การตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)* และ Thermogravimetric Analysis (TGA)

Examination of automotive paint flakes by X-Ray diffraction analysis (XRD) and Thermogravimetric analysis (TGA)

ถิระนันทน์ มนต์ประจักษ์ (Thiranan Monprajak)**
ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี (Supachai Supaluknari)***
ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง (Sirirat Choosakoonkriang)****

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) นำตัวอย่างเศษสีของรถยนต์จำนวน 20 ตัวอย่างที่เก็บโดยการขูดหรือลอกสีชั้นบนของรถยนต์ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) จะได้ Diffractogram ที่มีตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่แตกต่างกัน 19 ตัวอย่าง อย่างไรก็ตามพบว่ามี 2 ตัวอย่างซึ่งเป็นเศษสีของรถยนต์สีขาวที่มีตำแหน่งพีค 2θ (deg) เหมือนกันทุกตำแหน่ง ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่าเทอร์โมแกรมของตัวอย่างมีช่วงอุณหภูมิของการสูญเสียน้ำหนักเป็น 3 รูปแบบ เมื่อดูความแตกต่างจากรูปแบบของเทอร์โมแกรมที่ได้ พบว่าสามารถแยกความแตกต่างได้ 17 ตัวอย่าง ดังนั้นเมื่อนำเทคนิคทั้งสองมาใช้ร่วมกัน สามารถจำแนกความแตกต่าง ตัวอย่างได้ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง จากงานวิจัยสรุปได้ว่าเทคนิค XRD ร่วมกับเทคนิค TGA เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ใช้ในการจำแนกตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ที่นำมาวิเคราะห์ได้ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสืบสวนสอบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย วิเคราะห์ได้สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างน้อย

---

*เพื่อเผยแพร่งานวิจัยทางนิติวิทยาศาสตร์ และงานยุติธรรม

**สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
(Forensic Science Program, Faculty of Science, Silpakorn University (thianan.fs@gmail.com))
***ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
(Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University (supsupalak@gmail.com))
****ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
(Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University (sirirat_157@yahoo.com))

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 4 July – August 2017 ISSN 2408 - 1248

Abstract

The aim of this study was to employ the techniques of X-Ray Diffraction (XRD) and Thermogravimetric Analysis (TGA) in the examination of automotive paints. Twenty samples of paint flakes were collected from the automotive of different brands by stripping off the top coating of the car body. In the XRD analysis, the diffractograms of nineteen samples displayed peak positions at different values of 2θ (degree). However, two samples of white color had identical diffractogram pattern. In the TGA measurements, three different temperature profiles of weight loss were observed in the thermograms of samples studied. Seventeen samples can be distinguished by their unique temperature profiles of weight loss. However, the combined results from the two methods can be used to discriminate all paint samples examined. This study has shown that the techniques of XRD and TGA are the useful methods for discrimination of automotive paint samples in forensic investigation. The two methods require minimal amount of sample and simple sample preparation.

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาการขับรถเฉี่ยวชนกันบนท้องถนนถือเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นทุกวัน แต่ปัญหาใหญ่ของเหตุการณ์ในลักษณะนี้ คือการชนแล้วหนี คดีฆาตรกรรมอำพราง คดีอุบัติเหตุรถเฉี่ยวชนกัน ซึ่งนับเป็นปัญหาที่มีความท้าทายที่ต้องใช้พยานหลักฐานในสถานที่เกิดเหตุต่างๆ เช่น เศษชิ้นส่วนของรถที่ตกหล่นอยู่บริเวณที่เกิดเหตุ ภาพจากกล้องวงจรปิด เศษสีของรถยนต์ที่ติดอยู่ที่เสื้อผ้าหรือรถของผู้เสียหายซึ่งอาจนอนเจ็บอยู่หรืออาจเสียชีวิตอยู่ในสถานที่เกิดเหตุ แต่กลับไม่มีบุคคลใดแสดงความรับผิดชอบต่อการกระทำความผิดที่เกิดขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของการนำเอาพยานหลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มาช่วยคลี่คลายคดี สร้างความเป็นธรรมให้กับผู้เสียหาย สามารถทำได้โดยการตรวจเก็บเศษสีรถยนต์ที่อาจกระจายตกอยู่ในสถานที่เกิดเหตุที่เกิดการชนกัน แล้วนำตัวอย่างที่ตรวจเก็บได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจเปรียบเทียบกับรถยนต์ผู้ต้องสงสัยต่อไป

