วัสดุทดแทนราคาประหยัดสำหรับทวนสอบเครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบพลวัต
Inexpensive Substitute Materials for Verification of Dynamic Mechanical Analyzer

ศักดิ์ชัยบดี ปิ่นศรีทอง[1] สัตยา บุญรัตนชู[1] และพิสมัย ปิ่นศรีทอง[*]
Sakchaibordee Pinsrithong[1], Sathaya Bunratchoo[1] and Pisamai Pinsrithong[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวัสดุราคาประหยัดสำหรับการทวนสอบเครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบพลวัต (DMA) ก่อนการใช้งาน โดยวัสดุที่เลือกใช้เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดแผ่นใสที่มีจำหน่ายในท้องตลาด นำมาตัดเป็นแผ่นขนาดเท่ากันราคาประมาณชิ้นละ 1 บาทและได้เปรียบเทียบกับแผ่นวัสดุมาตรฐานพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) ที่มีราคาสูงมากกว่า 640 เท่า (640 บาท) ผลที่ได้แสดงลักษณะกายภาพที่ไม่แตกต่าง มีความเป็นเนื้อเดียวสม่ำเสมอของวัสดุเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นโครงสร้างทางเคมีที่เหมือนกันเมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง DMA แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นมีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียง PMMA มาตรฐานที่สภาวะการทดสอบเดียวกัน โดยมีค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า (Tan Delta peak) ค่าแทนเดลต้า (Tan Delta value) และค่าโมดุลัสสะสม (Storage modulus) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเท่ากับ 138.54 ± 0.55 องศาเซลเซียส,1.38 ± 0.02 และ 3.35 ± 0.30 เมกะปาสคาลตามลำดับ แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นมีความเที่ยงในการทำซ้ำในวันเดียวกัน และต่างวัน โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 0.17,1.13 และ 5.21ของอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ค่าแทนเดลต้า และค่าโมดุลัสสะสมที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมจากค่าสมบัติเชิงกลของแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น เมื่อมีการทวนสอบเครื่องมือก่อนการใช้งาน จะช่วยให้สามารถตรวจสอบความสเถียรภาพของเครื่องมือเพื่อให้ผลวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของวัสดุชนิดต่าง ๆ มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ: อะคริลิก สมบัติเชิงกล การทวนสอบ เครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบพลวัต

Abstract

The objective of the research was to study how to obtain a low-cost material for the verification of dynamic mechanical analyzer (DMA) before every use. The selected material is a transparent acrylic sheet, available in the local market. It was cut into pieces at the same size. The prepared acrylic sheet and standard polymethyl methacrylate (PMMA) were compared in this study. The finding founded that the price of prepared acrylic sheet is 1 bath per piece while the standard PMMA sheet is approximately 640 times (640 baht) more expensive without any different physical appearance. Scanning electron microscope (SEM) is used to study the topography of materials and it was found that the materials are uniform and homogenous. The same chemical structure of both specimens was shown as measured by Fourier transform infrared spectrometer (FTIR). The mechanical properties of prepared acrylic sheet are similar to standard PMMA, by using DMA. The same experimental conditions with Tan Delta peak, Tan Delta value and Storage modulus at 160 ºC were 138.54 ± 0.55 ºC, 1.38 ± 0.02 and 3.35 ± 0.30 MPa, respectively. The same-day and different-day iterations were measured with percentages of relative standard deviation of less than 0.17%, 1.13%, and 5.21% of Tan Delta peak, Tan Delta value and Storage modulus at 160 ºC, respectively. The mechanical properties of the prepared

[1] สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110
[1] Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90110
*Corresponding author: e-mail: pisamai.s@psu.ac.th
Received: *March 25, 2022*, Accepted: *May 13, 2022*, Published: *September 4, 2022*

acrylic sheet were collected to create a control chart using in DMA performance verification. When the instrument is verified before use, it allows to verify the stability of the instrument to provide accurate and reliable results of mechanical analysis of various materials.
Keywords: acrylic, mechanical property, verification, dynamic mechanical analysis

บทนำ

เครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบพลวัต (Dynamic mechanical analyzer) หรือ DMA เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสมบัติเชิงกลและสมบัติความหยุ่นหนืดของวัสดุต่าง ๆ เช่น เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซ็ต อีลาสโตเมอร์ เซรามิก และโลหะ เป็นต้น โดยศึกษาสมบัติวิสโคอิลาสติกของวัสดุที่เป็นฟังก์ชันกับ อุณหภูมิ เวลา ความถี่ และความเค้น (Groenewoud, 2001)ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMA ตัวอย่างจะได้รับความเค้นเป็นช่วง ๆ ทำให้วัสดุเสียรูปวิธีใดวิธีหนึ่งจากวิธีการต่าง ๆ เช่น การงอ การดึง การเฉือน และการบีบอัด เป็นต้น ค่าโมดุลัสในรูปของฟังก์ชันของเวลาหรืออุณหภูมิจะถูกวัดและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนเฟส (Phase transition) ของวัสดุ (Singh and Singh, 2022) โดยสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นหน่วยงานบริการวิชาการที่มีบริการทดสอบวัสดุด้วยเครื่อง DMA เพื่อศึกษาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ตามประกาศรายการทดสอบและอัตราค่าบริการของสำนักเครื่องมือฯ ในปัจจุบัน (OSIT, 2022)

