

การวิเคราะห์เศษกระจกโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพและดัชนีหักเหแสง The Analysis of Glass Fragment by Physical Characteristic and Refractive Index

ปัทมา น้อยแสง

นักศึกษาลัทธิปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
E-mail: jaidee11@hotmail.com

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะด้านความหนาแน่นและดัชนีหักเหของเศษแก้ว เพื่อใช้ในการระบุชนิดของแก้วหรือกระจก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านค่าดัชนีหักเหของเศษแก้ว หลังจากเศษแก้วผ่านการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C ในเตาหลอมอุณหภูมิสูง และเย็นตัวลงมายังอุณหภูมิห้องปกติ โดยใช้วิธี Becke Line และการแทนที่น้ำในการตรวจวัดค่าดัชนีหักเหและความหนาแน่นตามลำดับ โดยใช้เศษแก้วตัวอย่างจากกระจกหน้าต่าง 4 ชนิด ขวดแก้วและหลอดไฟฟ้าตัวอย่างละ 2 ชนิด และกระจกเงา 1 ชนิด

ผลการวิจัย พบว่า เศษแก้วตัวอย่างมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.034 – 2.865 g/cm³ และมีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.51613 – 1.52060 และพบว่าเศษแก้วตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าดัชนีหักเหเพิ่มสูงขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิการหลอม ชนิดของแก้วและระดับอุณหภูมิการหลอมที่ต่างกัน มีผลให้ค่าดัชนีหักเหแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการการประมาณค่าดัชนีหักเหของเศษแก้วหลังจากถูกหลอมหรือประมาณอุณหภูมิที่เศษแก้วได้รับความร้อน ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงอุณหภูมิในจุดเกิดเหตุได้ ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหของเศษแก้วสามารถใช้แยกชนิดของเศษแก้วได้ในลักษณะของการจัดกลุ่ม และสามารถใช้ตรวจเปรียบเทียบความเข้ากันได้ของวัตถุพยาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้คาดคะเนจุดต้นเพลิงในการตรวจพิสูจน์สถานที่เกิดเหตุคดีเพลิงไหม้ได้

คำสำคัญ: ความหนาแน่น, ดัชนีหักเห, สมการถดถอยเชิงเส้นอุณหภูมิ, เศษแก้ว

Abstract: The objective of this research is to analyze the density and the refractive index of glass fragments in order to identify the type of glasses and to study the changes of refractive index. The examination was performed by melting glass fragments at various temperatures (950, 1,000 and 1,050°C) with high temperature furnace and then cooled freely to the room temperature. The Becke Line method and the water displacement method were applied to measure the refractive index and the density respectively. The glass samples were retrieved from four types of windowpanes, two types of glass bottles and two types of electric lamps and one type of mirror.

The result was found that the density of the samples ranged from 2.034 g/cm³ to 2.865 g/cm³ and the refractive indices of the fragments were in the range of 1.51613 – 1.52060. Most of refractive indices of the samples were significantly increased after being melted. The difference of refractive index of each glass with specific thermal treatment was statistically significant. From this relationship, the mathematical estimation of refractive index for each fragment can be performed after being melted to predict the temperature of glasses. Density and refractive index of glass fragment are able to indicate the temperature in the scene and is useful for classification of the glasses type. Furthermore, density and refractive index of the sample can be used to demonstrate the compatibility of evidence and predict the point of origin of the fire in arson investigation.

Keywords: Density, Glass fragments, Linear regression temperature, Refractive index

1. บทนำ

สภาวะสังคมในปัจจุบันเห็นชัดเจนได้ว่าอาชญากรรมเป็นปัญหาสังคมที่ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อร่างกายและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นอย่างมาก สาเหตุสำคัญ คือ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านต่าง ๆ เช่น ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การสื่อสารคมนาคม การขยายตัวของสังคมเมืองไปสู่ชนบท ประกอบกับวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนในสังคมเริ่มเปลี่ยนแปลงไป ค่าครองชีพสูงขึ้น รวมถึงสินค้าอุปโภคบริโภคต่าง ๆ ก็ปรับราคาสูงมากขึ้น แต่รายได้ของคนทำงานส่วนใหญ่ยังคงเท่าเดิม เหตุผลดังกล่าวนี้จึงส่งผลให้จำนวนอาชญากรเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยไม่ว่าจะเป็นคดีที่ผู้เสียหายบาดเจ็บเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีผู้เสียชีวิต ไปจนถึงคดีรุนแรงที่มีผู้บาดเจ็บสาหัสหรือเสียชีวิต เช่น ฉกชิงวิ่งราวลักทรัพย์ บุกรุกที่อยู่อาศัย และจับปล้นชิงทรัพย์โดยใช้อาวุธทำร้ายร่างกาย เป็นต้น อีกทั้งวิถีหรือรูปแบบการประทุษกรรมของเหล่าอาชญากรก็ได้ใช้วิธีที่สลับซับซ้อนและทันสมัยมากขึ้น เพื่อไม่ให้เจ้าหน้าที่ตำรวจสืบตามจับกุมได้โดยง่าย