สถานที่เกิดเหตุส่วนใหญ่ เศษสีรถยนต์ที่หลุดออกมาจากการชนกันย่อมถ่ายโอนไปยังเสื้อผ้าผู้เสียหายในกรณีการชนกับคน หรือถ่ายโอนไปยังรถเมื่อเกิดการชนกัน ซึ่งช่วยในการสืบหารถยนต์คันก่อเหตุโดยวิธีการตรวจเปรียบเทียบกับรถคันต้องสงสัยที่ก่อเหตุดังกล่าว สีรถยนต์มีประโยชน์ เน้นความสวยงามและการป้องกันการกัดกร่อนจากมลภาวะสิ่งแวดล้อมแสงแดด และอื่นๆ โดยสีที่เห็นจะประกอบด้วยชั้นสีเรียงกันหลายชั้น ได้แก่ สีกันสนิม (Electro Deposition Coat) สีรองพื้น (Primer) สีจริงตามเฉดสี (Base Coat) สีเคลือบเงา (Clear Coat) ในส่วนขององค์ประกอบสีนั้นมีหลายอย่าง เมื่อนำมาผสมเข้าด้วยกันจะมีลักษณะเหนียวและมีความหนืด ส่วนประกอบของสี ได้แก่ เรซิ่น ผงสี สารละลายหนัก ฮาร์ดเดนเนอร์ หรือฟิลม์สีโซลิด สารละลายทินเนอร์ สีเคลียร์ โดยปริมาณของสารเติมแต่งต่างๆ ที่ใส่เข้าไป และสภาพอายุของตัวรถนั่นเองเป็นสิ่งที่มีความเฉพาะและมีเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีการศึกษา เช่น โอภาส ทองน้อย (2551) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูลของสีรถยนต์ โดยฐานข้อมูลมีความสำคัญมาก ในงานสืบสวนสอบสวนทางนิติวิทยาศาตร์ โดยเฉพาะการเกิดอุบัติเหตุรถชนกันแล้วหนี สามารถใช้เป็นข้อมูลในกรณีที่สีตัวอย่างที่เก็บได้นั้นเป็นสีจากรถยนต์ยี่ห้อเดียวกัน ทำให้สามารถเชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ ในการศึกษานี้มีการสร้างแบบฐานข้อมูลของสีรถยนต์แบบจำลองโดยใช้โปรแกรม MATCH! ในการสร้างฐานข้อมูลที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ซึ่งในสีของตัวอย่างแต่ละชนิด กราฟที่ได้จะนำมาเปลี่ยนเป็นกราฟเส้น และรวบรวมเป็นฐานข้อมูล สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบเศษสีตัวอย่างได้ โปรแกรม MATCH! สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวอย่างสีกับฐานข้อมูล โดยดูจากตำแหน่งของพีค และความสัมพันธ์ของความสูงแต่ละตำแหน่งของพีค I/I_0 โดยค่า I_0 คือความสูงของพีคที่สูงที่สุดในกราฟ ส่วนค่า I คือ ความสูงของพีคที่เหลือ ซึ่งจะคิดเป็นอัตราส่วนเทียบกับสัญญาณที่สูงที่สุด

Rendle DF. (2003) ได้ศึกษาเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) สำหรับประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเทคนิค XRD นี้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ แยกแยะประเภทและชนิดของวัสดุต่างๆ ได้ ในการศึกษานี้วิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ สี พอลิเมอร์ ยา กระดาษ โลหะและอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น สีและรงค-วัตถุกรณีอุบัติเหตุจราจร แล้วมีร่องรอยของสีมาเกี่ยวข้อง สิ่งแรกที่ต้องทำ คือเปรียบเทียบตัวอย่างต้องสงสัยกับตัวควบคุมด้วยตาเปล่าและกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ ถ้าหากเป็นสีเดียวกันต้องดูองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) หรือ เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลจากการทดลองด้วยเทคนิค XRD ของตัวอย่างที่ทราบแหล่งที่มากับสีรถยนต์ต้องสงสัย จะถูกจัดเป็นหมวดหมู่ และนำไปเพิ่มลงในฐานข้อมูลขององค์ประกอบสีตามที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ในการวิเคราะห์สี จะพบเรซิ่นที่เป็นส่วนประกอบของสีอีกด้วย ซึ่งเรซิ่นนั้นทำให้สีมีความเงางามยิ่งขึ้น

กิตติศักดิ์ เฮงหิรัญญวงษ์ (2554) นำชิ้นส่วนรถยนต์บางชนิดที่เป็นพลาสติกจำนวน 17 ตัวอย่าง มาศึกษาโดยการวัดสมบัติเชิงความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) ผลการทดลองด้วยเทคนิค DSC เทอร์โมแกรมที่ได้แสดงให้เห็นว่ามี 7 ตัวอย่างที่มีพีคแบบดูดความร้อน 2 พีค ส่วนอีก 10 ตัวอย่าง พบพีคแบบดูดความร้อนเพียง 1 พีค และเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าเทอร์โมแกรมที่ได้จะมี 3 ตัวอย่างที่แสดงการลดลงของมวล 2 ครั้ง และอีก 14 ตัวอย่างที่แสดงการลดลงของมวล 1 ครั้ง ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ TGA สามารถจำแนกตัวอย่างได้ 3 กลุ่ม อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ของทั้งเทคนิคนี้แสดงความเป็นไปได้ที่จะใช้บ่งชี้ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างพลาสติก ที่เก็บไปตรวจพิสูจน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์

เบญจพร พรมลี (2557) ได้นำตัวอย่างถุงซิบพลาสติกที่ใช้บรรจุยาเสพติดจำนวน 40 ตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความแตกต่างด้วยเทคนิค Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared (ATR-FTIR) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) ผลการทดลองที่ได้พบว่าตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ด้วย ATR-FTIR จะสามารถจัดกลุ่มได้ 4 กลุ่ม โดยดูจากพีคที่เป็นลักษณะเฉพาะที่ได้จากสเปกตรัมของ IR และเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าจากเทอร์โมแกรมที่ได้แบ่งตามช่วงของอุณหภูมิเริ่มต้น จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก ของตัวอย่างถุงยาเสพติดสามารถจัดกลุ่มได้ 6 กลุ่ม เมื่อนำสองเทคนิคนี้มาใช้ร่วมกัน จะสามารถแยกความแตกต่างของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุยาเสพติดได้ว่ามาจากแหล่งที่มาใด

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 4 July – August 2017 ISSN 2408 - 1248

Causin et.al., (2009) ได้ศึกษาการจำแนกความแตกต่างของถุงมือยางโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) และ Differential Scanning Calorimetry (DSC) ผลจากการศึกษาพบว่า มีความเป็นไปได้ถึง 99.5% ที่สองเทคนิคนี้สามารถจำแนกความแตกต่างถุงมือยางได้ ในขณะที่การวัดความหนา หรือทดสอบด้วยตาเปล่านั้นไม่สามารถจำแนกความแตกต่างได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์ และนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาความแตกต่างของสีเบื้องต้น จำนวน 20 ตัวอย่างด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย วิเคราะห์ได้สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

