



การเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต

COMPARISON OF COOLING METHODS WHILE
DRILLING COMPOSITE MATERIAL

เพ็ญกมล หมาย

PHUOCLAP MAI

ณัฐวดี สุมาวงศ์

NATTAWADEE SUMAWONG

นภัสกร จินดาวงศ์

NAPHATSAKON CHINDAUWONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต

COMPARISON OF COOLING METHODS WHILE
DRILLING COMPOSITE MATERIAL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF COOLING METHODS WHILE
DRILLING COMPOSITE MATERIAL



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS CHUMPHON PROVINCE
2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING


KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

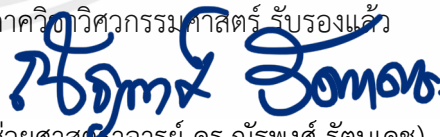
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต
PROJECT TITLE COMPARISON OF COOLING METHODS WHILE DRILLING
COMPOSITE MATERIAL
ชื่อนักศึกษา นายเพ็ภกหลับ นาย รหัสประจำตัว 62201023
นางสาวณัฐวดี สุมาวงศ์ รหัสประจำตัว 62201051
นางสาวนภัสกร จินดาวงศ์ รหัสประจำตัว 62201061
ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์
ปริญญาานิพนธ์

| คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ | | | ลายมือชื่อ |
|----------------------------|-------------|------------------|---|
| ผศ.ดร.ชมพูนุช | กุลเกตุวงศ์ | กรรมการสอบ |  |
| ผศ.ดร.ดิษฐพร | ตุงโสธานนท์ | อาจารย์ที่ปรึกษา | |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 9 มิถุนายน 2566 เวลา 12:30 – 13:30 น.

สถานที่สอบ ตึก B ห้อง B213 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
เขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 16 มิถุนายน 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | |
|--------------------|---|-----------|--------------|----------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | การเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต | | | |
| ชื่อนักศึกษา | นายเพ็ภอหลัก | มาย | รหัสประจำตัว | 62201023 |
| | นางสาวณัฐวดี | สุมาวงศ์ | รหัสประจำตัว | 62201051 |
| | นางสาวนภัสกร | จินดาวงศ์ | รหัสประจำตัว | 62201061 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | | | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเครื่องกล | | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ | | | |

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจาะวัสดุคอมโพสิตโดยเฉพาะคาร์บอนไฟเบอร์ในกรณีที่ไม่มีการหล่อเย็นและหล่อเย็นด้วยน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงาน การสั่นสะเทือนทางกล อุณหภูมิ และลักษณะของรูเจาะ โดยทำการทดสอบเจาะแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์แบบเนื้อเรียบ 3K หนา 3 mm ด้วยดอกสว่านไฮสปีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ใช้อัตราการกัดชิ้นงานที่ 0.04 0.08 และ 0.15 mm/s รอบการหมุนของดอกสว่าน 300 500 800 1000 1200 และ 1600 rpm ใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิด Soluble cutting oils เป็นแบบผสมน้ำ อัตราส่วนผสมคือ 1:20 โดยปริมาตรในการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า การหล่อเย็นด้วยของเหลวขณะเจาะที่รอบการหมุนดอกสว่าน 300 rpm อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการเจาะรูบนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยมีค่าการใช้พลังงานในการเจาะ 12.96 W อุณหภูมิขณะเจาะเท่ากับ 50.8 °C ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดระหว่างการเจาะรู 1.13 m/s และเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) พบว่ามีความเสียหายทางกายภาพที่น้อยที่สุด

คำสำคัญ : คาร์บอนไฟเบอร์, ดอกสว่านไฮสปีด, การสั่นสะเทือน

| | | | |
|-----------------------|--|-------------|----------------------------|
| Thesis | COMPARISON OF COOLING METHODS WHILE DRILLING COMPOSITE MATERIAL | | |
| Student | Mr. Phuoclap | Mai | Student ID 62201023 |
| | Mrs. Nattawadee | Sumawong | Student ID 62201051 |
| | Mrs. Naphatsakon | Chindauaong | Student ID 62201061 |
| Degree | Bachelor of Engineering | | |
| Program | Mechanical Engineering | | |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Dithaporn Thungsotanon | | |

ABSTRACT

The objective of this project is to study the methods for drilling of composite materials, specifically carbon fiber, under conditions of dry air and water-mixed cutting oil, in order to compare energy consumption, mechanical vibration, temperature, and hole characteristics. In the experiment, the 3 mm thickness of smooth-textured 3K carbon fiber sheets were drilled with the 10 mm diameter of high-speed drill. The feed rates were varied 0.04, 0.08 and 0.15 mm/s and the spindle speeds of 300, 500, 800, 1000, 1200 and 1600 rpm. Soluble cutting oils were mixed with water at a ratio of 1:20 by volume for the coolant. The results found that using the coolant for drilling the carbon fiber sheet with the spindle speed of 300 rpm and the feed rate of 0.04 mm/s was the most suitable condition. The energy consumption, temperature, maximum vibration under the appropriate condition were 12.96 W, 50.8 °C and 1.13 m/s, respectively. Moreover, this condition caused the least damage characteristic.

Keywords: Carbon fiber, High-speed drill bit, Vibration

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย เป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะและข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดย รวมถึงภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่อนุเคราะห์ทุนสนับสนุนงานวิจัยและสถานที่สำหรับการดำเนินงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนสำคัญในการศึกษา และสนับสนุนด้านกำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกท่านทั้งสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตร และวิศวกรรมพลังงานในการช่วยเหลือการทำงาน ตลอดจนบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้การสนับสนุนมาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้เสร็จลงด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เพื่อกลับ มาย

