



การวิเคราะห์สีย้อมด้วยวิธี FTIR spectrometry และการตรวจวัดสีย้อม



โดย

นางสาวกฤตยา เกตุสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์สียระยงนตด้วยวิธี FTIR spectrometry และการตรวงจวดสียระยงนต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

FTIR ANALYSIS AND COLOR DETERMINATION OF AUTOMOBILE PAINTS



By
MISS Krittaya KETSUWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2019
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยวิธี FTIR spectrometry และการตรวจวัดสเปกตรัม
โดย	กฤษฎา เกตุสุวรรณ
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชุสกุลเกรียง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ

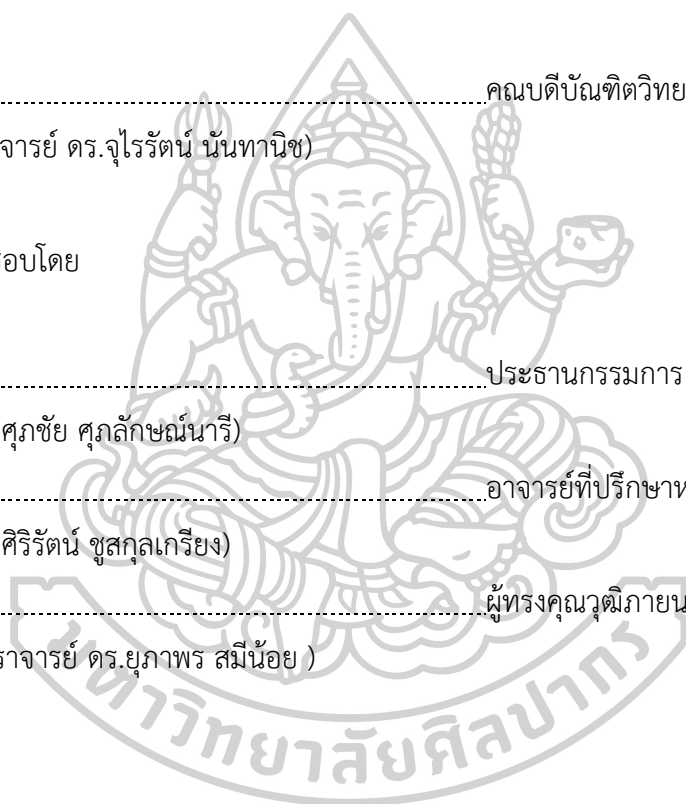
(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชุสกุลเกรียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมิน้อย)



58312305 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : การวิเคราะห์สีย้อม, เทคนิค FTIR, ระบบสี CIE

นางสาว กฤตยา เกตุสุวรรณ: การวิเคราะห์สีย้อมด้วยวิธี FTIR spectrometry และการตรวจวัดสีย้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

ตัวอย่างสีสามารถให้หลักฐานที่มีค่าในงานทางนิติวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับผู้ต้องสงสัยและสถานที่เกิดเหตุวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อแยกความแตกต่างของสีย้อมด้วยวิธี microscope FTIR และการวัดสี ตัวอย่างสีของรถยนต์ต่าง ๆ จากผู้ผลิตต่างยี่ห้อจะถูกทำการเลือกแบบสุ่มมาจากรถยนต์ที่เกี่ยวข้องในอุบัติเหตุจราจร ตัวอย่างทั้งหมด 50 ตัวอย่างจากรถยนต์ 8 ยี่ห้อ ซึ่งประกอบด้วยสีต่าง ๆ ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ ค่าสเปกตรัมของ FTIR แสดงให้เห็นว่าวัสดุต่าง ๆ ที่ประกอบในตัวอย่างสีที่ลอกมาจากรถยนต์ มีสัดส่วนที่ต่างกัน และในการตรวจวัดสี ค่าสีของตัวอย่างหาได้จากการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และค่าสีจะแสดงอยู่ในรูปแบบของสีตามระบบ CIE L*a*b* การวัดค่าสีของตัวอย่างจะให้ค่าสีที่แตกต่างกัน แม้ว่าสีของตัวอย่างอาจดูต่างกันเพียงเล็กน้อย ผลเหล่านี้จึงแสดงให้เห็นว่าการระบุตัวอย่างสีในการเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถใช้การรวมกันของวิธีทั้งสองได้ ทั้งสองเทคนิคเป็นวิธีที่สะดวกและสามารถเตรียมตัวอย่างได้ง่าย

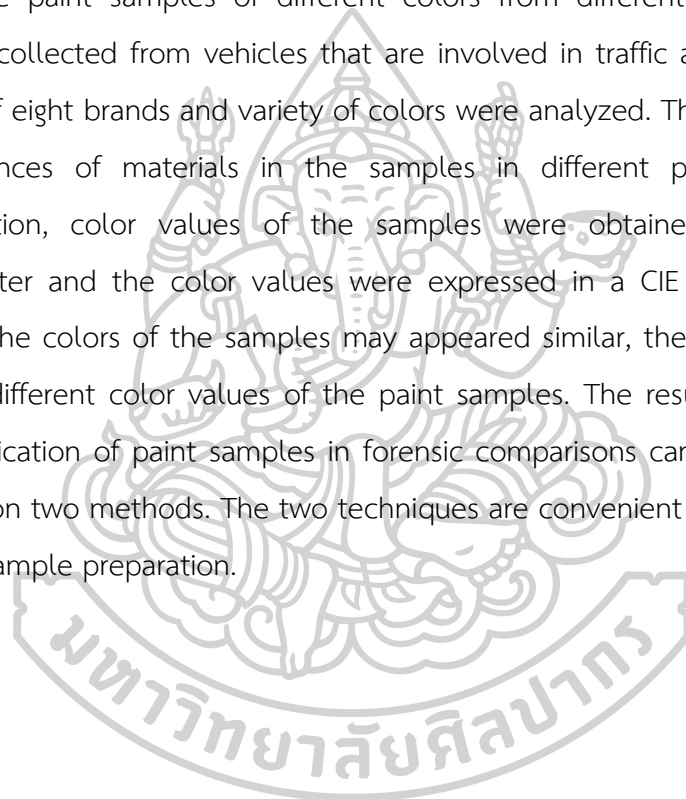


58312305 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : Automobile paint analysis, FTIR, Color determination, CIE colors

MISS KRITTAYA KETSUWAN : FTIR ANALYSIS AND COLOR DETERMINATION OF
AUTOMOBILE PAINTS THESIS ADVISOR : SIRIRAT CHOOSAKOONKRIANG, Ph.D.

Paint samples can provide valuable evidence associating a suspect and a crime scene in forensic caseworks. The objective of this study is to apply the methods of FTIR microscope and color measurement to differentiate automobile paints. The paint samples of different colors from different manufacturers were randomly collected from vehicles that are involved in traffic accidents. In total, 50 samples of eight brands and variety of colors were analyzed. The IR spectra revealed the presences of materials in the samples in different proportions. In color determination, color values of the samples were obtained by using a color spectrometer and the color values were expressed in a CIE L*a*b* color format. Although the colors of the samples may appeared similar, the color measurements provided different color values of the paint samples. The results have shown that the identification of paint samples in forensic comparisons can be achieved by the combination two methods. The two techniques are convenient methods and involve a simple sample preparation.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน และหลายหน่วยงานที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำข้อคิดและความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องเรียบร้อย และสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ยุภาพร สมน้อย กรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดและความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความถูกต้อง เรียบร้อย และสมบูรณ์ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ รวมถึงผู้สนับสนุนท่านอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมีได้เอื้อนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนแนะนำและให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



กฤตยา เกตุสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
3. สมมติฐานการวิจัย.....	3
4. ขอบเขตของการวิจัย.....	3
5. นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
6. ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	4
บทที่ 2	5
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
1. ประวัติและวิวัฒนาการของรถยนต์.....	5
2. สี (Color).....	15
3. UV-VIS Spectrophotometer	22
4. Fourier Transform Infrared Spectrometer.....	23
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26

บทที่ 3	30
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย.....	30
1. วัสดุและอุปกรณ์	30
2. วิธีดำเนินการวิจัย	39
บทที่ 4	41
ผลการศึกษา	41
บทที่ 5	55
อภิปรายและสรุปผลการศึกษา.....	55
1. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย.....	55
2. ข้อเสนอแนะ	57
รายการอ้างอิง	58
ประวัติผู้เขียน	61



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตัวอย่างสีรยยนต์สีขาว ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 17 ตัวอย่าง	30
ตารางที่ 2 ตัวอย่างสีรยยนต์สีดำ ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 15 ตัวอย่าง	32
ตารางที่ 3 ตัวอย่างสีรยยนต์สีเงิน ยี่ห้อต่าง ๆ 4 ยี่ห้อ รวมจำนวน 12 ตัวอย่าง	35
ตารางที่ 4 ตัวอย่างสีรยยนต์สีเทา ยี่ห้อต่าง ๆ 2 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง	37
ตารางที่ 5 ตัวอย่างสีรยยนต์สีแดง ยี่ห้อต่าง ๆ 3 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง	37
ตารางที่ 6 เครื่องตรวจวิเคราะห์	38
ตารางที่ 7 วัสดุอุปกรณ์	38
ตารางที่ 8 ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยายต่างๆของตัวอย่างสีรยยนต์ จำนวน 7 ตัวอย่าง	41
ตารางที่ 9 ผลการตรวจวัดสีรยยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรยยนต์สีขาว ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 17 ตัวอย่าง	49
ตารางที่ 10 ผลการตรวจวัดสีรยยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรยยนต์สีดำ ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 15 ตัวอย่าง	50
ตารางที่ 11 ผลการตรวจวัดสีรยยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรยยนต์สีเงิน ยี่ห้อต่าง ๆ 4 ยี่ห้อ รวมจำนวน 12 ตัวอย่าง	52
ตารางที่ 12 ผลการตรวจวัดสีรยยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรยยนต์สีเทา ยี่ห้อต่าง ๆ 2 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง	53
ตารางที่ 13 ผลการตรวจวัดสีรยยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรยยนต์สีแดง ยี่ห้อต่าง ๆ 3 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง	53

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 Benz Patent Motorwagen เป็นสิ่งประดิษฐ์ของ คาร์ล เบนซ์ (Karl Benz)	5
ภาพที่ 2 จอมพลเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี (เจิม แสงชูโต).....	6
ภาพที่ 3 รถยนต์หลวงคันที่ 2 ของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เป็นเมอร์เซเดส รุ่นปี พ.ศ. 2448 ได้รับพระราชทานว่า แก้วจักรพรรดิ	7
ภาพที่ 4 BMW Series 5 จัดว่าเป็นรถประเภท Mid-Size Luxury Car.....	9
ภาพที่ 5 เฮนรี ฟอร์ด (Henry Ford) เป็นผู้ก่อตั้งบริษัทฟอร์ดมอเตอร์.....	10
ภาพที่ 6 ปีนพ่นสีรถยนต์.....	11
ภาพที่ 7 การพ่นสีรถยนต์ของโรงงานผลิตรถยนต์.....	12
ภาพที่ 8 กระบวนการทำสีของโรงงานผลิตรถยนต์	14
ภาพที่ 9 ภาพแสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่างๆ.....	16
ภาพที่ 10 ความยาวคลื่นแสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น.....	16
ภาพที่ 11 การผสมสีแบบบวก และการผสมแสงสีแบบลบ	17
ภาพที่ 12 มาตรฐานการส่องสว่าง ของ D50 , F8 และ F10.....	19
ภาพที่ 13 แสดงเซลล์ประสาทรับแสงในดวงตา.....	19
ภาพที่ 14 ระบบสี CIE L*a*b*	21
ภาพที่ 15 ลักษณะของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	22
ภาพที่ 16 แผนผังการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ...	23
ภาพที่ 17 ลักษณะการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)..	24
ภาพที่ 18 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัม.....	25
ภาพที่ 19 แสดงหมู่ฟังก์ชันสามัญที่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด.....	26
ภาพที่ 20 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสีรถยนต์เพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และตรวจ วิเคราะห์สีของรถยนต์ด้วยเครื่องวัดสี.....	40

ภาพที่ 21 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT 43

ภาพที่ 22 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S17WT 43

ภาพที่ 23 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ รหัสตัวอย่างที่ S20BH 44

ภาพที่ 24 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI 45

ภาพที่ 25 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN 45

ภาพที่ 26 IR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์ 46

ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว 50

ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ..... 51

ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีเงิน..... 52

ภาพที่ 30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีเทา 53

ภาพที่ 31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง..... 54



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากรายงานสรุปการวิเคราะห์สถิติการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางบกประจำปีของกรมการขนส่งทางบก แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางบก ปีงบประมาณ 2557 - 2560 ทั่วประเทศไทย พบว่าปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 (ตุลาคม 2559-กันยายน 2560) มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นทั้งสิ้น 79,177 ครั้ง หรือเฉลี่ยเดือนละ 6,598 ครั้ง จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี 2560 มีจำนวนครั้งการเกิดอุบัติเหตุเพิ่มขึ้นจากปี 2559 จำนวน 8,176 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 11.52 เช่นเดียวกับกับปี 2559 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2558 จำนวน 12,493 ครั้ง คิดเป็นร้อยละถึง 21.35 ตามลำดับ [1] เมื่อพิจารณาจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางบกที่มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ปัจจุบันจึงมีข่าวเกี่ยวกับอุบัติเหตุจราจรให้เห็นอยู่ตามสื่อต่างๆเป็นประจำมากขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะอุบัติเหตุการชนแล้วหนีมีให้เห็นอยู่บ่อยครั้งมากขึ้น ซึ่งการจะนำผู้กระทำผิดมาลงโทษทางกฎหมายได้นั้น จำเป็นต้องมีพยานหลักฐานที่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของรถคู่กรณีกับความผิดที่เกิดขึ้น ในอดีตพยานหลักฐานจะเป็นพยานบุคคลเสียเป็นส่วนใหญ่ แต่มีอยู่หลายกรณีที่ไม่สามารถหาพยานบุคคลได้ มีเพียงพยานวัตถุเท่านั้นที่พบในสถานที่เกิดเหตุ นอกจากนี้การใช้พยานบุคคลยังมีปัญหาต่อรูปคดี เช่น การกลับค่าให้การของพยานบุคคลในชั้นศาล เป็นต้น ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์มีความเจริญก้าวหน้าขึ้น เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ได้รับการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการตรวจวิเคราะห์พยานวัตถุด้วยความละเอียดสูง จึงสามารถวิเคราะห์พยานวัตถุที่มีปริมาณน้อยได้ดี ดังนั้นพยานวัตถุที่มีขนาดเล็กๆก็สามารถเป็นประโยชน์ต่อรูปคดีได้

ตามทฤษฎี Locard's exchange principle หรือ Locard's theory มีแนวคิดที่ว่า “ทุกการสัมผัส จะมีการทิ้งร่องรอย” (Every contact leaves a trace) ซึ่งจากแนวความคิดข้างต้นได้มีการพิสูจน์และนำไปใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่างๆ โดยมีหลักการ คือ เมื่อวัตถุ 2 ชิ้น สัมผัสกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้น [2] กรณีมีอุบัติเหตุรถเฉี่ยวชนกันในสถานที่เกิดเหตุมักพบชิ้นส่วนสีของรถยนต์คู่กรณีตกอยู่ในสถานที่เกิดเหตุ เช่น กันชนหน้ารถ กันชนหลังรถ แผ่นป้ายทะเบียน เป็นต้น และย่อมพบรอยครูดลอกซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนสีกันระหว่างรถคู่กรณี ในกรณีนี้ถ้าสามารถตรวจเก็บสีที่ติดอยู่กับยานพาหนะของ

ผู้เสียหาย ตามร่างกาย เสื้อผ้า เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนสีที่ตกอยู่ในสถานที่เกิดเหตุและทำการตรวจเก็บสีของรถต้องสงสัยได้ สามารถนำเศษชิ้นส่วนสีที่ตรวจเก็บจากทั้งสองแหล่งมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจเปรียบเทียบเชื่อมโยงรถคู่กรณีได้ การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบสีทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการตรวจเปรียบเทียบลำดับชั้นของสี ตรวจหาคุณสมบัติทางกายภาพของสี ตรวจหาคุณสมบัติทางเคมีของสีด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น HSI-UV/VIS/NIR, Pyrolysis gas chromatography coupled with mass spectrometry (Py-GC/MS) และเทคนิค Fourier transform infrared (FTIR) เป็นต้น

จากความสำคัญและปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการตรวจวิเคราะห์สีรถยนต์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR) โดยการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมขององค์ประกอบในสีรถยนต์ ด้วยเครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Spectrum 100 ร่วมกับการวัดค่าสีของสีรถยนต์ด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ color spectrophotometer ด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer รุ่น Cary 60 UV-Vis ซึ่งระบบ CIE $L^*a^*b^*$ เป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ มีความหมาย ดังนี้ แกน L^* บรรยายความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a^* บรรยายแกนสีจากสีเขียว ($-a^*$) จนถึงสีแดง ($+a^*$) แกน b^* บรรยายแกนสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$) [3] ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคที่มีความรวดเร็ว ใช้ปริมาณตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในการวิเคราะห์ ไม่มีความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง สามารถบอกองค์ประกอบของสีรถยนต์จากแหล่งที่มาที่ต่างกันได้ ทำให้สามารถตรวจเปรียบเทียบสีของรถยนต์คู่กรณีได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมากที่จะใช้พิสูจน์การกระทำผิด หรือการยืนยันความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหา เพื่อความเป็นธรรมในกระบวนการยุติธรรม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบของสีรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR)

2.2 เพื่อศึกษาการตรวจวัดค่าสีของรถยนต์ด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ color spectrophotometer

3. สมมติฐานการวิจัย

สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของสีรถยนต์จากยี่ห้อ และเฉดสีต่างๆที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทยด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR) และการตรวจวัดสีด้วยเทคนิค spectroscopy ระบบ CIE L*a*b* color spectrophotometer โดยพบว่ามีองค์ประกอบของสีที่แตกต่างกัน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้พิสูจน์การกระทำผิด หรือการยืนยันความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหาเพื่อความเป็นธรรมในกระบวนการยุติธรรม

4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ทำการศึกษาตัวอย่างสีที่เก็บจากรถยนต์ยี่ห้อ และเฉดสีต่างๆที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย จำนวน 8 ยี่ห้อ (Chevrolet, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Suzuki และ Toyota) 5 เฉดสี (White, Black, silver, Grey และ Red) รวมจำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุเฉี่ยวชนจากสถานีตำรวจและอยู่ซ่อมรถในจังหวัดเพชรบูรณ์

นำตัวอย่างสีรถยนต์ทั้งหมด จำนวน 50 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสีโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และการตรวจวัดค่าสีด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L*a*b* color spectrophotometer

