



การออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาร์เรย์อัลตราโซนิก
Designing of auxiliary equipment for phased array ultrasonic tester.

โสภณ เปลี่ยนปฐุม
ศุภากร วงศ์พลทรัพย์
สุกฤต อิมอารมณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ การออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาร์เรย์อัลตราโซนิก
ชื่อ นามสกุล นาย โสภณ เปลี่ยนปทุม
 นางสาว ศุภากร วงศ์พลทรัพย์
 นาย สุกฤต อิมอารมณ
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ พลกฤษณ์ คุ้มกล้า

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... จิระศักดิ์ ประธานกรรมการ
(อาจารย์ จิระศักดิ์ ธาระจักร์, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนพงศ์ สารอินทร์, ปร.ด.)

..... พลกฤษณ์ คุ้มกล้า กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ พลกฤษณ์ คุ้มกล้า)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อปริญญาบัตร	การออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาร์เรย์อัลตราโซนิก
ชื่อ สกุล	นาย โสภณ เปลี่ยนปฐม นางสาว ศุภากร วงศ์พลทรัพย์ นาย สุกฤต อิ่มอารมณ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างอุปกรณ์จับยึดหัวเฟสอาร์เรย์ให้สามารถตรวจสอบท่อทุกขนาดที่มีแนวเชื่อมและศึกษาวัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำมาสร้างอุปกรณ์จับยึดหัวเฟสอาร์เรย์ ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทดสอบวัสดุทั้งสองชนิดได้แก่ พลาสติก PLA , เส้นใยคาร์บอน เพื่อให้ได้แรงที่กระทำต่อวัสดุและความเข้มข้นของแรงที่กระทำต่อวัสดุเดียวกันจะพบว่าความแข็งแรงของการเปรียบเทียบระหว่างสองวัสดุมีค่าความแตกต่างกันจากการทดสอบพลาสติก PLA มีความแข็ง แต่ไม่ทนต่อแรงดึงในส่วนของเส้นใยคาร์บอนจะมีความแข็งแรง และน้ำหนักเบากว่าพลาสติก

ผลจากการทดสอบหาค่าความยืดหยุ่น การทดสอบแรงกระแทกและความแข็งแรงของวัสดุทั้งสองวัสดุนั้นสามารถนำมาตรวจสอบท่อที่มีแนวเชื่อมขนาดเส้นรอบวง 50 เซนติเมตร ถึง 100 เซนติเมตรและใช้กับหัวตรวจสอบเฟสอาร์เรย์ที่มีความยาว 34 มิลลิเมตร ความกว้าง 24.6 มิลลิเมตร มุม 36 องศา แล้วปรับขนาดสายรัดตามที่ต้องการได้เพื่อลดขั้นตอนในการทำงานระหว่างการใช้อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบ

คำสำคัญ : เครื่องทดสอบด้วยคลื่นความถี่สูง, เครื่องพิมพ์สามมิติ, พีแอลเอ, คาร์บอน, การทดสอบวัสดุ

Project title	Designing of auxiliary equipment for phased array ultrasonic tester.
Author	Mr.Sopon Pleanpathom Miss.Supakorn Wongpolsup Mr.Sukrit Imarom
Degree	Bachelor of Science (Industrial Materials Science)
Major program	Industrial Materials Science
Academic Year	2019

ABSTRACT

The objective of this research is to construct a phased array device to be able to inspect all sizes of welded pipes and to study materials suitable for creating a phased array. The results obtained from testing both materials are PLA plastics, carbon fiber. In order to obtain the force exerted on the material and the intensity of the force exerted on the same material, it is found that the strength of the comparison between the two materials is different from the PLA plastic test. Of carbon fibers will be strong and lighter than plastic.

Result from the test for Elastic In the impact and strength tests of both materials, it can be used to examine pipes with a circumference of 50 centimeters to 100 centimeters and to use a 34 mm. length phased array probe with a width of 24.6 mm. 36 degrees angle, and then adjust the strap as needed to reduce the steps during the use of inspection equipment.

Keywords: Machine Ultrasonic Testing, 3D Printer, PLA, Carbon, Material testing

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยได้แก่

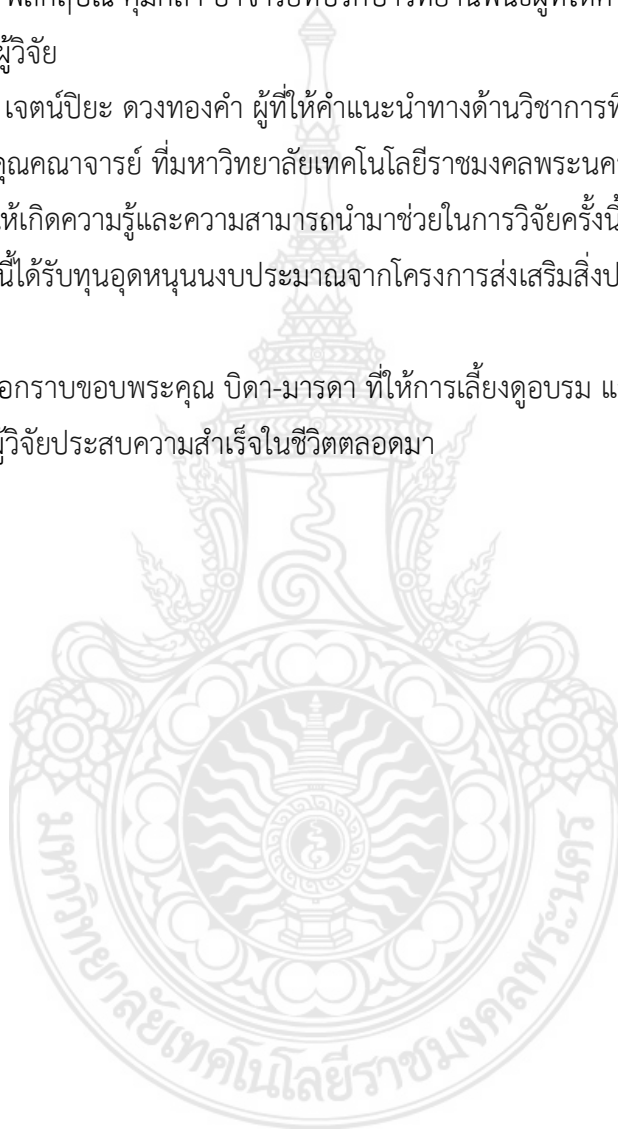
อาจารย์ พลกฤษณ์ คุ้มกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำในสิ่งที่
เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย

อาจารย์ เจตนปิยะ ดวงทองคำ ผู้ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย
ขอขอบคุณคณาจารย์ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทุกท่านที่เคยสั่งสอนและ
ให้ความรู้ จนก่อให้เกิดความรู้และความสามารถนำมาช่วยในการวิจัยครั้งนี้ได้เป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อ
คนรุ่นใหม่

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็น
อย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

โสภณ เป็ลียนปฐม
ศุภากร วงศ์พลทรัพย์
สุกฤต อิมอารมณ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ทฤษฎีโครงสร้างพื้นฐาน	4
2.2.1 การทดสอบแรงดึง Tensile Testing	4
2.2.2 การทดสอบแรงกระแทก Impact Testing	9
2.2.3 การทดสอบความแข็ง Hardness Testing	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3. วิธีดำเนินการ	24
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	24
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	26
3.2.1 ขั้นตอนการศึกษาหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตและผู้เชี่ยวชาญ	27
3.2.2 ขั้นตอนการวัดขนาดหัวตรวจสอบเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน	27
3.2.3 ขั้นตอนการเขียนแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 ขั้นตอนการเขียนแบบDog bone	30
3.2.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกล	30
3.3.6 ขั้นตอนการเปรียบเทียบน้ำหนักทั้ง 2 วัสดุ	31
3.2.7 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกล	32
3.2.8 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่าง ๆ	34
3.2.9 ขั้นตอนการแก้ไขชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากเครื่อง3D Printer	35
3.2.10 ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์	36
3.2.11 ขั้นตอนทำการทดสอบชิ้นงาน	36
4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล	38
4.1 การทดสอบ Tensile Testing (การทดสอบแรงดึง)	38
4.2 การทดสอบ Impact Testing (การทดสอบแรงกระแทก)	46
4.3 การทดสอบ Micro Vickers Hardness tester (การทดสอบความแข็ง)	48
4.4 ทดสอบการเปรียบเทียบอุปกรณ์	50
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
รายการอ้างอิง	54
ประวัติการศึกษา	55

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าสเกลที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง	18
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบชิ้นงาน	24
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	25



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ	5
2.2	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก	7
2.3	การจำลองโครงสร้างรังผึ้ง	8
2.4	Modulus of Toughness	9
2.5	การทดสอบแรงกระแทกแบบ	10
2.6	ลักษณะพื้นที่รอยแตกแบบเปราะและแบบเหนียว	11
2.7	แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับ Impact	12
2.8	เครื่องวัดความแข็ง	13
2.9	a) รอยกด (Impression) จากหัว Ball และ b) การวัดค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด c) รอยกดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทดสอบความแข็งแบบ Brinell	14
2.10	แสดงการเสีรูปร่างพลาสติกของเนื้อวัสดุบริเวณใต้หัวกดแบบ Brinell	15
2.11	การวัดค่าความแข็งแบบ Rockwell	17
2.12	รอยกดที่ได้จากการทดสอบความแข็งแบบ Vickers hardness test	20
2.13	รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Vickers hardness test	21
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยการทดสอบเฟสอาร์เรย์อัลตราโซนิก	26
3.2	การศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาร์เรย์	27
3.3	การวัดขนาดของหัวตรวจสอบ	27
3.4	การเขียนแบบตัวจับยึดหัวเฟสอาร์เรย์	28
3.5	การเขียนแบบตัวยึดสายปรับระดับ	28
3.6	การเขียนแบบตัวยึดสายปรับระดับอีกหนึ่งด้าน	28
3.7	การเขียนแบบใส่สปริง	29
3.8	การเขียนแบบที่ใส่สปริงอีกหนึ่งด้าน	29
3.9	การเขียนแบบข้อต่อของอุปกรณ์เสริม	29
3.10	การเขียนแบบDog bone ตามขนาดมาตรฐาน	30
3.11	ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบDog bone	31

รูปที่		หน้า
3.12	การเปรียบเทียบน้ำหนักของเส้นใยคาร์บอนและพลาสติก ชนิดPLA	31
3.13	การทดสอบแรงดึง	32
3.14	การทดสอบแรงกระแทก	33
3.15	การทดสอบค่าความแข็ง	34
3.16	การขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่อง 3D Printer	35
3.17	การแก้ไขชิ้นงาน	35
3.18	ชิ้นงานส่วนประกอบของอุปกรณ์	36
3.19	ทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง Ultrasonic Testing	37
4.1	กราฟที่ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าทดสอบของElastic	38
4.2	กราฟที่ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าของBreak Force	40
4.3	กราฟที่ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าของBreak Stress	42
4.4	กราฟที่ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าของBreak Strain	44
4.5	เป็นกราฟที่ได้จากการทดสอบ impact test กับวัสดุทั้งสองชนิด	46
4.6	กราฟที่ได้จากที่ได้ทำการทดสอบ Hardness tester กับวัสดุทั้งสองชนิด	48
4.7	การทดสอบโดยเทคนิคเฟสอเรียอัลตราโซนิก	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีอุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบแนวเชื่อมบนท่อในหลายอุตสาหกรรมต้องการอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการตรวจสอบแต่มีราคาค่อนข้างสูง มีจำหน่ายภายในประเทศค่อนข้างน้อย ผู้วิจัย ได้ออกแบบพัฒนาอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการตรวจสอบด้วย Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) ซึ่งอุปกรณ์ทำหน้าที่จับหัวทดสอบให้เคลื่อนที่ไปยังรอบแนวเชื่อมให้เกิดการ สะดวกสบายต่อการตรวจสอบและปรับปรุงสภาพการตรวจสอบได้ดีขึ้น ลดขั้นตอนการใช้งาน ด้วย นวัตกรรมที่ได้คิดค้นจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ช่วยตรวจสอบอื่นๆ ซึ่งอุปกรณ์เสริมที่ช่วย ในการตรวจสอบที่วางจำหน่ายทั่วไปไม่สามารถปรับขนาดสายได้ตามที่ต้องการและมีผลทำให้ต้อง เปลี่ยนอุปกรณ์ทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงานขนาดของท่อ ซึ่งการออกแบบอุปกรณ์เสริมของผู้วิจัยนั้น สามารถปรับขนาดได้ตามที่ต้องการและใช้ทดสอบได้หลายชิ้นงานในอุปกรณ์เพียงหนึ่งอุปกรณ์ โดย วัสดุที่ใช้ ใช้ทั้งหมด 2 ชนิดเพื่อนำมาทดสอบและเปรียบเทียบความแข็งแรงของแต่ละวัสดุ ได้แก่ ST-PLA, เส้นใยคาร์บอน

การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นหนึ่งในเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดย คลื่นความถี่สูงผ่านไปยังชิ้นงานทดสอบเมื่อคลื่นเสียงกระทบกับสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อนยัง ภาครับสัญญาณ และส่งผลออกมาอยู่ในรูป a scan แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ conventional และ Phased Array สำหรับลักษณะงานที่เป็นท่อที่มีแนวเชื่อมใช้ Phased Array ในการตรวจสอบ การ ทดสอบในบริเวณแนวเชื่อมรอบท่อจึงต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการตรวจสอบเพื่อเกิดความสะดวกต่อการ ปฏิบัติงานมีรูปร่างคล้ายกับสายนาฬิการัดข้อมือ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดการออกแบบนวัตกรรมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาเรย์ให้มี ระยะเวลาในการทำงานที่เร็วขึ้นสามารถปรับขนาดความยาวของอุปกรณ์เสริมให้มีความยาวตาม ขนาดเส้นรอบวงของท่อโดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์เสริมอื่น โดยวัสดุที่ใช้ ใช้ทั้งหมด 2 ชนิดจะมี คุณสมบัติที่แตกต่างกัน ได้แก่ PLA มีคุณสมบัติความแข็ง เนื่องจากคุณสมบัติคล้ายกับแก้ว คือ แข็ง จึงเหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความแข็ง แต่ต้องระวังให้ดีเนื่องจากไม่ทนต่อ การบิด และการดึง, เส้น ใยคาร์บอนจึงเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรมการบินและวิศวกรรมอวกาศ เพื่อนำมา ทดสอบและเปรียบเทียบความแข็งแรงของแต่ละวัสดุและยังลดต้นทุนราคาต่อชิ้นในการสั่งซื้อคุณภาพ เทียบเท่ากับอุปกรณ์ที่มีราคาสูง ซึ่งอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการตรวจสอบที่มีจำหน่ายในท้องตลาดส่วน

ใหญ่จะมีขนาด 0.8-4.5 นิ้ว และสามารถเข้ากับท่อที่มีแนวเชื่อมต่อได้ขนาดเดียวต่อหนึ่งอุปกรณ์ เช่น อุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบของยี่ห้อ Dopplor รุ่น Bracelet scanner และรุ่น CRS-2 โดยทั้งสองรุ่นจะไม่สามารถปรับขนาดของสายได้และไม่สามารถบังคับทิศทางในการตรวจสอบได้ผู้วิจัยจึงพัฒนาอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการทดสอบที่ปรับขนาดของสายและบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวเชื่อมต่อได้ รวมถึงมีราคาที่ถูกกว่าสินค้าที่วางจำหน่ายในปัจจุบันถึง 80 เปอร์เซ็นต์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างอุปกรณ์จับยึดหัวเฟสอาเรย์ให้สามารถตรวจสอบท่อที่มีแนวเชื่อมต่อ
2. เพื่อศึกษาวัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำมาสร้างอุปกรณ์จับยึดหัวเฟสอาเรย์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. สำหรับอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการตรวจสอบ ท่อโลหะทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 ถึง 1.0 เมตร
2. อุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการตรวจสอบ สามารถใช้กับหัวตรวจสอบเฟสอาเรย์ที่มีขนาดความยาว 34 มิลลิเมตร. กว้าง 24.6 มิลลิเมตร. มุม 36 องศา
3. ใช้วัสดุในการทดสอบ 2 ชนิด ได้แก่พลาสติกชนิด PLA, เส้นใยCarbon

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. อุปกรณ์นี้สามารถช่วยลดต้นทุนการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ช่วยในการตรวจสอบได้จริง
2. ลดเวลาในการทำงานสำหรับการใช้อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบ
3. สำหรับอุปกรณ์ช่วยในการตรวจสอบนี้สามารถปรับขนาดให้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นตามที่ต้องการได้ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 ถึง 1.0 เมตร

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน				
	พ.ย. 62	ธ.ค. 62	ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63
1. ศึกษาหาข้อมูลของอุปกรณ์จากอินเทอร์เน็ตและผู้เชี่ยวชาญ	←→				
2. วัดขนาดหัวตรวจสอบและออกแบบชิ้นงาน	←→	→			
3. เขียนแบบในโปรแกรมAutodeskและฉีดขึ้นรูปพลาสติกจากเครื่อง3D Printerประกอบอุปกรณ์ให้สมบูรณ์	←→		→		
4. ทดสอบและแก้ไขอุปกรณ์	←→			→	
5. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง	←→				→
6. สรุปผลการทดลองนำเสนอและจัดทำเล่ม				←→	→

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี โครงสร้างพื้นฐานการตรวจสอบ Phased Array การทดสอบพลาสติก PLA และการทดสอบเส้นใยคาร์บอน การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบวัสดุด้วยวิธีการ Tensile Testing (เครื่องทดสอบแรงดึง) Hardness Testing (เครื่องทดสอบความแข็ง) และ Impact Testing (เครื่องทดสอบบอบแรงกระแทก) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบของวัสดุทั้งสองชนิด ในการทำอุปกรณ์เสริมช่วยตรวจสอบรอยเชื่อมรอบท่อ โดยใช้ความรู้ Autodesk Inventor ในการออกแบบและเครื่อง 3D Printer ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

