

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

Examination of automotive paint flakes by A Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) and Color determination

นันณภัทร์ ทิมอรรถ (Nannapat Timad)^{*}

ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี (Supachai Supaluknari)^{**}

ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง (Sirirat Choosakoonkriang)^{**}

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ: เศษสีรถยนต์ / ATR-FTIR / CIE $L^*a^*b^*$

^{*} หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

Science program in Forensic Science, Graduate school, Silpakorn University

^{**} ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University

Abstract

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.

Keywords: car's flakes / ATR-FTIR / CIE $L^*a^*b^*$

บทนำ

ปัจจุบันการคมนาคมในประเทศไทยนั้นยังมีปัญหาอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรที่หนาแน่นขึ้น ทำให้จำนวนของรถยนต์ภายในประเทศมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละปี ปัญหาที่ตามมาอย่างเลี่ยงมิได้คือการจราจรที่ติดขัด เพราะจำนวนถนนที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณรถยนต์ ที่มีนั่นเอง นอกจากนี้ยังคงพบว่าการจราจรในพื้นที่ต่างๆ ยังคงมีปัญหการจราจรติดขัดอยู่มาก และส่งผลกระทบกับการจราจรเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่ๆ ด้านกฎหมายที่มีนั้นไม่ได้เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาอย่างแท้จริง เป็นเพียงการบังคับใช้กฎหมายเท่านั้น แต่ไม่มีการเคารพกฎจราจรจากผู้ขับขี่ รวมถึงการประชาสัมพันธ์ถึงกฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ ไม่ทั่วถึง จึงทำให้ปัญหการจราจรจึงไม่หมดไปและทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาคืออุบัติเหตุทางการจราจรซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ประเทศไทยมีอัตราการบาดเจ็บบนท้องถนนอยู่ที่อันดับต้นของเอเชีย

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าอุบัติเหตุทางการจราจรนั้นไม่สามารถลดลงได้ เพราะผู้ขับขี่ไม่มีวินัยร่วมกับการฝ่าฝืนกฎจราจรอยู่เสมอๆ ดังนั้นวิทยาการทางวิทยาศาสตร์จึงถูกนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์ เพราะการตรวจพิสูจน์นั้นมีความน่าเชื่อถือ และเป็นสากล จึงทำให้นิติวิทยาศาสตร์มีความสำคัญในการตรวจพิสูจน์เมื่อเกิดอุบัติเหตุทางการจราจร นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการสืบสวนสอบสวนในการหาตัวผู้กระทำผิดมารับโทษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ปัจจุบันการวิเคราะห์ทางนิติวิทยาศาสตร์ถูกพัฒนามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเทคนิควิธีการเพื่อตอบสนองต่อความหลากหลายของการเกิดเหตุ

สำหรับสีของรถยนต์นั้นไม่เพียงแต่ให้ความงามกับรถยนต์เท่านั้นแต่ยังทำหน้าที่เป็นฟิล์มที่คอยปกป้องรถไว้ไม่ให้เสื่อมสภาพโดยเร็วอีกด้วย เมื่อเกิดอุบัติเหตุทางสีรถยนต์จึงมีความสำคัญต่อการระบุถึงรถยนต์นั้น โดยสีพ่นรถยนต์มีหน้าที่หลักๆ คือ ป้องป้องพื้นผิวของรถยนต์จากมลภาวะต่างๆ และให้ความสวยงามแก่รถยนต์นั่นเอง สีพ่นรถยนต์เป็นสารเคมีที่ขาดไม่ได้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์เพราะสีเหล่านี้ทำให้เกิดเอกลักษณ์ของรถยนต์นั้นๆ องค์ประกอบของสีพ่นรถยนต์มีอยู่ด้วยกัน 4 อย่างคือ ผงสี (Pigment) ช่วยในการ

ปิดบังพื้นผิวของรถยนต์ สารยึด (Binder) ทำหน้าที่ในการเกาะของอนุภาคของสารประกอบให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มของสีติดกับพื้นผิวของโลหะเคลือบไว้ เช่น น้ำมันแห้งเร็ว (Drying Oil) เรซินธรรมชาติ เรซินสังเคราะห์ สำหรับเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีพ่นรถยนต์จะนิยมใช้เรซินสังเคราะห์ เช่น ไนโตรเซลลูโลส อะครีลิก ยูรีเทน อีพอกซี ตัวทำละลาย (Solvent) ช่วยละลายให้สารต่างๆผสมเข้ากันได้ดีและปรับความหนืดของสีให้เหมาะสมต่อการใช้งาน สารเติมแต่ง (Additives) เติมลงไปเพื่อช่วยปรับคุณภาพให้ได้ตามความต้องการเพียงเล็กน้อย ทำให้สีมีคุณสมบัติที่พิเศษขึ้น

