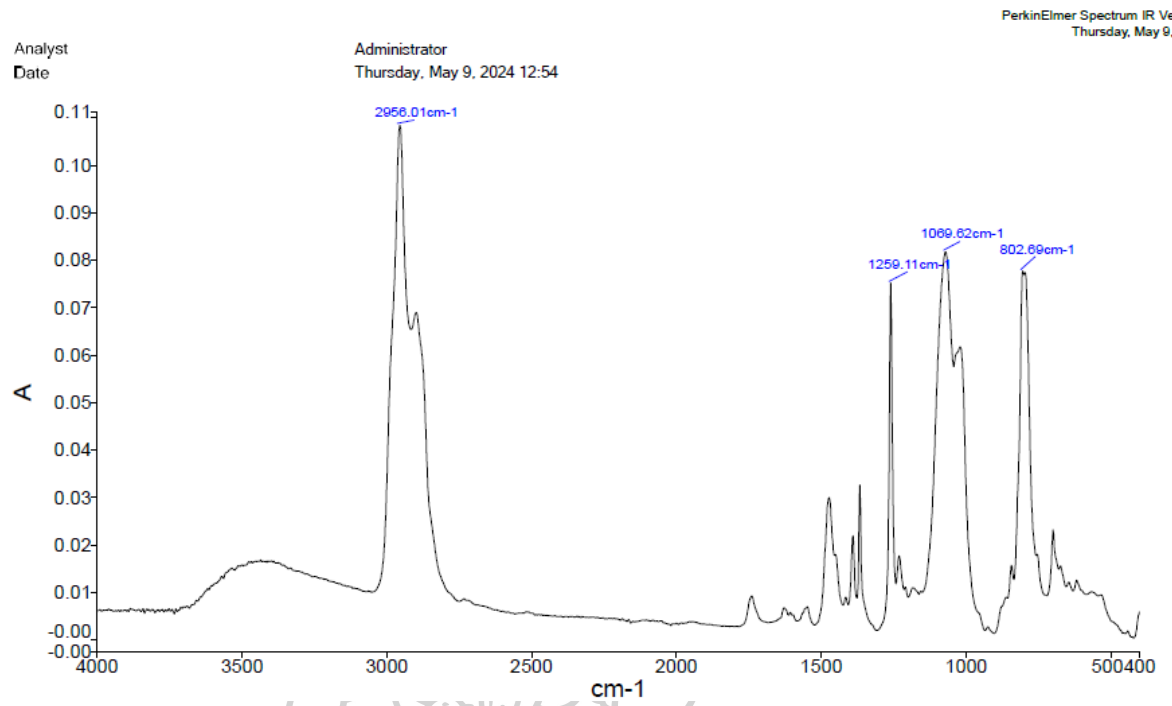
ตัวอย่างที่ 11



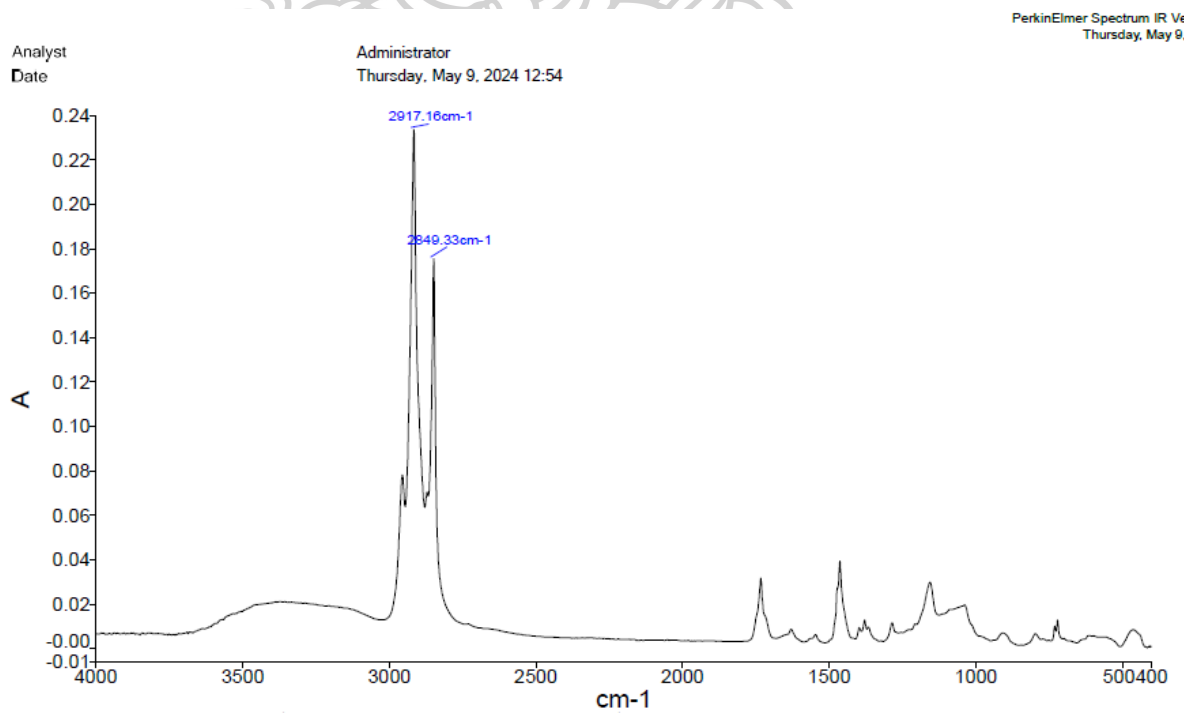
ตัวอย่างที่ 12



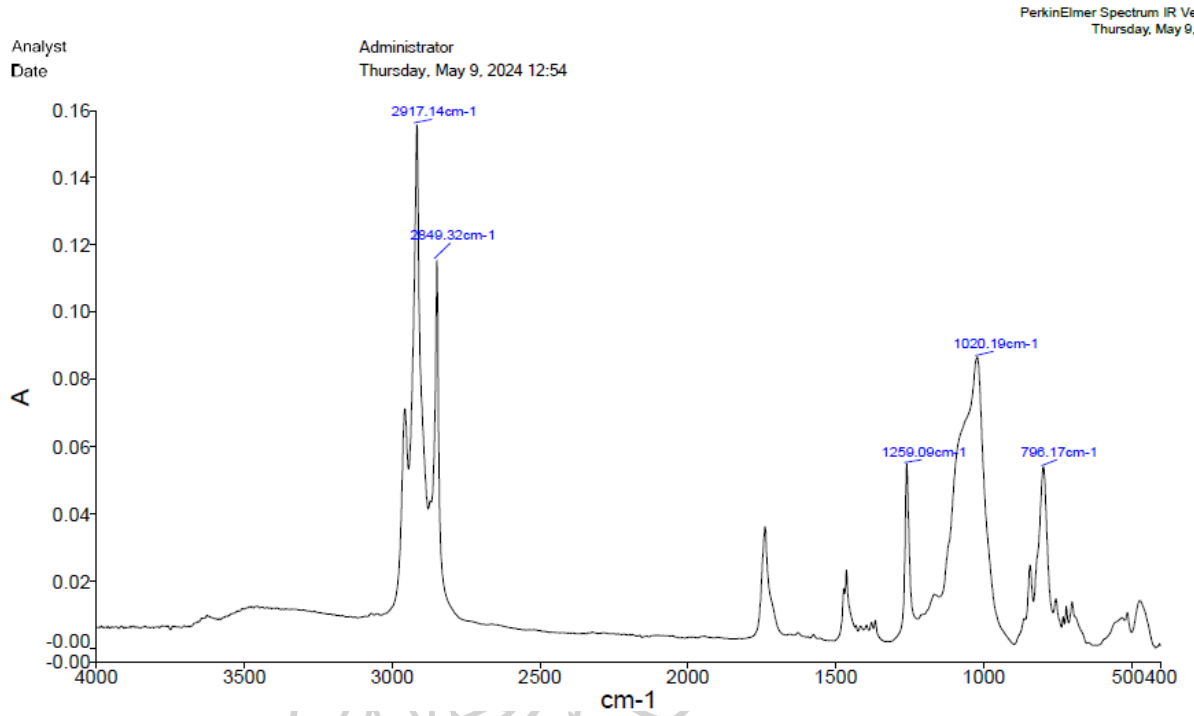
ตัวอย่างที่ 13



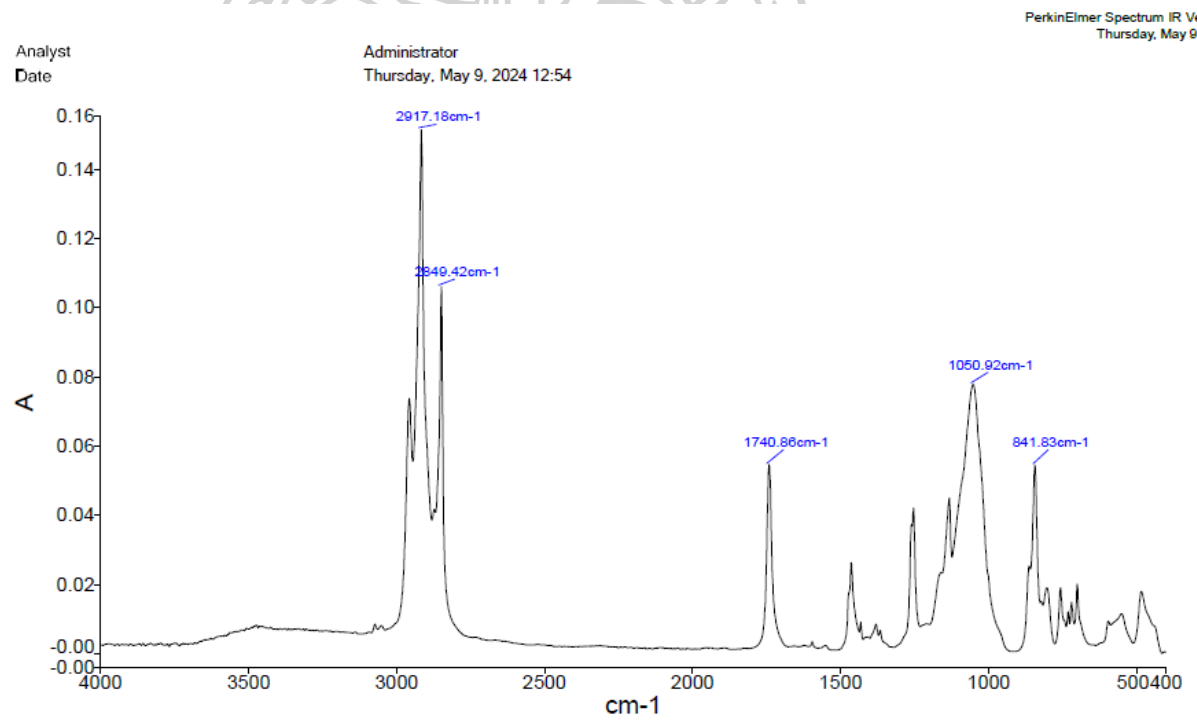
ตัวอย่างที่ 14



ตัวอย่างที่ 15

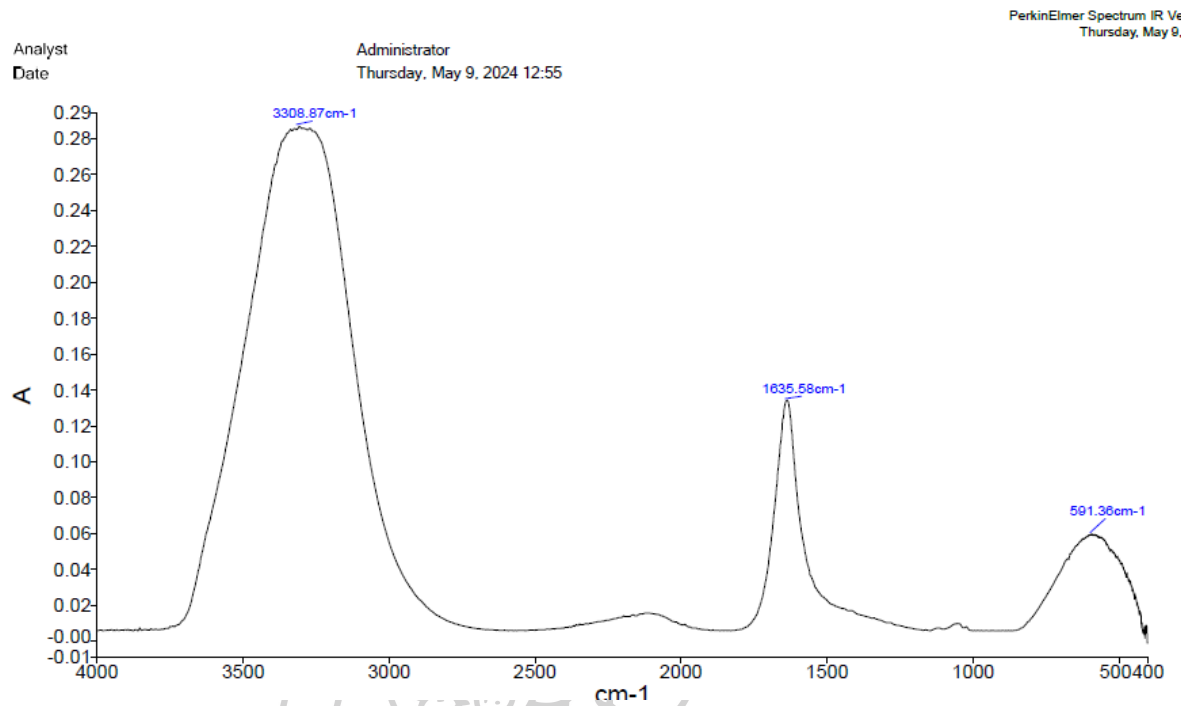


ตัวอย่างที่ 16

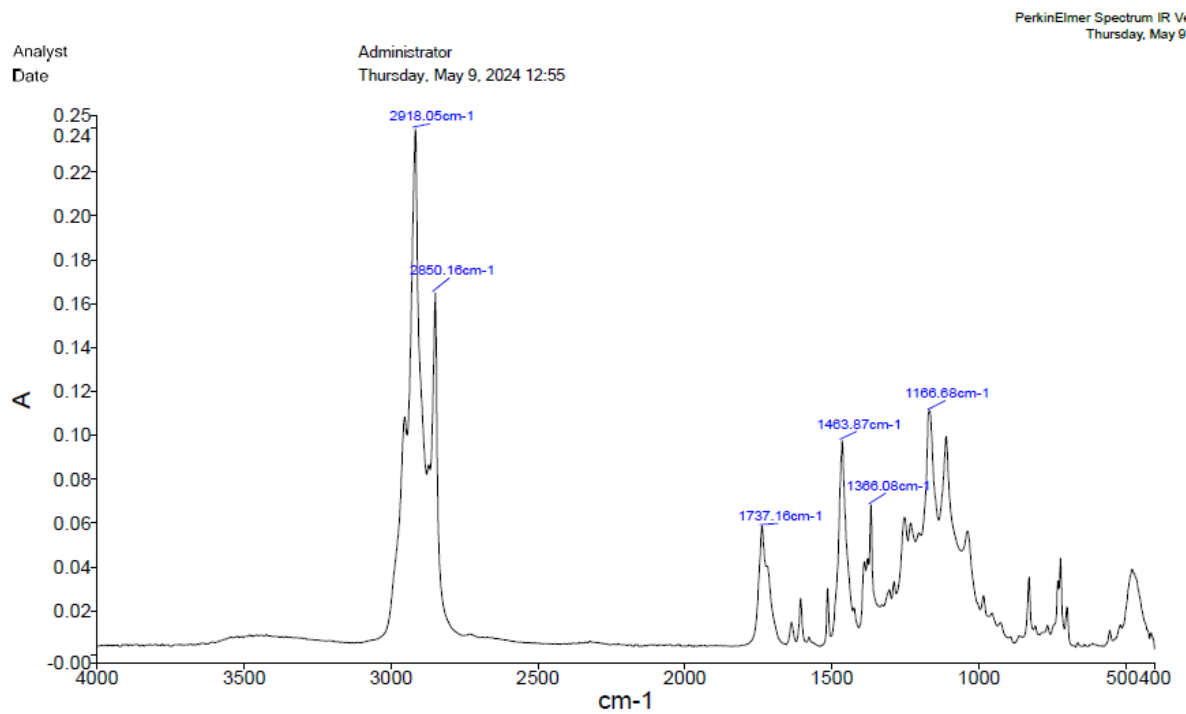




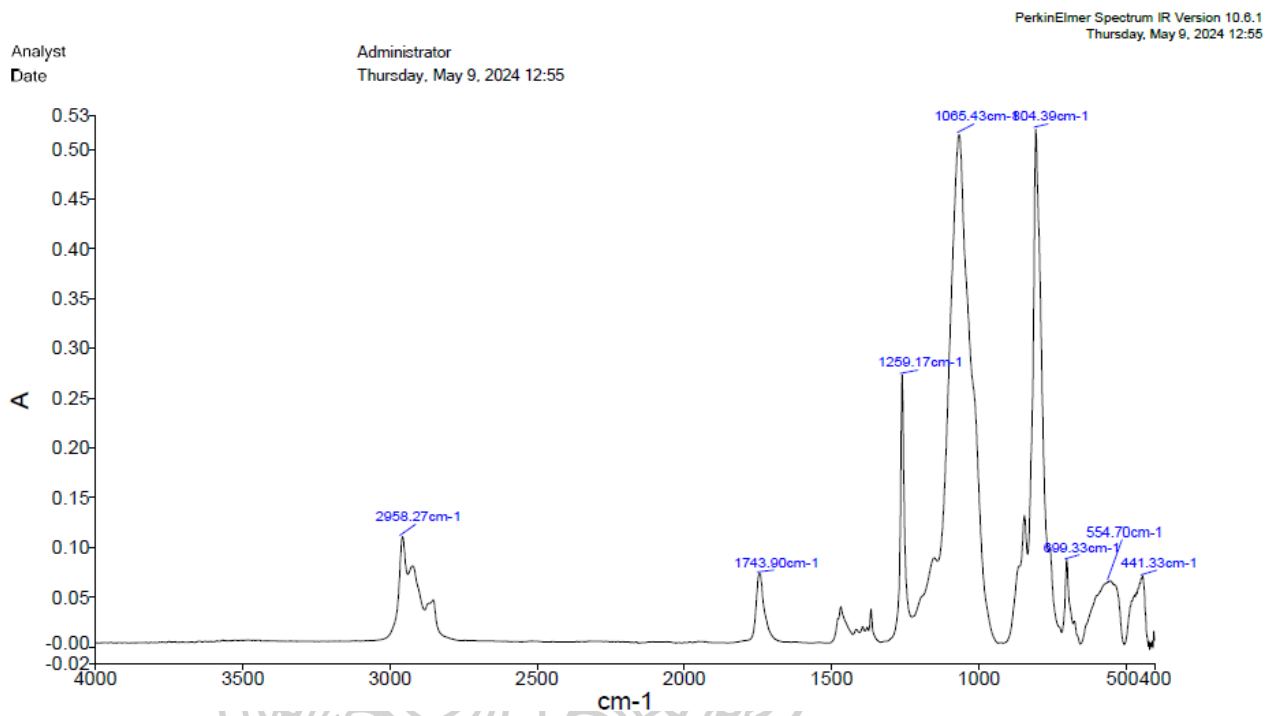
ตัวอย่างที่ 17



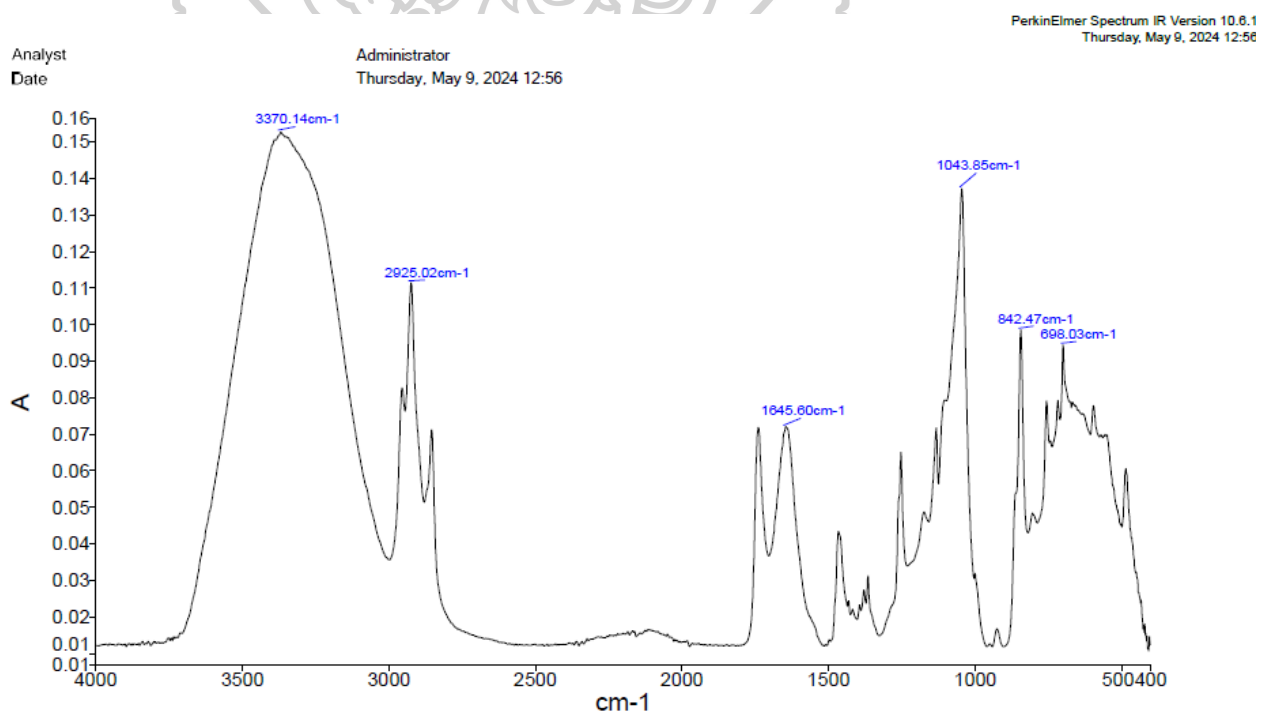
ตัวอย่างที่ 18



ตัวอย่างที่ 19



ตัวอย่างที่ 20



พิคทั้งหมดของตัวอย่างลิปติก

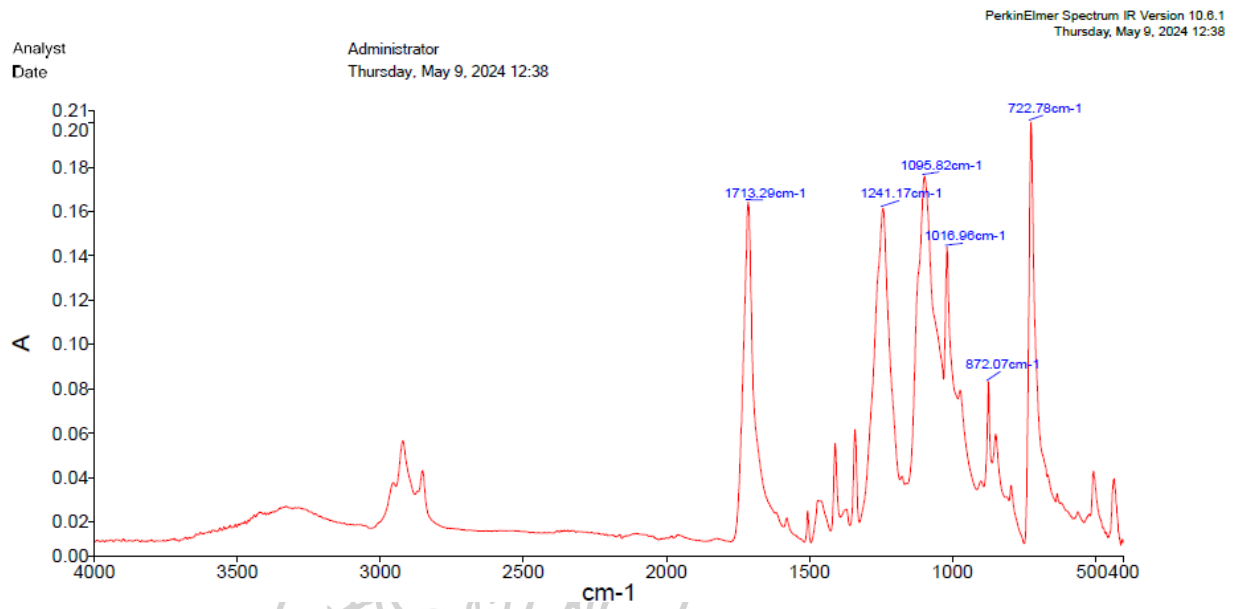
ตัวอย่างที่	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )
1	3400, 2960, 2920, 2850, 1740, 1640, 1400, 1360, 1100, 1050, 1000, 670
2	3400, 2960, 2920, 2850, 1740, 1640, 1460, 1360, 1100, 1050, 1000, 670
3	3400, 1640, 1460, 1100, 1050, 1000, 620
4	3400, 2100, 1640, 1460, 1050
5	3400, 2920, 2850, 1740, 1640, 1600, 1510, 1460, 1400, 1360, 1260, 1160, 1100, 1050, 1000, 790, 720, 670
6	3400, 2920, 2960, 2850, 1740, 1540, 1460, 1400, 1360, 1260, 1160, 1100, 1050, 1000, 790, 720, 670
7	3400, 1640, 1490, 1460, 1100, 1050, 1000, 920, 670
8	3400, 2960, 1740, 1640, 1460, 1400, 1360, 1260, 1190, 1100, 1050, 1000, 920, 790, 670