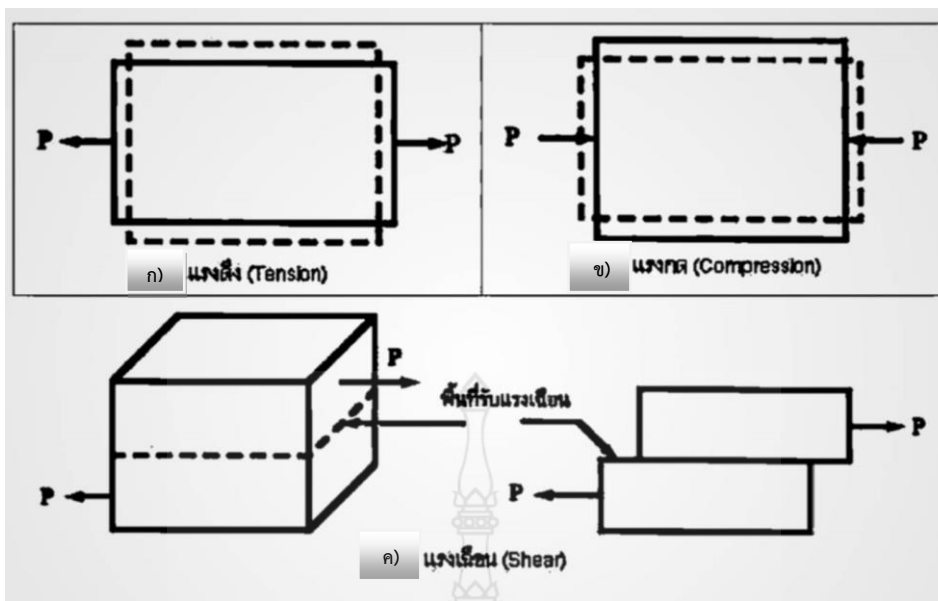
2.2 ทฤษฎีโครงสร้างพื้นฐาน

2.2.1 การทดสอบแรงดึง Tensile Testing

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) ความเหนียว (Ductility) ฯลฯ เป็นสิ่งที่จะบอกว่าวัสดุนั้นๆ สามารถที่จะรับหรือทนทานแรงหรือพลังงานเชิงกลภายนอกที่มากระทำได้ดีมากน้อยเพียงใดในงานวิศวกรรมคุณสมบัติเชิงกลมีความสำคัญมากที่สุดเพราะเมื่อเราจะเลือกใช้วัสดุใด ๆ ก็ตามสิ่งแรกที่จะนำมาพิจารณาก็คือคุณสมบัติเชิงกลของมัน การที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใดๆ จะสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักร อุปกรณ์นั้นๆ เป็นสำคัญ

ความเค้น (Stress) ตามความเป็นจริงความเค้นหมายถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

1. ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางโดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ โดย [6] ก) แรงดึง ข) แรงกด ค) แรงเฉือน

2. ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง
3. ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) ใช้สัญลักษณ์ t เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันมีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) ทหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อมๆ กัน

ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation)

ความเครียด (Strain) คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆคือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด, สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิมวัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป

(Elastic Limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งอิลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม การวัดและคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

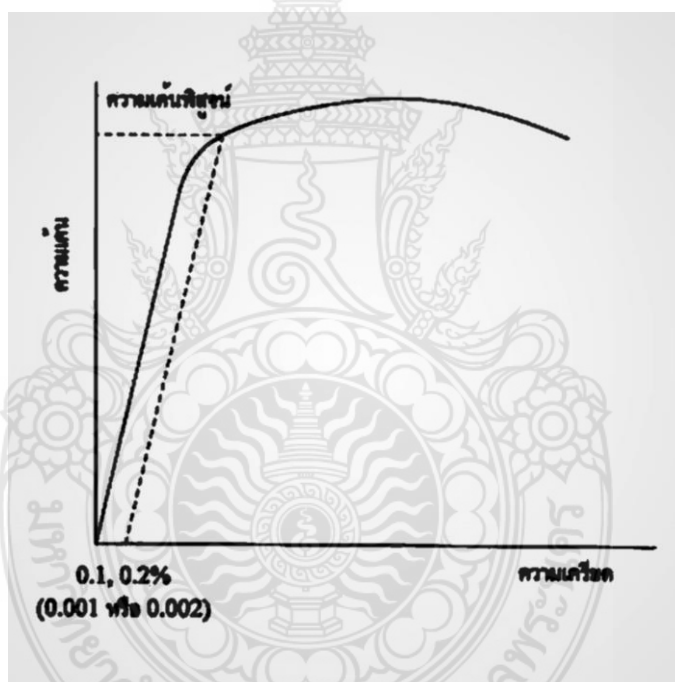
1.แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม

2.แบบเฉือน เรียกว่า ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ

การทดสอบแรงดึง (Tension Test)

วิธีการทดสอบนั้น เราจะนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้ แล้วมาพลอตเป็นเส้นโค้ง ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ นั้น ๆ มาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial Standards) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด เราพบว่า เมื่อเราเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้า ๆ ชิ้นทดสอบจะค่อย ๆ ยืดออก จนถึงจุดจุดหนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิมเมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่า พิกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้นเมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุ

ในโลหะหลายชนิด เช่น พวงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหายวัสดุหลายชนิดเช่น อะลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.10 - 0.20% ของความยาวกำหนดเดิม (Original Gage Length) แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 2.2 ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) หรือความเค้น



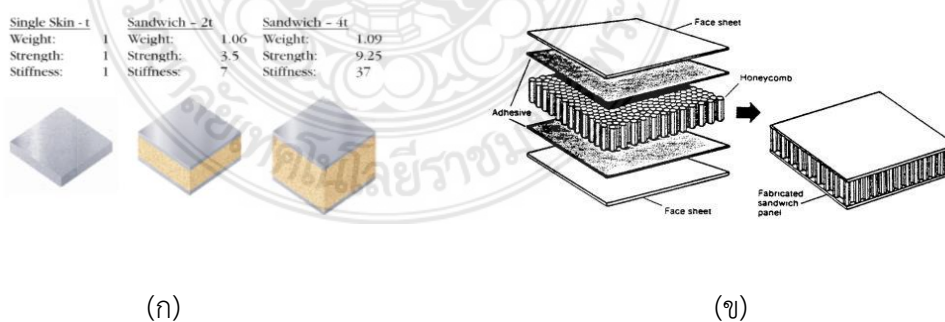
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก [6]

หลังจากจุดครากแล้ว วัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า Ultimate Strength หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปร่างอย่างพลาสติกได้มาก ๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่า

คำว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือ กำลังวัสดุนั้นโดยทั่วไปจะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้เอง

การจำลองโครงสร้างความแข็งแรงจากธรรมชาติ “รังผึ้ง (Honeycomb)”

การเลียนแบบโครงสร้างของรังผึ้งที่นำมาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานไฟเบอร์กลาสเป็นแผ่นขึ้นรูปจากวัสดุแผ่นบางมาติดเข้าด้วยกันในแนวตั้งให้เหมือนกับเซลล์หกเหลี่ยมในรังผึ้งตามธรรมชาติ แต่ลักษณะอาจเปลี่ยนไปได้เป็นเซลล์ทรงกลม ทรงสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงอื่น ๆ ซึ่งจุดประสงค์หลักในการทำงานใช้งานในส่วนของโครงสร้างที่ต้องการลดน้ำหนักแต่คงความหนาที่ต้องการไว้เป็นหลักเช่น ผนังเรือ ปีกเครื่องบินและ ยกตัวอย่างในการออกแบบปีกเครื่องบินที่ต้องคงความเรียบสม่ำเสมอของพื้นที่ปีกเพื่อให้อากาศไหลผ่านได้อย่างราบรื่นโดยปกติแผ่นวัสดุที่ทำปีกเครื่องบินจะเป็นแผ่นอลูมิเนียมที่จะไปยึดอยู่กับโครงปีก (rib) เพื่อขึ้นรูปเป็นปีกซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดรอยยุบตัวตรงช่วงกลางระหว่าง rib โดยที่ไม่มีอะไรมารองรับโดยเฉพาะเมื่อมีแรงกดหรือแรงดันของอากาศขณะทำการบิน ความไม่เรียบของพื้นที่ปีกนี้เองที่จะทำให้เกิดแรงดูดขึ้นเมื่อเครื่องบินเริ่มมีความเร็ว ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยใช้แผ่นรังผึ้งที่วางเต็มพื้นที่ปีกและวางตั้งแต่ส่วนโค้งด้านบนของปีกจรดด้านล่างจะรองรับแรงที่เข้ามากระทำต่อปีกในทุกๆ ตารางนิ้วโดยกระจายแรงกระทำนั้นไปทั่วๆ ไม่ให้ตกไปอยู่ในจุดใดจุดหนึ่งมาก เห็นได้ว่าการเพิ่มความหนาของคอร์สามารถเพิ่มคุณสมบัติของโครงสร้างได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรง โดยใส่คอร์เข้าไปทำให้ผู้ผลิตสามารถลดความหนาของผิว และช่วยลดน้ำหนักซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยานพาหนะได้เป็นอย่างดี เพราะการลดลงของน้ำหนักเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความเร็ว พื้นที่บรรทุก และลดการบริโภคน้ำมันนอกจากในส่วนของการรับแรงแล้วแผ่นรังผึ้งยังถูกใช้ในลักษณะงานที่เป็นตัวซึมซับแรงกระแทก เป็นตัวกันเสียงและลดเสียงสะท้อน



(ก)

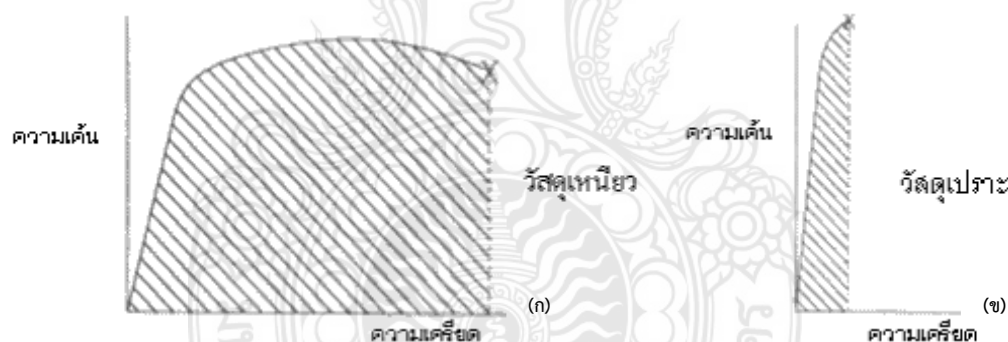
(ข)

รูปที่ 2.3 การจำลองโครงสร้างรังผึ้ง [6]

2.2.2 การทดสอบแรงกระแทก Impact Testing

ในการเลือกใช้วัสดุสำหรับงานบางประเภทวิศวกรจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติความเหนียว (Toughness) ของวัสดุ เพื่อประเมินโอกาสการแตกหักเสียหาย และความปลอดภัยในขณะที่ใช้งานในสภาวะต่างๆ เช่น การใช้งานเหล็กกล้าทนสึกของรถดัมพ์ที่ต้องรับแรงกระแทกจากการบรรทุกหิน เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน หรือเหล็กสำหรับงานท่อความดันที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ เป็นต้น

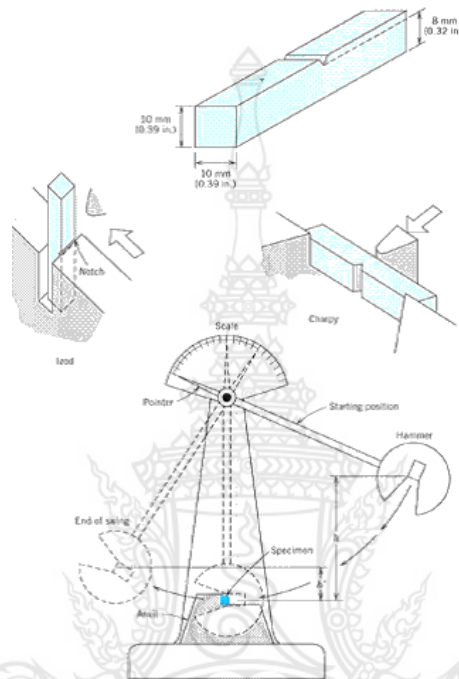
ความเหนียว (Toughness) คือ ความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก ความเหนียวมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ เนื่องจากโดยทั่วไปเรา มักจะประเมินค่าความเหนียวจาก Modulus of Toughness ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งความเค้น (σ) - ความเครียด (ϵ) ที่ได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งค่า Modulus of Toughness นี้ จะแสดงถึงพลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่ต้องใช้ในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักเสียหาย วัสดุที่มีความเหนียวสูงกว่าจะใช้พลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่สูงกว่าในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักเสียหาย



รูปที่ 2.4 Modulus of Toughness ของวัสดุเหนียว (ก) และวัสดุเปราะ (ข) [7]

วิธีการทดสอบความเหนียวที่นิยมใช้ คือ การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดค่า Impact Energy, Impact Transition Temperature (ITT) และศึกษาผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของวัสดุ โดยการตีขึ้นทดสอบขนาดมาตรฐานจนเกิดการแตกหักจุดประสงค์ในการทำการทดสอบเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงกระแทก (Dynamic Load) ของวัสดุ

สำหรับค่าที่นิยมวัดมากที่สุดในการทดสอบแรงกระแทก คือค่า Impact Energy ซึ่งเป็นพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงกระแทก (Dynamic Impact Force) จนเกิดการแตกหัก โดยมีวิธีการทดสอบมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ Charpy Impact Test และ Izod Impact Test เครื่องมือทดสอบทั้ง 2 ชนิดนี้แสดงไว้ใน รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod [7]

วิธีการทดสอบของทั้ง 2 ชนิดนี้คล้ายกัน คือจะวางชิ้นงานทดสอบไว้รับแรงกระแทกจากการเหวี่ยงของลูกตุ้มที่น้ำหนักค่าหนึ่ง (น้ำหนักและขนาดของตุ้มน้ำหนักจะต้องเป็นไปตามที่มาตรฐานที่เลือกใช้ ในการทำการทดสอบระบุไว้) พลังงานที่กระแทกขึ้นทดสอบขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้ม และความเร็วของมันขณะกระแทก จุดกระแทกจะเป็นจุดต่ำสุดของการเหวี่ยง ซึ่งเป็นจุดที่ลูกตุ้มมีความเร็วสูงที่สุด เมื่อลูกตุ้มกระทบชิ้นทดสอบ ลูกตุ้มจะเสียพลังงานไปจำนวนหนึ่งในการทำให้ชิ้นทดสอบหักค่าพลังงานที่เสียไปนี้ก็คือ ค่า Impact Energy นั่นเอง มีหน่วยเป็น ฟุต-ปอนด์ หรือ จูลส์

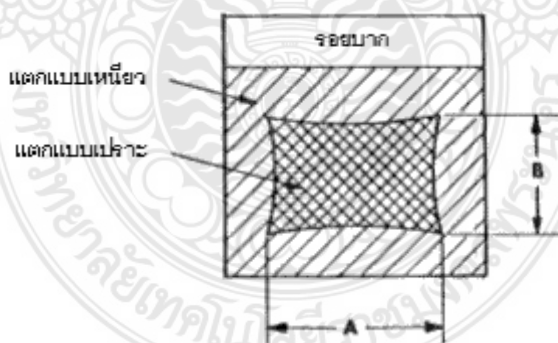
ข้อแตกต่างระหว่าง Charpy และ Izod ก็คือ การวางชิ้นงานทดสอบ โดย Charpy test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวระดับ และให้ลูกตุ้มตกกระแทกที่ด้านตรงข้ามกับรอยบาก ส่วน Izod Test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวตั้งและให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก

ชั้นทดสอบจะเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีรอยบากอยู่ตรงกลาง รอยบากนี้จะทำเป็นรูปตัว V, U หรือรูปรูกลุญแจ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและมาตรฐานการทดสอบที่เลือกใช้

อุณหภูมิมีผลต่อความเหนียวอย่างมาก วัสดุเหนียวอาจจะเปลี่ยนเป็นวัสดุเปราะได้เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ถ้าเรานำค่า Impact Energy มาพลอตกับอุณหภูมิ เราจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำลงซึ่งมีค่าของ Impact Energy ลดลงอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 3 ค่าอุณหภูมิในช่วงนี้เรียกว่า Impact Transition Temperature (ITT) โดยค่า ITT นี้เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุจากวัสดุเหนียวมาเป็นวัสดุเปราะ คือ เปลี่ยนจากวัสดุเหนียวที่มีค่าพลังงานสูงมาเป็นวัสดุเปราะซึ่งมีพลังงานต่ำ

ค่า Impact energy จะไม่นำมาใช้โดยตรงในการออกแบบ แต่มันมีประโยชน์ที่จะใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณสมบัติของวัสดุ โดยเฉพาะพวกเหล็กที่มีค่า ITT อยู่ใกล้กับอุณหภูมิห้อง เราจะต้องระมัดระวัง ไม่ใช้งานวัสดุที่อุณหภูมิต่ำกว่า ITT ของมัน

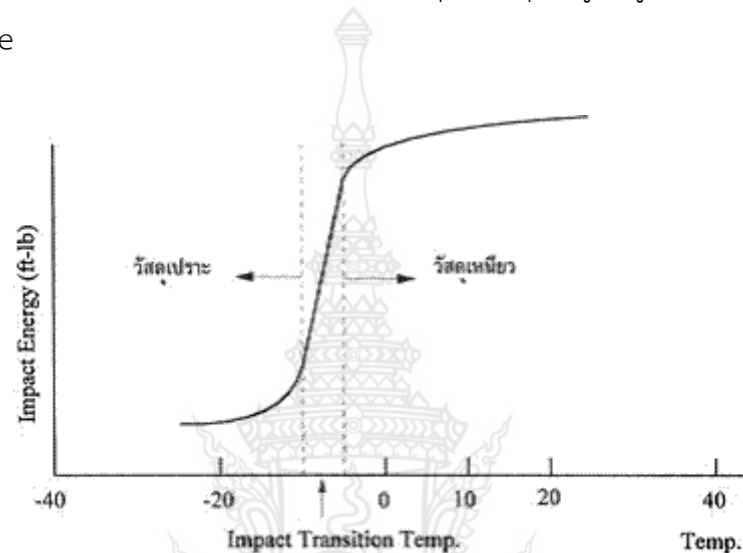
โดยทั่วไปเราจะกำหนดค่า ITT เป็นค่าเดียว (ไม่ใช่ช่วงอุณหภูมิดังที่แสดงในรูป 2.6) โดยวิธีการกำหนดค่า ITT มีอยู่หลายวิธี เช่น การตรวจสอบผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่แตกหักจากการทดสอบแรงกระแทก หรือการกำหนดค่า ITT โดยใช้อุณหภูมิที่ผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกมีสัดส่วนของพื้นที่ที่เกิดการแตกแบบเปราะ (Brittle Fracture) กับพื้นที่ที่แสดงการแตกแบบเหนียว (Ductile Fracture) เป็น 50:50 พอดี (ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Fracture Appearance Transition Temperature - FATT)



รูปที่ 2.6 ลักษณะพื้นที่รอยแตกแบบเปราะ และแบบเหนียวในการทดสอบแรงกระแทก[7]