ซึ่งการจะได้มาซึ่งผลการทดสอบที่ดีและถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ การเตรียมขนาดชิ้นงานที่เหมาะสม โดยชิ้นงานที่ดีขอบจะต้องเรียบ มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือทรงกระบอก มีความสม่ำเสมอเท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบจะต้องเหมาะสม เช่น ความเครียด (Strain) อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และการสอบเทียบ/ทวนสอบเครื่องมืออย่างถูกต้องก่อนการใช้งาน เป็นต้น (PerkinElmer, 2013) ซึ่งโดยปกติก่อนการใช้เครื่อง DMA เพื่อทดสอบตัวอย่างวัสดุชนิดต่าง ๆ ของสำนักเครื่องมือฯ จะมีการสอบเทียบเครื่อง DMA ประจำปี ๆ ละ 1 ครั้ง เพื่อสร้างความมั่นใจว่าเครื่องมือที่ใช้งานอยู่นั้น ยังคงมีคุณภาพและมาตรฐานถูกต้อง เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานตลอดทั้งปีและในการสอบเทียบเครื่อง DMA ประจำปี จะใช้วัสดุมาตรฐานในสอบเทียบ คือ แผ่นวัสดุมาตรฐานพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) หรือ PMMA มาตรฐาน (PerkinElmer, 2022) ซึ่งในการสอบเทียบด้วยแผ่น PMMA มาตรฐานที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์มีราคาค่อนข้างสูง คือ มากกว่า 640 บาท/แผ่น และหนึ่งแผ่นใช้ได้เพียงหนึ่งครั้ง ไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำได้เนื่องจากการวัสดุเสียรูปหลังใช้งาน ทำให้เกิดความกังวลของนักวิทยาศาสตร์ผู้ทดสอบว่าในการทดสอบตัวอย่างวัสดุชนิดต่าง ๆ เช่น พอลิเมอร์ ยาง พลาสติกเป็นต้น ที่ส่งทดสอบ ณ สำนักเครื่องมือฯ ในแต่ละครั้ง ขาดซึ่งข้อมูลการทวนสอบความผิดปกติของเครื่องมือระหว่างการใช้งาน ซึ่งการทวนสอบจะสร้างความมั่นใจว่าเครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่ ณ ขณะนั้นยังคงมีคุณภาพและมาตรฐานถูกต้อง เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานตลอดการวิเคราะห์ (Tomblin *et al.*, 2016) โดยหากเลือกใช้แผ่น PMMA มาตรฐาน มาทำการทวนสอบเครื่องมือระหว่างวัน หรือก่อนการใช้งาน จะทำให้มีต้นทุนของการวิเคราะห์ที่สูงขึ้นตามไปด้วย และในการให้บริการทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง DMA ของสำนักเครื่องมือฯ การส่งตัวอย่างของลูกค้าเจ้าของวัสดุทั้งภาครัฐและเอกชน เป็นแบบไม่สามารถควบคุมวันเวลาการส่งทดสอบได้ ขึ้นอยู่กับความพร้อมของผู้ส่งทดสอบ และเมื่อส่งทดสอบแล้ว นักวิทยาศาสตร์ผู้ทดสอบจะมีระยะเวลาการส่งมอบผลการทดสอบที่แน่นอน คือ 7 วันทำการ เมื่อทดสอบตัวอย่างแล้วเสร็จ ก็จะทำการปิดเครื่องมือเพื่อประหยัดพลังงานและต้นทุน ซึ่งหากมีชิ้นงานใหม่ส่งทดสอบ นักวิทยาศาสตร์ก็จะต้องดำเนินการเปิดเครื่องและทวนสอบเครื่องมือด้วยแผ่น PMMA ชิ้นใหม่ซ้ำอีกครั้ง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการทวนสอบเครื่องก่อนใช้งาน ต้นทุนแน่นอนที่สูงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาหาวัสดุทดแทนที่สามารถใช้ทวนสอบเครื่อง DMA แทนแผ่น PMMA มาตรฐานได้ แต่มีราคาถูกกว่า สามารถเตรียมได้เองในห้องปฏิบัติการ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต หรือชื่อทางการค้าสามัญ คือ แผ่นอะคริลิก (Acrylic) ชนิดโปร่งใสเกรดราคาประหยัดที่หาซื้อได้ในประเทศ เป็นวัสดุศึกษาเพื่อทดแทนแผ่น PMMA มาตรฐานที่มีราคาสูง เพื่อใช้เป็นวัสดุทวนสอบเครื่อง DMA เนื่องจากคุณสมบัติแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต หรือ อะคริลิก ไม่ว่าเกรดใดก็มีความแข็งและเหนียว ทนต่อแรงกระแทก น้ำหนักเบา ทนความร้อนได้สูง (Sastri, 2010) และนำมาตัดเป็นชิ้นงานเช่นเดียวกับแผ่น PMMA มาตรฐานที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้ง่ายเพื่อลดการนำเข้าวัสดุราคาสูงจากต่างประเทศ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อความถูกต้องของผลการทดสอบ มีกระบวนการทวนสอบเครื่องมือก่อนการใช้งาน
2. เพื่อลดรายจ่ายการทวนสอบเครื่อง DMA ด้วยชิ้นงานอะคริลิกที่เตรียมขึ้นเองและใช้ได้จริง

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

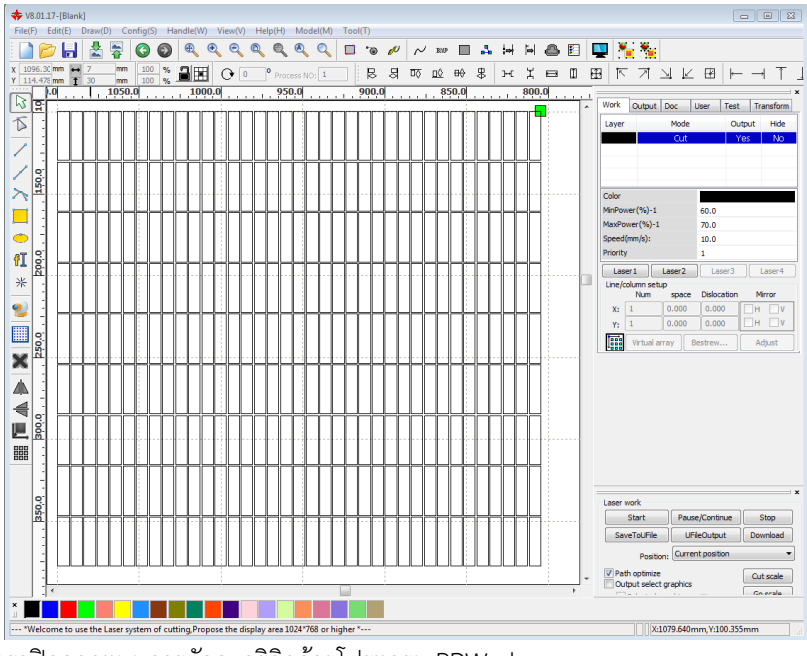
แผ่นอะคริลิกใสที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเป็นชนิดเกรดทางการค้า (Commercial grade) ยี่ห้อแพนกลาส (PanGlas) ของบริษัท แพนเอเชียอุตสาหกรรม จำกัด ขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตรยาว 300 มิลลิเมตรหนา 1.7 มิลลิเมตร ราคาแผ่นละ 120 บาท ซื้อจากร้านค้าวัสดุในจังหวัดสงขลา และแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) มาตรฐาน ซื้อจากบริษัทผู้จำหน่ายเครื่องมือ รุ่น N5330316 ยี่ห้อ Perkin Elmer จากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการเตรียมชิ้นงานใช้เครื่องตัดชิ้นงานด้วยแสงเลเซอร์ควบคุมระบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer numerical control) หรือ CNC รุ่น BCL-1309 ยี่ห้อ BODOR จากประเทศจีน โดยเตรียมชิ้นงานผ่านโปรแกรม RDWork วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer) หรือ FT-IR รุ่น Vertex70 ยี่ห้อ Bruker จากประเทศเยอรมัน วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิววัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) หรือ SEM รุ่น Apreo ยี่ห้อ FEI จากประเทศสาธารณรัฐเช็กและการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและสมบัติความหยุ่นหนืดของแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น และแผ่น PMMA มาตรฐานด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบพลวัต หรือ DMA รุ่น DMA 8000 ยี่ห้อ Perkin Elmer จากประเทศสหรัฐอเมริกา

3. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานด้วยโปรแกรม RDWorkแสดงดังภาพที่ 1 ทำโดยการออกแบบขนาดของชิ้นงานขนาดกว้าง 7มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร ทำการเว้นช่องว่างระหว่างชิ้นงาน 1 มิลลิเมตร เนื่องจากเครื่องตัดเลเซอร์มีขนาดของรอยตัดประมาณ 0.3 มิลลิเมตร เมื่อชิ้นงานถูกตัดจะทำให้ได้ชิ้นงานขนาดกว้าง 6.7 มิลลิเมตรยาว 29.7 มิลลิเมตรจำนวนตามที่ออกแบบ ซึ่งจากภาพจะได้ชิ้นงาน 333 ชิ้นต่อการตัดด้วย CNC หนึ่งรอบของแผ่นอะคริลิกขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตรยาว 300 มิลลิเมตร



ภาพที่ 1 กราฟิกออกแบบการตัดอะคริลิกด้วยโปรแกรม RDWork

4. ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการทวนสอบเครื่องDMA ของอะคริลิกที่เตรียมขึ้นและแผ่นPMMA มาตรฐาน

โดยสภาวะทดสอบเปรียบเทียบของแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นและแผ่น PMMA มาตรฐานแสดงดังตารางที่ 1 ใช้เวลาในการทวนสอบ 18 นาทีต่อครั้ง โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ซึ่งแสดง Glass transition temperature (Tg) หรืออุณหภูมิที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในจากแข็งและเปราะคล้ายแก้วเป็นมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง ค่าแทนเดลต้า เป็นสัดส่วนระหว่างค่าโมดุลัสสูญเสีย (Loss modulus) และค่าโมดุลัสสะสมที่อุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ซึ่งบ่งบอกสัดส่วนพลังงานที่สูญเสียไปของวัสดุ และค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงดึงของวัสดุที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสในหน่วยเมกะปาสคาล

ตารางที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการทวนสอบเครื่อง DMA

ชิ้นวัสดุ	อะคริลิกที่เตรียมขึ้น	PMMA
รูปแบบการทดสอบ (Mode)	คานเดี่ยว (Single cantilever)	คานเดี่ยว (Single cantilever)
ทดสอบช่วงอุณหภูมิ	90 องศาเซลเซียสถึง 180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที	90 องศาเซลเซียสถึง 180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที
ความถี่ (Frequency)	1 เฮิรตซ์	1 เฮิรตซ์
แอมพลิจูดกระจัด(Displacement amplitude)	50 ไมโครเมตร	50 ไมโครเมตร
การชดเชยอัตโนมัติ (Auto offset)	ไม่เลือก (none)	ไม่เลือก (none)

5. การศึกษาความสามารถในการทำซ้ำ

ชิ้นงานอะคริลิกที่เตรียมขึ้นด้วยเครื่อง CNC จำนวนมากกว่า 300 ชิ้น จะถูกเลือกมาศึกษาความสามารถในการทำซ้ำของชิ้นงานอะคริลิกที่เตรียมขึ้น โดยการศึกษาจะใช้เครื่อง DMA สภาวะการทวนสอบแสดงดังตารางที่ 1 โดยจะทำการศึกษาหาค่าความเที่ยง (Precision) ของการทำซ้ำใน 1 วัน จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 ชิ้นงานของอะคริลิกที่เตรียมขึ้น และหาค่าความเที่ยง (Repeatability) ของการทำซ้ำต่างวัน จำนวน 5 วัน วันละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 ชิ้นงานของอะคริลิกที่เตรียมขึ้น ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ค่าแทนเดลต้า และค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส รายงานผลในรูปแบบร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

6. ตรวจสอบการใช้ได้โดยวิธีแผนภูมิควบคุม (Control chart)

เพื่อยืนยันการใช้ได้ของการทวนสอบเครื่อง DMA ว่ายังคงให้คุณภาพของกระบวนการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลเป็นอย่างดี ไม่เกิดการแปรผัน (Variable) ของเครื่องมือ ได้เลือกเครื่องมือควบคุมคุณภาพทางสถิติ คือ แผนภูมิควบคุม มาใช้ในการตรวจสอบกระบวนการทำงานวิเคราะห์/ทดสอบว่ามีความถูกต้อง แม่นยำและน่าเชื่อถือ (ทนง, 2555) โดยการศึกษาจะทำการทวนสอบเครื่อง DMA ด้วยแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นจำนวน 1 ครั้งต่อวัน เพื่อหาค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ค่าแทนเดลต้า และค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส จำนวนข้อมูลเริ่มต้น (Set-up data) จำนวน 20 ชุดข้อมูล แล้วพลอตข้อมูลที่ได้แต่ละวันนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) แล้วหาค่าขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit,UCL) ของ +1SD +2SD +3SD และค่าขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit,LCL) ของ –1SD –2SD –3SD เพื่อดูการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ของชุดข้อมูลที่พลอตต่อเนื่องในการทวนสอบเครื่องมือในแต่ละวันที่มีการใช้งาน ซึ่งเป็นการพลอตข้อมูลลงในแผนภูมิควบคุมต่อเนื่องตลอด 9 เดือน ตั้งแต่ช่วงพฤษภาคม 2564 ถึง มกราคม 2565 จำนวน 100 ข้อมูล