วิธีการวิจัย

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ เครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) และเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องมือที่นำมาใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้/แหล่งที่มา	รูปภาพ
1. เครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Pyris 1 TGA	
2. เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น Miniflex ll	

ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้คือ เศษสีของรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ เก็บตัวอย่างโดยวิธีการขูดหรือลอกสีชั้นบนของรถยนต์ออกมา จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้ขอความร่วมมือจาก อู่สีออโต้แลนด์ เซอร์วิส หน่วยงานพิสูจน์หลักฐานในที่เก็บรถของกลางสถานีตำรวจภูธรเมืองสระบุรี สถานีตำรวจภูธรเมืองลพบุรี และบริษัท เพนท์ อิทส์ สมาร์ท จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ ที่นำมาใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างที่	ชนิดตัวอย่าง	เฉดสี
1	Mazda BT-50	สีขาวมุก
2	Toyota Vios	สีขาว
3	Toyota Altis	สีขาว
4	Suzuki Swift	สีขาว
5	Isuzu D-max ปี 2013	สีขาว
6	Honda City (White)	สีขาว
7	Honda Jazz ปี 2014	สีขาว
8	Honda City (Black) ปี 2014	สีดำ
9	Isuzu TFR Space cab ปี 1991-1997	สีดำ
10	Isuzu TFR Spark EX ปี 1991-1997	สีดำ
11	Toyota Vigo (1) ตัวอย่างรถยนต์คันที่ 1	สีบรอนซ์ทอง
12	Toyota Vigo (2) ตัวอย่างรถยนต์คันที่ 2 ปี 2011-2015	สีบรอนซ์เงิน
13	Toyota Camry ปี 1997	สีบรอนซ์เงิน
14	Toyota Corolla (1) ตัวอย่างรถยนต์คันที่ 1 ปี 1998-2000	สีบรอนซ์เงิน
15	Toyota Corolla (2) ปี 1995-1997	สีบรอนซ์เงิน
16	Nissan Primera ปี 1990-1998	สีบรอนซ์เงิน
17	Honda City (1) ตัวอย่างรถยนต์คันที่ 1 ปี 2003	สีบรอนซ์เงิน
18	Honda City (2) ตัวอย่างรถยนต์คันที่ 2 ปี 1995-1998	สีบรอนซ์เงิน
19	Toyota Mighty-X ปี 1993-1996	สีเขียวเข้ม
20	Mitsubishi รุ่น L200 Cyclone ปี 1995	สีเขียวเข้ม

ในการศึกษาการตรวจพิสูจน์เศษสีของรถยนต์ ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Pyris 1 TGA และ เครื่อง X-Ray Diffractometer ยี่ห้อ Rigaku รุ่น Miniflex ll มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 4 July – August 2017 ISSN 2408 - 1248

1. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรม Pyris manager เพื่อเชื่อมต่อระบบระหว่างคอมพิวเตอร์ กับเครื่อง Pyris 1 TGA ดังรูปที่ 1 (a) โดยตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 °C และอุณหภูมิสุดท้ายที่ 800 °C ทำการสแกนที่ 20 °C/min ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน นำตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ใส่ลงในถ้วยเซรามิกดังรูปที่ 1 (b) โดยให้มีปริมาณไม่เกิน 0.005 g เมื่อได้น้ำหนักอยู่ในช่วงที่ต้องการแล้ว นำถ้วยตัวอย่างที่เตรียมไว้แขวนบนเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง เพื่อทำการเผา เมื่อเสร็จสิ้นการเผาแล้ว ทำการบันทึกผล นำเทอร์โมแกรมที่ได้มาวิเคราะห์ผลต่อไป ทำการทดลองกับตัวอย่างทั้ง 20 ตัวอย่าง

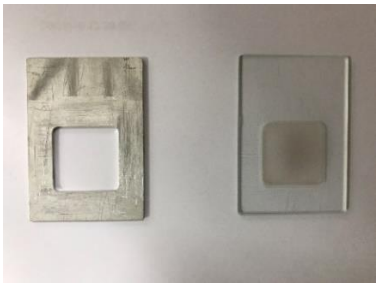
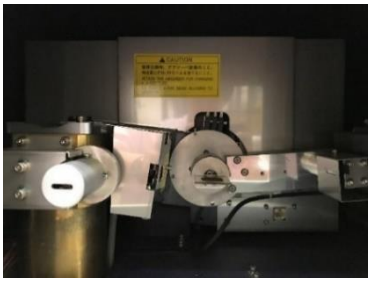
(a) (b)

รูปที่ 1 (a) เครื่อง PerkinElmer Thermogravimetric Analyzer Pyris 1 TGA และ (b) TGA Ceramic Crucible

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)

กรณีที่ตัวอย่างเป็นแผ่น จะต้องมีขนาด กว้างxยาวxหนา ไม่เกิน 10x10x2 มิลลิเมตร และใช้ด้านที่มีผิวเรียบที่สุดในการวิเคราะห์ โดยใช้เทปใสยึดติดตัวอย่างเข้ากับแผ่นบรรจุตัวอย่าง ดังรูปที่ 2 (a) และกรณีที่ตัวอย่างเป็นผง ให้ทำการบดเศษสีรถยนต์ด้วยโกร่งบดสารให้ละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วใส่ลงในแผ่นบรรจุสารตัวอย่าง โดยการเกลี่ยตัวอย่างให้เรียบและเสมอกับขอบของแผ่นที่บรรจุตัวอย่าง จากนั้นนำแผ่นบรรจุสารตัวอย่างที่เตรียมไว้ วางลงบนแท่นวางตัวอย่างของเครื่อง XRD ดังรูปที่ 2 (b)