การตรวจสถานที่เกิดเหตุและการเก็บพยานวัตถุเพื่อนำไปตรวจพิสูจน์ในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการยุติธรรมและในทางคดีอย่างมาก เนื่องจากการพิสูจน์ความจริงในปัจจุบันต้องอาศัยพยานหลักฐานมายืนยันตัวผู้กระทำความผิด และถ้าตรวจพบพยานหลักฐานได้จำนวนมากก็มีแนวโน้มในการพิสูจน์หาผู้กระทำความผิดได้สำเร็จมากขึ้น โดยเฉพาะพยานหลักฐานที่ติดมากับผิวหนัง ร่างกาย เสื้อผ้า รองเท้า หรือสิ่งของของผู้กระทำความผิด ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ใช้ชี้เฉพาะ

ได้ว่าบุคคลคนนั้นเกี่ยวข้องกับสถานที่เกิด การกระทำความผิด และต้องมีส่วนในความผิดที่เกิดขึ้นไม่ประการใดก็ประการหนึ่ง ซึ่งจะนำไปสู่การคลี่คลายคดีได้โดยง่าย

การตรวจเก็บพยานหลักฐานในสถานที่เกิดเหตุและการตรวจพิสูจน์พยานวัตถุในห้องปฏิบัติการของเจ้าหน้าที่ตำรวจ เป็นเครื่องบ่งบอกเรื่องราวหรือเชื่อมโยงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสถานที่เกิดเหตุได้ (Reconstruction) และวัตถุพยานเหล่านั้นยังนำมาใช้สืบสวนหาตัวผู้กระทำความผิด และใช้เป็นพยานหลักฐานสำคัญในกระบวนการยุติธรรมต่อไป ซึ่งผู้กระทำความผิดย่อมต้องทิ้งร่องรอยหรือพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ ดังทฤษฎีของ Edmond Locard ที่มีเนื้อหาว่า เมื่อวัตถุสองชิ้นสัมผัสกันย่อมต้องมีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนซึ่งกันและกัน (Locard's Exchange Principle, which States that with Contact between two items, there will be an exchange.) [4] จากทฤษฎีของ Locard ดังกล่าว เชื่อได้ว่าคนร้ายเข้าไปในที่เกิดเหตุย่อมทิ้งร่องรอย หรือนำสิ่งของในสถานที่เกิดเหตุติดตัวไปด้วยเสมอ ตัวอย่างเช่น คนร้ายทุบกระจกหน้าต่างเพื่อเป็นช่องทางเข้าไปในตัวอาคารหรือรถยนต์เพื่อประทุษร้ายต่อทรัพย์ และทรัพย์สินหรือวางเพลิงก็ตาม เชื่อว่าจะต้องมีเศษกระจกแตกขนาดเล็ก (Trace Evidence) ติดตามแขนเสื้อ ขากางเกง และเชือกผูกกรองเท้าของคนร้ายไปด้วย

วัสดุจำพวกแก้วหรือกระจกก็ถือว่าเป็นพยานวัตถุอย่างหนึ่งที่มีคุณสมบัติและมีเอกลักษณ์เฉพาะ ซึ่งแก้วหรือกระจกแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สี ความหนาแน่น และดัชนีหักเหแสง เป็นต้น และ

คุณสมบัติทางเคมี เช่น แร่ธาตุหรือสารที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในโครงสร้างแตกต่างกันไปตามลักษณะการผลิตและตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานแก้วหรือกระจกชนิดนั้น ๆ การนำคุณสมบัติเฉพาะตัวของแก้วหรือกระจกมาใช้ในการตรวจพิสูจน์ยืนยันการกระทำความผิดดังกล่าวมาแล้ว นั่นคือ เป็นการนำเศษวัสดุจำพวกแก้วหรือเศษกระจกที่ตรวจเก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุกับเศษแก้วหรือกระจกที่ตรวจพบที่ตัวผู้ต้องสงสัยมาทำการเปรียบเทียบความเข้ากันได้ นอกจากการเชื่อมโยงดังกล่าวแล้ววัสดุประเภทแก้วหรือกระจกยังสามารถให้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น การบ่งบอกถึงอุณหภูมิความร้อนที่ได้รับ ณ จุดนั้น ทำให้ใช้เป็นข้อมูลในการคาดคะเนถึงจุดต้นเพลิงในเหตุคดีเพลิงไหม้ได้