9	3400, 2960, 2920, 2850, 1740, 1640, 1600, 1510, 1460, 1400, 1360, 1260, 1160, 1100, 1050, 1000, 820, 720, 670, 470
10	3600, 2960, 2850, 1740, 1460, 1400, 1360, 1260, 1100, 1000, 820, 720, 530, 450
11	3600, 3400, 2960, 2850, 1790, 1740, 1640, 1460, 1400, 1360, 1260, 1200, 1100, 1000, 860, 750, 670, 530, 450
12	3400, 2960, 2920, 2850, 1740, 1460, 1400, 1360, 1260, 1100, 840, 790
13	3400, 2960, 2890, 1740, 1600, 1460, 1400, 1360, 1260, 1180, 1050, 1000, 840, 670, 620
14	3400, 2960, 2920, 2850, 1740, 1640, 1540, 1460, 1360, 1260, 1100, 1050, 1000, 720, 460
15	3400, 2960, 2920, 2850, 1740, 1640, 1570, 1460, 1360, 1260, 1160, 1000, 840, 790, 750, 670
16	3400, 3070, 2960, 2920, 2850, 1740, 1640, 1460, 1400, 1360, 1260, 1100, 1050, 840, 720, 670, 540, 480
17	3300, 2100, 1640, 1100, 1050, 1000, 590
18	2960, 2920, 2850, 2730, 1740, 1640, 1600, 1510, 1460, 1400, 1360, 1260,

	1100, 1050, 1000, 760, 670, 480
19	2960, 2920, 2850, 1740, 1460, 1400, 1360, 1260, 1190, 1150, 1050, 860, 760, 670, 480
20	3400, 2960, 2920, 2850, 2160, 1740, 1640, 1460, 1430, 1400, 1360, 1260, 1170, 1100, 1050, 1000, 860, 760, 700, 670, 600, 550, 480