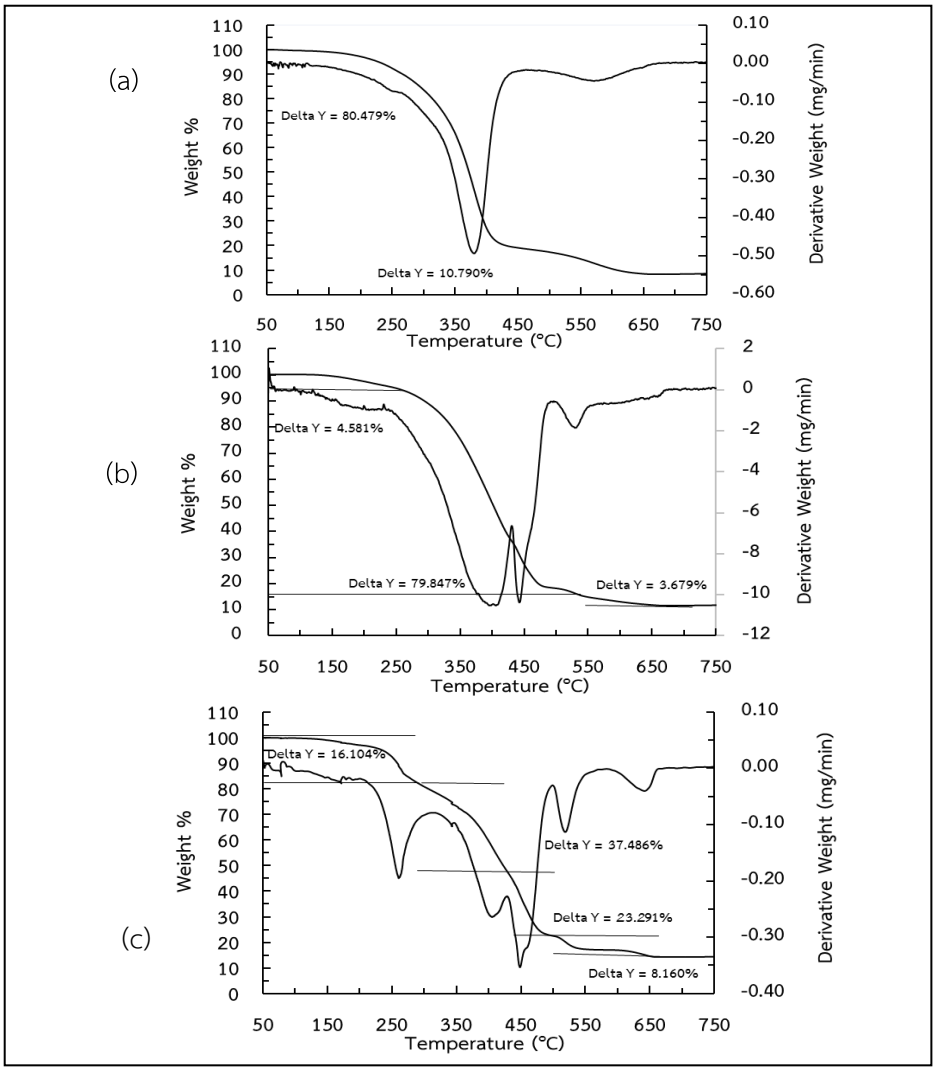
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ คือ X-Ray Diffractometer บริษัท Rigaku รุ่น Miniflex ll โดยมีสภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังนี้ ทำการสแกนที่ 2θ ตั้งแต่ 3-80° ด้วยอัตราเร็ว 4° ต่อนาที สเปกตรัมที่ได้เป็นการพลอตระหว่างค่า Intensity (counts per second, cps.) ในแกน Y และค่ามุม 2θ (degree, deg.) ในแกน X มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างเศษสีรถยนต์จากผลสเปกตรัมที่ได้ โดยการเปรียบเทียบสเปกตรัมของตัวอย่างเศษสีรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ ทำการทดลองกับตัวอย่างทั้ง 20 ตัวอย่าง

(a)  (b) 

รูปที่ 3 (a) แผ่นบรรจุสารตัวอย่าง และ (b) แท่นวางตัวอย่างของเครื่อง XRD

ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ เช่น Toyota, Honda, Isuzu, Mazda, Suzuki, Mitsubishi และ Nissan จำนวน 20 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ผลการวิเคราะห์ที่ได้ จะอยู่ในรูปของเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าให้เทอร์โมแกรมที่มีช่วงอุณหภูมิของการสูญเสียน้ำหนัก 3 แบบ ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิของการสูญเสียน้ำหนัก 2 ช่วง 3 ช่วง และ 4 ช่วง ดังรูปที่ 3



Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 4 July – August 2017 ISSN 2408 - 1248