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

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างเศษสีรถยนต์โดยใช้เครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ในการตรวจวิเคราะห์เศษสีรถยนต์ และศึกษาความแตกต่างของสีรถยนต์ที่ไม่สามารถแบ่งแยกได้ด้วยตาเปล่า โดยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่อง IR spectrometer จากบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum 100 FTIR system Universal โดยใช้ ATR Sampling Accessory ที่มี Diamond cell เป็นองค์ประกอบ ทำการตั้งสภาวะการทดลองดังนี้คือ scan range ในช่วง $4000-600\text{ cm}^{-1}$ จำนวนครั้งที่สแกน 64 ครั้ง มี Resolution เท่ากับ 2 cm^{-1} และเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer จากบริษัท Agilent Technologies Thailand ทำการตั้งสภาวะการทดลองในช่วงคลื่น 830-360 nm. Option Y mode %R Correction baseline, Illuminants CIE D65, Color spaces CIE L*a*b* วิธีการกำหนดสเกลการวัดสีเป็น 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

การเก็บตัวอย่างเศษสิรยนต์

เก็บตัวอย่างเศษสิรยนต์ โดยการชุบสีทั้งหมด 33 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเฉดสี และยี่ห้อ รยนต์ จากนั้นทำการเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาด เขียนฉลากบอกรายละเอียด เฉดสี ยี่ห้อ สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การวิเคราะห์เศษสิรยนต์ โดยเทคนิค ATR-FTIR

นำตัวอย่างเศษสิรยนต์จากการสุ่มมาแยกเฉดสี และยี่ห้อ แบ่งตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ ขนาดประมาณ 1*1 เซนติเมตร ตั้งค่าเครื่องโดยให้อยู่ในช่วงคลื่น $4000-600\text{ cm}^{-1}$ resolution 2 cm^{-1} จำนวนสแกน 64 รอบ/ครั้ง นำผลสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล โดยดูความเข้มและตำแหน่งของพิกัดตารางที่ 1



a ATR Accessory



b แผ่นวางตัวอย่าง



c หมุนที่จับตัวอย่างให้พอดี

ตารางที่ 1 เครื่อง Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) (a) เครื่อง ATR Accessory (b) แผ่นตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ (c) หมุนที่จับตัวอย่างให้พอดีสำหรับการวิเคราะห์



B1-1



B2-0



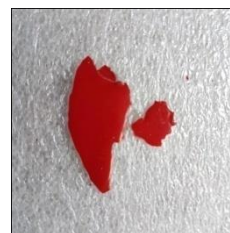
B2-1



R2



R3



R4



S1-3

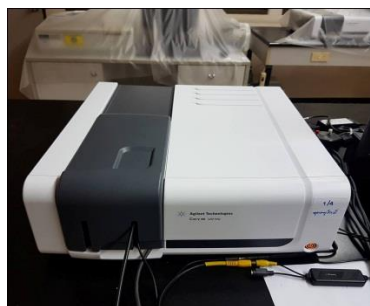


S1-4



S1-5

2. การวิเคราะห์เศษสีรยยนต์ โดยเทคนิค CIE L*a*b* Color Spectrophotometer ทำการเซตเครื่องวิเคราะห์ให้ไว้ในช่วงคลื่น 830-360 nm, %R, baseline CIE 065, CIE L*a*b* วิเคราะห์ผลการทดลอง CIE L*a*b* คือค่าสีที่สะท้อนของแต่ละตัวอย่างดังตารางที่ 2