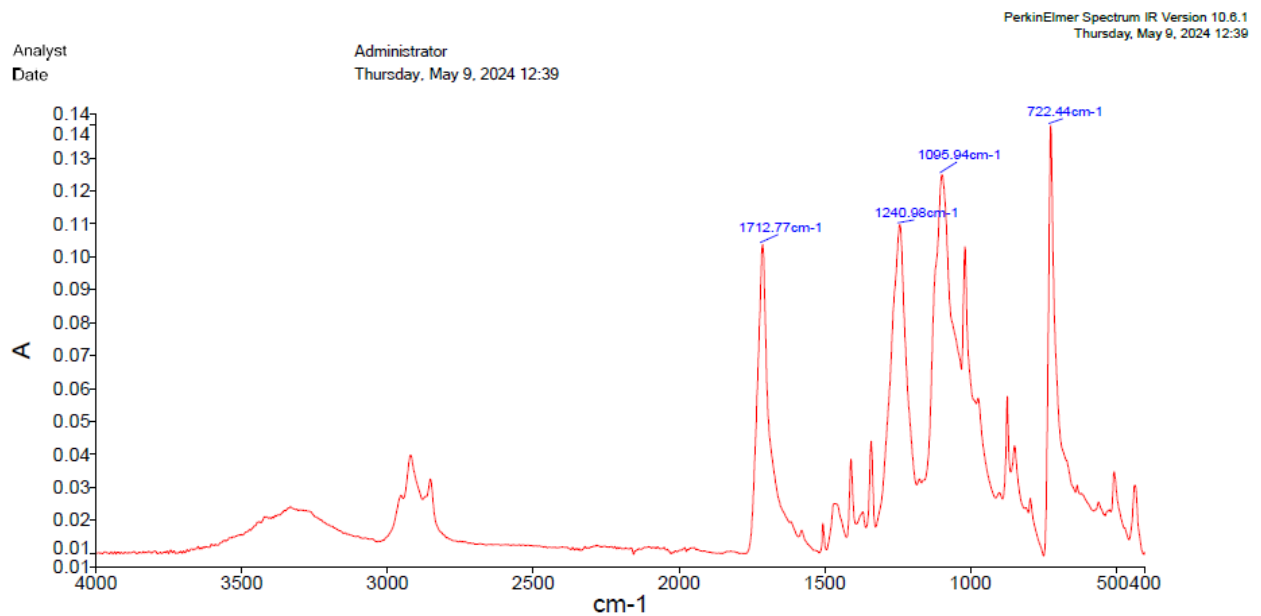


## สเปกตรัมของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ

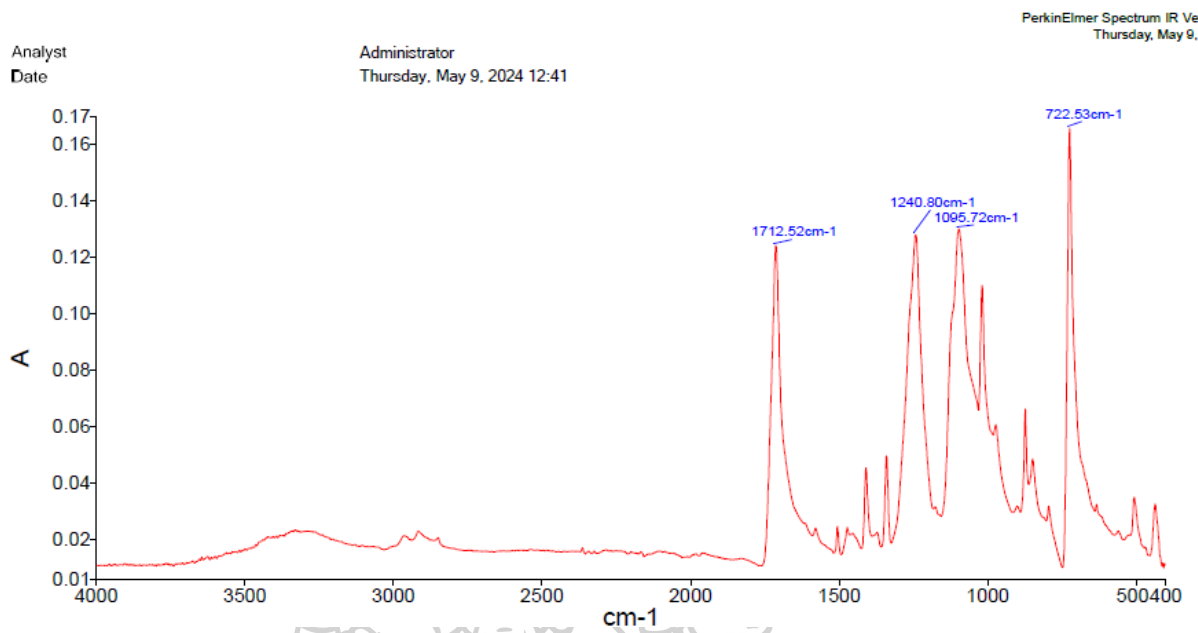
ตัวอย่างที่ 1



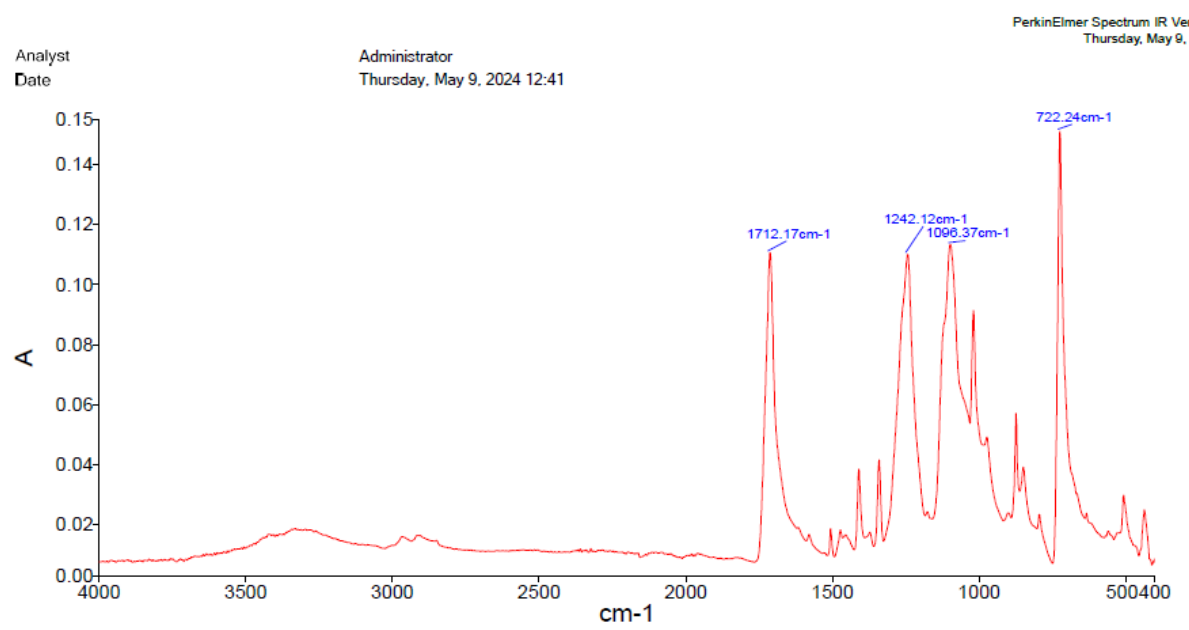
ตัวอย่างที่ 2



ตัวอย่างที่ 3

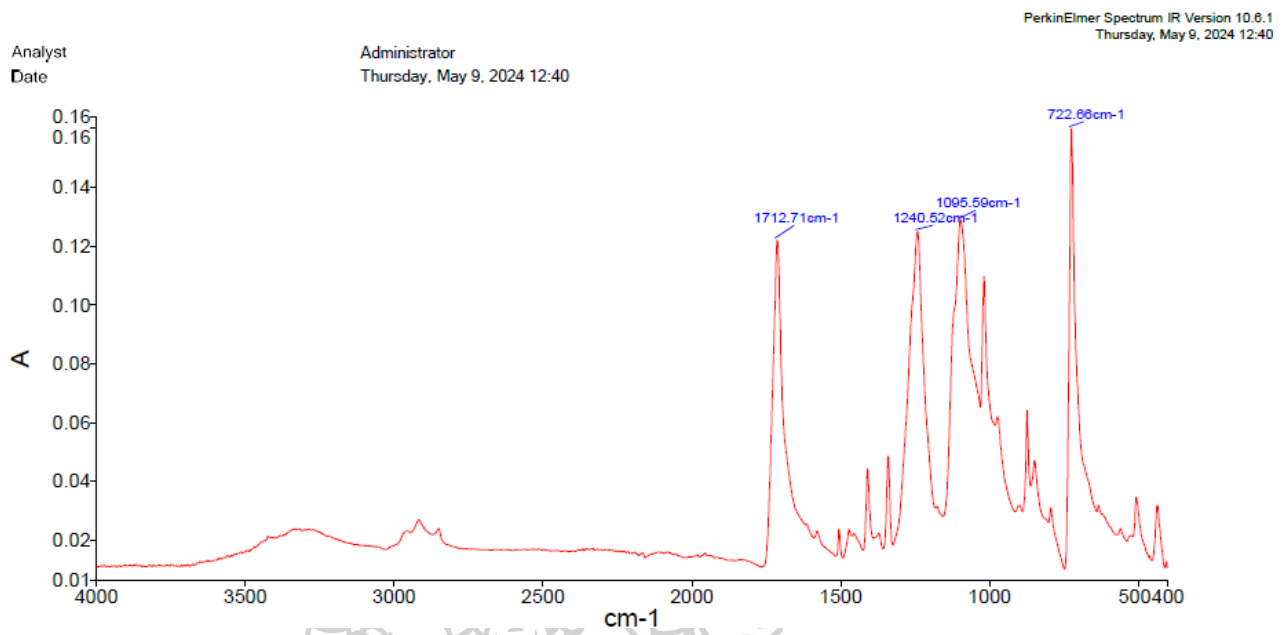


ตัวอย่างที่ 4

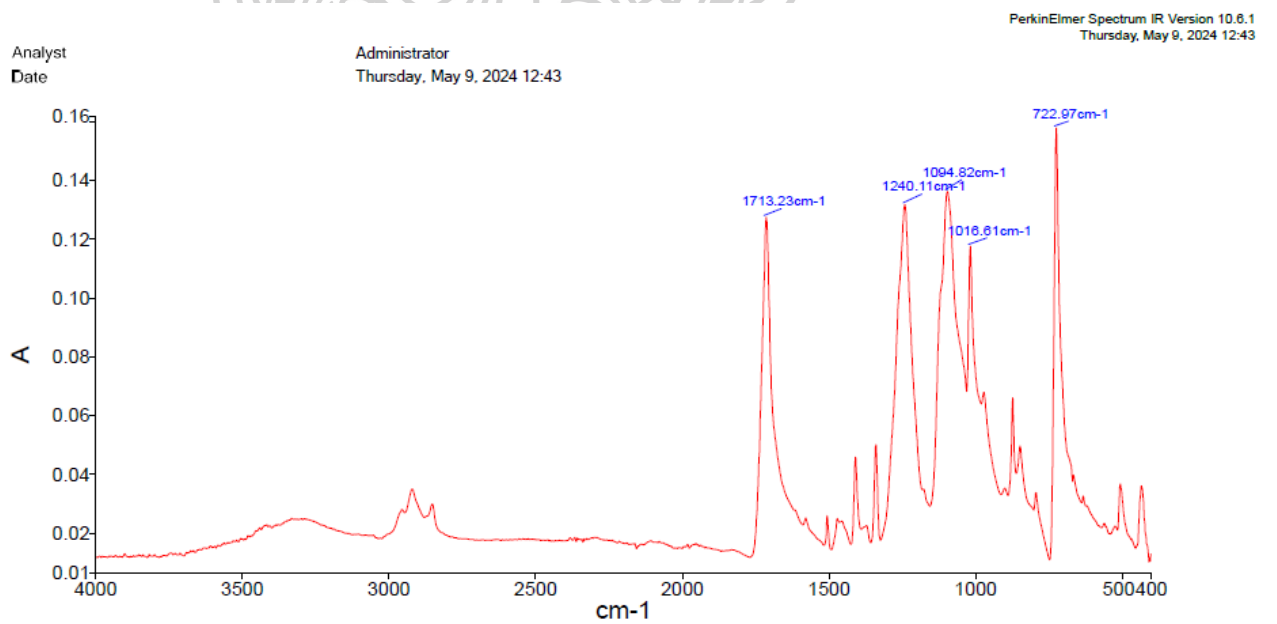




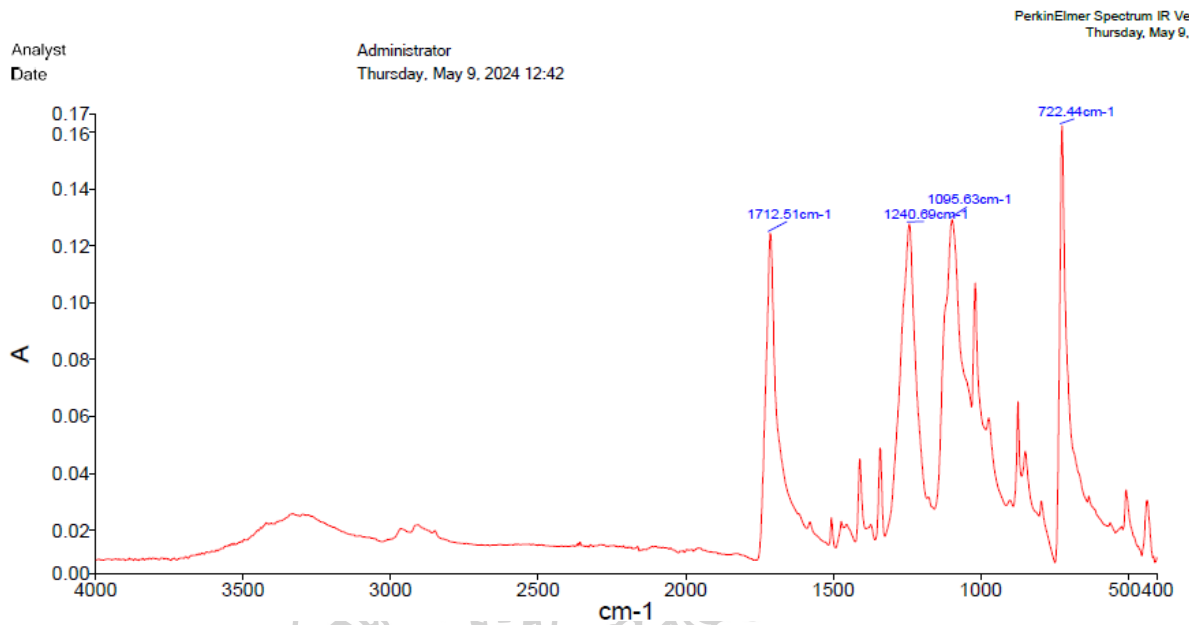
ตัวอย่างที่ 5



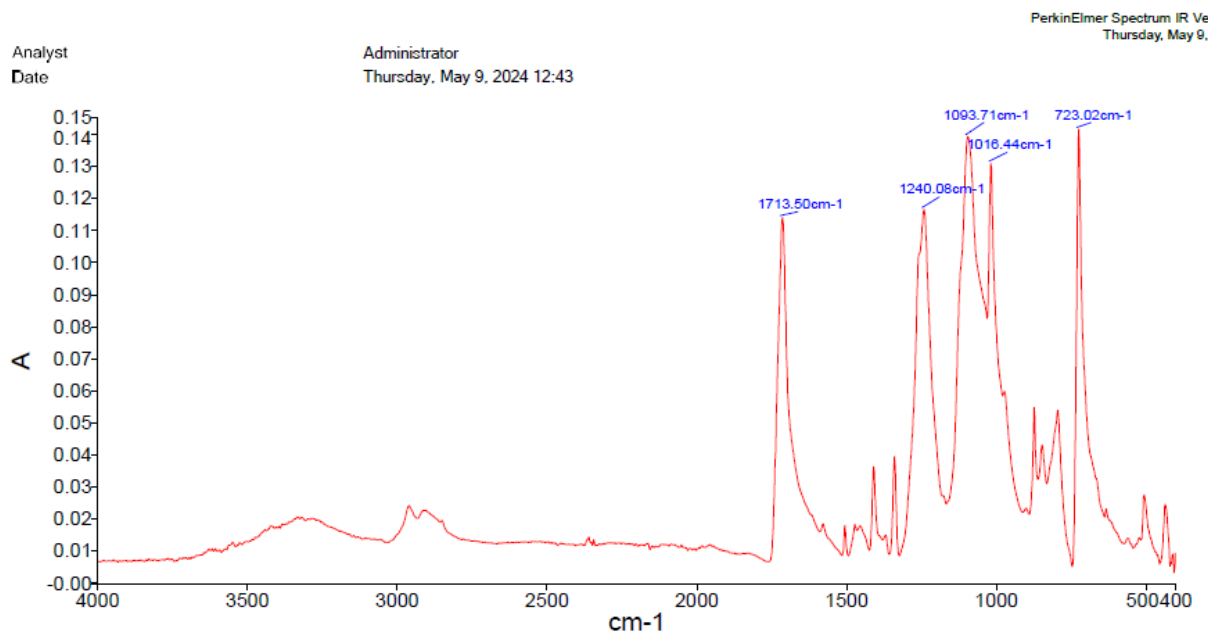
ตัวอย่างที่ 6



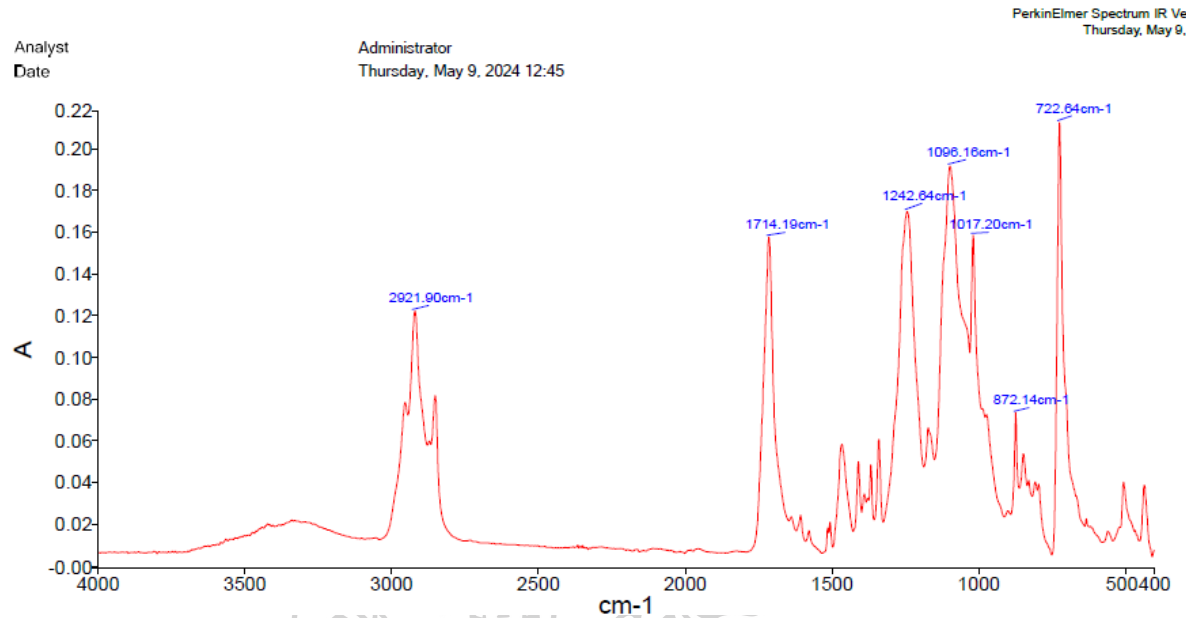
ตัวอย่างที่ 7



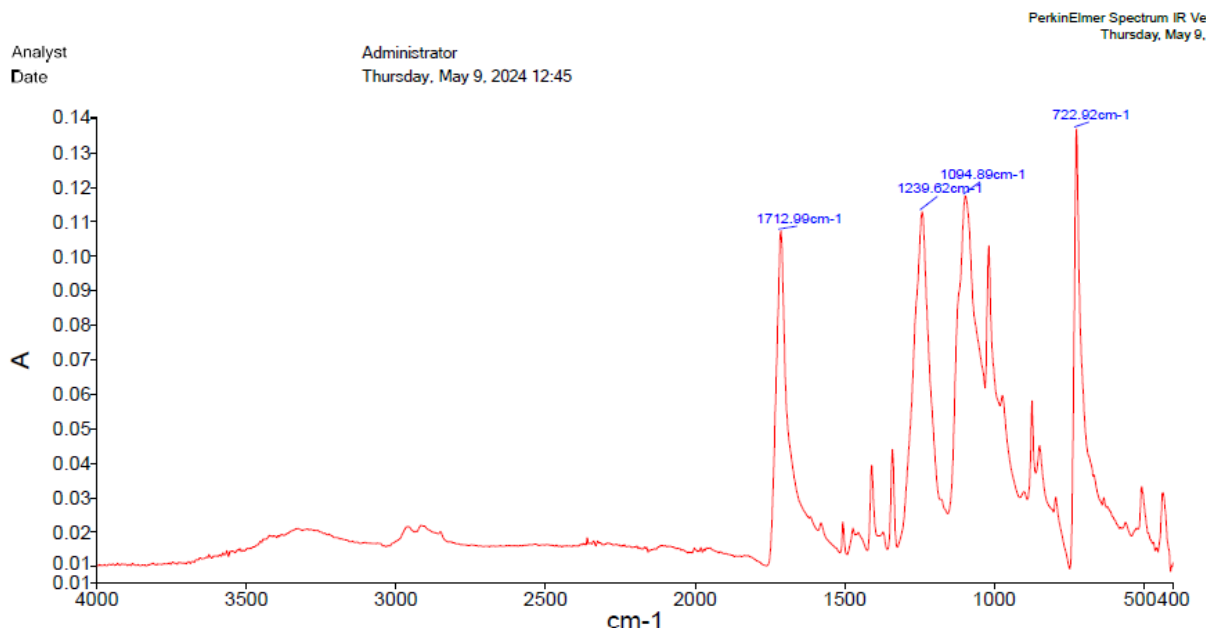
ตัวอย่างที่ 8



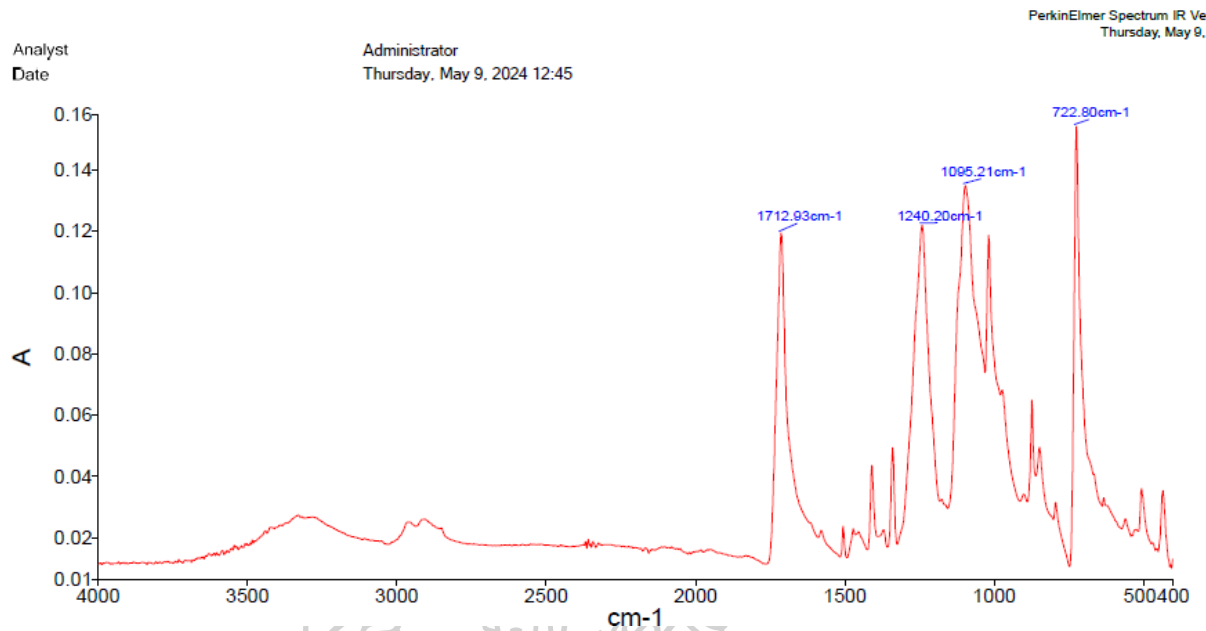
ตัวอย่างที่ 9



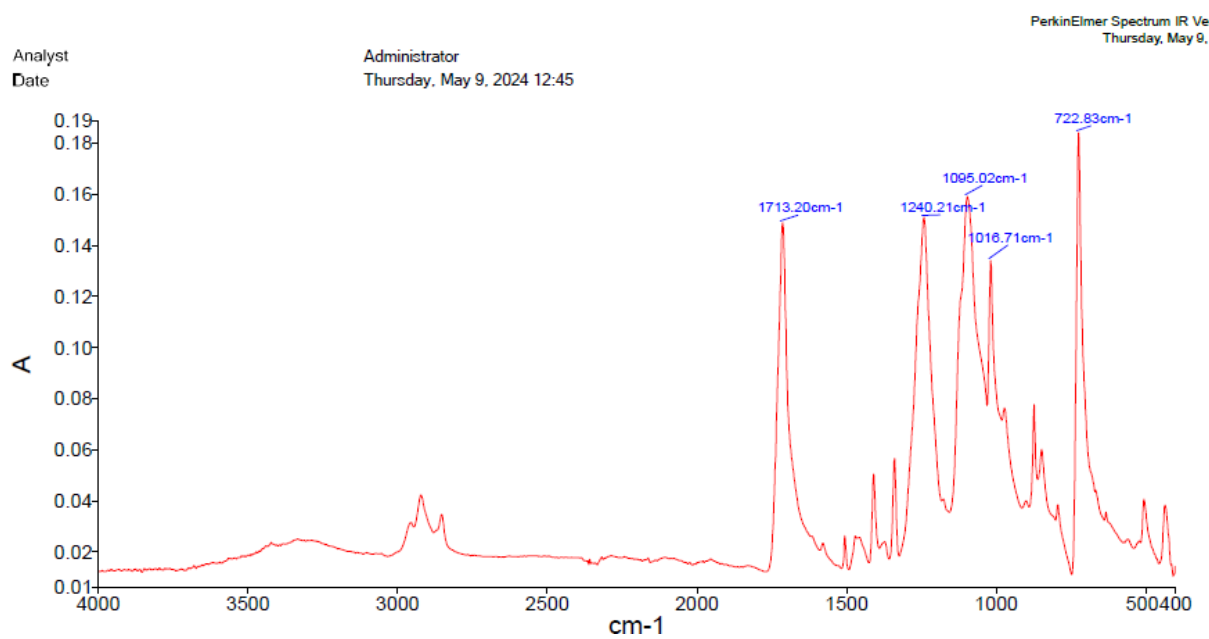
ตัวอย่างที่ 10



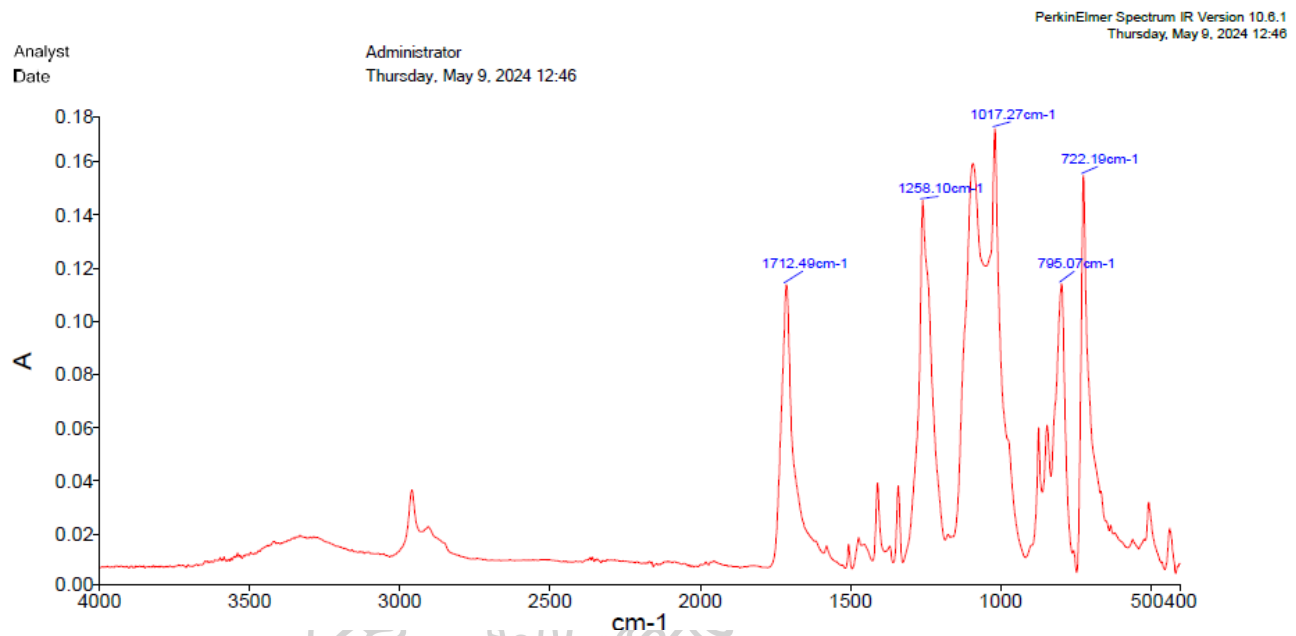
ตัวอย่างที่ 11



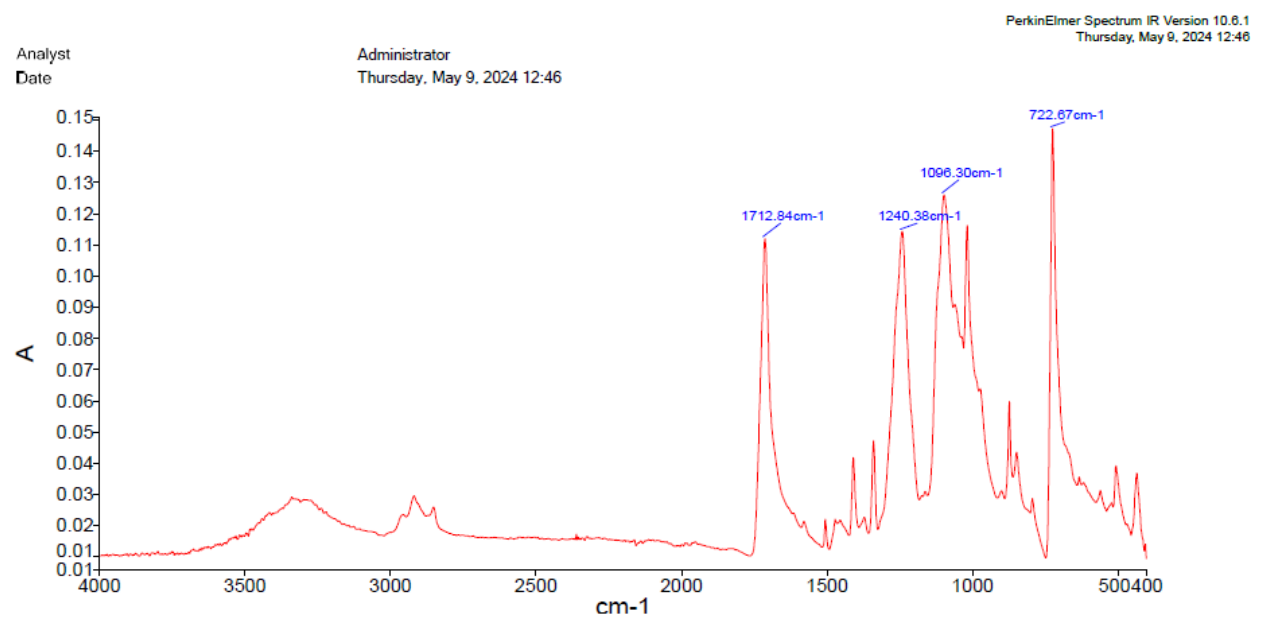
ตัวอย่างที่ 12



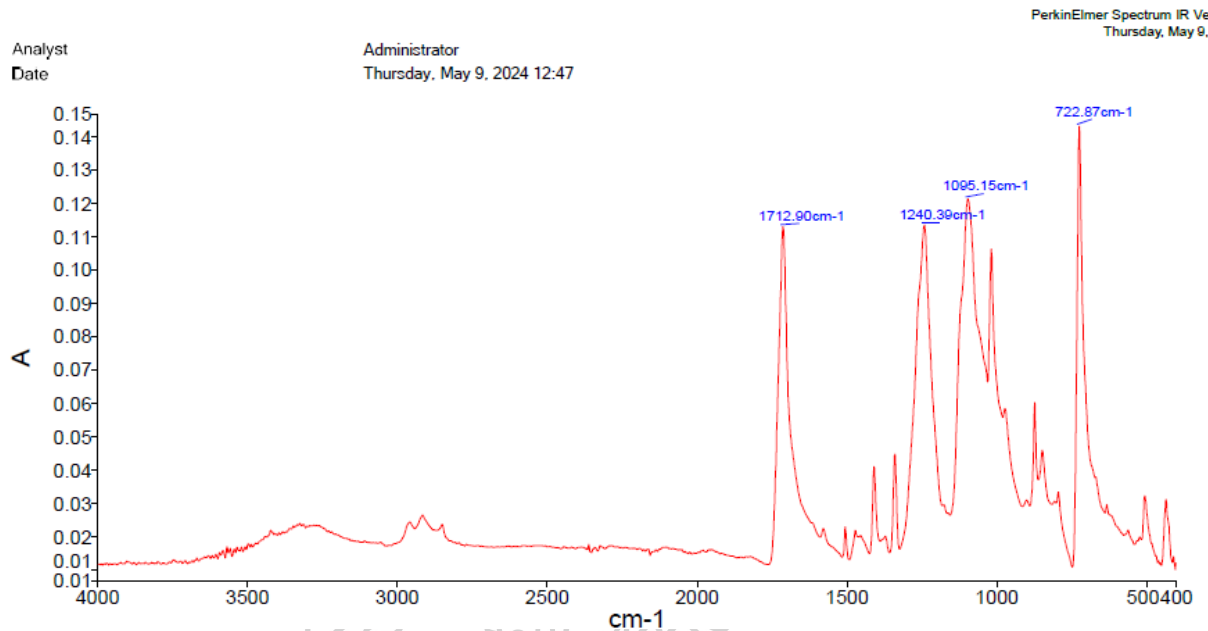
ตัวอย่างที่ 13



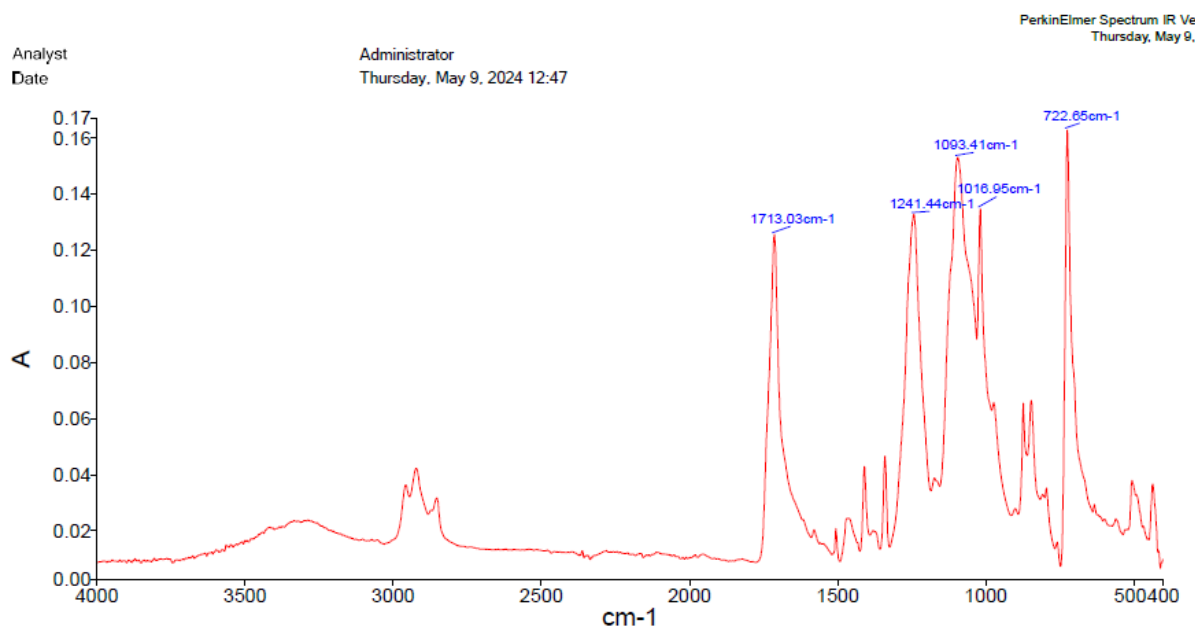
ตัวอย่างที่ 14



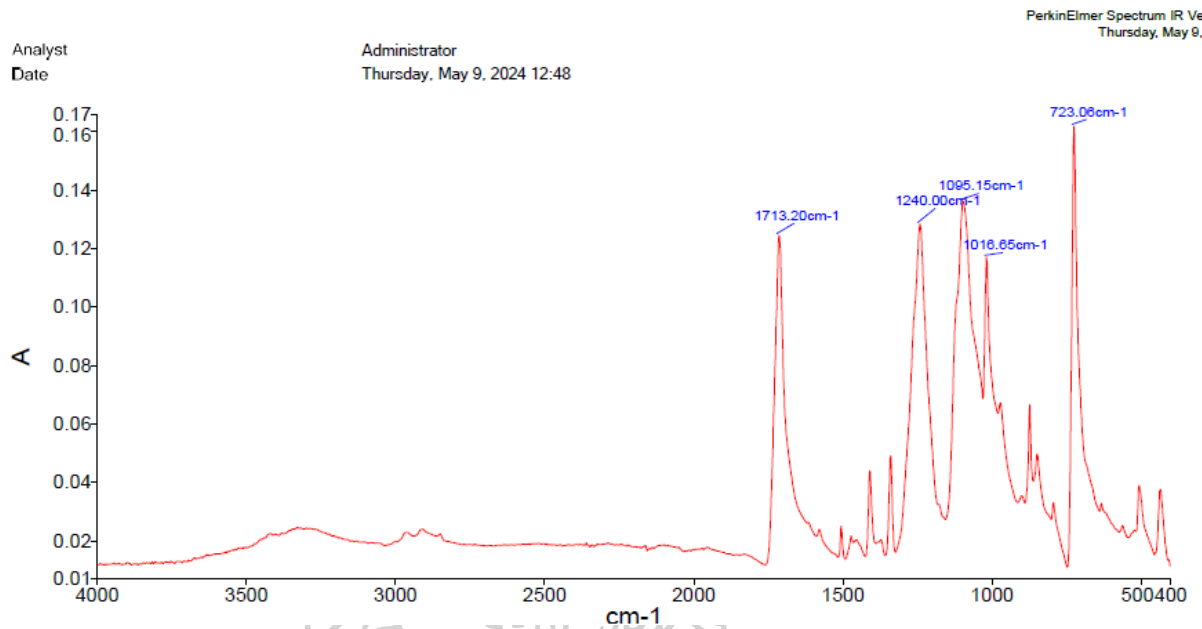
ตัวอย่างที่ 15



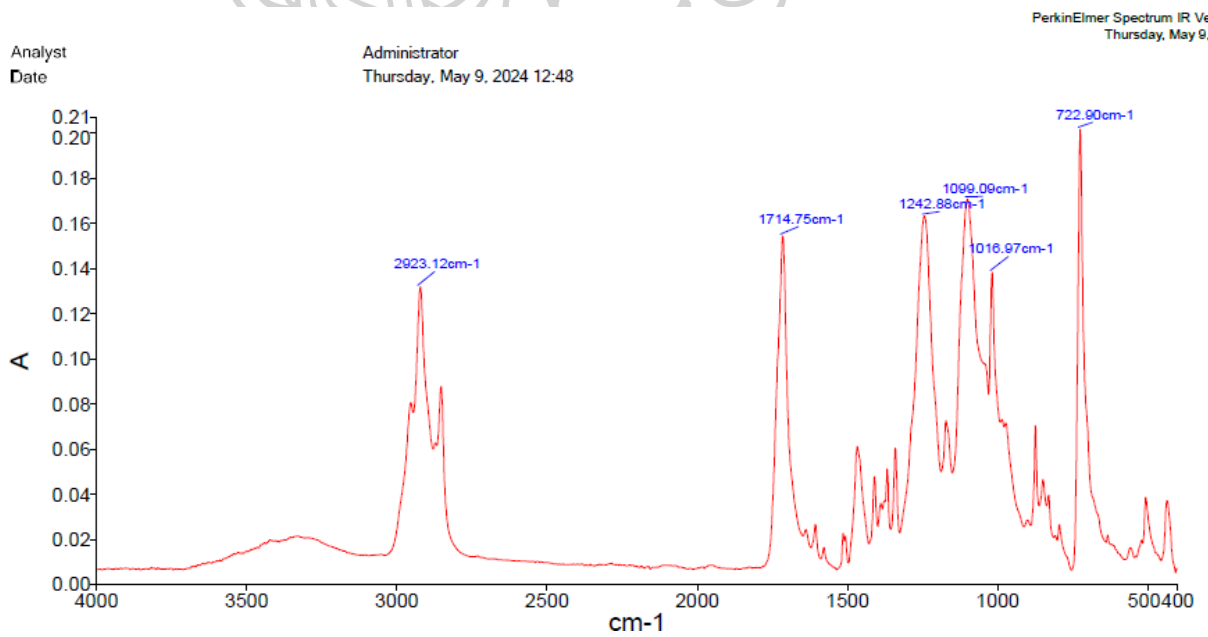
ตัวอย่างที่ 16



ตัวอย่างที่ 17

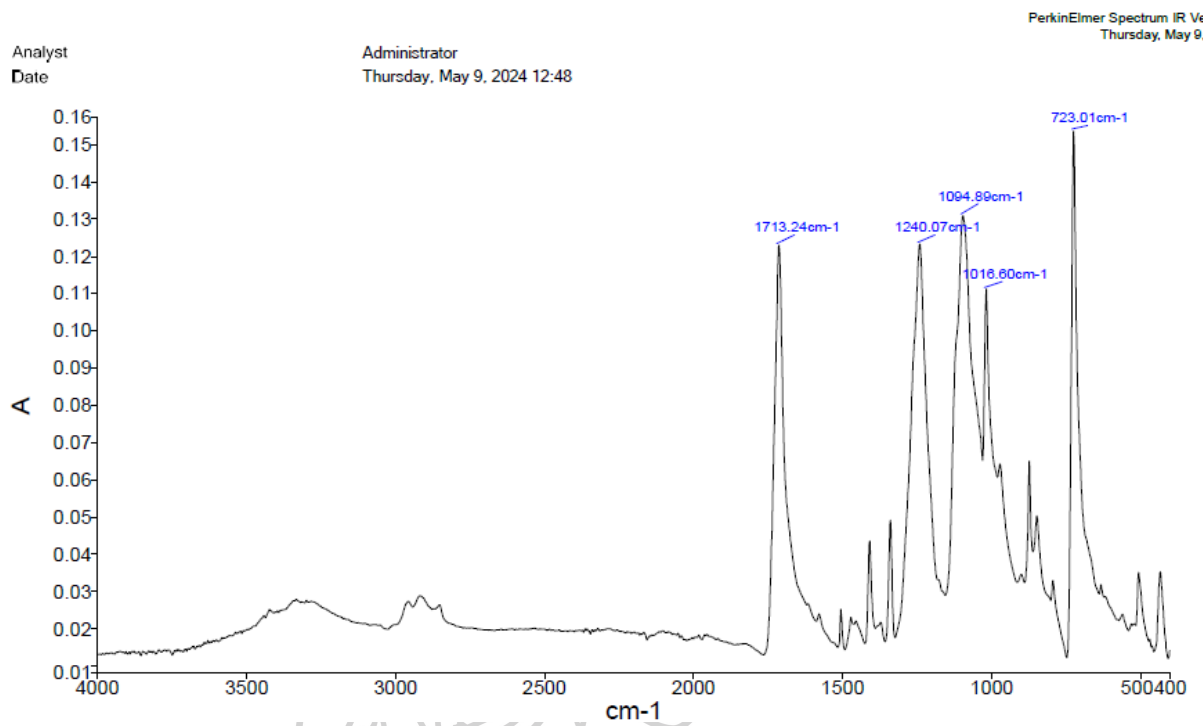


ตัวอย่างที่ 18

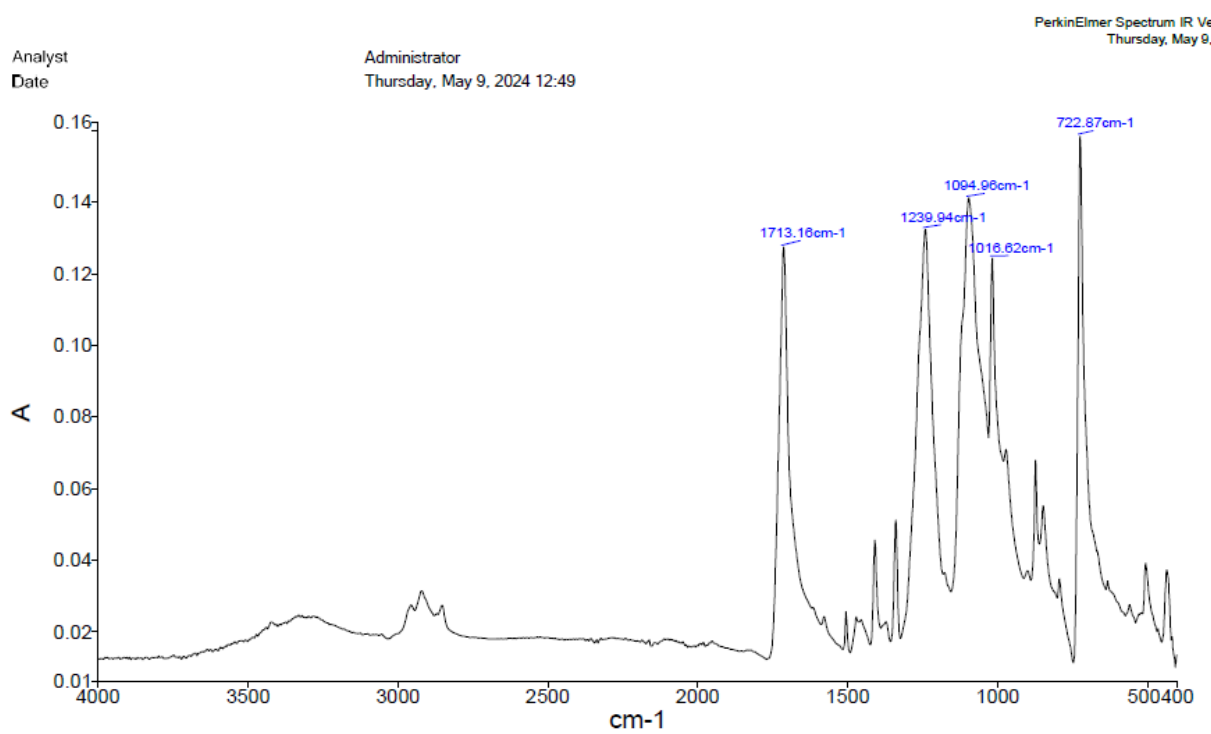




ตัวอย่างที่ 19



ตัวอย่างที่ 20