ณัฐวดี สุมาวงศ์

นภัสกร จินดาวงศ์

มิถุนายน 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญรูป | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| 1.6 แผนการดำเนินงาน | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุคอมโพสิต | 5 |
| 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับดอกสว่าน | 8 |
| 2.3 การเจาะรูวัสดุคอมโพสิต | 11 |
| 2.4 น้ำมันหล่อเย็น | 12 |
| 2.5 เครื่องวัดแรงบิด | 15 |
| 2.6 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน | 16 |
| 2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด | 18 |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 19 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน | 22 |
| 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 22 |
| 3.2 ขั้นตอนการขึ้นตอนการสร้าง Dynamic torque sensor holder | 27 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง | 28 |
| 3.4 ขั้นตอนการนำผลมาวิเคราะห์ | 30 |
| 3.5 การทดลองหาค่าการใช้พลังงานในการเจาะ | 31 |
| | |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล | 32 |
| 4.1 ผลการศึกษาการใช้พลังงานระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต | 32 |
| 4.2 ผลการศึกษาการสั่นสะเทือนระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต | 34 |
| 4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต | 35 |
| 4.4 ผลการศึกษาลักษณะการคงรูปของรูเจาะ | 37 |
| | |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | 42 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 42 |
| 5.2 ปัญหาที่พบ | 42 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 42 |
| | |
| เอกสารอ้างอิง | 43 |
| ภาคผนวก | 47 |
| ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง | 48 |
| ภาคผนวก ข รูปภาพผลการทดลอง | 52 |
| ภาคผนวก ค แบบตัวยึดเครื่องวัดแรงบิด | 56 |
| ภาคผนวก ง ภาพประกอบการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง | 62 |
| ประวัติผู้เขียน | 66 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 1.1 | ตารางดำเนินงานของวิจัยการเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต | 3 |
| 2.1 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหล่อลื่นและหล่อเย็นแต่ละชนิด | 14 |
| ก.1 | บันทึกผลค่าการทดลองการใช้พลังงานในเงื่อนไขอากาศแห้ง | 49 |
| ก.2 | บันทึกผลค่าการทดลองการใช้พลังงานในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็น | 49 |
| ก.3 | บันทึกผลค่าการทดลองการสิ้นสະเทือนสูงสุดของเงื่อนไขอากาศแห้ง | 50 |
| ก.4 | บันทึกผลค่าการทดลองการสิ้นสະเทือนสูงสุดของเงื่อนไขน้ำหล่อเย็น | 50 |
| ก.5 | บันทึกผลค่าการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรูเงื่อนไขอากาศแห้ง | 51 |
| ก.6 | บันทึกผลค่าการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรูเงื่อนไขน้ำหล่อเย็น | 51 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|--|----|
| 1.1 | แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะ เจาะวัสดุคอมโพสิต | 2 |
| 2.1 | วัสดุคอมโพสิต (Composite Materials) | 4 |
| 2.2 | กระบวนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) | 5 |
| 2.3 | เส้นใย PAN (Polyacrylonitrile Fibers) | 6 |
| 2.4 | การผลิตและตัวอย่างคาร์บอนไฟเบอร์แบบพิตช์ | 7 |
| 2.5 | ตัวอย่างประเภทของดอกสว่าน | 9 |
| 2.6 | ลักษณะทางกายภาพของดอกสว่าน | 10 |
| 2.7 | การใช้น้ำมันตัดกลึงในงานกัด | 12 |
| 2.8 | เครื่องวัดแรงบิดแบบหมุน (Rotating Torque Sensor) | 16 |
| 2.9 | เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter) | 17 |
| 2.10 | ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ | 18 |
| 2.11 | กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) | 19 |
| 3.1 | แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ | 22 |
| 3.2 | ดอกสว่านไฮสปีด | 22 |
| 3.3 | น้ำหล่อเย็น | 23 |
| 3.4 | เครื่องวัดแรงบิด | 23 |
| 3.5 | เครื่องวัดการสั่นสะเทือน | 24 |
| 3.6 | เครื่องมือลึง | 24 |
| 3.7 | กล้องขยาย Nikon SMZ660 | 25 |
| 3.8 | กล้องอินฟราเรดจับความร้อน | 25 |
| 3.9 | กล้องถ่ายรูป Canon EOS 250D | 26 |
| 3.10 | Laser Displacement Sensor | 26 |
| 3.11 | ปั๊มจ่ายสารเคมี (Dosing pump) | 27 |
| 3.12 | ออกแบบ Dynamic torque sensor holder ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2020 | 27 |
| 3.13 | แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลองตามเงื่อนไข | 28 |
| 3.14 | ติดตั้ง Dynamic torque sensor holder | 29 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|---|----|
| 3.15 | ติดตั้งอุปกรณ์และตรวจเช็คความพร้อมในการใช้งาน | 29 |
| 3.16 | เริ่มทำการเจาะแผ่นคาร์บอนตามเงื่อนไขที่กำหนด | 30 |
| 3.17 | ใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูลักษณะภายนอกและภายในของรูเจาะ | 30 |
| 4.1 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับระยะเวลาและระยะทางในเจาะเงื่อนไขอากาศแห้ง อัตราการกัดชิ้นงานที่ 0.04 mm/s รอบหมุนดอกสว่าน 300rpm | 33 |
| 4.2 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพลังงานรวมในการเจาะรูกับรอบการหมุนดอกสว่าน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็น | 34 |
| 4.3 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนสูงสุดในการเจาะรูกับรอบการหมุนดอกสว่าน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้งและแบบน้ำหล่อเย็น | 35 |
| 4.4 | แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นกับเงื่อนไขการเจาะรูที่ต่างกัน | 36 |
| 4.5 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดในการเจาะรูกับรอบการหมุนของดอกสว่าน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้ง | 37 |
| 4.6 | ลักษณะความเสียหายของรูเจาะที่เกิดขึ้น | 38 |
| 4.7 | ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน | 39 |
| 4.8 | ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.08 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน | 39 |
| 4.9 | ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.15 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน | 40 |
| 4.10 | ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็นที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน | 40 |
| 4.11 | ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็นที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.08 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน | 41 |
| 4.12 | ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็นที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.15 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน | 41 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| ข.1 | บันทึกภาพการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรู (Dry air, 0.04 mm/s และ Dry air, 0.08 mm/s) | 53 |
| ข.2 | บันทึกภาพการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรู (Dry air, 0.15 mm/s และ Coolant, 0.04 mm/s) | 54 |
| ข.3 | บันทึกภาพการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรู (Coolant, 0.08 mm/s และ Coolant, 0.15 mm/s) | 55 |
| ค.1 | ชิ้นส่วนประกอบของ Dynamic torque sensor holder | 57 |
| ค.2 | ชิ้นส่วนประกอบของ Dynamic torque sensor holder (Curved steel) | 58 |
| ค.3 | ชิ้นส่วนประกอบของ Dynamic torque sensor holder (Flat bars steel) | 59 |
| ค.4 | ชิ้นส่วนประกอบของ Dynamic torque sensor holder (Flat bars steel) | 60 |
| ง.1 | การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง | 62 |
| จ.1 | หน้าโปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการทดลองหาค่าแรงบิด | 64 |
| จ.2 | Block diagram โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการทดลองหาค่าแรงบิด การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง | 65 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง เนื่องจากมีการนำวัสดุต่างชนิดมาผสมกันจนมีคุณสมบัติมากขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบา ทนต่อสารเคมี และมีการขยายตัวต่ำเมื่อโดนความร้อน นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมต่างๆ และงานที่ต้องการความทนทานในระยะยาว แต่วัสดุคอมโพสิตนี้มีราคาที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ ซึ่งวัสดุคอมโพสิตนี้มีการเติบโตในด้านการตลาดในภูมิภาคยุโรปกลาง อเมริกา เอเชียแปซิฟิกและแอฟริกา เนื่องจากมีการนิยมใช้วัสดุคอมโพสิตไปทำการผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์เป็นจำนวนมาก [1]

ในปัจจุบันการเจาะรูวัสดุเป็นกระบวนการที่พบได้บ่อยในงานสร้างอุปกรณ์หรือก่อสร้างต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนในงานผลิต ยานพาหนะ สิ่งของเครื่องใช้ประจำวัน รวมไปถึงการก่อสร้างอาคารต่างๆ [2] ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเจาะรูบนชิ้นงานต่างๆไม่ควรมองข้ามเป็นอันขาด เนื่องจากการเจาะรูนั้นจะมีผลที่ตามมา ยกตัวอย่างเช่น การสั่นสะเทือนทางกลของชิ้นงาน อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะเจาะชิ้นงาน อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้ ซึ่งการสั่นสะเทือนของชิ้นงานนี้อาจเกิดได้จากการที่เราเลือกดอกสว่านที่มีร่องคายเศษไม่เหมาะสมกับความลึกของรูเจาะจึงส่งผลให้เกิดการเสียดทานที่แรงขึ้นเรื่อยๆ จนอาจทำให้ออกสว่านเกิดการหักได้ เพราะฉะนั้นในการเจาะรูแต่ละครั้ง เราควรเผื่อระยะร่องคายเศษเป็น 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกสว่าน [3] แม้แต่เรื่องอุณหภูมิถ้าหากตัววัสดุที่เราเลือกใช้ในการเจาะงานมีคุณสมบัติที่ทนความร้อนได้ไม่ดีพอมากนัก ก็อาจส่งผลให้รูเจาะที่เราต้องการเกิดการคลาดเคลื่อนได้ เพราะความร้อนจากดอกสว่านและตัวชิ้นงานอาจเกิดการละลายทำให้เศษชิ้นงานข้างๆเกิดการละลายออกไปเป็นวงกว้างขึ้น ก่อให้เกิดชิ้นงานที่ไม่ได้ตามความต้องการ

ดังนั้นการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเจาะวัสดุคอมโพสิตมีความจำเป็น โครงการนี้ทำการศึกษาผลของการหล่อเย็นและไม่หล่อเย็นวัสดุคอมโพสิตขณะเจาะรู เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของรูเจาะ โดยในโครงการจะศึกษาถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเจาะรูวัสดุคอมโพสิต เพื่อที่จะหาผลลัพธ์เงื่อนไขของการเจาะที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้องต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะเชิงกลระหว่างการเจาะวัสดุคอมโพสิต กรณีที่มีการหล่อเย็นและไม่หล่อเย็น

1.2.2 เพื่อหาเงื่อนไขการเจาะรูวัสดุคอมโพสิตที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