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

รถยนต์ (Automobile) หมายถึง ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ ตามปกติมี 4 ล้อ มีหลายแบบหลายชนิดเรียกชื่อต่างๆ กันตามความมุ่งหมายที่ใช้เป็นต้น เช่น รถเก๋ง รถบรรทุก รถโดยสาร หากใช้ในทางกฎหมาย หมายถึง รถที่มีล้อตั้งแต่ 3 ล้อ และเดินด้วยกำลังเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้า หรือพลังงานอื่นยกเว้นที่เดินบนราง

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุล วิเคราะห์วัสดุเพื่อตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุล โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรด ได้ผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะปรากฏสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่างกัน

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวี(UV) และช่วงแสงขาว(Visible) ที่ทะลุผ่าน(Transmission)หรือถูกดูดกลืน(Absorption)โดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง

ระบบสี CIE เป็นระบบสีที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือระบบ $L^*a^*b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่ แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะ บรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$)

6. ประโยชน์ที่จะได้รับ

6.1 สามารถใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างสีรถยนต์ได้

6.2 สามารถใช้การตรวจวัดค่าสีของรถยนต์ด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ color spectrophotometer ในการแยกความแตกต่างของสีในตัวอย่างสีรถยนต์ได้

6.3 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อเชื่อมโยงรถยนต์คู่กรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเหตุการณ์ชนแล้วหลบหนี ทำให้สามารถสืบสวนสอบสวนได้เป็นผลสำเร็จ และถูกต้อง

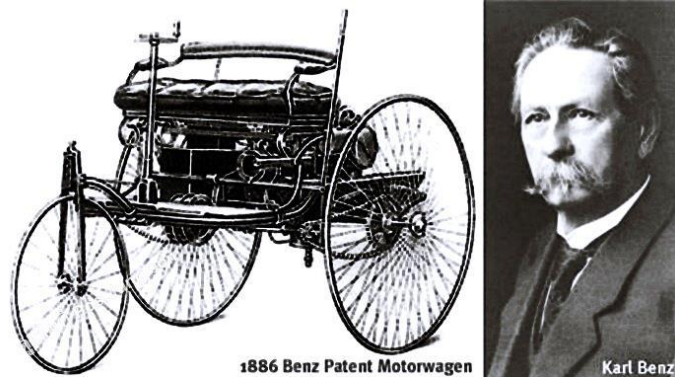
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ประวัติและวิวัฒนาการของรถยนต์

รถยนต์ (Car, Automobile) ความหมายตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 ได้นิยามความหมายไว้ว่า รถยนต์ หมายถึง ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ หากใช้ในทางกฎหมาย รถยนต์ หมายถึง รถที่มีล้อตั้งแต่ 3 ล้อ และเดินด้วยกำลังเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้า หรือพลังงานอื่นยกเว้นที่เดินบนราง

1.1 ประวัติรถยนต์คันแรกของโลก



ภาพที่ 1 Benz Patent Motorwagen เป็นสิ่งประดิษฐ์ของ คาร์ล เบนซ์ (Karl Benz)

ที่มา : รถยนต์คันแรกของโลก [cited 2019 1/6]; Available from: <http://board.postjung.com/867721>

คาร์ล เบนซ์ (Karl Benz) วิศวกรชาวเยอรมัน เป็นผู้ประดิษฐ์รถยนต์คันแรกของโลกสำเร็จในปี ค.ศ. 1885 ซึ่งมี 3 ล้อ ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ เรียกว่า “Benz Patent Motorwagen” และได้รับการจดสิทธิบัตรเมื่อวันที่ 29 มกราคม ค.ศ. 1886

รถยนต์คันแรกของโลกเป็นรถ 3 ล้อ มีเพียงเกียร์เดียวและไม่มีเกียร์ถอยหลัง กำลังเครื่องยนต์ 0.55 กิโลวัตต์(0.75 แรงม้า) ที่ 400 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความจุกระบอกสูบ 954 cc เครื่องยนต์มีการออกแบบและติดตั้งไว้ให้เห็นชิ้นส่วนและการทำงาน ภายในปีต่อมา คาร์ล เบนซ์ ได้มีการสร้าง Motorwagen Model 2 และ Model 3 ที่มีการพัฒนาปรับปรุงหลายส่วน ได้ออกแบบตัวถังให้ปกปิดส่วนต่างๆให้มิดชิดขึ้น มีล้อ 4 ล้อ [4]

1.2 ประวัติรถยนต์ในประเทศไทย

รถยนต์เป็นเทคโนโลยีของศตวรรษที่ 20 ไม่มีหลักฐานยืนยันแน่ชัดว่าเริ่มเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อไร มีเพียงบันทึกสารสนเทศี้ของเจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์ เมื่อปี พ.ศ. 2458 บันทึกไว้ว่ารถยนต์คันแรกในประเทศไทยรูปร่างคล้ายรถบดถนน ล้อยางตัน มีหลังคาเป็นปะรำ มีที่นั่งสองแถว ใช้น้ำมันปิโตรเลียม ไฟหน้าลักษณะคล้ายเตาฟู่ แต่การใช้งานยังมีขีดจำกัดคือ มีกำลังเครื่องยนต์ต่ำ ไม่สามารถข้ามสะพานที่ยกสูงได้ เนื่องจากสมัยนั้นใช้การขนส่งทางเรือเป็นหลักสะพานจึงสูงเพื่อสำหรับให้เรือลอดได้

จอมพลเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี(เจิม แสงชูโต)เป็นคนไทยคนแรกที่เป็นเจ้าของรถยนต์ในประเทศไทย ซึ่งได้รับการขายต่อมาจากชาวต่างชาติ จึงสมควรได้รับการยกย่องว่าเป็นคนไทยคนแรกที่ก่อกำเนิดยุครถยนต์ในประเทศไทย และมีน้องชายเป็นพระยานุทูตวาที (เจิม แสงชูโต) ซึ่งเป็นคนไทยคนแรกที่สามารถขับรถยนต์ในประเทศไทยเนื่องจากเป็นคนไทยคนแรกที่ไปรับจ้างทำงานในประเทศอังกฤษ



ภาพที่ 2 จอมพลเจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี (เจิม แสงชูโต)

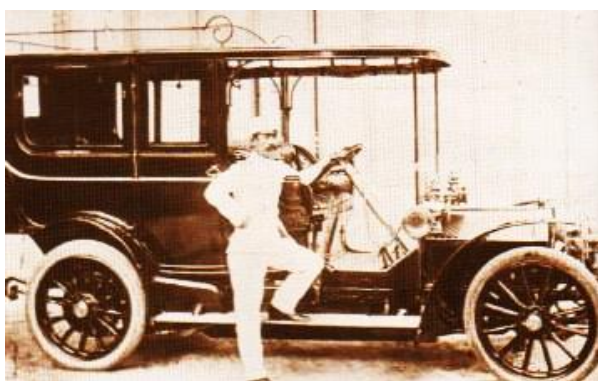
ที่มา : ประวัติศาสตร์รถยนต์ในประเทศไทย [cited 2019 1/6]; Available from: https://www.baanjommyut.com/library/thaicar_history/index.html

[baanjommyut.com/library/thaicar_history/index.html](https://www.baanjommyut.com/library/thaicar_history/index.html)

ในปี พ.ศ. 2447 รัฐบาลเริ่มเล็งเห็นในบทบาทและความสำคัญของรถยนต์แล้ว พระเจ้าลูกยาเธอในพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์ทรงพระประชวร ต้องเสด็จไปรักษาพระองค์ที่ปารีส ประเทศฝรั่งเศส ขณะที่ประทับอยู่ที่นั่น ได้ทรงสั่งซื้อรถยนต์คันหนึ่ง เป็นรถเดมเลอร์-เบนซ์ ซึ่งถือว่าเป็นรถชิ้นเยี่ยมในยุคนั้น เมื่อเสด็จกลับประเทศไทยในปลายปีนั้น

พระเจ้าลูกยาเธอ กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์ ได้น้อมเกล้าถวายรถคันดังกล่าวแต่ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว นับได้ว่าเป็นรถยนต์พระที่นั่งคันแรกในประวัติศาสตร์ไทย

ในปี พ.ศ. 2451 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงโปรดปรานรถยนต์พระที่นั่งดังกล่าว เพราะทรงเห็นว่าสะดวกสบายและเดินทางได้รวดเร็วกว่ารถม้าพระที่นั่ง ในยามว่างจากพระราชกรณียกิจ มีพระราชดำริสั่งซื้อรถยนต์มาเป็นของขวัญพระราชทานแก่พระบรมวงศานุวงศ์ และข้าราชการชั้นสูง เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์แก่แผ่นดินสืบไป



ภาพที่ 3 รถยนต์หลวงคันที่ 2 ของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เป็นเมอร์เซเดส
รุ่นปี พ.ศ. 2448 ได้รับพระราชทานว่า แก้วจักรพรรดิ
ที่มา : ประวัติศาสตร์รถยนต์ในประเทศไทย [cited 2019 1/6]; Available from: https://www.baanjomjut.com/library/thaicar_history/index.html

ในปี พ.ศ. 2452 ขณะที่รถยนต์มีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้โปรดเกล้าให้ตราพระราชบัญญัติรถยนต์ฉบับแรกของประเทศไทยขึ้น โดยให้มีผลบังคับใช้ในปีถัดมา พระราชบัญญัตินี้กำหนดให้เจ้าของรถยนต์ต้องจดทะเบียนกับกระทรวงมหาดไทยและเสียค่าธรรมเนียม 10 บาท

เมื่อถึงปี พ.ศ. 2470 ตัวเมืองบางกอกขยายออกไปโดยรอบ มีถนนสายใหม่ๆ ที่ช่วยให้สามารถเดินทางไปในแถบชนบท แถวชานเมืองก็มีถนนเพิ่มขึ้นหลายสาย ประตูก่อถนนขึ้นเพื่อเปิดพื้นที่ให้แก่การจราจร กำแพงถูกทุบทิ้งแล้วเอาเศษอิฐเศษปูนไปปูถนน [5]

1.3 การแบ่งประเภทรถยนต์

รถยนต์แบ่งเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

1.3.1 รถยนต์ประเภท A Segment เป็นรถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์ 660 cc. - ไม่เกิน 1000 cc. จัดอยู่ในประเภทรถยนต์ที่มีขนาดเล็ก

1.3.2 รถยนต์ประเภท B Segment เป็นรถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์ประมาณ 1,000 cc. ถึง 1,500 cc. ซึ่งในประเทศไทยแบ่งรถประเภท B-Segment เป็นสองประเภท รถยนต์ Eco Car (อีโคคาร์) โดยส่วนใหญ่รถยนต์ประเภทนี้จะมีความยาวเครื่องยนต์ประมาณ 1,200 cc. และรถยนต์ปกติ ที่มีขนาดเครื่องยนต์ไม่เกิน 1,500 cc.

1.3.3 รถยนต์ประเภท C Segment เป็นรถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์ประมาณ 1,500 cc. ถึง 2,200 cc. จัดเป็นรถยนต์ขนาดกลาง

1.3.4 รถยนต์ประเภท D Segment เป็นรถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์ใหญ่กว่ารถยนต์ประเภท C Segment มาอีกระดับเพิ่มเติมที่การตกแต่งภายในเน้นความหรูหรามากขึ้น

1.3.5 รถยนต์ประเภท E Segment เป็นรถยนต์ที่มีเป็นรถยนต์นั่งขนาดใหญ่ที่สุดจะเป็นที่รู้จักอีกชื่อหนึ่งว่า “Full Size Car”

1.3.6 รถยนต์ประเภท Entry Level Luxury / Compact Executive Car เป็นรถยนต์ที่เน้นความหรูหราทั้งในเรื่องของการตกแต่งและวัสดุที่นำมาใช้ และขนาดเครื่องยนต์ที่ใช้จะเป็นเครื่องสมรรถนะสูง

1.3.7 รถยนต์ประเภท Mid-Size Luxury Car จัดเป็นรถยนต์นั่งหรูหราระดับกลางตัวรถที่มีขนาดใหญ่กว่ารถยนต์ขนาดกลางทั่วไป พร้อมทั้งสมรรถนะที่สูงกว่ารถยนต์ขนาดกลางและรถยนต์ขนาดใหญ่ทั่ว ๆ ไป



ภาพที่ 4 BMW Series 5 จัดว่าเป็นรถประเภท Mid-Size Luxury Car

ที่มา : การแบ่งประเภทรถยนต์ [cited 2019 1/14]; Available from: <https://chobrod.com/tips-buy-sell/การแบ่งประเภทรถยนต์-มีแบบไหนบ้าง-2965>

1.3.8 รถยนต์ประเภท Full-Size Luxury Car เป็นรถยนต์หรูที่มีขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ขนาด 3,000cc. ถึง 4,500cc.

1.3.9 รถยนต์ประเภท Sports Car หรือที่เราเรียกกันว่า “รถสปอร์ต” ส่วนใหญ่จะเป็นรถยนต์ 2 ที่นั่ง มาพร้อมกับตัวถังที่เป็นแบบคูเป้และบางรุ่นก็จะเป็นแบบซีดาน มีการลดน้ำหนักของตัวถังให้เบากว่ารถปกติ เพื่อสมรรถนะของรถ

1.3.10 รถยนต์ประเภท Grand Tourer จัดอยู่ในประเภทรถสปอร์ตที่มีความหรูหราและสมรรถนะเพิ่มขึ้นมาอีกระดับจาก Sport Car

1.3.11 รถยนต์ประเภท Super Car เครื่องยนต์ที่มีขนาด 6 สูบขึ้นไป เน้นในเรื่องของสมรรถนะ

1.3.12 รถยนต์ประเภท Hypercar เน้นที่การทำความเร็วสูงสุด ซึ่งรถประเภทนี้จะต้องทำความเร็วได้ถึง 400 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ด้วยจุดเด่นที่พลังกำลังแรงม้าและมีสมรรถนะที่สูงมากทั้งคัน ระดับแรงม้าของรถที่เกิน 700-800 แรงม้าและมีบางรุ่นที่มีแรงม้าสูงถึง 1,000 แรงม้าหรือมากกว่า [6]

1.4 สีรถยนต์

1.4.1 ประวัติสีพ่นรถยนต์

ในปี ค.ศ.1900 สีที่ใช้กับรถยนต์ในยุคแรกมาจากกลุ่มของผลิตภัณฑ์เคลือบเงาไม้ใช้แปรงทา ต้องขัดด้วยกระดาษทรายและปรับพื้นผิวชิ้นงานผิวเหล็กใหม่ให้เรียบ ขั้นตอนการทำสีประเภทนี้จะใช้เวลาประมาณ 40 วัน และสีสีนของตัวรถจะไม่ค่อยดูฉูดฉาด Henry Ford ได้พูดอยู่เสมอว่า “you can have a car any color you like as long as it is black” หรือ คุณสามารถมีรถสีอะไรก็ได้ที่คุณชอบตราบใดที่มันเป็นสีดำ ว่าง่ายๆคือ อยากรถสีอะไรก็ได้แต่ฉันมีแค่สีดำเดียว



ภาพที่ 5 เฮนรี ฟอร์ด (Henry Ford) เป็นผู้ก่อตั้งบริษัทฟอร์ดมอเตอร์

ที่มา : OEM สีเคลือบรถยนต์ [cited 2018 11/15]; Available from: <http://oemcoating.blogspot.com/>

ในปี ค.ศ.1930 อุตสาหกรรมรถยนต์ได้เริ่มมีการใช้การอบเคลือบ สารเคลือบสีรถยนต์นี้ได้ถูกเริ่มใช้เนื่องจากมีความเงาที่สูงกว่าระบบเก่าและยังมีความหนาของสีที่ดีกว่าและความเร็วของกระบวนการที่รวดเร็วกว่า ในช่วงปี ค.ศ. 1930 ถึง 1940 หมอพ่นได้เริ่มคิดค้นปืนพ่นสีขึ้น โดยคุณสมบัติของปืนพ่นสีนี้สามารถใช้ปฏิบัติงานได้รวดเร็วกว่าการใช้แปรงทาสี เวลาในการทำสีรถยนต์ลดลงเหลือหนึ่งส่วนสามของเวลาปฏิบัติงานเดิม ในที่สุดผลิตภัณฑ์นี้ก็ได้ถูกนำมาใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์อย่างแพร่หลาย



ภาพที่ 6 ปืนพ่นสีรถยนต์

ที่มา : OEM สีเคลือบรถยนต์ [cited 2018 11/15]; Available from: <http://oemcoating.blogspot.com/>

ในปี ค.ศ. 1955 บริษัท General Motors หรือ GM ได้เลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการเคลือบสีที่แตกต่างไปจากเดิมแทนที่จะใช้วัสดุalkyd resins เป็นใช้วัสดุอะคริลิก นำมาใช้กับผิวรถยนต์ โดยการใช้ปืนพ่นสี การอบสีในเตาอบขนาดใหญ่ทำให้สารละลายต่างๆระเหยออกและสร้างพื้นผิวของตัวถังรถยนต์ที่ประสานเรียบสวยงาม มีความเงาในระดับหนึ่งแต่ไม่เงางามเหมือนกับสารอบเคลือบตัวเก่า แต่การพ่นสีนี้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ประหยัดเวลาการผลิตได้มากขึ้นเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการลดต้นทุน ระบบนี้จึงได้รับความนิยมอย่างมากจนถึงปลายปี ค.ศ. 1960

ในปี ค.ศ. 1970 รถยนต์จากประเทศญี่ปุ่นเริ่มจะได้รับความนิยม ทั้งบริษัทญี่ปุ่นและยุโรปเริ่มได้ใช้ระบบการพ่นสีแบบสองชั้น และได้รับความนิยมเมื่อทั้งสองได้มีการผลิตสีเมทาไลคชั่น หลายๆโรงงานได้เริ่มมองหาสีที่มีความแข็งแรงมากขึ้น สีที่สามารถแห้งได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ค่าตอบได้รับการค้นพบเมื่อได้เริ่มใช้สารเติมแต่งที่เสริมการเชื่อมต่อโมเลกุลของเนื้อสี (Cross Linking Additive) หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยาได้นำมาใช้ผสมลงในสูตรสี ในช่วงกลาง ค.ศ. 1970 ระบบพ่นสีได้พัฒนามาจนได้ความเงางามสุดยอด

ในปี ค.ศ. 1990 ระบบสีรถยนต์ประกอบด้วยสีพื้น สีจริง ตัวเคลือบสี ได้มีการพัฒนาให้ดีขึ้นเรื่อยๆ เฉดสีแปลกใหม่ ทั้งมิติและความสว่าง รวมถึงความเงางามขั้นสุดและความคงทนที่มากขึ้น ผลลัพธ์ที่กล่าวมานี้มีกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอน ขั้นแรก รถยนต์จะถูกฉีดยุติด้วยสีพื้นยัดเกาะเหล็ก จากนั้นสีจะถูกพ่นลงบนพื้นผิว และขั้นสุดท้ายคือชั้นของแล็กเกอร์ที่จะถูกพ่นลงบนพื้นผิว รถยนต์จะถูกส่งลำเลียงไปอบเพื่อสร้างผิวชั้นของแล็กเกอร์ที่สวยงาม [7]