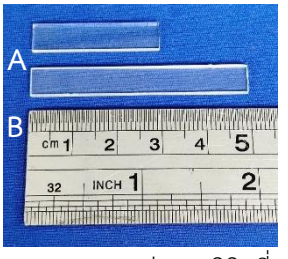
ผลการวิจัย

ผลจากการเตรียมชิ้นงานจากแผ่นอะคริลิกราคาถูกเพื่อใช้ในการทวนสอบเครื่องมือแทนแผ่น PMMA มาตรฐานที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง แสดงผลการวิจัยและข้อมูลดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงานจากแผ่นอะคริลิก

สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบด้วยเครื่อง DMA ในกรณี mode single cantilever ที่มีแขนจับแผ่นชิ้นงานแบบคงที่ 1 จุด ระยะยึด 5 มิลลิเมตรและแขนจับแผ่นชิ้นงานแบบเปลี่ยนแปลงความเค้นได้ 1 จุดระยะยึด 5 มิลลิเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างแขนจับทั้ง 2 จุดคือ 10 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวแผ่นชิ้นงานทดสอบ

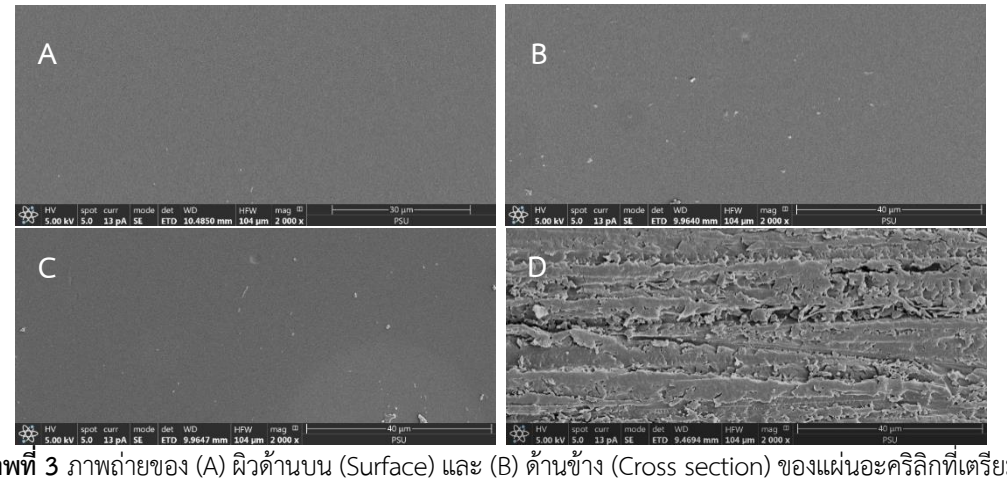
ขั้นต่ำที่ต้องใช้จริง คือ 20 มิลลิเมตรและจากการใช้เครื่อง CNC ในการเตรียมชิ้นงานจากแผ่นอะคริลิกเพื่อนำมาศึกษาการทวนสอบเครื่อง DMA จะได้ชิ้นงานแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น มีขนาดกว้าง 6.70มิลลิเมตร x ยาว 29.7 มิลลิเมตร x หนา 1.7 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 2A ดังนั้นการเตรียมแผ่นอะคริลิกความยาว 29.7 มิลลิเมตรจึงเพียงพอและสะดวกในการติดตั้งชิ้นงานต่อการจับยึดของหัวจับทั้ง 2 จุดของเครื่อง DMA โดยที่แผ่น PMMA มาตรฐานมีขนาดกว้าง 6.74 มิลลิเมตร x ยาว 50 มิลลิเมตร x หนา 1.93 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2B ทั้งนี้ความยาวแผ่น PMMA มากถึง 50 มิลลิเมตร อาจเนื่องมาจากผู้ผลิตออกแบบเผื่อความยาวไว้สำหรับการทดสอบทั้งแบบ single cantilever และ dual cantilever (แบบคานคู่ คือ มีแขนจับแบบคงที่ 2 จุดหัวท้าย และแบบเปลี่ยนแปลงความเค้นได้ 1 จุดตรงกลาง ความยาวแผ่นชิ้นงานขั้นต่ำที่ต้องใช้ 35 มิลลิเมตร) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกการเปรียบเทียบชิ้นงานสำหรับใช้ทวนสอบของวัสดุทั้ง 2 ชนิดด้วยเครื่อง DMA ใน mode single cantilever สอดคล้องกับการทดสอบตัวอย่างวัสดุของลูกค้าที่ส่งทดสอบ ณ สำนักเครื่องมือฯ และสอดคล้องกับการสอบเทียบประจำปีที่สำนักเครื่องมือฯ ดำเนินการอยู่



ภาพที่ 2 วัสดุศึกษาการทวนสอบเครื่อง DMA (A) แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น (B) แผ่น PMMA มาตรฐาน

2. ลักษณะทางกายภาพของแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นและแผ่นPMMAมาตรฐาน