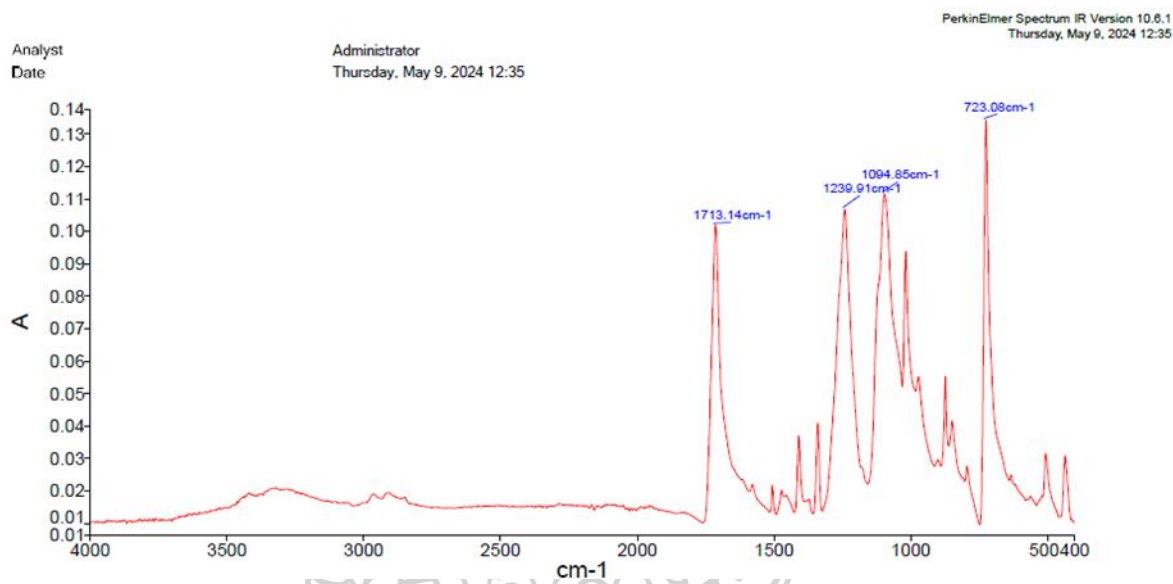


พิกัดทั้งหมดของตัวอย่างร่องรอยลิปสติกบนผ้าดิบ

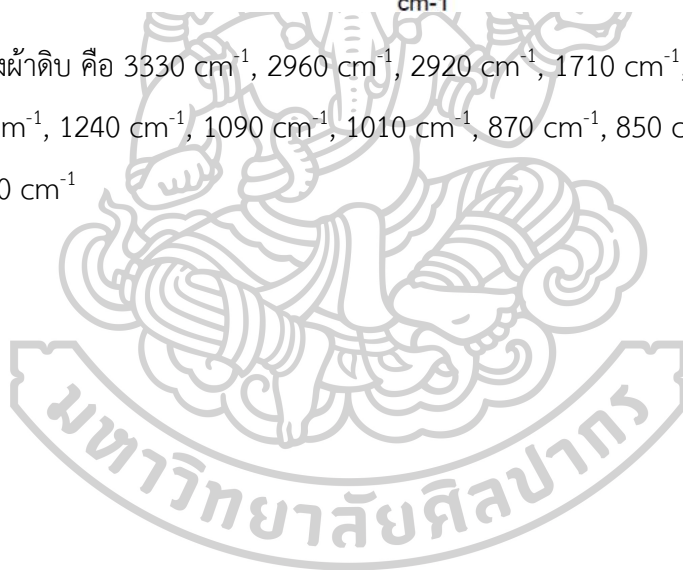
ตัวอย่าง	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )
1	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1360, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 890, 870, 850, 790, 720, 630, 500, 430
2	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1360, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 500, 430
3	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1370, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 890, 870, 850, 790, 630, 500, 430
4	3330, 2960, 2920, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 500, 430
5	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1370, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 630, 550, 500, 430
6	3330, 2960, 2920, 2850, 2100, 1710, 1580, 1500, 1400, 1460, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 890, 870, 850, 790, 660, 630, 500, 430
7	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 630, 500, 430
8	3330, 2960, 2920, 2850, 2360, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1330, 1240, 1090, 1010, 870, 850, 790, 720, 630, 500, 430, 400