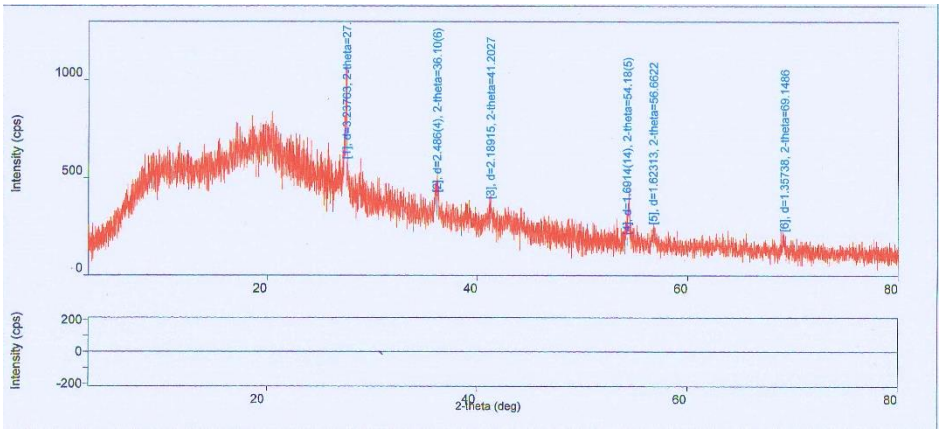
รูปที่ 3 เทอร์โมแกรมจากตัวอย่างของเศษสีรถยนต์ (a) เทอร์โมแกรมของสีขาวจากรถยนต์ยี่ห้อ Toyota Altis ที่มีช่วงอุณหภูมิของการสูญเสียน้ำหนัก 2 ช่วง (b) เทอร์โมแกรมของสีบรอนซ์เงินจากรถยนต์ยี่ห้อ Toyota Camry ที่มีช่วงอุณหภูมิของการสูญเสียน้ำหนัก 3 ช่วง (c) เทอร์โมแกรมของสีบรอนซ์เงินจากรถยนต์ยี่ห้อ Toyota Corolla ตัวอย่างจากรถยนต์คันที่ 1 ที่มีช่วงอุณหภูมิของการสูญเสียน้ำหนัก 4 ช่วงจากรูปที่ 3 เทอร์โมแกรมของเศษสีรถยนต์ที่มีสีขาวจากรถยนต์ยี่ห้อ Toyota Altis (a) จากเทอร์โมแกรมเป็นการพลอตระหว่างน้ำหนักที่หายไป Weight loss (%) ในแกน y ทางซ้ายมือ และ Derivative Weight (mg/min) ในแกนทางขวามือ และอุณหภูมิ ($^{\circ}$C) ในแกน x จากเทอร์โมแกรมจะมีการสูญเสียน้ำหนักเป็น 2 ช่วง คือที่อุณหภูมิ 110-450 $^{\circ}$C และ 450-715 $^{\circ}$C ในขณะที่ตัวอย่างเทอร์โมแกรมของสีบรอนซ์เงินจากรถยนต์ยี่ห้อ Toyota Camry (b) จะเห็นว่าการสูญเสียน้ำหนักจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ที่อุณหภูมิประมาณ 150-240 $^{\circ}$C 240-540 $^{\circ}$C และ 540-705 $^{\circ}$C และเทอร์โมแกรมของสีบรอนซ์เงินจากรถยนต์ยี่ห้อ Toyota Corolla (1) เป็นสีบรอนซ์เงิน (c) เหมือนกันกับ (b) แต่จะพบการสูญเสียน้ำหนักแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ที่อุณหภูมิประมาณ 120-280 $^{\circ}$C 280-440 $^{\circ}$C 440-505 $^{\circ}$C และ 505-670 $^{\circ}$C ตามลำดับ ซึ่งเทอร์โมแกรมในแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน จากนั้นเมื่อนำเทอร์โมแกรมที่ได้จากตัวอย่างสีรถยนต์ทั้งหมด 20 ตัวอย่างมาจัดเรียงตามลักษณะของช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักซึ่งปรากฏในเทอร์โมแกรม สามารถจัดกลุ่มได้ 17 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดกลุ่มตัวอย่างสีรถยนต์ตามลักษณะของช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักซึ่งปรากฏในเทอร์โมแกรม

กลุ่มที่	ยี่ห้อรถยนต์	ช่วงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง			
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4
		อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย ($^{\circ}$C)	อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย ($^{\circ}$C)	อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย ($^{\circ}$C)	อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย ($^{\circ}$C)
1	Toyota Vigo (2) สีบรอนซ์เงิน Isuzu TFR Spark EX สีดำ	100-505	480-750		
2	Honda jazz สีขาว	100-425	425-480		
3	Toyota Altis สีขาว	110-450	450-715		
4	Honda City สีขาว	125-435	435-750		
5	Honda City (2) สีบรอนซ์เงิน	125-440	440-540		
6	Isuzu TFR Space cab สีดำ	125-455	455-590		
7	Nissan Primera สีบรอนซ์เงิน	125-480	480-740		
8	Mazda BT-50 สีขาว	150-475	475-750		
9	Honda City (1) สีบรอนซ์เงิน	150-505	505-780		
10	Toyota Corolla (2) สีบรอนซ์เงิน	165-470	470-570		
11	Isuzu D-max สีขาว Honda City สีดำ	175-490	460-680		
12	Toyota Mighty-X สีเขียว	100-250	250-465	465-700	
13	Suzuki Swift สีขาว	120-425	425-505	505-750	
14	Toyota Vigo (1) สีบรอนซ์ทอง	125-270	270-480	480-650	
15	Toyota Camry สีบรอนซ์เงิน	150-240	240-540	540-705	
16	Toyota Vios สีขาว Mitsubishi L200 สีเขียว	150-290	280-505	480-750	
17	Toyota Corolla (1) สีบรอนซ์เงิน	120-280	280-440	440-505	505-670

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าเศษสีของรถยนต์ในแต่ละกลุ่มนั้น จะมีลักษณะช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันออกไป โดยช่วงอุณหภูมิหลักของการสูญเสียน้ำหนักในสีรถยนต์กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Toyota Vigo (2) สีบรอนซ์เงิน และ Isuzu TFR Spark EX สีดำ จะมีช่วงอุณหภูมิการสูญเสียน้ำหนัก 2 ช่วง คือ ช่วง 100-505 °C และ 480-750 °C เศษสีของรถยนต์กลุ่มที่ 11 ประกอบด้วย Isuzu D-max สีขาว และ Honda City สีดำ เป็นรถยนต์ที่มียี่ห้อ รุ่นและสีที่แตกต่างกัน จะมีช่วงอุณหภูมิการสูญเสียน้ำหนัก 2 ช่วง คือช่วง 175-490 °C และ 460-680 °C เศษสีของรถยนต์กลุ่มที่ 16 ประกอบด้วย Toyota Vios สีขาว และ Mitsubishi L200 สีเขียว เป็นรถยนต์ที่มียี่ห้อ รุ่นและสีต่างกัน จะมีช่วงอุณหภูมิการสูญเสียน้ำหนัก 3 ช่วง คือช่วง 150-290 °C 280-505 °C และ 480-750 °C

