



การตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance
Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสี



โดย
นายฉัตรภัทร์ ทิมอรรถ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

วิทยาศาสตร มหาวิทาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated Total
Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EXAMINATION OF AUTOMOTIVE PAINT FLAKES BY ATTENUATED TOTAL
REFLECTANCE FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (ATR-FTIR)
AND COLOR DETERMINATION



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)
Science Silpakorn University
Academic Year 2016
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

55312316 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : เศษสีรถยนต์, ATR-FTIR, CIE L*a*b*

นาย นันณภัทร์ ทิมอรรถ: การตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างของเศษสีรถยนต์ โดยเทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสีแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Color Spectrophotometer) โดยตัวอย่างจะถูกสุ่มชุดหรือลอกเก็บสีจากรถยนต์หลายยี่ห้อจำนวน 33 ตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยเทคนิค ATR-FTIR ที่เลขคลื่นในช่วง IR ช่วงกลาง ($4000-600\text{ cm}^{-1}$) พบว่าสเปกตรัมที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของสาร ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีที่ใช้บนรถยนต์นั้น ในทุกตัวอย่างจะมีค่าของพีคที่ใกล้เคียงกัน ในแต่ละสีที่ได้จากยี่ห้อต่างๆ ดังนั้น วิธีนี้ใช้วิเคราะห์สีอาจจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีรถยนต์ได้ อย่างไรก็ตามตัวอย่างเศษสี มีค่าความแตกต่างกันในค่าสี (ตามระบบ CIE L*a*b*) พบว่าค่าสีที่วัดได้มีความแตกต่างกันในทุกๆ ตัวอย่าง เมื่อวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงวิสิเบิล (360-800 nm) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่าสีที่วัดได้จากเศษสีมาใช้ในการยืนยันรถยนต์ และแหล่งที่มาของรถยนต์ได้ เนื่องจากรถยนต์แต่ละคันมีการใช้งานที่ต่างกัน ดังนั้นเทคนิคการวัดสีจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น และใช้ประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

55312316 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : car's flakes, ATR-FTIR, CIE L*a*b*

MR. Nannapat TIMAD: Examination of automotive paint flakes by Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) and Color determination Thesis advisor : Professor Supachai Supalakhnari, Ph.D.

The purpose of this study was to explore the use of Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) technique and color measurement on spectrophotometer to differentiate automotive paints. Thirty-three samples of automotive paint flake were collected randomly from cars of different brands. The IR spectra of all samples displayed a similar spectral profile in the mid-IR region ($4000-600\text{ cm}^{-1}$). Therefore, the method use in this study may not be applicable in the discrimination of automotive paint. However, the paint samples had different color values (in CIE L*a*b* color space) as measured by the spectrophotometer in the visible region (360-800 nm). It is possible to use the color value of the paint sample to identify the vehicle as the source of the sample.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์การตรวจพิสูจน์เศษสีรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสี ฉบับนี้สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาอย่างดีจากอาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษา แนะนำ รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นการเก็บตัวอย่างจนถึงการทดลองในห้องปฏิบัติการของวิทยานิพนธ์นี้ ให้มีความสมบูรณ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยมีความรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมากจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ที่กรุณาสละเวลาในการให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับรายละเอียดทางการทดลอง ในทุกขั้นตอนของการวิจัยครั้งนี้ และการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์มาตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงเจ้าของอุ้งรถยนต์ที่ให้การสนับสนุนด้านตัวอย่างเศษสีรถยนต์ทุกท่าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและปลูกฝังให้เห็นคุณค่าของการศึกษา รวมถึงผู้สนับสนุนท่านอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมิได้เอ่ยนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



นันทภัทร์ ทิมอรรถ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฌ |
| สารบัญภาพ..... | ญ |
| บทที่1 บทนำ..... | 1 |
| 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 3 สมมติฐานของการวิจัย..... | 2 |
| 4 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 5. นิยามศัพท์เฉพาะ..... | 2 |
| 6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... | 3 |
| บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 1 ทฤษฎี..... | 4 |
| 1.1 การกระจายตัวของทรัพยากรมนุษย์..... | 4 |
| 1.2 ระบบการขนส่งมวลชน..... | 4 |
| 1.3 ความหมายของอุบัติเหตุ..... | 5 |
| 1.4 อุบัติเหตุทางการขนส่ง..... | 5 |
| 1.5 ประเภทอุบัติเหตุจากการจราจร..... | 5 |
| 1.6 สาเหตุของอุบัติเหตุในการจราจรทางบก..... | 6 |

| | |
|---|----|
| 1.7 งานพิสูจน์ทางเคมีด้านนิติวิทยาศาสตร์..... | 9 |
| 1.8 การวิเคราะห์โดยอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy)..... | 10 |
| 1.9 เทคนิค Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy (ATR)..... | 12 |
| 1.10 การวิเคราะห์โดยเทคนิค CIE L*a*b* Color Spectrophotometer..... | 14 |
| 1.11 สีพ่นรถยนต์..... | 16 |
| 1.12 ประเภทของสีพ่นรถยนต์..... | 17 |
| 1.13. การแห้งตัวของสี..... | 17 |
| 2. บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 18 |
| บทที่3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... | 21 |
| 1 อุปกรณ์ สารเคมี และตัวอย่างในการวิเคราะห์..... | 21 |
| 1.1 ตัวอย่างสีรถยนต์..... | 21 |
| 1.2 วิธีการทดลอง..... | 25 |
| บทที่4 ผลการทดลอง..... | 29 |
| 1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล..... | 29 |
| 1.1 การวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรถยนต์โดยเทคนิค ATR-FTIR..... | 29 |
| 1.2 การวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรถยนต์โดยเทคนิค CIE L*a*b* Color..... | 36 |
| บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 40 |
| 1 สรุปผลการทดลอง..... | 40 |
| 2 ข้อเสนอแนะ..... | 41 |
| รายการอ้างอิง..... | 42 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 44 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 สถิติการเกิดอุบัติเหตุจากบุคคล..... | 7 |
| ตารางที่ 2 สถิติการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม..... | 8 |
| ตารางที่ 3 สถิติการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากอุปกรณ์ในการขับขี่..... | 8 |
| ตารางที่ 4 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ..... | 13 |
| ตารางที่ 5 วัสดุอุปกรณ์..... | 21 |
| ตารางที่ 6 ตัวอย่างสียรถยนต์..... | 22 |
| ตารางที่ 7 ภาพตัวอย่างเศษสียรถยนต์..... | 23 |
| ตารางที่ 8 การตั้งค่าเครื่อง ATR-FTIR..... | 25 |
| ตารางที่ 9 การวางตัวอย่างเครื่อง ATR-FTIR..... | 26 |
| ตารางที่ 10 การตั้งค่าเครื่อง Agilent Carry 60 UV-Vis Spectrophotometer..... | 26 |
| ตารางที่ 11 การวางตัวอย่างเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer..... | 27 |
| ตารางที่ 12 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR..... | 33 |
| ตารางที่ 13 ค่า L^* a^* b^* ของตัวอย่างเศษสียรถยนต์..... | 37 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ 1 แสดงการทำงานของเครื่อง IR สเปคโตรมิเตอร์ | 10 |
| ภาพที่ 2 แสดงการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล..... | 11 |
| ภาพที่ 3 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัม | 11 |
| ภาพที่ 4 การเดินทางของ IR beam ภายในระหว่างตัวอย่างกับ crystal | 12 |
| ภาพที่ 5 แสดงการทำงานของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer | 15 |
| ภาพที่ 6 L*-a*-b* Chart ของ Hunter Lab..... | 16 |
| ภาพที่ 7 สเปกตรัม ATR-FTIR ระหว่าง %T (Transmittance) กับความยาวคลื่น (cm ⁻¹) ของเศษสีรถยนต์สีบรอนด์เงิน (S1-1)..... | 30 |
| ภาพที่ 8 สเปกตรัม ATR-FTIR ระหว่าง %T (Transmittance) กับความยาวคลื่น (cm ⁻¹) ของเศษสีรถยนต์กลุ่มสีแดง ต่างผู้ผลิตคือ Datson (R1), Mitsubishi-lancer(R2), Honda-city (R3), Hyundai (R4)..... | 31 |
| ภาพที่ 9 สเปกตรัม ATR-FTIR ระหว่าง %T (Transmittance) กับความยาวคลื่น (cm ⁻¹) ของเศษสีรถยนต์ต่างเฉดสีคือ สีขาว Isuzu (W4) สีบรอนด์ทอง Honda civic (G3) สีบรอนด์เงิน Toyota (S1) สีน้ำเงิน Nissan-bigM (DB1) สีเขียว Honda city (GR2) และสีแดง Honda city (R3)..... | 32 |
| ภาพที่ 10 ภาพสเปกตรัมตามระบบ CIE L*a*b* แบบสามมิติของเศษสีรถยนต์เฉดสีดำ คือ Honda accord (B1-0) มีค่า L* = 15.0358, a* = -0.3184, b* = -4.0267, Honda city (B1-1) มีค่า L* = 16.9209, a* = -0.5880, b* = -3.2698, Isuzu (B2-0) มีค่า L* = 26.8767, a* = -1.3841,..... | 39 |

บทที่ 1 บทนำ

1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการคมนาคมในประเทศไทยนั้นยังมีปัญหาอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรที่หนาแน่นขึ้น ทำให้จำนวนของรถยนต์ภายในประเทศมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละปี ปัญหาที่ตามมาอย่างเลี่ยงมิได้คือการจราจรที่ติดขัด เพราะจำนวนถนนที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณรถยนต์ ที่มีนั่นเอง นอกจากนี้ยังคงพบว่าการจราจรในพื้นที่ต่างๆ ยังคงมีปัญหาการจราจรติดขัดอยู่มาก และส่งผลกระทบต่อการทำงานเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่ๆ ด้านกฎหมายที่มีนั้นไม่ได้เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาอย่างแท้จริง เป็นเพียงการบังคับใช้กฎหมายเท่านั้น แต่ไม่มีการเคารพกฎจราจรจากผู้ขับขี่ รวมถึงการประชาสัมพันธ์ถึงกฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ ไม่ทั่วถึง จึงทำให้ปัญหาการจราจรจึงไม่หมดไปและทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาคืออุบัติเหตุทางการจราจรซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ประเทศไทยมีอัตราการบาดเจ็บบนท้องถนนอยู่ที่อันดับต้นของเอเชีย

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าอุบัติเหตุทางจราจรนั้นไม่สามารถลดลงได้อย่างเป็นที่น่าพอใจจากการใช้กฎหมายจราจร เพราะผู้ขับขี่ไม่มีวินัยร่วมกับการฝ่าฝืนกฎจราจรอยู่เสมอๆ ดังนั้นวิทยาการทางวิทยาศาสตร์จึงถูกนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์ เพราะการตรวจพิสูจน์นั้นมีความน่าเชื่อถือ และเป็นสากล จึงทำให้นิติวิทยาศาสตร์มีความสำคัญในการตรวจพิสูจน์เมื่อเกิดอุบัติเหตุทางการจราจร นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการสืบสวนสอบสวนในการหาตัวผู้กระทำผิดมารับโทษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ปัจจุบันการวิเคราะห์ทางนิติวิทยาศาสตร์ถูกพัฒนามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเทคนิควิธีการเพื่อตอบสนองต่อความหลากหลายของการเกิดเหตุ

อุบัติเหตุทางจราจรนั้นจะทำการตรวจวิเคราะห์ชิ้นส่วนของรถยนต์ในจุดเกิดเหตุ เช่น เศษกระจก เศษสีรถยนต์ หรือชิ้นส่วนต่างๆ ที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ แต่วัตถุพยานบางอย่างไม่สามารถเก็บรักษาได้นานจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว จึงทำให้เกิดเทคนิคใหม่ๆ อย่างต่อเนื่อง การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการแนะนำวิธีการวิเคราะห์วัตถุพยานจากอุบัติเหตุทางจราจร โดยทำการเปรียบเทียบเศษสีรถยนต์โดยเทคนิค Spectroscopy คือ Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และ CIE L*a*b* Color Spectrophotometer เพื่อเป็นการบอกความแตกต่างของเศษสีรถยนต์ในแต่ละคัน และยังไม่เป็นการทำลายวัตถุพยานซึ่งทางงานวิจัยนี้คาดว่าจะประโยชน์ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างเศษสีรถยนต์โดยใช้เครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ในการตรวจวิเคราะห์เศษสีรถยนต์

2.2 เพื่อศึกษาความแตกต่างของสีรถยนต์ที่ไม่สามารถแบ่งแยกได้ด้วยตา จากเศษสีรถยนต์ โดยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer

3 สมมติฐานของการวิจัย

3.1. สามารถแยกความแตกต่างของเศษสีรถยนต์ โดยใช้เทคนิค Spectroscopy คือ ATR-FTIR และ CIE L*a*b* Color Spectrophotometer โดยเปรียบเทียบสเปกตรัมที่ต่างกันได้

3.2. สามารถจัดกลุ่มสีหรือบอกความเชื่อมโยงถึงผู้ผลิตสีพ่นรถยนต์ โดยการเปรียบเทียบสเปกตรัมได้

4 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาความแตกต่างของตัวอย่างเศษสีรถยนต์จำนวน 33 ตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมจากเครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy(ATR-FTIR) ที่เลขคลื่น $4000-600\text{ cm}^{-1}$ และความต่างของสีด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 830-360 nm เพราะรถยนต์ที่มีการใช้งานที่ต่างกันจะมีสีที่ต่างกัน

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

สีพ่นรถยนต์ (Automotive paint) หมายถึงผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่มีองค์ประกอบของสีและตัวทำละลายในการใช้พ่นตัวถังรถยนต์

Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) หมายถึง เทคนิคทางเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบถึงหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของสารนั้นๆ โดยอาศัยการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งให้เกิดการสั่นของพันธะโมเลกุล

Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer หมายถึง เครื่องมือทางเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการการสะท้อนแสง ของสารในช่วงรังสียูวีและแสงขาวที่ส่องผ่านได้

6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

6.1 สามารถใช้เทคนิค Spectroscopy คือ Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และ Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ในการตรวจวิเคราะห์เศษสีรถยนต์ได้

6.2 สามารถนำวิธีการตรวจนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 ทฤษฎี

1.1 การกระจายตัวของทรัพยากรมนุษย์

การกระจายตัวของประชากรมนุษย์นั้นเป็นเรื่องสำคัญ เพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากประชากรบางบริเวณอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตนั่นเอง พบว่าบริเวณที่ประชากรหนาแน่นมักเป็นแหล่งที่มีความมั่นคงทางอาหาร ภูมิอากาศที่เหมาะสม เช่น บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ ภูเขาไฟเก่า และ ริมทะเลเป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องมีการคมนาคมที่สะดวกสบาย และเป็นศูนย์กลางทางการค้า แหล่งอุตสาหกรรม ส่วนบริเวณที่มีประชากรเบาบางจะเป็นพื้นที่ที่ทำอาหารค่อนข้างลำบากเช่น พื้นที่ทะเลทราย ทุ่งหญ้า หรือภูมิอากาศไม่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่ จึงมีผลต่อความเป็นเมืองและชนบท

จากการเพิ่มประชากรและการกระจายตัวของประชากรจะมีผลโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรเราสามารถมองได้ชัดเจนว่าคนเหล่านี้ต้องการปัจจัยสี่ ซึ่งเป็นความต้องการพื้นฐานของมนุษย์เพื่อการดำรงชีพ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนย่อมต้องการทรัพยากรมากใช้มากขึ้น มองเห็นได้ชัดเจนจากประเทศที่กำลังพัฒนาทั้งหลาย[1]