9	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1630, 1600, 1580, 1500, 1460, 1400, 1380, 1360, 1330, 1240, 1170, 1090, 1010, 870, 850, 820, 800, 790, 720, 630, 500, 430
10	3330, 2960, 2920, 2850, 2360, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 630, 550, 500, 430

11	3330, 2960, 2920, 2850, 2360, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1360, 1330, 1240, 1090, 1010, 870, 850, 790, 720, 630, 550, 500, 430
12	3330, 2960, 2920, 2850, 2280, 1950, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1370, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 630, 500, 430
13	3330, 2960, 2920, 1950, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1360, 1330, 1240, 1090, 1010, 870, 850, 790, 720, 630, 500, 430
14	3330, 2960, 2920, 2850, 1710, 1580, 1500, 1450, 1400, 1370, 1330, 1240, 1090, 1010, 890, 870, 850, 790, 720, 630, 550, 500, 430, 400
15	3570, 3330, 2960, 2920, 2850, 2100, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1370, 1330, 1240, 1170, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 720, 630, 550, 500, 430
16	3330, 3280, 2960, 2920, 2850, 2280, 1710, 1580, 1500, 1460, 1400, 1330, 1240, 1090, 1010, 970, 870, 850, 790, 750, 720, 630, 550, 500, 430