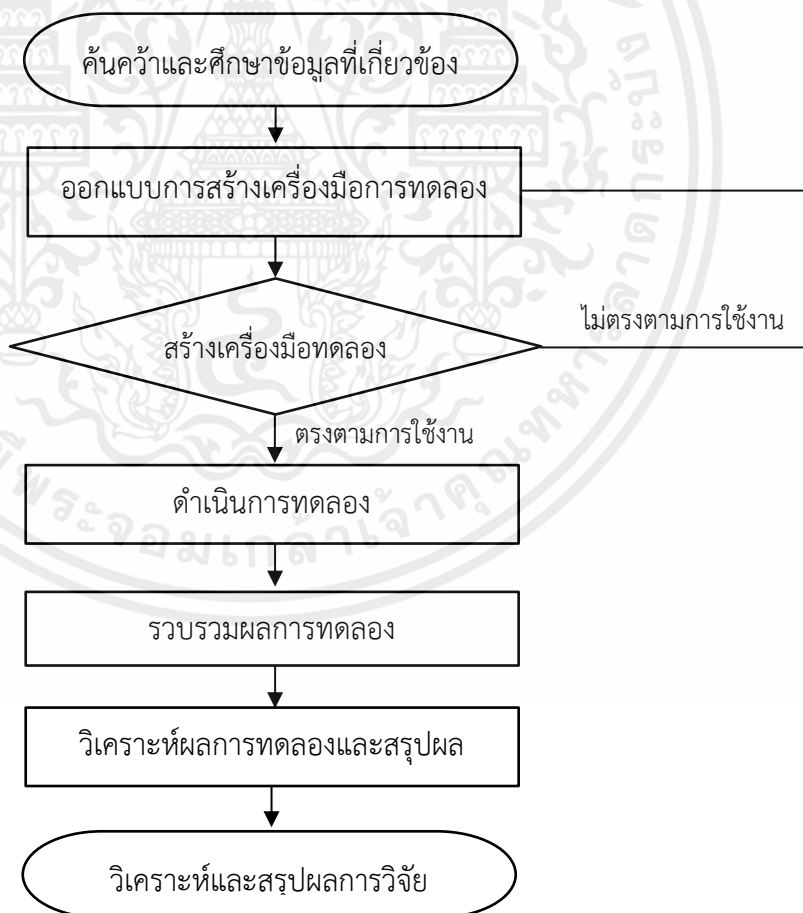
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์แบบเนื้อเรียบ 3K หน้า 3 mm
- 1.3.2 ใช้ดอกสว่านไฮสปีด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm มุมเจาะดอกสว่าน 135°
- 1.3.3 ใช้อัตราการกัดขึ้นงานที่ 0.04 0.08 และ 0.15 mm/s ในการทดลอง
- 1.3.4 ใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิด (Soluble cutting oils) แบบผสมน้ำ อัตราส่วนผสมคือ 1:20 โดยปริมาตร อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น 100 mL/min

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการหล่อเย็นแบบไหนที่จะส่งผลให้วัสดุนั้นมีผลลัพธ์ที่สมบูรณ์
- 1.4.2 สามารถทราบถึงความเร็วในการเจาะและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจาะวัสดุคอมโพสิต
- 1.4.3 สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานผลิตทางอุตสาหกรรม หรือการก่อสร้างต่างๆได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงานของวิจัยการเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิต

| การดำเนินงาน | ปี 2565 | | ปี 2566 | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | ส.ค.-ก.ย. | ต.ค.-พ.ย. | ธ.ค.-ม.ค. | ก.พ.-มี.ค. | เม.ย.-พ.ค. |
| 1. ค้นคว้าและศึกษาข้อมูล | ↔ | | | | |
| 2. ออกแบบเครื่องมือ | | ↔ | | | |
| 3. สร้างเครื่องมือ | | ↔ | | | |
| 4. ดำเนินการทดลอง | | | ↔ | | |
| 5. รวบรวมผลการทดลอง | | | | ↔ | |
| 6. วิเคราะห์ผลการทดลอง | | | | ↔ | |
| 7. สรุปผลการทดลอง | | | | ↔ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composite Materials)

วัสดุคอมโพสิต หรือ วัสดุผสม เป็นวัสดุที่มีการนำวัสดุทางเคมีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาประกอบรวมกัน เปลี่ยนเป็นวัสดุชิ้นใหม่ที่มีคุณสมบัติเชิงบวกมากกว่าเดิม วัสดุคอมโพสิตมีความทนทานและแข็งแรงต่อการกัดกร่อน ที่สำคัญคือมีน้ำหนักที่เบา จุดประสงค์ที่นำมาใช้งานก็เพื่อลดข้อบกพร่องของลักษณะงานด้วยการเพิ่มคุณสมบัติทางเคมีให้มีมากกว่า 2 ชนิด [1] เช่น อยากรู้ให้เรซินมีชั้นผิวที่มีความแข็งแรงมากขึ้นก็สามารถนำไปผสมกับเส้นใยแก้ว เพื่อให้เกิดเป็นชั้นผิวที่มีความแข็งแรงมากขึ้นจากคุณสมบัติเดิม วัสดุที่เป็นส่วนประกอบเหล่านี้เรียกว่าเมทริกซ์และการเสริมแรง โดยจะทำงานร่วมกันเพื่อสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นซึ่งเหนือกว่าวัสดุแต่ละชนิดด้วยตัวของมันเอง

โดยทั่วไปแล้ววัสดุเมทริกซ์จะเป็นโพลีเมอร์ เช่น อีพอกซีหรือโพลีเอสเตอร์เรซิน แม้ว่าจะสามารถใช้โลหะและเซรามิกได้เช่นกัน วัสดุเมทริกซ์เป็นสื่อที่อยู่รอบ ๆ ซึ่งยึดการเสริมแรงไว้และถ่ายโอนความเค้นระหว่างองค์ประกอบการเสริมแรง ในทางกลับกัน วัสดุเสริมแรงมักเป็นวัสดุที่แข็งแรงและแข็ง เช่น เส้นใยหรืออนุภาค ซึ่งฝังอยู่ภายในเมทริกซ์ การเสริมแรงช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความแข็ง และคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุผสม ทำให้แข็งแรงและทนทานกว่าวัสดุผสมเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composite Materials) [1]

วัสดุคอมโพสิตมีข้อดีหลายประการเหนือวัสดุแบบดั้งเดิม สามารถออกแบบให้มีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง หมายความว่าน้ำหนักเบาแต่แข็งแรง พวกเขามักจะทนต่อการกัดกร่อน ความเมื่อยล้า และแรงกระแทกได้ดีเยี่ยม นอกจากนี้ ยังสามารถปรับแต่งวัสดุผสมให้มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น การนำความร้อน การนำไฟฟ้า หรือการทนไฟ ทำให้มีความหลากหลายสูงสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย เนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ วัสดุคอมโพสิตจึงถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การบินและอวกาศ

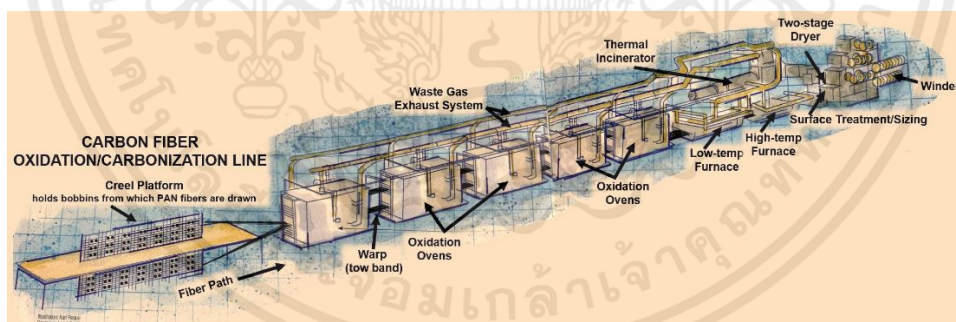
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยานยนต์ การก่อสร้าง เรือเดินทะเล อุปกรณ์กีฬา และอื่นๆ อีกมากมาย การใช้งานทั่วไป ได้แก่ ชิ้นส่วนเครื่องบิน ชิ้นส่วนรถยนต์ ไขว้ค้ำยันลม ตัวเรือ สะพาน และสินค้ากีฬา เช่น ไม้เทนนิสและไม้กอล์ฟ

2.1.1 คาร์บอนไฟเบอร์ (CF : Carbon Fiber)

คือเส้นใยที่นำมาผสมรวมกันตามโครงสร้างจนกลายเป็นแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งนำมาใช้เสริมกำลังให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถนำมาใช้กับโครงสร้าง สร้างอาคาร โรงงาน อาคาร คอนโด และในส่วนโครงสร้างของเสา คาน และพื้นได้ [2] จุดเด่นของคาร์บอนไฟเบอร์ คือน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย มีความแข็งแรง ไม่เป็นสนิม มีความทนทานต่อสารเคมีและความร้อนได้มาก ด้วยเหตุนี้ คาร์บอนไฟเบอร์จึงเป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การบิน อวกาศ ยานยนต์ [4] ส่วนในเรื่องของจุดด้อย คือ มีราคาที่สูง เพราะมีแหล่งนำเข้าของวัสดุที่แตกต่างกัน รวมถึงต้องมีผู้เชี่ยวชาญออกแบบการติดตั้ง [5] โดยคาร์บอนไฟเบอร์เป็นวัสดุเสริมแรงชนิดหนึ่งที่ใช้ในวัสดุผสมประกอบด้วยเส้นใยที่บาง แข็งแรง และน้ำหนักเบาซึ่งทำจากอะตอมของคาร์บอนเป็นหลัก เส้นใยมักจะรวมกับเมทริกซ์โพลิเมอร์ เช่น อีพอกซีเรซิน เพื่อสร้างวัสดุผสมเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP)

กระบวนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ประการแรก วัสดุตั้งต้นซึ่งโดยปกติจะเป็นเส้นใยโพลิเมอร์ เช่น โพลีอะคริโลไนไตรล์ (PAN) เรยอน หรือพิทช์ จะต้องผ่านอุณหภูมิสูงในสภาพแวดล้อมที่ขาดออกซิเจน กระบวนการนี้เรียกว่าคาร์บอนไนเซชันหรือไพโรไลซิส และจะกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่คาร์บอนออกจากวัสดุตั้งต้น ทั้งเส้นใยที่อุดมด้วยคาร์บอนไว้เบื้องหลัง



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) [4]

หลังจากคาร์บอนไนเซชันแล้ว เส้นใยคาร์บอนจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมีและทางกลต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและคุณสมบัติ การรักษานี้เรียกว่าการทำให้เป็นกราฟ และเป็นการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างที่เป็นระเบียบมากขึ้น ซึ่งช่วยปรับปรุงความแข็งแรงและความแข็งของเส้นใย โดยคาร์บอนไฟเบอร์มีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่างที่ทำให้เป็นที่ต้องการอย่างมากสำหรับการใช้งานหลายประเภท ซึ่งมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่ยอดเยี่ยม ทำให้แข็งแรงและเบากว่าวัสดุอื่นๆ เช่น เหล็กหรืออะลูมิเนียม คาร์บอนไฟเบอร์ยังมีความแข็ง ทำให้มีความแข็งและมิติที่มั่นคงเป็นเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ คาร์บอนไฟเบอร์ยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อน สารเคมี และความเมื่อยล้าได้ดีเยี่ยม มีการขยายตัวทางความร้อนต่ำและสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ คาร์บอนไฟเบอร์ยังนำไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถกระจายประจุไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แม้ว่าคาร์บอนไฟเบอร์จะมีข้อดีหลายประการ แต่สิ่งสำคัญคือต้องทราบว่าอาจมีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิตและความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้ผลักดันความก้าวหน้าในการลดต้นทุนและการนำคาร์บอนไฟเบอร์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.1.2 ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์

คาร์บอนไฟเบอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆ ตามกระบวนการผลิต การวางแนวของเส้นใย และคุณสมบัติ คาร์บอนไฟเบอร์แบ่งได้สองประเภทหลักๆคือ:

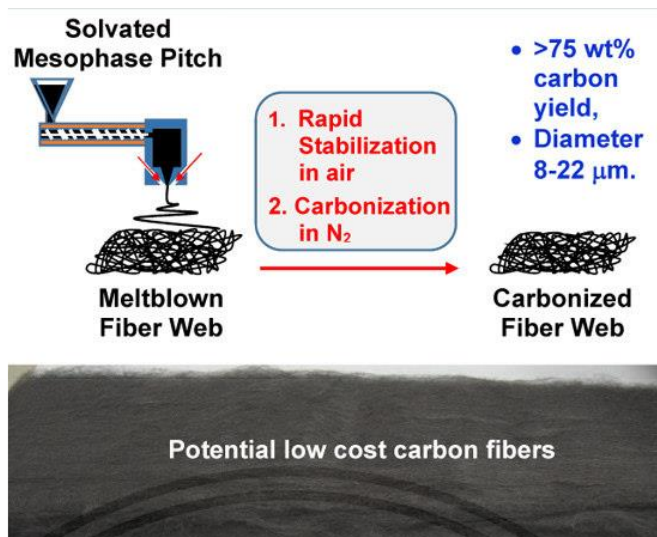
- คาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้ PAN (Polyacrylonitrile-based): เป็นคาร์บอนไฟเบอร์ประเภทที่พบมากที่สุดและผลิตโดยใช้โพลีอะคริโลไนไตรล์ (PAN) เป็นวัตถุดิบ เส้นใย PAN ผ่านกระบวนการต่างๆ มากมาย เช่น การทำให้เสถียร การทำให้เป็นคาร์บอน และการทำให้เป็นกราฟ เพื่อแปลงให้เป็นเส้นใยคาร์บอน คาร์บอนไฟเบอร์จาก PAN มีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่ดีเยี่ยม มีความแข็งแรงสูง และต้านทานการล้าได้ดี



รูปที่ 2.3 เส้นใย PAN (Polyacrylonitrile Fibers) [4]

- คาร์บอนไฟเบอร์แบบพิทช์ (Pitch-Based Carbon Fiber): คาร์บอนไฟเบอร์แบบพิทช์ผลิตจากน้ำมันถ่านหินหรือพิทช์ปิโตรเลียม พิทช์ถูกทำให้ร้อน ยืดออก และอัดลมเพื่อผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ คาร์บอนไฟเบอร์ประเภทนี้มีค่าโมดูลัสสูงกว่าและมีการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับคาร์บอนไฟเบอร์แบบ PAN มักใช้ในงานที่ต้องการการนำความร้อนสูง เช่น อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การผลิตและตัวอย่างคาร์บอนไฟเบอร์แบบพิตช์ [4]

2.1.2 คุณสมบัติเชิงกลของคาร์บอนไฟเบอร์

คาร์บอนไฟเบอร์ หรือไฟเบอร์แกรไฟต์ หรือ CF คือวัสดุทางวิทยาศาสตร์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างน้อยร้อยละ 90 มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 5-10 μm [4] ตัวคาร์บอนอะตอมจะถูกรวมกันในผลึกเป็นจำนวนมากหรือน้อยตามแนวขนานกับแกนยาวของเส้นใย คุณสมบัติคาร์บอนไฟเบอร์ มีดังนี้ ทนต่อสารเคมี น้ำหนักเบา ทนต่ออุณหภูมิสูง มีความแข็งแรงสูง อัตราการขยายตัวต่อความร้อนต่ำ และต้านทานแรงดึงสูง [4] โดยจะรายละเอียดคุณสมบัติทางกลที่สำคัญบางประการของคาร์บอนไฟเบอร์ดังนี้:

- ความแข็งแรงสูง: คาร์บอนไฟเบอร์เป็นที่รู้จักจากอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่สูง มีความต้านทานแรงดึง (ความเค้นสูงสุดที่สามารถทนได้โดยไม่แตกหัก) ซึ่งสูงกว่าเหล็กกล้าหรืออะลูมิเนียมอย่างมาก คอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์สามารถออกแบบให้มีระดับความแข็งแรงเฉพาะที่เหมาะสมกับความต้องการของการใช้งานเฉพาะ

- ความแข็ง: คาร์บอนไฟเบอร์มีความแข็งเป็นพิเศษ ทำให้มีอัตราส่วนความแข็งต่อน้ำหนักสูง ความแข็งของมันหรือที่เรียกว่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นนั้นมีค่ามากกว่าโลหะส่วนใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ คุณสมบัตินี้มีส่วนช่วยในความสมบูรณ์ของโครงสร้างและความเสถียรของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์

- น้ำหนักเบา: คาร์บอนไฟเบอร์มีน้ำหนักเบา จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่การลดน้ำหนักเป็นสิ่งสำคัญ ความหนาแน่นต่ำทำให้สามารถสร้างโครงสร้างน้ำหนักเบาได้โดยไม่กระทบต่อความแข็งแรงหรือประสิทธิภาพ คุณสมบัตินี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ ยานยนต์ และเครื่องกีฬา

- ความต้านทานต่อความเมื่อยล้า: คาร์บอนไฟเบอร์แสดงความต้านทานต่อความเมื่อยล้าได้ดีเยี่ยม หมายความว่าสามารถทนต่อความเครียดซ้ำๆ ได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด คุณสมบัตินี้ทำให้วัสดุเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องรับภาระเป็นรอบ เช่น ปีกเครื่องบินหรือชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงสั่นสะเทือน

- ทนต่อแรงกระแทก: คอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์มีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี ซึ่งหมายความว่าสามารถดูดซับและกระจายพลังงานเมื่อเกิดการกระแทก คุณสมบัตินี้ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการป้องกันแรงกระแทกหรือการชน เช่น หมวกกีฬาหรือชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์

- ทนทานต่อสารเคมี: คาร์บอนไฟเบอร์ทนทานต่อสารเคมีหลายชนิด รวมถึงสารกัดกร่อนและตัวทำละลาย คุณสมบัตินี้ช่วยให้วัสดุคอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์ทนต่อการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่รุนแรงโดยไม่เสื่อมสภาพหรือเสียหายอย่างมีนัยสำคัญ

- เสถียรภาพทางความร้อน: คาร์บอนไฟเบอร์มีความเสถียรทางความร้อนสูง ทำให้สามารถรักษาคุณสมบัติเชิงกลที่อุณหภูมิสูงได้ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ ซึ่งหมายความว่า จะขยายและหดตัวน้อยกว่าโลหะเมื่ออยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ คุณสมบัตินี้ทำให้วัสดุคอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความเสถียรทางความร้อน เช่น ส่วนประกอบด้านการบินและอวกาศ