การกำหนดค่า Impact Energy ค่าหนึ่งขึ้นมาเป็นเกณฑ์ โดยควรจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่วัสดุจะได้รับในระหว่างการใช้งาน ถ้าวัสดุใดทดสอบแล้วมีค่า Impact Energy ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดก็ถือว่าเป็นวัสดุเปราะซึ่งอาจเกิดการแตกหักได้ง่ายจึงไม่ควรจะนำมาใช้งานและกำหนดค่า ITT โดยให้มีค่า

เท่ากับอุณหภูมิที่ทดสอบได้ค่า Impact Energy เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดพอดี (ITT ที่กำหนดโดยวิธีนี้ เรียกว่า Ductility Transition Temperature) ค่าพลังงานแรงกระแทกที่ใช้เป็นเกณฑ์ คือ 20 J. สำหรับการทดสอบ Charpy V-Notch (ชิ้นงานมีรอยบากรูปตัว V) ดังนั้นวัสดุที่จะนำไปใช้งานจริงควรจะมีค่า Impact Energy ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด หรืออาจใช้ค่า Ductility Transition Temperature ในการกำหนดสถานะการใช้งาน คือ ควรจะใช้งานวัสดุในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า Ductility Transition Temperature



รูปที่ 2.7 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับ Impact Transition Temperature และอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเหนียว (ความเหนียว-เปราะ) ของวัสดุ[7]

เนื่องจากแต่ละมาตรฐานการทดสอบ จะใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดและลักษณะรอยบากที่ต่างกัน ตลอดจนพลังงานที่ใช้ในการทดสอบก็ต่างกัน ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกใช้มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบ

2.2.3 การทดสอบความแข็ง Hardness Testing

ความแข็ง ถือว่าเป็นสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุ ที่เราสามารถนำมาประกอบการเลือกใช้งานทางวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม เช่น ใช้ในการพัฒนาและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการผลิตแม่พิมพ์โลหะ หรือในกรณีของทางเลือกใช้ใบมีด (Cutting tools) สำหรับตัดโลหะและวัสดุชนิดต่าง ๆ หรืออาจเป็นการทำงานที่ได้รับการเสียดสีมากๆ เช่น เฟืองเกียร์ เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีสมบัติความแข็งสูงเป็นพิเศษ



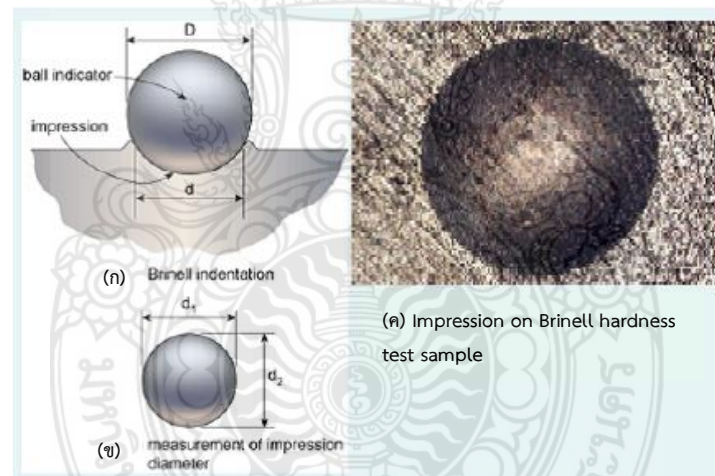
รูปที่ 2.8 เครื่องวัดความแข็ง [8]

การวัดค่าความแข็งแบบใช้หัวกด Indenter นี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น Brinell, Rockwell, Vickers และ Knoop ตามลักษณะของหัวกดที่ใช้ เราสามารถเลือกใช้การทดสอบตามมาตรฐานสากล ตัวอย่างเช่น ตามมาตรฐานของ American Society Testing and Materials (ASTM) เราสามารถเลือกใช้ ASTM E10-07a (Standard test method for Brinell hardness of metallic materials) สำหรับการทดสอบความแข็งแบบบริเนล หรือ ASTM E18-08 (Standard test method for Rockwell hardness of metallic materials) สำหรับการทดสอบความแข็งแบบ รอคเวลล์ หรือ ASTM E92-41 (Standard test method for Vickers hardness of metallic materials) สำหรับการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส ตามความเหมาะสมของลักษณะชิ้นงานและวัสดุที่นำมาทดสอบ และลักษณะข้อมูลของค่าความแข็งที่ต้องการทราบเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งเราจะกล่าวถึงหลักการและวิธีการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุดังต่อไปนี้คือ

1. การทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Test)

การทดสอบความแข็งโดยใช้หัวกดเป็นลักษณะหัวบอล (Ball indenter) ทำจากเหล็กกล้าและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรนี้ได้ถูกเสนอขึ้นโดย J.A. Brinell ในปี ค.ศ. 1900 โดยมีวิธีการทดสอบคือการใช้หัวกด Ball กดลงบนชิ้นงานจนทำให้เกิดรอยกด (Impression) เป็นลักษณะคล้ายครึ่งทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.9 เนื่องจากวิธีการทดสอบนี้จะทำการแปรผลค่าความแข็งจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด ดังนั้นรอยกดที่เกิดขึ้นไม่ควรแสดงลักษณะที่บิดเบี้ยวหรือลึกลงไปจนอาจมีผลทำให้วัดค่าความแข็งผิดพลาดได้

เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดนั้นมีระดับความแข็งที่แตกต่างกัน และเพื่อเป็นการป้องกันรอยกดที่ลึกลงเกินไป ค่ามาตรฐานของน้ำหนักที่ใช้กดลงผิวโลหะนี้ขึ้นอยู่กับระดับความแข็งของโลหะนั้นนำมาทดสอบ โดยมีหลักการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2.1 โลหะที่มีความแข็งมาก เช่น เหล็กกล้าจะใช้ น้ำหนักกด 3,000 กิโลกรัม สำหรับโลหะที่มีความแข็งรองลงไป เช่น ทองเหลือง หรือ อะลูมิเนียม จะใช้ค่าน้ำหนักกดลดลงมาคือ 2,000 และ 1,000 หรือ 500 กิโลกรัมตามลำดับ หากในกรณีที่ชิ้นงานมีค่าความแข็งที่สูงมากๆ เราจะใช้หัว Ball ที่ทำจาก Tungsten carbide เพื่อลดการบิดเบี้ยวของหัวกด



รูปที่ 2.9 ก) รอยกด (Impression) จากหัว Ball และ ข) การวัดค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด ค) รอยกดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทดสอบความแข็งแบบ Brinell [8]

ในการวัดค่าความแข็งหัว Ball จะถูกกดลงบนผิวชิ้นงานเป็นเวลาประมาณ 30 วินาที หลังจากนำ น้ำหนักกดออกแล้วจะทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด Impression จำนวน 2 ค่าโดยใช้กล้องที่มีกำลังขยายต่ำ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้จะถูกนำมาคำนวณค่าความแข็ง จากค่าน้ำหนักกดหารด้วยพื้นที่ผิวของรอยกดที่เกิดขึ้นจากสมการ

$$BHN = \frac{P}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi Dt} \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ น้ำหนักกด (Applied load), kg

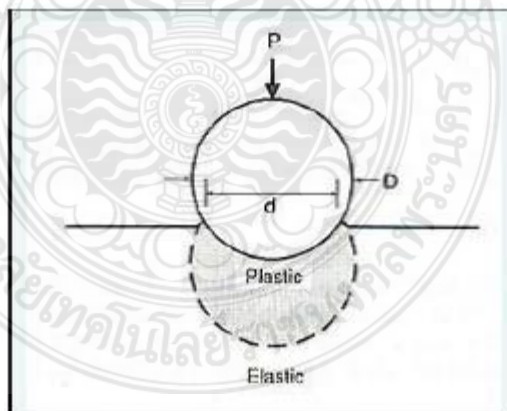
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัว Ball (The diameter of the ball), mm.

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด (The diameter of the indentation), mm.

t คือ ความลึกของรอยกด (The depth of the impression), mm.

หมายเหตุ: ค่า BHN ที่วัดได้นี้หน่วยเป็น kgf/mm^2 ($1 \text{ kgf/mm}^2 = 9.8 \text{ MPa}$) ซึ่งไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรงกับค่าความดันเฉลี่ย (Mean pressure) ต่อพื้นที่ของรอยกด

โดยทั่วไปแล้ว ควรมีการเตรียมพื้นผิวชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบความแข็งโดยการปรับสภาพผิวของชิ้นงานให้ราบเรียบและปราศจากเศษโลหะหรือสิ่งสกปรกตกค้าง เพราะปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้ได้ค่าความแข็งที่วัดได้ถูกต้อง ส่วนข้อดีของการวัดความแข็งแบบ Brinell คือการใช้ขนาดของหัวกดที่มีขนาดใหญ่จะทำให้สามารถวัดความแข็งของชิ้นงานมีความแตกต่างทางโครงสร้างมาก ๆ หรือมีโครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอ (Microstructural heterogeneity) และหากพื้นผิวชิ้นงานมีรอยขีดข่วน (Scratch) หรือผิวหยาบ (Roughness) เพียงเล็กน้อยก็จะไม่เป็นผลทำให้ค่าความแข็งที่ได้ผิดพลาดแต่อย่างไรก็ดี การวัดความแข็งแบบ Brinell นี้้อาจมีความผิดพลาดจากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่เกิดขึ้นจากตัวผู้วัดเอง และยังมีข้อจำกัดในการวัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็กจนเกินไป



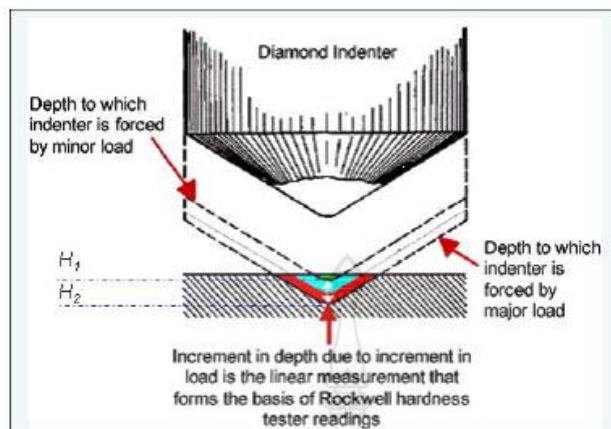
รูปที่ 2.10 แสดงการเสียรูปแบบพลาสติกของเนื้อวัสดุบริเวณใต้หัวกดแบบ Brinell [8]

เมื่อเราพิจารณาเนื้อโลหะหรือวัสดุบริเวณใต้หัวกดจะพบว่ามี การเสียรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) และบริเวณดังกล่าวนี้จะถูกล้อมรอบด้วยบริเวณของเนื้อโลหะที่มีการเสีย

รูปแบบอีลาสติก (Elastic deformation) ซึ่งจะทำหน้าที่ขัดขวางการไหลหรือเคลื่อนตัวแบบพลาสติก (Plastic flow) ของเนื้อโลหะด้านบน ในสภาวะดังกล่าวนี้ถือว่าเป็น Plane strain compressive หรือการเสียรูปของโลหะนั้นถูกจำกัดนั่นเอง ซึ่งหากเนื้อโลหะด้านล่างไม่มีความยืดหยุ่นหรือแข็งมาก (Rigid) อาจจะทำให้เนื้อโลหะที่เสียรูปแบบพลาสติกเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ล้อมรอบหัวกดดังแสดงในรูปที่ 2.9(a) แต่อย่างไรก็ดีเราจะไม่ค่อยพบสภาวะเช่นนี้ เนื่องจากเนื้อโลหะที่ถูกแทนที่ด้วยหัวกดนั้นจะถูกพิจารณาว่าเกิดมาจากปริมาตรที่ลดลงของเนื้อวัสดุที่เสียรูปแบบอีลาสติกโดยรอบ

2. การทดสอบความแข็งแบบรอกเวล (Rockwell hardness test)

การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell นี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถทำการทดสอบความแข็งได้อย่างรวดเร็ว และสามารถอ่านค่าความแข็งได้จากเครื่องมือวัดโดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีการแปรค่าจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดเหมือนการวัดค่าความแข็งแบบ Brinell ดังนั้นการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell นี้จึงสามารถลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการวัดได้ ส่วนหลักการในการวัดค่าความแข็งแบบ Rockwell นี้จะอาศัยความลึกของรอยกด (Depth of indentation) เป็นตัวบ่งชี้ค่าความแข็ง และในการวัดค่าความแข็งนั้นจะใช้หัวกด Indenter สองประเภทคือ แบบแรกเป็นหัวกดที่ทำจากเพชร (Diamond) เรียกว่า Brale indenter ซึ่งจะมีลักษณะเป็นทรงกรวยปลายมนทำมุมด้านในเท่ากับ 120 องศา สำหรับหัวกดอีกแบบมีลักษณะเป็นหัวบอลทำจาก Hardened steel โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวบอลต่างๆ กัน คือ อยู่ในช่วง 1.6-12.7 มิลลิเมตรเนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell นี้มีหัวกดหลายขนาดและการใช้แรงในการกดที่ต่างกันนี้เราจึงสามารถเลือกใช้หัวกดและแรงกดที่เหมาะสม สำหรับชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งต่าง ๆ กันได้ตั้งแต่วัสดุที่มีความแข็งต่ำ เช่น พอลิเมอร์ ซึ่งจะใช้ Rockwell scale R จนถึงวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือและใบมีดตัด (Tool materials) ซึ่งจะใช้ Rockwell scale A ตามการเรียกชื่อของสเกลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.11 การวัดค่าความแข็งแบบ Rockwell โดยเปรียบเทียบความลึกจากตำแหน่งที่น้ำหนักกด minor load กับตำแหน่งที่มีการให้น้ำหนักกดตามค่ามาตรฐาน Major load [8]

วิธีการทดสอบเริ่มจาก วางชิ้นงานลงบนแท่นทดสอบในตำแหน่งที่เราต้องการ ให้แรงกดลงบนชิ้นงาน โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น (Minor load) ที่ 10 kgf ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การใช้ Minor load นี้จะเป็นการกำหนดตำแหน่งในชิ้นงานที่เราต้องการวัด และป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเลื่อนออกจากตำแหน่งเดิม ความลึกที่เกิดขึ้นจากการกดด้วย Minor load นี้จะถูกบันทึกเป็น H_1 ไว้ในเครื่องทดสอบ หลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกกดด้วยน้ำหนักกด (Major load) ที่ถูกกำหนดไว้ตามมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.1 ค่าความลึกจากการกด Major load นี้จะถูกบันทึกเป็น H_2 ซึ่งค่าความแตกต่างของความลึกจากการกด Indenter โดยใช้ Major และ Minor load หรือ H_2-H_1 นี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความแข็งของวัสดุ โดยหากรอยกดมีความลึกน้อยโละนั้นยังมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปมาก นั่นคือมีค่าความแข็งมากนั่นเอง ค่าความแข็งที่วัดได้จะถูกแสดงบนหน้าปัด (Dial) ที่มีสเกลแบ่งสูงสุดเท่ากับ 100 และใน 1 หน่วยของสเกลจะแสดงถึงรอยกดที่ถูกกดลึกลงไป 0.002 มม. ดังนั้น เราสามารถหาค่าความแข็งได้จากความสัมพันธ์

$$HRX = M - \frac{\Delta H}{0.002} \quad (2.2)$$

เมื่อ ΔH คือ H_1-H_2 และ M คือค่าสูงสุดของสเกลซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีค่าเท่ากับ 100 สำหรับการวัดโดยใช้หัว Diamond (สเกล A,C และ D) ส่วนค่า M จะมีค่าเท่ากับ 130 เมื่อทดสอบด้วยหัวบอลซึ่งใช้กับสเกล B, E, M และ R เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ค่าสเกลที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell สำหรับโลหะและวัสดุต่างชนิด[8]

สเกล	หัวกด, มม. (นิ้ว)	น้ำหนัก (กม.)	Typical Application
A	เพชร	60	Tool materials
D	เพชร	100	Cast irons, sheet steels
C	เพชร	150	Steels, hard cast irons, alloys
B	1.588 (0.0625)	100	Soft steel, Cu and Al alloys
E	3.175 (0.125)	100	Al and Mg alloys, other soft metals; reinforced polymers
M	6.35 (0.250)	100	Very soft metals; high modulus polymers
R	12.70 (0.500)	60	Very soft metals; low modulus polymers

ค่าความแข็งที่ได้จากการวัดแบบ Rockwell นี้จะมีหน่วยที่เป็น Ra, Rb หรือ Rc (หรือ HRA, HRB, HRC) ซึ่งแตกต่างจากหน่วยการวัดความแข็งแบบ Brinell และ Vickers ที่เป็น kgf/mm^2

การวัดความแข็งแบบ Rockwell นี้สามารถแบ่งระดับความแข็งได้หลายระดับโดยแบ่งเป็น Scale ต่าง ๆ เช่น HRA, HRB และ HRC ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับวัสดุประเภทโลหะ ในแต่ละ scale จะมีการใช้หัวกด (Indenter) และค่าน้ำหนักกด (Major load) ที่ต่างกันแสดงในตารางที่ 2.1 เพื่อสามารถวัดค่าความแข็งของโลหะได้ละเอียดในระดับความแข็งต่าง ๆ กันได้ สำหรับหัวกด Indenter นั้นสามารถใช้หัวกด Brale และใช้น้ำหนักกด 150 kgf ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ Rc20-Rc70 ส่วนโลหะที่อ่อนกว่านี้สามารถทดสอบโดยใช้ Scale B ซึ่งใช้หัวกด Steel ball ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มม. และใช้น้ำหนักกดขนาด 100 kgf ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ Rb0-Rb100 ส่วนการวัดค่าความแข็งโดยใช้ scale A สามารถวัดค่าได้ในช่วงที่กว้างมากคือ ตั้งแต่ Annealed brass จนถึง Cemented carbide การวัดความแข็งแบบ Rockwell นี้นิยมใช้ในการวัดความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการทำ Heat treatment เช่น ในเหล็กกล้าอบชุบ (Heat-treated steel) และเนื่องจากหัวกด Indenter นั้นมีขนาดเล็กกว่าหัว Steel ball ที่ใช้สำหรับการวัดแบบ Brinell อยู่มาก ดังนั้นจึงสามารถวัดความแข็งในชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ แต่ก็อาจมีข้อเสียคือหากชิ้นงานมีโครงสร้างที่หยาบและไม่สม่ำเสมอการวัดความแข็งแบบ Rockwell นี้อาจให้ค่าที่ผิดพลาดได้

ข้อควรคำนึงถึงในการทดสอบค่าความแข็งแบบ Rockwell

- หัวกด Indenter และแท่นรองชิ้นงานต้องสะอาดและจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม
- พื้นผิวที่จะทำการทดสอบความสะอาดปราศจาก Oxide ผ่านการขัดหยาบ มีความเรียบเสมอ และต้องตั้งฉากกับหัวกด Indenter
- การทดสอบบนพื้นผิวที่มีความโค้งอาจเกิดความผิดพลาดได้
- ชิ้นงานทดสอบควรมีความหนาที่สม่ำเสมอและควรมีความหนาที่มากกว่าความลึกของรอยกด ประมาณ 10 เท่า
- ระยะห่างระหว่างรอยกดควรมีค่าประมาณ 3-5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด
- ความเร็วในการกดควรควบคุมให้มีค่ามาตรฐาน

3. การทดสอบความแข็งแบบ Vickers hardness test

การทดสอบความแข็งแบบ Vickers นี้ใช้หัวกดเพชรทรงพีระมิด (Diamond pyramid) ซึ่งมีมุมระหว่างหน้าตรงข้ามของ Pyramid เท่ากับ 136 องศา บางครั้งอาจเรียกการวัดค่าความแข็งนี้ว่า Diamond pyramid hardness test (DPH) เนื่องจากการเรียกตามลักษณะหัวกดนั่นเอง หลักการในการวัดค่าความแข็งคือชิ้นงานจะถูกกดด้วยหัวกด Diamond pyramid จนเกิดรอยกดเป็นรูป pyramid ฐานสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2.12 ค่าความแข็งโดยใช้หัวกดประเภทนี้เรียกว่า Vickers hardness number (VHN) และสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักกด (Load) ทหารด้วยพื้นที่ผิวของรอยกด Indentation ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะนิยมนำมาคำนวณจากเส้นทแยงมุม (Diagonal) ของรอยกดรูป Pyramid ดังแสดงได้จากสมการ

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ P คือ น้ำหนักกด (Applied load), Kg.