a เครื่องวัดสี



b วางตัวอย่าง

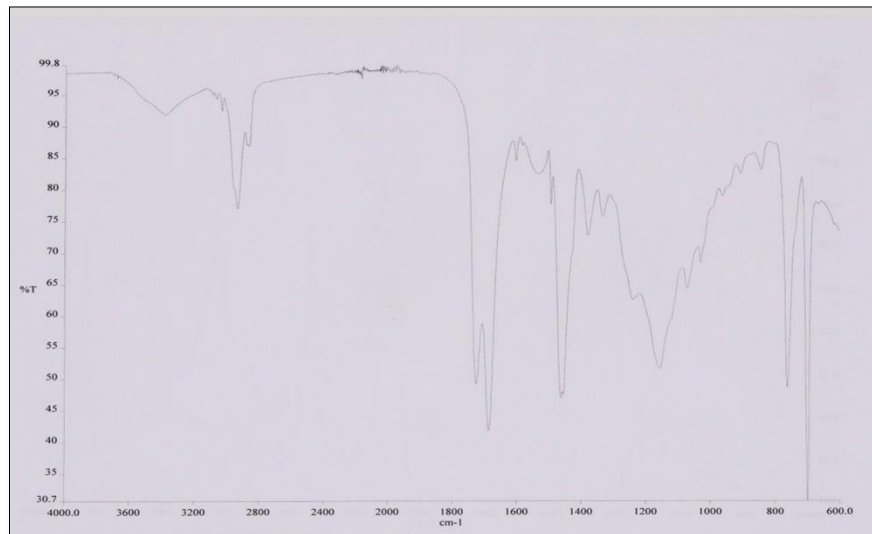


c ตรวจสอบตำแหน่งให้พอดี

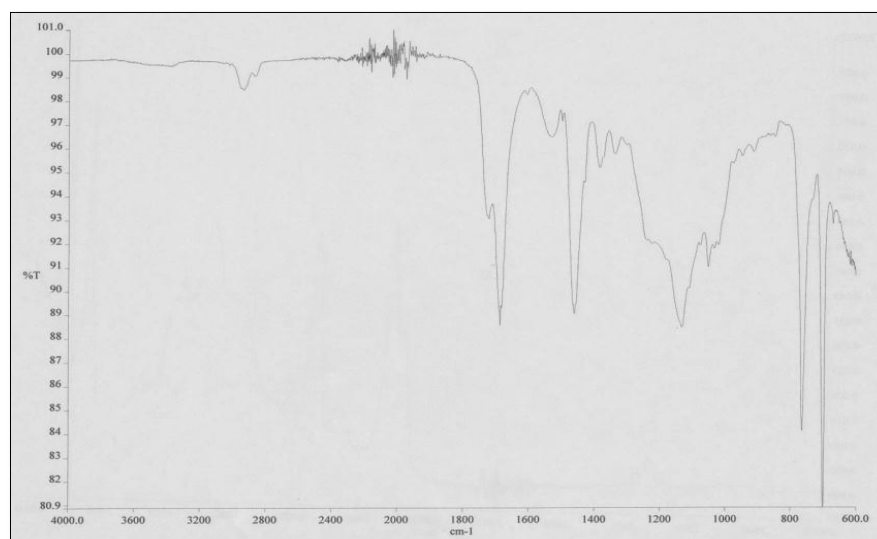
ตารางที่ 2 เครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer (a) เครื่องวัดสีสำหรับการวิเคราะห์เศษสีรยยนต์ (b) วางตัวอย่างให้พอดีสำหรับช่องวิเคราะห์ (c) ตรวจสอบตำแหน่งของที่วัดตัวอย่างให้ตรง