สิ่งสำคัญคือต้องทราบว่าคุณสมบัติเชิงกลของคาร์บอนไฟเบอร์สามารถปรับปรุงหรือปรับแต่งเพิ่มเติมได้โดยการปรับปัจจัยต่างๆ เช่น การวางแนวของเส้นใย เศษส่วนปริมาตรของเส้นใย การเลือกเรซิน และกระบวนการผลิต สิ่งนี้ช่วยให้สามารถปรับวัสดุให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเฉพาะ ประสิทธิภาพที่สมดุล และการพิจารณาต้นทุน

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับดอกสว่าน (Drill bit)

ดอกสว่านเป็นเครื่องมือตัดที่ออกแบบมาสำหรับเจาะรูในวัสดุต่างๆ เช่น ไม้ โลหะ พลาสติก หรืออิฐก่อติดอยู่กับเครื่องเจาะหรือสว่านไฟฟ้าและหมุนด้วยความเร็วสูงเพื่อขจัดวัสดุและสร้างรู ดอกสว่านมีผลต่อรูปแบบงานที่ต้องการ ทั้งขนาดอุปกรณ์ ความลึกของรูวัสดุที่จะนำมาเจาะ เนื่องจากดอกสว่านทำมาจากวัสดุที่หลากหลายชนิดซึ่งส่งผลต่อความทนทาน [9] โดยทั่วไปแล้วดอกสว่านจะมีก้านทรงกระบอกที่พอดีกับหัวจับของเครื่องเจาะ ที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีส่วนตัดที่เรียกว่าจุดเจาะหรือส่วนปลายซึ่งมีหน้าที่สร้างรู การออกแบบและคุณลักษณะของดอกสว่านขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ทำการเจาะและลักษณะการใช้งานเฉพาะ โดยประเภทของดอกสว่านมีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งานด้านต่างๆ โดยจะยกตัวอย่างประเภทดอกสว่านดังนี้:

- Twist Drill Bit: ดอกสว่านประเภทที่พบมากที่สุด มีร่องเกลียวที่ช่วยให้เศษ (วัสดุที่ถูกนำออก) หลุดออกไปได้ ปลายของดอกสว่านบิตมักจะมีแหลมและมีคมตัดสองด้าน ดอกสว่านแบบบิตมีความทนแรงกระแทกและสามารถใช้เจาะวัสดุต่างๆ ได้

- Brad Point Drill Bit: ได้รับการออกแบบมาสำหรับการเจาะรูที่สะอาดและแม่นยำในไม้ มีเดือยแหลมปลายแหลมสองเดือยที่แถมเส้นใยไม้ ช่วยป้องกันไม่ให้เศษไม้หลุดร่อนหรือแตกเป็นเสี่ยงๆ บนผิวไม้
- Masonry Drill Bit: ดอกสว่านเจาะปูนใช้สำหรับเจาะวัสดุ เช่น คอนกรีต อิฐ หรือหิน พวกเขามีปลายคาร์ไบด์หรือเพชรที่สามารถทนต่อความแข็งของวัสดุก่ออิฐ คมตัดอาจมีรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานเฉพาะ
- Countersink Drill Bit: ได้รับการออกแบบมาเพื่อสร้างช่องรูปรวยในวัสดุ ช่วยให้หัวสกรูจมลงกับหรือใต้พื้นผิว ดอกสว่านเหล่านี้มักจะมีคมตัดหลายอันและสามารถใช้กับไม้ โลหะ หรือพลาสติกได้
- Forstner Drill Bit: ใช้สำหรับเจาะรูที่มีก้นเรียบและสะอาดในเนื้อไม้ มีจุดกึ่งกลางและขอบตัดเรียบ ทำให้ได้รูที่แม่นยำและเรียบ
- Hole Saw: ประกอบด้วยใบเลื่อยทรงกระบอกพร้อมฟันซึ่งติดตั้งอยู่บนดอกสว่าน ใช้สำหรับเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ขึ้นในวัสดุต่างๆ เช่น ไม้ พลาสติก หรือแผ่นโลหะ

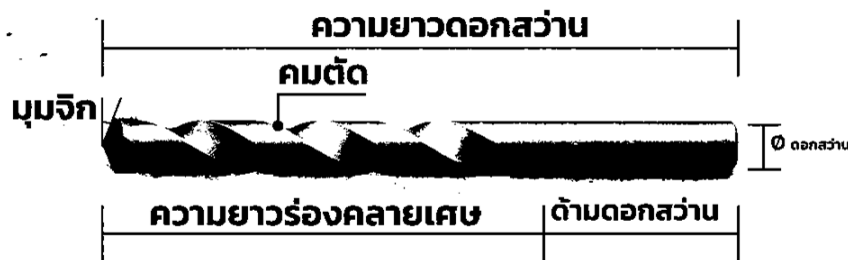


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างประเภทของดอกสว่าน [10]

2.2.1 ปัจจัยที่สำคัญของดอกสว่าน

- มุมคมตัด (Cutting Angle) ทำหน้าที่เหมือนลิ้มที่ตัดเฉือนเนื้อโลหะ
- มุมหลบ (Lip Clearance Angle) ช่วยลดการเสียดสี ลดแรงต้านของมุมผิวของดอกสว่าน
- มุมคายนอก (Rack Angle) ช่วยให้เศษของวัสดุคายออกมาในขณะที่ทำการเจาะวัสดุ
- มุมจิก (Point Angle) เป็นมุมที่จำเป็นต่อการใช้เจาะเนื้อวัสดุ โดยจะมีผลต่อแรงเจาะและช่วยในการนำเศษในขณะเริ่มการเจาะ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะทางกายภาพของดอกสว่าน [13]

และนอกจากนี้ควรพิจารณาปัจจัยสำคัญหลายประการเมื่อเลือกดอกสว่านสำหรับงานเจาะ ปัจจัยเหล่านี้รวมถึง:

- ความเข้ากันได้ของวัสดุ: ดอกสว่านที่แตกต่างกันได้รับการออกแบบมาสำหรับวัสดุเฉพาะ พิจารณาวัสดุที่คุณจะเจาะ เช่น ไม้ โลหะ คอนกรีต หรือพลาสติก แล้วเลือกดอกสว่านที่เหมาะสมกับวัสดุ นั้น การใช้ดอกสว่านผิดประเภทอาจทำให้การเจาะขาดประสิทธิภาพ อายุการใช้งานของดอกสว่าน ลดลง หรือแม้แต่ว่าความเสียหายต่อชิ้นงาน

- ขนาดดอกสว่านและประเภทก้าน: ขนาดของดอกสว่านกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่ สร้างขึ้น เลือกดอกสว่านที่มีขนาดเหมาะสมกับเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่ต้องการ นอกจากนี้ ตรวจสอบให้ แน่ใจว่าประเภทด้ามของดอกสว่านตรงกับหัวจับของเครื่องเจาะของคุณ ประเภทด้ามทั่วไป ได้แก่ ด้ามกลม ด้ามหกเหลี่ยม หรือ SDS (สำหรับสว่านโรตารี)

- ความเร็วตัดและอัตราการกัดชิ้นงาน: วัสดุต่างๆ ต้องการความเร็วตัดและอัตราการกัด ชิ้นงานที่แตกต่างกัน สิ่งสำคัญคือต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือพารามิเตอร์การตัดที่กำหนด ไว้สำหรับดอกสว่านและวัสดุเฉพาะเจาะจง ความเร็วตัดและอัตราการกัดชิ้นงานที่เหมาะสมช่วยให้ การเจาะมีประสิทธิภาพและป้องกันการสึกหรอหรือการแตกหักของดอกก่อนเวลาอันควร

- วัสดุและการเคลือบผิวดอกสว่าน: ดอกสว่านทำจากวัสดุต่างๆ รวมถึงเหล็กกล้าความเร็วสูง (HSS) โคบอลต์ คาร์ไบด์ หรือเพชร วัสดุแต่ละชนิดมีจุดเด่นและข้อจำกัดในด้านความทนทาน ทน ความร้อน และความเหมาะสมของวัสดุเฉพาะ ดอกสว่านบางชนิดมาพร้อมกับการเคลือบ เช่น ไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) หรือออกไซด์สีดำ ซึ่งช่วยปรับปรุงความแข็ง การหล่อลื่น และความทนทานต่อ ความร้อนของดอกสว่าน