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ โดยแบ่งตามกลุ่มเฉดสีด้วยตาเปล่าได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 รถยนต์สีขาว กลุ่มที่ 2 รถยนต์สีดำ กลุ่มที่ 3 รถยนต์สีบรอนซ์ และกลุ่มที่ 4 รถยนต์สีเขียว ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) ผลการทดลองที่ได้จะแสดงเป็น Diffractogram ของสีรถยนต์โดยเป็นการพลอตระหว่างค่า Intensity (cps) ในแกน y และค่า 2θ (deg) ในแกน x ดังรูปที่ 4



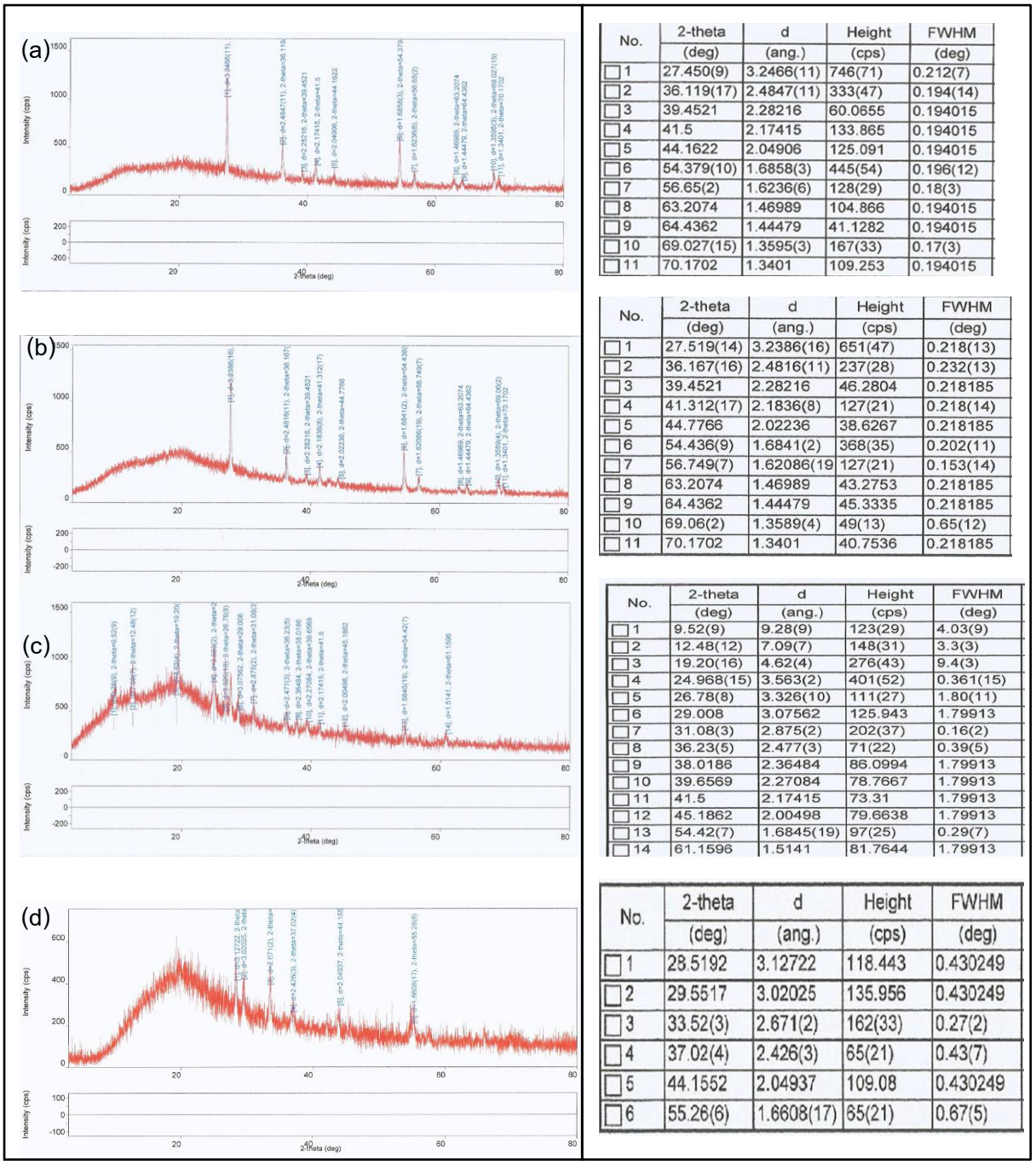
รูปที่ 4 Diffractogram ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Altis

ตารางที่ 4 ตำแหน่ง 2θ (deg) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Altis

No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)
1	27.527	3.23763	125.046	1.37757
2	36.10(6)	2.486(4)	106(27)	0.33(5)
3	41.2027	2.18915	110.085	1.37757
4	54.18(5)	1.6914(14)	41(16)	1.4(2)
5	56.6622	1.62313	98.4046	1.37757
6	69.1486	1.35738	91.5368	1.37757

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 4 July – August 2017 ISSN 2408 - 1248