ผลการวิจัย

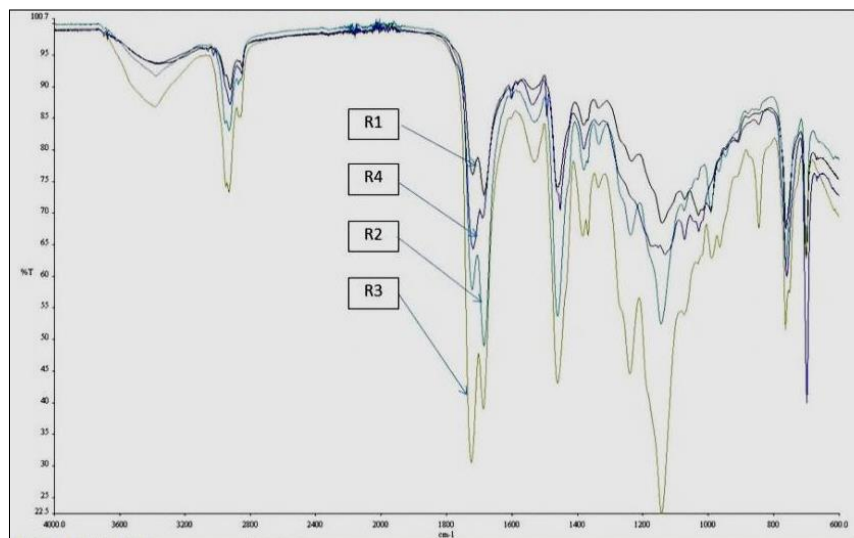
การวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรยยนต์โดยเทคนิค ATR-FTIR ของเศษสีรยยนต์ในเฉดสีเดียวกัน ต่างผู้ผลิต และผู้ผลิตเดียวกันโดยเทคนิค Spectrophotometer ทำการศึกษาคุณภาพของสีพ่นรยยนต์โดยนำตัวอย่างเศษสีมาวิเคราะห์ด้วย Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ที่ $4000-600\text{ cm}^{-1}$ จำนวนสแกน 64 รอบ/ครั้ง แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในสีพ่นรยยนต์



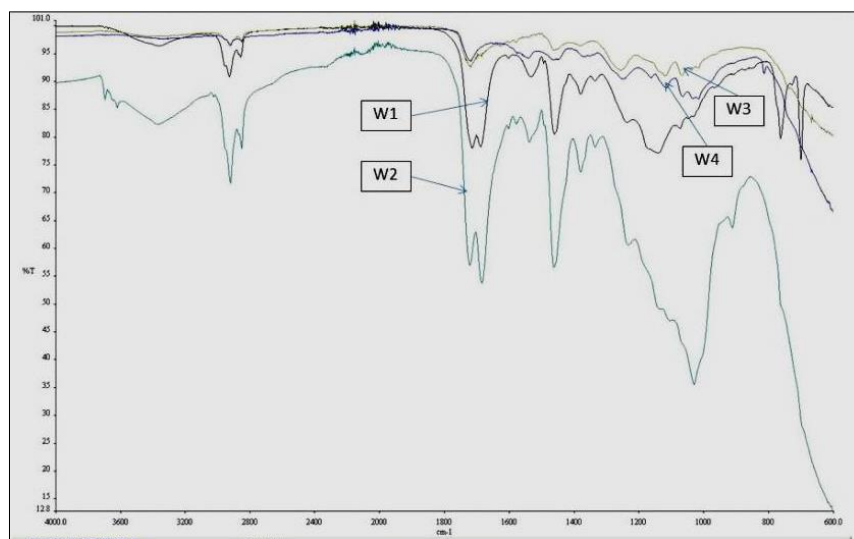
ภาพที่ 1 สเปกตรัมของตัวอย่างของเศษสีรถยนต์สีดำ Honda-accord (B1-0) ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) จะมีช่วงการสะท้อนที่สังเกตได้ คือ 3375, 2931, 1725, 1686, 1462, 1156, 763 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 สเปกตรัม ATR-FTIR ของเศษสีรถยนต์สีดำ (S3-0) จะมีช่วงคลื่นที่ 1687, 1463, 1143, 763 ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน C=O, C=C(stretching), C-O(stretching), Ar-H(bending)



ภาพที่ 3 สเปกตรัม ATR-FTIR ของเศษสีรถยนต์กลุ่มสีแดงต่างผู้ผลิตคือ Datson (R1), Mitsubishi-lancer(R2), Honda-city(R3), Hyundai (R4)



ภาพที่ 4 สเปกตรัม ATR-FTIR ของเศษสีรถยนต์เฉดสีขาวต่างผู้ผลิตคือ Toyota-vios (W1), Toyota-vios (W2), Ford (W3), Isuzu (W4)

ตารางที่ 3 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, 73,63,57,51	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, 80,51,70,75,45,49	3374,2927,1724,1685,1602, 1540,1494,14652,1381,1336, ,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, 85,73,73,65	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, 84,86,80,78	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)
S2-2	95,86.5,83.5,83.8, 91.5,87,84,81.5,81 .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)

ตารางที่ 3 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR (ต่อ)