- การออกแบบมุมแหลมและปลาย: การออกแบบมุมชี้และปลายของดอกสว่านจะส่งผลต่อ การตัดและประสิทธิภาพ วัสดุที่แตกต่างกันต้องการมุมจุดที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น โดยทั่วไปจะใช้ มุมชี้ 118° สำหรับการเจาะทั่วไป ในขณะที่มุม 135° เหมาะสำหรับวัสดุที่แข็งกว่า การออกแบบส่วน ปลาย เช่น จุดแยกหรือจุดนำ สามารถเพิ่มความแม่นยำและลดความเสี่ยงของการลื่นไถลระหว่างการ เจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความทนทานและอายุการใช้งาน: พิจารณาความทนทานและอายุการใช้งานที่คาดหวังของดอกสว่าน ดอกสว่านคุณภาพสูงและวัสดุที่ทนทานกว่ามีแนวโน้มที่จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และสามารถทนต่อสภาวะการเจาะที่หนักหน่วงกว่าได้ การลงทุนกับดอกสว่านคุณภาพดีเพื่อการใช้งานที่ยาวนานและประสิทธิภาพที่วางใจได้นั้นคุ้มค่า

เมื่อพิจารณาปัจจัยเหล่านี้และเลือกดอกสว่านที่เหมาะสมกับการเจาะ จะสามารถมั่นใจได้ว่าการเจาะจะมีประสิทธิภาพ การสร้างรูที่แม่นยำ และอายุการใช้งานเครื่องมือที่ยาวนานขึ้น

2.3 การเจาะวัสดุคอมโพสิต

การเจาะรูในวัสดุผสมเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างช่องเปิดหรือโพรงในโครงสร้างที่ทำจากวัสดุผสม วัสดุคอมโพสิตโดยทั่วไปประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกันสองชนิดหรือมากกว่ารวมกันเพื่อสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนือกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนประกอบแต่ละชิ้น วัสดุคอมโพสิตประเภทที่พบมากที่สุดคือการรวมกันของเส้นใย เช่น คาร์บอนหรือแก้ว ซึ่งฝังอยู่ในวัสดุเมทริกซ์ ซึ่งมักเป็นเรซินโพลีเมอร์ เมื่อกล่าวถึงการเจาะรูในวัสดุคอมโพสิต [13] มีข้อควรพิจารณาหลายประการ:

2.3.1 การเลือกใช้วัสดุ

วัสดุคอมโพสิตสามารถมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและเมทริกซ์ที่ใช้ วัสดุคอมโพสิตบางชนิดมีความเปราะบางมากกว่า ในขณะที่วัสดุอื่นมีความเหนียวมากกว่า คุณสมบัติของวัสดุจะส่งผลต่อกระบวนการเจาะและการเลือกใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ

2.3.2 การเลือกเครื่องมือ

เครื่องมือเฉพาะทางมักใช้สำหรับการเจาะวัสดุคอมโพสิตเพื่อลดความเสียหายและการหลุดร่อน เครื่องมือที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ ดอกสว่านคาร์ไบด์ ดอกสว่านเคลือบเพชร หรือดอกสว่านที่มีรูปทรงเฉพาะที่ออกแบบมาสำหรับวัสดุผสม เครื่องมือเหล่านี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อลดการเกิดความร้อนและป้องกันการดึงหรือหลุดของเส้นใย

2.3.3 พารามิเตอร์การตัด

จำเป็นต้องเลือกพารามิเตอร์การตัด เช่น ความเร็วเจาะ อัตราป้อน และระยะกินลึก เพื่อป้องกันความเสียหายต่อวัสดุผสม พารามิเตอร์ขึ้นอยู่กับวัสดุผสมเฉพาะที่กำลังทำการเจาะ และอาจต้องมีการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

2.3.4 การยึดชิ้นงาน

การยึดชิ้นงานคอมโพสิตอย่างเหมาะสมระหว่างการเจาะเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการเคลื่อนไหวหรือการสั่นสะเทือนที่อาจก่อให้เกิดความเสียหาย วิธีการยึดเช่นระบบหนีบหรือระบบกดสุญญากาศมักใช้เพื่อให้มั่นใจถึงความมั่นคงในระหว่างกระบวนการเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การหล่อเย็นและการหล่อลื่น

การหล่อเย็นและการหล่อลื่นมีบทบาทสำคัญในการเจาะวัสดุผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะอาจทำให้โครงสร้างคอมโพสิตเสียหาย ดังนั้นการใช้สารหล่อเย็นหรือสารหล่อลื่นจะช่วยกระจายความร้อนและลดความเสี่ยงของการหลุดร่อนหรือความเสียหายของเส้นใย

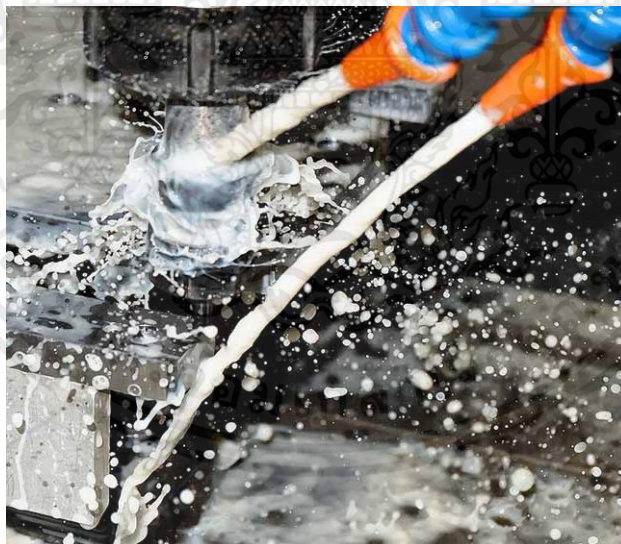
2.3.6 การควบคุมการเคลื่อน

การเคลื่อนหมายถึงการแยกหรือการแตกชั้นภายในวัสดุผสม เพื่อลดการหลุดร่อนระหว่างการเจาะ สามารถใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การเจาะรูนำ การเจาะแบบเจาะ (การเจาะเป็นระยะ) หรือการใช้การเจาะแบบขั้นบันไดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ เทคนิคเหล่านี้จะค่อยๆ แทรกซึมเข้าไปในชั้นคอมโพสิตและลดความเสี่ยงของการหลุดร่อน

2.3.7 การรักษาหลังการเจาะ

การรักษาหลังการเจาะ: หลังจากการเจาะ วัสดุคอมโพสิตอาจต้องได้รับการดูแลเพิ่มเติม เช่น การจมน้ำหรือการลบคม เพื่อให้แน่ใจว่าขอบเรียบและขจัดส่วนที่ยื่นออกมาหรือเสี้ยนคมที่อาจส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างของส่วนประกอบ

2.4 น้ำมันหล่อเย็น (Oil-based coolant)



รูปที่ 2.7 การใช้น้ำมันตัดกลึงในงานกัด [14]

รู้จักกันในชื่อของ คัตติ้งออยล์ (Cutting oil), น้ำมันหล่อเย็น (CNC coolant) หรือน้ำมันตัดกลึง โดยจะเป็นน้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่นหรือเพื่อลดความร้อนและการเสียดสีในขณะการตัด เจียรระไน บดโลหะ หรือเจาะวัสดุแข็งๆ ช่วยให้ไม่เกิดความร้อนมากเกินไปจนก่อให้เกิดประกายไฟหรือเครื่องมือมีการสึกหรอที่มากขึ้น [14] ซึ่งน้ำมันตัดกลึงหรือน้ำมันหล่อเย็นที่ได้นำมาใช้จะเป็นชนิดน้ำมัน (Soluble oil) มีส่วนประกอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oil base 80-90% , Additives 5-10% , Emulsifiers 5-10% เป็นส่วนที่ทำให้น้ำกับน้ำมันผสมกันจนกลายเป็นเป็นสีนํ้านม มีความสามารถในการหล่อลื่นได้ดีที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐาน 70-90% อัตราส่วนการผสมจะอยู่ที่ 1:20 [8]

2.4.1 คุณสมบัติเชิงกลของน้ำมันหล่อเย็น [16]

ใช้สำหรับงานตัดกลึง เจียรระโน เลื่อยโลหะ ทุกชนิด เป็นนํ้ายาอเนกประสงค์คุณภาพสูงประเภทผสมน้ำแล้วจะกลายเป็นสีนํ้านม มีคุณสมบัติป้องกันสนิมได้ดี แถมยังมีสารเพิ่มคุณภาพพิเศษที่ทำให้แทรกซึมการหล่อลื่นสูง ทั้งยังป้องกันการเกิดฟองและลดปัญหาการเน่าบูดได้ดี [16] และยังมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้:

- การหล่อลื่น: น้ำมันตัดกลึงทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างเครื่องมือตัดและชิ้นงาน ช่วยลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ ช่วยลดปฏิกิริยาเคมีของเครื่องมือและชิ้นงาน ลดการเกิดความร้อนให้น้อยที่สุด และป้องกันความเสียหายของเครื่องมือ การหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตัด ปรับปรุงผิวสำเร็จ และยืดอายุเครื่องมือ