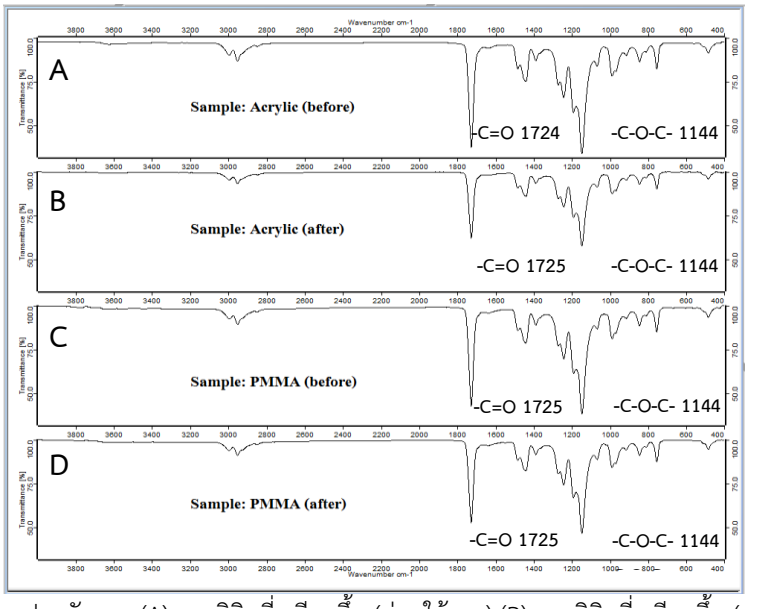
ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิววัสดุระหว่างชิ้นงานอะคริลิกราคาที่เตรียมขึ้น และ PMMA มาตรฐานด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า ภาพ A แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น บริเวณพื้นผิวด้านบนมีความเรียบสม่ำเสมอ เช่นเดียวกับภาพ C พื้นผิวด้านบนแผ่นของแผ่น PMMA มาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบภาพพื้นผิวด้านข้างที่กำลังขยายเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่า ภาพ B แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น บริเวณพื้นผิวด้านข้าง มีความเรียบสม่ำเสมอมากกว่าภาพ D ซึ่งแสดงพื้นผิวด้านข้างของแผ่น PMMA มาตรฐานเนื่องจากชิ้นงานที่เตรียมขึ้นได้ทำการตัดชิ้นงานด้วยแสงเลเซอร์ที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ของเครื่อง CNC ทำให้พื้นผิววัสดุของแผ่นอะคริลิกหลังตัดชิ้นงานมีความสม่ำเสมอทุกชิ้นทุกรอบของการสั่งตัดชิ้นงานของแผ่นอะคริลิก ทำให้มีความมั่นใจว่าแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น และนำมาเลือกใช้ทวนสอบเครื่อง DMA ทั้งหมดมีความสม่ำเสมอเหมือนกันทุกชิ้นทางด้านลักษณะกายภาพ



ภาพที่ 3 ภาพถ่ายของ (A) ผิวด้านบน (Surface) และ (B) ด้านข้าง (Cross section) ของแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นกับ (C) ผิวด้านบน (Surface) และ (D) ด้านข้าง (Cross section) ของแผ่น PMMA มาตรฐานที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

3. ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยFT-IR

ผลการศึกษาความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FT-IR เทคนิคการทดสอบแบบ ATR แสดงผลดังภาพที่ 4 เส้นสเปกตรัมของแผ่นชิ้นงานอะคริลิกที่เตรียมขึ้น และPMMA มาตรฐาน ก่อนการนำไปใช้งานแสดงเส้นสเปกตรัมแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O ที่1724 เซนติเมตร$^{-1}$ ของอะคริลิกที่เตรียมขึ้น และ 1725 เซนติเมตร$^{-1}$ ของ PMMA มาตรฐาน และเส้นสเปกตรัมแบบยืดหดของพันธะ C-O ที่ 1144 เซนติเมตร$^{-1}$เท่ากันของวัสดุทั้งสองชิ้นงาน และหลังการนำแผ่นชิ้นวัสดุทั้งสองไปใช้งานทวนสอบเครื่อง DMA ตามสภาวะทวนสอบดังตารางที่ 1 ผลของสเปกตรัมแสดงการยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O ที่ 1725 เซนติเมตร$^{-1}$และ C-O ที่ 1144 เซนติเมตร$^{-1}$เท่ากันของทั้งสองแบบชิ้นงาน โดยความแตกต่างของเส้นสเปกตรัมก่อนและหลังการนำไปใช้งาน คือ พันธะ C=O ที่ 1724 -1725 เซนติเมตร$^{-1}$จะมีความเข้มลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่อง DMA ซึ่งผลที่ได้แสดงความสอดคล้องกันทั้งสองแบบชิ้นงาน และเมื่อใช้ข้อมูลจาก FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบผลด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ (%Correlation) ซึ่งเป็นการบ่งบอกความเหมือนของ FT-IR สเปกตรัม เปรียบเทียบระหว่างเส้นสเปกตรัมของภาพที่ 4 ระหว่าง A แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น (ก่อนใช้งาน) กับ C แผ่น PMMA มาตรฐาน (ก่อนใช้งาน) และ B แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น (หลังใช้งาน) กับ D แผ่น PMMA มาตรฐาน (หลังใช้งาน) แสดงค่า % Correlation ของแต่ละคู่เท่ากับร้อยละ 99.88 และ 99.92 ตามลำดับ

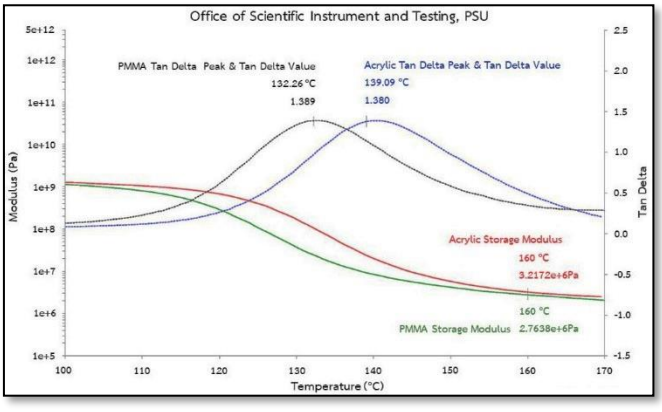


ภาพที่ 4 FT-IR สเปกตรัมของ (A) อะคริลิกที่เตรียมขึ้น (ก่อนใช้งาน) (B) อะคริลิกที่เตรียมขึ้น (หลังใช้งาน) และ (C)PMMA มาตรฐาน (ก่อนใช้งาน)(D)PMMA มาตรฐาน (หลังใช้งาน)

4.ผลสมบัติเชิงกลของของแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นและแผ่นPMMA มาตรฐาน

ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของของอะคริลิกที่เตรียมขึ้น เทียบกับแผ่น PMMA มาตรฐานสำหรับการทวนสอบเครื่อง DMA ก่อนการใช้งาน ตัวอย่างผลการทดสอบเทอร์โมแกรมแสดงดังภาพที่ 5 และค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุทั้งสองชนิดแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ผลของค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า จะเห็นว่าแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นมีค่า Glass transition temperature หรือ Tg มากกว่า แผ่น PMMA มาตรฐาน ประมาณ 6.35 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบค่าแทนเดลต้า ซึ่งบ่งบอกสัดส่วนพลังงานที่สูญเสียไปของวัสดุทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงดึงของวัสดุของทั้งสองชิ้นงานที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ 160 องศาเซลเซียส แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นมีความแข็งแรงทนต่อแรงดึงได้มากกว่าแผ่น PMMA มาตรฐานประมาณ 0.76 เมกะปาสคาลและเมื่อนำค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับ

ค่าเกณฑ์การยอมรับการสอบเทียบของเครื่อง DMA เพื่อพิสูจน์ค่าถูกต้องของเครื่องมือที่ได้จากวัดด้วยแผ่น PMMA มาตรฐาน อ้างอิงตามคู่มือการใช้งานและติดตั้งของเครื่อง DMA8000 (Part Number 09936798) จากบริษัทผู้ผลิต ได้กำหนดช่วงอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้าไว้ที่ 115 – 135 องศาเซลเซียส ช่วงแทนเดลต้า 1 – 2 และค่าโมดุลัสสะสมที่ 160องศาเซลเซียส ช่วง 1-10 เมกะปาสคาล (PerkinElmer, 2007) ซึ่งจากค่าเกณฑ์การยอมรับเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้ของวัสดุทั้งสองในตารางที่ 2 และตัวอย่างเทอร์โมแกรมดังภาพที่ 5 จะเห็นว่าแผ่น PMMA มาตรฐานให้ค่าสมบัติเชิงกลสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดทั้ง 3 พารามิเตอร์ และแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นและได้ตรวจวัดสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง DMA ที่สภาวะการทดสอบเดียวกับแผ่น PMMA มาตรฐาน มีผลสอดคล้องตามเกณฑ์การยอมรับการสอบเทียบประจำปีหรือติดตั้งเครื่องมือใหม่สองรายการ คือ ค่าแทนเดลต้า และ ค่าโมดุลัสสะสมที่ 160องศาเซลเซียส ส่วนค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้าอยู่นอกช่วงการสอบเทียบประจำปี ซึ่งค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้าที่อยู่นอกช่วงการทดสอบอาจเป็นผลมาจากสองปัจจัย คือ ปัจจัยแรกความหนาของชิ้นงานที่ไม่เท่ากัน และปัจจัยที่สองจากกระบวนการผลิตหรืออุณหภูมิในการบ่มเพื่อให้วัสดุเกิดการเซ็ทตัว (Cure) ของชิ้นงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งหากสองปัจจัยนี้แตกต่างกันจะได้ค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้าที่ได้แตกต่างกันไปด้วย (Yong, Sims et al., 2017) แต่อย่างไรก็ตามจุดประสงค์การวิจัยฉบับนี้ เน้นการศึกษาหาวัสดุทดแทนราคาประหยัดเพื่อการทวนสอบเครื่องมือในการใช้งานในแต่ละวัน ดังนั้นแม้แผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นไม่สามารถใช้ทดแทนแผ่น PMMA มาตรฐานในการสอบเทียบประจำปี แต่ก็มีความสามารถในการใช้เป็นวัสดุทวนสอบเครื่องมือก่อนการใช้งานประจำวันได้ เนื่องจากมีค่าสมบัติเชิงกลใกล้เคียงวัสดุมาตรฐาน และมีความสามารถในการทำซ้ำพร้อมกับจัดทำแผนภูมิควบคุม สมบัติเชิงกลเพื่อศึกษาความสเถียรภาพในการใช้งานเครื่อง DMA ดังรายงานผลในลำดับถัดไป



ภาพที่ 5 เทอร์โมแกรมแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้น (Acrylic) เปรียบเทียบกับแผ่น PMMA มาตรฐาน

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของวัสดุ (n = 3)

พารามิเตอร์	**อะคริลิกที่เตรียมขึ้น** ($\bar{x}$ ± SD)	**%RSD**	**PMMA มาตรฐาน** ($\bar{x}$ ± SD)	**%RSD**
อุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า (องศาเซลเซียส)	138.54 ± 0.55	0.4	132.19 ± 0.39	0.3
แทนเดลต้า	1.38 ± 0.02	1.4	1.41 ± 0.02	1.6
โมดุลัสสะสม (เมกะปาสคาล)	3.35 ± 0.30	5.6	2.59 ± 0.18	6.9

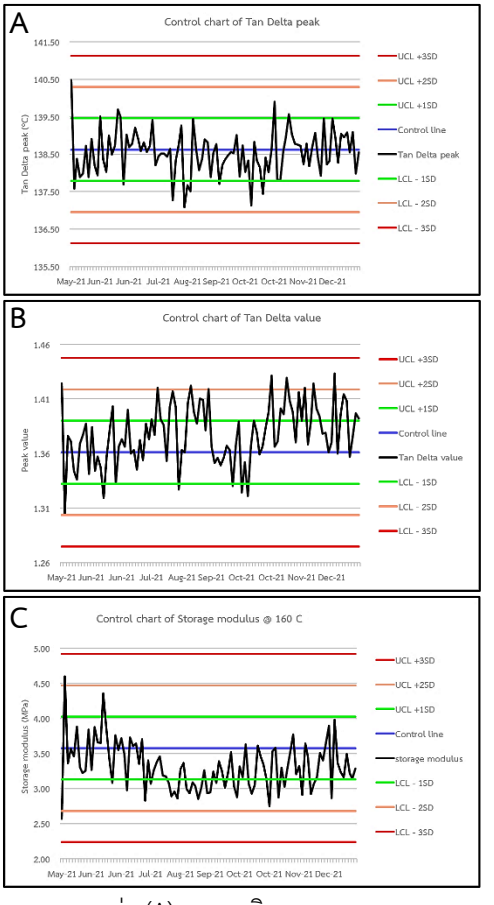
5. ความสามารถในการทำซ้ำ

จากการศึกษาหาความสามารถในการทำซ้ำจากสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงกล ของแผ่นอะคริลิกราคาประหยัด ที่ได้ออกแบบชิ้นงานและเตรียมขึ้นเพื่อทวนสอบเครื่อง DMA ผลที่ได้ คือ ให้ค่าความสามารถในการทำซ้ำในวันเดียวกัน (Precision) ที่จำนวนการทำซ้ำของ 3 แผ่นชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 138.29 ± 0.17 องศาเซลเซียส, 1.38 ± 0.01, 3.25 ± 0.17เมกะปาสคาลและ %RSD 0.12, 0.68, 5.21 ของค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ค่าแทนเดลต้า และค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ