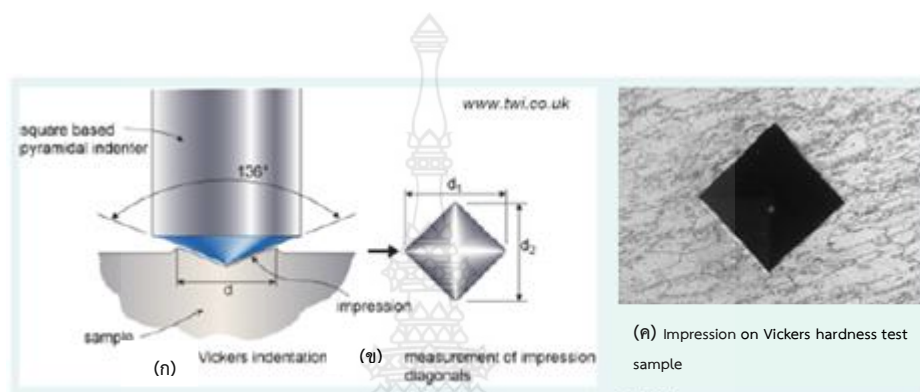
D คือ ค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นทแยงมุม (Average length of diagonals)

= $(d_1 + d_2) / 2$ มม.

θ คือ มุมระหว่างหน้าตรงข้าม Pyramid (Angle between the opposite faces of the diamond) -136 องศา

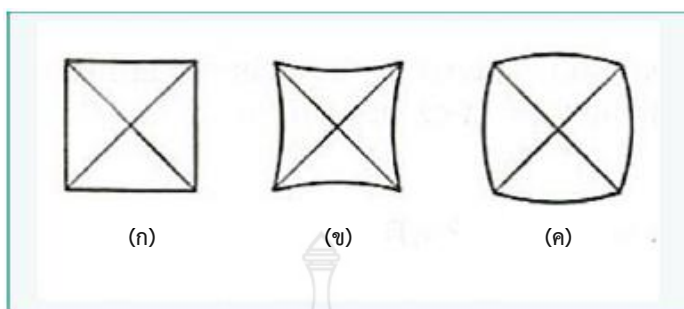
โดยทั่วไปแล้ว การวัดความแข็งแบบ Vickers นี้ควรเลือกการใช้น้ำหนักกดให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดรอยกด Pyramid ที่สมบูรณ์ (Perfect indentation) มีฐานเป็นสี่เหลี่ยม หากรอยกด Pyramid ที่ได้มีลักษณะบิดเบี้ยวคล้ายหมอนปักเข็มหมุด (Pincushion) นั้นเป็นผลมาจากการจมนตัวของเนื้อโลหะรอบ ๆ หน้าของ Pyramid ซึ่งมักพบในโลหะที่ผ่านการอบอ่อน (Annealed metals) และมีผลทำค่า

เส้นทแยงมุมที่วัดได้มากกว่าความเป็นจริง(วัสดุมีความแข็งน้อยกว่าความเป็นจริง) เป็นรอยกดลักษณะป่องตรงกลาง (Barrel-shaped) ที่สามารถพบในการทดสอบโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold-worked metals) รอยกดที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการทับซ้อนกันของเนื้อโลหะบริเวณหน้าของ Pyramid ในกรณีนี้การวัดเส้นทแยงมุมจะได้ค่าที่น้อยกว่าความเป็นจริงจึงทำให้ค่าความแข็งแบบ Vickers ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าปกติ



รูปที่ 2.12 รอยกดที่ได้จากการทดสอบความแข็งแบบ Vickers hardness test [8]

การวัดค่าความแข็งแบบ Vicker นี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางสำหรับการศึกษาวิจัยเนื่องจากสามารถวัดค่าความแข็งได้ในช่วงที่กว้างและมีหน่วยของค่าความแข็งเดียวคือ VHN (สำหรับค่าน้ำหนักหนึ่ง ๆ) ทำให้เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุได้หลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น สามารถวัดค่าความแข็งของวัสดุที่มีความอ่อนมาก (VHN=5) จนถึงวัสดุที่มีความแข็งมาก (VHN=1,500) ซึ่งสะดวกและให้ช่วงของความแข็งที่กว้างกว่าการวัดความแข็งแบบ Brinell และ Rockwell สำหรับน้ำหนักกดที่ใช้ในการวัดค่าความแข็งแบบ Vickers นี้อยู่ในช่วง 1-120 kg ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่นำมาทดสอบ แต่อย่างไรก็ดี การวัดความแข็งแบบ Vickers ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการทดสอบประจำวัน (Routine test) ในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เวลาในการทดสอบนานกว่าการทดสอบแบบ Rockwell และอาจมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการวัดความยาวของเส้นทแยงมุม



รูปที่ 2.13 รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบ Vickers hardness test (ก) รอยกดสมบูรณ์แบบ (ข) แบบ Pincushion (ค) แบบ Barrel-shaped [8]

ค่าความแข็งที่วัดได้จากการทดสอบความแข็งแบบ Brinell, Rockwell และ Vickers สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการทดสอบและเปรียบเทียบค่าความแข็งในกรณีที่ค่าความแข็งที่วัดได้นั้นมาจากวิธีการทดสอบต่างชนิดกัน

การทดสอบวัดค่าความแข็งเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกรวดเร็วในการวัดสมบัติเชิงกลของโลหะและวัสดุซึ่งมีให้เลือกใช้อยู่หลายวิธี ทั้งแบบ Brinell, Rockwell, Vickers และ Knoop เป็นต้น วิศวกรจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการทดสอบให้เหมาะสมกับโลหะหรือวัสดุที่เราต้องการทดสอบ ลักษณะของชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงานและตำแหน่งเฟสหรือโครงสร้างทางโลหวิทยาที่เราต้องการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าความแข็งที่ถูกต้องและเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานและการพัฒนาโลหะและวัสดุให้มีสมบัติที่ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วเรายังสามารถใช้ค่าความแข็งที่วัดได้เพื่อทำนายสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน เช่น ค่าความแข็งแรง เป็นต้น

2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าพบว่ามีนักวิจัยและออกแบบหลายกลุ่มที่ศึกษาการใช้อุปกรณ์เสริมของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ในหลากหลายเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งแสดงปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มีดังนี้

อาษา ประทีปเสน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2537) การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Test) หมายถึง การตรวจสอบสมบัติเฉพาะหรือการตรวจสอบสภาพของชิ้นงานด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ซึ่งเป็น

การไม่ทำให้ ชิ้นงานที่ถูกตรวจสอบเกิดความเสียหาย ที่นิยมเรียกชื่อย่อว่า NDT โดยการตรวจสอบ นำมาใช้ประโยชน์ในด้านของการค้นหาโดยเทคนิค UT Ultrasonic Testing : การทดสอบโดยวิธีใช้ คลื่นเสียงความถี่สูง โดยหลักการปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูงสู่ชิ้นงานและนำเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไป กลับเมื่อสะท้อนกับDEFECT คำนวณออกมาเป็นตำแหน่งและความลึกของ DEFECT การประยุกต์ใช้ งาน Ultrasonic Testing A-Scan แบ่งเป็น Conventional และ Phased Array ในส่วนของ Conventional แบ่งเป็น 1.NORMAL PROBE หัวตรง ใช้ในการ วัดความหนาวัสดุและ ตรวจสอบการ ประสานกันของ 2 วัสดุ 2. ANGLE PROBE หัวมุม ใช้ในการตรวจสอบ Defect ในแนวเชื่อม ใน ส่วนของ Phased Array เป็นหัวที่มีหลายผลึกในการปล่อยคลื่นเสียง มีพื้นที่ในการตรวจสอบกว้างขึ้น และความแม่นยำในการตรวจสอบมากขึ้น แต่มีความยากในการตั้งค่าสามารถตรวจสอบ Defect ใน แนวเชื่อม ข้อได้เปรียบ คือลดขั้นตอนในการทำงาน และ วิเคราะห์ผล่ง่ายกว่า ข้อเสียเปรียบคือ อุปกรณ์มีราคาแพง ข้อบกพร่องของชิ้นงานเพื่อเป็นการประกันคุณภาพของชิ้นงานโดยมีอุปกรณ์เสริม ต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานดังนี้

ธีรพงศ์ นิรัตติวงศกรณ์ (2016) ศึกษาหลักการตรวจสอบโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อนำไป ประยุกต์ใช้สำหรับตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่บริเวณรอยเชื่อมของท่อบรรจุดินขับ โดย กรณีศึกษา นี้ ผู้ศึกษาได้เลือกใช้การตรวจสอบคลื่นเสียงความถี่สูง ชนิดแบบ Pulse –Echo โดย เลือกใช้หัวส่งสัญญาณเป็นชนิดหัวตรง (Normal Probe) ในการตรวจหาการแยกชั้นในเนื้อวัสดุ และ หัวมุม (Angle Probe) ใช้ในการตรวจหารอยความไม่ต่อเนื่องในแนวเชื่อม รวมถึงการทำ DAC Curve การคำนวณระยะสแกนหรือพื้นที่ที่ใช้ในการตรวจสอบเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่รอยเชื่อมทั้งหมด

D. J. Huggett, M. W. Dewan, M. A. Wahab, A. Okeil, T. W. Liao การวิจัยในการ ประเมินแบบไม่ทำลายเล่มที่ 28 ฉบับที่ 4 (2560) การทดสอบด้วยคลื่นเสียงอุปกรณ์เสริมที่ช่วยใน การตรวจสอบด้วย Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) ออกแบบมาเพื่อลดปริมาณในการ ปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบท่อ แบบทำงานในความกว้างเพียง 10 ซม. (3.94 นิ้ว) ในระหว่างการสแกน แบบหัวทดสอบเดียวในขณะที่การสแกนแบบหัวทดสอบแบบคู่อาจทำได้ด้วยความกว้างเพียง 25 (9.84 นิ้ว) เท่านั้น ที่อนุญาตให้สแกนบนพื้นผิวทั้งที่เป็นเหล็กและที่ไม่ใช่เหล็กสแกนเนอร์ความกว้าง ลดลงเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดเมื่อจำเป็นต้องใช้พื้นที่น้อยที่สุด เทคนิค PAUT นั้นมีข้อบกพร่องน้อย ได้รับการพัฒนาและทดสอบ งานที่ให้ไวในที่นี้จะประตูลู่เป้าหมายสูงสุดของระบบตรวจจับออนไลน์ PAUT แบบอัตโนมัติ แต่มีความยากในการตั้งค่าและมีค่าใช้จ่ายสูง

Xin Wang, Man Jiang, Zuowan Zhou, Jihua Goua (2017) การใช้งานที่มีศักยภาพใน ด้านชีวการแพทย์อิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรรมการบินและอวกาศ มีการแนะนำเทคนิคการพิมพ์ 3 มิติ ทั่วไปเช่นการสร้างแบบจำลองการหลอมรวมการเผาเลเซอร์แบบเลือกใช้การพิมพ์ ภาพสามมิติและ

การลงจุด 3D วิธีการก่อตัวและประสิทธิภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิต - อนุภาค - เส้นใยและวัสดุนาโน - เสริม ข้อ จำกัด ที่สำคัญถูกระบุเพื่อกระตุ้นการวิจัยในอนาคตของการพิมพ์ 3 มิติการขึ้นรูปด้วยหลักการ 3D Printer เกือบทุกเครื่องนั้นใช้หลักการเดียวกัน คือพิมพ์ 2 มิติแต่ชั้นในแนวระนาบกับพื้นโลก XY ก่อน ส่วนที่พิมพ์ก็คือภาพตัดขวาง-Cross Section ของวัตถุนั้น ๆ เอง พอพิมพ์เสร็จในสองมิติแล้วเครื่องจะเลื่อนฐานพิมพ์ไปพิมพ์ชั้นถัดไป พิมพ์ไปเรื่อย ๆ หลายร้อย หลายพันชั้น จนออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ การเลื่อนขึ้นหรือลง(เลื่อนในแนวแกน Z) ของฐานพิมพ์ 3D Printer มี 5 ประเภท 1. ระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM หรือ FFF) 2. ระบบถาดเรซิน (SLA หรือ DLP) 3. ระบบผงยิปซัม+สี Ink Jet (Powder 3D Printer หรือ Color Jet Printing) 4. ระบบหลอมผงพลาสติก, ผงโลหะ, เซรามิก (SLS) 5.ระบบ Poly Jet ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบ Phased Array ผู้วิจัยได้ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD Inventor เพื่อมาฉีดขึ้นรูปด้วยการใช้เครื่อง 3D Printer ในระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM หรือ FFF) เป็นระบบที่นิยมที่สุด และถูกที่สุด ใช้ได้กับงานทุกประเภท ชิ้นงานที่พิมพ์สามารถขัด/แต่ง/เจาะ ได้ สามารถใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักรได้ นำมาใช้ได้จริง อีกทั้งเครื่องยังสามารถใช้วัสดุได้หลากหลาย และหาได้ง่ายตามท้องตลาด เช่น เส้น PLA, ABS, PET, Nylon, Wood(พลาสติกผสมไม้), Bronze(พลาสติกผสมทองเหลือง) เป็นต้น แต่ข้อเสียคือ ฝัองานที่พิมพ์ออกมาเป็นร่องระบบอื่น ๆ โดยการใช้เครื่องยี่ห้อ FLASHFORGE 3D PRINTER โดยวัสดุที่ใช้ ใช้ทั้งหมด 2 ชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ได้แก่ PLA, เส้นใย Carbon



บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ ทดสอบและวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบชิ้นงาน

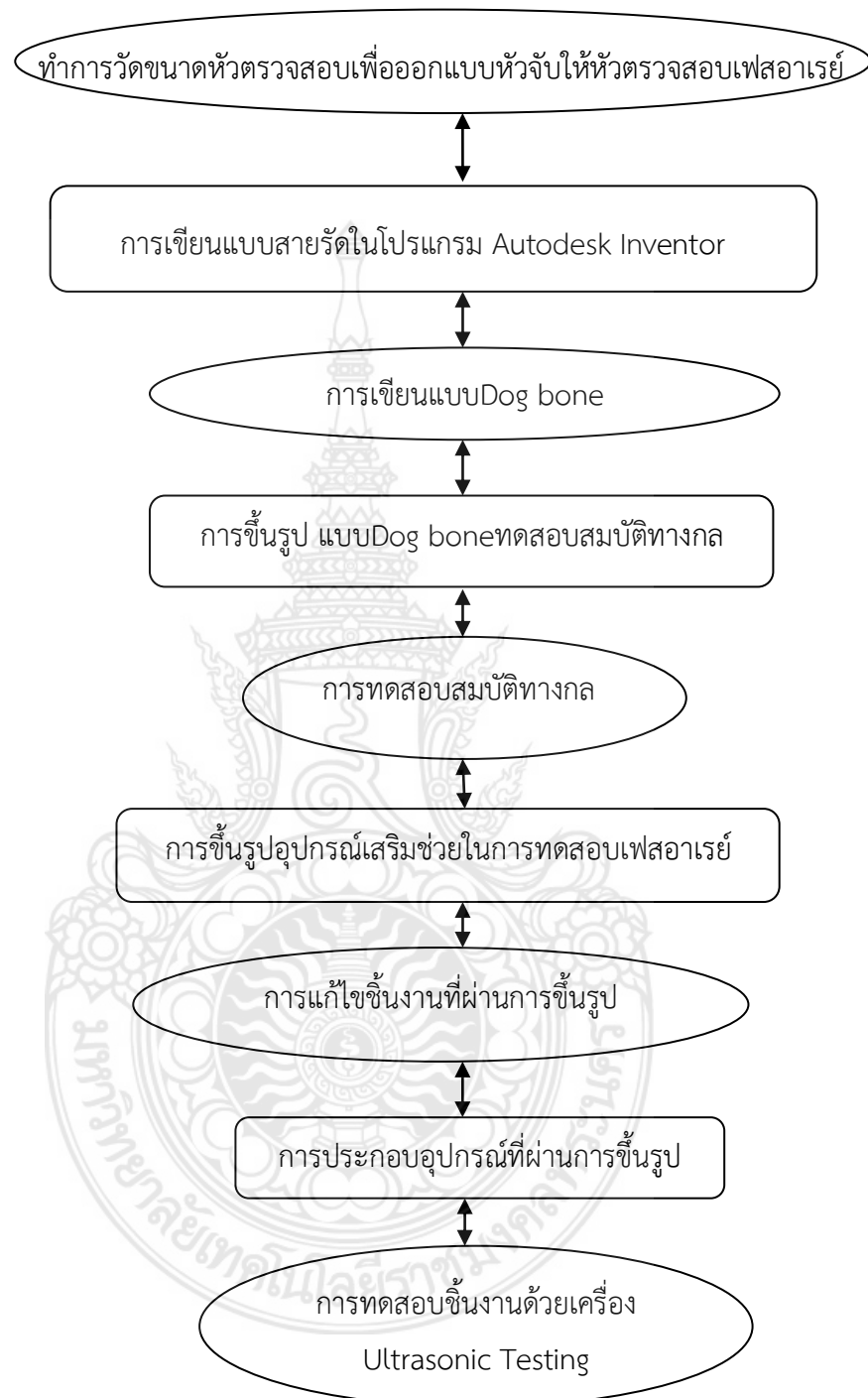
อุปกรณ์	ผู้ผลิต	แบบ/รุ่น
สปริง	-	-
ล้อยางขนาด 16 mm.	-	-
น็อตขนาด 5 mm.	-	-
โพลพลาสติก	-	PLA Filament 1.75 mm.
เส้นใยคาร์บอน	-	Filament Carbon Fiber PLA 1.75 mm.
สายรัดคาดเอว	-	-
ตัวล็อคสาย, ตัวปรับสาย	-	-
แหวนรองน็อต	-	-