- การกระจายความร้อน: หนึ่งในหน้าที่หลักของน้ำมันตัดกลึงคือการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดเฉือน ด้วยการดูดซับความร้อนจากบริเวณการตัด น้ำมันตัดจะช่วยรักษาอุณหภูมิให้ต่ำลง ป้องกันการขยายตัวทางความร้อนที่มากเกินไปและความไม่ถูกต้องของมิติที่เกี่ยวข้องในชิ้นงาน การกระจายความร้อนที่เหมาะสมยังสามารถลดความเสี่ยงต่อความเสียหายจากความร้อนทั้งต่อเครื่องมือและชิ้นงาน

- การคายเศษ: น้ำมันตัดอาจส่งผลต่อการก่อตัวของเศษและการคายเศษ สามารถช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างเศษและเครื่องมือตัด ช่วยให้การไหลของเศษเป็นไปอย่างราบรื่นและการอพยพออกจากพื้นที่การตัด การคายเศษที่มีประสิทธิภาพช่วยป้องกันการอุดตันของเศษและการตัดซ้ำ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อผิวสำเร็จและอายุการใช้งานของเครื่องมือ

และนอกจากนี้ น้ำมันหล่อเย็นยังช่วยจัดการความสะอาดและเศษ โดยน้ำมันหล่อเย็นสามารถช่วยในการจัดการเศษหรือเศษที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดเฉือน ด้วยการให้คุณสมบัติการหล่อลื่นและการชะล้าง น้ำมันหล่อเย็นช่วยในการกำจัดเศษออกจากบริเวณการตัด ป้องกันการสะสมของเศษที่สามารถขัดขวางกระบวนการตัดเฉือนและอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ โดยข้อเสียของน้ำมันหล่อเย็นคือช่วยป้องกันการเกิดสนิมกับชิ้นงานได้เพียงระยะสั้นๆ (ประมาณ 1 สัปดาห์) ไม่สามารถใช้กับงานที่หนักๆได้ เนื่องจากการหล่อลื่นสู่น้ำมันตัดกลึงชนิดน้ำมันล้วนไม่ได้ ซึ่งน้ำมันชนิดนี้มีอายุการใช้งานได้สั้น เนื่องจากเน่าเสียเร็ว อีกทั้งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อผิวหนังหากใช้ไม่ถูกวิธี [16]

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหล่อลื่นและหล่อเย็นในแต่ละชนิด [16]

| ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น (Types of Metal Working Fluids) | อัตราส่วน ของน้ำมันปิโตรเลียม | ประสิทธิภาพ ในการหล่อลื่น | ประสิทธิภาพ ในการหล่อเย็น |
|--|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| น้ำมันหล่อเย็นประเภท น้ำมันล้วน (Neat cutting oils) | 100% | ↓ | ↑ |
| น้ำมันหล่อเย็น ชนิดผสมน้ำ (Milky Soluble cutting oils) | มากกว่า 50% | | |
| น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสม น้ำแบบกึ่งสังเคราะห์ (Semi-Synthetic Soluble cutting oils) | น้อยกว่า 50% | | |
| น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสม น้ำแบบสังเคราะห์ (Synthetic Soluble cutting oils) | ไม่มี | | |

2.4.2 น้ำหล่อเย็นกับการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต [13]

การเจาะในวัสดุคอมโพสิตทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างดอกสว่านกับวัสดุ น้ำหล่อเย็นช่วยกระจายความร้อนนี้ ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสะสมมากเกินไป วัสดุคอมโพสิต ซึ่งรวมถึงวัสดุผสมคาร์บอนไฟเบอร์มีค่าการนำความร้อนต่ำ ซึ่งหมายความว่านำความร้อนได้ไม่ดี หากไม่มีน้ำหล่อเย็น ความร้อนสามารถสะสมและอาจทำให้วัสดุเสียหายได้ นำไปสู่การหลุดร่อน เรซินเสื่อมสภาพ หรือเส้นใยเสียหาย โดยน้ำหล่อเย็นจะช่วยรักษาอุณหภูมิให้ต่ำลงได้

วัสดุคอมโพสิตในการเจาะทำให้เกิดเศษหรือเศษเล็กๆที่สามารถสะสมอยู่ในรูที่เจาะและรบกวนกระบวนการเจาะ สารหล่อเย็นช่วยชะล้างเศษออก ช่วยให้เศษออกจากรูได้อย่างมีประสิทธิภาพ การคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษที่เหมาะสมช่วยให้มั่นใจได้ถึงเส้นทางการเจาะที่ชัดเจน ลดความเสี่ยงของการอุดตันของเศษ และรักษาความแม่นยำและคุณภาพการเจาะ

ผลกระทบเฉพาะของการใช้สารหล่อเย็นอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ประเภทของวัสดุผสม การออกแบบดอกสว่าน ประเภทและสูตรผสมสารหล่อเย็น พารามิเตอร์การเจาะ และข้อกำหนดเฉพาะของการใช้งาน ซึ่งควรปฏิบัติตามคำแนะนำและแนวทางของผู้ผลิตสำหรับการเลือกและการใช้น้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมเมื่อทำการเจาะวัสดุผสม

2.5 เครื่องวัดแรงบิด (Torque Sensor) [17]

เซ็นเซอร์วัดแรงบิด หรือที่เรียกว่าตัวแปลงสัญญาณแรงบิด (torque transducer) หรือเครื่องวัดแรงบิด (torque meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงบิด (แรงหมุน) ที่ใช้กับวัตถุหรือระบบ เป็นที่นิยมใช้ในหลากหลายการใช้งาน เช่น ยานยนต์ การบินและอวกาศ หุ่นยนต์ เครื่องจักรอุตสาหกรรม และห้องปฏิบัติการวิจัย หน้าที่หลักของเซ็นเซอร์วัดแรงบิดคือการวัดแรงบิดหรือแรงหมุนที่กระทำกับเพลลา ส่วนประกอบ หรือระบบอย่างแม่นยำ โดยจะให้ข้อมูลที่มีค่าสำหรับการตรวจสอบ การควบคุม และการวิเคราะห์แรงบิดในระบบทางกล เซ็นเซอร์วัดแรงบิดได้รับการออกแบบมาเพื่อจับการวัดแรงบิดทั้งแบบคงที่และแบบไดนามิก

เซ็นเซอร์วัดแรงบิดใช้เทคโนโลยีและหลักการต่างๆ เพื่อวัดแรงบิด โดยมีตัวอย่างเซ็นเซอร์แรงบิดบางประเภททั่วไป ได้แก่ :

- เซ็นเซอร์วัดแรงบิดสเตรนเกจ: เซ็นเซอร์เหล่านี้ใช้สเตรนเกจซึ่งเชื่อมต่อกับเพลลาหรือชิ้นส่วนที่มีแรงบิด เมื่อใช้แรงบิด สเตรนเกจจะเปลี่ยนรูป ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานนี้วัดและสัมพันธ์กับแรงบิดที่ใช้
- เซ็นเซอร์แรงบิดแมกนีโตอัสตริก: เซ็นเซอร์เหล่านี้ใช้หลักการของแมกนีโตสทริกชัน (Magnetostriction) ซึ่งวัสดุแม่เหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือขนาดเมื่ออยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก เมื่อมีการใช้แรงบิด การเสียรูปในองค์ประกอบการตรวจจับจะถูกวัดและแปลงเป็นค่าแรงบิดที่อ่านได้
- เซ็นเซอร์วัดแรงบิดแบบออปติคัล: เซ็นเซอร์เหล่านี้ใช้หลักการทางแสง เช่น การสะท้อนหรือการหักเหของแสงเพื่อวัดแรงบิด มักจะใช้เพลลาที่บิดงอได้พร้อมเครื่อง Encoder และเมื่อมีการใช้แรงบิด การหมุนของเพลลาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสัญญาณแสง ซึ่งสามารถตรวจจับและแปลงเป็นการวัดแรงบิดได้
- เซ็นเซอร์แรงบิดเพียโซอิเล็กทริก: เซ็นเซอร์เหล่านี้ใช้เอฟเฟกต์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ซึ่งวัสดุบางชนิดจะสร้างประจุไฟฟ้าเมื่อได้รับแรงเค้นเชิงกล วัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกรวมเข้ากับเซ็นเซอร์ และเมื่อมีการใช้แรงบิด มันจะสร้างความเครียดที่สร้างสัญญาณไฟฟ้าตามสัดส่วนของแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 เครื่องวัดแรงบิดแบบหมุน (Rotating torque sensor)