1.4.2 ประเภทสีของรถยนต์

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือสีโรงงาน (OEM Paint) และสีพ่นซ่อม (Refinish Paint)

1.4.2.1. สีโรงงาน (OEM Paint)

คือ สีที่ใช้ในโรงงานประกอบรถยนต์ สีชนิดนี้มีองค์ประกอบเดียว อาจนำมาผสมกับตัวทำละลายเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "สีอบ" (High Bake Paint) เนื่องจากสีชนิดนี้จะแห้งตัวโดยการการอบที่อุณหภูมิสูงประมาณ 120-160 องศาเซลเซียส หลังจากสีแห้งตัวแล้ว จะมีฟิล์มสีที่มีคุณภาพดีมาก ความแข็งแรงของชั้นฟิล์มสีสูง มีความทนทานต่อตัวทำละลายได้ดีมาก และทนทานต่อสารเคมีต่างๆ มีการยึดเกาะดีเยี่ยม ให้ความเงาที่ดี ทนทานต่อแสงแดดได้ดี ไม่ซีดจางง่าย



ภาพที่ 7 การพ่นสีรถยนต์ของโรงงานผลิตรถยนต์

ที่มา : เทคโนโลยีพ่นสีสูตรน้ำ [cited 2018 11/15]; Available from: <https://mgronline.com/motoring/detail/9520000071280>

1.4.2.2. สีพ่นซ่อม (Refinish Paint) เป็นสีที่ใช้ในการซ่อมรถ โดยแบ่งเป็น สี 1K และ สี 2K

1.4.2.2.1 ระบบ 1K หรือที่เรียกว่า "สีแห้งเร็ว" คือ สีระบบ 1 องค์ประกอบ (1 Komponent) คือ ประกอบด้วยส่วนของตัวสีเพียงอย่างเดียว

1.4.2.2.2 ระบบ 2K หรือที่เรียกว่า "สีแห้งช้า" คือ สีระบบ 2 องค์ประกอบ (2 Komponent) คือ ประกอบด้วย องค์ประกอบที่ 1 คือ ส่วนของตัวสี และองค์ประกอบที่ 2 คือตัวเร่งปฏิกิริยา (Hardener หรือ Activator) โดยก่อนใช้งานต้องนำทั้ง 2

องค์ประกอบมาผสมกันตามอัตราส่วน เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งจะทำให้เกิดการแห้งตัว สี 2K หลังจากแห้งตัวแล้ว จะมีคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงของชั้นฟิล์มสีสูง มีความทนทานต่อตัว ทำละลายและสารเคมีต่างๆได้ดี

1.4.3 กระบวนการทำสีของโรงงานผลิตรถยนต์

ตัวถังรถยนต์ที่เป็นโลหะหลังจากเชื่อมประกอบแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการทำสีเพื่อ ป้องกันการเกิดสนิม และความสวยงาม กระบวนการทำสีนั้น สรุปลงเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1.4.3.1 ขั้นตอนการล้างและเตรียมผิวเหล็ก เพื่อเพิ่มคุณภาพในการยึดเกาะของสีให้ดีที่สุดและป้องกันสนิม จะนำตัวถังเข้าล้างทำความสะอาดแล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการเตรียมผิว

1.4.3.2 ขั้นตอนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า หรือ อีดี พี (Electro Deposition Paint) ตัวถังรถที่ผ่านการล้างและเตรียมผิวแล้ว ก็จะนำมาชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า โดยนำตัวถังรถทั้งคันจุ่มลงในบ่อสี แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าไปที่ตัวถังรถ กระแสไฟฟ้าจะทำให้หน้าทีพาเนื้อสีที่เป็น ตัวนำไฟฟ้า ให้เข้าไปเกาะที่ตัวถังรถทุกๆจุดในปริมาณเนื้อสีที่ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นก็จะนำเข้าอบสีให้แห้ง โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 165 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน ประมาณ 30 นาที

1.4.3.3 ขั้นตอนการหยอดกาว หลังจากผ่านกระบวนการพ่นกันสนิม โดยระบบ e-coat เรียบร้อยแล้ว รถยนต์จะถูกส่งไปเก็บงานการซีลตะเข็บ จะอุดแนวต่อต่างๆ ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเพื่อป้องกันน้ำที่จะรั่วเข้ามาในท้องโดยสาร กาวที่ใช้จะเป็นประเภท พีวีซี (PVC) ซึ่งจะต้องใช้ความร้อนในการอบแห้งเช่นกันและถูกส่งไปในกระบวนการพ่นสีรองพื้น สีรองพื้นนี้จะเป็นตัวเข้าไปอุดรูลบบรอยขีดข่วนต่างๆในตัวรถและเป็นตัวยึดเกาะระหว่างตัวถังและสีจริง (Based coat)

1.4.3.4 ขั้นตอนการพ่นสีพื้น นำตัวถังที่ผ่านการหยอดกาวแล้ว มาพ่นสีพื้น เมื่อทำการพ่นสีเสร็จแล้ว ตัวถังรถจะถูกสายพานลำเลียงเข้าสู่ห้องอบสีโดยจะใช้อุณหภูมิในการอบ ประมาณ 155 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบประมาณ 30 นาที

1.4.3.5 ขั้นตอนการขัดน้ำ นำตัวถังที่ผ่านการพ่นสีพื้นแล้ว มาขัดแต่ง ด้วยกระดาษทรายเนื้อละเอียด การขัดน้ำเป็นการใช้น้ำช่วยชำระล้างฝุ่นผงต่างๆ ออกมา และยังช่วย ป้องกันการเกิดรอยในขณะขัดแต่งผิวด้วย

1.4.3.6 ขั้นตอนการพ่นสีจริง โดยการใช้หุ่นยนต์พ่นสีทั้งสีพื้นและสีจริง จะทำให้การพ่นสีมีประสิทธิภาพสีมีความเงางามและสม่ำเสมอ สีจริงหรือสีชั้นบนสุดนี้จะเป็นสีที่คงทน ต่อการขีดข่วน ความร้อนแรงกระแทก และสารเคมีบางชนิดได้เป็นอย่างดีตลอดจนมีความสวยงาม และง่ายต่อการบำรุงรักษาอีกด้วยโดยปกติแล้ว จะมีสีอยู่ 2 ประเภท คือ สีโซลิด (Solid) ซึ่งดูเรียบ ด้านเหมือนสีน้ำทั่วไป และสีเมทัลลิก (Metallic) ซึ่งดูแวววาวมากกว่า และมีเคลียร์ (Clear) เคลือบทับอีกชั้นหนึ่ง ขั้นตอนในการพ่นสีจริงนั้น สำหรับสีโซลิดจะมีเพียงชั้นเดียว ส่วนสีเมทัลลิกจะมีอยู่ 2 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 จะเป็นชั้นสี ชั้นที่ 2 จะเป็นชั้นสารเคลือบเงาในประเภทแลคเกอร์ หรือเคลียร์ หลังจากพ่นสีจะนำเข้าห้องอบสีซึ่งจะใช้สายพานลำเลียงส่งเข้าไป โดยแต่ละคันใช้อุณหภูมิในการอบสี ประมาณ 155 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาประมาณ 30 นาที หลังจากผ่านกระบวนการทำสีแล้ว ตัวถังก็จะมีสีต่างๆ ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า ต้องส่งตัวถังที่พ่นสีเสร็จเรียบร้อยแล้วต่อไปยัง แผนกประกอบ เพื่อทำการประกอบชิ้นส่วนอื่น ๆ ต่อไป [8]



ภาพที่ 8 กระบวนการทำสีของโรงงานผลิตรถยนต์

ที่มา : เทคโนโลยีพ่นสีสูตรน้ำ [cited 2018 11/15]; Available from: <https://mgronline.com/motoring/detail/9520000071280>

2. สี (Color)

สี เป็นคุณสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้บรรยายคุณลักษณะของวัสดุได้ง่ายที่สุดวิธี การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากการที่แสงสะท้อนจากวัตถุนั้นๆมากระทบตาเราและส่งไปสมองเพื่อแปลออกมาเป็นสีที่เห็น

แสง แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้ง คลื่น และอนุภาค โดยคุณสมบัติของอนุภาคเรียกว่า โฟตอน ส่วนคุณสมบัติความเป็นคลื่นเรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วย รังสี แสง และคลื่นต่างๆ กระจายไปตามความถี่ต่างๆ ของแถบสเปกตรัม (Electromagnetic Spectrum) ซึ่งเรียงตามลำดับความยาวคลื่นได้ดังนี้

1) รังสีแกมมา (Gamma ray) มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 นาโนเมตร กำเนิดจากแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เช่น ดาวระเบิด หรือ ระเบิดปรมาณู เป็นอันตรายมากต่อสิ่งมีชีวิต

2) รังสีเอ็กซ์ (X-ray) มีความยาวคลื่น 0.01 - 1 นาโนเมตร มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์

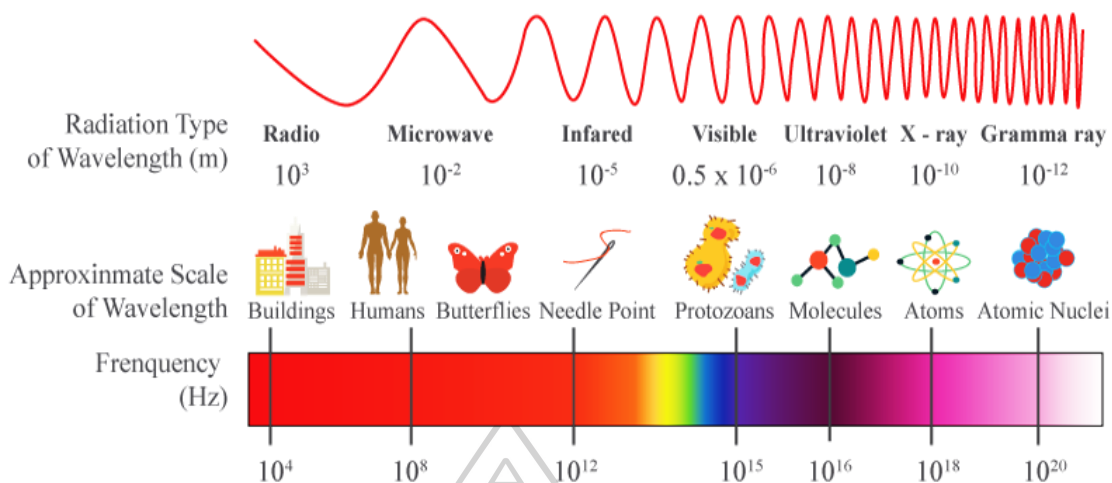
3) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 นาโนเมตร มีอยู่ในแสงอาทิตย์

4) แสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 380 - 750 นาโนเมตร พลังงานที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนมากเป็นรังสีในช่วง

5) รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร - 1 มิลลิเมตร โลกและสิ่งมีชีวิตแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ไอน้ำในบรรยากาศดูดซับรังสีนี้ไว้ ทำให้โลกมีความอบอุ่นเหมาะกับการดำรงชีวิต

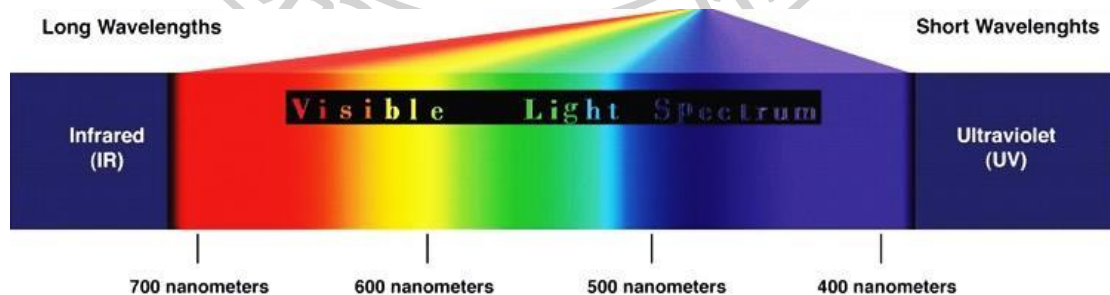
6) คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร - 10 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์ในด้านโทรคมนาคมระยะไกล และนำมาประยุกต์สร้างพลังงานในเตาอบอาหาร

7) คลื่นวิทยุ (Radio wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด คลื่นวิทยุสามารถเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ ใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสารโทรคมนาคม



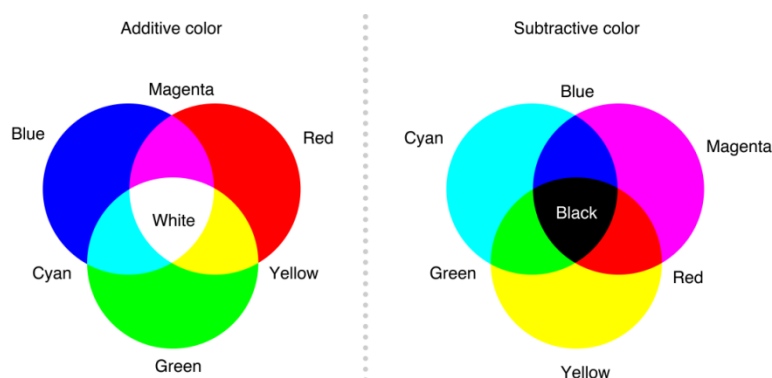
ภาพที่ 9 ภาพแสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่างๆ
ที่มา : คลื่นเทระเฮิรตซ์ [cited 2018 1/14]; Available from: <https://medium.com/vcharkarn-dot-com/คลื่นเทระเฮิรตซ์-terahertz-waves-b270284d6996>

แสงที่มนุษย์มองเห็น (Visible Spectrum) เป็นแสงสีขาว (Light White) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 380 – 750 นาโนเมตร เมื่อส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม จะเกิดการหักเหให้แสงสีรุ้ง จำนวน 7 สี คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง เกิดจากความยาวคลื่นและแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน มีความยาวคลื่น เป็นตัวกำหนดสี (Hue) และแอมพลิจูด เป็นตัวกำหนดความสว่างของสี (Brightness)



ภาพที่ 10 ความยาวคลื่นแสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น
ที่มา : กล้องมองกลางคืน อินฟาเรด [cited 2018 1/14]; Available from: <http://frankgun.blogspot.com/2017/06/>

Jame Clerk Maxwell นักฟิสิกส์ชาวสก๊อต ค้นพบว่า แสงสีขาวประกอบด้วยแสงสีหลัก 3 สี คือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่เท่ากันจะทำให้เกิดเป็นสีขาว เรียกว่า สีปฐมภูมิ(Primary Color) หรือการผสมสีแบบบวก (Additive Color)หากนำสีปฐมภูมิมาผสมกันในอัตราส่วนที่เท่ากัน จะเกิดเป็นสี เรียกว่า สีทุติยภูมิ (Secondary Color) หรือ การผสมแสงสีแบบลบ (Subtractive Color) ได้แก่ สีฟ้า(Cyan) สีแดงม่วง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow)



ภาพที่ 11 การผสมสีแบบบวก และการผสมแสงสีแบบลบ

ที่มา : การผสมสี [cited 2018 1/14]; Available from: <https://democraciaejusticia.org/tool.html#c3VidHJhY3RpdmUtbGlnaHRpbmc=>

การรับรู้สีของมนุษย์ (Color Perception)

การสัมผัสรับรู้สีเป็นสิ่งที่ซับซ้อน เนื่องจากเกี่ยวข้องกับหลายส่วนด้วยกัน มีความซับซ้อนทั้งเรื่องธรรมชาติของแสงที่ฉายหรือส่องบนวัตถุ เรื่องของประสาทตาของแต่ละคน ตลอดจนการตีความข้อมูลที่ประสาทตาได้รับที่สมองของคนเราซึ่งเป็นประสบการณ์ที่สะสมมาก่อนของแต่ละบุคคล เราจึงพบเสมอว่าคนสองคนบอกสีของสิ่งของสิ่งเดียวกันไม่เหมือนกัน และวัตถุสิ่งของอย่างหนึ่งเมื่อมองโดยบุคคลเดียวกันในที่สว่างภายใต้แสงดวงอาทิตย์กับการดูภายในอาคารที่ใช้หลอดไฟฟ้าหรือที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ให้แสงสว่างจะเห็นว่าวัตถุนั้นมีสีที่แตกต่างกันได้

มนุษย์มองเห็นวัตถุและสีต่างๆเกิดจากปัจจัยสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มอง และผู้สังเกตการณ์

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) แบ่งตามการเกิดได้ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ (Natural Light Source) เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ ประเภทที่ 2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ (Illuminants) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แสงที่เกิดจากการเผาหรือการให้ความร้อน (Incandescence) เช่น การเผาแท่งเหล็กที่ความร้อนสูงมากๆ แท่งเหล็กจะเปลี่ยนเป็นสีส้มและเหลืองสว่างในที่สุด แสงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี, แสงที่เกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน รวมถึงแสงที่เกิดจากการปล่อยประจุของก๊าซ (Luminescence) เช่น แสงจากตัวแมลง, แสงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี, แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

องค์กร CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) เป็นหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นในปี 1931 ได้กำหนดมาตรฐานการส่องสว่าง เรียกว่า Standard Illuminants โดยแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

Illumination A การส่องสว่างจากหลอดไฟแบบไส้ (Incandescent Lighting) มีอุณหภูมิสี (Color Temperature) ประมาณ 2856 เคลวิน (Kelvin: K)

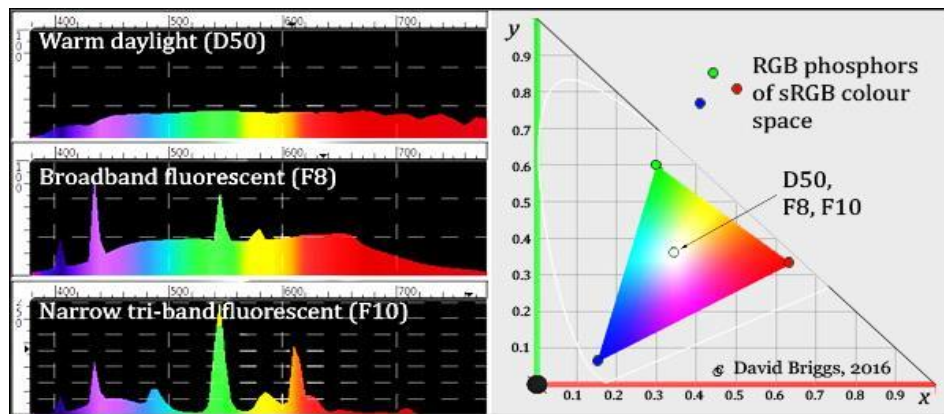
Illumination B แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง มีอุณหภูมิสีประมาณ 4874 K