17	3420, 3330, 2960, 2920, 2850, 2160, 1950, 1710, 1610, 1580, 1500, 1460, 1450, 1400, 1360, 1330, 1240, 1170, 1090, 1010, 970, 890, 870, 850, 790, 720, 630, 550, 500, 430
18	3330, 2960, 2920, 2870, 2850, 1710, 1630, 1600, 1580, 1500, 1460, 1400, 1380, 1360, 1330, 1240, 1170, 1090, 1030, 1010, 980, 970, 890, 870, 850, 820, 800, 790, 760, 720, 630, 550, 520, 500, 430
19	3420, 3330, 2960, 2920, 2850, 2160, 2050, 1950, 1810, 1710, 1610, 1580, 1500, 1460, 1450, 1400, 1360, 1330, 1240, 1170, 1090, 1010, 970, 900, 870, 850, 790, 720, 630, 610, 550, 520, 500, 460, 450, 430
20	3420, 3270, 3330, 3050, 2960, 2920, 2870, 2850, 2160, 1950, 1710, 1580, 1500, 1460, 1450, 1400, 1370, 1330, 1240, 1170, 1090, 1010, 970, 890, 870, 850, 790, 720, 660, 630, 550, 500, 460, 430, 410

## สเปกตรัมของผ้าดิบ

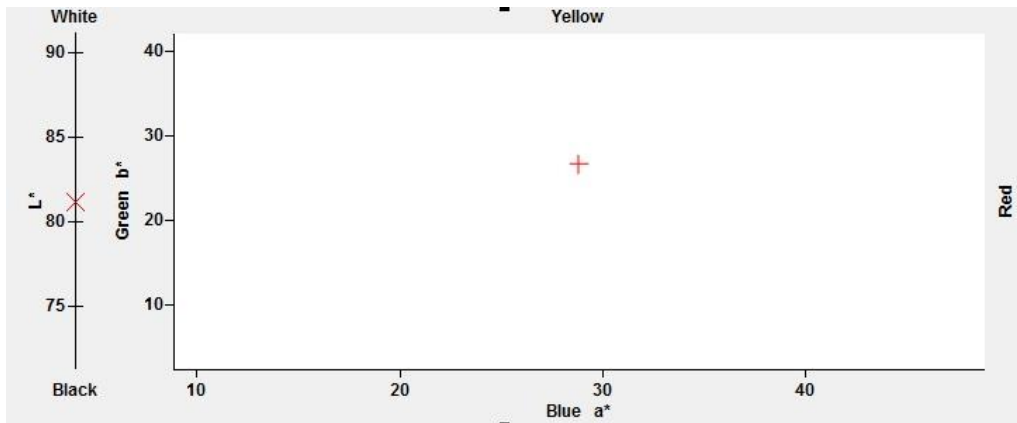


พีคทั้งหมดของผ้าดิบ คือ 3330 cm<sup>-1</sup>, 2960 cm<sup>-1</sup>, 2920 cm<sup>-1</sup>, 1710 cm<sup>-1</sup>, 1580 cm<sup>-1</sup>, 1500 cm<sup>-1</sup>, 1400 cm<sup>-1</sup>, 1240 cm<sup>-1</sup>, 1090 cm<sup>-1</sup>, 1010 cm<sup>-1</sup>, 870 cm<sup>-1</sup>, 850 cm<sup>-1</sup>, 790 cm<sup>-1</sup>, 500 cm<sup>-1</sup> และ 430 cm<sup>-1</sup>