เนื่องจากกระจกหน้าต่างเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 760°C จะเริ่มอ่อนตัวและหลอมละลาย [11] ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้แก้วหรือกระจกสามารถอ่อนตัวหรือหลอมละลายได้นั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิด ในกรณีหลอดไฟ (Light Bulb) จะเริ่มอ่อนตัวและบิดเบี้ยวที่อุณหภูมิ $482 - 538^{\circ}\text{C}$ ถ้ายังคงให้ความร้อนเพิ่มต่อไปเรื่อย ๆ หลอดไฟจะหลอมละลายได้ [6] แก้วชนิดโซดาไลม์ (Soda Lime) มีจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิ $650 - 700^{\circ}\text{C}$ และถ้าให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 900°C จะทำให้อุณหภูมิของแก้วเกิดการเชื่อมตัวและเชื่อมต่อกันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม [2] ซึ่งแก้วชนิดโซดาไลม์นี้นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่มากมาย เช่น ขวดน้ำดื่ม แก้วน้ำบานกระจกประตูหน้าต่าง เป็นต้น เมื่อวัสดุพวกแก้วหรือกระจกได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติและพฤติกรรม

เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด การเปลี่ยนแปลงมวล การเปลี่ยนสถานะ และเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของซิลิกาและการสลายหรือแตกตัวของสารที่เป็นองค์ประกอบภายในวัสดุแก้วหรือกระจกเป็นผลให้แก้วหรือกระจกนั้นแสดงคุณลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน

ในการวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น และดัชนีหักเหของเศษแก้วหรือกระจก ก่อนที่จะได้รับความร้อนเปรียบเทียบกับหลังได้รับความร้อน เพื่อนำข้อมูลไปใช้ประมาณค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยหรือช่วงอุณหภูมิในสถานที่เกิดเหตุ อันจะนำไปสู่การวิเคราะห์หาจุดต้นเพลิงได้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุจำพวกแก้วหรือกระจกบางชนิด
2. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงด้านค่าดัชนีหักเหของเศษแก้วหรือกระจกบางชนิด หลังจากผ่านการหลอมเหลว

3. สมมติฐานการวิจัย

1. แก้วหรือกระจกแต่ละชนิดจะมีค่าดัชนีหักเหแสงแตกต่างกัน
2. การเปลี่ยนแปลงด้านความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหแสงของแก้วหรือกระจก

4. ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาถึงคุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุจำพวกแก้วหรือกระจกบางชนิดในด้านความ

หนาแน่นและดัชนีหักเหของแสง และศึกษา การเปลี่ยนแปลงด้านค่าดัชนีหักเหของเศษแก้ว หลังจากเศษแก้วผ่านการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C ในเตาหลอมอุณหภูมิ สูง และเย็นตัวลงมายังอุณหภูมิห้องปกติ โดยใช้ วิธี Becke Line และการแทนที่น้ำในการตรวจวัด ค่าดัชนีหักเหและความหนาแน่นตามลำดับ โดยใช้เศษแก้วตัวอย่างจากกระจกหน้าต่าง 4 ชนิด ขวดแก้วและหลอดไฟฟ้าตัวอย่างละ 2 ชนิด และ กระจกเงา 1 ชนิด

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่นำมาวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการ คัดเลือกโดยการสุ่มเลือกแก้วและกระจกที่ใช้กันทั่วไปตามอาคารบ้านเรือนและในชีวิต ประจำวัน ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่พบเห็นได้ ง่ายและมีจำหน่ายทั่วไปในเขตพื้นที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร โดยเลือกใช้เศษแก้ว 9 ชนิด ได้แก่ กระจกแผ่นเรียบใส หนา 5.00 และ 8.00 มิลลิเมตร กระจกแผ่นเรียบสีดำ หนา 5.00 มิลลิเมตร กระจกฝ้า หนา 5.00 มิลลิเมตร กระจกเงา หนา 5.00 มิลลิเมตร ขวดเครื่องดื่มใส ขวดเครื่องดื่มสีชา หลอดฟลู- ออเรสเซนต์ และหลอดไฟชนิดไส้

5.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมีที่เลือกใช้มี 9 ชนิด ได้แก่ Dichloromethane, Cyclohexanol, Ethyl benzoate, Pyridine, Methyl benzoate, Anisole, Methyl salicylate, Benzyl alcohol และ m – cresol

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วย

1. เครื่อง Refractometer รุ่น CARL ZEISS
2. กล้องจุลทรรศน์ Olympus
3. หลอดไพโซเดียม D line ความยาวคลื่น 589 nm
4. เตาหลอมไฟฟ้าอุณหภูมิสูง Lindberg
5. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 4 ตำแหน่ง
6. กระจกบอทวงขนาด 10.0 ml
7. ไมโครปิเปตขนาด 50.0 – 1000 μ l

5.4 วิธีการวิจัย

5.4.1 การเตรียมกลุ่มตัวอย่างแก้ว

นำเศษแก้วตัวอย่างมาล้างทำความสะอาด ด้วยน้ำเปล่าและทิ้งไว้ให้แห้ง และห่อเศษแก้ว ตัวอย่างด้วยผ้าดิบแล้วทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยค้อน จากนั้นนำเศษแก้วใส่ซองพลาสติกแล้ว เขียนชื่อกำกับไว้บนห่อพลาสติก [10]