Illumination C แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง มีอุณหภูมิสีประมาณ 6774 K

Illumination D50: มีอุณหภูมิสีประมาณ 5003 เคลวิน (Kelvin: K)

Illumination D65: มีอุณหภูมิสีประมาณ 6504K เป็นแสงมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณค่าสี

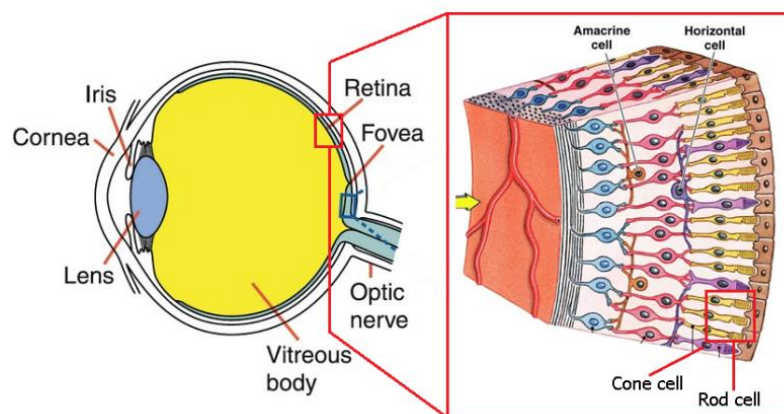
Illumination F1 - F12: หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) CIE กำหนดหลอดไฟเรืองแสง 12 แบบโดยมีชื่อ F1-F12 มีความแตกต่างกันที่ก๊าซที่ใช้งาน



ภาพที่ 12 มาตรฐานการส่องสว่าง ของ D50 , F8 และ F10

ที่มา : The Dimensions of Colour [cited 2018 1/14]; Available from: <http://www.huevaluechroma.com/012.php>

2. วัตถุที่มอง (specimen) วัตถุที่ทึบแสง (opaque) จะให้การสะท้อนของแสงเพื่อเกิดสีแตกต่างจากวัตถุที่โปร่งแสง (translucent) และโปร่งใส (transparent)
3. ผู้สังเกตการณ์ (observer) เป็นปัจจัยสุดท้ายของการมองเห็นเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุที่มีสีและสะท้อนเข้าตาผู้สังเกตการณ์แล้วส่งไปยังเรตินาที่มีส่วนไวต่อแสงแตกต่างกันอยู่ 2 ชนิดคือ ส่วนที่จะแยกความแตกต่างระหว่างความมืดและความสว่างที่เรียกว่า rods ส่วนที่สามารถแยกสีที่เรียกว่า cones แบ่งออกอีก 3 ชนิด คือส่วนที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน [9]



ภาพที่ 13 แสดงเซลล์ประสาทรับแสงในดวงตา

ที่มา : ระบบรับภาพของดวงตา [cited 2018 1/14]; Available from: <https://pantip.com/topic/33706800>

การมองเห็นด้วยตาจะบ่งบอกลักษณะของวัตถุได้ 3 ลักษณะดังนี้

1. Hue คือ สีที่ปรากฏในการมองเห็น เช่น สีแดง สีเขียวหรือสีน้ำเงิน
2. Value คือ ความสว่างของสี (Lightness) ซึ่งเป็นการสะท้อนของแสงที่มีค่าต่างกัน
3. Chroma คือ ความสดใส ความเข้มและความบริสุทธิ์ของสี (purity)

การวัดสี

เครื่อง Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดสี โดยวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่เป็น reflectance curve วัตถุที่สีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมา ก็มีความยาวคลื่นต่างกัน โดยเครื่องจะแสดงค่าการวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลข

เครื่อง Spectrophotometer มีระบบการวัดสีอยู่หลายระบบด้วยกัน คือ ระบบ Chromaticity coordinate, ระบบ Tristimulus Value, ระบบ Munsell และระบบ CIE L*a*b* ระบบ CIE L*a*b* เป็นระบบการวัดสีที่พัฒนามาจากระบบ CIE Tristimulus Value (x, y และ z) และ CIE Chromaticity Coordinates (x, y และ Y) โดยปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงจนสามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกับความแตกต่างของสีที่ตามองเห็น ถูกกำหนดขึ้นโดย CIE (Commission Internationale d' Eclairage) เพื่อให้เป็นสีมาตรฐานกลางของการวัดสีทุกรูปแบบ

ระบบ CIE L*a*b* เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ color space โดยสถาบัน Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) พัฒนาระบบสี CIE L*a*b* ในปี ค.ศ. 1976 ด้วยการใช้ตัวเลขในการแทนค่าสีต่างๆ ดังนี้

กำหนดให้ L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 100

แกน a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

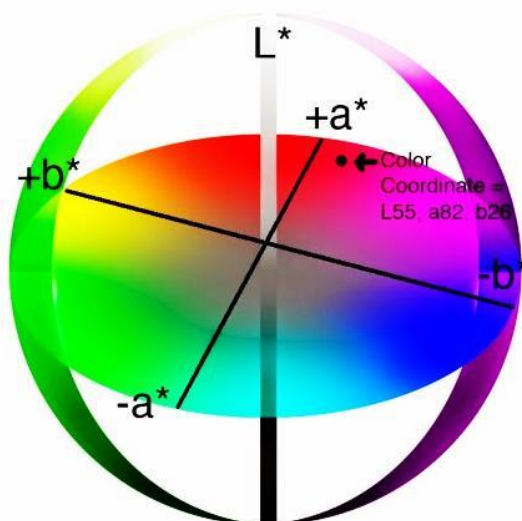
แกน a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

และในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็นตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 14 จะพบว่า จุดๆ หนึ่งใน Space นั้น เป็น $L^* a^* b^*$ และเมื่อสีมีการเปลี่ยนเฉดสีไปจะได้อีกจุด ใน Space เป็น $L_2^* a_2^* b_2^*$ ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันใน Space เท่าไร ก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสีดังกล่าว โดย ΔE คือ ค่าความแตกต่างของสี



ภาพที่ 14 ระบบสี CIE $L^*a^*b^*$

ที่มา : ระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ [cited 2018 1/14]; Available from: <https://xn--12cf0dj0aaufkr9l0ai2m6ab4p.blogspot.com/2014/06/lab.html>

การมองเห็นสีของมนุษย์และการวัดสีจากเครื่องวัดจะต้องอาศัยปัจจัย 3 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มองและและการอ่านค่าสี แต่กับการมองเห็นสีของมนุษย์นั้นจะพบว่าแต่ละคนอาจจะอ่านค่าสีแตกต่างกันไป สำหรับเครื่องวัดสีนั้นจะให้ค่าที่ได้จากการวัดสีในทางอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล รวมทั้งยังสามารถที่จะวัดค่าความแตกต่างของสีที่มีเฉดสีต่างออกไปเพียงเล็กน้อยได้ เป็นผลให้ในทางอุตสาหกรรมสามารถกำหนดให้ค่าความแตกต่างของสีได้ [10]

3. UV-VIS Spectrophotometer

หลักการทำงาน: UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง(absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในการระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่มีความไวสูงและใช้กันอย่างแพร่หลาย [11]



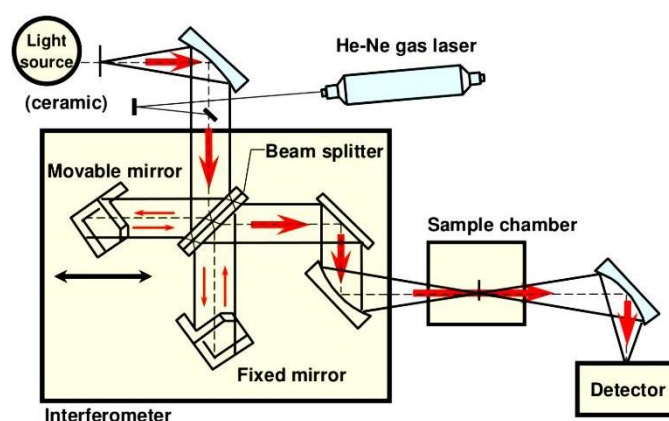
ภาพที่ 15 ลักษณะของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

ที่มา : UV-VIS Spectrophotometer [cited 2018 11/15]; Available from: http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=46

4. Fourier Transform Infrared Spectrometer

FT-IR Spectrometer เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการแยกสูง และความไวสูง พัฒนามาจาก เครื่อง IR Spectrometer เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีในปริมาณน้อยๆได้ สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น เครื่อง FT-IR Spectrometer มีแหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดเป็นแท่งเซรามิกที่เผาด้วยขดลวดความร้อน ทำให้เกิดรังสีอินฟราเรดสู่กระจกเงา สะท้อนคลื่นแสงสู่ตัวแยกแสง (Beam Splitter) เพื่อแยกคลื่นแสงออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับสู่กระจกเงาที่คลื่นที่ได้ อีกส่วนหนึ่งจะผ่านทะลุออกไป โดยมีแสงเลเซอร์ปรับระยะการเคลื่อนที่ของกระจกให้มีระยะและทิศทางที่คลื่นแสงทั้งสองส่วนมารวมเป็นลำแสงเดี่ยวผ่านไปยังสารตัวอย่าง ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า The Michelson Interferometer

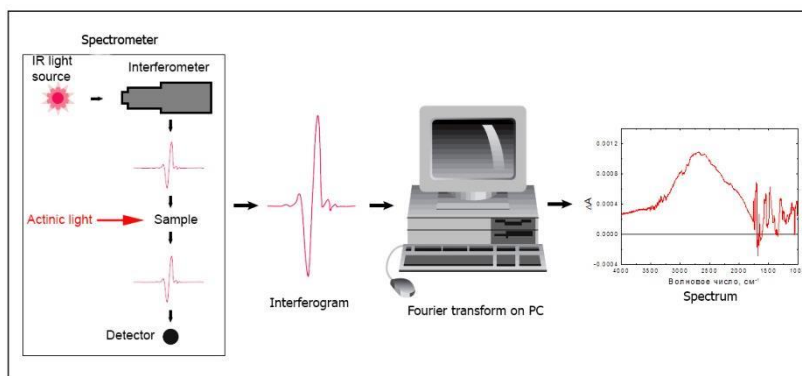
FTIR - WORKING



ภาพที่ 16 แผนผังการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ที่มา : Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) [cited 2018 11/15]; Available

from: <http://weboviny.info/ft-ir.html>

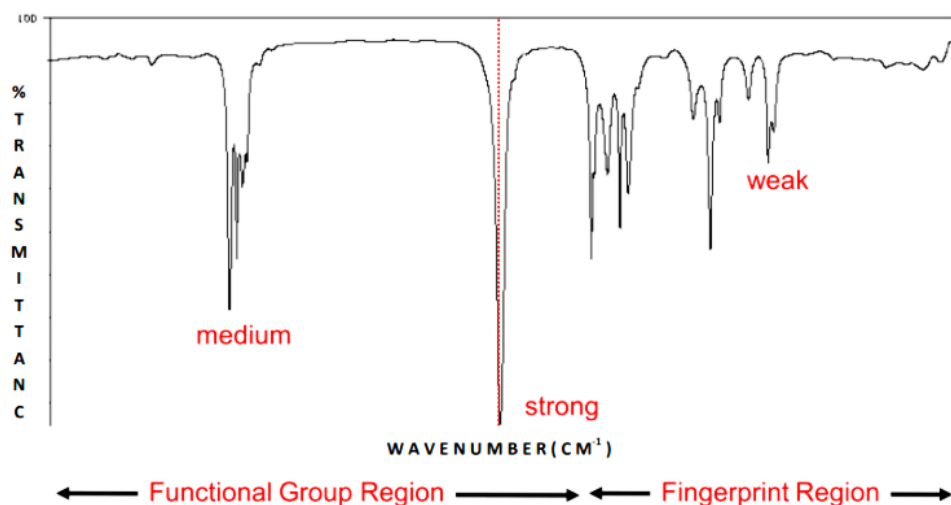
สัญญาณแสงที่ผ่าน Interferometer จะออกมาในรูปสัญญาณที่เรียกว่า interferogram ซึ่งต้องแปลงสัญญาณนี้ให้เป็น spectrum อีกครั้ง โดยใช้การคำนวณด้วย Fourier transform โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ



ภาพที่ 17 ลักษณะการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)
ที่มา : FTIR spectroscopy [cited 2018 11/15]; Available from: <https://photobioschool.ru/en/methods-en/ftir-spectroscopy/>

คลื่นรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ความยาวของคลื่นอินฟราเรด แบ่งเป็นช่วงๆ คือ ย่านอินฟราเรดไกล (Far infrared region) อยู่ในช่วง wave number 10–200 ซม.⁻¹ ย่านอินฟราเรดกลาง (Middle infrared region) อยู่ในช่วง wave number 200 – 4,000 ซม.⁻¹ และย่านอินฟราเรดใกล้ (Near infrared region) อยู่ในช่วง wave number 4,000 – 12,800 ซม.⁻¹ นักเคมีวิเคราะห์จะให้ความสนใจและใช้ประโยชน์คลื่นรังสีอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle IR.) มากกว่าช่วงอื่น

คลื่นอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle IR.) ในช่วง wave number 4,000 – 400 ซม.⁻¹ มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะโควาเลนต์ในโมเลกุลของสาร ซึ่งโมเลกุลจะเกิดการสั่นหรือการหมุนของพันธะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุลเมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะ ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสง แล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมา แสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ wave number กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่าอินฟราเรด สเปคตรัม (Infrared Spectrum –IR spectrum) ดังแสดงในภาพที่ 18

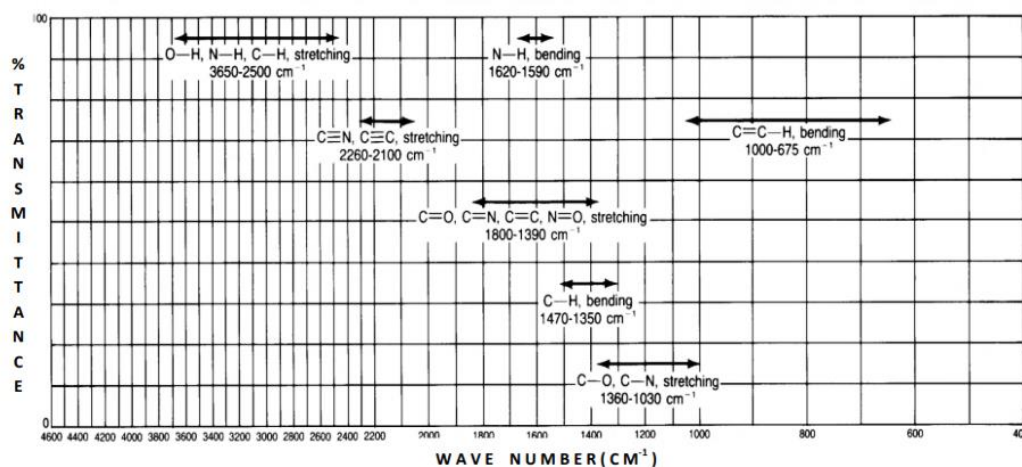


ภาพที่ 18 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัม

ที่มา : FTIR spectroscopy [cited 2018 11/15]; Available from: <https://photobioschool.ru/en/methods-en/ftir-spectroscopy/>

อินฟราเรดสเปกตรัมเป็นข้อมูลเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้นๆว่ามีหมู่ฟังก์ชันอะไรบ้าง ในตำแหน่งไหน โมเลกุลที่มีพันธะต่างชนิดกันจะมีความถี่ของการดูดกลืนคลื่นต่างกัน เช่น หมู่เอมีน มีพีคพันธะ N-H อยู่ที่ 3,500 ซม.⁻¹ สารกลุ่มแอลกอฮอล์จะมีพีคของพันธะ O-H อยู่ที่ประมาณ 3,300-3,600 ซม.⁻¹ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดที่ปรากฏใน IR spectrum พีคที่ปรากฏในช่วง 1,350–4,000 ซม.⁻¹ เรียกว่าย่านความถี่ของหมู่ฟังก์ชัน (Group functional region) จะเป็นช่วงความถี่ของแถบการดูดกลืนคลื่นแสงของพันธะของหมู่ฟังก์ชันต่างๆที่ค่อนข้างคงที่ ส่วนพีคในช่วงประมาณ 910–1,350 ซม.⁻¹ เรียกว่าย่านรอยพิมพ์นิ้วมือ (Finger print region) ซึ่งจะปรากฏแถบการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว



ภาพที่ 19 แสดงหมู่ฟังก์ชันสามัญที่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

ที่มา : FTIR spectroscopy [cited 2018 11/15]; Available from: <https://photobioschool.ru/en/methods-en/ftir-spectroscopy/>

การใช้เครื่อง FT-IR Spectrometer จึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพ เนื่องจากการวิเคราะห์ใช้เวลาสั้นและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี โดยวัดในตัวอย่างชนิดเดียวกันแล้วพิจารณาเปรียบเทียบกับจากอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบมาตรฐานกับตัวอย่าง พิจารณาพิคต่อพิค ถ้าเป็นสารชนิดเดียวกันย่อมปรากฏพิคในตำแหน่งที่เหมือนกัน เช่น การวิเคราะห์ชนิดเส้นใยของสิ่งทอ ชนิดหมึกพิมพ์บนแผ่นกระดาษ แผ่นพลาสติก สารเคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างโพลีเมอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่น การหาปริมาณสารออกฤทธิ์ในยาเม็ด , การหาปริมาณตัวยาคือ เป็นต้น ทำโดยการเทียบค่า %Transmittance [12]

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 ปี ค.ศ. 2011 Janina Zieba-Palus. Et.al. (2011) ได้ทำการศึกษาการแยกความแตกต่างของสีรถยนต์โดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy และ Raman Spectroscopy โดยศึกษาตัวอย่างสีรถยนต์จำนวน 24 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคทางรามาน ซึ่งเมื่อถ่ายภาพตัวอย่างภายใต้กล้องรามานไมโครสโคปจะสามารถเห็นจำนวนชั้นสีในตัวอย่างได้ชัดเจนมากกว่าการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา และทดลองใช้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นต่างกันในกระกระตุ่นตัวอย่างจะ

ปรากฏรามานสเปกตรัมที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของสารซึ่งเป็นส่วนประกอบในตัวอย่างสี โดยปกติสเปกตรัมจะประกอบด้วยสารเติมแต่งหลายชนิด สารบางชนิดตรวจพบได้ในอินฟราเรดสเปกตรัม บางชนิดพบได้ในรามานสเปกตรัม ทั้งเทคนิค IR และ Raman Spectroscopy ถือเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่างและไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยในการวิเคราะห์ [13]