และค่าการทำซ้ำระหว่างวัน (Repeatability) ของการทวนสอบ 5 วัน วันละ 3 ซ้ำมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 138.70 ± 0.23 องศาเซลเซียส, 1.38 ± 0.02, 3.29 ± 0.16 เมกะปาสคาลและ %RSD 0.17, 1.13, 4.80 ของค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ค่าแทนเดลต้า และค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

6. ผลตรวจสอบการใช้ได้โดยวิธีแผนภูมิควบคุม (Control chart)

ผลการทำแผนภูมิควบคุมของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DMA โดยใช้แผ่นอะคริลิก แสดงดังภาพที่ 6 จากภาพ A ค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า ของแผ่นอะคริลิกจากค่า Set-up data มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 138.63 องศาเซลเซียสค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.84 องศาเซลเซียสช่วง LCL-3SD ถึง UCL+3SD เท่ากับ 136.12 ถึง 141.13 องศาเซลเซียส โดยข้อมูลส่วนใหญ่จากการทวนสอบช่วงระยะเวลา 9 เดือน แสดงค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า กระจายอยู่ในช่วง LCL-1SD ถึง UCL+1SD คือ 137.79 ถึง139.46 องศาเซลเซียส ภาพ B ค่าแทนเดลต้า ของแผ่นอะคริลิกจากค่า Set-up data มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.37 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.03 ช่วง LCL-3SD ถึง UCL+3SD เท่ากับ 1.28 ถึง 1.45 โดยข้อมูลส่วนใหญ่ของค่าแทนเดลต้า กระจายอยู่ในช่วง LCL-1SD ถึง UCL+2SD คือช่วง 1.34 ถึง1.42ภาพ C ค่าโมดุลัสสะสมที่ 160องศาเซลเซียส ของแผ่นอะคริลิกจากค่า Set-up data มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.58 เมกะปาสคาล ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ0.45 เมกะปาสคาล ช่วง LCL-3SD ถึง UCL+3SD เท่ากับ 1.28 ถึง 1.45 เมกะปาสคาลโดยข้อมูลส่วนใหญ่ของค่าแทนเดลต้า อยู่ในช่วง LCL-2SD ถึง UCL+1SD คือช่วง 2.69 ถึง 4.03 เมกะปาสคาลซึ่งจากผลทวนสอบก่อนการใช้งานค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าเครื่อง DMA ของสำนักเครื่องมือฯ มีความสามารถในการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องไม่ออกนอกช่วงการควบคุม



ภาพที่ 6 แผนภูมิควบคุมแสดงผลของค่า (A) อุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า (B) ค่าแทนเดลต้าและค่า (C) ค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและเลือกใช้วัสดุทดแทนโดยใช้แผ่นอะคริลิกที่สามารถหาซื้อได้ในประเทศต้นทุนต่ำราคาประหยัด แทนแผ่น PMMA มาตรฐานมีราคาสูงสำหรับนำมาทวนสอบเครื่อง DMA ก่อนการใช้งาน ผลที่ได้คือ วัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการมีลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางเคมีเทียบเท่าวัสดุมาตรฐาน และให้ค่าประสิทธิภาพเชิงกลสำหรับการทวนสอบเครื่องมือใกล้เคียงวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ อีกทั้งมีความสามารถในการทำซ้ำที่ดีอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงวัสดุมาตรฐาน และมีความเสถียรในการใช้เป็นวัสดุทวนสอบเครื่อง DMA ทุกครั้งก่อนการใช้งาน เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของเครื่อง DMA ก่อนใช้เครื่องในการทดสอบชิ้นงานวัสดุของลูกค้าทั้งภาครัฐและเอกชนที่ส่งทดสอบ ณ สำนักเครื่องมือฯ ที่มีความหลากหลายของชนิดและประเภทวัสดุ ทำให้สร้างความมั่นใจให้ผู้ทดสอบและลูกค้าเจ้าของวัสดุถึงผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง DMA ณ ขณะนั้นว่ามีความถูกต้อง แม่นยำ มีเสถียรภาพ ตลอดระยะเวลาการใช้งานจริงและลดต้นทุนการวิเคราะห์สำหรับวัสดุสิ้นเปลืองให้กับหน่วยงานได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการใช้ PMMA มาตรฐานที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศมาทวนสอบเครื่องมือก่อนการใช้งาน