5.4.2 การหาความหนาแน่นของเศษแก้ว

เลือกเศษแก้วขนาดประมาณ 1.00 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ 5.4.1 ชั่งน้ำหนัก เศษแก้วด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 4 ตำแหน่ง บันทึกค่า หาค่าความหนาแน่นด้วยวิธีการแทนที่ น้ำโดยเติมน้ำลงในกระจกบอทวง 5.00 มิลลิลิตร ใส่เศษแก้วลงในกระจกบอทวง บันทึกค่าปริมาตร น้ำที่เพิ่มขึ้น ทำการทดลองซ้ำ ตัวอย่างละ 6 ซ้ำ จากนั้นนำข้อมูลน้ำหนักและปริมาตรที่บันทึก ไว้มาคำนวณหาความหนาแน่นเฉลี่ย ตามสูตร ดังนี้ [3]

$$d = \frac{m}{V}$$

โดยที่ d คือ ความหนาแน่นของวัตถุ
มีหน่วยเป็น g/cm^3

m คือ มวลของวัตถุ
มีหน่วยเป็น g

V คือ ปริมาตรของวัตถุ
มีหน่วยเป็น cm^3

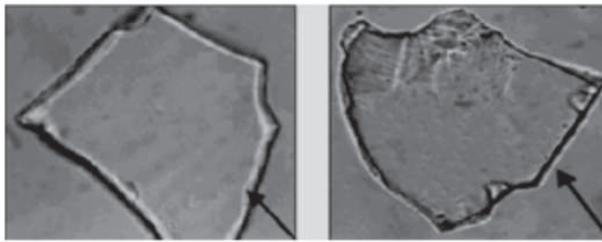
5.4.3 การหาค่าดัชนีหักเหแสงของสารเคมี

ดัชนีหักเหของสารเคมีหาค่าได้จากเครื่อง Refractometer ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดสูงสุดเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง สามารถทำได้โดยการเปิด Illuminating Prism ทำความสะอาด Measuring Prism ด้วยอะซิโตน มองผ่านช่องมองภาพของ Refractometer ปรับ Reflection Borderline หรือเส้นแบ่งระหว่างแถบสว่างกับแถบมืดให้อยู่ตรงกลางโดยการหมุนปุ่มปรับภาพให้ภาพมีความคมชัดที่สุด โดยการหมุนปุ่มปรับความคมชัดของภาพและแผ่นสะท้อนแสงและหยดสารเคมีที่ต้องการหาค่าดัชนีหักเหลงบน Measuring Prism 2 – 4 หยดแล้วปิด Illuminating Prism และหมุนล็อก Prism Open – shut Handles เพื่อให้ Prism แนบสนิท สารเคมีจะแผ่กระจายเป็นฟิล์มบางๆ บน Measuring Prism จากนั้นปรับเส้นแบ่งระหว่างแถบสว่างแถบมืดให้อยู่ตรงกลางและปรับภาพให้มีความคมชัดที่สุด บันทึกค่าดัชนีหักเหที่อ่านได้จากแถบสเกลด้านล่าง ทำความสะอาด Measuring Prism และ Illuminating Prism ด้วยอะซิโตนอีกครั้ง ทำเช่นเดียวกันนี้จนกระทั่งครบสารเคมีทุกตัว

5.4.4 การหาค่าดัชนีหักเหแสงของเศษแก้ว

จัดวางหลอดไฟโซเดียมให้อยู่ในตำแหน่งที่แสงส่องผ่านไดอะแฟรมไปยังเลนส์ใกล้วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ แล้วนำเศษแก้วล้างด้วยอะซิโตนและทิ้งไว้ให้แห้ง วางเศษแก้วบนกระจกสไลด์หยดสารเคมีให้ท่วมเศษแก้ว นำกระจกสไลด์วางบนแท่นวางวัตถุของกล้องจุลทรรศน์ แล้วปรับแท่นวางวัตถุให้อยู่ใกล้กับเลนส์ใกล้วัตถุ โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่กำลังขยาย 10.0 เท่า ปรับระยะระหว่างแท่นวางวัตถุกับเลนส์ใกล้วัตถุให้เพิ่มขึ้นโดยการเลื่อนแท่นวางวัตถุให้ต่ำลง และสังเกตเส้น Becke Line โดยดูที่เส้นสว่างบริเวณขอบของเศษแก้ว ว่าเลื่อนเข้าหาเศษแก้วหรือออกจากเศษแก้ว เนื่องจาก เส้น Becke Line จะเลื่อนเข้าหาวัตถุที่มีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าเสมอเมื่อปรับเลื่อนแท่นวางวัตถุให้ต่ำลง [8] บันทึกผลที่ได้ ถ้ามองไม่เห็นเส้น Becke Line แสดงว่า เศษแก้วมีค่าดัชนีหักเหเท่ากับสารเคมี ถ้าเส้น Becke Line เลื่อนออกจากเศษแก้ว แสดงว่า เศษแก้วมีดัชนีหักเหน้อยกว่าสารเคมี แต่ถ้าเส้น Becke Line เลื่อนเข้าภายในเศษแก้ว แสดงว่า เศษแก้วมีดัชนีหักเหมากกว่าสารเคมี ทำความสะอาดกระจกสไลด์และเศษแก้ว ทำเช่นเดียวกันนี้จนครบเศษแก้วทุกชนิด ทำการทดลองซ้ำ ตัวอย่างละ 6 ซ้ำ