5.2 ปี ค.ศ. 2013 Mark Maric. Et.al. ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ชั้นสีรถยนต์ ด้วยเทคนิค synchrotron infrared imaging ในการศึกษาตัวอย่างชิ้นส่วนสีหลังการถนอมที่ทำการตัดขวางและศึกษาถึงขอบเขตการโยกย้ายขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างชั้นสีภายในตัวอย่างชิ้นส่วนสีรถยนต์ ที่เป็นการเคลือบสีหลายชั้น (multilayer) ประกอบกับการศึกษากระบวนการ cross-linking ของเมลามีนจากการทำ Two dimensional infrared chemical images แสดงให้เห็นว่าเมลามีนมีการแพร่อย่างต่อเนื่องในตัวอย่างชิ้นส่วนสีรถยนต์ที่นำมาวิเคราะห์ โดยแพร่จากชั้น base coat ซึ่งอยู่ต่ำกว่าไปยังชั้น clear coat ที่อยู่ด้านบน และยังพบเม็ดสีจากชั้น base coat ที่กระจายไปยังบริเวณชั้นของสีที่อยู่ติดกันด้วย สิ่งนี้เป็นจุดสำคัญเนื่องจากความหนาแน่นของทั้งเมลามีนและเม็ดสีจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับบริเวณของชั้นสีที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งส่งผลกระทบต่อการศึกษาตัวอย่างสีรถยนต์จากฐานข้อมูล โดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้เทคนิค IR microspectroscopic ในการวิเคราะห์ตัวอย่างตัดขวางของสีรถยนต์แต่ละชั้น การจำกัดพื้นที่ในการวิเคราะห์พื้นผิวของชั้น clear coat จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกขนาดรูรับแสงของตัวอย่างที่เหมาะสม และในกรณีที่ตัวอย่างมีชั้นสีที่ติดกันอยู่ด้านล่าง การวัดสเปกตรัมจะต้องวัดให้ห่างจากบริเวณชั้นที่อยู่ติดกันเท่าที่จะห่างได้ (บริเวณกึ่งกลางชั้นสี) และจะได้ประสิทธิภาพที่ดีอย่างยิ่งเมื่อใช้รูรับแสงตัวอย่างขนาดเล็กเท่าที่จะเป็นไปได้ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาข้อควรระวังเมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีลักษณะเหมือนเปลือกบาง ๆ หรือเศษชิ้นส่วนของแต่ละชั้น เพื่อให้มั่นใจว่าตัวอย่างที่นำมาเป็นองค์ประกอบของชั้นสีนั้น ๆ อย่างแท้จริง เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบที่แท้จริงของสารเคลือบผิวสีรถยนต์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์ [14]

5.3 ปี ค.ศ. 2016 Guy Thoonen Et.al. ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์สีรถยนต์แบบอัตโนมัติ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ทำการศึกษาค่าสีและข้อมูลผิวสัมผัสของสีรถยนต์ จำนวน 221 ตัวอย่าง ผ่านกระบวนการทำ Color calibration จะช่วยให้สีมีความชัดเจนขึ้น แยกความแตกต่างได้ง่ายขึ้น แล้วจึงบันทึกรหัสสีเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูล และทดลองนำสีรถยนต์ตัวอย่าง

จำนวน 22 ตัวอย่างมาทำ Color calibration และส่องกล้องบันทึกข้อมูลผิวสัมผัสของสีตัวอย่าง แล้วทำการเรียกค้นภาพจากฐานข้อมูล โดยแบ่งการทดลอง เป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 1 จำนวน 14 ตัวอย่าง เป็นสีตัวอย่างที่ผลการสีบค้นรหัสสีตรงกับฐานข้อมูล กลุ่มที่ 2 จำนวน 8 ตัวอย่างที่ผลการสีบค้นรหัสสีไม่มีในฐานข้อมูล ผลการทดลองพบว่าระบบจะแสดงบัญชีรหัสสีที่ตรงกับสีตัวอย่าง และรหัสสีที่มีความใกล้เคียงกับสีตัวอย่างเรียงลำดับความใกล้เคียงจากสูงมาต่ำมาให้ตรวจสอบ จากผลการทดลองพบว่าค่าสีและข้อมูลผิวสัมผัสต่างสามารถใช้ตรวจเปรียบเทียบสีได้ผลทั้ง 2 วิธี และเมื่อทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 คุณสมบัติร่วมกันจะยิ่งเพิ่มความแม่นยำของลำดับในบัญชีการแสดงผล ของการตรวจเปรียบเทียบให้มีความแม่นยำสูงขึ้นกว่าการใช้เพียงวิธีใดวิธีหนึ่ง [15]

5.4 ปี ค.ศ. 2016 Ning Zhang, Et.al. ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์สีรถยนต์ ด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์ภาพตัดขวางด้วยแสง(Optical Coherence tomography: OCT) เป็นวิธีการใหม่ในการรับ ภาพความละเอียดสูงและภาพตัดขวางของสีรถยนต์ในลักษณะที่ไม่ทำลายตัวอย่างและมีความเร็วสูง ในการศึกษา OCT ได้นำไปใช้กับภาพและการวิเคราะห์สีรถยนต์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด(SEM)เป็นข้อมูลอ้างอิง มีการตรวจสอบตัวอย่างสีรถยนต์ 8 ยี่ห้อที่แตกต่างกัน ซึ่งภาพ ของโครงสร้างหลายชั้นที่สร้างขึ้นโดยระบบ OCT นั้นสอดคล้องกับภาพ SEM เพื่อแยกความแตกต่าง ของสีที่มีลักษณะภาพที่คล้ายกัน ซึ่งค่า OCT ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์สีที่ทาสี ผล OCT 2 มิติ และ 3 มิติสามารถแสดงความแตกต่างของสีดั้งเดิมและสีที่มีการซ่อมใหม่ได้ นอกจากนี้ OCT ยังมีชุด คุณสมบัติใหม่ (รวมถึงคุณสมบัติการลดทอนทางแสง คุณสมบัติการกระเจิงกลับและความยาวเส้นทาง เดินแสง) ที่ไม่ได้ครอบคลุมโดยวิธีการทั่วไป ดังนั้น OCT สามารถใช้ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์แบบเดิม เพื่อให้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้นเกี่ยวกับสี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจำแนกความแตกต่างหรือการจับคู่ สีสองสี นอกจากนี้ OCT ยังช่วยให้การวิเคราะห์สีรถยนต์เป็นไปอย่างรวดเร็ว [16]

5.5 ปี ค.ศ. 2017 K.B. Ferreira, Et.al. ได้ทำการศึกษาการแยกความแตกต่างของสีรถยนต์ โดยใช้เทคนิค Hyperspectral Imaging Visible/Near Infrared Spectroscopy (HSI-UV/VIS/NIR) ร่วมกับเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ จำนวน 38 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากรถยนต์ 12 ยี่ห้อ ใน 5 เขตสี ที่ใช้แพร่หลายในประเทศบราซิล คือ สีขาว สีแดง สีเทา สีเงิน และสีดำ เก็บตัวอย่างสีจากรถยนต์ที่ประสบอุบัติเหตุจราจร จากสถานีตำรวจในช่วง เดือนตุลาคม 2015 ถึงเดือน เมษายน 2016 มาทำการวิเคราะห์ พบว่าเทคนิค HSI-UV/VIS/NIRและPCA สามารถแยกความแตกต่างของสีรถยนต์ได้ 100% ในสีขาว สีเงิน สีแดง

และสีเทา ส่วนสีดำแยกได้ 62.5% ซึ่งถือเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย รวดเร็ว ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย ในการตรวจวิเคราะห์ มีประสิทธิภาพเหมาะแก่การใช้งานด้านการพิสูจน์หลักฐาน [17]

5.6 ปี ค.ศ. 2017 Tai-Hung Chen และ Shu-Pao Wu ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์รังควัตถุ ในสีรถยนต์ด้วยเทคนิค direct analysis in real time coupled to Q-orbitrap tandem mass spectrometry (DART-MS) ร่วมกับเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยทำการวิเคราะห์รังควัตถุอินทรีย์ จำนวน 12 ชนิด ในสีรถยนต์ที่นิยมใช้ทั่วไปในประเทศไทยได้หวั่น และทดลองวิเคราะห์สีของรถคู่กรณีในคดีชนแล้วหลบหนี จำนวน 2 คดี ผลการทดลองพบว่าสามารถ ตรวจยืนยันสีที่มีการแลกเปลี่ยนกันของรถคู่กรณีได้ทั้ง 2 คดี ซึ่งเทคนิค FTIR ถือเป็นเทคนิคที่มี ประสิทธิภาพแม่นยำและรวดเร็ว เนื่องจากไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง ประหยัดเวลา และไม่ทำลายวัตถุพยาน [18]







บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย


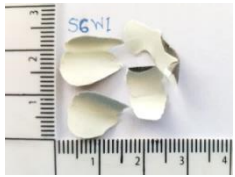






1. วัสดุและอุปกรณ์






1.1 ตัวอย่างสีรถยนต์จากการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวอย่างสีรถยนต์ที่เก็บจากรถยนต์ยี่ห้อ และเฉดสีต่างๆที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย จำนวน 8 ยี่ห้อ (Chevrolet, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Suzuki และ Toyota) 5 เฉดสี (White, Black, silver, Grey และ Red) รวมจำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากกันชนหน้าของรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุจากรถจากสถานีตำรวจและอู่ซ่อมรถในจังหวัดเพชรบูรณ์ รายละเอียดดังนี้

1.1.1 ตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว

ตารางที่ 1 ตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 17 ตัวอย่าง


ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S1WC	Chevrolet	รถยนต์กระบะ	
S2WH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S3WH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S4WI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	

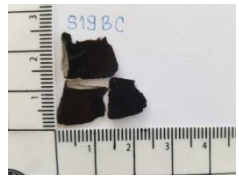


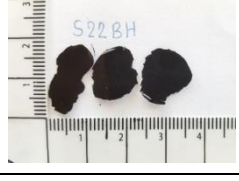




ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S5WI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S6WI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S7WI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S8WMA	Mazda	รถยนต์เก๋ง	
S9WMI	Mitsubishi	รถยนต์เก๋ง	
S10WN	Nissan	รถยนต์เก๋ง	
S11WN	Nissan	รถยนต์เก๋ง	
S12WN	Nissan	รถยนต์เก๋ง	







ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S13WT	Toyota	รถยนต์กระบะ	
S14WT	Toyota	รถยนต์เก๋ง	
S15WT	Toyota	รถยนต์กระบะ	
S16WT	Toyota	รถยนต์กระบะ	
S17WT	Toyota	รถยนต์ตู้	

1.1.2 ตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 15 ตัวอย่าง

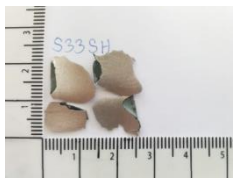



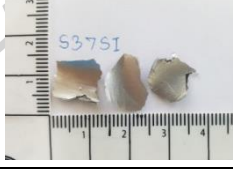


ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S18BC	Chevrolet	รถยนต์เก๋ง	


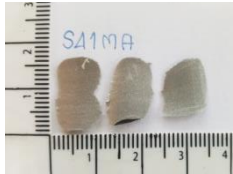


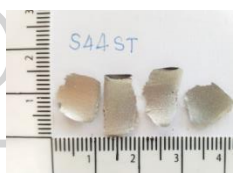
ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S19BC	Chevrolet	รถยนต์ตู้	
S20BH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S21BH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S22BH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S23BH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S24BI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S25BI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S26BMI	Mitsubishi	รถยนต์กระบะ	

ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S27BMI	Mitsubishi	รถยนต์กระบะ	
S28BN	Nissan	รถยนต์เก๋ง	
S29BS	Suzuki	รถยนต์เก๋ง	
S30BT	Toyota	รถยนต์เก๋ง	
S31BT	Toyota	รถยนต์เก๋ง	
S32BT	Toyota	รถยนต์กระบะ	

1.1.3 ตัวอย่างสีรถยนต์สีเงิน




ตารางที่ 3 ตัวอย่างสีรถยนต์สีเงิน ยี่ห้อต่าง ๆ 4 ยี่ห้อ รวมจำนวน 12 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S33SH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S34SH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S35SH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S36SH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S37SI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S38SI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S39SI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	

ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S40SI	Isuzu	รถยนต์กระบะ	
S41SMA	Mazda	รถยนต์เก๋ง	
S42ST	Toyota	รถยนต์เก๋ง	
S43ST	Toyota	รถยนต์กระบะ	
S44ST	Toyota	รถยนต์เก๋ง	




1.1.4 ตัวอย่างสีรถยนต์สีเทา

ตารางที่ 4 ตัวอย่างสีรถยนต์สีเทา ยี่ห้อต่าง ๆ 2 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S45GH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S46GH	Honda	รถยนต์เก๋ง	
S47GT	Toyota	รถยนต์กระบะ	



1.1.5 ตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง

ตารางที่ 5 ตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง ยี่ห้อต่างๆ 3 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ยี่ห้อ	ประเภทรถ	ภาพตัวอย่าง
S48RMI	Mitsubishi	รถยนต์เก๋ง	
S49RN	Nissan	รถยนต์เก๋ง	
S50RS	Suzuki	รถยนต์เก๋ง	

1.2 เครื่องตรวจวิเคราะห์

ตารางที่ 6 เครื่องตรวจวิเคราะห์

อุปกรณ์	แหล่งผลิต	ภาพเครื่องวิเคราะห์
เครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Spectrum 100	บริษัท Perkin Elmer	
เครื่องวัดสี Agilent Cary 60 Spectrophotometer รุ่น Cary 60 UV-Vis	บริษัท Agilent Technologies	

1.3 อุปกรณ์อื่น ๆ

ตารางที่ 7 วัสดุ-อุปกรณ์

วัสดุ-อุปกรณ์	ภาพวัสดุ-อุปกรณ์
มีดผ่าตัด	
กระดาษสำหรับห่อตัวอย่าง	
กระดาษทิชชู	
น้ำกลั่น	

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บตัวอย่างสีรถยนต์

การเก็บตัวอย่างสีรถยนต์ ทำความสะอาดกันชนหน้าบริเวณที่จะทำการเก็บตัวอย่างสีด้วยกระดาษทิชชูชุบน้ำกลั่น เช็ดให้สะอาดและทำการเก็บสีด้วยมีดผ่าตัด ให้ได้ชิ้นสีตัวอย่างมีขนาดประมาณ 1×1 เซนติเมตร ห่อชิ้นสีตัวอย่างด้วยกระดาษเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป

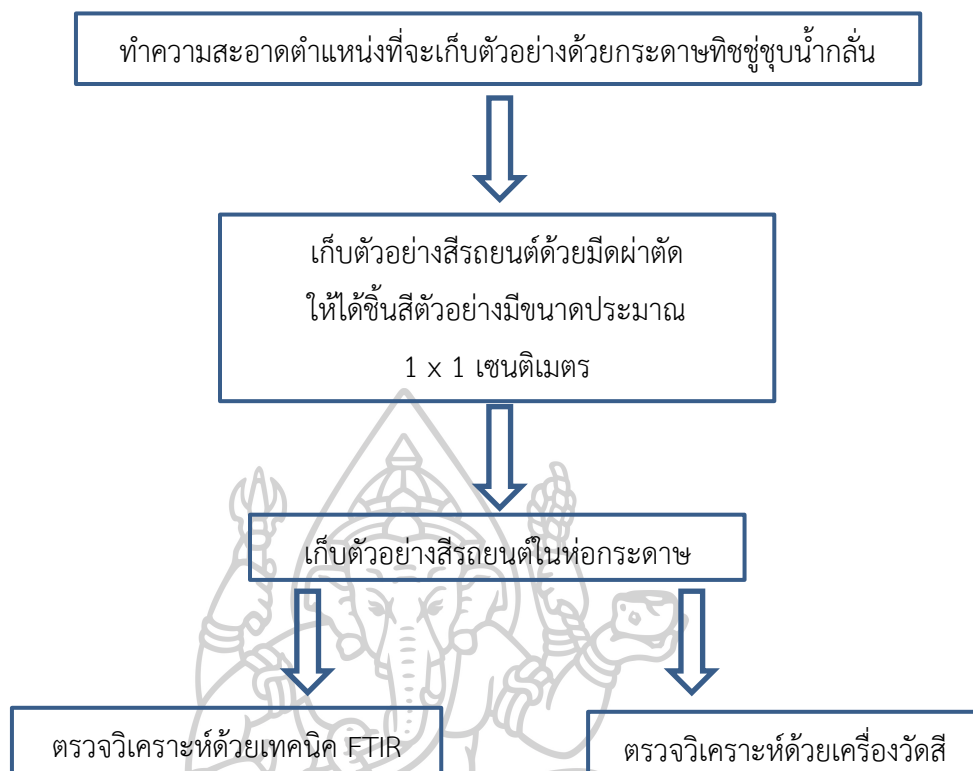
2.2 การเตรียมตัวอย่างสีรถยนต์เพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR

นำตัวอย่างสีรถยนต์ใส่ในแท่นวางตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ ในขั้นต้นทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างสีภายใต้กล้องไมโครสโคป หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ IR Spectrum สภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง FT-IR Spectrometer บริษัท PerkinElmer รุ่น Spectrum 100 โดยทำการสแกนที่ช่วงเลขคลื่น $4000-650 \text{ cm}^{-1}$ resolution 4 cm^{-1} จำนวนสแกน 32 รอบต่อครั้ง โดยบันทึกสเปกตรัมที่วัดได้เป็นค่า Transmittance จะได้สเปกตรัมที่พร้อมสำหรับวิเคราะห์ผลต่อไป

2.3 การเตรียมตัวอย่างสีรถยนต์เพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวัดสี

นำตัวอย่างสีรถยนต์ใส่ในแท่นวางตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ สภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer บริษัท Agilent Technologies รุ่น Cary 60 UV-Vis โดยทำการตรวจวัดที่ช่วงความยาวคลื่น $830-360 \text{ nm}$ และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะวัดดังนี้ Measurement mode : %R, Scanning Range ($\times 10^{-9} \text{ m}$) : $360-830$, Slit width ($\times 10^{-9} \text{ m}$) : 1.0 , Scan Speed : Medium , Standard illuminant D65, Observation Angle : 2° , Color Scale : CIE

แผนผังการทดลอง



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสีรยนต์เพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR
และตรวจวิเคราะห์สีของรยนต์ด้วยเครื่องวัดสี


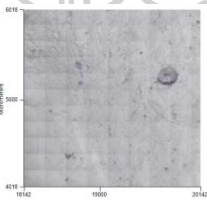
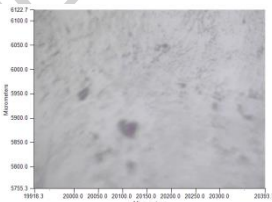