ตารางที่3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือ	ผู้ผลิต	แบบ/รุ่น
เครื่องพิมพ์3D Printer	-	Ender3
เครื่องUniversal Tensile Machine, UTM	บริษัท SHIMADZU	AG-X
เครื่องImpact Tester	บริษัท Gotech Testing Machines	GT-7045_HML
เครื่องMicro Vickers Hardness	บริษัท SHIMADZU	HMV-G-FOR
โปรแกรม Autodesk Inventor	บริษัท Autodesk Inc.	Inventor
เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน	บริษัท Luyang	5IK60A-CF



3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยการทดสอบเฟสอาร์เรย์อัลตราโซนิค

3.2.1 ขั้นตอนการศึกษาหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตและผู้เชี่ยวชาญ

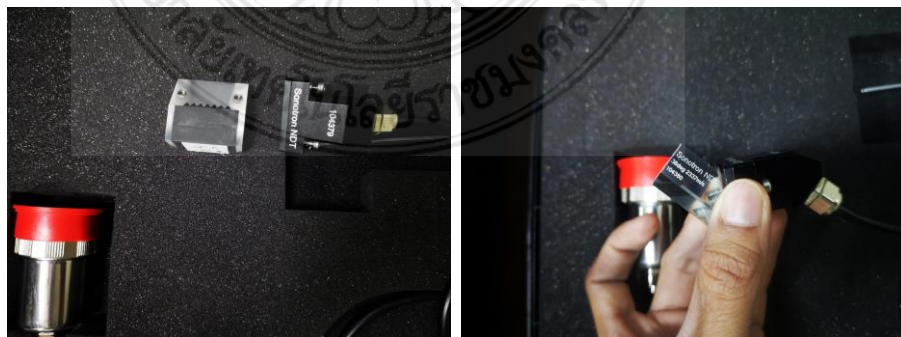
เป็นขั้นตอนแรกของการทำอุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาเรย์โดยได้ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์ที่มีวางจำหน่ายในต่างประเทศโดยได้ศึกษาหาข้อมูลจาก<https://www.jireh.com/products> ในอุปกรณ์ที่มีชื่อว่า ROTIX - Reduced Width Scanner และยังได้ทำการหาข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญทางด้าน NDT หรือการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เกี่ยวกับการใช้งานอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์เพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาเรย์ให้สามารถใช้งานได้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้



รูปที่ 3.2 การศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์

3.2.2 ขั้นตอนการวัดขนาดหัวตรวจสอบเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน

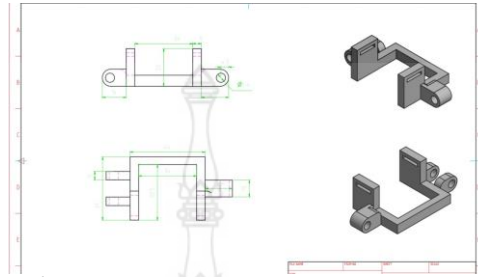
จะต้องทำการวัดขนาดของหัวตรวจสอบที่จะใช้งานก่อนที่จะทำการขึ้นรูปวัสดุทั้ง 2 ชนิดเริ่มจากการวัดขนาดทุกด้านของหัวตรวจสอบก่อนจะนำมาเขียนแบบในโปรแกรม Autodesk Inventor อุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาเรย์จะสามารถใช้ร่วมกับหัวตรวจสอบขนาดความยาว 34 มม. กว้าง 24.6 มม. มุม 36 องศา เท่านั้น



รูปที่ 3.3 การวัดขนาดของหัวตรวจสอบ

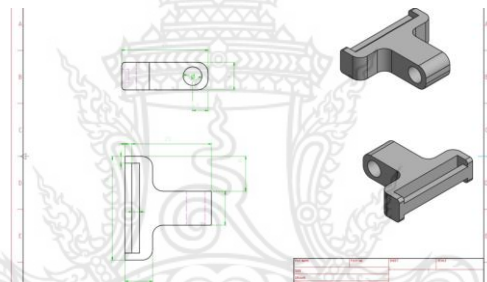
3.2.3 ขั้นตอนการเขียนแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาร์เรย์

1. การเขียนแบบตัวจับยึดหัวเฟสอาร์เรย์



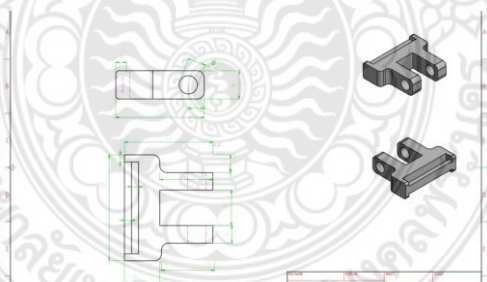
รูปที่ 3.4 การเขียนแบบตัวจับยึดหัวเฟสอาร์เรย์

2. การเขียนแบบตัวยึดสายปรับระดับ



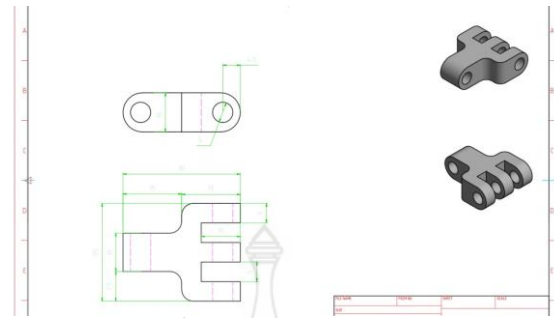
รูปที่ 3.5 การเขียนแบบตัวยึดสายปรับระดับ

3. การเขียนแบบตัวยึดสายปรับระดับอีกหนึ่งด้าน



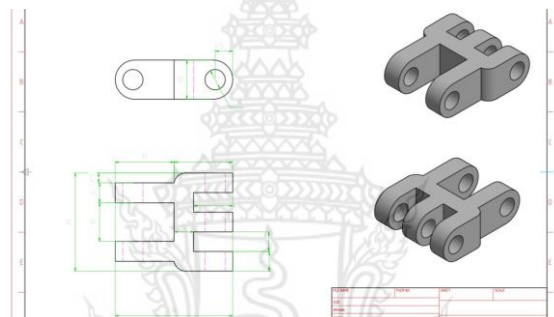
รูปที่ 3.6 การเขียนแบบตัวยึดสายปรับระดับอีกหนึ่งด้าน

4. การเขียนแบบที่ใส่สปริง



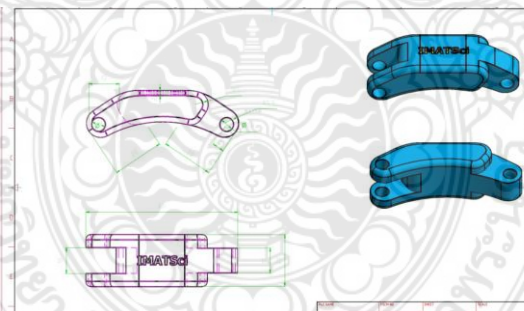
รูปที่ 3.7 การเขียนแบบใส่สปริง

5. การเขียนแบบที่ใส่สปริงอีกหนึ่งด้าน



รูปที่ 3.8 การเขียนแบบที่ใส่สปริงอีกหนึ่งด้าน

6. การเขียนแบบข้อต่อของอุปกรณ์เสริม



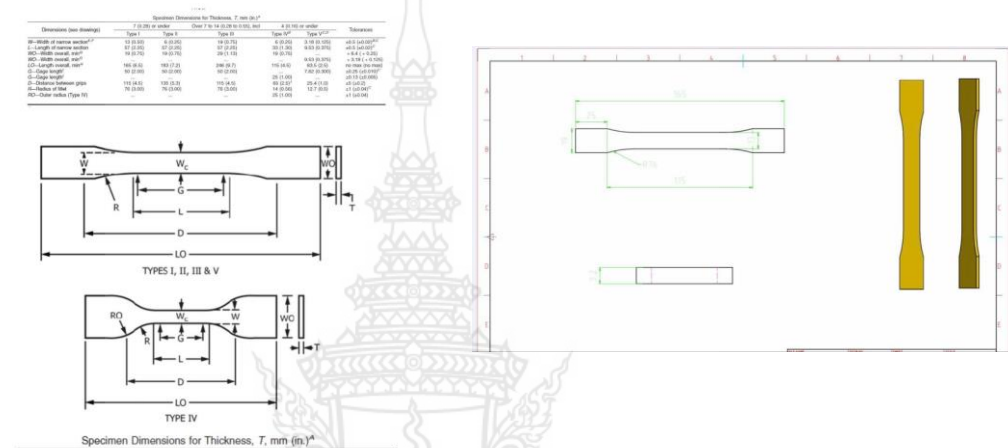
รูปที่ 3.9 การเขียนแบบข้อต่อของอุปกรณ์เสริม

3.2.4 ขั้นตอนการเขียนแบบDog bone

เขียนแบบDog bone จากโปรแกรม Autodesk Inventor เขียนแบบตามขนาดมาตรฐาน คือ

การทดสอบแรงดึง

ขนาดชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D 638 (2014)



รูปที่ 3.10 การเขียนแบบDog bone ตามขนาดมาตรฐาน

3.2.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกล

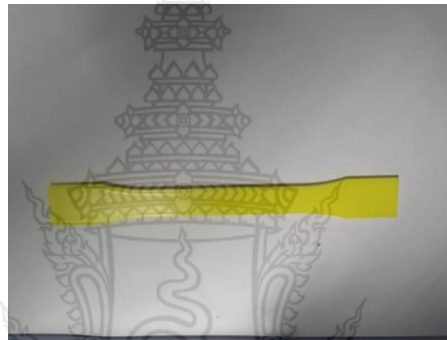
ทำการขึ้นรูปแบบDog bone เพื่อนำไปทดสอบเปรียบเทียบจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้แก่ พลาสติก ชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอน โดยใช้เครื่อง3D Printer ในการขึ้นรูป ทำการปรี้นDog bone ทั้งสองวัสดุได้แก่ พลาสติก ชนิด PLA และจากวัสดุเส้นใยคาร์บอน ดังนั้นจะขึ้นรูปทั้งหมด 3 ขั้นตอน

1. ทำการขึ้นรูปdog bone ที่จะนำไปทดสอบ Tensile Testing จากวัสดุพลาสติก ชนิด PLA จำนวน 3 ชิ้น และวัสดุเส้นใยคาร์บอนจำนวน 3 ชิ้น
2. ทำการขึ้นรูปdog boneที่จะนำไปทดสอบ Impact Testing จากวัสดุพลาสติก ชนิด PLA จำนวน 3 ชิ้น และวัสดุเส้นใยคาร์บอนจำนวน 3 ชิ้น
3. ทำการขึ้นรูปdog boneที่จะนำไปทดสอบ Hardness Testing จากวัสดุพลาสติก ชนิด PLA จำนวน 3 ชิ้น และวัสดุเส้นใยคาร์บอนจำนวน 3 ชิ้น



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบDog bone (ก) ฉีดพลาสติกชนิดPLA ขึ้นรูปdog bone (ข)
ฉีดเส้นใยคาร์บอนขึ้นรูป dog bone (ค) ชิ้นงานdog bone ที่ได้ขึ้นรูปสำเร็จ

3.3.6 ขั้นตอนการเปรียบเทียบน้ำหนักทั้ง 2 วัสดุ



รูปที่ 3.12 การเปรียบเทียบน้ำหนักของเส้นใยคาร์บอนและพลาสติก ชนิดPLA

3.2.7 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกล

ในการทดสอบสมบัติทางกลมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยกระบวนการ Tensile Testing (การทดสอบแรงดึง) โดยวัดความหนาของชิ้นงานคำนวณหาระยะ Gage range และใส่ข้อมูลลงโปรแกรม TRAPEZIUMX ก่อนจึงทดสอบวัสดุ 2 ชนิดคือ เส้นใยคาร์บอนและ พลาสติกชนิด PLA โดยทดสอบเส้นใยคาร์บอนจำนวน 3 ชิ้น และพลาสติกชนิด PLA จำนวน 3 ชิ้นด้วยกัน



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 3.13 การทดสอบแรงดึง (ก) วัดความหนาชิ้นงานคำนวณหาระยะ Gage range (ข) ทดสอบแรงดึงด้วยวัสดุพลาสติกชนิด PLA (ค) ทดสอบแรงดึง ด้วยวัสดุเส้นใยคาร์บอน (ง) ทดสอบแรงดึงด้วยพลาสติกชนิด PLA ทั้งหมด 3 ครั้ง (จ) ทดสอบแรงดึงด้วยเส้นใยคาร์บอนทั้งหมด 3 ครั้ง

2. ทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยกระบวนการ Impact Testing (การทดสอบแรงกระแทก) โดยวัดขนาดชิ้นงานและใส่ค่าลงในเครื่อง จึงทำการทดสอบวัสดุ 2 ชนิด คือ เส้นใยคาร์บอนและ พลาสติกชนิด PLA โดยทดสอบวัสดุเส้นใยคาร์บอนจำนวน 3 ชิ้นและพลาสติกชนิด PLA จำนวน 3 ชิ้นด้วยกัน ก่อนจะนำไปทดสอบแรงกระแทก ต้องนำชิ้นงานไปทำรอยบากบนชิ้นงานในเครื่องทำรอยบากชิ้นงานก่อน



(ก)



(ข)



(ค)



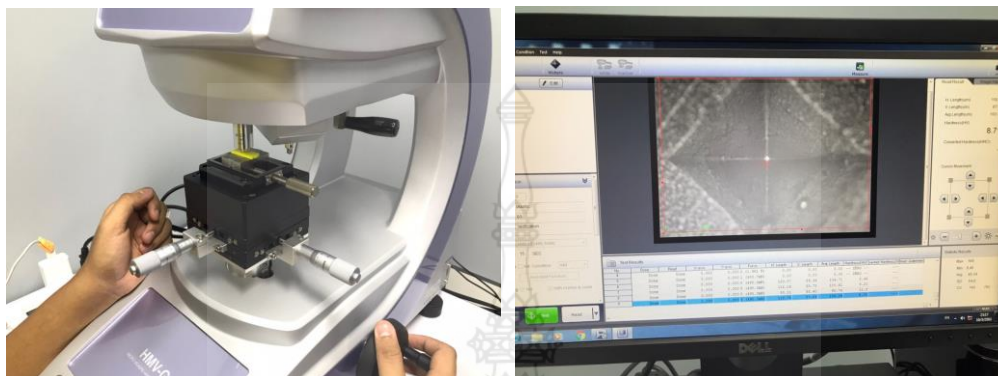
(ง)



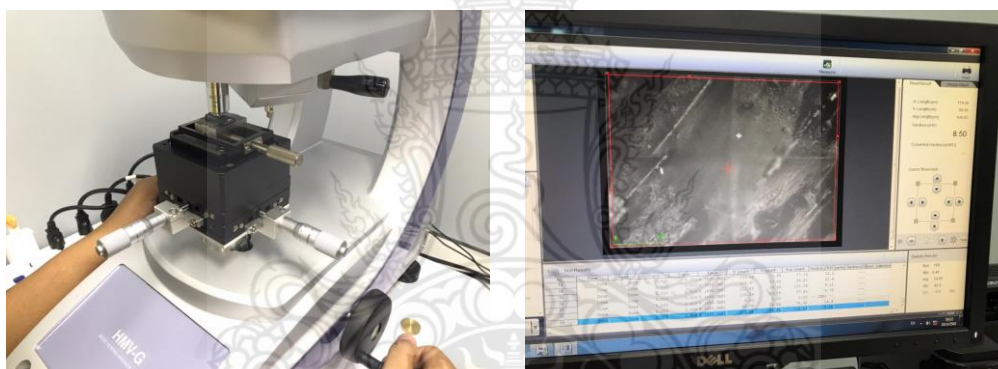
(จ)

รูปที่ 3.14 การทดสอบแรงกระแทก (ก) นำชิ้นงานเข้าเครื่องทำรอยบากชิ้นงาน (ข) ได้รอยบากชิ้นงานเรียบร้อย (ค) นำชิ้นงานมาทดสอบแรงกระแทก (ง) ทดสอบแรงกระแทกด้วยเส้นใยคาร์บอนทั้งหมด 3 ครั้ง (จ) ทดสอบแรงกระแทกด้วยพลาสติกชนิด PLA ทั้งหมด 3 ครั้ง

3. ทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยกระบวนการ Hardness Testing (การทดสอบความแข็ง) โดยทดสอบวัสดุ 2 ชนิดคือ เส้นใยคาร์บอนและ พลาสติกชนิด PLA โดยทดสอบเส้นใยคาร์บอนจำนวน 3 ชั้นและพลาสติกชนิด PLA จำนวน 3 ชั้น ขึ้นละ3 จุดด้วยกัน แรงที่ใช้กด 490.3mN



(ก)