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, 1464,1383,1235,1074,992,7 63,701	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, 1461,1379,1238,843,764,70 1	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, 1461,1380,1142,764	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)
B1-0	92,93,77,88,50,42, 85, 83,78,46,73,76,52 ,66,70,84,49	3375,3027,2931,2859,1725, 1686,1602,1534,1494,1462, 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)

ตารางที่ 3 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR (ต่อ)

B1-1	92,84,55,82,50,77, 75, 60,47,65,51,56	3373,2934,1720,1529,1460, 1381,1335,1236,1146,995,7 64,701	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	2933,1684,1461,1384,764,7 01	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, 1461,1367,1335,1246,848,7 64,701	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, 1464,1383,1237,992,764,70 1	O-H(stretching), C=O(stretching), C-H(bending) C=C, C-O(stretching), Ar-H(bending)
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)

ตารางที่ 3 เลขคลื่นที่พบในสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR-FTIR (ต่อ)

รหัส	%T	Wave number(cm-1)	Functional group
R2	91,83,57,84,54,76, 80 ,65,51,70,60,64	3379,2932,1722,1529,1461, 1381,1335,1238,1145,993,7 64,701	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, 1494,1453,1381,132,1073,1 030,761	O-H(stretching), C=O(stretching), C-N(stretching), Ar-H(bending)

ตารางที่ 4 เลขคลื่นและตำแหน่งองค์ประกอบของเศษสีรถยนต์ B1-0 Honda(accord)

เลขคลื่น	3375,3027	2931	1725, 1686	1462	1156	763
หมู่ฟังก์ชัน	O-H (stretching), O=C- H(stretching),	C=O (stretching),	C=C (stretching),	C=O (stretching),	O-H (bending),	Ar-H (bending)

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

การวิเคราะห์ด้านคุณภาพของเศษสีรถยนต์โดยเทคนิค Color Spectrophotometer โดยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ที่เลขคลื่น $830-360\text{ nm}$ โดยตรวจสอบสีในระบบ CIE คือ $L^* a^* b^*$ จะได้สเปกตรัมที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนดังตารางที่ 2 ภาพตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากเศษสีรถยนต์สีแดงต่างยี่ห้อกันดังภาพที่ 6 และสเปกตรัมที่ได้จากเศษสีรถยนต์สีขาว 7

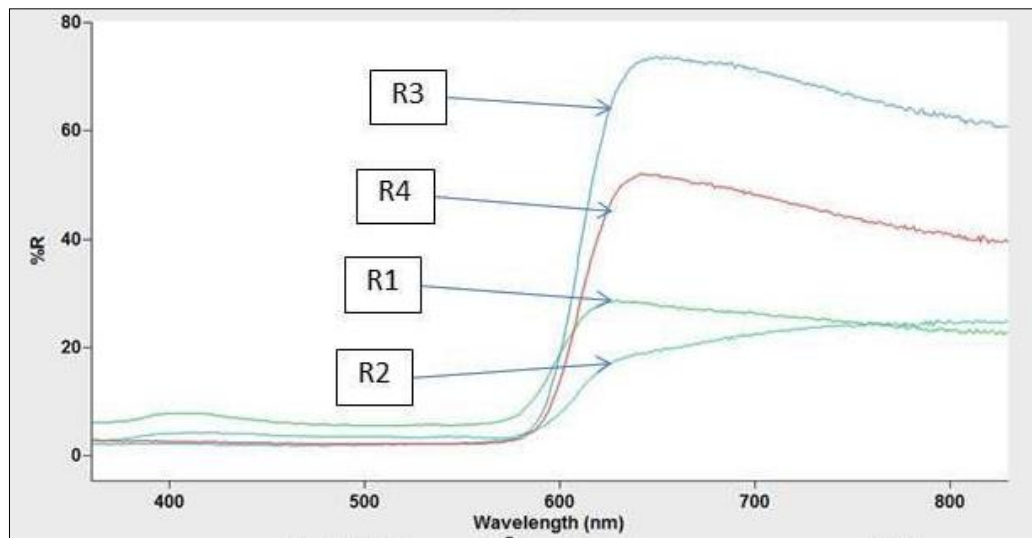
ตารางที่ 5 ค่าการสะท้อนแสง L* a* b* ของตัวอย่างเศษสีรถยนต์

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	93.6586	0.3602	10.7431
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
30	R1	Datson	37.2038	32.3018	12.2878