จากรูปและตารางที่ 4 เป็นตัวอย่างของ Diffractogram ของรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Altis ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD โดยในตารางเป็นรายละเอียดแต่ละพีค ประกอบด้วยค่า 2θ (deg) และค่า d ความสูงของพีค จากการทดลองพบว่าส่วนใหญ่รูปแบบของ Diffractogram ของรถยนต์สีขาวจะมีลักษณะที่เหมือนกันที่ตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 27° 36° 41° และ 54° นอกจากนี้พบว่าที่ตำแหน่งพีค 2θ (deg) ตำแหน่งอื่นๆ จะแตกต่างกันไปตามสูตรการผสมของสีแต่ละยี่ห้อที่แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5



No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)
1	27.450(9)	3.2466(11)	746(71)	0.212(7)
2	36.119(17)	2.4847(11)	333(47)	0.194(14)
3	39.4521	2.28216	60.0655	0.194015
4	41.5	2.17415	133.865	0.194015
5	44.1622	2.04906	125.091	0.194015
6	54.379(10)	1.6858(3)	445(54)	0.196(12)
7	56.65(2)	1.6236(6)	128(29)	0.18(3)
8	63.2074	1.46989	104.866	0.194015
9	64.4362	1.44479	41.1282	0.194015
10	69.027(15)	1.3595(3)	167(33)	0.17(3)
11	70.1702	1.3401	109.253	0.194015

No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)
1	27.519(14)	3.2386(16)	651(47)	0.218(13)
2	36.167(16)	2.4816(11)	237(28)	0.232(13)
3	39.4521	2.28216	46.2804	0.218185
4	41.312(17)	2.1836(8)	127(21)	0.218(14)
5	44.7766	2.02236	38.6267	0.218185
6	54.436(9)	1.6841(2)	368(35)	0.202(11)
7	56.749(7)	1.62086(19	127(21)	0.153(14)
8	63.2074	1.46989	43.2753	0.218185
9	64.4362	1.44479	45.3335	0.218185
10	69.06(2)	1.3589(4)	49(13)	0.65(12)
11	70.1702	1.3401	40.7536	0.218185

No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)
1	9.52(9)	9.28(9)	123(29)	4.03(9)
2	12.48(12)	7.09(7)	148(31)	3.3(3)
3	19.20(16)	4.62(4)	276(43)	9.4(3)
4	24.968(15)	3.563(2)	401(52)	0.361(15)
5	26.78(8)	3.326(10)	111(27)	1.80(11)
6	29.008	3.07562	125.943	1.79913
7	31.08(3)	2.875(2)	202(37)	0.16(2)
8	36.23(5)	2.477(3)	71(22)	0.39(5)
9	38.0186	2.36484	86.0994	1.79913
10	39.6569	2.27084	78.7667	1.79913
11	41.5	2.17415	73.31	1.79913
12	45.1862	2.00498	79.6638	1.79913
13	54.42(7)	1.6845(19)	97(25)	0.29(7)
14	61.1596	1.5141	81.7644	1.79913

No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)
1	28.5192	3.12722	118.443	0.430249
2	29.5517	3.02025	135.956	0.430249
3	33.52(3)	2.671(2)	162(33)	0.27(2)
4	37.02(4)	2.426(3)	65(21)	0.43(7)
5	44.1552	2.04937	109.08	0.430249
6	55.26(6)	1.6608(17)	65(21)	0.67(5)

รูปที่ 5 Diffractogram และตำแหน่งพีค 2θ (deg) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Vios (a) Honda Jazz (b) ตัวอย่างรถยนต์สีดำยี่ห้อ Honda City (c) และตัวอย่างรถยนต์สีบรอนซ์เงินยี่ห้อ Toyota Camry (d)

จากรูปที่ 5 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบ Diffractogram และตำแหน่งพีค 2θ (deg) ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Vios (a) และ Honda jazz (b) พบว่าให้ตำแหน่งพีคที่เหมือนกันทุกตำแหน่ง คือ ตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 27° 36° 39° 41° 44° 54° 56° 63° 64° 69° และ 70° เนื่องมาจากส่วนผสมของสีเหมือนกันจึงทำให้พบพีคในลักษณะเดียวกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งของ Diffractogram ของรถยนต์สีดำยี่ห้อ Honda City (c) พบว่าให้ตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 9° 12° 19° 24° 26° 31° 36° 38° 39° 41° 45° 54° และ 61° ซึ่งไม่พบใน Diffractogram ของรถยนต์สีบรอนซ์เงินยี่ห้อ Toyota Camry (d) ส่วนตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 28° 33° 37° 44° และ 55° ที่พบใน Diffractogram ของรถยนต์สีบรอนซ์เงินยี่ห้อ Toyota Camry (d) แต่ไม่พบใน Diffractogram ของรถยนต์สีดำยี่ห้อ Honda City (c)

จากผลการทดลองพบว่ารถยนต์ที่ต่างยี่ห้อ ต่างสีจะมีตำแหน่ง 2θ (deg) ที่ปรากฏต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารเติมแต่งของการผสมสีแต่ละยี่ห้อ หรือรถยนต์ที่มียี่ห้อและมีสีเดียวกันจะมีตำแหน่ง พีค 2θ (deg) ที่ปรากฏต่างกัน เช่น รถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Vios จะปรากฏตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 27° 36° 39° 41° 44° 54° 56° 63° 64° 69° และ 70° ส่วนรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Altis จะปรากฏตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 27° 36° 41° 54° 56° และ 69° ซึ่งก็ไม่เหมือนกันเลยเช่นกัน ยกเว้นสีขาวยี่ห้อ Toyota Vios (a) และ Honda jazz (b) พบว่าให้ตำแหน่งพีคที่เหมือนกันทุกตำแหน่ง