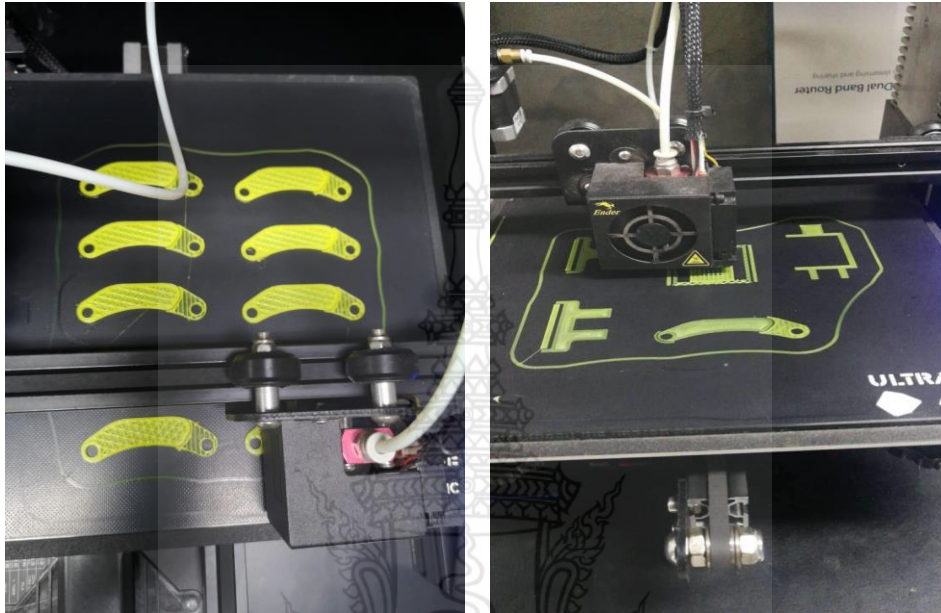
(ข)

รูปที่ 3.15 การทดสอบค่าความแข็ง (ก) ทดสอบความแข็งของวัสดุพลาสติกชนิด PLA (ข) ทดสอบความแข็งของวัสดุเส้นใยคาร์บอน

3.2.8 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์
 ชิ้นรูปชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานโดยใช้เครื่อง 3D Printer ตามที่ได้ออกแบบมาในโปรแกรม Autodesk Inventor โดยชิ้นงานมีส่วนประกอบดังนี้

1. อุปกรณ์จับหัวตรวจสอบเฟสอาเรย์
2. ตัวยึดสายปรับระดับ 2 ด้าน
3. ข้อต่อต่างๆ
4. ตัวใส่สปริง ทั้ง 2 ด้าน

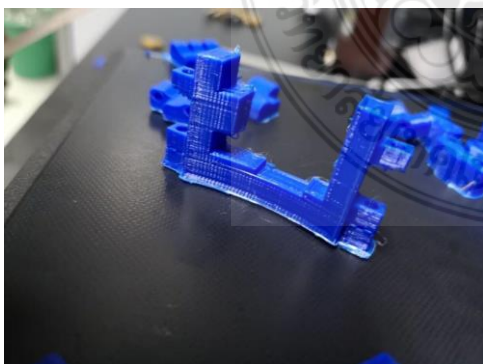
โดยวัสดุทั้งสองชนิดจะใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่างกันการขึ้นรูปเส้นใยคาร์บอนใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 215 องศาเซลเซียส ในส่วนของพลาสติกชนิดPLAใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 206 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.16 การขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่อง 3D Printer

3.2.9 ขั้นตอนการแก้ไขชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากเครื่อง3D Printer

ทำการแก้ไขขนาดของอุปกรณ์จับยึดหัวตรวจสอบที่ขึ้นรูปมาจากเครื่อง3D Printer นำมาจับยึดหัวตรวจสอบเฟสอาเรย์ เพื่อที่สามารถจับยึดหัวตรวจสอบเฟสอาเรย์ให้ตรวจสอบชิ้นงานที่ใช้ทำการทดสอบได้



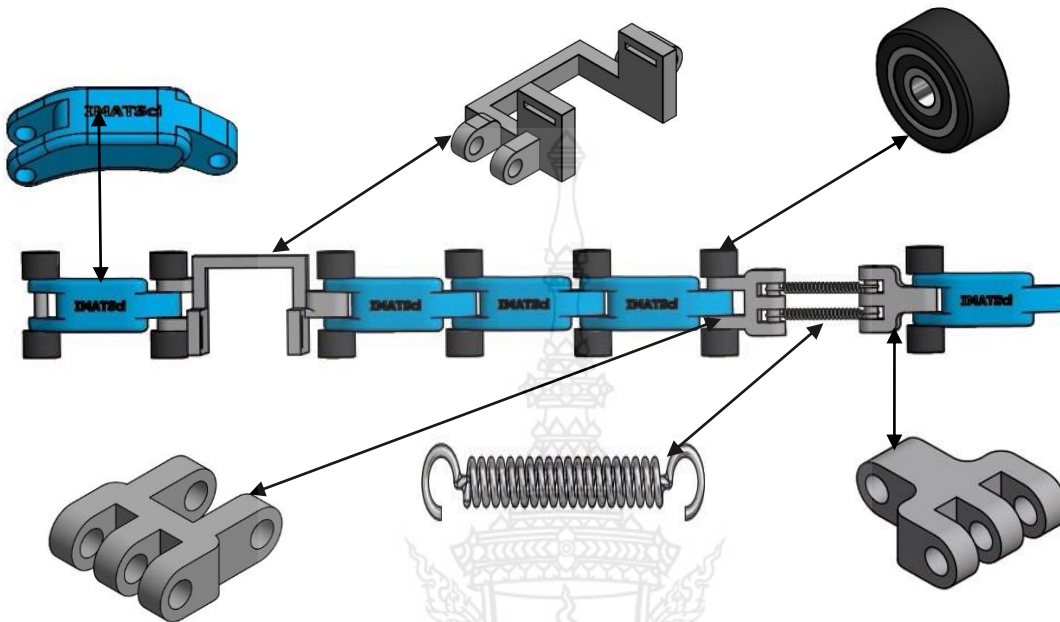
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.17 การแก้ไขชิ้นงาน (ก) ยังไม่ได้ทำการแก้ไขชิ้นงาน (ข) ทำการแก้ไขชิ้นงาน

3.2.10 ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์ที่ขึ้นรูปมาจากเครื่อง3D Printer



รูปที่ 3.18 ชิ้นงานส่วนประกอบของอุปกรณ์

3.2.11 ขั้นตอนทำการทดสอบชิ้นงาน

ทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง Ultrasonic Testing โดยนำไปทดสอบกับท่อในลักษณะทรงกระบอกที่มีแนวเชื่อมขนาดเส้นรอบวง 50 เซนติเมตรถึง 100 เซนติเมตร เพื่อหารอยความไม่ต่อเนื่องจากรอยแนวเชื่อมโดยเริ่มจากการ

1. การเซตค่า ค่าพารามิเตอร์ของ Probe และ Wedge
2. การ Calibrate Probe
3. ทำ TCG
4. หารอยความไม่ต่อเนื่อง
5. บันทึกผล



(ก)



(ข)



(ค)



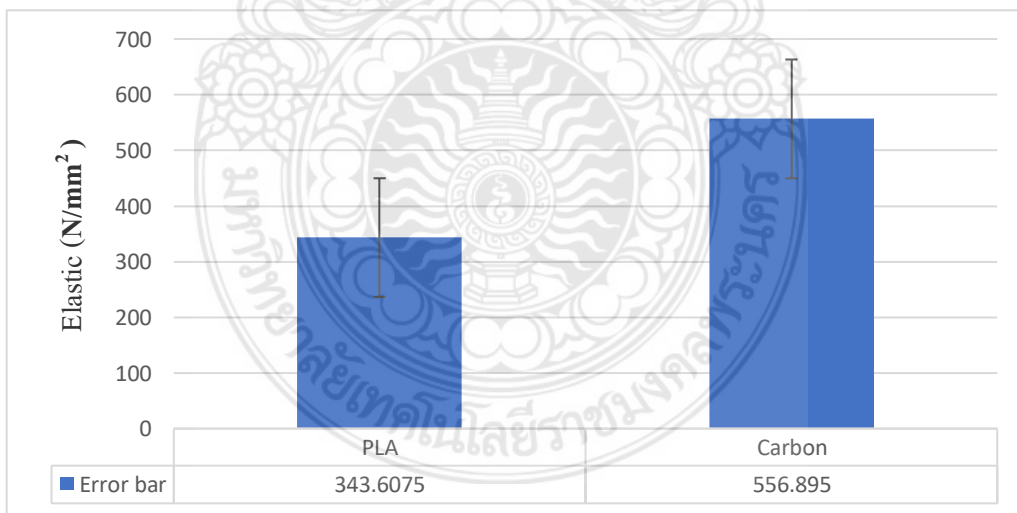
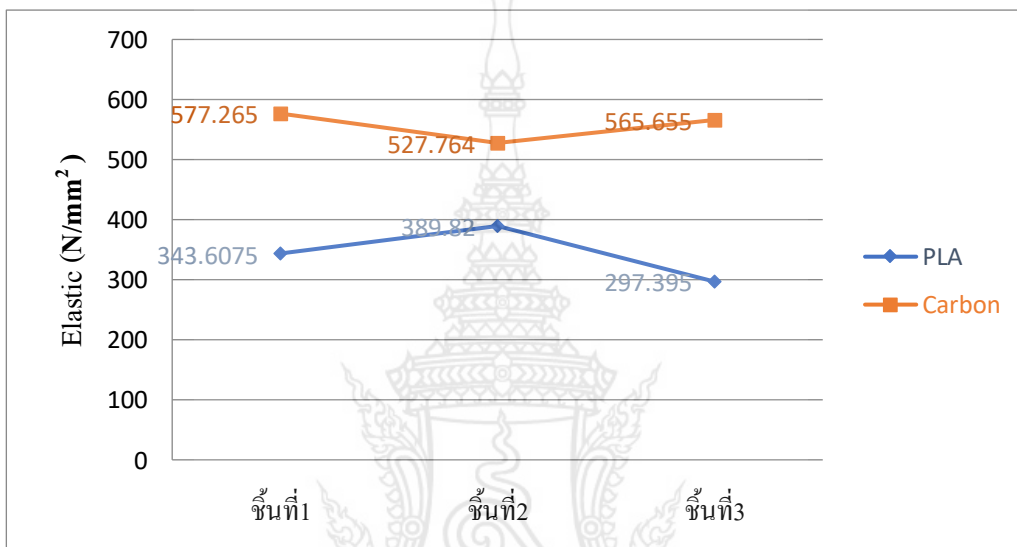
(ง)

รูปที่ 3.19 ทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง Ultrasonic Testing (ก) การเซตตั้งค่าต่าง ๆ (ข) การทำ TCG (ค) การหารอยความไม่ต่อเนื่องด้วยเส้นใยคาร์บอน (ง) การหารอยความไม่ต่อเนื่องด้วยพลาสติกชนิดPLA

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

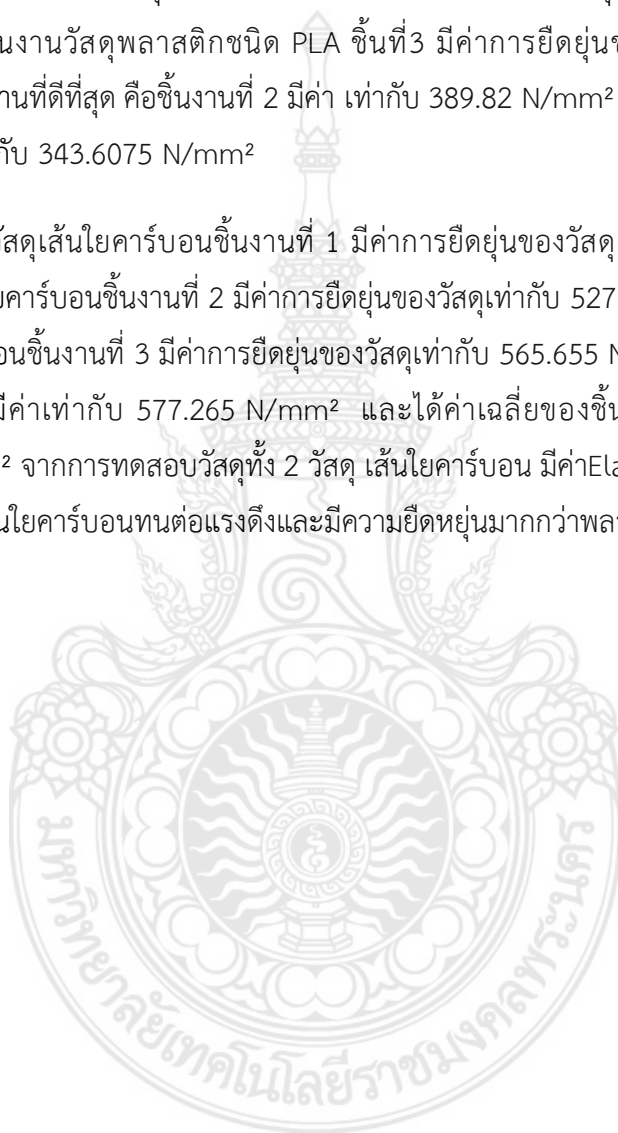
4.1 การทดสอบ Tensile Testing (การทดสอบแรงดึง)

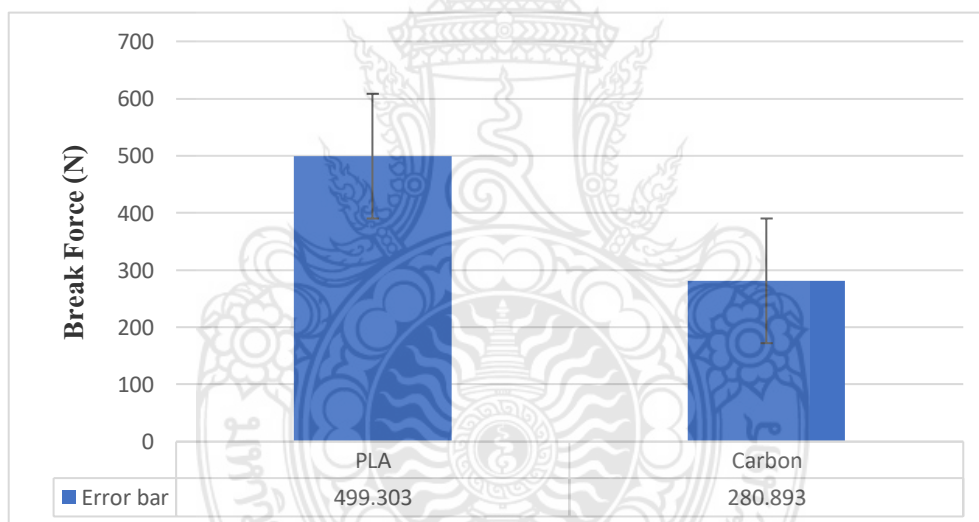
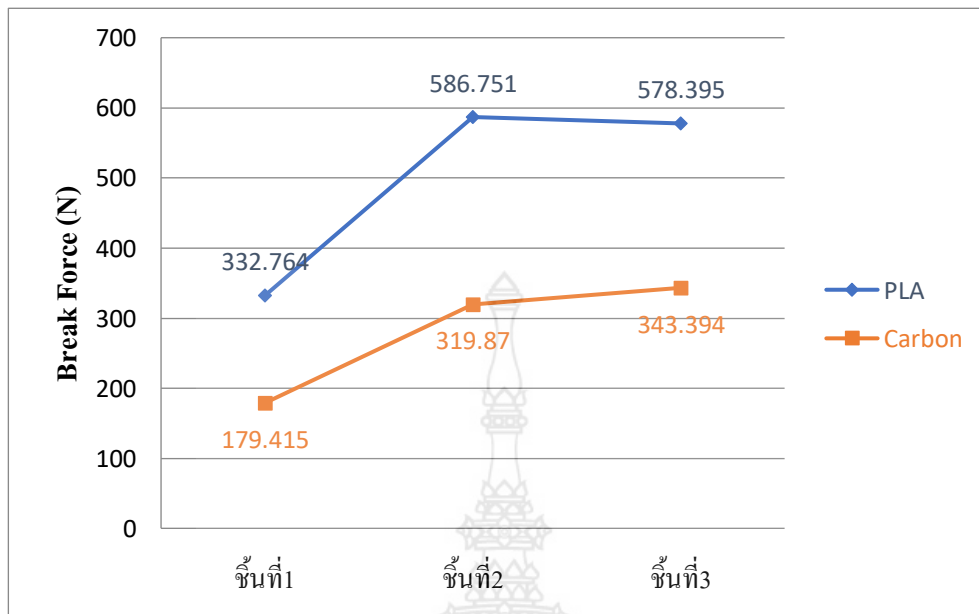


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าทดสอบของElastic

จากกราฟรูปที่ 4.1 ที่ได้ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ด้วยวิธีการทดสอบโดยวิธีการดึงในช่วงแรงดึง 5 mm/min ที่แรงดึงเดียวกันโดยทดสอบวัสดุ 2 ชนิดได้แก่ วัสดุพลาสติกชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะทดสอบทั้งหมด 3 ชั้นงาน ได้ผลการทดสอบดังนี้ ชั้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 1 มีค่าการยืดหยุ่นของวัสดุ เท่ากับ 343.6075 N/mm² ชั้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 2 มีค่าการยืดหยุ่นของวัสดุ เท่ากับ 389.82 N/mm² และชั้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 3 มีค่าการยืดหยุ่นของวัสดุ เท่ากับ 297.395 N/mm² ซึ่งชั้นงานที่ดีที่สุดคือชั้นงานที่ 2 มีค่า เท่ากับ 389.82 N/mm² และได้ค่าเฉลี่ยของชั้นงาน ทั้ง 3 ชั้นงานเท่ากับ 343.6075 N/mm²

ชั้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชั้นงานที่ 1 มีค่าการยืดหยุ่นของวัสดุ เท่ากับ 577.265 N/mm² ชั้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชั้นงานที่ 2 มีค่าการยืดหยุ่นของวัสดุเท่ากับ 527.764 N/mm² และชั้นงาน วัสดุเส้นใยคาร์บอนชั้นงานที่ 3 มีค่าการยืดหยุ่นของวัสดุเท่ากับ 565.655 N/mm² ซึ่งชั้นงานที่ดีที่สุดคือชั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 577.265 N/mm² และได้ค่าเฉลี่ยของชั้นงานทั้ง 3 ชั้นงานเท่ากับ 556.895 N/mm² จากการทดสอบวัสดุทั้ง 2 วัสดุ เส้นใยคาร์บอน มีค่าElastic มากกว่าพลาสติกชนิด PLA เพราะว่าเส้นใยคาร์บอนทนต่อแรงดึงและมีความยืดหยุ่นมากกว่าพลาสติกชนิด PLA