เส้น Becke Line ที่ปรากฏรอบขอบวัตถุแสดงดังภาพที่ 1 (ก) เส้น Becke Line ปรากฏอยู่รอบขอบด้านในวัตถุ (ข) เส้น Becke Line ปรากฏอยู่รอบขอบด้านนอกวัตถุ



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 ลักษณะของเส้น Becke Line (ตามลูกศรชี้) เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

ที่มา: Emerson, 2009

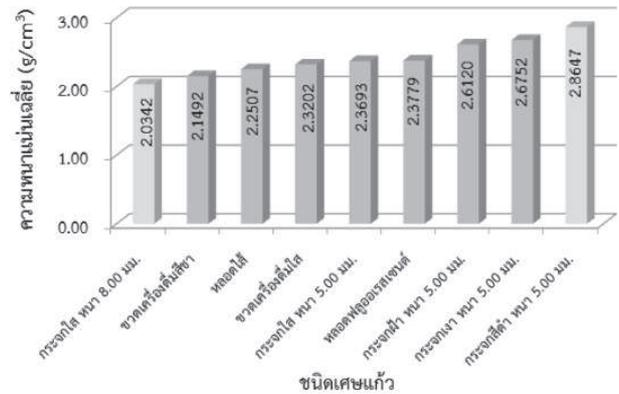
5.4.5 การหลอมเศษแก้ว

นำเศษแก้วที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ 5.4.1 ใส่ในถ้วยครุชีเปิล โดยแยกตามชนิดของเศษแก้ว นำไปหลอมในเตาหลอมไฟฟ้าอุณหภูมิสูง โดยให้ความร้อนที่อัตราเร็ว 3.00°C/s จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 950°C และเผาแช่ (Soaking) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงเองในเตาหลอม [1] เนื่องจากการหลอมเศษแก้วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สารที่เป็นองค์ประกอบภายในเศษแก้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างทางเคมี [5] ทำการหลอมเช่นเดียวกันนี้ โดยเปลี่ยนการตั้งค่าอุณหภูมิจาก 950°C เป็น 1,000 และ $1,050^{\circ}\text{C}$

6. ผลการวิจัย

6.1 ความหนาแน่นของเศษแก้ว

จากการหาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง 9 ชนิด ด้วยวิธีการแทนที่น้ำได้ผลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความหนาแน่นเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง 9 ชนิด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความหนาแน่นเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่างทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรม Excel พบว่า มีเศษแก้วอย่างน้อย 2 ชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($F = 2.365$, $p = 0.032$)

6.2 ดัชนีหักเหแสง

6.2.1 ดัชนีหักเหของสารเคมี

จากการตรวจวัดค่าดัชนีหักเหของสารเคมีด้วยเครื่อง Refractometer แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีหักเหของสารเคมี 9 ชนิด

ลำดับที่	ชื่อสารเคมี	ค่าดัชนีหักเห
1	Dichloromethane	1.4202
2	Cyclohexanol	1.4498
3	Ethyl benzoate	1.5022
4	Pyridine	1.5040
5	Methyl benzoate	1.5124
6	Anisole	1.5136
7	Methyl salicylate	1.5334
8	Benzyl alcohol	1.5356
9	m - cresol	1.5358