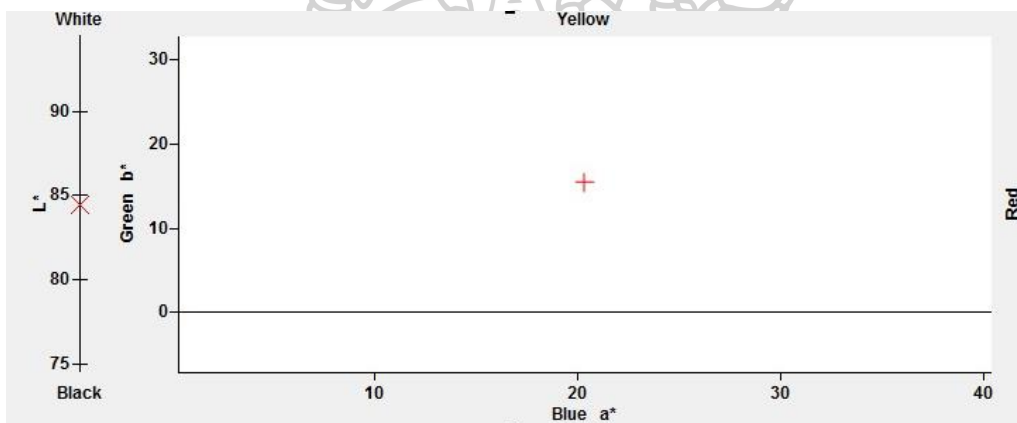


## กราฟแสดงการวัดค่าสีจากเครื่อง Spectrophotometer

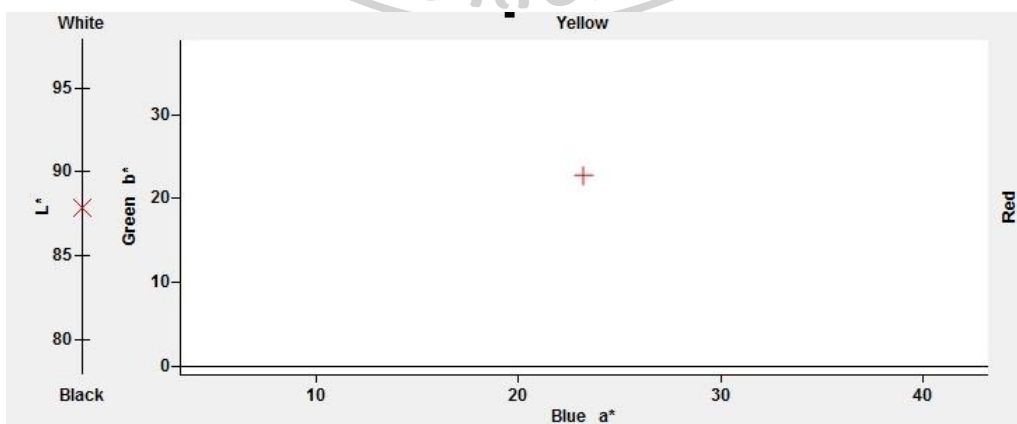
ตัวอย่างที่ 1



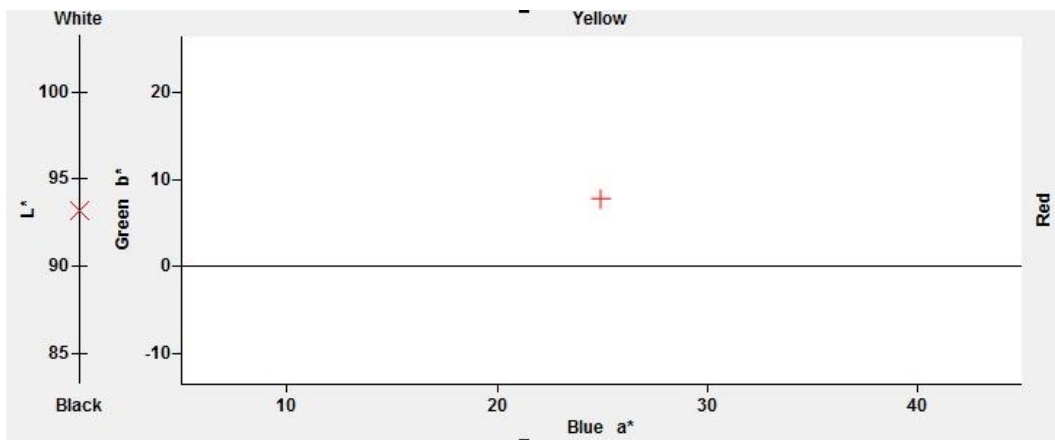
ตัวอย่างที่ 2



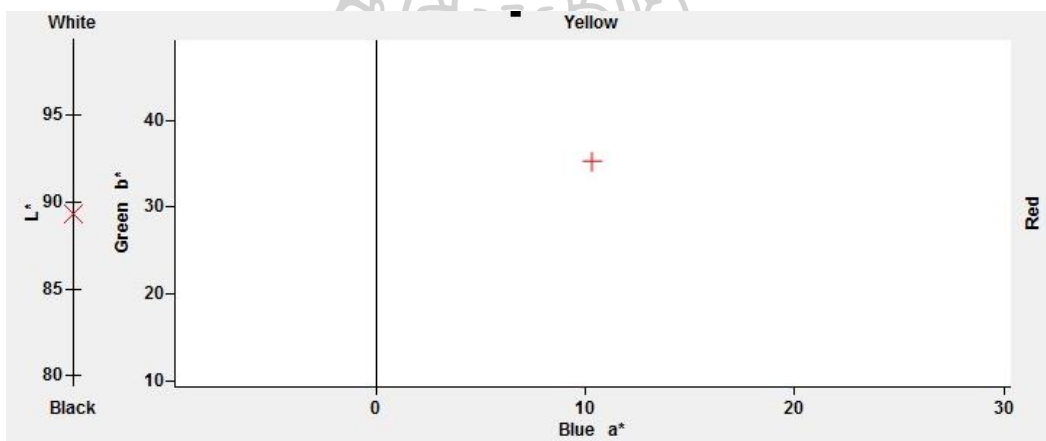
ตัวอย่างที่ 3



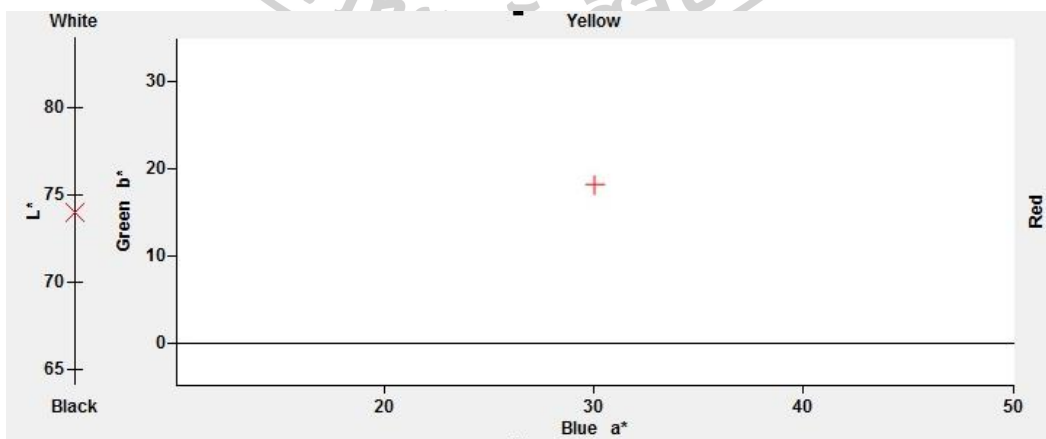
ตัวอย่างที่ 4



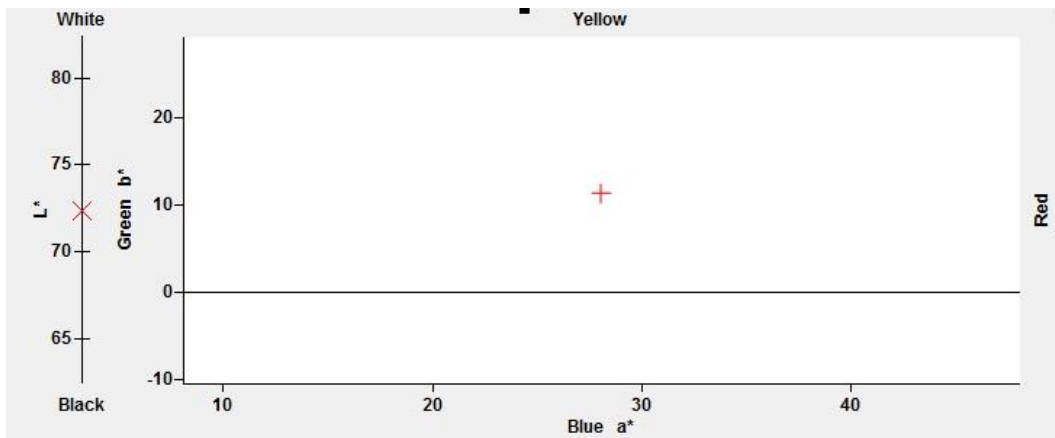
ตัวอย่างที่ 5



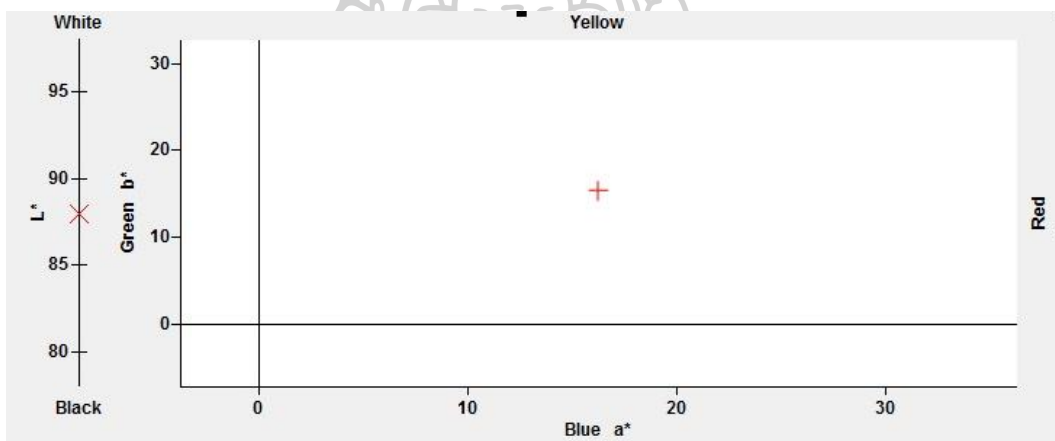
ตัวอย่างที่ 6



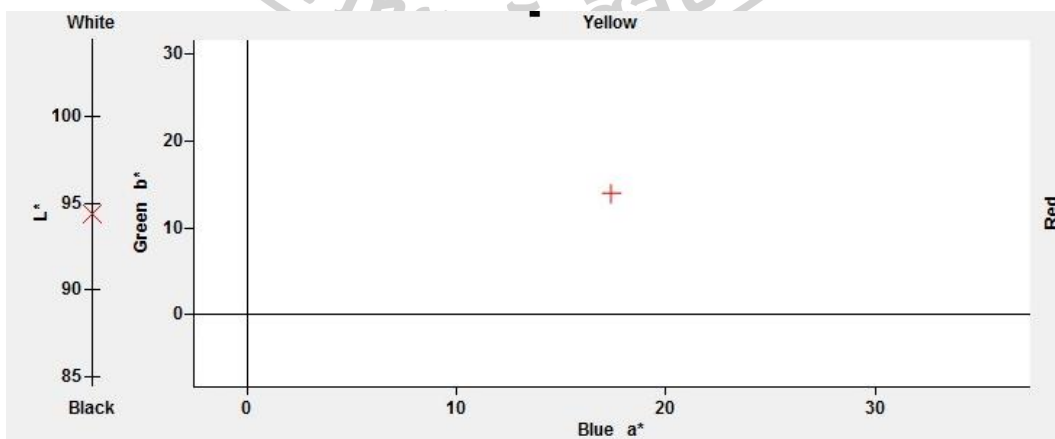
ตัวอย่างที่ 7



ตัวอย่างที่ 8

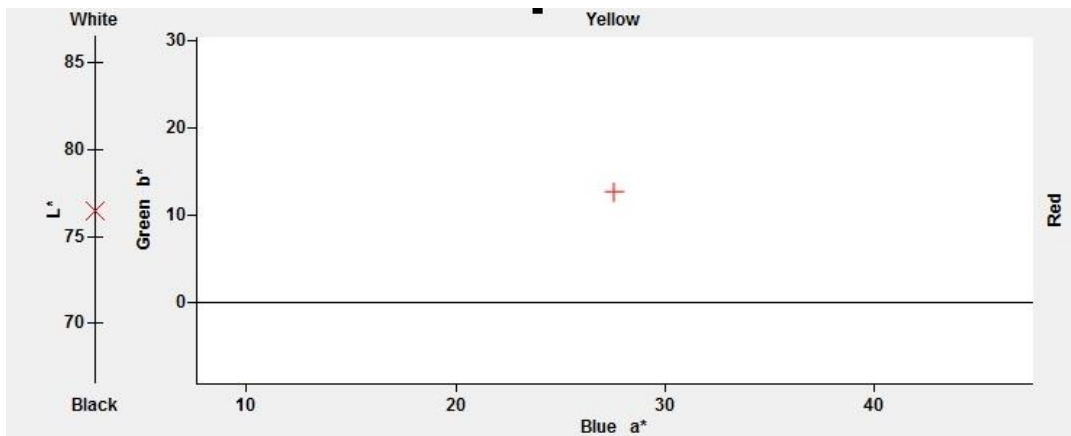


ตัวอย่างที่ 9

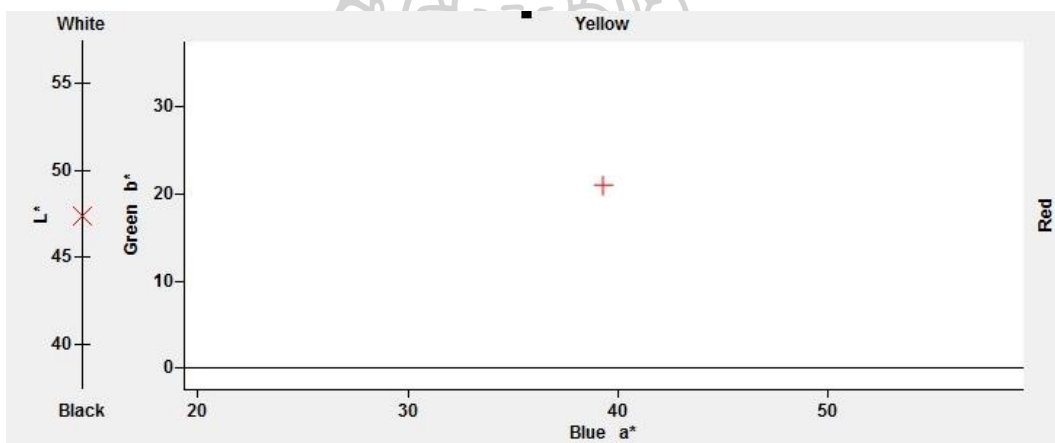




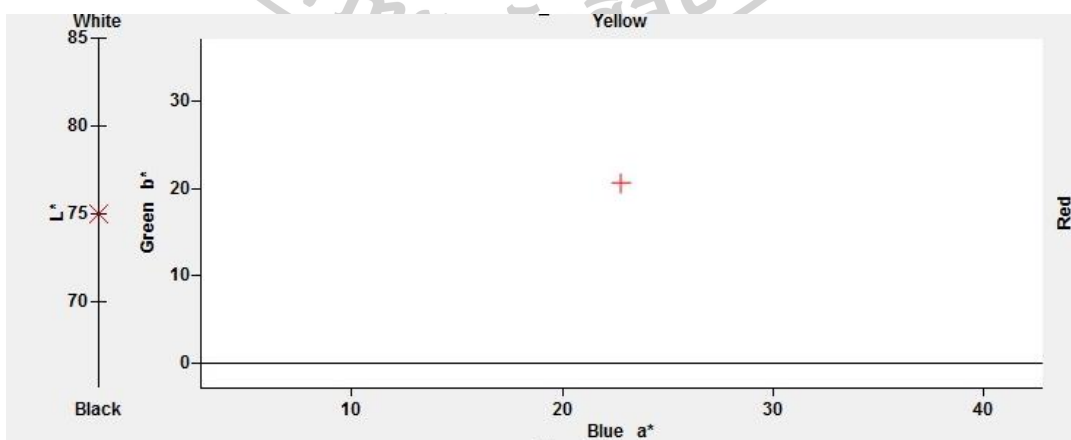