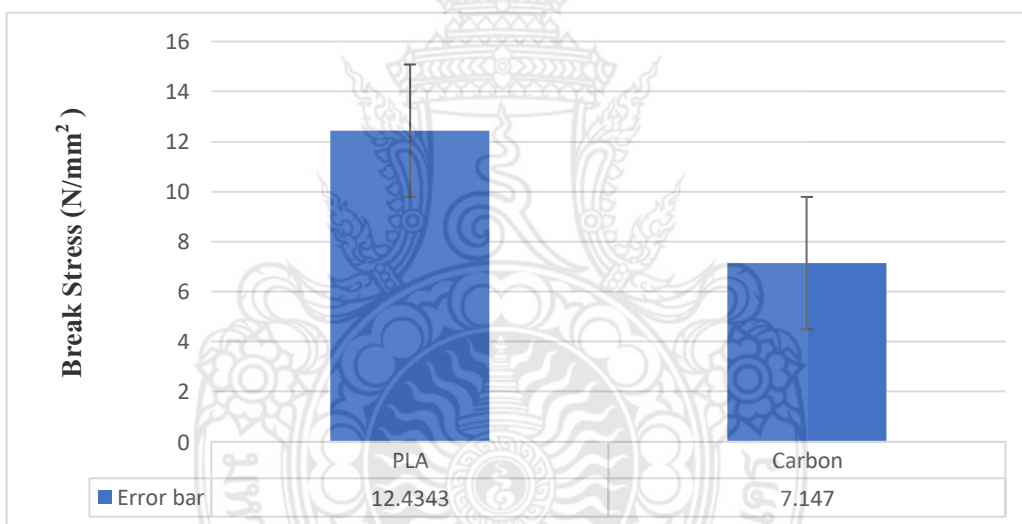
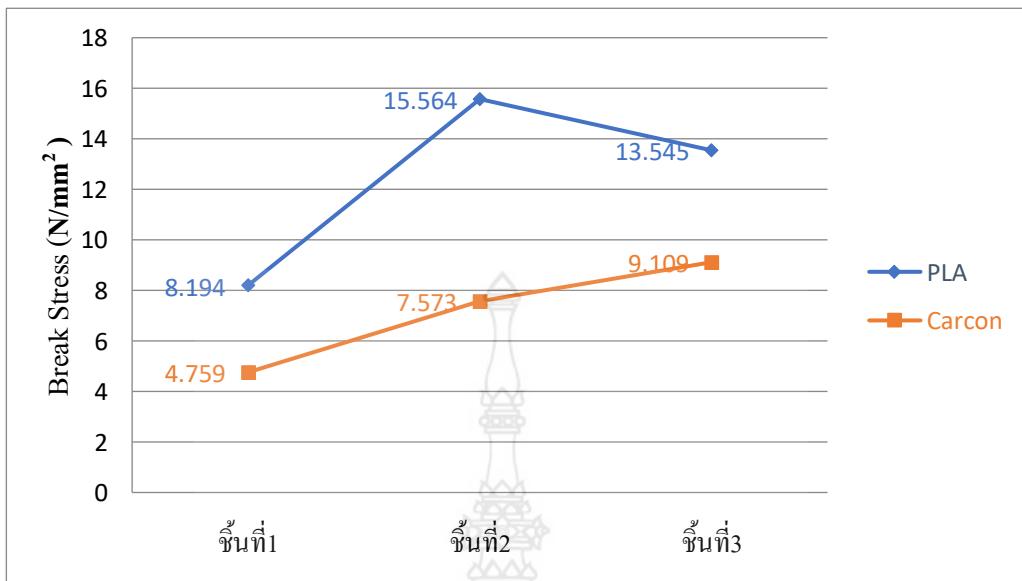




รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าของ Break Force

จากกราฟรูปที่ 4.2 ที่ได้ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ด้วยวิธีการทดสอบโดยวิธีการดึงในช่วงแรงดึง 5 mm/min ที่แรงดึงเดียวกันโดยทดสอบวัสดุ 2 ชนิดได้แก่ วัสดุพลาสติกชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะทดสอบทั้งหมด 3 ชิ้นงาน ได้ผลการทดสอบดังนี้ ชิ้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชิ้นที่ 1 มีค่าการแตกหักหรือแรงหักของวัสดุ เท่ากับ 332.764N ชิ้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชิ้นที่ 2 มีค่าการแตกหักหรือแรงหักของวัสดุ เท่ากับ 586.751N และชิ้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชิ้นที่ 3 มีค่าการแตกหักหรือแรงหักของวัสดุ เท่ากับ 578.395N ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุดคือชิ้นงานที่ 2 มีค่า เท่ากับ 586.751N เพราะใช้แรงมากที่สุดในการดึงวัสดุจนเกิดการแตกหักหรือแรงหัก และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 499.303N

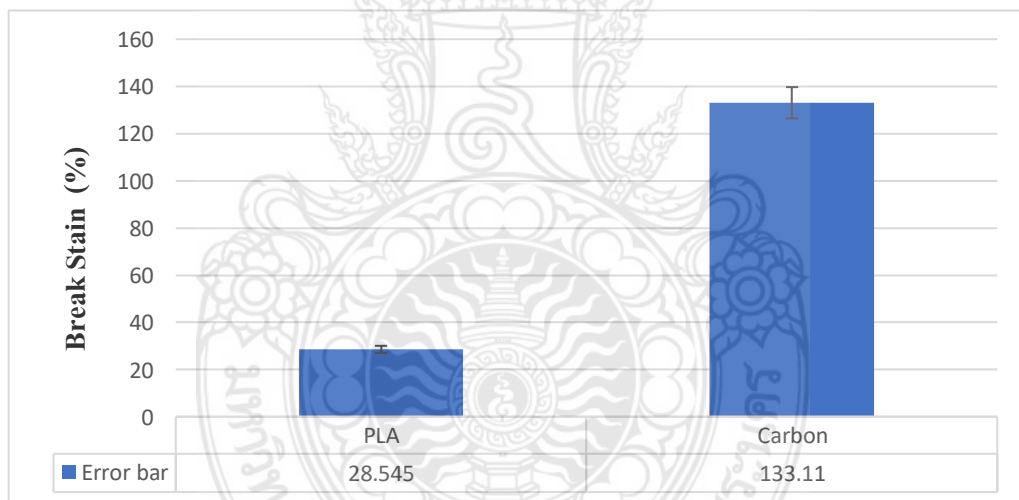
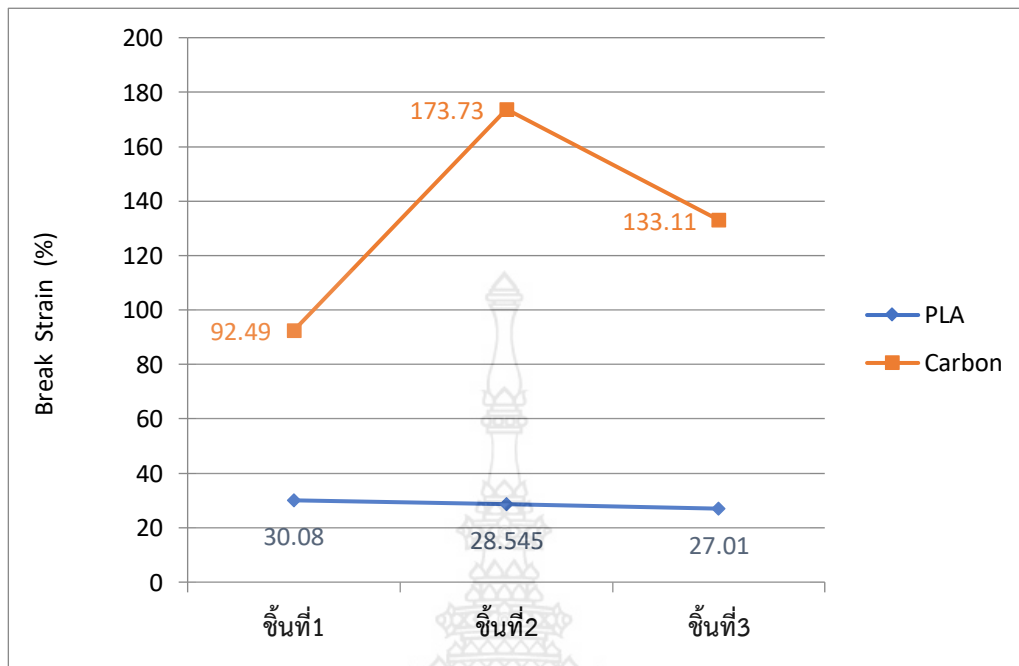
ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 1 มีค่าการแตกหักหรือแรงหักของวัสดุ เท่ากับ 179.415N ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 2 มีค่าการแตกหักหรือแรงหักของวัสดุ เท่ากับ 319.87N และชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 3 มีค่าการแตกหักหรือแรงหักของวัสดุ เท่ากับ 343.394N ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุดคือชิ้นงานที่ 3 มีค่าเท่ากับ 343.394N เพราะใช้แรงมากที่สุดในการดึงวัสดุจนเกิดการแตกหักหรือแรงหัก และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 280.893N จากการทดสอบวัสดุทั้ง 2 วัสดุ เส้นใยคาร์บอน มีค่า Break Force มากกว่าพลาสติกชนิด PLA เพราะเส้นใยคาร์บอนทนแรงแตกหักหรือจุดแตกหัก จะมีการแตกหักหรือฉีกขาดจากกันได้ยากกว่าพลาสติกชนิด PLA



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องTensile ได้ค่าของ Break Stress

จากกราฟรูปที่ 4.3 ที่ได้ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ด้วยวิธีการทดสอบโดยวิธีการดึงในช่วงแรงดึง 5 mm/min ที่แรงดึงเดียวกันโดยทดสอบวัสดุ 2 ชนิดได้แก่ วัสดุพลาสติกชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะทดสอบทั้งหมด 3 ชั้นงาน ได้ผลการทดสอบดังนี้ ชั้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 1 มีค่าการยึดตัวของวัสดุขนาดของวัสดุ เท่ากับ 8.194 N/mm² ชั้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 2 มีค่าการยึดตัวของวัสดุขนาดของวัสดุ เท่ากับ 15.564 N/mm² และชั้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 3 มีค่าการยึดตัวของวัสดุขนาดของวัสดุเท่ากับ 13.545 N/mm² ซึ่งชั้นงานที่ดีที่สุดคือชั้นงานที่ 2 มีค่า เท่ากับ 15.564 N/mm² เพราะมีค่าการยึดตัวของวัสดุมากที่สุด และได้ค่าเฉลี่ยของชั้นงานทั้ง 3 ชั้นงาน เท่ากับ 12.4344 N/mm²

ชั้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชั้นงานที่ 1 มีค่าการยึดตัวของวัสดุขนาดของวัสดุ เท่ากับ 4.759 N/mm² ชั้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชั้นงานที่ 2 มีค่าการยึดตัวของวัสดุขนาดของวัสดุ เท่ากับ 7.573 N/mm² และชั้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชั้นงานที่ 3 มีค่าการยึดตัวของวัสดุขนาดของวัสดุ เท่ากับ 9.109 N/mm² ซึ่งชั้นงานที่ดีที่สุดคือชั้นงานที่ 3 มีค่าเท่ากับ 9.109 N/mm² เพราะมีค่าการยึดตัวของวัสดุมากที่สุด และได้ค่าเฉลี่ยของชั้นงานทั้ง 3 ชั้นงานเท่ากับ 7.14675 N/mm² จากการทดสอบ วัสดุทั้ง 2 วัสดุ พลาสติกชนิด PLA มีค่า Break stress มากกว่าเส้นใยคาร์บอน เพราะว่าพลาสติกชนิด PLA ทนต่อความเครียดหรือการยึดตัวของวัสดุขนาดได้ดีกว่าเส้นใยคาร์บอน



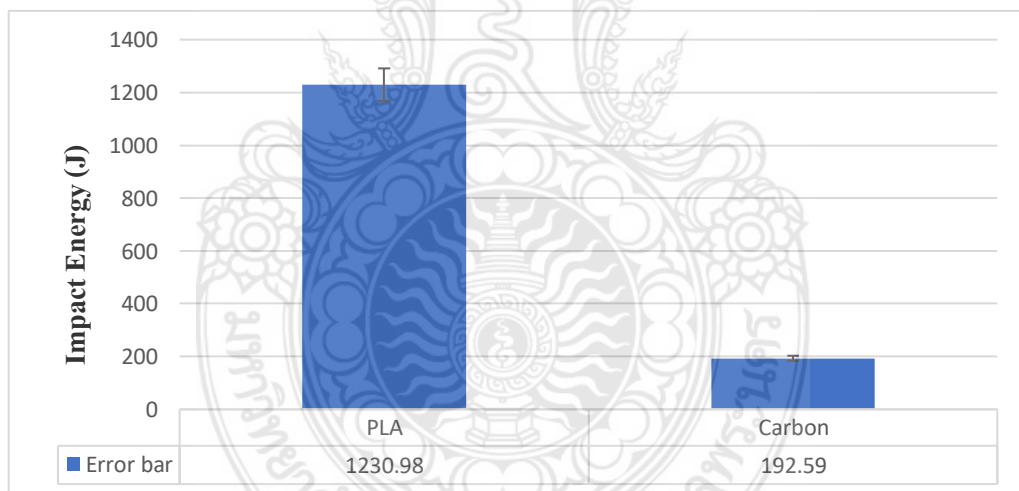
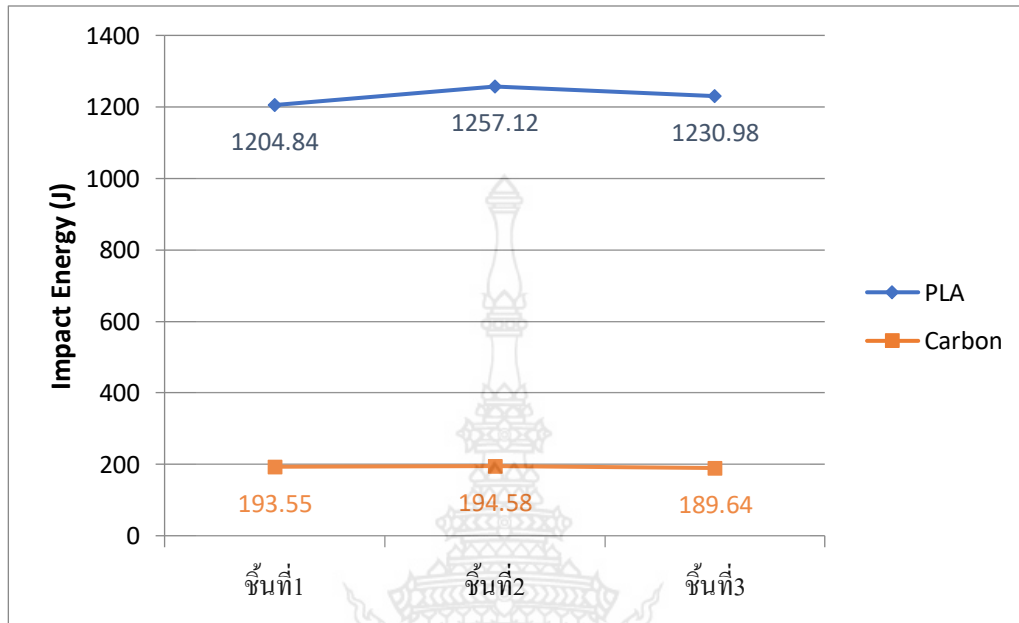
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ได้ค่าของ Break Strain

จากกราฟรูปที่ 4.4 ที่ได้ทำการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile ด้วยวิธีการทดสอบโดยวิธีการดึงในช่วงแรงดึง 5 mm/min ที่แรงดึงเดียวกันโดยทดสอบวัสดุ 2 ชนิดได้แก่ วัสดุพลาสติกชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะทดสอบทั้งหมด 3 ชิ้นงาน ได้ผลการทดสอบดังนี้ ชิ้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 1 แรงที่กระทำต่อวัตต์มีค่าเท่ากับ 30.08% ชิ้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 2 แรงที่กระทำต่อวัตต์มีค่า เท่ากับ 28.545% และชิ้นงานวัสดุพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 3 แรงที่กระทำต่อวัตต์มีค่าเท่ากับ 27.01% ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุด คือชิ้นงานที่ 1 มีค่า เท่ากับ 30.08% เพราะมีแรงที่กระทำต่อวัตต์ที่มุมตั้งฉาก 90 องศา มากกว่า และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 28.545%

ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 1 แรงที่กระทำต่อวัตต์มีค่า เท่ากับ 92.49% ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 2 แรงที่กระทำต่อวัตต์มีค่า เท่ากับ 173.73% และชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 3 แรงที่กระทำต่อวัตต์มีค่า เท่ากับ 133.11% ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุดคือชิ้นงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 173.73% เพราะมีแรงที่กระทำต่อวัตต์ที่มุมตั้งฉาก 90 องศา มากกว่า และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 133.11% จากการทดสอบวัสดุทั้ง 2 วัสดุ เส้นใยคาร์บอน มีค่า Break strain มากกว่าพลาสติกชนิด PLA เพราะว่าเส้นใยคาร์บอน ทนต่อความเค้นหรือแรงที่กระทำต่อวัสดุ ได้ดีกว่าพลาสติกชนิด PLA



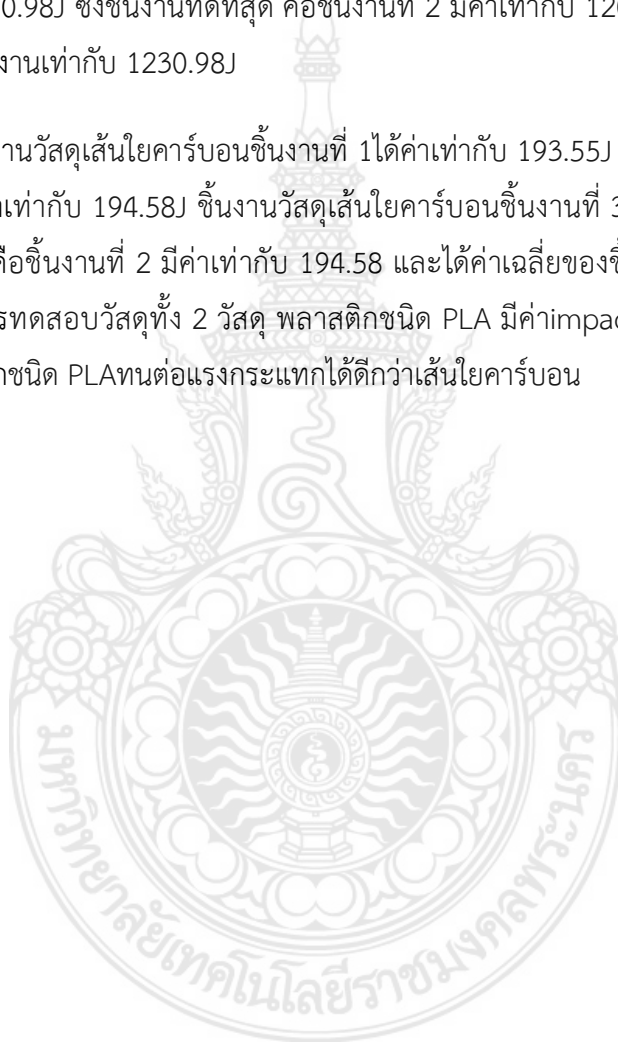
4.2 การทดสอบ Impact Testing (การทดสอบแรงกระแทก)