1.2 ระบบการขนส่งมวลชน

การเพิ่มขึ้นของประชากรและความแตกต่างในการดำรงชีวิต ระหว่างเมืองและชนบททำให้เกิดการโยกย้ายจากชนบทเข้าสู่เมือง จึงทำให้เมืองโตอย่างรวดเร็วและทำให้โครงสร้างพื้นฐานของสังคมรองรับไม่ทันจึงก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ระบบการขนส่งมวลชน การจราจรติดขัด มลภาวะต่างๆ เกิดความเหลื่อมล้ำทางสังคม รวมถึงความปลอดภัยในชีวิตเป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนที่ดีเพื่อลดการเกิดปัญหาเหล่านี้ตามมา สำหรับในประเทศไทยนั้นมีประชากรได้ย้ายถิ่นฐานเข้ามาในเมืองมากขึ้นเพื่อเป็นการตอบสนองด้านคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น จึงทำให้มีประชากรหนาแน่นขึ้นในทุกๆ ปีและรวดเร็วจึงส่งผลให้สภาพแวดล้อมของเมืองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน คือเน้นการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมเป็นหลักทำให้เมืองใหญ่ๆ มีปัญหาด้านการจราจรเพราะระบบขนส่งมวลชนพัฒนาได้ไม่ทันตามความต้องการของประชากร ถึงแม้ว่าจะมีระบบการขนส่งแบบรางแต่ก็ยังมีปัญหาด้านการจราจร และไม่มีที่ท่าว่าจะลดลงจึงทำให้เกิดความหนาแน่นมากขึ้นและปัญหาที่ตามมาคือ อุบัติเหตุทางการจราจรนั่นเอง[2]

1.3 ความหมายของอุบัติเหตุ

พจนานุกรม ฉบับเฉลิมพระเกียรติ พ.ศ. 2530 ให้ความหมายของอุบัติเหตุว่า "เหตุที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิดหรือความบังเอิญ"

สารานุกรมเสรี วิกิพีเดีย ให้ความหมายของอุบัติเหตุว่า “เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่คาดหวังและไม่ตั้งใจในเวลาและสถานที่แห่งหนึ่ง เกิดขึ้นโดยไม่มีสิ่งบอกเหตุล่วงหน้าแต่มีสาเหตุและส่งผลกระทบที่สามารถชี้วัดได้”

อุบัติเหตุเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิดและทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตของมนุษย์เช่น รถชน ตกตึก มีดบาด ไฟลวก ไฟฟ้าช็อต โดนพิษ เป็นต้นหรือเกิดจากการลืมของความปลอดภัย ความประมาท การละเลย ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ด้วยเช่นกันเพราะไม่สามารถควบคุมได้ โดยอุบัติเหตุสามารถแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่มใหญ่

1 อุบัติเหตุจากการขนส่ง (Transport accidents) ได้แก่ อุบัติเหตุทางบก อุบัติเหตุทางน้ำ อุบัติเหตุทางอากาศ อุบัติเหตุจากการขนส่งอื่น และที่ไม่ระบุ

2 สาเหตุภายนอกอื่น ที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุได้แก่ การถูกวัตถุกลไกไม่มีชีวิต การถูกกระทำจากสิ่งมีชีวิต อุบัติเหตุจากการตกน้ำรวมถึงการจมน้ำ อุณหภูมิ การถูกความร้อนและสารร้อน เป็นต้น

1.4 อุบัติเหตุทางการขนส่ง

อุบัติเหตุทางการขนส่งนั้นไม่ได้จำกัดเฉพาะการขนส่งทางบกเท่านั้น ยังรวมไปถึงการคมนาคมทางน้ำ และอากาศอีกด้วย และอุบัติเหตุสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะการจราจรนั้นมีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ถ้าผู้ขับขี่โดยสารนั้นประมาทและเลินเล่อ ขาดความระมัดระวัง ส่งผลให้เกิดความสูญเสียอย่างไม่คาดฝันจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น รวมถึงการเพิกเฉยต่อกฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ เช่น กฎจราจรที่บุคคลสัญจรจำเป็นต้องเคารพกฎจราจร ไม่เช่นนั้นจะทำให้ประสบอุบัติเหตุได้ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อมก็มีส่วนช่วยให้เกิดอันตรายจากการจราจรได้เช่นกัน หรือสภาพร่างกายการ และความไม่สมบูรณ์ของร่างกาย หรือความบกพร่องของจิตใจ ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้เช่นกัน ถ้าบุคคลนั้นๆ มีภาวะจิตใจที่ไม่ปกติสมบูรณ์ จนกระทั่งสภาพยานพาหนะ ความเสื่อมสภาพของยานพาหนะถ้าละเลยการตรวจสอบ**ด**

1.5 ประเภทอุบัติเหตุจากการจราจร

ของอุบัติเหตุทางการจราจรไม่ได้มีแค่จราจรทางบกอย่างเดียวเท่านั้น การจราจรมีทั้งทางบก อากาศ และอวกาศ ซึ่งสามารถบ่งออกได้เป็น

อุบัติเหตุจราจรทางบก คืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการจราจรทางถนนเช่น รถจักรยานยนต์มอเตอร์ไซด์ หรือรถยนต์ส่วนบุคคล นอกจากนี้ยังรวมไปถึงรถยนต์โดยสารต่างๆอีกด้วย

อุบัติเหตุจราจรทางน้ำ คืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการจราจรทางน้ำ ซึ่งหมายถึงเรือเป็นหลัก เช่น เรือโดยสาร เรือขนส่งสินค้า

อุบัติเหตุจราจรทางอากาศ คืออุบัติเหตุทางการจราจรที่เกิดขึ้นจากเครื่องบิน

อุบัติเหตุจราจรทางอวกาศ คืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในอวกาศเช่น ยานอวกาศ กระสวยอวกาศ และสถานีอวกาศ

อุบัติเหตุจราจรอื่นๆ คืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการจราจรที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับทางบก ทางน้ำ อากาศ และ อวกาศ เช่น รถไฟฟ้า รถไฟใต้ดิน โดยอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในการสำรวจจะ ต้องมีความระมัดระวังอยู่เสมอ

1.6 สาเหตุของอุบัติเหตุในการจราจรทางบก

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในการจราจรทางบกนั้น สามารถเกิดขึ้นได้จากหลากหลายสาเหตุด้วยกัน โดยสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทางจราจรมากที่สุดคือ การขับเร็ว การขับระยะกระชั้นชิด และอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในการจราจรทางบกนั้นจะมีสาเหตุที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็นสาเหตุจากบุคคล สาเหตุจากสิ่งแวดล้อม และสาเหตุจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับขี่

สาเหตุจากบุคคล เกิดจากตัวของบุคคลที่ขับขี่รถยนต์พาหนะ ผู้โดยสาร คนเดินทาง เช่น การเมาสุรา การเจ็บป่วยฉุกเฉิน ไม่คาดเข็มขัดนิรภัย ไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร การแข่ง การใช้สัญญาณไฟไม่ถูกต้อง เป็นต้น

สาเหตุจากสิ่งแวดล้อมคือ สภาพแวดล้อมทางการจราจรนั้นมาเอื้ออำนวยต่อการสำรวจ หรือเกิดการบกพร่อง เช่น ถนนชำรุด ถนนมืด มีฝนตก หมอกควัน ระบบไฟจราจรขัดข้อง ไม่มีป้ายสัญญาณไฟ เป็นต้น

สาเหตุจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับขี่ คือสิ่งที่ใช้ในการสำรวจเกิดการขัดข้องทำให้เกิดอุบัติเหตุ คือ กระจกแตก ยางแตก ห้ามล้อชำรุด ระบบไฟฟ้าขัดข้อง ระบบเลี้ยวขัดข้อง ระบบเชื้อเพลิงชำรุด เป็นต้น[3]

ตารางที่ 1 สถิติการเกิดอุบัติเหตุจากบุคคล

| สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | (2011) | (2012) | (2013) | (2014) | (2015) |
| สาเหตุจากบุคคล | 46,244 | 45,036 | 43,193 | 41,580 | 43,423 |
| เมาสุรา | 5,460 | 3,782 | 2,645 | 1,501 | 1,364 |
| เสพสาร ออกฤทธิ์ ต่อจิตและประสาท | 104 | 18 | 18 | 19 | 38 |
| ใช้โทรศัพท์มือถือ | 19 | 22 | 19 | 22 | 23 |
| ไม่คาดเข็มขัดนิรภัย | 77 | 72 | 61 | 61 | 42 |
| ไม่สวมหมวกกันน็อก | 871 | 841 | 858 | 753 | 581 |
| ไม่ให้สัญญาณจอดรถ/เลี้ยว/ชะลอ | 546 | 519 | 601 | 433 | 665 |
| ไม่หยุดรถในช่องทางข้าม | 149 | 118 | 110 | 79 | 85 |
| ไม่ให้คอมไฟในเวลาค่าคืน | 156 | 148 | 120 | 144 | 142 |
| ไม่ยอมรถที่มีสิทธิไปก่อน | 1,907 | 1,852 | 1,899 | 2,146 | 2,155 |
| ไม่ปิดประตูรถผู้โดยสาร | 12 | 21 | 13 | 7 | 25 |
| ไม่ปิดล็อกกระเบท้าย | 11 | 4 | 6 | 5 | 5 |
| ขับรถนอกช่องประจำทาง | 131 | 119 | 125 | 109 | 98 |
| ขับรถกลับใน | 498 | 560 | 550 | 530 | 614 |
| ขับรถเร็วเกินกว่ากฎหมายกำหนด | 7,402 | 6,891 | 7,470 | 6,971 | 7,164 |
| ขับรถตัดหน้ากระชั้นชิด | 5,387 | 6,666 | 6,314 | 6,597 | 8,140 |
| ขับรถตามกระชั้นชิด | 5,220 | 5,245 | 4,618 | 4,888 | 5,997 |
| ขับรถผิดช่องทาง | 1,040 | 1,102 | 952 | 1,031 | 1,438 |
| ขับรถฝ่าฝืนเครื่องหมาย/สัญญาณ | 874 | 828 | 732 | 732 | 850 |
| ขับรถคร่อมเส้นแบ่งทาง | 918 | 753 | 702 | 693 | 814 |
| ขับรถแข่งอย่างผิดกฎหมาย | 1,468 | 1,397 | 1,165 | 988 | 1,043 |
| ขับรถไม่ชำนาญ | 2,614 | 2,390 | 3,043 | 3,300 | 2,985 |
| บรรทุกเกินอัตรา | 39 | 30 | 27 | 39 | 40 |
| เจ็บป่วยกะทันหัน | 12 | 6 | 17 | 12 | 12 |
| หยุดรถโดยสารนอกเขต/ป้าย | 12 | 14 | 13 | 8 | 7 |
| ชะลอ/หยุดรถกะทันหัน | 965 | 867 | 699 | 542 | 571 |
| รถเสียไม่แสดงเครื่องหมาย/สัญญาณ | 91 | 86 | 65 | 65 | 81 |
| ใช้สัญญาณไฟไม่ถูกต้อง | 65 | 56 | 56 | 32 | 91 |
| ฝ่าฝืนป้ายหยุดขณะออกจากทางร่วม | 424 | 463 | 240 | 147 | 134 |
| ไม่ขับรถในช่องทางซ้ายสุด | 305 | 293 | 240 | 327 | 241 |
| อื่นๆ | 9,467 | 9,873 | 9,815 | 9,399 | 7,978 |

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ [เอกสารออนไลน์]

เข้าถึงจาก <http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries21.html>

ตารางที่ 2 สถิติการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม

| สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | (2011) | (2012) | (2013) | (2014) | (2015) |
| สาเหตุจากสิ่งแวดล้อม | 18,440 | 17,530 | 18,028 | 14,946 | 14,554 |
| ถนนลื่น | 2,571 | 2,275 | 3,482 | 1,123 | 1,137 |
| ถนนชำรุด | 813 | 638 | 1,374 | 650 | 656 |
| ถนนแคบ | 2,247 | 2,597 | 2,038 | 2,031 | 2,404 |
| ถนนมืด | 2,493 | 2,613 | 2,904 | 2,158 | 1,939 |
| มีฝนตก | 942 | 766 | 736 | 761 | 808 |
| มีหมอก/ควันฝุ่นมาก | 81 | 95 | 185 | 125 | 90 |
| มีสิ่งบังตา | 582 | 754 | 934 | 740 | 654 |
| มีการขุด/เจาะ/ซ่อม/สร้างทาง | 166 | 186 | 228 | 193 | 151 |
| มีแสงส่องเข้าตา | 214 | 247 | 329 | 376 | 228 |
| มีกองวัสดุ/สิ่งของกีดขวาง | 98 | 80 | 56 | 80 | 120 |
| ไม่มีป้ายสัญญาณจราจรเตือน | 441 | 447 | 434 | 589 | 438 |
| ระบบไฟฟ้าจราจรขัดข้อง/ไม่มี | 199 | 178 | 233 | 164 | 113 |
| คนตัดหน้ารถ | 289 | 240 | 240 | 231 | 290 |
| สัตว์ตัดหน้ารถ | 108 | 76 | 108 | 92 | 143 |
| อากาศมีดครึ้ม | 536 | 392 | 274 | 218 | 145 |
| อื่นๆ | 6,660 | 5,946 | 4,473 | 5,415 | 5,238 |

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ [เอกสารออนไลน์]

เข้าถึงจาก <http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries21.html>

ตารางที่ 3 สถิติการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากอุปกรณ์ในการขับขี่

| สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | (2011) | (2012) | (2013) | (2014) | (2015) |
| สาเหตุจากอุปกรณ์ที่ใช้ขับขี่ | 13,610 | 12,411 | 10,557 | 9,885 | 10,000 |
| ระบบห้ามล้อขัดข้อง | 2,991 | 2,868 | 2,267 | 1,706 | 1,418 |
| ระบบบังคับเลี้ยวขัดข้อง | 184 | 194 | 337 | 173 | 273 |
| ระบบไฟฟ้าขัดข้อง | 197 | 167 | 226 | 259 | 332 |

| สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ | 2554 | 2555 | 2556 | 2557 | 2558 |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | (2011) | (2012) | (2013) | (2014) | (2015) |
| สาเหตุจากอุปกรณ์ที่ใช้ขับขี่ | 13,610 | 12,411 | 10,557 | 9,885 | 10,000 |
| ระบบเครื่องยนต์ขัดข้อง | 127 | 58 | 68 | 56 | 39 |
| ระบบระบายความร้อนชำรุด | 10 | 3 | 8 | 22 | 11 |
| ระบบเชื้อเพลิงชำรุด | 3 | 9 | 3 | 11 | 16 |
| อุปกรณ์นิรภัยชำรุด | 38 | 23 | 35 | 22 | 35 |
| ที่ปิดน้ำฝนชำรุด | 12 | 7 | 4 | 6 | 3 |
| ห้ามล้อมือชำรุด | 166 | 223 | 227 | 163 | 297 |
| ประตู / ฝากระโปงชำรุด | 4 | 7 | 5 | 4 | 4 |
| กระจกส่องหลังชำรุด | 48 | 44 | 45 | 53 | 30 |
| กระจกแตก | 14 | 8 | 10 | 12 | 6 |
| ยางแตก | 121 | 148 | 145 | 173 | 149 |
| ยางเสื่อมสภาพ | 586 | 680 | 403 | 369 | 422 |
| ติดฟิล์มผิดกฎหมาย | 15 | 14 | 14 | 30 | 22 |
| ดัดแปลงสภาพผิดกฎหมาย | 101 | 193 | 116 | 115 | 191 |
| ล้อ/เพลาลูก | 39 | 30 | 32 | 66 | 54 |
| อื่นๆ | 8,954 | 7,735 | 6,612 | 6,645 | 6,698 |

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ [เอกสารออนไลน์]

เข้าถึงจาก <http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries21.html>

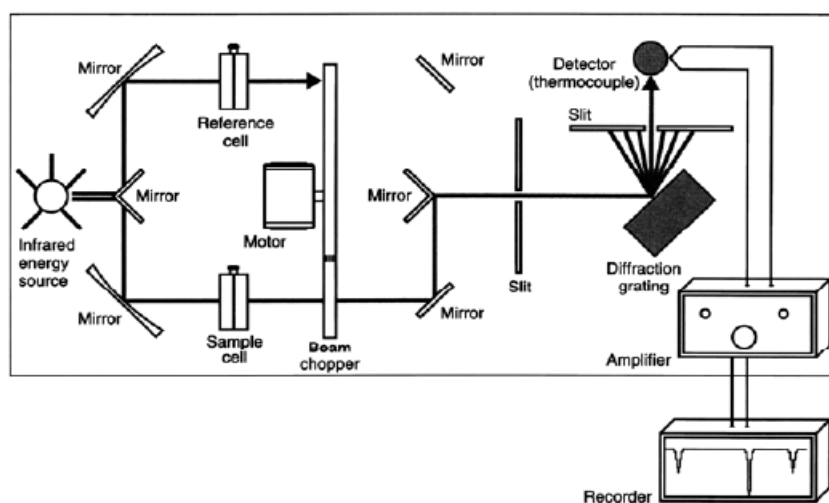
1.7 งานพิสูจน์ทางเคมีด้านนิติวิทยาศาสตร์

นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) คือ การเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในสาขาต่างๆและด้านกฎหมาย มาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานในที่เกิดเหตุ เพื่อช่วยในการสืบสวนสอบสวน และการบังคับใช้กฎหมาย ต่อกระบวนการยุติธรรมโดยการพิสูจน์หลักฐานและชี้นำไปสู่ผู้กระทำความผิดทางอาญาและการลงโทษ

ด้านการตรวจพยานวัตถุทางเคมีในงานพิสูจน์หลักฐาน ถือว่ามีความสำคัญต่อการสืบสวนสอบสวน เพราะเป็นการตรวจวิเคราะห์ด้านคุณภาพ (Qualitative Analysis) และด้านปริมาณ (Quantitative Analysis) ซึ่งเป็นงานตรวจที่กว้างขวางและหลากหลายเพราะวัตถุพยานต่าง ๆ นั้น สามารถทำการตรวจวิเคราะห์ทางด้านเคมีได้ เช่น ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งพยานวัตถุที่มักจะพบอยู่ในที่เกิดเหตุและมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสืบสวนสอบสวน

1.8 การวิเคราะห์โดยอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy)

อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีเป็นเทคนิคที่มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสำหรับการหาหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสารที่ต้องการศึกษา เช่นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่มีประโยชน์ต่อนักเคมีอย่างมากโดยจะใช้ความยาวคลื่นที่ย่านอินฟราเรดในสเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า $4000-650\text{ cm}^{-1}$ (cm^{-1} เป็นหน่วยของจำนวนคลื่นต่อวินาทีหรือเรียกว่า เลขคลื่น)

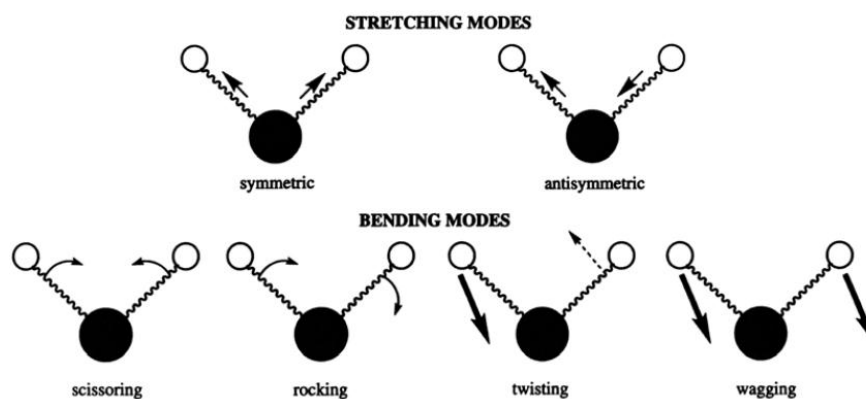


ภาพที่ 1 แสดงการทำงานของเครื่อง IR สเปกโตรมิเตอร์

ที่มา : เครื่องวัดการดูดกลืนแสง. [เอกสารออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ. 12 พ.ย. 2559.

<http://www.thaibiotech.info/what-is-forensic-science.php>

ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นของพันธะในโมเลกุล โดยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดนั้น จะตรงกับพลังงานในช่วง 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ก่อให้เกิดการสั่นแบบยืด (stretching) และแบบงอ (bending) ของพันธะในโมเลกุลของสาร ดังนั้นความถี่ของรังสีที่ถูกดูดกลืนจะต้องตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะนั้น

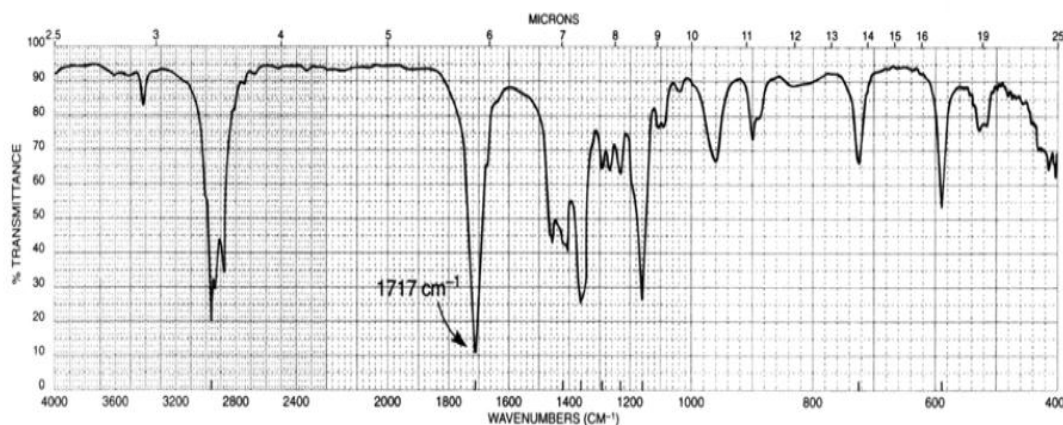


ภาพที่ 2 แสดงการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล

ที่มา : เครื่องวัดการดูดกลืนแสง. [เอกสารออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ. 12 พ.ย. 2559.

<http://www.thaibiotech.info/what-is-forensic-science.php>

ลักษณะของการสั่นของพันธะทุกประเภทในโมเลกุลจะอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรด และมีการสั่นได้หลายแบบทำให้โมเลกุลหนึ่งๆ จะสามารถแสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้หลายช่วง และแสดงถึงปริมาณรังสีอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแตนซ์ (% transmittance) คือเปอร์เซ็นต์ที่รังสีสามารถทะลุผ่านตัวอย่างออกไปได้เมื่อเทียบกับเวฟนัมเบอร์ในช่วง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ กราฟที่ได้ออกมาจะเรียกว่า อินฟราเรดสเปกตรัม[4]



ภาพที่ 3 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัม

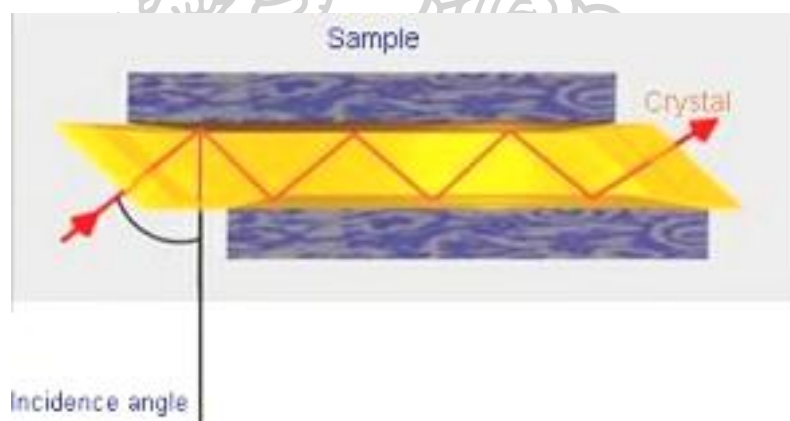
ที่มา : เครื่องวัดการดูดกลืนแสง. [เอกสารออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ. 12 พ.ย. 2559.

<http://www.thaibiotech.info/what-is-forensic-science.php>

โมเลกุลต่างชนิดกันจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ช่วงคลื่นต่างกัน และให้สเปกตรัมที่ต่างกันด้วย สารแต่ละแบบจะมีช่วงคลื่นเฉพาะของแต่ละสารนั้น และสารที่ชนิดเดียวกันให้พีคที่คล้ายคลึงกัน ในช่วงความถี่ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นอินฟราเรดสเปกตรัมจึงสามารถบอกได้ว่าโมเลกุลของสารที่ทดสอบนั้นมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญอะไรบ้าง ซึ่งหมู่ฟังก์ชันและค่าการดูดกลืนรังสีใน ตารางที่ 4

1.9 เทคนิค Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy (ATR)

ATR เป็นเทคนิคอินฟราเรดในอีกรูปแบบหนึ่ง ที่มีกลไกการทำงานต่างไปจากเทคนิคอินฟราเรดแบบแสงทะลุผ่านสารตัวอย่าง ในกรณีของ ATR แสงอินฟราเรดจะตกกระทบกับสารตัวอย่างลักษณะทึบแสงหรือมีความหนาแน่นมากกว่าที่จะวิเคราะห์ด้วยวิธี Transmission ได้ เทคนิค ATR จะเป็นเทคนิคการสะท้อนของลำแสง IR ผ่านเข้ามายังตัวอย่าง ก็จะทำให้เกิดการหักเหขึ้นภายในระหว่างตัวอย่างกับ crystal ถ้ามุมที่แสงตกกระทบมีค่าน้อยกว่า 90 องศา แสงจะเดินทางทะลุเข้าผิวตัวอย่างเพียงไม่กี่ไมโครเมตรและแสงส่วนที่เหลือจากการถูกดูดกลืนโดยพอลิเมอร์ที่ผิวจะสะท้อนออกมาเข้าสู่ที่ตรวจวัด[5]



ภาพที่ 4 การเดินทางของ IR beam ภายในระหว่างตัวอย่างกับ crystal

ที่มา : เครื่องวัดการดูดกลืนแสง. [เอกสารออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ. 1 ธ.ค. 2559.

<http://share.psu.ac.th/blog/aym2/22574>

และเกิดที่เลขคลื่นแบบสุ่ม ทำให้สัญญาณของพีคแท้ๆ ถูกอำพรางหลายๆ ครั้งแต่สัญญาณของคลื่นรบกวนถูกหักล้างออกไป ดังนั้น เราจึงได้ IR สเปกตรัมที่ชัดเจนและใช้สารตัวอย่างเพียงเล็กน้อย (1 มิลลิกรัม หรือน้อยกว่า)ได้ และได้สเปกตรัมที่มีคุณภาพดีพอๆ กับใช้สารตัวอย่างขนาด 10 มิลลิกรัม ข้อได้เปรียบอีกข้อหนึ่งคือจะได้ความถี่ที่ถูกต้องแม่นยำเพราะเทียบมาตรฐานจากพีคของ He-Ne laser

ตารางที่ 4 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

| cm ⁻¹ | หมู่ฟังก์ชัน | รายละเอียด |
|--------------------------------------|-------------------------|---|
| 3600-3400 | O-H stretching | 3650-3590 cm ⁻¹ (sh,w) แอลกอฮอล์อิสระ |
| | | 3400-3200 cm ⁻¹ (b) แอลกอฮอล์ที่เกิดพันธะไฮโดรเจน |
| | | 3400-2400 cm ⁻¹ (vs, vb) กรดคาร์บอกซิลิก |
| 3500-3200 | N-H stretching | 3200-3400 cm ⁻¹ (m) 1° เอมีนและเอมีด มี 2 แถบ |
| | | 3200-3400 cm ⁻¹ (w) 2° เอมีนและเอมีด มี 1 แถบ |
| 3300(vs) | =C-H stretching | 3300 cm ⁻¹ อัลไคน์ที่มี =C-H ที่ปลายโซ่ |
| 3100-3000 (w, sh) | =C-H stretching | อัลคีนและเบนซีน (อาจมีหลายพีค) |
| 3000-2800 | C-H stretching | หมู่ CH ₃ , CH ₂ และ CH ของอัลเคน |
| 2850-2780 | C-N stretching | แอลดีไฮด์ |
| 2250-2225 | C=N stretching | ไนทริล (m) |
| 2260-2100 | C=C stretching | อัลไคน์ (w) โมเลกุลที่สมมาตรจะไม่มีแถบนี้ปรากฏ |
| 1820-1760 (s) | C=O stretching | แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ |
| 1800 (s) | C=O stretching | กรดคลอไรด์ |
| 1770 (s) | C=O stretching | แกมมา-แลคโตน |
| 1735 (s) | C=O stretching | เอสเทอร์ |
| 1725 (s) | C=O stretching | แอลดีไฮด์ |
| 1715 (s) | C=O stretching | คีโตน |
| 1710 (s) | C=O stretching | กรดคาร์บอกซิลิก |
| 1690-1650 (s) | C=O stretching | เอไมด์ |
| 1650-1600 (w) | C=C stretching | อัลคีน |
| 1650-1590 (s-m) | N-H bending | 1° เอมีน |
| 1650-1550 (w) | N-H bending | 2° เอมีน |
| 1620-1590 (s) | N-H bending | 1° เอมีด |
| 1550-1510 (s) | N-H bending | 2° เอมีด |
| 1600, 1580, 1520 (s) และ 1350 (s) | C=C stretching | เบนซีนและเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ ความเข้มไม่แน่นอนอาจมี 2, 3 หรือมีทั้ง 4 แบบ |
| 1520 (s) และ 1350 (s) | NO ₂ bending | สารประกอบไนโตร |
| 1465-1450 | C-H bending | หมู่ CH ₂ |
| 1450-1375 | C-H bending | หมู่ CH ₃ |
| 1400-1000 | C-F stretching | สารประกอบฟลูออไรด์ |

ตารางที่ 4 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ (ต่อ)

| cm ⁻¹ | หมู่ฟังก์ชัน | รายละเอียด |
|------------------|--------------------|--|
| 1300-1150 | CH ₂ -X | สารประกอบเฮโลเจน |
| 1300-1000 | C-O stretching | อีเธอร์และเอสเทอร์ |
| 1220 | C-O stretching | ฟีนอล |
| 1150 | C-O stretching | 3° แอลกอฮอล์ |
| 1100 | C-O stretching | 2° แอลกอฮอล์ |
| 1050 | C-O stretching | 1° แอลกอฮอล์ |
| 990 และ 910 | C-H (OOP bending) | อัลคีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่ RCH=CH ₂) |
| 970 | C-H (OOP bending) | อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ trans) |
| 890 | C-H (OOP bending) | อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ R ₂ C=CH ₂) |
| 815 | C-H (OOP bending) | อัลคีน (หมู่แทนที่ 3 หมู่ R ₂ C=CHR) |
| 700-690 | C-H (OOP bending) | อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ cis) |
| 750 และ 690 | C-H (OOP bending) | เบนซีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่) |
| 750 | C-H (OOP bending) | เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบ ออโท) |
| 780 และ 700 | C-H (OOP bending) | เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบ เมตา) |
| 825-800 | C-H (OOP bending) | เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบ พารา) |
| 800-600 | C-Cl | สารประกอบคลอไรด์ |
| 600-500 | C-Br | สารประกอบโบรมൈด์ |
| ~ 500 | C-I | สารประกอบไอโอดีน |

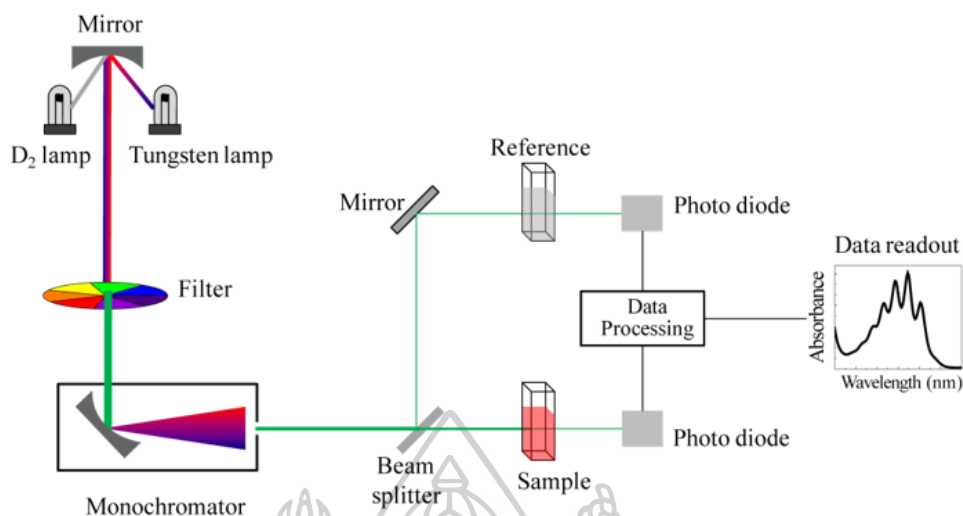
คำย่อ : s = ความเข้มสูง, vs = ความเข้มสูงมาก, m = ความเข้มปานกลาง, w = ความเข้มต่ำ, vw = ความเข้มต่ำมาก sh = แหลมคม, b = กว้าง, vb = กว้างมาก, OOP = out - of - plane (การสั่นออกนอกระนาบ)

ที่มา : ตำราอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง [เอกสารออนไลน์]

เข้าถึงจาก <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>

1.10 การวิเคราะห์โดยเทคนิค CIE L*a*b* Color Spectrophotometer

เมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุอาจเกิดการดูดกลืนแสง หรือการส่องผ่าน การกระจาย การสะท้อนกลับ โดยแสงสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบเกี่ยวกับนิวเคลียส อะตอม ไอออน โมเลกุล ซึ่งพลังงานที่เปลี่ยนไปนั้นอาจเกิดจาก เกิดอิมิสชัน (Emission) การดูดกลืน (Absorption) การกระเจิง (Scattering) ของแสง ในธรรมชาติสามารถดูดกลืนแสงรังสีหรือแสงได้ และแตกต่างกันทำให้วัตถุเหล่านั้นมีสีต่างกันไปด้วย นักวิทยาศาสตร์จึงนำสมบัติเหล่านี้ไปใช้เป็นวิธีวิเคราะห์[6]



ภาพที่ 5 แสดงการทำงานของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

ที่มา : [เอกสารออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ. 1 ธ.ค. 2559.