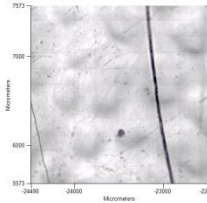
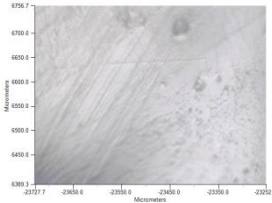


บทที่ 4 ผลการศึกษา

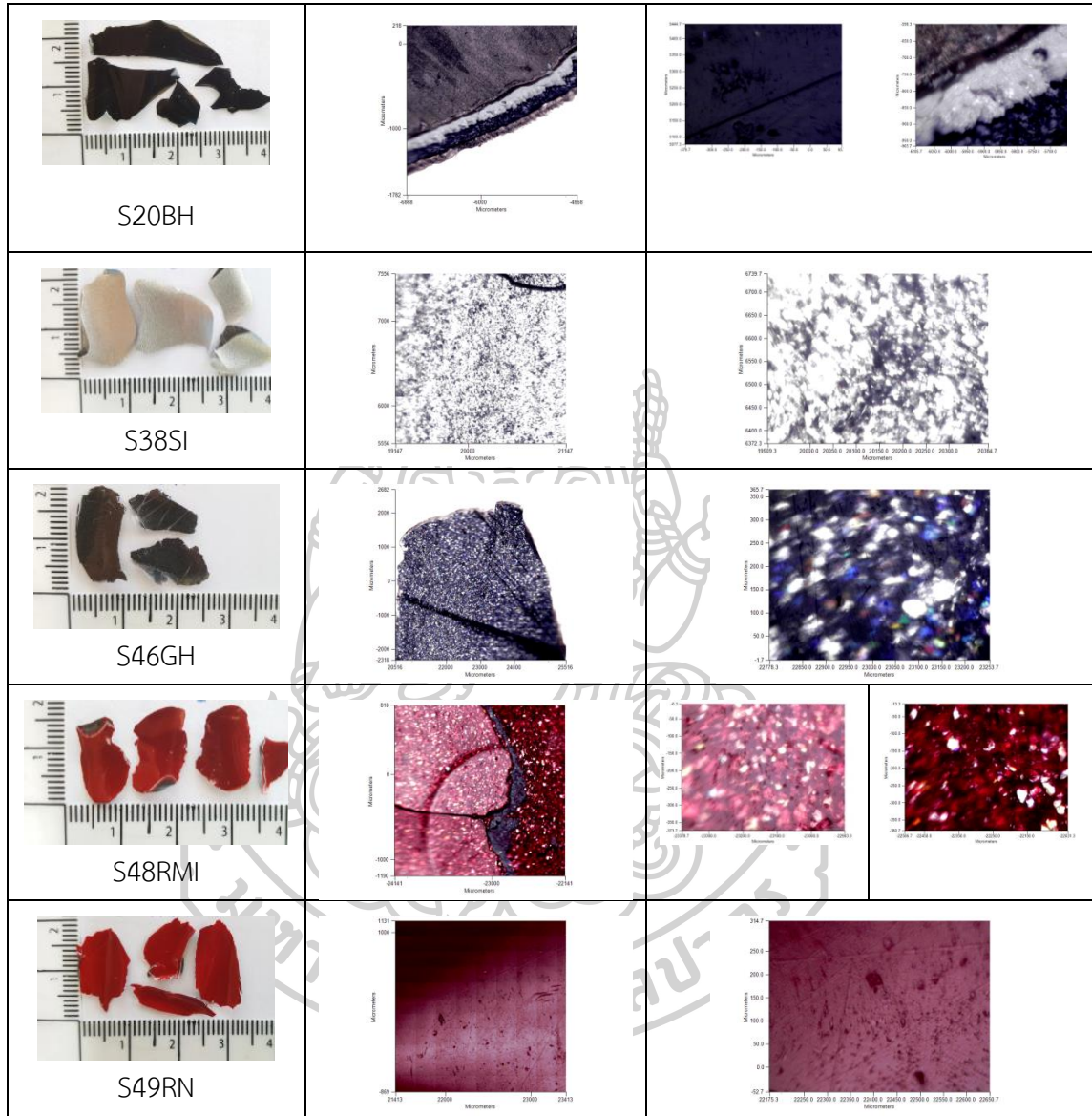
จากการศึกษาตัวอย่างสีรถยนต์ที่เก็บจากรถยนต์ยี่ห้อ และเฉดสีต่างๆที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย จำนวน 8 ยี่ห้อ (Chevrolet, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Suzuki และ Toyota) 5 เฉดสี (White, Black, silver, Grey และ Red) รวมจำนวน 50 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค microscope FTIR และนำตัวอย่างสีรถยนต์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีเพื่อแยกความแตกต่างของตัวอย่างสี

ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ด้วยเทคนิค microscope FTIR ในขั้นต้นจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างสีรถยนต์จากภาพถ่ายกำลังขยายสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปของตัวอย่างสีรถยนต์ 5 เฉดสี จำนวน 7 ตัวอย่าง (S16WT, S17WT, S20BH, S38SI, S46GH, S48RMI, S49RN) พบว่าแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ความเรียบของผิว ความวาว จำนวนชั้นสี เป็นต้น ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยายต่างๆของตัวอย่างสีรถยนต์ จำนวน 7 ตัวอย่าง

สังเกตด้วยตาเปล่า	microscope FTIR (stage view)	microscope FTIR (camera view)
 <p style="text-align: center;">S16WT</p>		
 <p style="text-align: center;">S17WT</p>		

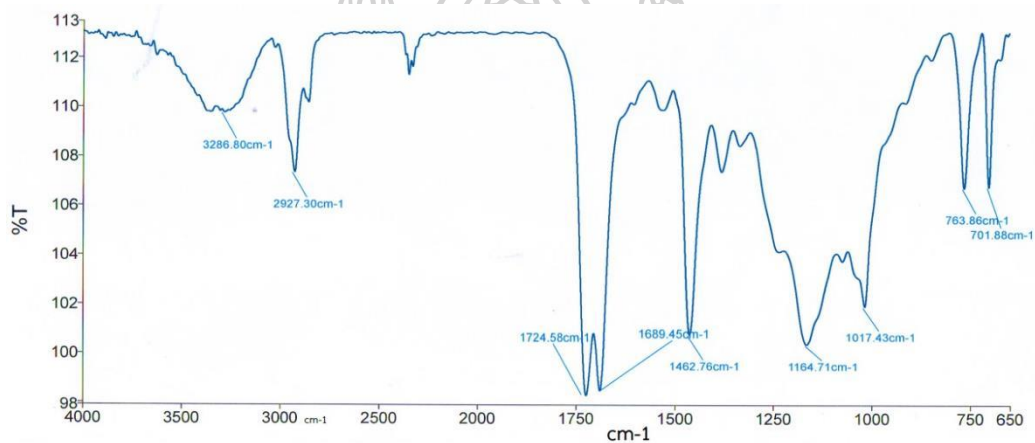
ตารางที่ 8 ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยายต่างๆของตัวอย่างสีรถยนต์ จำนวน 7 ตัวอย่าง (ต่อ)



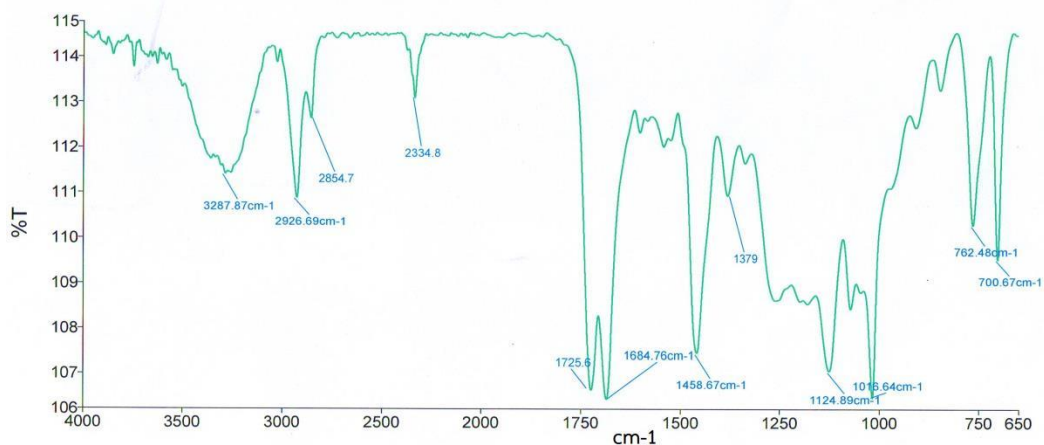
จากตารางที่ 8 ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยายสูงของตัวอย่างสีรถยนต์ จำนวน 7 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายกำลังขยายสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปของสามารถใช้แยกความแตกต่างของตัวอย่างสีในเบื้องต้นได้จากลักษณะทางกายภาพ เช่น สีรถยนต์กลุ่มตัวอย่างสีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT และ S17WT เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นเป็นสีขาวคล้ายกันแต่เมื่อพิจารณา ลักษณะทางกายภาพจากภาพถ่ายกำลังขยายสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปพบว่าความเรียบของพื้นผิว มีความแตกต่างกัน ในทำนองเดียวกันกลุ่มตัวอย่างสีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN

เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นเป็นสีแดงคล้ายกันแต่เมื่อพิจารณาภาพถ่ายกำลังขยายสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปพบว่าลักษณะความเรียบและความวิบวับของสีมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตัวอย่างสีดาร์ห์ตัวอย่างที่ S20BH เมื่อพิจารณาภาพถ่ายกำลังขยายสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปพบว่าปริมาณชั้นสีหลายชั้นมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ จึงสามารถแยกความแตกต่างของสีในเบื้องต้นได้

เมื่อวิเคราะห์ด้วย FTIR spectrum ที่ผิวด้านหน้าของตัวอย่างพบว่าจะปรากฏ IR spectrum ที่ตำแหน่งเลขคลื่นคล้ายกัน โดยได้นำเสนอเป็นตัวอย่างสเปกตรัมดังแสดงในภาพที่ 21-22 ซึ่งภาพที่ 21 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวรหัสตัวอย่างที่ S16WT และภาพที่ 22 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวรหัสตัวอย่างที่ S17WT



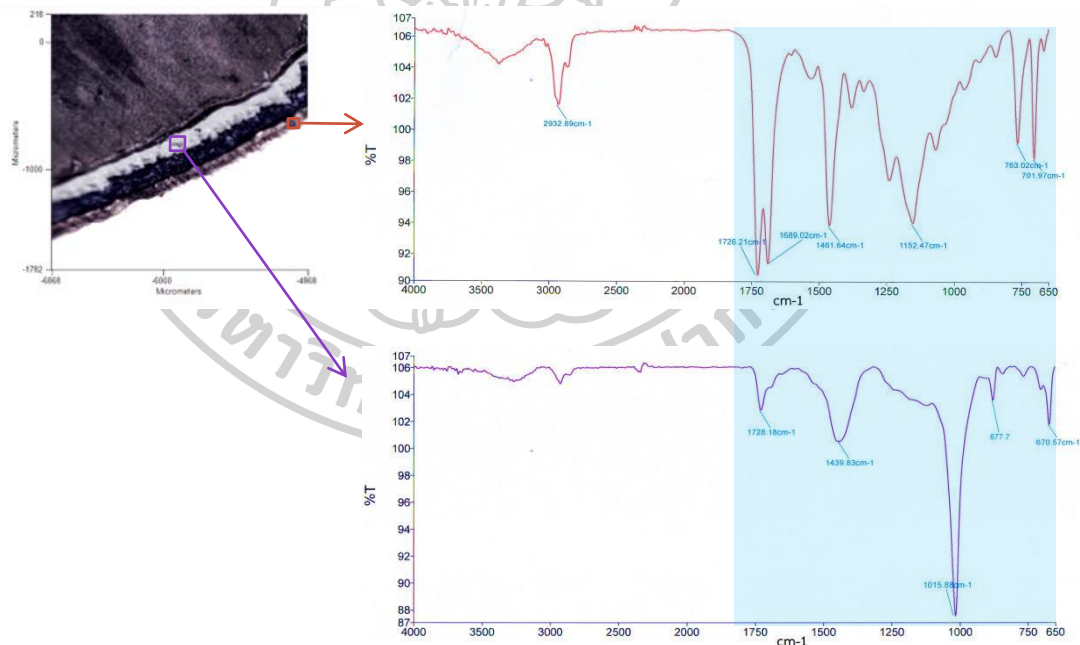
ภาพที่ 21 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT



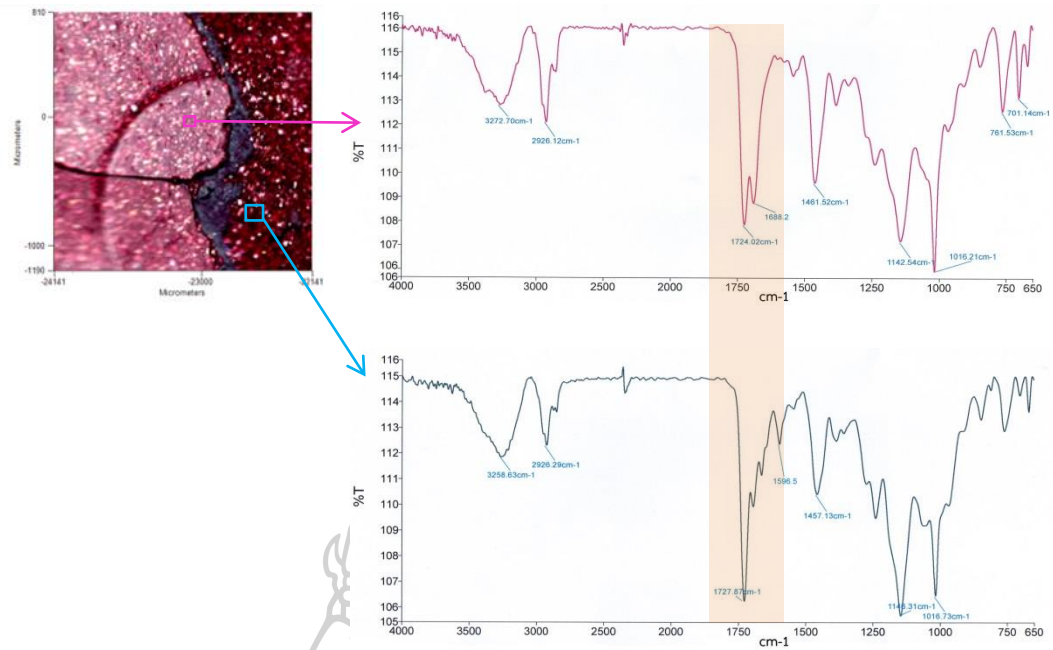
ภาพที่ 22 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S17WT

จากภาพที่ 21 และ 22 สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว รหัสตัวอย่างที่ S16WT และ S17WT จะพบ IR สเปกตรัมที่มีความคล้ายกันคือ ในช่วงเลขคลื่น 1250 – 650 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ C-C , C-O, C-N stretching ที่เลขคลื่น 1462 cm^{-1} ปรากฏพีคของ C-H bending ที่เลขคลื่นประมาณ 2300 cm^{-1} ปรากฏพีคของ C=N stretching และที่เลขคลื่น 2927 cm^{-1} ปรากฏพีคของ C-H stretching นอกจากนี้ยังพบสเปกตรัมที่เลขคลื่น 1750 cm^{-1} ปรากฏพีค C=O stretching ที่เลขคลื่น 2850 cm^{-1} ปรากฏพีคของ C-H stretching และที่เลขคลื่น 3286 cm^{-1} ปรากฏพีคของ N-H stretching สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นจะแสดงพีคของโพลิเมอร์ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการยึดเกาะของสีรถยนต์ เช่น อะครีลิค ยูรีเทน อีพอกซี เป็นต้น

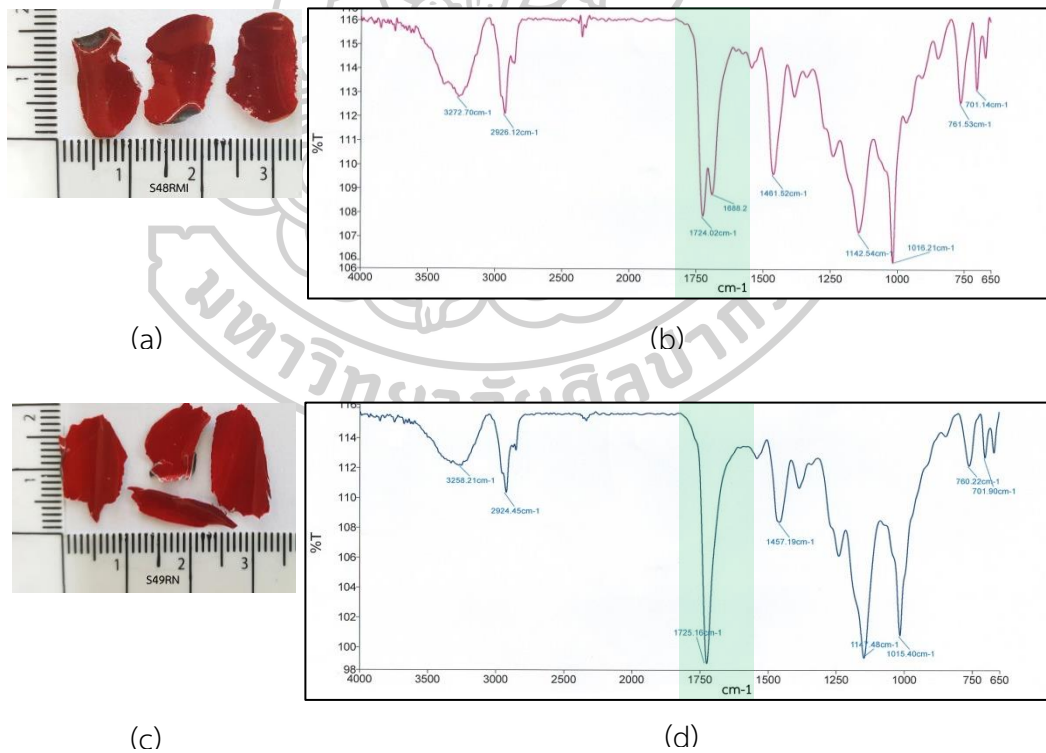
ตัวอย่างสีที่สังเกตภายใต้กล้องไมโครสโคปเห็นลักษณะทางกายภาพมีจำนวนชั้นสีหลายชั้น เช่น ตัวอย่างสีดำรหัสตัวอย่างที่ S20BH และตัวอย่างสีแดงรหัสตัวอย่างที่ S48RMI เมื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วย FTIR ที่ตำแหน่งชั้นสีต่างๆในตัวอย่าง พบว่าแต่ละชั้นสีจะปรากฏ IR สเปกตรัมที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 23-24



ภาพที่ 23 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ รหัสตัวอย่างที่ S20BH