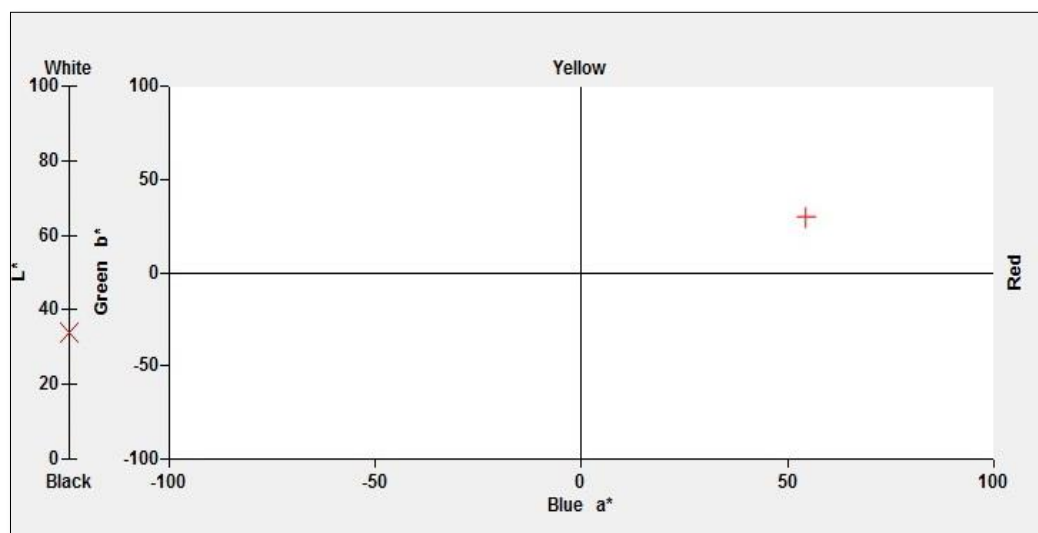
ตารางที่ 5 ค่าการสะท้อนแสง L^* a^* b^* ของตัวอย่างเศษสีรถยนต์ (ต่อ)

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

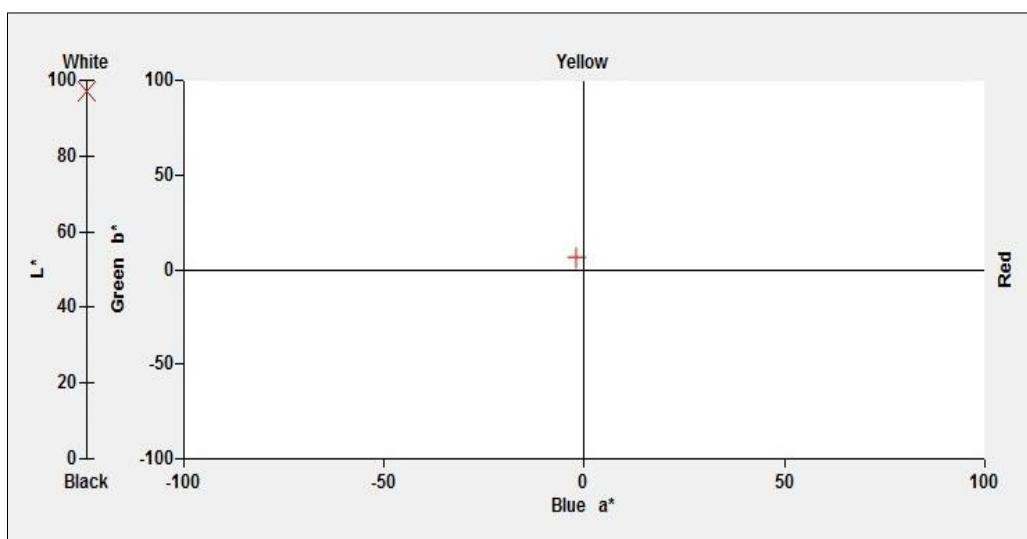
(-) ไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากขนาดของตัวอย่าง



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของเศษสีรถยนต์สีแดงทั้งสี่สีหือ คือ Honda-city (R3), Hyundai (R4), Datson (R1) และ Mitsubishi-lancer (R2) ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ตัวอย่างสเปกตรัมในการสะท้อนแสงสามมิติของเศษสีรถยนต์สีแดง Hyundai (R4) มีค่า $L^* = 33.3187$, $a^* = 55.7825$ และ $b^* = 30.5376$ ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ตัวอย่างภาพสเปกตรัมในการสะท้อนแสงสามมิติของเศษสีรถยนต์สีขาว Mazda-BT50 (W1) มีค่า $L^* = 97.2804$, $a^* = -1.9274$ และ $b^* = 6.3904$ ตามลำดับ