<http://science.buu.ac.th/part/sifbuu/index.php/laboratory-instruments.html>

การวัดสีโดยส่วนมากเครื่องมือที่ใช้เป็น Spectrophotometer คือสามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลข โดยการวัดปริมาณจากการสะท้อนของแสงจากวัตถุเทียบกับสีมาตรฐานอ้างอิง วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมา จะมีความยาวคลื่นต่างกัน ระบบการวัดในเครื่องสเปกโตรสโกปีมีหลายระบบ คือ ระบบ Munsell ระบบ Tristimulus Valur ระบบ Chromaticity coordinate และระบบ CIE L*a*b*

ระบบการวัดสี Tristimulus Valur คือการหาความสัมพันธ์ออกมาเป็น X, Y, Z โดยค่าเหล่านี้จะระบุเป็นค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ แต่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันของสีที่สามารถมองเห็นจึงไม่ค่อยมีการนำมาใช้ประโยชน์

ระบบการวัด CIE Chromaticity coordinates คือการระบุความหมายของสีได้ชัดเจนขึ้นโดยค่าที่วัดได้จะมีค่า X, Y, Z ตามลำดับ โดยที่ค่า x และ y เป็นค่าที่ระบุความเป็นสี ส่วนค่า Y จะเป็นค่าของความสว่างแต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการบอกค่าความแตกต่างของสี เพราะบอกความแตกต่างของสีได้ไม่ดี

ระบบ CIE L*a*b* เป็นวิธีการกำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้บรรยายสีแดง (Red) เขียว (Green) สีเหลือง(Yellow) สีน้ำเงิน (blue) และความสว่าง (lightness)

โดยกำหนดให้ L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 100

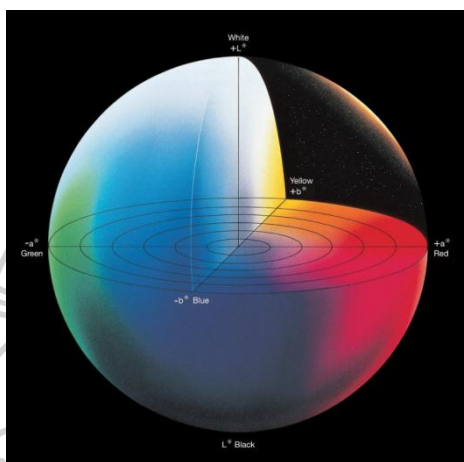
แกน a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศสีแดง

แกน a^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางน้ำเงิน

ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE [7]



ภาพที่ 6 $L^*-a^*-b^*$ Chart ของ Hunter Lab

ที่มา : เอกสารออนไลน์ <https://www.pballtechno.com/article>

อาจกล่าวได้ว่าการมองเห็นสีของมนุษย์ และการวัดสีจากเครื่องวัดจะต้องอาศัยปัจจัย 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี การอ่านค่าสี แต่การมองเห็นสีของมนุษย์นั้นอาจแตกต่างกันไปแล้วแต่บุคคล สำหรับเครื่องวัดสีนั้นจะให้ค่าที่ได้จากการวัดสีในทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานสากล รวมทั้งยังสามารถที่จะวัดค่าความแตกต่างของสีที่มีเฉดสีต่างออกไปเพียงเล็กน้อยได้

1.11 สีพ่นรถยนต์

สีถูกใช้กันมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีต สีมี่ผลต่อจิตใจและอารมณ์ สีจึงเป็นสิ่งที่คุ้นเคยของคนตั้งแต่เด็กจนโต ดังนั้นสีจึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย และทำให้เกิดมูลค่าโดยการปรับปรุงคุณภาพของสี โดยทั่วไปจะเห็นได้จากผลงานทางศิลปะ นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับสี สำหรับสีของรถยนต์นั้นไม่เพียงแต่ให้ความงามกับรถยนต์เท่านั้นแต่ยังทำหน้าที่เป็นฟิล์มที่คอยปกป้องรถไว้ไม่ให้เสื่อมสภาพโดยเร็วอีกด้วย เมื่อเกิดอุบัติเหตุทางสีรถยนต์จึงมีความสำคัญต่อการระบุถึงรถยนต์นั้นๆ โดยสีพ่นรถยนต์มีหน้าที่หลัก คือ ป้องป้องพื้นผิวของรถยนต์จากมลภาวะต่างๆ และให้ความสวยงามแก่รถยนต์นั่นเอง สีพ่นรถยนต์เป็นสารเคมีที่ขาดไม่ได้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิต

รยยนต์เพราะสีเหล่านี้จะทำให้เกิดเอกลักษณ์ของรยยนต์นั้นๆ องค์ประกอบของสีพ่นรยยนต์มีอยู่ด้วยกัน 4 อย่างคือ

ผงสี (Pigment) คือ สารที่ช่วยในการปิดบังพื้นผิวของรยยนต์ โดยผงที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้

สารยึด (Binder) คือ สารที่ทำหน้าที่ในการเกาะของอนุภาคของสารประกอบให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มของสีติดกับพื้นผิวของโลหะเคลือบไว้ เช่น น้ำมันแห้งเร็ว (Drying Oil) เรซินธรรมชาติ เรซินสังเคราะห์ สำหรับเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีพ่นรยยนต์จะนิยมใช้เรซินสังเคราะห์ เช่น ไนโตรเซลลูโลส อะครีลิก ยูรีเทน อีพอกซี เป็นต้น[6]

ตัวทำละลาย (Solvent) คือ สารที่ช่วยละลายให้สารต่างๆ ผสมเข้ากันได้ดีและปรับความหนืดของสีให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

สารเติมแต่ง (Additives) คือ สารที่เติมลงไปเพื่อช่วยปรับคุณภาพให้ได้ตามความต้องการเพียงเล็กน้อย ทำให้สีมีคุณสมบัติพิเศษขึ้น

1.12 ประเภทของสีพ่นรยยนต์

สีรยยนต์มีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน และความต้องการของผู้ผลิตโดยสีที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 3 แบบ ดังนี้

สี 1K คือสีระบบ 1 องค์ประกอบ (1 component) คือประกอบด้วยส่วนของตัวสีเพียงอย่างเดียว เมื่อนำมาใช้งานจะผสมเข้ากับตัวทำละลาย เช่นทินเนอร์

สี OEM คือ สีที่ใช้ในอุตสาหกรรมโรงงานการประกอบรยยนต์ โดยสีชนิดนี้มีเพียงองค์ประกอบเดียวในการใช้งาน โดยอาจนำมาผสมกับตัวทำละลายเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น

สี 2K คือสีที่มี 2 องค์ประกอบ (2 Component) ประกอบด้วยส่วนตัวสี ซึ่งคือองค์ประกอบที่ 1 และตัวเร่งปฏิกิริยา (Hardener หรือ Activator) คือองค์ประกอบที่ 2 โดยก่อนใช้งานจะต้องนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมี และทำให้สีเกิดการแห้งตัว (Chemical Drying) โดยสารที่ใช้ผสมในสีคือ อีพอกซี หรือโพลียูรีเทน จึงมักเรียกสีชนิดนี้ว่าสีแห้งช้า[8]

1.13. การแห้งตัวของสี

ลักษณะการแห้งตัวของฟิล์มสีพ่นรยยนต์นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและสารเติมแต่งเพราะสารเหล่านี้จะทำให้สีพ่นรยยนต์มีคุณสมบัติพิเศษมากขึ้นสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

ทางฟิสิกส์ (Physical Drying) การแห้งด้วยวิธีการนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะอย่างอ่อนๆ

ทางเคมี (Chemical Drying) การแห้งด้วยวิธีการนี้แผ่นฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้จะยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ ซึ่งจะทำให้ขนาดอนุของสีใหญ่ขึ้นจนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามความต้องการ และอีกวิธีคือ การเกิดปฏิกิริยาเคมีสีประเภทนี้ส่วนใหญ่จะไม่ผสมกันอยู่ก่อนแล้ว ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้องจะเรียกว่าสีสีบ่มเย็น แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกว่าสีอบ[8]

2. บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eyring M, et al. (2001) การศึกษาครั้งนี้เป็นการเลือกใช้ฟิล์มสีรถยนต์ประเภทสีโรงงาน (OEM) ในการบอกความแตกต่างของระบบสี คือรหัสสีจะแสดงถึงการบ่งชี้สีที่เหมือนกัน โดยรหัสสีแต่รหัสจะเชื่อมโยงกับรถยนต์ในแต่ละผู้ผลิตเดียวกัน และจะใช้กับสีที่ไม่อาจแยกได้ด้วยตาเปล่า การศึกษานี้พิจารณาโดยใช้วิธีการของ Edmondstone (G., Hellman, 2004) ในการตรวจวิเคราะห์ และยังใช้อินฟราเรด(IR) ในการแยกแยะระหว่างสเปกตรัมของฟิล์มสีที่สะท้อนแสง และยังศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคในทั้งหลายในการวิเคราะห์ฟิล์มสีรถยนต์ ซึ่งจะทำให้มีความชัดเจนมากขึ้น โดยผลของการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องใช้กับระบบสีอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยานยนต์ เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยกว่า ดังนั้นเทคนิคนี้จึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเทคนิควิเคราะห์อื่นๆ เพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น[9]

Jakub M. Milczarek, et al. (2006) พบว่าวิธีการวิเคราะห์จะช่วยในการแก้ไขปัญหา กรณีการเกิดของอุบัติเหตุทางรถยนต์ ซึ่งการระบุสีรถยนต์มีความสำคัญต่อกระบวนการยุติธรรมอย่างมาก ในบางกรณีการเพียงวิธีเดียวอาจไม่สามารถให้ข้อมูลที่ครบถ้วนได้ จึงต้องใช้วิธีตรวจสอบทั้งหมดที่มีเพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติม โดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้อย่างน้อยสองวิธีการ และอาจจะมียุทธวิธีเพิ่มเติม แต่ปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างมากในการสร้างฐานข้อมูลของสีรถยนต์ซึ่งอาจเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อใช้หารถยนต์ของผู้กระทำผิด โดยใช้เศษสีที่ได้จากที่เกิดเหตุ นั้นอาจจะมีขนาดเล็กที่เหลืออยู่จากอุบัติเหตุ แต่จะเป็นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับผู้ต้องสงสัย สำหรับการศึกษานี้ใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยทำการสร้างฐานข้อมูลรถยนต์จากโปรแกรมสี ซึ่งทางห้องปฏิบัติการนิติวิทยาศาสตร์ยังคงต้องการอย่างมาก[10]

Janina Zie, et al.(2006) ได้ประยุกต์ใช้ Infrared Micro Spectrometry และ Raman Spectroscopy เพื่อตรวจสอบชิ้นส่วนเศษสี การศึกษาพบว่าในช่วงสเปกตรัม (633 นาโนเมตร) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับเม็ดสี แต่ไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสี ส่วนอินฟราเรด

สามารถวิเคราะห์พอลิเมอร์ได้ดี แต่ไม่สามารถให้ข้อมูลของเม็ดสีได้ ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าในหลายๆกรณีควรมีการระบุสีหลัก ซึ่งจะสามารถระบุสีได้โดยใช้เทคนิค Micro X-ray fluorescence (μ -XRF) ในการวิเคราะห์[11]

Kugler V, et al.(2016) เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของรถยนต์จะถูกเคลือบด้วยสี ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของร่องรอยหลักฐาน และสามารถเปิดเผยข้อมูลที่สำคัญในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งสีที่ใช้เคลือบนั้นทำจากสีองค์ประกอบหลัก คือตัวทำละลาย, สารยึดเกาะ, เม็ดสีและสารเติมเต็มอื่นๆ ตัวทำละลายมีหน้าที่ทำละลายในขั้นการผลิต แต่จะระเหยออกไปในระหว่างการอบแห้ง สารยึดเกาะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะ และการยึดเกาะของสีและทำให้สียังคงอยู่แนบกับพื้นผิว สีเป็นอนุภาคอินทรีย์หรืออินทรีย์ สารเติมเต็มทำหน้าที่ให้เกิดความเงางามและความเหนียวของพื้นผิว ในการวิเคราะห์สีทางนิติวิทยาศาสตร์จะใช้พยานหลักฐานจากอุบัติเหตุทางรถยนต์และคดีอาชญากรรมเหล่านี้ เพื่อระบุยานพาหนะโดยทำการวิเคราะห์สีและยังใช้ในการตรวจสอบความเสียหายจากการลักทรัพย์สิน เป็นส่วนที่บอกถึงร่องรอยหลักฐานในผู้ต้องสงสัยหรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์ ทางโบราณคดี และวิทยาศาสตร์ทางประวัติศาสตร์ จะใช้ตรวจสอบงานศิลปะ ภาพวาดสามารถตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง[12]

Nieznanska J, et al (1999) ตรวจสอบสีรถยนต์โดยทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 45 ชิ้นขึ้นไป และได้ดำเนินการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเศษสีรถยนต์ โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบออปติคัล เพื่อดูสารยึดเกาะและสารเติมแต่งต่างๆ โดยใช้ Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (MK-FTIR) และเทคนิค scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer (SEM-EDX พบว่าการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยให้สามารถระบุสีรถยนต์ได้ และสามารถเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของหลักฐานได้[13]

Roberson I, (2015) ข้อมูลที่ได้จากการเกิดอุบัติเหตุทางถนนมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการรวบรวมหลักฐานในคดี ซึ่งร่องรอยของสีที่มีการชนกันจากยานพาหนะ รวมถึงวัสดุอื่นๆ เช่น เสื้อผ้าของเหยื่อ เพราะสิ่งเหล่านี้สามารถจับคู่สีของยานพาหนะได้ ซึ่งประกอบด้วยสีหลายสี เพราะชุดสีนั้นประกอบด้วยสีที่ไม่ซ้ำกันสำหรับผู้ผลิตแต่ละราย แต่ละรุ่นของยานพาหนะโดยเฉพาะการใช้อินฟราเรด (IR) สเปกโตรสโกปีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวัดตัวอย่างสี จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ ASTM วิธีการ E2937-13 เป็นคู่มือสำหรับการวิเคราะห์ เทคนิคนี้มักใช้สำหรับการวัดตัวอย่างสีขนาดเล็กมากเพียงไม่กี่ไมครอน และสามารถบอกถึงคุณสมบัติแบบต่างๆ ของตัวอย่างที่ต่างกันของชิ้นส่วนรถยนต์ที่ได้จากที่เกิดเหตุทางการจราจร เทคนิคนี้จะใช้หลักการสามวิธีคือ การส่องผ่าน การสะท้อน และการลดทอนทั้งหมด (ATR) เทคนิคเหล่านี้สามารถทำได้กับอุปกรณ์มาตรฐาน IR (macro) เช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์ IR ซึ่งแต่ละเทคนิคเหล่านี้ได้นำมาใช้กับตัวอย่างที่ได้เช่นกัน[14]