ภาพที่ 24 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI



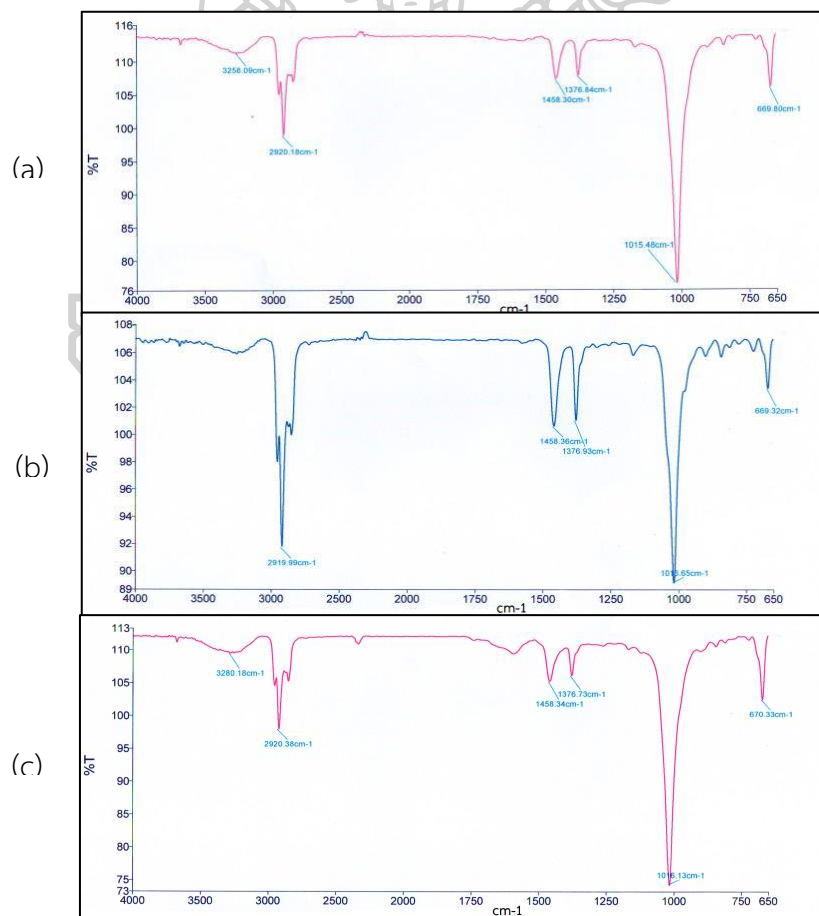
ภาพที่ 25 IR spectrum ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN

(a) ตัวอย่างสีแดงรหัส S48RMI , (b) IR spectrum ของตัวอย่างสีแดงรหัส S48RMI

(c) ตัวอย่างสีแดงรหัส S49RN , (d) IR spectrum ของตัวอย่างสีแดงรหัส S49RN

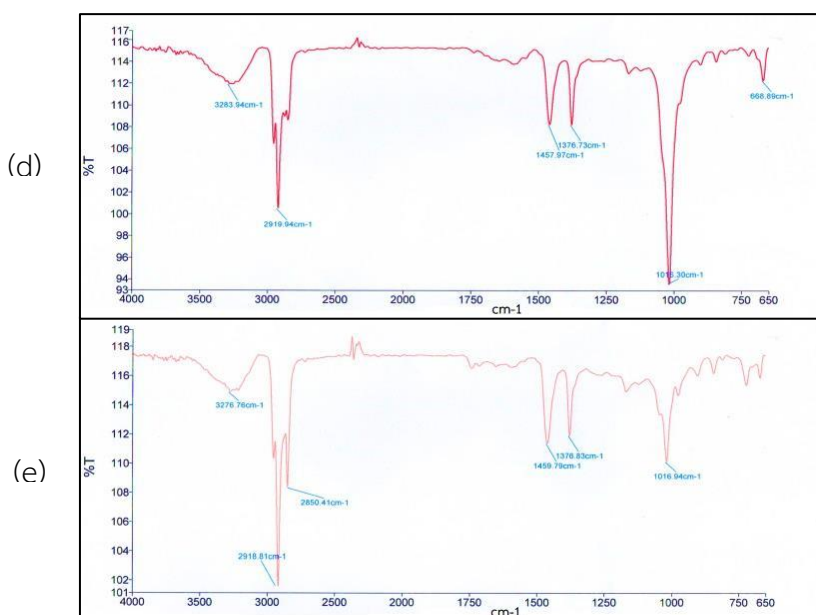
จากภาพที่ 25 แสดงสเปกตรัม IR ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง รหัสตัวอย่างที่ S48RMI และ S49RN ซึ่งจะพบ IR สเปกตรัม ในช่วงเลขคลื่น 1250 – 650 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ C-C , C-O, C-N stretching ที่เลขคลื่น 2900-2850 cm^{-1} ปรากฏพีคของ C-H stretching และที่เลขคลื่น 3500-3000 cm^{-1} ปรากฏพีคของ N-H stretching ซึ่งรูปแบบสเปกตรัมของสองตัวอย่างคล้ายกัน แต่จะปรากฏพีคที่แตกต่างกันในช่วงเลขคลื่นประมาณ 1750 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นของสารประกอบคาร์บอนิลที่ต่างชนิดกัน เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัม IR ของสีเหล่านี้จึงสามารถใช้แยกความแตกต่างของสีได้แม้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม

เมื่อวิเคราะห์ FTIR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์ในทุกเฉดสีโดยเลือกตัวแทนของสีแต่ละกลุ่มที่สุ่ม พบว่าทุกเฉดสีจะปรากฏ IR สเปกตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่นเดียวกันในทุกตัวอย่าง ความเข้มของพีคในแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 IR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์

(a) สีขาว S16WT, (b) สีดำ S20BH, (c) สีเงิน S38SI



ภาพที่ 26 IR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์ (ต่อ)

(d) สีเทาS46GH, (e) สีแดงS48RM1

จากภาพที่ 26 IR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์ทุกเฉดสีจะพบ IR สเปกตรัมในช่วงเลขคลื่นประมาณ 670 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ C-Cl ที่เลขคลื่น 1015 cm^{-1} ปรากฏพิคของ C-O stretching ที่เลขคลื่นประมาณ $1450\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ ปรากฏพิคของ C-H bending ที่เลขคลื่น $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ ปรากฏพิคของ C-H stretching และที่เลขคลื่น 3200 cm^{-1} ปรากฏพิคของ N-H stretching การที่ IR สเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกันในทุกตัวอย่าง แตกต่างกันที่ความเข้มของพิคเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นจะแสดงพิคของโพลิเมอร์สังเคราะห์จำพวกพลาสติก เช่น โพลีโพรพิลีน โพลีเอสเตอร์ เป็นต้น ดังนั้น IR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างได้

เมื่อนำสเปกตรัม IR มาเปรียบเทียบกันจะพบว่าในแต่ละกลุ่มสีตัวอย่างจะปรากฏสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายกันแต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบจุดที่ต่างกันอยู่ในบางช่วงเลขคลื่น ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละสีตัวอย่างได้จากรูปร่างของสเปกตรัม หากปรากฏสเปกตรัมที่เหมือนกันทุกช่วงเลขคลื่นย่อมแสดงว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน [19] การที่สเปกตรัม IR มีความแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าสีรถยนต์จากแต่ละแหล่งการผลิตจะมีองค์ประกอบภายในสีที่ต่างกันจึงมีผลให้สเปกตรัม IR แตกต่างกันเป็นลักษณะเฉพาะของตัวอย่างนั้น ๆ

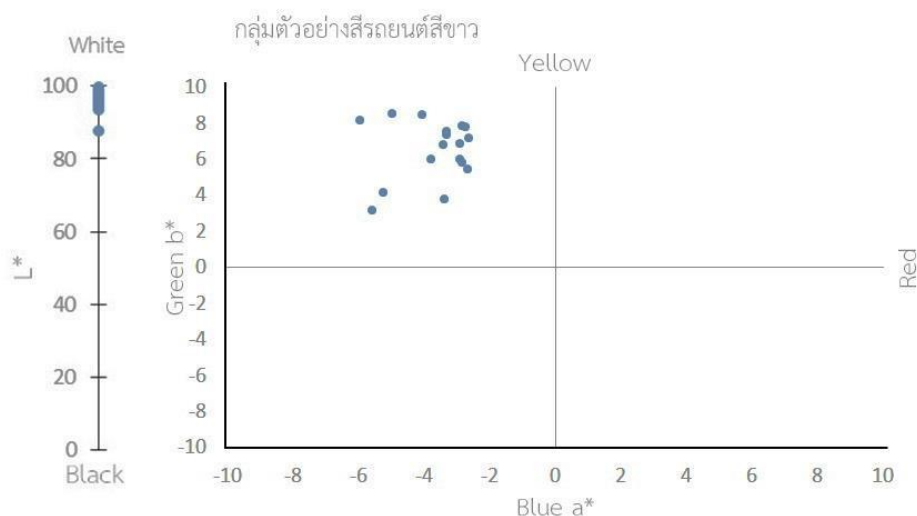
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ 5 เฉดสี ด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งเป็นการวิเคราะห์บนผิวหน้าของตัวอย่างที่ความลึกไม่กี่ไมโครเมตร พบว่า IR สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ประกอบกับการที่สีรถยนต์มีได้หลายชั้นสีขึ้นอยู่กับกระบวนการทำสีของแหล่งผลิต ทำให้เมื่อวิเคราะห์ FTIR ในหนึ่งตัวอย่างจะมี IR สเปกตรัมได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เลือกมาวิเคราะห์ และเมื่อวิเคราะห์ IR สเปกตรัมของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์ทุกเฉดสี พบว่ามี IR สเปกตรัมที่เหมือนกันในทุกตัวอย่าง จึงเป็นการยากที่จะแบ่งแยกที่มาของสีและแหล่งผลิตได้อย่างชัดเจนด้วยเทคนิค FTIR โดยส่วนมาก IR สเปกตรัมที่พบจะแสดงพีคของโพลิเมอร์ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการยึดเกาะของสีรถยนต์ เช่น อะครีลิก ยูรีเทน อีพอกซี เป็นต้น เมื่อนำ IR สเปกตรัมมาพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างสีรถยนต์จากภาพถ่ายกำลังขยายสูงภายใต้กล้องไมโครสโคปจะช่วยให้แยกความแตกต่างของตัวอย่างได้ชัดเจนมากขึ้น ดังนั้นในการใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์สีรถยนต์ด้วยเทคนิค FTIR จึงควรพิจารณาร่วมกับเทคนิคอื่น เพื่อที่จะสามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างสีรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการนำตัวอย่างสีรถยนต์มาทำการตรวจวัดสีด้วยเทคนิค Spectroscopy เครื่องวิเคราะห์รุ่น Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งตรวจวัดค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* ผลจากการวิเคราะห์พบว่าตัวอย่างสีรถยนต์ในแต่ละกลุ่มสีจะให้ค่าสีออกมาแตกต่างกัน กลุ่มสีที่มีความสว่างมากจะมีค่า L^* ที่เข้าใกล้ 100 ส่วนกลุ่มสีที่มีความสว่างน้อยจะมีค่า L^* ที่เข้าใกล้ 0 โดยผลการตรวจวัดสีแสดงในตารางที่ 9-13 ตัวอย่างเช่น ตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวรหัสตัวอย่าง S1WC สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีขาว ค่าการตรวจวัดสีมีค่า L^* เท่ากับ 94.8728 ตัวอย่างสีรถยนต์สีดำรหัสตัวอย่าง S18BC สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีดำ ค่าการตรวจวัดสีมีค่า L^* เท่ากับ 14.5680 ซึ่งค่า L^* ที่ปรากฏมีความสอดคล้องกับสีที่สังเกตด้วยตาเปล่า โดยตัวอย่างสี S1WC มีสีที่อ่อนกว่าตัวอย่างสี S18BC จึงมีค่า L^* มากกว่า เป็นต้น

ตารางที่ 9 ผลการตรวจวัดสีรถยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 17 ตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	สี (สังเกตด้วยตา)	ยี่ห้อ	L*	a*	b*
S1WC	White (ขาว)	Chevrolet	94.8728	-3.3460	3.6913
S2WH	White (ขาว)	Honda	94.9140	-2.8404	7.8134
S3WH	White (ขาว)	Honda	95.6499	-3.2891	7.3208
S4WI	White (ขาว)	Isuzu	96.0702	-2.8731	5.9912
S5WI	White (ขาว)	Isuzu	96.3324	-5.5627	3.1431
S6WI	White (ขาว)	Isuzu	95.3932	-4.9492	8.5378
S7WI	White (ขาว)	Isuzu	95.5074	-5.2152	4.1629
S8WMA	White (ขาว)	Mazda	97.0075	-3.8134	6.0247
S9WMI	White (ขาว)	Mitsubishi	94.0100	-4.0455	8.3933
S10WN	White (ขาว)	Nissan	97.2592	-2.7290	7.6975
S11WN	White (ขาว)	Nissan	96.6478	-2.6753	5.4121
S12WN	White (ขาว)	Nissan	93.6138	-5.9291	8.1497
S13WT	White (ขาว)	Toyota	99.6692	-2.6329	7.1009
S14WT	White (ขาว)	Toyota	98.8361	-2.8271	5.7630
S15WT	White (ขาว)	Toyota	98.3947	-2.8958	6.8247
S16WT	White (ขาว)	Toyota	97.4283	-3.3997	6.7417
S17WT	White (ขาว)	Toyota	87.9501	-3.2943	7.5650

นอกจากความแตกต่างของ ค่า L* แล้ว เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่างจาก ค่า a* และค่า b* จะพบว่าแม้ตัวอย่างสีรถยนต์ที่สังเกตด้วยตาเปล่าจะจัดอยู่ในกลุ่มสีเดียวกัน เช่น กลุ่มสีของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว จำนวน 17 ตัวอย่าง จะมีค่า L* สูง แต่จะมีค่า a* และค่า b* ที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า L* ค่า a*(แกน x) และค่า b*(แกน Y) ดังแสดงในภาพที่ 27-31



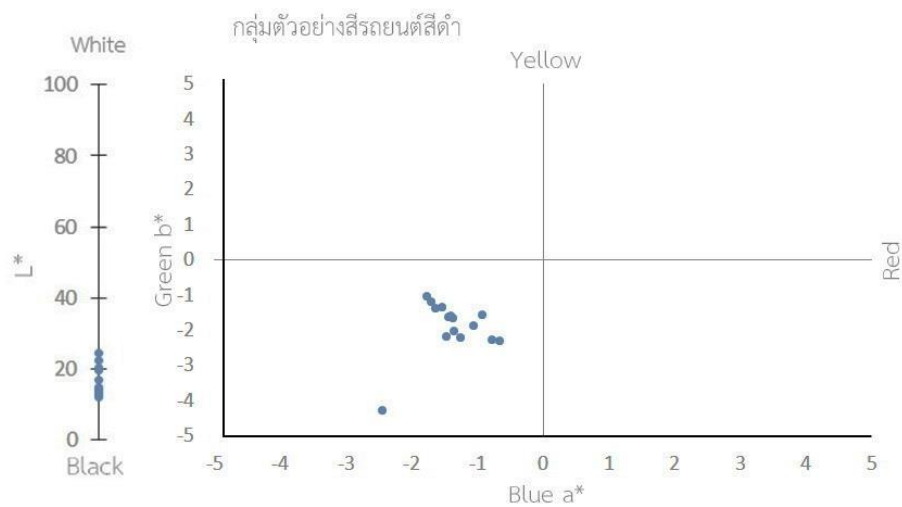
ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกน X) และ b^* (แกน Y) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาว

จากภาพที่ 27 แสดงให้เห็นว่าค่า L^* ของตัวอย่างสีรถยนต์ที่มีสีขาว จะมีค่าสอดคล้องกับค่าความสว่างของสี คือ มีค่าไปทางสีขาว (มีค่า L^* สูง) ค่า a^* (แกน x) และค่า b^* (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเขียว-เหลือง ซึ่งตัวอย่างสีในกลุ่มเดียวกันแต่ละตัวอย่างจะมีค่า L^* ค่า a^* ค่า b^* ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวรหัสตัวอย่าง S5WI และ S6WI สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีขาว ค่าการตรวจวัดสี S5WI มีค่า L^* เท่ากับ 96.3324 ค่า a^* เท่ากับ -5.5627 ค่า b^* เท่ากับ 3.1431 ส่วนตัวอย่างสี S6WI มีค่า L^* เท่ากับ 95.3932 ค่า a^* เท่ากับ -4.9492 ค่า b^* เท่ากับ 8.5378 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าสีเหล่านี้สามารถใช้แยกความแตกต่างของสีได้แม้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม

ตารางที่ 10 ผลการตรวจวัดสีรถยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ ยี่ห้อต่าง ๆ 7 ยี่ห้อ รวมจำนวน 15 ตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	สี (สังเกตด้วยตา)	ยี่ห้อ	L^*	a^*	b^*
S18BC	Black (ดำ)	Chevrolet	14.5680	-0.9197	-1.5819
S19BC	Black (ดำ)	Chevrolet	14.1889	-0.6568	-2.3209
S20BH	Black (ดำ)	Honda	13.0057	-1.4730	-2.1843
S21BH	Black (ดำ)	Honda	12.6438	-1.4336	-1.6363
S22BH	Black (ดำ)	Honda	13.9783	-1.2541	-2.2086

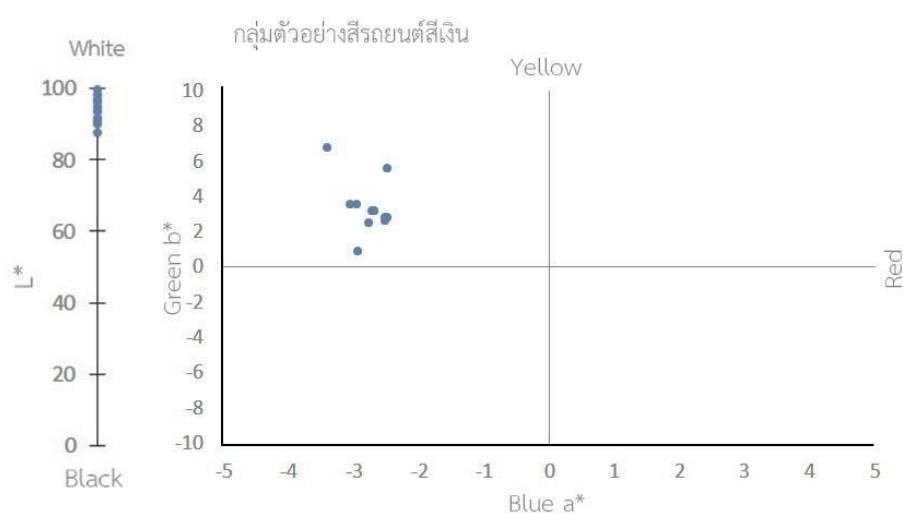
รหัสตัวอย่าง	สี (สังเกตด้วยตา)	ยี่ห้อ	L*	a*	b*
S23BH	Black (ดำ)	Honda	12.4078	-1.0506	-1.8694
S24BI	Black (ดำ)	Isuzu	24.4295	-1.3768	-1.6785
S25BI	Black (ดำ)	Isuzu	19.9567	-1.4088	-1.5952
S26BMI	Black (ดำ)	Mitsubishi	16.9331	-1.6300	-1.3815
S27BMI	Black (ดำ)	Mitsubishi	12.1230	-1.6999	-1.2163
S28BN	Black (ดำ)	Nissan	14.2281	-0.7798	-2.2783
S29BS	Black (ดำ)	Suzuki	13.1213	-1.3584	-2.0500
S30BT	Black (ดำ)	Toyota	19.5391	-1.7654	-1.0506
S31BT	Black (ดำ)	Toyota	20.6047	-1.5401	-1.3503
S32BT	Black (ดำ)	Toyota	22.2597	-2.4424	-4.2753



ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีดำ

ตารางที่ 11 ผลการตรวจวัดสีรถยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรถยนต์สีเงิน ยี่ห้อต่าง ๆ 4 ยี่ห้อ รวมจำนวน 12 ตัวอย่าง

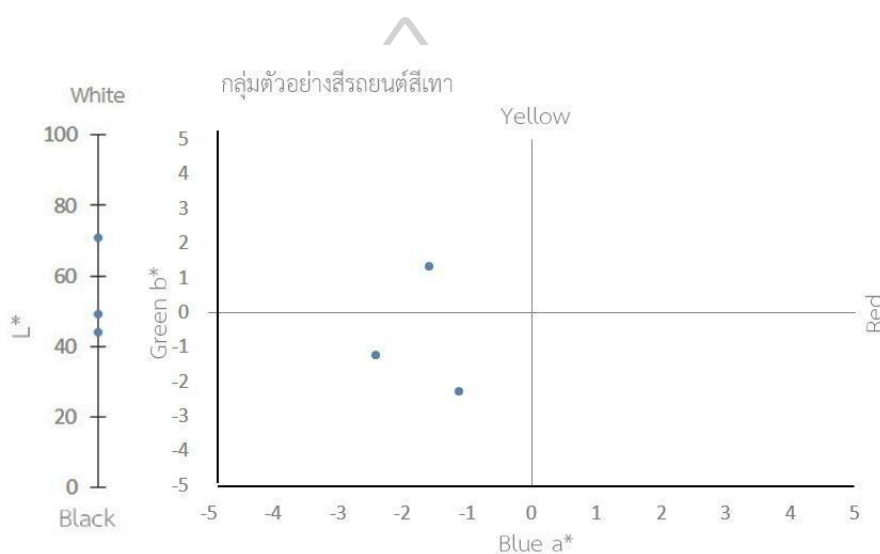
รหัสตัวอย่าง	สี (สังเกตด้วยตา)	ยี่ห้อ	L*	a*	b*
S33SH	Silver (เงิน)	Honda	87.5947	-2.4812	2.7355
S34SH	Silver (เงิน)	Honda	96.6121	-2.9239	0.7715
S35SH	Silver (เงิน)	Honda	90.1781	-2.4972	2.7020
S36SH	Silver (เงิน)	Honda	90.6301	-2.4888	2.5545
S37SI	Silver (เงิน)	Isuzu	94.7403	-2.6528	3.0771
S38SI	Silver (เงิน)	Isuzu	98.5349	-2.6807	3.0559
S39SI	Silver (เงิน)	Isuzu	94.0908	-2.4669	5.4749
S40SI	Silver (เงิน)	Isuzu	96.1801	-2.6673	3.0632
S41SMA	Silver (เงิน)	Mazda	91.5850	-2.9543	3.4763
S42ST	Silver (เงิน)	Toyota	93.5759	-2.7657	2.3346
S43ST	Silver (เงิน)	Toyota	99.6669	-3.3929	6.7043
S44ST	Silver (เงิน)	Toyota	97.0941	-3.0503	3.4797



ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกนX)และ b^* (แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีเงิน

ตารางที่ 12 ผลการตรวจวัดสีรถยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรถยนต์สีเทา ยี่ห้อต่าง ๆ 2 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง

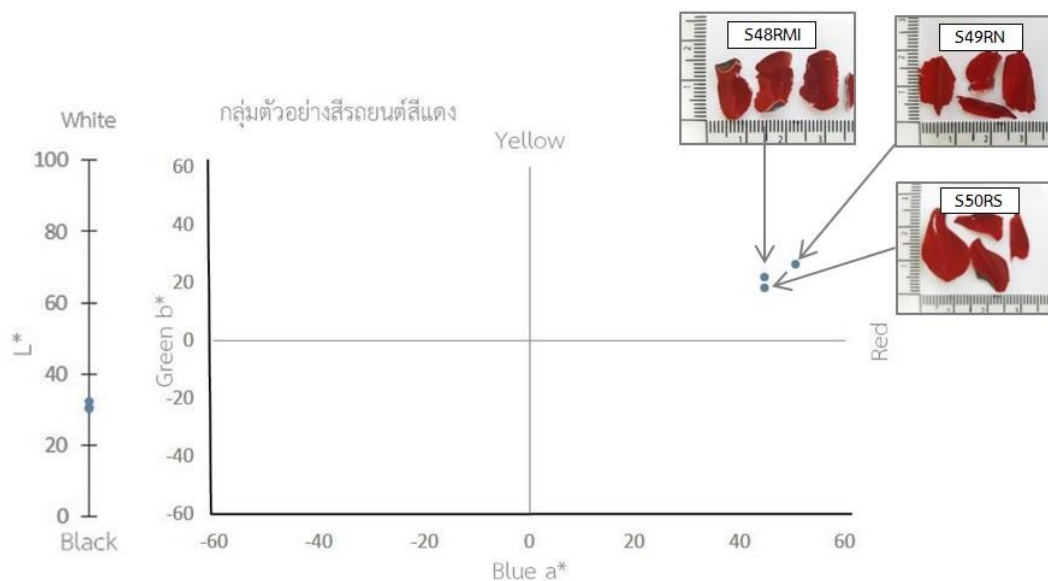
รหัสตัวอย่าง	สี (สังเกตด้วยตา)	ยี่ห้อ	L*	a*	b*
S45GH	Grey (เทา)	Honda	70.9994	-1.5870	1.3040
S46GH	Grey (เทา)	Honda	49.4005	-2.4022	-1.2387
S47GT	Grey (เทา)	Toyota	43.8863	-1.1115	-2.3092



ภาพที่ 30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a*(แกนX)และb*(แกนY) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีเทา

ตารางที่ 13 ผลการตรวจวัดสีรถยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Cary60 UV-Vis Spectrophotometer ของตัวอย่างสีรถยนต์สีแดง ยี่ห้อต่าง ๆ 3 ยี่ห้อ รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	สี (สังเกตด้วยตา)	ยี่ห้อ	L*	a*	b*
S48RMI	Red (แดง)	Mitsubishi	32.4537	44.7428	21.6335
S49RN	Red (แดง)	Nissan	30.6421	50.7467	26.0366
S50RS	Red (แดง)	Suzuki	30.2158	44.8048	17.9234



ภาพที่ 31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกน X) และ b^* (แกน Y) ของตัวอย่างสีรณยนต์สีแดง

จากภาพที่ 31 แสดงให้เห็นว่าค่า L^* ของตัวอย่างสีรณยนต์ที่มีสีแดงจะมีค่าความสว่างของสี คือ มีค่า L^* อยู่ในวงใกล้เคียงกัน ค่า a^* (แกน X) และค่า b^* (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีแดง ซึ่งตัวอย่างสี ในกลุ่มเดียวกันแต่ตัวอย่างจะมีค่า L^* ค่า a^* ค่า b^* ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ตัวอย่างสีรณยนต์สีแดงรหัสตัวอย่าง S48RMI และ S49RN สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีแดง ค่าการตรวจวัดสี S48RMI มีค่า L^* เท่ากับ 32.4537 ค่า a^* เท่ากับ 44.7428 ค่า b^* เท่ากับ 21.6335 ส่วนตัวอย่างสี S49RN มีค่า L^* เท่ากับ 30.6421 ค่า a^* เท่ากับ 50.7467 ค่า b^* เท่ากับ 26.0366 ซึ่งค่าต่างๆจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่จะมีค่าเฉพาะของสีนั้นๆที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าสีเหล่านี้จึงสามารถใช้แยกความแตกต่างของสีได้แม้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม การที่ค่าการตรวจวัดสีมีค่าแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าสีรณยนต์จากแต่ละแหล่งการผลิตจะมีองค์ประกอบภายในสีที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทำสีที่แตกต่างกัน รวมถึงการที่รณยนต์แต่ละคันผ่านการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงมีผลให้ค่าการตรวจวัดสีที่วัดได้แตกต่างกัน

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

1. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ที่เก็บจากรถยนต์ยี่ห้อและเฉดสีต่างๆที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย จำนวน 8 ยี่ห้อ (Chevrolet, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Suzuki และ Toyota) 5 เฉดสี (White, Black, silver, Grey และ Red) รวมจำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากกันชนหน้าของรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุจากรถจากสถานีตำรวจและอยู่ซ่อมรถในจังหวัดเพชรบูรณ์ มาตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และตรวจวัดสีด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เมื่อนำตัวอย่างสีรถยนต์มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แล้วนำผลสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ใช้จำแนกตัวอย่างสีต่างๆ เพื่อบอกถึงหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง พบว่าสีตัวอย่างจะปรากฏสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายกัน สเปกตรัมของตัวอย่างสีรถยนต์กลุ่มสีขาว กลุ่มสีดำ กลุ่มสีเงิน กลุ่มสีเทาและกลุ่มสีแดง เมื่อวิเคราะห์ FTIR ที่ผิวหน้าของสีจะพบสัญญาณในช่วงเลขคลื่น $1750-650\text{ cm}^{-1}$ ได้หลายพีค และพบสัญญาณช่วงเลขคลื่น $4000-2300\text{ cm}^{-1}$ ได้ไม่กี่พีค เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบจุดที่แตกต่างกันอยู่ในบางช่วงเลขคลื่น โดยเฉพาะในช่วงเลขคลื่นประมาณ $1700-650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นย่านรอยพิมพ์นิ้วมือ (Finger print region) จะปรากฏสเปกตรัมที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณขององค์ประกอบต่างๆในตัวอย่างสีซึ่งเป็นผลมาจากส่วนผสมของสีที่ต่างกันของแต่ละแหล่งการผลิต สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นจะแสดงพีคของโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการยึดเกาะของสีรถยนต์ เช่น อะคริลิก ยูรีเทน อีพอกซี เป็นต้น ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละสีตัวอย่างได้จากรูปร่างของสเปกตรัมของสีที่ปรากฏ เมื่อทดลองวิเคราะห์ FTIR ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์พบว่าทุกเฉดสีปรากฏ IR สเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกันในทุกตัวอย่าง แตกต่างกันที่ความเข้มของพีคเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นจะแสดงพีคของโพลีเมอร์สังเคราะห์จำพวกพลาสติก เช่น โพลีโพรพิลีน โพลีเอสเตอร์ เป็นต้น ดังนั้น IR spectrum ของพลาสติกดำส่วนที่เป็นพื้นผิวของกันชนหน้ารถยนต์จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างได้

นอกจากนี้การใช้ microscope FTIR ซึ่ง microscope สามารถถ่ายภาพลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างที่ระดับกำลังขยายสูง ทำให้สามารถใช้เปรียบเทียบได้ แม้ตัวอย่างจะมีปริมาณน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค FTIR สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละตัวอย่างได้โดยพิจารณาจากหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏใน IR สเปกตรัมร่วมกับภาพถ่ายจากกล้อง microscope เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่างและไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยในการวิเคราะห์ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tai-Hung Chen และ Shu-Pao Wu (2017) ที่ได้ศึกษาการตรวจวิเคราะห์รังควัตถุในสีของรถคู่กรณีในคดีชนแล้วหลบหนี ด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้เชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Janina Zieba-Palus. Et.al. (2011) ที่ได้ทำการศึกษาการแยกความแตกต่างของสีรถยนต์โดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy และ Raman Spectroscopy พบว่าเมื่อถ่ายภาพตัวอย่างภายใต้กล้องรามาน ไมโครสโคปจะสามารถเห็นจำนวนชั้นสีในตัวอย่างได้ชัดเจนมากกว่าการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา สารที่เป็นส่วนประกอบของสีรถยนต์บางชนิดตรวจพบได้ในอินฟราเรดสเปกตรัม บางชนิดพบได้ในรามานสเปกตรัม ทั้งเทคนิค IR และ Raman Spectroscopy สามารถใช้วิเคราะห์รังควัตถุในสีรถยนต์ได้

เมื่อนำตัวอย่างสีมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี UV-Vis Spectrophotometer พบว่าความมืดสว่างของสีตัวอย่างจะให้ค่าสีออกมาต่างกัน แม้ว่าตัวอย่างสีรถยนต์นั้นเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเดียวกันก็ตาม โดยพิจารณาจากค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* ของแต่ละตัวอย่าง

จากการทดลองทั้ง 2 เทคนิค จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์ด้วยเทคนิค microscope FTIR ร่วมกับการวัดค่าสี เป็นเทคนิคที่ใช้แยกความแตกต่างของสีได้ การวิเคราะห์ใช้ตัวอย่างน้อย รวดเร็ว เนื่องจากไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่างและไม่ทำลายวัตถุพยาน เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้ในการตรวจเปรียบเทียบระหว่างสีรถยนต์ที่พบในสถานที่เกิดเหตุกับสีของรถยนต์ต้องสงสัยได้ แต่ไม่เหมาะสำหรับการตรวจเปรียบเทียบเพื่อจัดทำฐานข้อมูลสีรถยนต์สำหรับสืบค้นเพื่อระบุสีและยี่ห้อของรถยนต์ เนื่องจากการจัดทำฐานข้อมูลสีรถยนต์ต้องใช้ข้อมูลหลายส่วนประกอบกันและรถยนต์แม้จะเป็นยี่ห้อเดียวกัน รุ่นเดียวกัน สีและชุดการผลิตเดียวกัน แต่เมื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ย่อมเกิดการเสื่อมสภาพและการซีดจางของสีที่ต่างกันไปกลายเป็นลักษณะเฉพาะของรถยนต์คันนั้น ๆ เทคนิคที่ใช้ในการทดลองนี้จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์สีรถยนต์ของรถคู่กรณีและรถยนต์ต้องสงสัยในคดีอุบัติเหตุจราจร

โดยเฉพาะคดีชนแล้วหลบหนีหรือวิเคราะห์สัณยต์ที่พบติดอยู่ในสถานที่เกิดเหตุในคดีต่าง ๆ เพื่อ
ตรวจเปรียบเทียบกับรณยนต์ต้องสงสัยสำหรับเชื่อมโยงรศุกรณ์ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

2. ข้อเสนอแนะ

ที่มาของตัวอย่างควรเก็บตัวอย่างสีจากรณยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุเฉี่ยวชนและเป็นคู่กรณีกันจริง
มาใช้ในการตรวจเปรียบเทียบ วิเคราะห์สีจากตำแหน่งที่มีการแลกเปลี่ยนกันของรศุกรณ์ซึ่งเกิดจาก
การเฉี่ยวชน เพื่อให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้วิเคราะห์ความแตกต่างและ
ยืนยันสีของรศุกรณ์ในเหตุการณ์จริงได้ สามารถนำไปใช้งานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้



รายการอ้างอิง

1. กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, ส.ส. รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม พ.ศ. 2560 2560; Available from: http://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/PDF/2561-07/25610726-analyze.pdf.
2. กองบรรณาธิการ. บุคคลสำคัญ *Edmond Locard* Available from: <http://www.forensicchula.net/FMJ/journal/topic/locard.pdf>.
3. เจริญชัย เหลืองอ่อน, การวัดสีด้วยเทคนิค *UV-VIS-NIR SPECTROPHOTOMETRY*. วารสารเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุ, 2553(59).
4. GOVID. รถยนต์คันแรกของโลก. Available from: <https://board.postjung.com/867721>.
5. บ้านจอมยุทธ. ประวัติศาสตร์รถยนต์ในประเทศไทย. Available from: https://www.baanjommyut.com/library/thaicar_history/index.html.
6. CHOBROD. การแบ่งประเภทรถยนต์ มีแบบไหนบ้าง? ; Available from: <https://chobrod.com/tips-buy-sell/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A0%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C-%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%9A%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87-2965>.
7. Mocyde. ประเภทสีของรถยนต์. 2556; Available from: <http://oemcoating.blogspot.com/>.
8. MGR Online. มาสด้าอวดเทคโนโลยีฟันสีสูตรน้ำ. 2552; Available from: <https://mgronline.com/motoring/detail/9520000071280>.
9. การรับรู้สีของมนุษย์. Available from: https://research.psu.ac.th/files/res_che2553/resche_files/402_appendix.pdf.
10. Meng, G., et al., *Application of a novel cationic iridium (III) complex as a red phosphor in warm white light-emitting diodes*. New Journal of Chemistry, 2015. 39(12): p. 9535-9542.
11. Materials Innovation Center (MIC). *UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER*. Available from: http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=46.

12. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)*. Available from: <http://weboviny.info/ft-ir.html>.
13. Zięba-Palus, J., A. Michalska, and A. Weselucha-Birczyńska, *Characterisation of paint samples by infrared and Raman spectroscopy for criminalistic purposes*. *Journal of molecular structure*, 2011. 993(1-3): p. 134-141.
14. Maric, M., et al., *Characterisation of chemical component migration in automotive paint by synchrotron infrared imaging*. *Forensic science international*, 2013. 228(1-3): p. 165-169.
15. Thoonen, G., et al., *Automatic forensic analysis of automotive paints using optical microscopy*. *Forensic science international*, 2016. 259: p. 210-220.
16. Zhang, N., et al., *Characterization of automotive paint by optical coherence tomography*. *Forensic science international*, 2016. 266: p. 239-244.
17. Ferreira, K., et al., *Evaluation of Hyperspectral Imaging Visible/Near Infrared Spectroscopy as a forensic tool for automotive paint distinction*. *Forensic Chemistry*, 2017. 5: p. 46-52.
18. Chen, T.-H. and S.-P. Wu, *Forensic applications of direct analysis in real time (DART) coupled to Q-orbitrap tandem mass spectrometry for the in situ analysis of pigments from paint evidence*. *Forensic science international*, 2017. 277: p. 179-187.
19. อรรถัย สีสภาพนาพร *Fourier Transform InfraRed Spectrometer*. 2546.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กฤตยา เกตุสุวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	3 สิงหาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2551 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	244/5 หมู่ 10 ตำบลสะเดียง อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ 76000