ตัวอย่างที่ 10



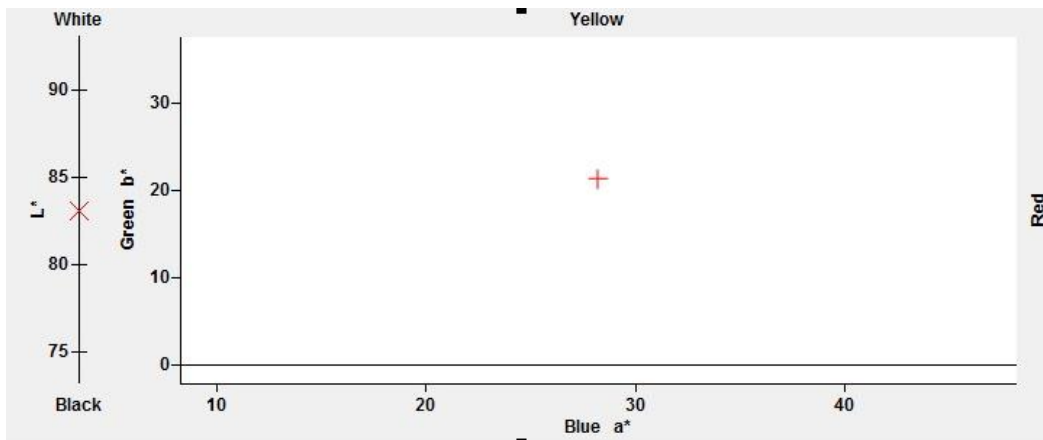
ตัวอย่างที่ 11



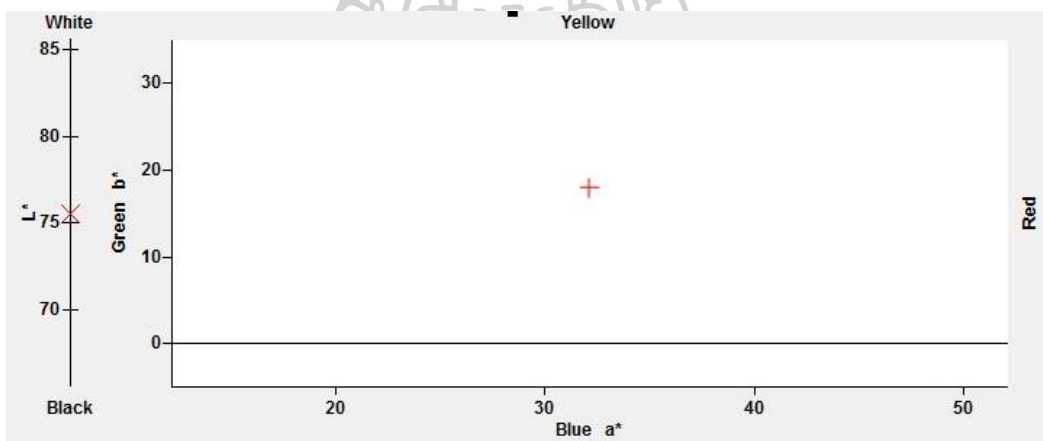
ตัวอย่างที่ 12



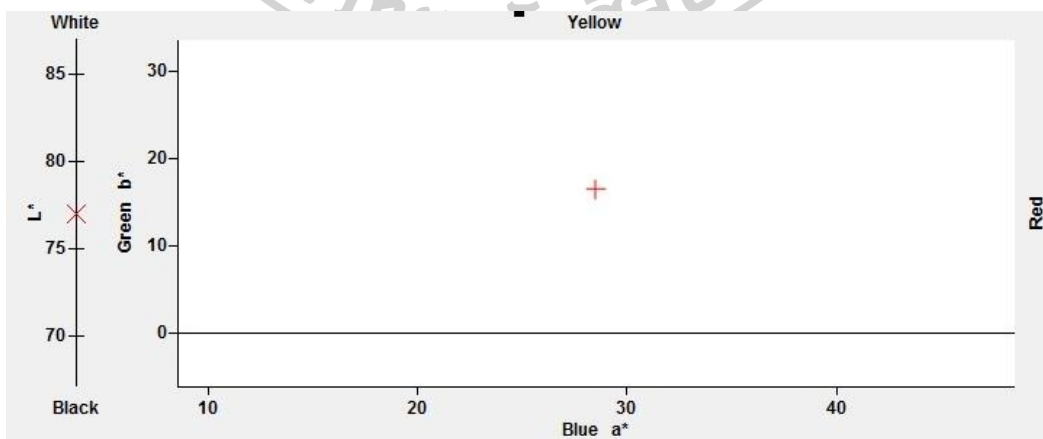
ตัวอย่างที่ 13



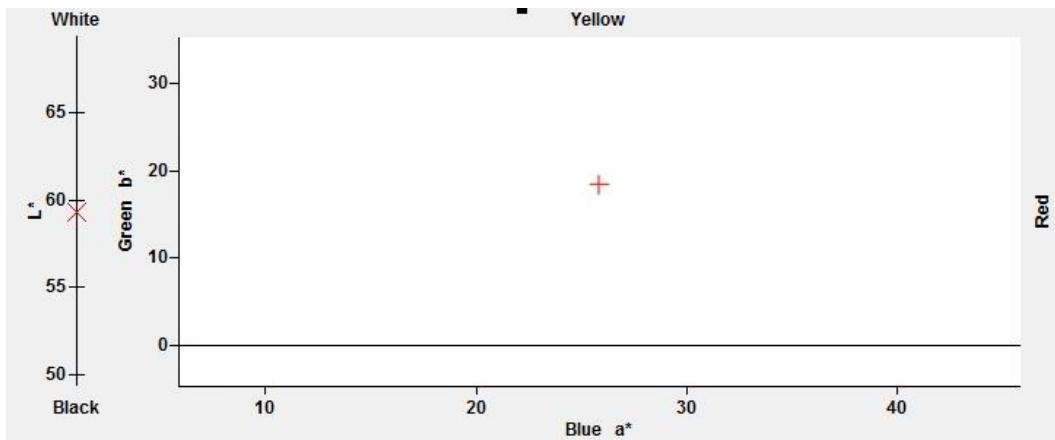
ตัวอย่างที่ 14



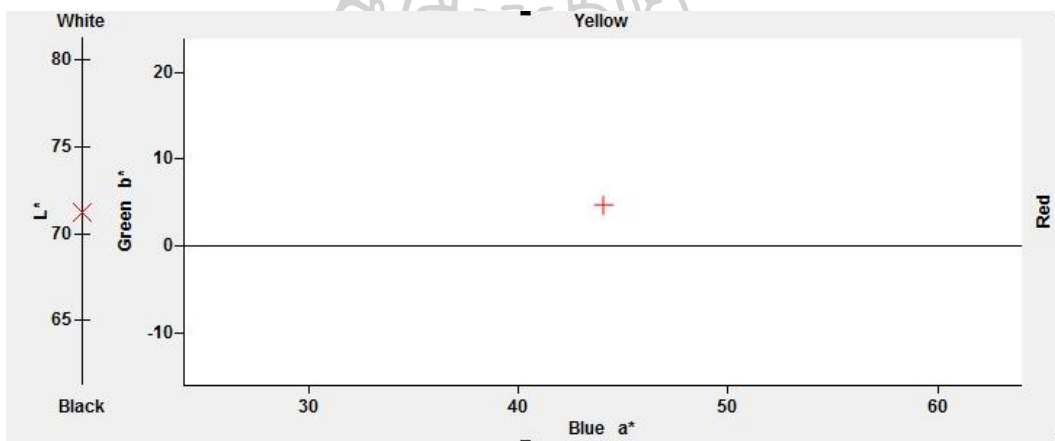
ตัวอย่างที่ 15



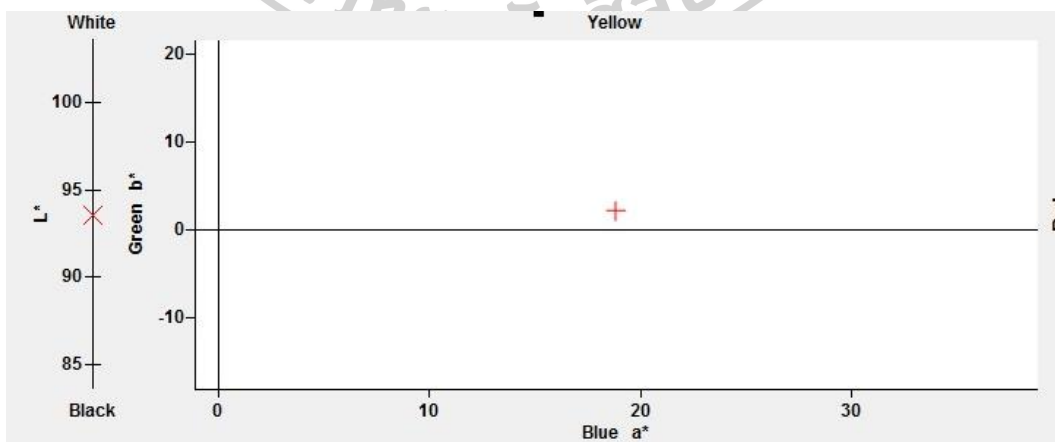
ตัวอย่างที่ 16



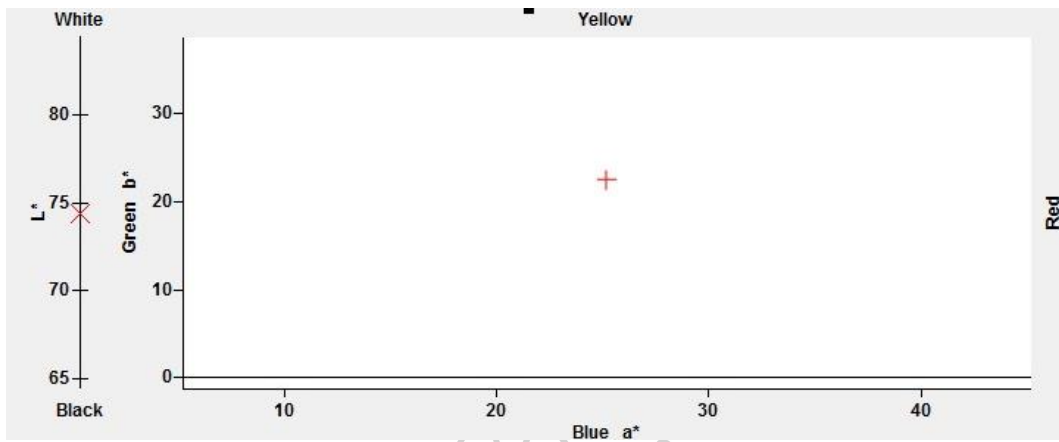
ตัวอย่างที่ 17



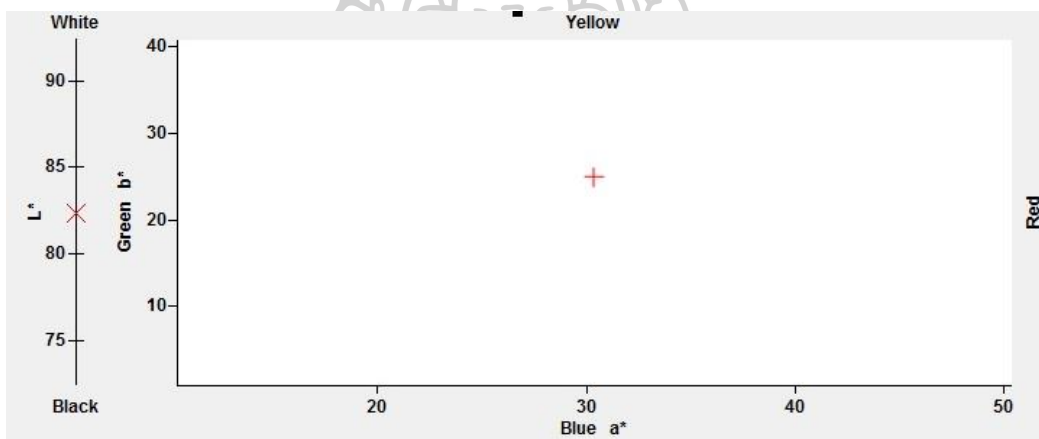
ตัวอย่างที่ 18



ภาพที่ตัวอย่างที่ 19



ตัวอย่างที่ 20



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

ชนิกานต์ กองแก้ว

วุฒิการศึกษา

ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร