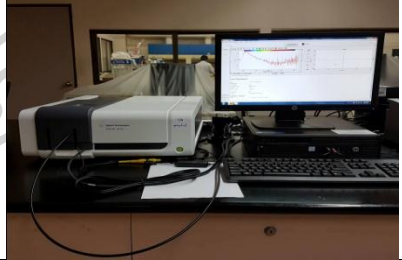
Umale S, et al (2012) ศึกษาผงแร่ธรรมชาติทั่วไป (Hg_2S) ที่นำมาใช้ทำผงสีเพื่อนำมาเคลือบผิวโลหะ ในการวิเคราะห์นี้ใช้เทคนิค X-Ray Diffraction Analysis (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), scanning electron microscope (SEM) และ CIE 1976 color coordinate system เพื่อตรวจสอบสมบัติต่างๆ ทั้งสมบัติทางแสง ทางเคมี และสมบัติการเป็นสารเคลือบนั้น ในช่วงสีแดงอิฐถึงสีน้ำตาลเข้ม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเม็ดสีน้ำตาลเข้ม เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แต่สำหรับสารสีแดงนั้นไม่เหมาะสมสำหรับการเป็นสารเคลือบผิว[15]



บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1 อุปกรณ์ สารเคมี และตัวอย่างในการวิเคราะห์

ตารางที่ 5 วัสดุอุปกรณ์

| วัสดุอุปกรณ์ | แหล่งผลิต | ภาพ |
|--|--------------------------------------|---|
| เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Spectrum 100 | บริษัท Perkin Elmer Thailand |  |
| เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Universal ATR sampling accessory | บริษัท Perkin Elmer Thailand |  |
| เครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer | บริษัท Agilent Technologies Thailand |  |

1.1 ตัวอย่างสีรถยนต์

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากบริเวณอำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 5 ตำบลคือ ตำบลบ้านทวน ตำบลพังตู่ ตำบลรางหวาย ตำบลหนองขาว และตำบลทุ่งสมอ ทั้งหมด 33 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเจดสี และยี่ห้อดังนี้

ตารางที่ 6 ตัวอย่างสิริถยนต์

| ที่ | ชนิดสี | ยี่ห้อ | ข้อมูลอื่นๆ | รหัส |
|-----|---------|---------------------|--------------------|------|
| 1 | สีเงิน | Toyota | กท 4652 นครปฐม | S1-0 |
| 2 | สีเงิน | Toyota(vios) | กธ 1453 สระบุรี | S1-1 |
| 3 | สีเงิน | Toyota(vigo) | กน 7901 สระบุรี | S1-2 |
| 4 | สีเงิน | Toyota(vigo) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S1-3 |
| 5 | สีเงิน | Toyota(Camry) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S1-4 |
| 6 | สีเงิน | Toyota(Altis1) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S15 |
| 7 | สีเงิน | Toyota corolla | กน 514 สระบุรี | S1-6 |
| 8 | สีเงิน | Honda(City) | กน 2616 อุดรธานี | S2-0 |
| 9 | สีเงิน | Honda Civic | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S2-1 |
| 10 | สีเงิน | Honda civic | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S2-2 |
| 11 | สีเงิน | Mitsubishi L200 | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S3-0 |
| 12 | สีเงิน | Nissan กค779 ลพบุรี | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | S4-0 |
| 13 | สีทอง | Isuzu(D-max) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | G1-0 |
| 14 | สีทอง | Isuzu | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | G1-1 |
| 15 | สีทอง | Honda city | ไม่มีป้ายทะเบียน | G2-0 |
| 16 | สีทอง | Honda civic | ไม่มีป้ายทะเบียน | G2-1 |
| 17 | สีขาว | Mazda(BT50) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | W1 |
| 18 | สีขาว | Toyota(Vios) | กท 5868 ลพบุรี | W2 |
| 19 | สีขาว | Ford | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | W3 |
| 20 | สีขาว | Isuzu(D-max) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | W4 |
| 21 | สีดำ | Honda (Accords) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | B1-0 |
| 22 | สีดำ | Honda city | ไม่มีป้ายทะเบียน | B1-1 |
| 23 | สีดำ | Isuzu | บท 171 ลพบุรี | B2-0 |
| 24 | สีดำ | Isuzu | กง 7654 สระบุรี | B2-1 |
| 25 | สีดำ | Toyota corolla | ไม่มีป้ายทะเบียน | B3-0 |
| 26 | น้ำเงิน | Nissan(bigM) | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | DB1 |
| 27 | น้ำเงิน | Toyota | กจ 5129 ลพบุรี | DB2 |

ตารางที่ 6 ตัวอย่างสีรถยนต์ (ต่อ)

| ที่ | เฉดสี | ยี่ห้อ | ข้อมูลอื่นๆ | รหัส |
|-----|---------|-------------------|--------------------|------|
| 28 | สีเขียว | Isuzu | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | GR1 |
| 29 | สีเขียว | Toyota | บง 4500 สระบุรี | GR2 |
| 30 | สีแดง | Datson | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | R1 |
| 31 | สีแดง | Mitsubishi lancer | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | R2 |
| 32 | สีแดง | Honda city | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | R3 |
| 33 | สีแดง | Hyundai | ไม่ระบุป้ายทะเบียน | R4 |

ตารางที่ 7 ภาพตัวอย่างเศษสีรถยนต์



S1-0



S1-1



S1-2



S1-3



S1-4



S1-5



S1-6



S2-0



S2-1



S2-2



S3-0



S4-0

ตารางที่ 7 ภาพตัวอย่างเศษสีรถยนต์ (ต่อ)



G1-0



G1-1



G2-0



G2-1



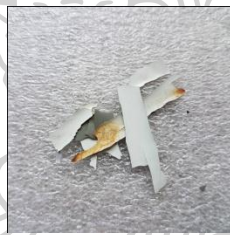
W1



W2



W3



W4



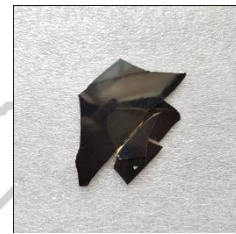
B1-0



B1-1



B2-0



B2-1



B3-0



DB1



DB2

ตารางที่ 7 ภาพตัวอย่างเศษสีรถยนต์ (ต่อ)



1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

1.2.1.1 เก็บตัวอย่างเศษสีรถยนต์จากการสูมตัวอย่างจากอู่ อ่างเก็บน้ำพนมทวน

1.2.1.2 แยกเฉดสี และยี่ห้อของเศษสีรถยนต์

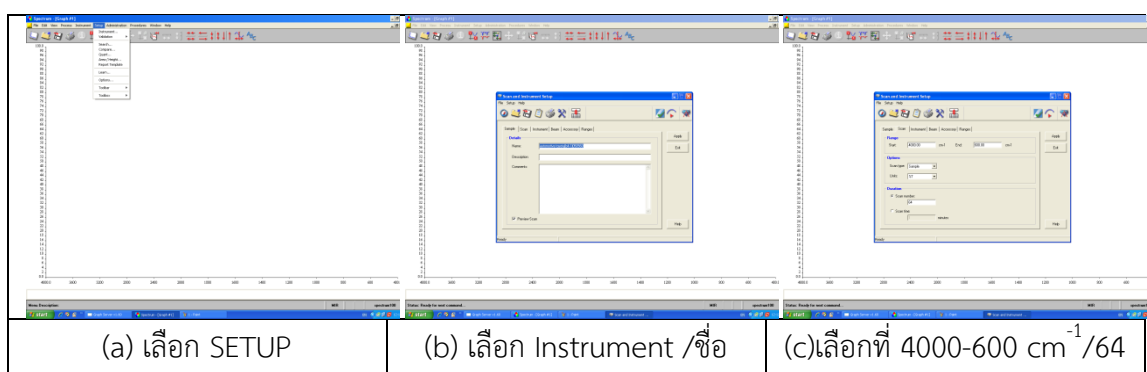
1.2.1.3 แบ่งตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณขนาดกว้าง/ยาว 1 เซนติเมตร

1.2.2 การวิเคราะห์เศษสีรถยนต์โดยใช้เครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)

1.2.2.1 ทำการตั้งค่าเครื่องโดยให้อยู่ในช่วงคลื่น 4000-600 cm^{-1} resolution 2 cm^{-1} จำนวนสแกน 64 รอบ/ครั้ง

1.2.2.1 นำผลสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล โดยดูความเข้มพีกและตำแหน่งของพีก

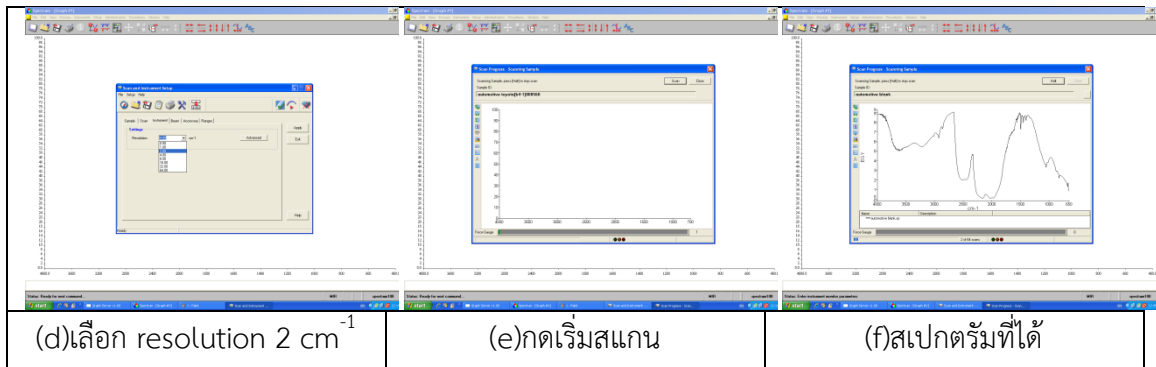
ตารางที่ 8 การตั้งค่าเครื่อง ATR-FTIR



(a) เลือก SETUP

(b) เลือก Instrument / ชื่อ

(c) เลือกที่ 4000-600 cm^{-1} / 64



ตารางที่ 9 การวางตัวอย่างเครื่อง ATR-FTIR

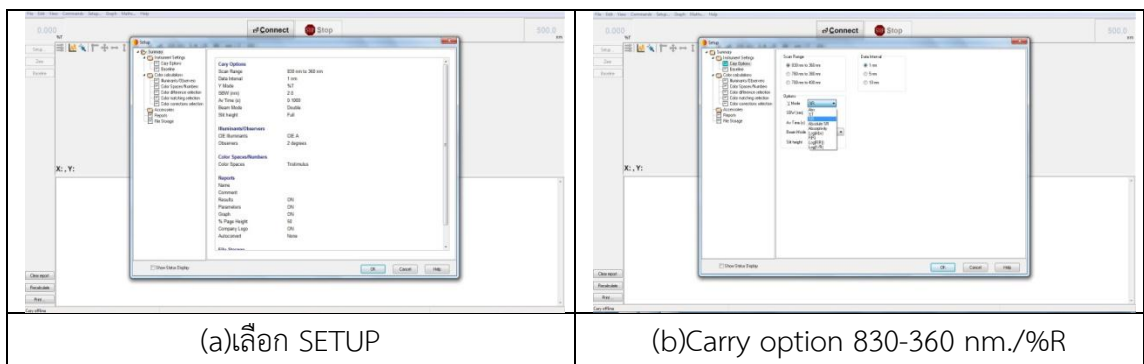


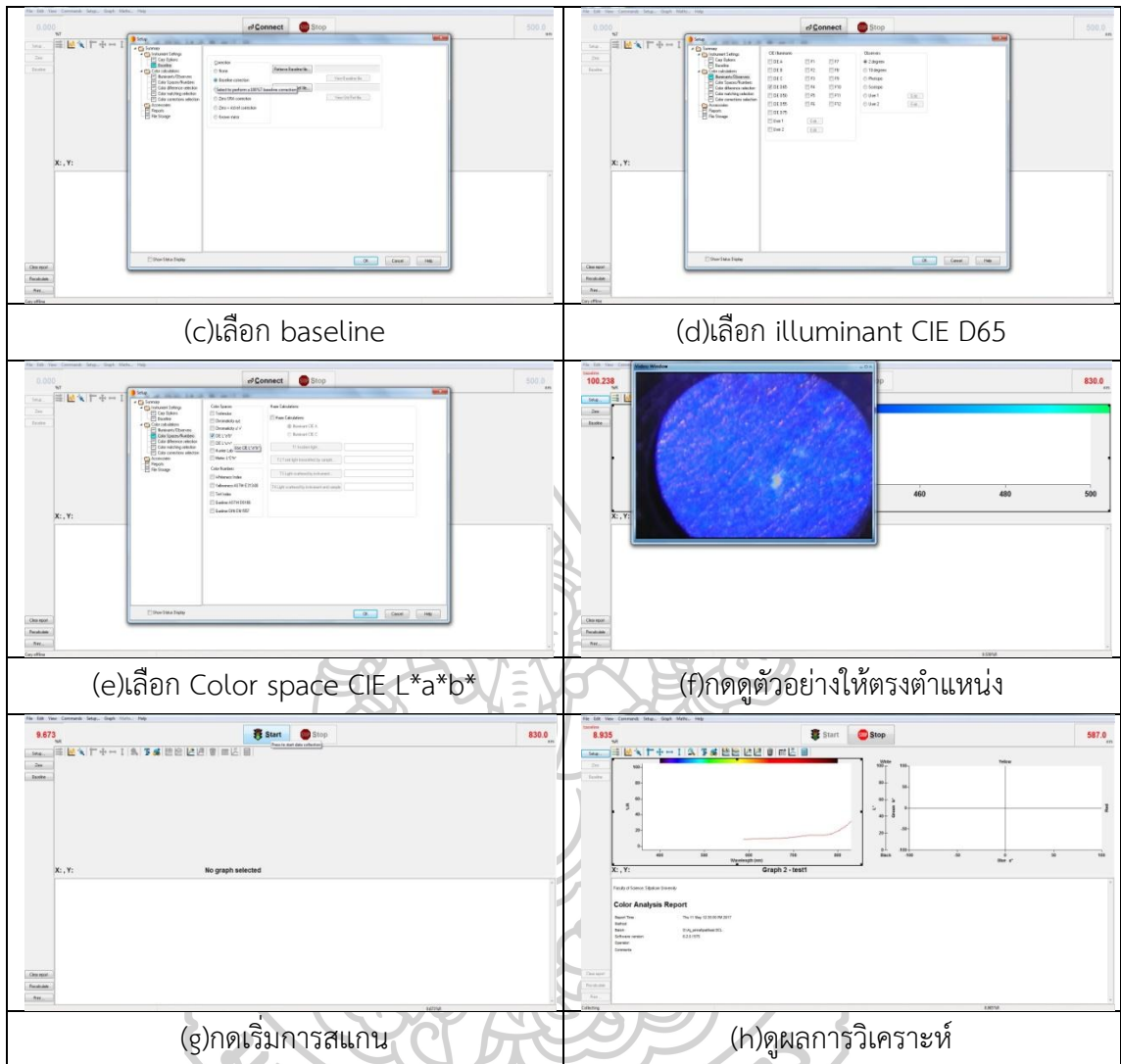
1.2.3 ทำการวิเคราะห์เศษสีรถยนต์โดยเครื่องวัดสีโดยใช้เครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer

1.2.3.1 ทำการเซตเครื่องวิเคราะห์ให้อยู่ในช่วงคลื่น 830-360 nm. %R baseline CIE 065 CIE L*a*b*

1.2.5 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 10 การตั้งค่าเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer

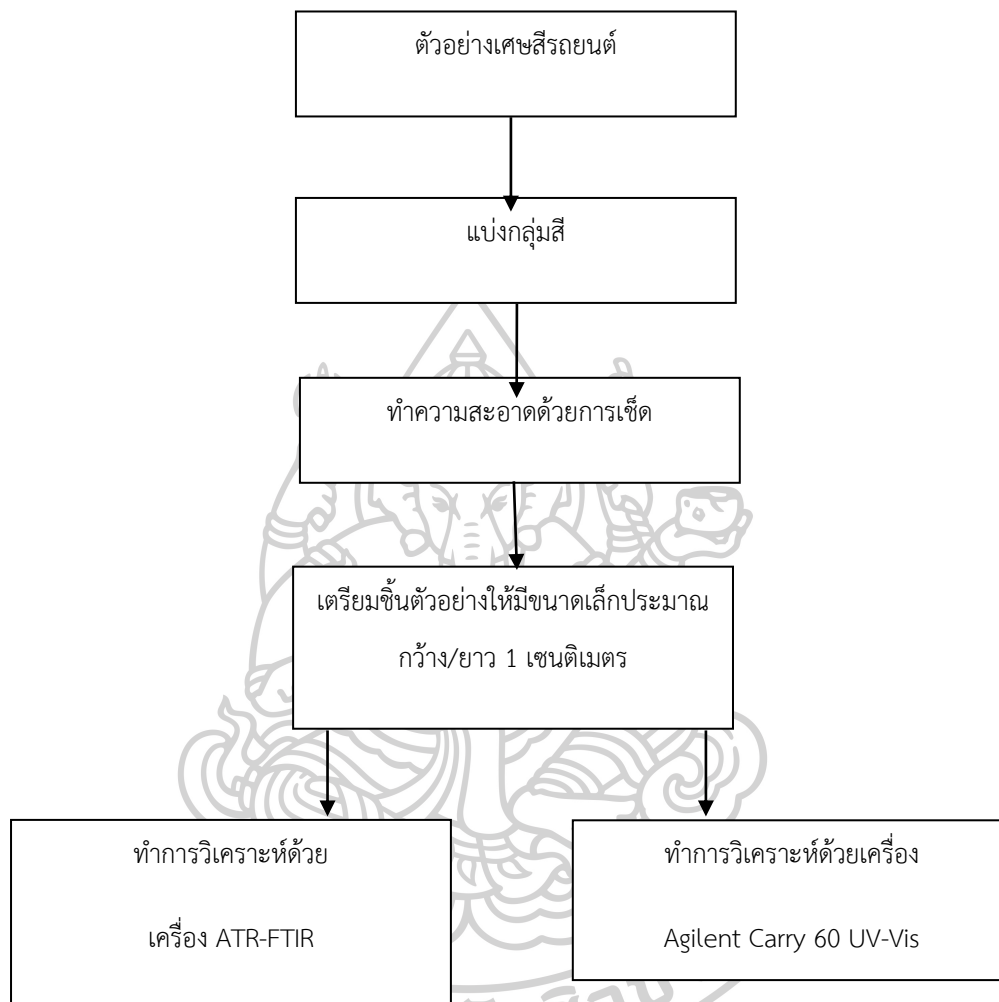




ตารางที่ 11 การวางตัวอย่างเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer



แผนผังการทดลอง



บทที่ 4 ผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล



(a) R2



(b) R3



(c) R4



(d) B1-1



(e) B2-0

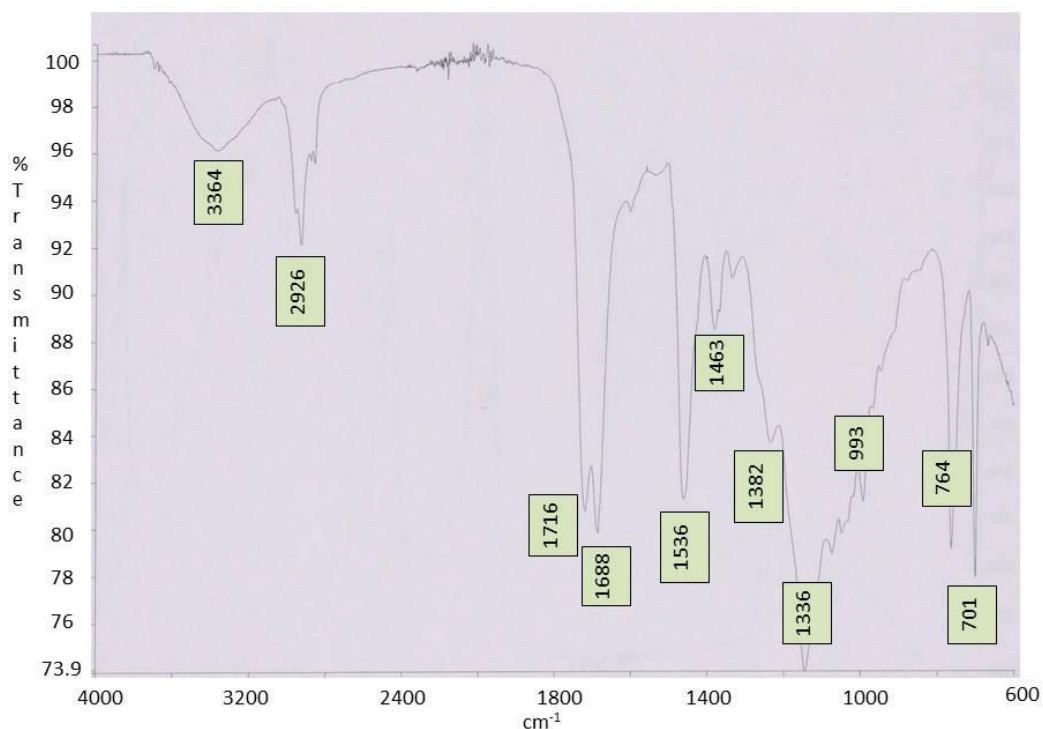


(f) B2-1

ตัวอย่างเศษสีรถยนต์ที่แยกได้ถ่ายตาเปล่าเฉดสีแดง (a) Mitsubishi lancer(R2), (b) Honda city(R3), (c) Hyundai(R4) และเฉดสีดำ (d) Honda city(B1-1), (e) Isuzu(B2-0), (f) Isuzu(B2-1)

1.1 การวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรถยนต์โดยเทคนิค ATR-FTIR

จากการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรถยนต์โดยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ทำการชุดเศษสีรถยนต์ในเฉดสีเดียวกัน ต่างผู้ผลิต และผู้ผลิตเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างเศษสีรถยนต์มาวิเคราะห์ด้วย Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ที่ $4000-600\text{ cm}^{-1}$ จำนวนสแกน 64 รอบ/ครั้ง จะพบพีคที่ตำแหน่งคือ 3600-3400, 3000-2800, 1820-1650, 1465-1375, 1400-1000, 900-800, 600-500 cm^{-1} นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความเข้มของพีคที่ปรากฏร่วมด้วย เช่นตัวอย่างของ S1-1 ซึ่งเป็นเฉดสีรอนด์เงินดังภาพที่ 4

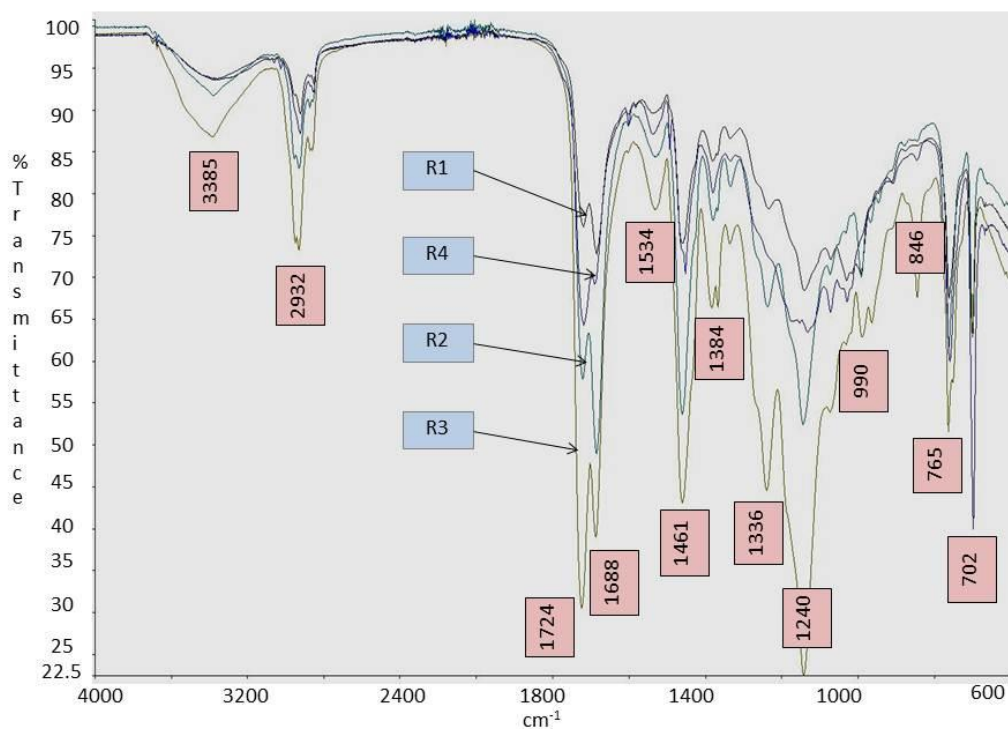


ภาพที่ 7 สเปกตรัม ATR-FTIR ระหว่าง %T (Transmittance) กับความยาวคลื่น (cm^{-1}) ของเศษสีรถยนต์สีบรอนด์เงิน (S1-1)

จากภาพที่ 7 สเปกตรัมที่ได้เทคนิค ATR-FTIR จะพบพีคที่ตำแหน่ง 3364 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ N-H (stretching) ตำแหน่งที่ 2926 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ C-H (stretching) ตำแหน่ง 1716 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ C=O (stretching) ตำแหน่งที่ 1688 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ C=O (stretching) เอไมด์ ตำแหน่งที่ 1536 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ N-H (bending) ตำแหน่ง 1463 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ C-H (bending) ตำแหน่งที่ $1382, 1336 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟังก์ชันของ C-F (stretching) ซึ่งเป็นสารประกอบฟลูออไรด์และตำแหน่งที่ $993, 764, 701 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟังก์ชันของ C-H (bending) ของเบนซีน ในทางอุตสาหกรรมยานยนต์นั้น จะใช้เป็นสารยึดเกาะของฟิล์มสีรถยนต์ เช่น อะคริลิก ยูรีเทน อีพอกซี เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าของ Kugler V, et al.(2016) และ Krunal N. Jariwala. (2014)

เมื่อนำผลสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR มาเปรียบเทียบกับในเฉดสีเดียวกัน คือ เฉดสีแดง แต่ต่างผู้ผลิต จะพบตำแหน่งของพีคที่คล้ายกัน แต่จะมีลักษณะความเข้มของพีคในแต่ละ

ละตำแหน่งนั้นต่างกัน ซึ่งมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่สามารถที่จะแยกได้อย่างชัดเจนว่าเป็นผู้ผลิตใด สังเกตได้จากภาพที่ 8 คือสเปกตรัมของเศษสีรถยนต์เฉดสีแดงในแต่ละผู้ผลิต

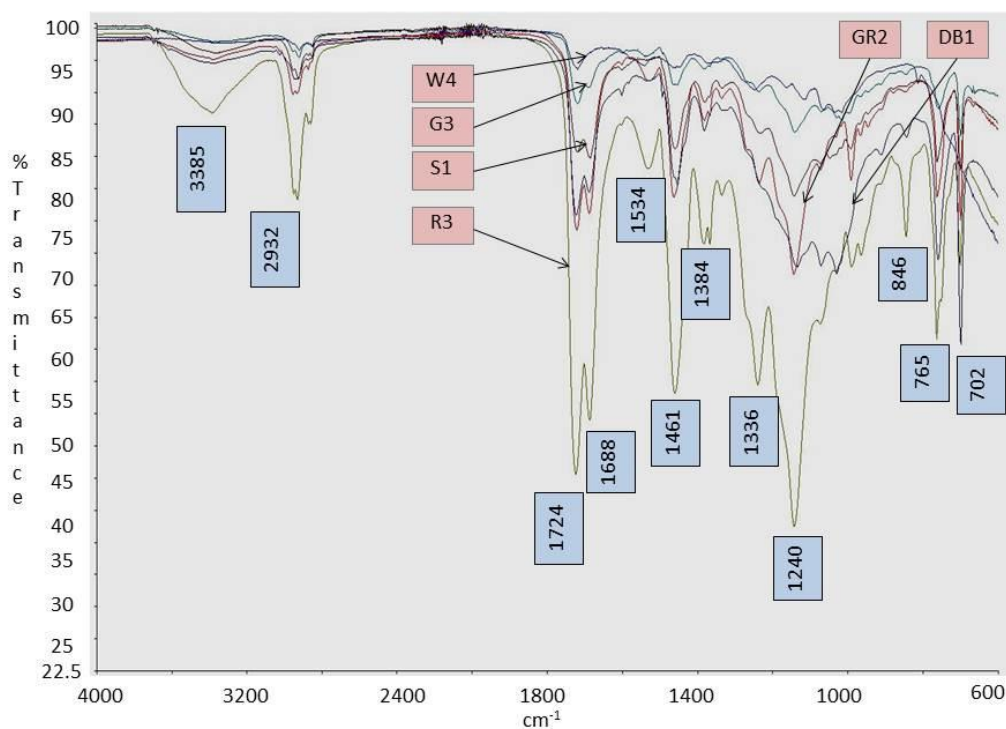


ภาพที่ 8 สเปกตรัม ATR-FTIR ระหว่าง %T (Transmittance) กับความยาวคลื่น (cm^{-1}) ของเศษสีรถยนต์กลุ่มสีแดง ต่างผู้ผลิตคือ Datson (R1), Mitsubishi-lancer(R2), Honda-city (R3), Hyundai (R4)

จากภาพที่ 8 พบว่าสเปกตรัมที่ได้จากเศษสีรถยนต์เฉดสีแดง ต่างผู้ผลิตนั้นมีตำแหน่งของพีคที่ปรากฏคล้ายกันสังเกตได้จากตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 3385 2932, 1724, 1688, 1534, 1461, 1384, 1336, 1240, 990, 846, 765, 702 cm^{-1} นั้นมีตำแหน่งเดียวกันในทุกตัวอย่าง แต่จะมีลักษณะความเข้มของพีคไม่เท่ากัน เป็นการบอกว่าเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะของสี Janina, et al.(2006) แต่สารเคลือบนั้นจะมีคุณภาพแตกต่างกันไปตามแต่ละผู้ผลิต เช่น ตัวอย่างเศษสีแดง R3 จะมีความเข้มของพีคสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น เป็นต้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบจากผลสเปกตรัม ATR-FTIR โดยเปรียบเทียบตัวอย่างของเศษสีรถยนต์ทุกเฉดสี และต่างยี่ห้อ โดยเลือกตัวแทนของสีแต่ละกลุ่ม พบตำแหน่งพีคที่ปรากฏนั้นมีลักษณะที่คล้ายกันในทุกตัวอย่าง และอาจมีบางตัวอย่างที่มีลักษณะของพีคที่ต่างไปจากตัวอย่างอื่นๆ

เช่นพีคที่ตำแหน่ง 846 cm^{-1} พบเฉพาะในตัวอย่างของเศษสีแดง (R3) และเศษสีเขียว (GR2) ที่ค่า %T ต่างกัน แต่ไม่พบในตัวอย่างสีอื่นนั่นเอง



ภาพที่ 9 สเปกตรัม ATR-FTIR ระหว่าง %T (Transmittance) กับความยาวคลื่น (cm^{-1}) ของเศษสีรถยนต์ต่างเฉดสีคือ สีขาว Isuzu (W4) สีบรอนด์ทอง Honda civic (G3) สีบรอนด์เงิน Toyota (S1) สีน้ำเงิน Nissan-bigM (DB1) สีเขียว Honda city (GR2) และสีแดง Honda city (R3)

จากภาพที่ 9 พบพีคที่ตำแหน่ง $3600-3400$, $3000-2800$, $1820-1650$, $1465-1375$, $1400-1000$, $900-800$, $600-500\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกันในทุกเฉดสี และยี่ห้อ จึงทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างเศษสีนั้นมาจากสี และยี่ห้อใด ซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์โดยเทคนิค ATR-FTIR นั้นเป็นเพียงการวิเคราะห์บนผิวหน้าของตัวอย่างและมีความลึกเพียงไม่กี่ไมโครเมตร José M. et al (2012) จึงทำให้ไม่สามารถบอกเม็ดสีที่ใช้ในการผลิตสีพ่นรถยนต์ได้ อาจมีบางตัวอย่างที่มีตำแหน่งพีคต่างไป เช่นเศษสีแดง R3 และเศษสีน้ำเงิน DB1 พบพีคที่ตำแหน่ง 846 cm^{-1} ซึ่งไม่พบในตัวอย่างอื่น หรืออีกนัยหนึ่งคือในตัวอย่างอื่นมีความเข้มที่น้อยและกว้างมาก จึงไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน แต่เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างเศษสีรถยนต์ทุกตัวอย่างแล้ว มีความแตกต่างเล็กน้อยจึงเป็นการยากที่จะแบ่งแยกได้อย่างชัดเจนในแต่ละเฉดสี และยี่ห้อจากการวิเคราะห์ของ ATR-FTIR

ผลการทดลองของเศษสีรถยนต์ โดยเทคนิค ATR-FTIR ทั้ง 33 ตัวอย่าง ค่าที่ได้จากสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งมีการเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านกับเลขคลื่น และแสดงหมู่ฟังก์ชันที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR

| รหัส | %T | Wave number(cm^{-1}) | Functional group |
|------|---|---|---|
| S1-0 | 95.8,86.2,86.8,92, 80.7.84,83 | 2957,1688,1461,1382,764,701 | O-H(stretching), N-H, O-H(phenol), Ar-H(bending) |
| S1-1 | 87,80,49,51,77,56,7 3,63,57,51 | 3364,2926,1716,1688,1536, 1463,1382,993,764,701 | O-H,C=O(stretching), CH(bending), C-O(stretching), Ar-H(bending) |
| S1-2 | 88.5,89,88.5,84 | 1685,1459,1130,764 | N-H, C-H(m),O-H(phenol), Ar-H(bending) |
| S1-3 | 89,79,51,53,83,80,8 0,51,70,75,45,49 | 3374,2927,1724,1685,1602,15 40,1494,14652,1381,1336, 1142,764 | O-H(stretching), C=O,N-H(bending), C-N (stretching), Ar-H(bending) |
| S1-4 | 97.5,88.5,88.5,86, 83 | 2933,1685,1459,1135,763 | O-H(stretching), C=O(aldehyde), C=C, O-H(phenol), C-O(stretching), Ar-H(bending) |
| S1-5 | 88,93,76,71,87,73,8 5,73,73,65 | 2924,2854,1724,1685,1493, 1453,1376,1162,1029,761 | O-H, C=O(stretching), C-N,C=O(stretching) Ar-H(bending) |
| S1-6 | 98,95,78,93,79,87,8 4,86,80,78 | 3374,2932,1686,1538,1460, 1367,1246,847,764,700 | O-H, C=O(stretching) N-H(bending),Ar-H(bending) |
| S2-0 | 98,94,94,92.5,92 | 2921,1725,1463,764,701 | O-H,C-O(stretching) Ar-H(bending) |
| S2-1 | 89,87.5,83,82.5 | 1685,1459,764,700 | C=O,C=C(stretching), Ar-H(bending) |

ตารางที่ 12 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR (ต่อ)

| รหัส | %T | Wave number(cm-1) | Functional group |
|------|--|--|---|
| S2-2 | 95,86.5,83.5,83.8,9 1.5,87,84,81.5,81.2 | 2926,1722,1684,1461,1380, 1238,993,764,701 | O-H(stretching),C=O, N-H(bending), C=C(stretching) C-N(stretching), O-H(phenol), Ar-H(bending) |
| S3-0 | 94,94,91.8,93 | 1687,1463,1143,763 | C=O, C=C(stretching), C-O(stretching), Ar-H(bending) |
| S4-0 | 95,84,50,56,81,60, 75,62,67,68,60,51 | 3375,2936,1719,1689,1533,14 64,1383,1235,1074,992,763, 701 | O-H(stretching), C=O(stretching),C-H(bending), O-H, Ar-H(bending) |
| G1-0 | 94,89,68,67,69,83, 62,67 | 3388,2928,1722,1686,1461, 1381,1141,763 | O-H(stretching), C=O(stretching), C-O(stretching), Ar-H(bending) |
| G1-1 | 96,89,88.5,83,82 | 2934,1684,1453,1030,760 | O-H(stretching), C=C(stretching),C-N(stretching), Ar-H(bending) |
| G2-0 | 95.5,88,91,83.8, 85.5,87.5 | 2922,1719,1454,1142,1017, 760 | O-H(stretching), C=O(stretching), O-H(bending), C-O(stretching),Ar-H(bending) |
| G2-1 | 93,87,63,59,86,63, 80,70,83,64,64.5 | 3385,2932,1722,1685,1529,14 61,1379,1238,843,764,701 | O-H(stretching), C=O(stretching), O-H(bending), C-O(stretching), Ar-H(bending) |
| W1 | 96.5,90.5,78.3,78.5, 91,80.5,88,77,80 | 3364,2928,1714,1688,1533,14 61,1380,1142,764 | O-H(stretching), C=O(stretching), O-H(bending), C-H(bending), C-O(stretching) Ar-H(bending) |
| W2 | 83,71,77,58,54,80, 56,78,35,64 | 3373,2922,2851,1722,1686, 1539,1462,1380,1031,912 | O-H(stretching), C=C(stretching),C-N(stretching) |
| W3 | 96.5,92.5,92,91,91 | 2922,1719,1256,1118, 1068 | O-H(bending), C-N(stretching) |
| W4 | 93,93.5,90,87 | 1719,1466,1250,1017 | C-N(stretching) |

ตารางที่ 12 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR (ต่อ)

| รหัส | %T | Wave number(cm-1) | Functional group |
|------|--|--|--|
| B1-0 | 92,93,77,88,50,42,8 5,83,78,46,73,76,52 ,66,70,84,49 | 3375,3027,2931,2859,1725,16 86,1602,1534,1494,1462,1379 ,1335,1156,1072,1030,844, 763 | O-H(stretching), O=C-H(stretching), C=O(stretching), C=C, C=O(stretching), O-H(bending), Ar-H(bending) |
| B1-1 | 92,84,55,82,50,77, 75,60,47,65,51,56 | 3373,2934,1720,1529,1460, 1381,1335,1236,1146,995, 764,701 | O-H(stretching), C=O(stretching), O-H(bending), C-N(stretching) Ar-H(bending) |
| B2-0 | 89,71,83,31,42,85, 80,45,67,47,45,50, 55,70,50,43 | 3385,2933,2874,1723,1689, 1602,1534,1464,1383,1239, 1070,995,966,847,764,701 | O-H(stretching), C=O(stretching), C=C,C-O C-N(stretching), Ar-H(bending) |
| B2-1 | 98.9,96.2,96.4,95.6, 95.8 | 2933,1684,1461,1384,764,701 | O-H(stretching), C=O(stretching), C-O, Ar-H(bending) |
| B3-0 | 94,77,82,82,74,78, 72,56.4 | 2947,1724,1688,1453,1132, 1031,760,700 | O-H(stretching), C=O(stretching), C-O, Ar-H(bending) |
| DB1 | 92,71,75,76,84,63, 63,62,83,64 | 2947,1723,1689,1454,1383, 1135,1072,1030,845,761 | O-H(stretching), C=O(stretching), Ar-H(bending) |
| DB2 | 87,77,46,37,77,41, 56,72,53,60,48,44 | 3378,2932,1718,1686,1529, 1461,1367,1335,1246,848, 764,701 | O-H(stretching), C=N(stretching),C-H(bending) C-N(stretching), Ar-H(bending) |
| GR1 | 87,89,35,78,56,68 ,39,68,46,37 | 3363,2949,1720,1534,1453, 1382,1071,846,763,701 | O-H(stretching), C=O(stretching), C-H(bending) C-N(stretching), Ar-H(bending) |
| GR2 | 95,89.5,68.5,71,92, 74,86,76,76,74,70 | 3379,2957,1722,1688,1529, 1464,1383,1237,992,764,701 | O-H(stretching), C=O(stretching), C-H(bending) C=C, C-O(stretching), Ar-H(bending) |

ตารางที่ 12 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR (ต่อ)

| รหัส | %T | Wave number(cm-1) | Functional group |
|------|---|---|---|
| R1 | 93,89,76,73,74,84, 68,70,67 | 3374,2924,1719,1685,1461, 1381,1141,1031,763 | O-H(stretching), C=N(bending),O-H(bending) C-N(stretching), Ar-H(bending) |
| R2 | 91,83,57,84,54,76, 80,65,51,70,60,64 | 3379,2932,1722,1529,1461, 1381,1335,1238,1145,993, 764,701 | O-H(stretching), C=O(stretching),N-H(bending) Ar-H(bending) |
| R3 | 86,73,31,39,78,43, 66,66,74,44,63,67, 50,63 | 3385,2932,1724,1688,1534, 1461,1384,1368,1336,1240, 990,846,765,702 | O-H(stretching), C=O(stretching), N-H(bending) C-N(stretching), Ar-H(bending) |
| R4 | 93,86,65,87,86,85, 70,80,64,65,67,60 | 3354,2925,1719,1601,1537, 1494,1453,1381,132,1073, 1030,761 | O-H(stretching), C=O(stretching), C-N(stretching), Ar-H(bending) |

จากสเปกตรัมของเศษสีรยยนต์โดยเทคนิค ATR-FTIR พบพีกช่วงเลขคลื่นประมาณ 3700-2800 cm^{-1} ซึ่งคาดว่าเป็นพีกของ C-H stretching ของอัลเคน พีกของ C=O stretching ของอัลดีไฮด์ที่ช่วงคลื่น 1725 cm^{-1} พีกของ C-H bending ที่ช่วงคลื่น 1465-1450 พีกของ C-O ในช่วงคลื่น 1300-1000 cm^{-1} ซึ่งเป็นสารพวกเอสเทอร์ และพีกของ Ar-H ในช่วงคลื่น 770-730 cm^{-1} ซึ่งเป็นสารพวกเบนซีน โดยในแต่ละตัวอย่างจะมีเลขคลื่นที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ต่างกัน และในช่วง 1820-1760 cm^{-1} สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นจะแสดงพีกของโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการเกาะยึดของสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์เช่น อะครีลิก ยูรีเทน อีพอกซี

1.2 การวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรยยนต์โดยเทคนิค CIE L*a*b* Color

จากนั้นนำเศษสีรยยนต์มาวิเคราะห์คุณภาพโดยเทคนิค Color Spectrophotometer โดยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 830-360 nm โดยตรวจสอบสีในระบบ CIE คือ L* a* b* จากตัวอย่างเศษสีรยยนต์ต่างเฉดสีและยี่ห้อ ซึ่งไม่สามารถแยกได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า เนื่องจากขนาดของตัวอย่างในที่เกิดเหตุจะเป็นเศษเล็กๆ ซึ่งยากต่อการจำแนกสีได้อย่างชัดเจน ได้ผลสเปกตรัมที่มีความแตกต่างกันในทุกตัวอย่าง ดังในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่า L^* a^* b^* ของตัวอย่างเศษสีรถยนต์

| ที่ | รหัส | ยี่ห้อ | L^* | a^* | b^* |
|-----|------|-----------------------------|---------|---------|---------|
| 1 | S1-0 | Toyota-กท4652 นครปฐม | 81.2630 | -0.0662 | 5.8785 |
| 2 | S1-1 | Toyota(vios)-กท1453 สระบุรี | 97.8297 | -1.0160 | 2.4163 |
| 3 | S1-2 | Toyota(vigo)-กน7901 สระบุรี | - | - | - |
| 4 | S1-3 | Toyota(vigo) | 98.4904 | -1.7335 | 6.1433 |
| 5 | S1-4 | Toyota(camry) | 92.3597 | -1.8953 | -2.4922 |
| 6 | S1-5 | Toyota(altis) | 100.231 | -1.1604 | 3.9020 |
| 7 | S1-6 | Toyota(corolla) | 94.3101 | -2.4592 | -1.6318 |
| 8 | S2-0 | Honda(city) | - | - | - |
| 9 | S2-1 | Honda(civic) | 93.8177 | -0.6976 | 3.0907 |
| 10 | S2-2 | Honda(civic) | 94.2212 | -1.1360 | 3.4251 |
| 11 | S3-0 | Mitsubishi l200 | 78.7163 | -0.4519 | 5.5835 |
| 12 | S4-0 | Nissan-กค779 ลพบุรี | 93.9385 | -1.4270 | 4.4973 |
| 13 | G1-0 | Isuzu(d-max) | 73.5978 | 1.9166 | 13.4724 |
| 14 | G1-1 | Isuzu | - | - | - |
| 15 | G2-0 | Honda(city) | 93.6586 | 0.3602 | 10.7431 |
| 16 | G2-1 | Honda(civic) | 81.3284 | 1.4151 | 11.9270 |
| 17 | W1 | Mazda(BT50) | 97.2804 | -1.9274 | 6.3904 |
| 18 | W2 | Toyota(vios) | 95.2124 | -0.8761 | 8.9070 |
| 19 | W3 | Ford | 102.518 | -1.9501 | 8.4509 |
| 20 | W4 | Isuzu(d-max) | 97.1924 | -3.5238 | 4.3186 |
| 21 | B1-0 | Honda(accord) | 15.0358 | -0.3184 | -4.0267 |
| 22 | B1-1 | Honda(city) | 16.9209 | -0.5880 | -3.2698 |
| 23 | B2-0 | Isuzu-บท171 ลพบุรี | 26.8767 | -1.3841 | -2.1823 |
| 24 | B2-1 | Isuzu-กง7654 สระบุรี | 9.8201 | -0.3748 | -1.7568 |
| 25 | B3-0 | Toyota(corolla) | 53.8464 | -0.9959 | 2.5896 |
| 26 | DB1 | Nissan(bigM) | 24.4035 | -3.8066 | -4.8561 |
| 27 | DB2 | Toyota-5129 ลพบุรี | 30.8087 | -3.4764 | -7.3256 |
| 28 | GR1 | Isuzu | 26.5807 | -7.8082 | -0.0959 |
| 29 | GR2 | Toyota-บง4500 สระบุรี | 30.2757 | -7.1395 | 0.6472 |

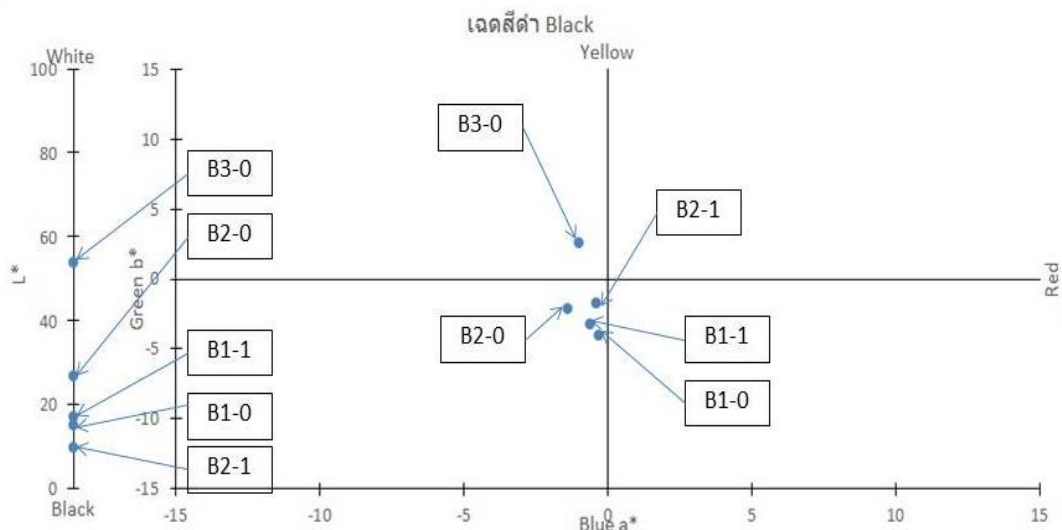
ตารางที่ 13 ค่า L^* a^* b^* ของตัวอย่างเศษสีรถยนต์ (ต่อ)

| ที่ | รหัส | ยี่ห้อ | L^* | a^* | b^* |
|-----|------|--------------------|---------|---------|---------|
| 30 | R1 | Datson | 37.2038 | 32.3018 | 12.2878 |
| 31 | R2 | Mitsubishi(lancer) | 27.4951 | 26.5825 | 8.1656 |
| 32 | R3 | Honda(city) | 38.2865 | 63.4779 | 40.2394 |
| 33 | R4 | Hyundai | 33.3187 | 55.7825 | 30.5376 |

(-) ไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากขนาดของตัวอย่าง

จากตารางที่ 13 ค่า L^* a^* b^* ของตัวอย่างเศษสีรถยนต์ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง (ยกเว้น S1-2, S2-0 และ G1-1) ในกลุ่มเฉดสีต่างๆ คือ สีบรอนด์เงิน สีบรอนด์ทอง สีขาว สีดำ สีเขียว สีน้ำเงิน และสีแดง พบค่าที่วัดได้นั้นมีความแตกต่างกันในทุกตัวอย่างสี และยี่ห้อ แม้บางตัวอย่างจะมีค่าใดค่าหนึ่งที่ใกล้เคียงกัน เช่น กลุ่มตัวอย่างเฉดสีน้ำเงิน DB1 และ DB2 จะพบค่า a^* ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า L^* และ b^* แล้วมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างเฉดสีบรอนด์เงิน จึงทำให้สามารถยืนยันถึงที่มาของรถยนต์ได้