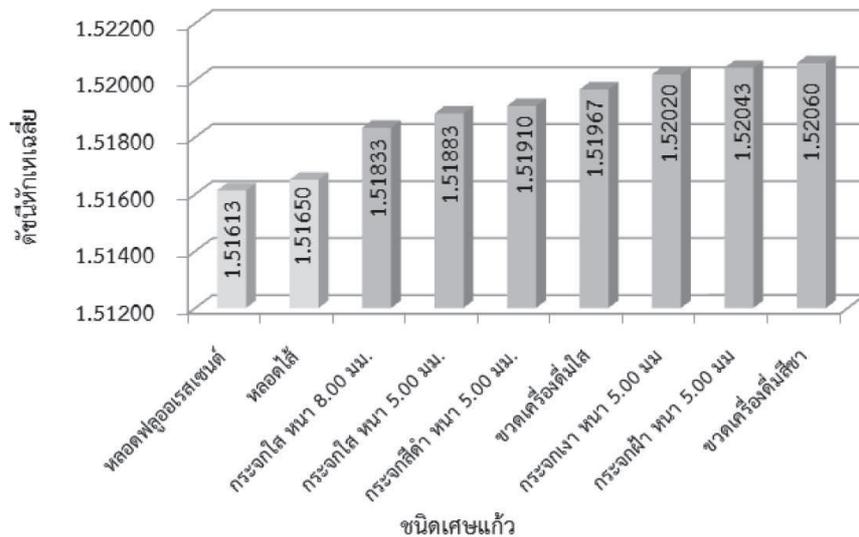
6.2.2 ดัชนีหักเหของเศษแก้ว

จากการตรวจวัดค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่างโดยการสังเกตเส้น Becke Line ได้ผลดังภาพที่ 3

จากการวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่างทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรม Excel พบว่า มีเศษแก้วอย่างน้อย 2 ชนิดที่มีค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($F = 425.988, p = 0.000$)

6.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของเศษแก้ว หลังจากผ่านการหลอม

จากการนำเศษแก้วตัวอย่างทั้ง 9 ชนิดไปทำการหลอมโดยใช้เตาหลอมไฟฟ้าอุณหภูมิสูงที่ระดับอุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C ด้วยอัตราการหลอม 3.00°C/s เผาแช่ (Soaking) ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 10 นาที และปล่อยให้เศษแก้วตัวอย่างเย็นตัวลงเองในเตาหลอม จากนั้นนำมาหาค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยอีกครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 2



ภาพที่ 3 ดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง 9 ชนิด

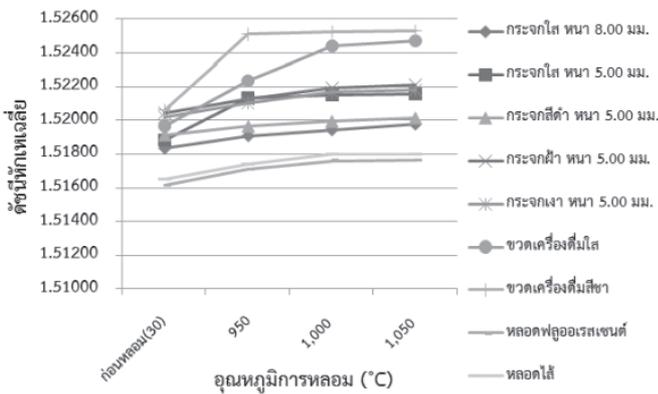
ตารางที่ 2 ดัชนีหักเหเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเศษแก้ว ตัวอย่าง 9 ชนิด หลังการหลอมที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C

ลำดับที่	ชนิดของเศษแก้ว	อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม (°C)	ค่าเฉลี่ยช่วงดัชนีหักเห	ดัชนีหักเหเฉลี่ย	SD (x10 ⁻⁴)
1	กระจกแผ่นเรียบใสหนา 8.00 มม.	950	1.5191 – 1.5193	1.51907	1.967
		1,000	1.5193 – 1.5195	1.51943	1.033
		1,050	1.5197 – 1.5199	1.51977	1.033
2	กระจกแผ่นเรียบใสหนา 5.00 มม.	950	1.5213 – 1.5215	1.52133	1.506
		1,000	1.5215 – 1.5217	1.52150	1.265
		1,050	1.5215 – 1.5217	1.52157	1.033
3	กระจกแผ่นเรียบสีดำหนา 5.00 มม.	950	1.5195 – 1.5197	1.51963	1.633
		1,000	1.5199 – 1.5201	1.51993	0.816
		1,050	1.5201 – 1.5203	1.52013	0.816
4	กระจกฝ้าหนา 5.00 มม.	950	1.5209 – 1.5213	1.52127	1.967
		1,000	1.5217 – 1.5219	1.52187	0.816
		1,050	1.5219 – 1.5221	1.52207	0.816
5	กระจกเงาหนา 5.00 มม.	950	1.5209 – 1.5211	1.52103	2.066
		1,000	1.5217 – 1.5219	1.52170	1.789
		1,050	1.5217 – 1.5219	1.52180	1.673
6	ขวดเครื่องดื่มใส	950	1.5223 – 1.5225	1.52233	1.966
		1,000	1.5243 – 1.5245	1.52440	1.673
		1,050	1.5245 – 1.5247	1.52467	1.506
7	ขวดเครื่องดื่มสีชา	950	1.5251 – 1.5253	1.52507	1.967
		1,000	1.5251 – 1.5253	1.52523	1.633
		1,050	1.5251 – 1.5253	1.52527	1.506
8	หลอดฟลูออเรสเซนต์	950	1.5171 – 1.5173	1.51710	1.265
		1,000	1.5175 – 1.5177	1.51760	1.095
		1,050	1.5175 – 1.5177	1.51763	1.033
9	หลอดไฟชนิดไส้	950	1.5173 – 1.5175	1.51740	1.095
		1,000	1.5179 – 1.5181	1.51797	1.033
		1,050	1.5179 – 1.5181	1.51797	1.033