จากภาพที่ 12 และ 13 เป็นสเปกตรัมสามมิติของตัวอย่างเศษสีรถยนต์สีแดง Hyundai R4 และ Mazda (BT50) W1 ตามลำดับพบว่าตัวอย่างเศษสีรถยนต์มีการสะท้อนแสงที่ต่างกันในทุกตัวอย่างสี และยิ่งห่อ จึงทำให้สามารถระบุรถยนต์ได้ ทั้งนี้ยังสามารถบอกได้ว่าตัวอย่างอยู่ในช่วงของสีใด จากตารางที่ 13 แสดงถึงการสะท้อนแสงของเศษสีรถยนต์โดยค่า CIE $L^*a^*b^*$ ซึ่งรถยนต์แต่ละคัน แม้จะรุ่นเดียวกัน ยี่ห้อเดียวกัน สีเดียวกัน หากมีการใช้งานที่ต่างกันจะทำให้ค่าสีที่ได้มีค่าต่างกันตามไปด้วย ถือได้ว่ามีสีที่เป็นเอกลักษณ์ของรถยนต์คันนั้นๆ ในทางนิติวิทยาศาสตร์จึงมีประโยชน์อย่างในการระบุรถยนต์ที่เกิดเหตุได้

สรุปผลการวิจัย

เศษสีรถยนต์ที่อยู่ในที่เกิดเหตุมีความสำคัญอย่างมาก สำหรับยืนยันแหล่งที่มาของเศษสีจากรถยนต์คันใด ซึ่งการมองเห็นด้วยตาเปล่านั้นไม่สามารถระบุได้ว่า เป็นรถยนต์คันใด ฉะนั้นจึงต้องทำการตรวจวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถระบุถึงรถยนต์ในที่เกิดเหตุหรือไม่ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเศษสีรถยนต์ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มสีบรอนด์เงิน, บรอนด์ทอง, ขาว, ดำ, น้ำเงิน, เขียว และแดง โดยเครื่อง ATR-FTIR เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงคลื่น $4000-600\text{ cm}^{-1}$ ของแต่ละยี่ห้อ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ต่างเพียงอัตราการดูดกลืนแสงเท่านั้น โดยทุกตัวอย่างจะพบหมู่ฟังก์ชัน C-H stretching ที่เลขคลื่นประมาณ $3700-2800\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของของอัลเคน ช่วงคลื่น 1725 cm^{-1} พีคของ C=O stretching ที่ช่วงคลื่น $1465-1450\text{ cm}^{-1}$ พีคของอัลดีไฮด์ ช่วงคลื่น $1300-1000\text{ cm}^{-1}$ พีคของ C-H bending พีคของ C-O ซึ่งเป็นสารพวกเอสเทอร์ และในช่วงคลื่น $770-730\text{ cm}^{-1}$ ของ Ar-H ซึ่งเป็นสารจำพวกเบนซีน และนอกจากนี้ยังแสดงสเปกตรัมของโพลิเมอร์ ในช่วง $1820-1760\text{ cm}^{-1}$ ของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นสารที่ใช้ในการเกาะยึดของอนุภาคสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์เช่น อะครีลิก ยูรีเทน อีพอกซี ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eyring M. B., (2001)