และเมื่อนำผลที่ได้จาก Color Spectrophotometer คือ CIE L^* a^* b^* มาพลอตแบบสามมิติ ยกตัวอย่างเฉดสีดำจะพบตำแหน่ง L^* a^* b^* ที่ต่างกันในทุกตัวอย่าง ซึ่งเมื่อมองด้วยตาเปล่านั้นไม่สามารถแยกได้อย่างชัดเจนว่ามีความแตกต่างกัน เช่นตัวอย่างของ B1-0 และ B1-1 ซึ่งเป็นรถยนต์ยี่ห้อเดียวกันคือยี่ห้อ Honda ที่มองด้วยตาเปล่านั้นเห็นเป็นสีดำเหมือนกันแต่เมื่อผ่านการวิเคราะห์แล้วพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยสังเกตได้จากภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ภาพสเปกตรัมตามระบบ CIE L*a*b* แบบสามมิติของเศษสีรถยนต์เฉดสีดำ คือ Honda accord (B1-0) มีค่า $L^* = 15.0358$, $a^* = -0.3184$, $b^* = -4.0267$; Honda city (B1-1) มีค่า $L^* = 16.9209$, $a^* = -0.5880$, $b^* = -3.2698$; Isuzu (B2-0) มีค่า $L^* = 26.8767$, $a^* = -1.3841$, $b^* = -2.1823$; Isuzu (B2-1) มีค่า $L^* = 9.8201$, $a^* = -0.3748$, $b^* = -1.7568$; Toyota corolla (B3-0) มีค่า $L^* = 53.8464$, $a^* = -0.9959$, $b^* = 2.5896$ ตามลำดับ

จากภาพที่ 10 พบว่าเมื่อนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Color Spectrophotometer มาพลอตแบบสามมิติตามระบบสี CIE L* a* b* ของตัวอย่างเศษสีดำนั้น ผลที่ได้จะมีความต่างกันอย่างชัดเจนเช่นตัวอย่างของ B1-0 และ B1-1 ซึ่งเป็นยี่ห้อเดียวกันคือ Honda นั้นก็มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเพราะการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Color Spectrophotometer นั้นจะวิเคราะห์ทั้งสามมิติคือ ความสว่าง และเฉดสีและจะสังเกตได้ว่า ทุกตัวอย่างที่มาจากรถยนต์ยี่ห้อเดียวกัน หรือต่างยี่ห้อก็จะมีค่า L^* a^* b^* ไม่เหมือนกันซึ่งเป็นวิธีที่ดีในการตรวจสอบสีรถยนต์ เนื่องจากรถยนต์แต่ละคันมีการใช้งานที่ต่างกัน รวมถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ รุ่นของรถยนต์ ปีที่ผลิตส่งผลทำให้ค่าที่ได้ต่างกัน

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1 สรุปผลการทดลอง

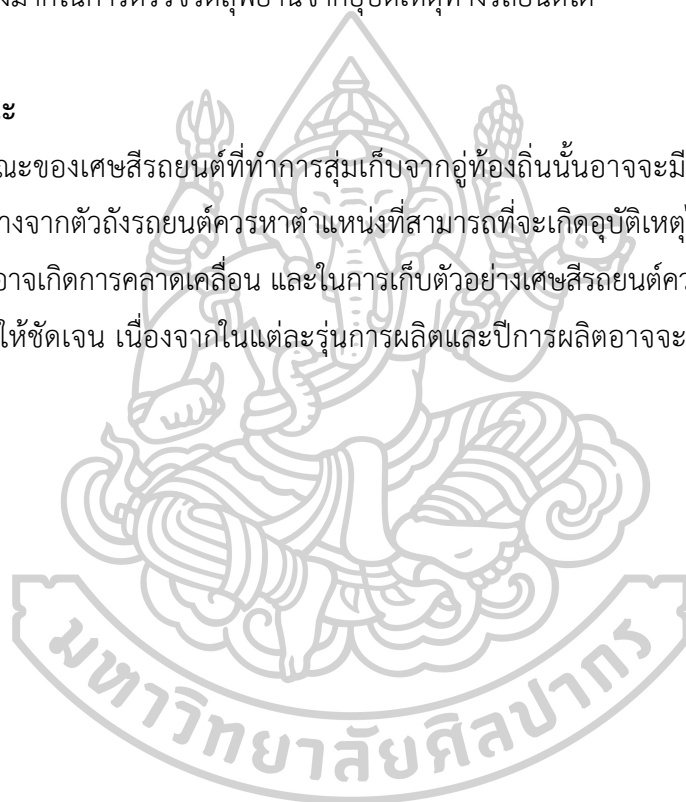
เศษสีรถยนต์ที่อยู่ในที่เกิดเหตุมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการยืนยันแหล่งที่มาของรถยนต์ ซึ่งในการเกิดอุบัติเหตุจะมีเศษสีรถยนต์ตกอยู่ อาจมีขนาดเล็ก หรือใหญ่แตกต่างกันไป ตกอยู่ เมื่อทำการคัดแยกด้วยตาเปล่านั้นไม่สามารถระบุความแตกต่างได้อย่างชัดเจน จึงจำเป็นต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อพิจารณาว่าเป็นเศษสีของรถยนต์ในที่เกิดเหตุ หรือคู่กรณีหรือไม่ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะใช้ประกอบกับการสืบสวนสอบสวนทางกฎหมาย ซึ่งผลที่ได้รับนั้นต้องมีความน่าเชื่อถือ และเป็นสากล จึงต้องใช้การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์มาช่วย ในการแยกรถยนต์โดยการวิเคราะห์เศษสีรถยนต์นั้น มีงานวิจัยก่อนหน้าหลายฉบับ Jakub M. Milczarek, et al.(2006) หาข้อมูลเพิ่มเติมในการยืนยันของสีรถยนต์ เพื่อใช้หารถยนต์ของผู้กระทำผิด โดยใช้เทคนิคของ FTIR เพื่อทำการสร้างฐานข้อมูลรถยนต์จากโปรแกรมสี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Nieznanska J, et al (1999) ศึกษาลักษณะของสีรถยนต์ เพื่อดูสารยึดเกาะและฟิลเลอร์ต่างๆ โดยใช้ Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (MK-FTIR) พบว่าการวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยให้สามารถระบุสีรถยนต์ได้ และสามารถเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของหลักฐานได้ การวิเคราะห์โดย IR นั้นเป็นการบอกถึงหมู่ฟังก์ชันที่เป็นสารประกอบในสารยึดเกาะ หรือสารเติมแต่งต่างๆ ที่ผสมลงในสีพ่นรถยนต์นั้นๆ มีความสอดคล้องกับ Joke De Gelder. (2005) วิเคราะห์ตัวอย่างสีรถยนต์โดยเทคนิค Raman spectroscopy ข้อมูลจากการวิเคราะห์ IR ส่วนใหญ่จะได้สเปกตรัมของสารยึดเกาะที่โดดเด่นออกมาคือแถบสเปกตรัมจากแคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมซัลเฟต ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบของสีเคลือบในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยงานวิจัยเหล่านี้ช่วยยืนยันได้ว่าการใช้เทคนิค ATR-FTIR เป็นเพียงการบอกถึงหมู่ฟังก์ชันของสารเท่านั้น โดยการผลิตรถยนต์นั้นสีที่ใช้จะมีชั้นสีต่างๆ ที่เคลือบอยู่บนผิวของโลหะ เช่น สีรองพื้น สีรถยนต์ และสีเคลือบ เช่น อะครีลิก ยูรีเทน อีพอกซี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าของ Eyring M. (2001) ทำให้การวิเคราะห์นี้ไม่ได้ผลอย่างที่ต้องการ เนื่องจากเป็นเพียงการวิเคราะห์ที่ผิวหน้าของตัวอย่างดังงานวิจัย José M. et al (2012)[16] ที่ได้ผลสอดคล้องกัน

การศึกษานี้ที่ทำการตรวจพิสูจน์เศษสีรถยนต์ในแฉดสีบรอนด์เงิน บรอนด์ทอง ขาว ดำ น้ำเงิน เขียว และแดง นั้นผลจาก ATR-FTIR นั้นมีความคล้ายกันในทุกตัวอย่างทั้งสี และยี่ห้อ จึงไม่สามารถที่จะแยกสีได้อย่างชัดเจน รวมถึงไม่สามารถระบุถึงรถยนต์แต่ละคันได้ วิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะใช้วิเคราะห์เพียงวิธีเดียว จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์อื่นๆ ร่วมด้วยเพื่อหาข้อมูลมายืนยันถึงที่มาของรถยนต์ ซึ่งการศึกษานี้จึงใช้การวิเคราะห์โดยเทคนิค CIE L*a*b* Color Spectrophotometer นั้นมาร่วมด้วย ซึ่งเมื่อนำผลจากการวิเคราะห์มาพิจารณาแล้วค่าสี L* a* b* มีค่าต่างกันอย่างชัดเจน

ในทุกตัวอย่าง จึงเป็นวิธีที่ดีในการแยกแยะสี และยืนยันถึงรณยนต์แต่ละคั่นได้ เพราะโดยปกติแล้ว รณยนต์แต่ละคั่นจะมีลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน รวมถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น แสงแดด หรือ สภาพอากาศ จึงทำให้ค่าการสะท้อนแสงของเศษสีที่เก็บได้จากรณยนต์นั้นแตกต่างกันตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า Hoffman, Erin M. (2007) และ Teragni P. (2013)[17] เทคนิค CIE L*a*b* Color Spectrophotometer นี้จึงเป็นอีกทางเลือกที่ดี ในการตรวจวิเคราะห์เศษสีรณยนต์ จากการเกิดอุบัติเหตุ เพราะการตรวจวิเคราะห์นี้ใช้ตัวอย่างในปริมาณที่น้อยและยังไม่ทำลายวัตถุ พยานอีกด้วย ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจพิสูจน์เบื้องต้นทางนิติวิทยาศาสตร์ และยังเป็น ประโยชน์อย่างมากในการตรวจวัตถุพยานจากอุบัติเหตุทางรณยนต์ได้

2 ข้อเสนอแนะ

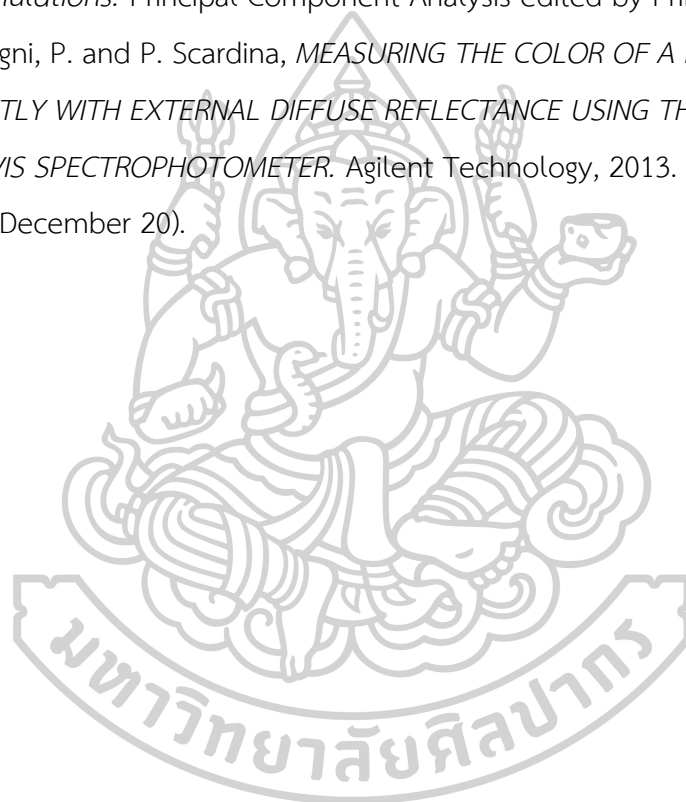
ลักษณะของเศษสีรณยนต์ที่ทำการสุ่มเก็บจากอุ้งถ้ำนั้นอาจจะมีการทำสีเพิ่มเติม ดังนั้น การเก็บตัวอย่างจากตัวถังรณยนต์ควรหาตำแหน่งที่สามารถที่จะเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ซึ่งในการทดลอง นั้นข้อมูลที่ได้ อาจเกิดการคลาดเคลื่อน และในการเก็บตัวอย่างเศษสีรณยนต์ควรระบุรุ่นและสีรณยนต์ที่ ผู้ผลิตกำหนดให้ชัดเจน เนื่องจากในแต่ละรุ่นการผลิตและปีการผลิตอาจจะมีผลต่อการวิเคราะห์ได้



รายการอ้างอิง

1. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์. ประชากรมนุษย์. 2559 [cited 2559 5 พฤษภาคม]; Available from:
http://human.uru.ac.th/Major_online/SOC/03Population/Life_3.htm.
2. เขมะเพชร, อ., ปัญหาการดำเนินงานของระบบขนส่งมวลชนและแนวทางการแก้ไข. The journal of KMUTNB, 2557. 24(No.2).
3. สีดาเพ็ง, อ., การป้องกันอุบัติเหตุและอุบัติเหตุจากการจราจร. 2559.
4. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, อินฟราเรด สเปคโตรสโคปี. 2557.
5. Volution, K. การวัดสเปกตรัมโดยใช้เทคนิค *Attenuated Total Reflectance (ATR)*. 2555 [cited 2555 11 กุมภาพันธ์]; Available from:
<http://share.psu.ac.th/blog/aym2/22574>.
6. K.M.Color. ความรู้เรื่องสีพ่นรถยนต์. 2556 17 มีนาคม 2556]; Available from:
<http://kmcolor.blogspot.com/2013/03/blog-post.html>.
7. Techno, P.A. การวัดสี (*Color Measuring*). 2557 25 ตุลาคม 2557]; Available from:
<https://www.pballtechno.com/article>.
8. Group, S. ความรู้เกี่ยวกับสีพ่นซ่อมรถยนต์. 2559 12 ธันวาคม 2559]; Available from:
http://www.smartgroup.co.th/news_detail.php?id=43.
9. Eyring, M., M. Lovelace, and D. Sy, *A study of the Discrimination of Some Automotive Paint Films Having Identical Color Codes*. Forensic science Handbook, 2001. Vol1(2nd Ed): p. 321-388.
10. Milczarek, J.M., et al., *FORENSIC EXAMINATION OF CAR PAINTS* Institute of Forensic Research, 2006. ul. Westerplatte 9(31-033 Krakow Poland).
11. Zięba-Palus, J. and R. Borusiewicz, *Examination of multilayer paint coats by the use of infrared, Raman and XRF spectroscopy for forensic purposes*. Journal of Molecular Structure, 2006. 792-793: p. 286-292.
12. Kugler, V. and K. Nord, *Forensic Paint Analysis ZEISS EVO*, 2016(Carl Zeiss Microscopy GmbH).
13. Nieznanska, J. and J. Zieba-Palus, *PHYSICO-CHEMICAL STUDY OF CAR PAINTS COATS* Institute of Forensic Research, Cracow, 1999.

14. Robertson, I., *Analysis of Automobile Paint Chips Using an Automated IR Microscope*. Perkin Elmer, Inc., 2015 (Perkin Elmer is a registered trademark of Perkin Elmer).
15. Umale, S. and P. Mahanwar, *Characterization and Application of Naturally Occurring Mineral Based Pigment in Surface Coating*. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2012. 11: p. 1101-1107.
16. Medina-Ruiz, J.M., *Principal Component Analysis in Industrial Colour Coating Formulations*. *Principal Component Analysis* edited by Prinya Sanguansat, 2016.
17. Teragni, P. and P. Scardina, *MEASURING THE COLOR OF A PAINT ON CANVAS DIRECTLY WITH EXTERNAL DIFFUSE REFLECTANCE USING THE AGILENT CARRY 60 UV-VIS SPECTROPHOTOMETER*. Agilent Technology, 2013. 5991-3783 ENE (December 20).



ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|---|
| ชื่อ-สกุล | นันทภัทร์ ทิมอรรถ |
| วัน เดือน ปี เกิด | 09 ตุลาคม 2532 |
| สถานที่เกิด | กาญจนบุรี |
| วุฒิการศึกษา | พ.ศ. 2547-2549 สำเร็จการศึกษา มัธยมศึกษาตอนต้น ร.ร.พนมทวนชนูปถัมภ์ อำเภอนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ. 2549-2551 สำเร็จการศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย ร.ร.พนมทวนชนูปถัมภ์ อำเภอนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ. 2551-2554 สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ. 2555 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 3 ม.8 ตำบลพังตรู อำเภอนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี 71140 |