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวัดค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่างทั้ง 9 ชนิด หลังจากผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C พบว่าเศษแก้วตัวอย่างส่วนใหญ่ มีค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิการหลอมที่สูงขึ้น และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลง

เมื่อนำข้อมูลค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง 9 ชนิด ทั้งก่อนการหลอมและหลังจากการหลอมเศษแก้วที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C แสดงผลเป็นกราฟ จะได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง 9 ชนิด ก่อนการหลอมและหลังจากผ่านการหลอมอุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง ทั้งก่อนการหลอมและหลังจากผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C พบว่า ค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิการหลอม กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในการหลอมเพิ่มสูงขึ้น เศษแก้วจะมีค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์นี้มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) โดยใช้โปรแกรม Excel เพื่อสร้างสมการทำนาย หรือประมาณค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยหรือระดับอุณหภูมิที่เศษแก้วได้รับ พบว่า เศษแก้วตัวอย่างมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 และมีค่าใกล้เคียง 1 ทั้งหมด

สมการการประมาณค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยหรือระดับอุณหภูมิที่เศษแก้วได้รับ และค่า R^2 ของเศษแก้วตัวอย่างทั้ง 9 ชนิด แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมการการประมาณค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยหรือระดับอนุกรมที่มีเศษแก้วได้รับและค่า R^2 ของเศษแก้ว ตัวอย่าง 9 ชนิด โดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

ชนิดเศษแก้ว	สมการถดถอย	R^2
กระจกแผ่นเรียบสีดำนานา 5.00 มิลลิเมตร	$RI = 1.51905 + 8.54118 \times 10^{-7} \times T$	0.78
กระจกฝ้านานา 5.00 มิลลิเมตร	$RI = 1.52036 + 1.38706 \times 10^{-7} \times T$	0.81
หลอดฟลูออเรสเซนต์	$RI = 1.51607 + 1.37967 \times 10^{-6} \times T$	0.88
หลอดไฟชนิดไส้	$RI = 1.51644 + 1.34790 \times 10^{-6} \times T$	0.87
กระจกแผ่นเรียบใสหนา 8.00 มิลลิเมตร	$RI = 1.51827 + 1.16392 \times 10^{-6} \times T$	0.79
กระจกแผ่นเรียบใสหนา 5.00 มิลลิเมตร	$RI = 1.51875 + 2.71209 \times 10^{-6} \times T$	0.99
ขวดเครื่องดื่มใส	$RI = 1.51944 + 4.39535 \times 10^{-6} \times T$	0.85
กระจกเงาหนา 5.00 มิลลิเมตร	$RI = 1.52013 + 1.39609 \times 10^{-6} \times T$	0.79
ขวดเครื่องดื่มสีชา	$RI = 1.52047 + 4.71160 \times 10^{-6} \times T$	0.99

RI คือ ค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วหลังการหลอม

T คือ อุณหภูมิที่หลอมเศษแก้วหรืออุณหภูมิที่เศษแก้วได้รับ

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ความหนาแน่นและดัชนีหักเหของเศษแก้วสามารถนำมาใช้ในการระบุและแยกชนิดเศษแก้วได้ ในลักษณะของการจัดกลุ่ม ซึ่งสามารถจัดแบ่งเศษแก้วตัวอย่างออกเป็นกลุ่มตามค่าความหนาแน่นได้ดังนี้

กระจกแผ่นเรียบใส หนา 5.00 และ 8.00 มิลลิเมตร ขวดเครื่องดื่มใส ขวดเครื่องดื่มสีชา หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟชนิดไส้ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.034 – 2.378 g/cm³

กระจกแผ่นเรียบสีดำนานา กระจกฝ้านานา และกระจกเงา มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.612 – 2.865 g/cm³

และสามารถจัดแบ่งเศษแก้วตัวอย่างออกเป็นกลุ่มตามค่าดัชนีหักเหได้ดังนี้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟชนิดไส้ มีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.51613 – 1.51650

กระจกแผ่นเรียบใส หนา 5.00 และ 8.00 มิลลิเมตร กระจกแผ่นเรียบสีดำนานา และขวดเครื่องดื่มใส มีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.51833 – 1.51967

กระจกเงา กระจกฝ้านานา และขวดเครื่องดื่มสีชา มีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.52020 – 1.52060

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนาแน่นเฉลี่ยและค่าดัชนีหักเหเฉลี่ย โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรม Excel พบว่าเศษแก้วตัวอย่างมีความหนาแน่นเฉลี่ยและดัชนีหักเหเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากแก้วแต่ละชนิดนั้นจะมีองค์ประกอบของชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่เติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการผลิตแตกต่างกัน [9] และในขั้นตอนของกระบวนการผลิตแก้วหรือกระจกแต่ละชนิดจะมีอัตราการเย็นตัวแตกต่างกัน ซึ่งในแก้วหรือกระจกชิ้นเดียวกันยังมีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ [13]