ส่วนการวิเคราะห์เศษสีรถยนต์โดยเทคนิค CIE $L^*a^*b^*$ Color Spectrophotometer ในช่วงคลื่น 830-360 นาโนเมตร นั้นพบว่ากลุ่มสีเดียวกัน จะมีลักษณะการสะท้อนแสงที่คล้ายกันแต่ไม่เหมือนกัน จึงสามารถที่จะทำการแบ่งแยกเศษสีรถยนต์ได้ เพราะแต่ละสีนั้นมีความเป็นเอกลักษณ์ในการสะท้อนแสง ซึ่งอาจเกิดจากปีที่ผลิตและครั้งที่ผลิตรถยนต์ รวมถึงลักษณะการใช้งาน แสงแดด หรือสภาพอากาศที่ต่างกัน เช่นกลุ่มสี บรอนด์เงินของยี่ห้อ Toyota (S1-2 ถึง S1-6) และกลุ่มสีดำ ยี่ห้อ Honda (B1-0, B1-1) จะมีลักษณะการสะท้อนแสงที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเศษสีรถยนต์ที่อยู่ในกลุ่มสี ผู้ผลิต และรุ่นรถยนต์เดียวกัน เช่น กลุ่มสีดำของยี่ห้อ Honda (S2-1, S2-2) จะมีค่าสีที่ต่างกัน จึงทำให้สามารถยืนยันถึงรถยนต์ได้ เทคนิคนี้จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีในการตรวจวิเคราะห์เอดสี ของเศษสีรถยนต์ทางนิติวิทยาศาสตร์

จากผลที่ได้จึงสรุปได้ว่าเทคนิค ATR-FTIR ไม่สามารถระบุถึงรถยนต์ หรือผู้ผลิตสีพ่นรถยนต์ได้ เป็นเพียงการทดสอบหมู่ฟังก์ชันเบื้องต้นเท่านั้น จึงทำให้สเปกตรัมที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน เทคนิคนี้จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ ส่วนเทคนิค CIE $L^*a^*b^*$ Color Spectrophotometer สามารถระบุถึงรถยนต์ แต่ไม่สามารถบอกถึงผู้ผลิตสีพ่นรถยนต์ได้ ทั้งนี้รถยนต์ที่มีการใช้งานที่ต่างกัน จึงทำให้ค่าสีที่ได้มีความเป็นเอกลักษณ์ จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ด้านนิติวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติภากร เมืองกรุง. (2556) “ความรู้เรื่องสีพ่นรถยนต์” [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2559 เข้าถึงได้จาก <http://kmcOLOR.blogspot.com/2013/03/blog-post.html>

พีบี ออล เทคโนโลยี. (2557) “การวัดสี (Color Measuring)” [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2559 เข้าถึงได้จาก <https://www.pballtechno.com/article>

ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.(2556) “สี (Color)” [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ 13 มกราคม 2559 เข้าถึงได้จาก <http://cms2.swu.ac.th/Portals>

ร้อยตำรวจโทหญิงเบญจพร พรหมลี.(2556) “การศึกษาถุงซิปลาสติกที่ใช้บรรจุยาเสพติดด้วยเทคนิค ATR-FTIR และ TGA” [ออนไลน์] ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร 2556 เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2559 เข้าถึงได้จาก <http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext>

สยามนิสสัน บอดี. (2559) “ความรู้เรื่องสีพ่นซ่อมรถยนต์” [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2559 เข้าถึงได้จาก <http://siamnissan.com/siamnissanbody>

อานนท์ สีดาเพ็ง. “การป้องกันอุบัติเหตุจากการจราจร” [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2559 เข้าถึงได้จาก <http://www.libarts.mju.ac.th/LibDocument/EBook>

อิทธิพงษ์ เขมะเพชร และคณะ.(2557) “ปัญหาการดำเนินงานของระบบขนส่งมวลชนและแนวทางการแก้ไข” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 พ.ค. - ส.ค. 2557 [ออนไลน์] เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2559 เข้าถึงได้จาก <http://ojs.kmutnb.ac.th>

ภาษาต่างประเทศ

Eyring M. B. (2001) “Visible Microscopical Spectrophotometry in the Forensic Sciences”, Forensic Science Handbook, Vol. I (2nd Ed.), R. Saferstein, Ed. Prentice-Hall, New Jersey: pp. 321-388

Janina Zieba-Palus. (2006) “Examination of multilayer paint coats by the use of infrared, Raman and XRF spectroscopy for forensic purposes” Journal of Molecular Structure, 792-793 (2006): 286-292

Krunal N. Jariwala. (2014) “Forensic Examination of Paint” INDIAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH, 247 Volume 4, Issue 7 July 2014

Milczarek J. M., Zieba-Palus J., Koscielniak P.(2006) “Application of pyrolysis-gaschromatography to car paint analysis for forensic purposes” Problems of Forensic Science, XLI (accepted in press)

Veronika Kugler, Statens Kriminaltekniska.(2016) “Forensic Paint Analysis” Zeiss Evo, June 2016