เมื่อพิจารณาผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จะพบว่า Diffractogram ของตัวอย่างสีรถยนต์สีขาวยี่ห้อ Toyota Vios (a) และ Honda jazz (b) จะพบตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่เหมือนกันทุกตำแหน่ง คือ ตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่ 27° 36° 39° 41° 44° 54° 56° 63° 64° 69° และ 70° ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าเทอร์โมแกรมเศษสีของรถยนต์จะมีลักษณะการสูญเสียน้ำหนักเป็น 2 ช่วง และ 3 ช่วง ซึ่งลักษณะของช่วงอุณหภูมินั้นแตกต่างกัน คือ Honda jazz สีขาว จะมีช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายของการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิประมาณ 100-425 °C และ 425-480 °C ในขณะที่ Toyota Vios สีขาว จะมีช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายของการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิประมาณ 150-290 °C 290-480 °C และ 480-750 °C

การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์เพื่อศึกษาความแตกต่างของตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ยี่ห้อต่างๆ จำนวน 20 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) สามารถสรุปผลและอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) จะพบตำแหน่งพีค 2θ (deg) ที่แตกต่างกัน ยกเว้นตัวอย่างเศษสีของรถยนต์สีขาว ยี่ห้อ Toyota Vios และ Honda jazz พบว่าให้ตำแหน่งพีคที่เหมือนกันทุกตำแหน่ง คือตำแหน่ง 2θ (deg) ที่ 27° 36° 39° 41° 44° 54° 56° 63° 64° 69° และ 70° นอกจากนี้พบว่าที่ตำแหน่ง 2θ (deg) ตำแหน่งอื่นๆ จะแตกต่างกันไปตามสูตรการผสมของสีแต่ละยี่ห้อ โดยตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ยี่ห้ออื่นๆ ก็เช่นเดียวกันกับตำแหน่ง 2θ (deg) ที่ปรากฏในรถยนต์สีดำ สีบรอนซ์และสีเขียว ซึ่งพบว่าไม่เหมือนกันเลย ดังนั้นจึงสามารถแยกได้ 19 ตัวอย่าง สอดคล้องกับงานวิจัย

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 4 July – August 2017 ISSN 2408 - 1248

ของ Rendle DF, (2003) ที่สามารถใช้เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์สีรถยนต์ที่รู้แหล่งที่มากับสีรถยนต์ต้องสงสัยได้โดยดูจากฐานข้อมูลของสีรถยนต์ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) จะพบว่าให้เทอร์โมแกรมที่มีช่วงอุณหภูมิชองการสูญเสียน้ำหนักแบบ 2 ช่วง 3 ช่วง และ 4 ช่วง และเมื่อนำมาจัดเรียงตามการเปลี่ยนแปลงของช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักซึ่งปรากฏในเทอร์โมแกรมจะได้ทั้งหมด 17 ตัวอย่าง จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าเศษสีของรถยนต์จะมีช่วงการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันแต่อุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิสุดท้ายไม่เท่ากัน และมีการสูญเสียน้ำหนักต่างกัน อาจเนื่องมาจากสีรถยนต์มีองค์ประกอบที่คล้ายกันแต่ปริมาณของสารเติมแต่งที่เติมเข้าไปในสีรถยนต์มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติศักดิ์ เฮงหิรัญญวงษ์ (2554) ที่ทำการวิจัยเรื่อง การวัดสมบัติเชิงความร้อนของชิ้นส่วนรถยนต์บางชนิดที่เป็นพลาสติกด้วยเทคนิค DSC และ TGA ผลการทดลองที่ได้แสดงความเป็นไปได้ที่จะใช้บ่งชี้ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างพลาสติก ที่เก็บไปตรวจพิสูจน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

ดังนั้นเมื่อนำเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) มาใช้ร่วมกันในการศึกษาความแตกต่างของตัวอย่างเศษสีของรถยนต์ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง จะพบว่าทั้งสองเทคนิคนี้สามารถจำแนกความแตกต่างของตัวอย่างได้ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งเทคนิคทั้งสองนี้ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย สามารถวิเคราะห์ได้สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ เฮงหิรัญญวงษ์, “การวัดสมบัติเชิงความร้อนของชิ้นส่วนรถยนต์บางชนิดที่เป็นพลาสติกด้วยเทคนิค DSC และ TGA.” **วารสารวิชาการ Veridian E-Journal** 5,1 (มกราคม-เมษายน 2555): 747-757.

จิรศักดิ์ เจียมเจตจรูญ, พันตำรวจโท. **“สถานที่เกิดเหตุและวัตถุพยานทางชีววิทยา.”** เอกสารทางวิชาการสำหรับใช้ประกอบการปฏิบัติงาน เสนอที่กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, ๒๕๕๐. (อัดสำเนา)

วัชรินทร์ เหล่าอ่อง, **งานสีรถยนต์เบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 1. อุบลราชธานี: วิทยาลัยสารพัดช่างอุบลราชธานี,2557.

เบญจพร พรมลี, “การศึกษาถุงซิบพลาสติกที่ใช้บรรจุยาเสพติดด้วยเทคนิค ATR-FTIR และ TGA.” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal 1, 2 (มีนาคม-เมษายน 2557): 24-35.

โอภาส ทองน้อย, “การพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูลของสีรถยนต์.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554.

ภาษาต่างประเทศ

Buzzini P, Massonnet G. A market study of green spray paints by Fourier Transform infrared (FTlR) and Raman Spectroscopy. Science & Justice 2004; 44(3): 123 - 131.

Causin, Valerio and others. A Method Based on Thermogravimetry/Differential Scanning Calorimetry for the Forensic Differentiation of Latex Gloves. Forensic Science International 2009; 188 NO.1-3 (April): 57-63

Rendle DF. X-ray diffraction in forensic science. The Rigaku Journal 2003; 19 No.2, 20 No.1