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของเศษแก้วตัวอย่าง หลังจากเศษแก้วผ่านการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C ในเตาหลอมอุณหภูมิสูง และเย็นตัวลงมายังอุณหภูมิห้องปกติ พบว่า เศษแก้วตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าดัชนีหักเหเพิ่มสูงขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิการหลอม กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิการหลอมเพิ่มสูงขึ้น เศษแก้วตัวอย่างจะมีค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้นตามด้วย และยังพบว่า เศษแก้วตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pawluk – Kotc et al. และ Rushton et al. [10, 12]

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยของเศษแก้วตัวอย่าง ก่อนการหลอม และหลังจากเศษแก้วผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ 950, 1,000 และ 1,050°C และเย็นตัวลงมายังอุณหภูมิห้องปกติ ด้วยวิธีทางสถิติโดยการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ด้วยโปรแกรม Excel และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) พบว่า เศษแก้วตัวอย่างมีค่า R^2 ใกล้เคียงกับ 1 ทำให้เชื่อได้ว่า สามารถนำสมการมาใช้ทำนายหรือประมาณค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยหรือระดับอุณหภูมิที่เศษแก้วได้รับ เพื่อคาดคะเนจุดต้นเพลิงในสถานที่เกิดเหตุเพลิงไหม้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.พ.ต.อ.สันต์ สุขวัจน ศ.พ.ต.อ.นพ. อุทัย ตีระวณิช และ ผศ.พ.ต.ท.ดร.สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จจุล่งไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี อ.ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ผศ.ดร.ชิตชนก มีใจชื่อ อ.ดร.ณิรนุช ควรเชิดชู และ ผศ.เกษม พุกกะวัน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์สถานที่การวิจัย ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัยต่าง ๆ ทำให้การวิจัยดำเนินไปได้อย่างราบรื่นจนสำเร็จจุล่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] เทวินทร์ เทวกานนท์, 2554. การศึกษาอิทธิพลของเศษหลอดไฟต่อสมบัติทางความร้อนของแก้วโซดาโลม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] วรณมา ต.แสงจันทร์, 2557. การตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยเศษแก้ว [Online] <http://www.reo3.go.th/newversion/images/stories/nanasa/n029.pdf>
- [3] วรณฤดี แก้วมีศรี, 2557. ปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การหาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของวัสดุ: เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 278351 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา [Online] http://www.science.up.ac.th/cimtsience/resources-user/docs/1_Density-278351.pdf
- [4] วิสูตร พงศ์ศิริบุญอยู่, 2552. หลักเกณฑ์การแลกเปลี่ยนส่วนของโลคาร์ด ในทางนิติเวชศาสตร์ Locard's Exchange Principle [Online] http://www.medicthai.com/admin/news_detail.php?id=4296
- [5] วชิรี ประภาณี, 2549. วัตถุระเบิดเซรามิก (ตอนที่ 3) [Online] <http://www.2.mtec.or.th/th/special/cdm/articles3.htm>
- [6] อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์, ณรงค์ กุลนิเทศ, สันต์ สุขวัจน, ไชยณรงค์ ตั้งสุวรรณ, ธวัชชัย เมฆประเสริฐสุข, กำธร ยเจริญ และคุณิโอะโตจิมา, 2552. นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: จี.บี.พี.เซ็นเตอร์.
- [7] Emerson, R. W., 2009. Glass [Online] <http://www.nhwweb.net/vhs/Science/lhance/Forensics/ch%2014%20glass.ppt>

- [8] Finn, G. C., 2006. Refractometry [Online] <http://www.brocku.ca/earthsciences/people/gfinn/optical/222lect.htm>
- [9] Girard, J. E., 2013. Criminalistics: Forensic Science, Crime, and Terrorism. 3rd Edition. United States of America : Courier companies.
- [10] Pawluk – Kotc, M., Zieba – Palus, J., and Parczewski, A., 2008. The effect of re-annealing on the distribution of refractive index in a windscreen and a windowpane: Classification of glass samples. Journal of Forensic Science International, 174(2-3) : 222-228.
- [11] Ronald, K. M., 1997. The value of glass in the Fire Investigation Process. Fire Engineering, 150(1) : 79-84.
- [12] Rushton, K. P., Coulson S. A., Newton A. W. N., and Curran J. M., 2011. The effect of annealing on the variation of glass refractive index. Journal of Forensic Science International, 209(1-3) : 102-107.
- [13] Yasuhiro, S., Ritsuko, S., Shinichi, S., and Yoshitera, M., 2000. Forensic Discrimination of Bottle Glass by Refractive Index Measurement and Analysis of Trace Elements with ICP-MS. Journal of Analytical Sciences, 16(11) : 1195-1198.