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการเลือกใช้อะคริลิกที่เตรียมขึ้นเทียบกับแผ่น PMMA มาตรฐานที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์มาใช้งานในการทวนสอบเครื่อง DMA ซึ่ง 1 ครั้งการทวนสอบต้องใช้ชิ้นวัสดุทวนสอบ 1 ชิ้นซึ่งเป็นการใช้แล้วทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เนื่องจากวัสดุที่ถูกใช้ไปแล้วจะสูญเสียสภาพเชิงกลของวัสดุจากความร้อนที่ให้จากเครื่อง DMA โดยแผ่นชิ้นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นเองมีต้นทุนประมาณ 1 บาทต่อชิ้นในขณะที่แผ่น PMMA มาตรฐาน 1 ชิ้นราคาประมาณ 640 บาท ทำให้การทวนสอบเครื่อง DMA ในการปฏิบัติงานของผู้ทดสอบจะใช้แผ่น PMMA มาตรฐาน ก็ต่อเมื่อเป็นการสอบเทียบเครื่องมือประจำปีที่ดำเนินการปีละ 1 ครั้ง แต่จะไม่มีการทวนสอบเครื่องมือก่อนการใช้งานแต่ละวันหรือครั้งก่อนการทดสอบตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ที่ส่งทดสอบ ณ สำนักเครื่องมือฯ ได้เลย เนื่องจากอัตราค่าวิเคราะห์ของสำนักเครื่องมือฯ ด้วยเครื่อง DMA ตามประกาศอัตราค่าบริการ คือ 595 บาทต่อตัวอย่างสำหรับบุคลากร นักวิจัยภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ 850 บาทต่อตัวอย่างสำหรับบุคลากรนักวิจัยภายนอกมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากใช้แผ่น PMMA มาตรฐาน ทวนสอบเครื่องมือทุกครั้งก่อนทดสอบวัสดุตัวอย่าง สำนักเครื่องมือฯ ดำเนินงานแบบขาดทุนทันที หรือหากไปบวกเพิ่มค่าทวนสอบในอัตราบริการก็จะเป็นภาระด้านค่าใช้จ่ายให้กับผู้ส่งทดสอบตัวอย่าง ดังนั้นหากเกิดกรณีความผิดปกติของเครื่องมือในระหว่างการใช้งาน ก่อนถึงรอบการสอบเทียบปีถัดไป ทางผู้ทดสอบจะไม่สามารถทราบถึงความผิดปกติได้เลย จะทราบก็ต่อเมื่อเจ้าของวัสดุสงสัยในผลการทดสอบ หรือจากการสังเกตของผู้ทดสอบกรณีที่ทดสอบวัสดุที่ถูกส่งทดสอบชนิดเดิม ๆ ซ้ำ ๆ และเห็นความผิดปกติที่เปลี่ยนไป ซึ่งความเป็นจริงจะสังเกตได้ยากเพราะงานส่วนมากที่ส่งทดสอบ ณ สำนักเครื่องมือฯ เป็นงานวิจัยมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและประเภทวัสดุตลอดเวลา ทำให้สร้างความสุ่มเสี่ยงให้กับผู้ทดสอบค่อนข้างสูง ที่ให้ผลการทดสอบที่ไม่มีความถูกต้อง หากเกิดความผิดปกติของเครื่องมือให้กับเจ้าของวัสดุ ซึ่งจากการได้นำวัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นเองที่มีต้นทุนเพียง 1 บาทต่อชิ้นมาทวนสอบเครื่องมือก่อนการใช้งานทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง และมีการพิสูจน์การใช้ได้ของวัสดุที่เตรียมขึ้นเทียบกับวัสดุมาตรฐาน ทั้งลักษณะทางกายภาพของพื้นผิววัสดุจากการดูด้วยเครื่อง SEM และโครงสร้างทางเคมีของวัสดุทั้งสองชนิดจากการศึกษาด้วยเครื่อง FT-IR ที่แสดงหมู่ฟังก์ชันที่มีเหมือนกันทั้งก่อนและหลังการใช้งานของวัสดุทั้งสองชนิด ที่มีความสอดคล้องกัน นอกจากนี้เมื่อนำวัสดุทั้งสองชนิดไปทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง DMA ผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่า วัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นได้ค่าสมบัติเชิงกลใกล้เคียงวัสดุมาตรฐาน และมีค่าแทนเดลต้า และ ค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียสอยู่ในเกณฑ์การยอมรับสอบเทียบประจำปีและติดตั้งเครื่องมือใหม่ นอกจากนี้วัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นแต่ละชิ้นงานยังมีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกัน ทั้งการทวนสอบซ้ำในวันเดียวกันด้วยวัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นต่างชิ้น หรือการทวนสอบต่างวันด้วยด้วยวัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นต่างชิ้น ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ก็มีค่าต่ำ คือ น้อยกว่าร้อยละ 1.13สำหรับค่าอุณหภูมิ ณ จุดยอดของแทนเดลต้า และค่าแทนเดลต้า และน้อยกว่าร้อยละ 5.21 สำหรับค่าโมดุลัสสะสมที่ 160 องศาเซลเซียส และในการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบในการศึกษาระยะเวลายาวนาน ด้วยแผนภูมิควบคุมทำให้เห็นว่า วัสดุอะคริลิกที่เตรียมขึ้นผลสมบัติเชิงกลที่ได้ยังคงอยู่ในช่วงควบคุม ทำให้ผู้ทดสอบมีความมั่นใจถึงประสิทธิภาพเครื่อง DMA ของสำนัก

เครื่องมือฯ ว่ามีความสามารถในการทดสอบตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ มีเสถียรภาพของการใช้งานตลอดระยะเวลาการทดสอบ ส่งผลต่อความมั่นใจของผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ส่งมอบให้กับเจ้าของวัสดุว่าค่าที่ได้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ เป็นผลสมบัติเชิงกลของวัสดุชิ้นงานนั้นจริง ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปประยุกต์การใช้งาน นอกจากการนำแผ่นอะคริลิกที่เตรียมขึ้นใช้ในการทวนสอบประจำวันก่อนทดสอบตัวอย่างชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังสามารถใช้เพื่อตรวจเช็คเครื่อง DMA หลังดำเนินการเมื่อทำการซ่อมแซมเครื่องมือแล้วเสร็จเพื่อเป็นการทวนสอบเครื่องมือหลังซ่อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ คุณสุภาพร ชินผา สำหรับการทดสอบโครงสร้างทางเคมี และสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนบุคลากรสร้างผลงานจากการแก้ปัญหาหน้างานสู่งานวิจัย ทีมผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ทนง ประสานพานิช. 2555. แผนภูมิควบคุม (Control chart) กับงานประจำ. วารสารศูนย์การศึกษาแพทยศาสตร์คลินิก โรงพยาบาลพระปกเกล้า. 29(3): 236 - 244.

Groenewoud, W.M. 2001. Characterisation of Polymers by Thermal Analysis. Elsevier Science B.V. Amsterdam. 390 pages.

Tomblin, J., Opliger, M. and N. Yeow. 2016. The development of the dynamic mechanical analyzer calibration and testing procedures. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Wichita. 75 pages.

Office of Scientific Instrument and Testing, OSIT. 2022. Service rate, office of scientific instrument and testing, Prince of Songkla University. [Online]. Available: https://osit.psu.ac.th/th/#services. (Retrieved March, 2022).

PerkinElmer, Inc. 2007. DMA 8000 Service manual. PerkinElmer Life and Analytical Sciences. Shelton. 122 pages.

PerkinElmer, Inc. 2013. Frequently asked questions dynamic mechanical analysis (DMA) a beginner's guide. [Online]. Available: https://resources.perkinelmer.com/corporate/cmsresources/images/44-74546gde_introductiontodma.pdf. (Retrieved February, 2022).

PerkinElmer, Inc. 2022. PMMA sample test kit - qty 5. Online]. Available: https://www.perkinelmer.com/product/pmma-test-sample-kit-set-of-5-n5330316. (Retrieved February, 2022).

Sastri, V.R. 2010. Plastics in Medical DevicesProperties Requirements and Applications. William Andrew Publishing. Boston. 271 pages.

Singh, M.K. and A. Singh.2022. Characterization of Polymers and Fibers. Woodhead Publishing. Sawston. 489 pages.

Yong, A.X.H., Sims, G.D., Gnaniah, S.J.P., Ogin, S.L. and P.A. Smith. 2017. Heating rate effects on thermal analysismeasurement of Tg in composite materials. Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science. 3(2): 43-51.