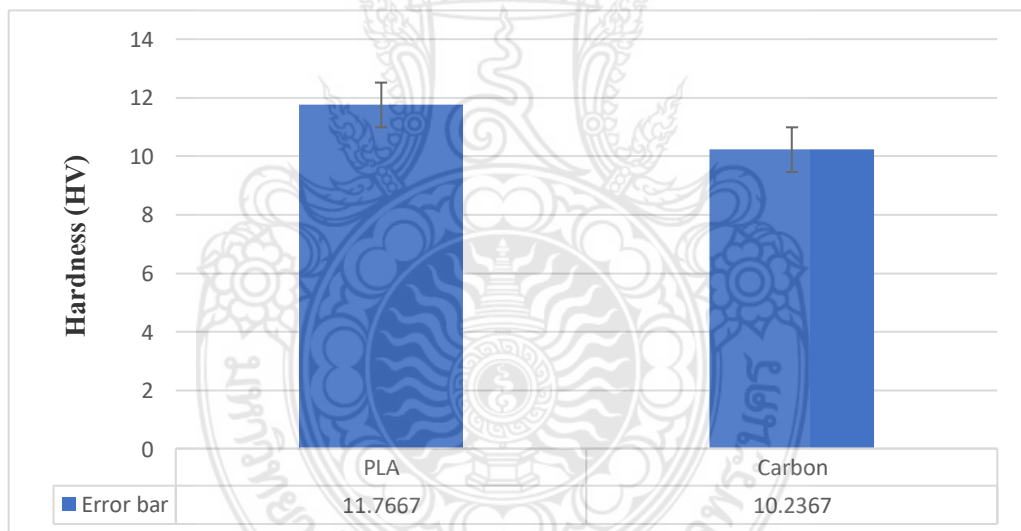
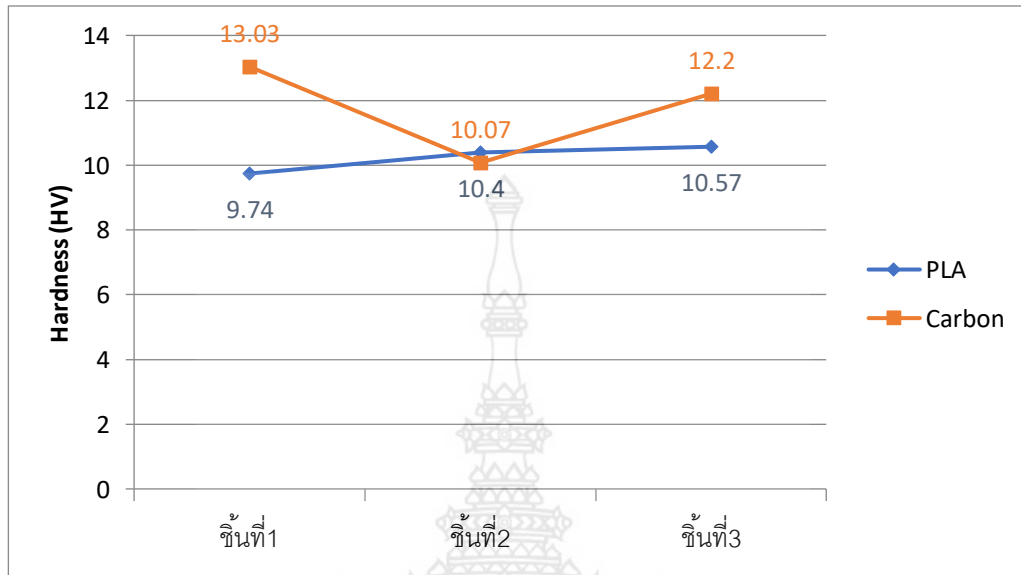
รูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงผลที่ได้จากการทดสอบ impact test กับวัสดุทั้ง 2 ชนิด

จากกราฟรูปที่ 4.5 เป็นกราฟที่ได้จากการทดสอบ impact test กับวัสดุ ทั้ง 2 ชนิดได้แก่ วัสดุพลาสติกชนิดPLA และเส้นใยคาร์บอน โดยทดสอบด้วยกระบวนกรกระแทกลงบนชิ้นงาน ให้ ชิ้นงานเกิดความเสียหาย โดยจะใช้ความเร็วที่ 3.46 M/sec กับวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้แก่วัสดุพลาสติก ชนิดPLA และเส้นใยคาร์บอน โดยแต่ละวัสดุจะใช้ความเร็วในการกระแทกเดียวกัน จะทำการทดสอบ วัสดุอย่างละ 3 ชิ้นงาน ได้ผลการทดสอบดังนี้ ชิ้นงานพลาสติกชนิดPLA ชั้นที่1 ได้ค่าเท่ากับ 1204.84J ชิ้นงานพลาสติกชนิดPLA ชั้นที่2 ได้ค่าเท่ากับ 1257.12J ชิ้นงานพลาสติกชนิดPLA ชั้นที่ 3 ได้ค่าเท่ากับ 1230.98J ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุด คือชิ้นงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1204.84J และได้ค่าเฉลี่ยของ ชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้น งานเท่ากับ 1230.98J

และชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 1ได้ค่าเท่ากับ 193.55J ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอน ชิ้นงานที่ 2 ได้ค่าเท่ากับ 194.58J ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 3 ได้ค่าเท่ากับ 189.64J ซึ่ง ชิ้นงานที่ดีที่สุด คือชิ้นงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 194.58 และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 192.59J จากการทดสอบวัสดุทั้ง 2 วัสดุ พลาสติกชนิด PLA มีค่าimpact มากกว่าเส้นใยคาร์บอน เพราะว่าพลาสติกชนิด PLAทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าเส้นใยคาร์บอน



4.3 การทดสอบ Micro Vickers Hardness tester (การทดสอบความแข็ง)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลที่ได้จากการทดสอบ Hardness tester กับวัสดุทั้ง 2 ชนิด

จากกราฟรูปภาพที่ 4.6 จากที่ได้ทำการทดสอบ Hardness tester (การทดสอบความแข็ง) กับวัสดุทั้งสองชนิด ได้แก่ วัสดุชนิด PLA และวัสดุชนิดคาร์บอน โดยทดสอบด้วยกระบวนการกดลงบนผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Micro Vickers Hardness tester โดยจะใช้แรงกดที่ HV0.05 (490.3mN) ที่แรงเดียวกันทั้ง 2 วัสดุ ได้แก่ วัสดุพลาสติกชนิด PLA และวัสดุชนิดเส้นใยคาร์บอน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิด จะทดสอบทั้งหมดอย่างละ 3 ชิ้นงาน ชิ้นงานละ 3 จุดในทดสอบ ได้ผลการทดสอบโดยเฉลี่ยดังนี้ ชิ้นงานพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.74HV ชิ้นงานพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.4HV ชิ้นงานพลาสติกชนิด PLA ชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.57HV ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุดคือชิ้นงานที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.57 และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 10.2367HV

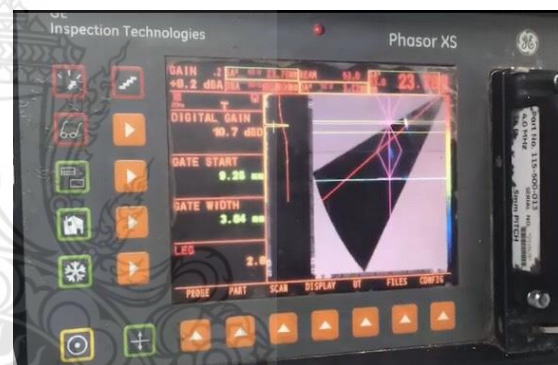
และชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.03HV ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.07HV ชิ้นงานวัสดุเส้นใยคาร์บอนชิ้นงานที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.2HV ซึ่งชิ้นงานที่ดีที่สุดคือชิ้นงานที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.03HV และได้ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นงานเท่ากับ 11.7667HV จากการทดสอบวัสดุทั้ง 2 วัสดุ เส้นใยคาร์บอน มีค่า Hardness มากกว่าพลาสติกชนิด PLA เพราะว่าเส้นใยคาร์บอนมีความแข็งมากกว่าพลาสติกชนิด PLA และทนต่อแรงกดได้ดีกว่า



4.4 ทดสอบการเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบด้วยเครื่อง UT



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.7 การทดสอบโดยเทคนิคเฟสอเรียอัลตราโซนิก (ก) การหารอยความไม่ต่อเนื่องจากเส้นใยคาร์บอน (ข) การหารอยความไม่ต่อเนื่องจากพลาสติกชนิด PLA (ค) การหารอยความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานที่วางขายที่ท้องตลาด

จากภาพ(ก) คือการนำเส้นใยคาร์บอนมาฉีดขึ้นรูปและประกอบเป็นอุปกรณ์เสริมช่วยการทดสอบเฟสอเรียโดยการหารอยความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานและได้พบว่าเจอรอยความไม่ต่อเนื่องเป็นรอยLack of Fusion และเป็นค่าที่ไม่ยอมรับเพราะรอยDefect เกินเส้นTCGหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้จึงต้องนำชิ้นงานไปReject

จากภาพ(ข) คือการนำพลาสติกชนิดPLA มาฉีดขึ้นรูปและประกอบเป็นอุปกรณ์เสริมช่วยการทดสอบเฟสอเรียโดยการหารอยความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานและได้พบว่าเจอรอยความไม่ต่อเนื่องเป็นรอยLack of Fusion และเป็นค่าที่ไม่ยอมรับเพราะรอยDefect เกินเส้นTCGหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้จึงต้องนำชิ้นงานไปReject

จากภาพ(ค) คือการหารอยความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานที่วางขายตามท้องตลาด

จากภาพทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องโดยเครื่อง Ultrasonic Testing ด้วยเทคนิคเฟสอเรียอัลตราโซนิกโดยใช้อุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบ จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบมาจากผู้วิจัยและอุปกรณ์ที่มีอยู่ตามท้องตลาด พบว่ามีประสิทธิภาพในการใช้งานที่เหมือนกันคือการนำสายมารัดท่อเพื่อตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องและค่าที่ได้ไม่ผิดเพี้ยนอ่านค่าได้ตรงกับสินค้าตามท้องตลาด

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นักศึกษามุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วัสดุพลาสติกชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอนซึ่งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ วัสดุพลาสติกชนิด PLA เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติทางกลค่อนข้างดีส่วนใหญ่ มักนำมาทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เส้นใย และ ยังเหมาะสมสำหรับชิ้นงานต้นแบบและโมเดลทั่วไปเพราะมีอัตราการหดตัวที่ต่ำ ชิ้นงานไม่หดหรือโก่งงอ มีความแม่นยำสูง สำหรับวัสดุคาร์บอนหรือเส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนร้อยละ 90 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติคือมีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และทนต่อสารเคมีสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมวิศวกรรมโดยการออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาเรย์ เพื่อใช้ในการทำงานทางด้าน NDT การทดสอบแบบไม่ทำลาย อุปกรณ์เสริมที่ผู้วิจัยทำการออกแบบมานั้นสามารถทำงานได้จริงจากการใช้งานเพื่อหารอยความไม่ต่อเนื่องในโลหะ ซึ่งอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์ตามท้องตลาดในปัจจุบัน มีราคาค่อนข้างสูงที่มีอยู่ในเว็บไซต์หรือตามท้องตลาดตัวอย่างเช่น ROTIX - Reduced Width Scanner ราวๆอยู่ที่ประมาณ $\geq 50,000$ บาท และหาซื้อได้ยาก ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์สามารถนำอุปกรณ์เสริมที่ทำจากวัสดุพลาสติกชนิด PLA และวัสดุเส้นใยคาร์บอนซึ่งมีต้นทุนอยู่ที่ 14,500 บาทเท่านั้น จึงได้นำไปใช้งานทางด้านตรวจสอบแบบไม่ทำลายได้และทำการทดสอบสมบัติทางกลเปรียบเทียบระหว่าง 2 วัสดุคือวัสดุพลาสติกชนิด PLA และวัสดุเส้นใยคาร์บอน และเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ผู้วิจัยได้จัดทำกับชิ้นงานที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

การแสดงผลการวิเคราะห์ของผลการศึกษากการทดสอบเพื่อบอกความคลาดเคลื่อนและความเหมาะสมของวัสดุและข้อมูลของการเปรียบเทียบวัสดุทั้ง 2 ชนิด การศึกษาการเปรียบเทียบของวัสดุทั้ง 2 วัสดุนั้นคือวัสดุพลาสติกชนิด PLA และเส้นใยคาร์บอน พบว่าการเลือกใช้วัสดุที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับการนำมาออกแบบอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์อัลตราโซนิกคือวัสดุพลาสติกชนิด PLA เพราะว่าการทดสอบสมบัติทางกลที่ได้ทำการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยรวมหรือผลรวมทั้งหมดที่ได้ทำการรวบรวมมาจากการทดสอบของทั้ง 2 วัสดุนั้น วัสดุพลาสติกชนิด PLA มีสมบัติทางกลที่ดีกว่าเส้นใยคาร์บอน ซึ่งทนต่อการแตกหัก ทนต่อความเค้นและความเครียด และทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่า และคาดว่าจะมีอายุการใช้งานได้นานกว่าเส้นใยคาร์บอน

อุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการทดสอบที่มีอยู่ในท้องตลาดตัวอย่างเช่น ROTIX - Reduced Width Scanner ไม่สามารถปรับขนาดของสายได้ตามต้องการมีผลทำให้ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงานขนาดของท่อ ทำให้มีความสิ้นเปลืองแต่อุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการทดสอบเฟสอาเรย์ ผู้วิจัยได้ทำขึ้นสามารถปรับขนาดได้ ตั้งแต่ 50 ถึง 100 เซนติเมตร และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำงานรวมถึงลดขั้นตอนในการทำงานได้อย่างมาก และผลการทดสอบจากการใช้เครื่อง Ultrasonic Testing ด้วยเทคนิคเฟสอาเรย์อัลตราโซนิก เพื่อตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องนั้นได้ ค่าที่ไม่ผิดเพี้ยนเช่นเดียวกับสินค้าตามท้องตลาดทั่วไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาแล้วออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการตรวจสอบเฟสอาเรย์สามารถใช้งานได้ เหมือนกับสินค้าที่วางจำหน่ายในท้องตลาดดังนั้นหากมีกลไกหรือการเลือกใช้วัสดุซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ วัสดุสองชนิดในการทดสอบคือพลาสติกชนิดPLAและเส้นใยคาร์บอน เป็นอุปกรณ์เสริมช่วยในการ ตรวจสอบจะทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและขั้นตอนในการทำงานสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมี อายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นเช่นการเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อการใช้งานที่มากขึ้น

2. การเลือกใช้วัสดุในการทำหัวจับยึดตรวจสอบเฟสอาเรย์ให้สามารถปรับขนาดของหัวจับยึด ได้ซึ่งจะมีการใช้งานตรวจสอบชิ้นงานได้หลายขนาดและสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้นเพิ่มความ แม่นยำที่ถูกต้องต่อการใช้งานทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ชัดเจนมากขึ้น

3. การเลือกอุณหภูมิในการฉีดยื่นงานเพื่อขึ้นรูปทั้ง 2 วัสดุ คือพลาสติกชนิดPLAและเส้นใย คาร์บอน ให้เหมาะสมซึ่งจะยืดอายุการใช้งานและจะไม่ทำให้เกิดการหลอมและขาดได้ง่ายต่อการ ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ROTIX - Reduced Width Scanner. (2562) สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2562, จาก <https://www.jireh.com/products/rotix-reduced-width-scanner>.
- [2] การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและงานวิจัย, (2537) สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2562, จาก อาสา ประทีปเสน, ประเทศไทย.
- [3] Phased Array Ultrasound Technique (PAUT), (2562) สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2562, จาก <https://eddyfi.com/en/technology>.
- [4] เครื่องมือตรวจสอบแบบไม่ทำลาย, (2555) สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2562 จาก <https://108pun9market.blogspot.com/2012/04>.
- [5] 3D Printer, (2558) สืบค้นเมื่อ 4 ธันวาคม 2562 จาก <https://www.print3dd.com/what-is-3d-printer>.
- [6] การทดสอบแรงดึง, (2563) สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2563, จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- [7] การทดสอบด้วยแรงกระแทก, (2556) สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2563 , จาก <http://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2556/2556239509815.pdf>
- [8] การทดสอบความแข็ง, (2559) สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2563, จาก <http://engineeringmaterialsproject.blogspot.com/2015/12/3.html>
- [9] D. J. Huggett, M. W. Dewan, M. A. Wahab, A. Okeil, T. W. Liao “การวิจัยในการประเมินแบบไม่ทำลายเล่มที่ 28 ฉบับที่ 4” การทดสอบด้วยคลื่นเสียง ,1 พฤศจิกายน 2560
- [10] Xin Wang, Man Jiang, Zuowan Zhou, Jihua Goua “3D printing” Volume 110, 1 February 2017, Pages 442-458
- [11] ชีรพงศ์ นีรัตติวงศ์กรณ, “การตรวจสอบแนวเชื่อมท่อบรรจุดินขับโดยคลื่นเสียงความถี่สูง” สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม (2016)

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล โสภณ เปลี่ยนปฐม
วัน เดือน ปีเกิด 19 กันยายน 2540
ภูมิลำเนา 31/37 หมู่ 4 ตำบลนาดี อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร 74000

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลบ้านมหาชัย (อนุกุลราษฎร์)	2552
มัธยมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลบ้านมหาชัย (อนุกุลราษฎร์)	2558

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ nackkok662@gmail.com

ชื่อ นามสกุล ศุภากร วงศ์พลทรัพย์
วัน เดือน ปีเกิด 23 สิงหาคม 2539
ภูมิลำเนา 6/127 หมู่ 4 ถนนบางกรวย-ไทรน้อย ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดวิมุตยาราม	2551
มัธยมศึกษา	โรงเรียนวิมุตยารามพิทยากร	2558

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ Supakron23083900@gmail.com

ชื่อ นามสกุล สุกฤต อิ่มอารมณ
วัน เดือน ปีเกิด 28 พฤศจิกายน 2540
ภูมิลำเนา 129/5 ถนนเลียบทางรถไฟบางขุนนนท์ แขวงบางขุนนนท์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดบางขุนนนท์	2552
มัธยมศึกษา	โรงเรียนที่ปังกวิทยาพัฒนาในพระราชูปถัมภ์	2555
ระดับ ปวช.	โรงเรียนจิตรลดาสายวิชาชีพ	2558

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ t o e y 8014 @ gmail.com