วัตถุประสงค์ของเซ็นเซอร์วัดแรงบิดในการหมุนคือการวัดแรงบิดหรือแรงหมุนที่กระทำกับเพลลาหรือ ส่วนประกอบที่หมุนอย่างแม่นยำ โดยจะให้ข้อมูลที่มีค่าสำหรับการตรวจสอบ การควบคุม และการวิเคราะห์ แรงบิดในระบบทางกล โดยทั่วไปแล้วเซ็นเซอร์จะประกอบด้วยสเตรนเกจซึ่งเชื่อมต่อกับเพลลาหรือชิ้นส่วนที่มี แรงบิด



รูปที่ 2.8 เครื่องวัดแรงบิดแบบหมุน (Rotating Torque Sensor)

เมื่อใช้แรงบิดกับชิ้นส่วนที่หมุน จะทำให้เกิดการเสียรูปในสเตรนเกจ ซึ่งทำให้ความต้านทานไฟฟ้า เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานนี้เป็นสัดส่วนกับแรงบิดที่ใช้ โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงความ ต้านทาน เซ็นเซอร์สามารถระบุแรงบิดที่กระทำได้ เซ็นเซอร์เหล่านี้ให้การวัดแรงบิดแบบเรียลไทม์ ทำให้ สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ ตรวจสอบประสิทธิภาพ และตรวจจับความผิดปกติหรือความล้มเหลวในระบบ หมุน โดยพบการใช้งานได้ในการวัดแรงบิดระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์ การตรวจสอบระบบส่งกำลัง การ ปรับกระบวนการทางอุตสาหกรรมให้เหมาะสม และการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ กังหัน ปั๊ม และ เครื่องจักรหมุนอื่นๆ

2.6 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter) [19]

เซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือน หรือที่เรียกว่าเครื่องตรวจจับการสั่นสะเทือน (vibration detector) หรือตัว แปลงสัญญาณการสั่นสะเทือน (vibration transducer) เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อวัดและตรวจจับการ สั่นสะเทือนหรือการสั่นในวัตถุหรือระบบต่างๆ โดยทั่วไปจะใช้ในงานด้านวิศวกรรม งานอุตสาหกรรม และงาน ด้านการวิจัย ซึ่งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

วัตถุประสงค์หลักของเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนคือการแปลงการสั่นสะเทือนทางกลเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ สามารถวัดและวิเคราะห์ได้ โดยทั่วไปแล้วเซ็นเซอร์จะประกอบด้วยองค์ประกอบการตรวจจับและวงจร อิเล็กทรอนิกส์ องค์ประกอบการตรวจจับซึ่งใช้หลักการต่างๆ เช่น เพียโซอิเล็กทริก ตัวเก็บประจุ หรือแม่เหล็ก ตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนทางกลและสร้างสัญญาณไฟฟ้าตามสัดส่วนของแอมพลิจูดการสั่นสะเทือน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter)

สัญญาณไฟฟ้าที่สร้างโดยเซ็นเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือนสามารถนำไปประมวลผล วิเคราะห์ หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ต่อไปนี้ อาจเชื่อมต่อกับระบบรับข้อมูล ระบบควบคุม หรืออุปกรณ์อื่นๆ สำหรับการตรวจสอบ การวิเคราะห์ หรือการควบคุมป้อนกลับตามเวลาจริง เซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนมักใช้ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อวินิจฉัยและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในเครื่องจักร โครงสร้าง หรือระบบ โดยมีรูปแบบการสั่นสะเทือนหลักๆ ที่พบได้ในงานทางวิศวกรรมดังนี้:

- การสั่นสะเทือนโดยอิสระ (Free Body Vibration): การสั่นสะเทือนที่ทิศทางของการสั่นสะเทือนเป็นไปได้อย่างอิสระ ตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน โดยไม่มีส่วนที่เป็นวัตถุ แข็งแกร่งมาขัดขวางทิศทางของชิ้นส่วนที่สั่นสะเทือนนั้นๆ
- การสั่นสะเทือนแบบขบกันหรือเคลื่อนที่ผ่าน (Meshing or Passing Vibration): การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงจุดใดจุดหนึ่งที่ชิ้นส่วน ที่ทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน หมุนหรือเคลื่อนที่ผ่าน
- การสั่นสะเทือนจากแรงเสียดทาน (Frictional Vibration): การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานในการหมุน หรือเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร

โดยทั่วไปการวัดการสั่นสะเทือนจะแสดงโดยใช้หน่วยเฉพาะเพื่อวัดปริมาณและอธิบายลักษณะของการสั่นสะเทือน การเลือกหน่วยการวัดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะที่กำลังวัดและข้อกำหนดมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ต่อไปนี้เป็นหน่วยที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการวัดการสั่นสะเทือน:

- การกระจัด (Displacement): การกระจัดหมายถึงระยะทางที่วัตถุหรือจุดเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมระหว่างการสั่นสะเทือน โดยปกติจะวัดเป็นหน่วยความยาว เช่น mm หรือ μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็ว (Velocity): ความเร็วแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของการกระจัดต่อหน่วยเวลาและเป็นการวัดความเร็วของวัตถุหรือจุดที่มีการสั่นสะเทือน โดยปกติจะแสดงเป็นหน่วยระยะทางต่อเวลา เช่น mm/s หรือ in/s

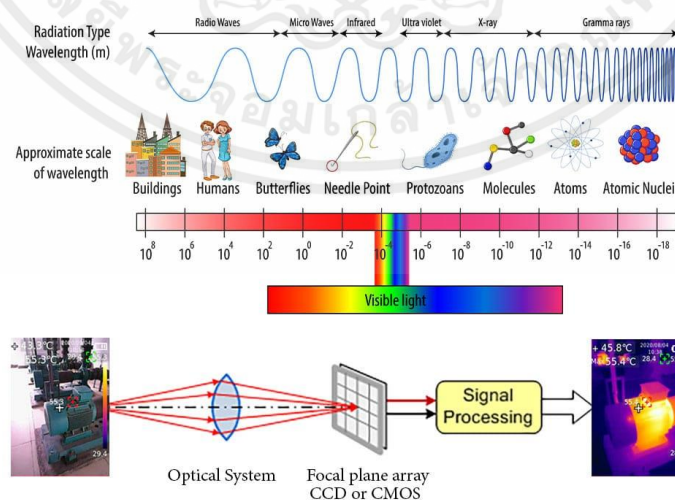
- ความเร่ง (Acceleration): ความเร่งวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อหน่วยเวลา วัดความเข้มหรือขนาดของการสั่นสะเทือนและมักใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ความเร่งโดยทั่วไปมีหน่วยเป็น m/s^2 หรือ g-forces (g) โดยที่ 1 g เท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

และนอกจากนี้ยังมีหน่วยการสั่นสะเทือนแบบความถี่ (Frequency) แสดงถึงจำนวนการสั่นสะเทือนหรือการสั่นที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา มีหน่วยวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hz) และหน่วยแอมพลิจูด (Amplitude) ซึ่งโดยทั่วไปจะวัดเป็นค่าพีคทูพีคหรือค่ากำลังสองเฉลี่ยรูท (RMS) และแสดงเป็นหน่วยที่สอดคล้องกับปริมาณที่วัดได้ (เช่น mm m หรือ g)

2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared Thermometer) [20]

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดหรือเรียกว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส (non-contact thermometer) หรือปืนวัดอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยไม่ต้องสัมผัสทางกายภาพกับวัตถุหรือพื้นผิวที่กำลังวัด ทำงานโดยใช้หลักการตรวจจับและวัดรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกมาจากวัตถุ

โดยวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์สัมบูรณ์ ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $-459.67\text{ }^{\circ}\text{F}$) จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดจับรังสีนี้โดยใช้เซ็นเซอร์และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เช่น เซ็นเซอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยเลนส์เพื่อโฟกัสรังสีอินฟราเรดและเครื่องตรวจจับเพื่อแปลงรังสีเป็นสัญญาณไฟฟ้า การอ่านอุณหภูมิถูกกำหนดโดยการวัดความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกมาจากวัตถุ และใช้อัลกอริทึมและการสอบเทียบเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นค่าอุณหภูมิ ผลลัพธ์มักจะแสดงบนหน้าจอดิจิทัล



รูปที่ 2.10 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องจับความร้อนหรือที่เรียกว่ากล้องอินฟราเรดหรือกล้องถ่ายภาพความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อสร้างภาพตามความแตกต่างของอุณหภูมิในวัตถุหรือสภาพแวดล้อม ช่วยให้มองเห็นรูปแบบความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับรังสีอินฟราเรดมันจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะถูกประมวลผลเพื่อสร้างภาพความร้อน ภาพจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นสีหรือเฉดสีต่างๆ ทำให้สามารถแสดงภาพการกระจายความร้อนทั่วทั้งฉากหรือวัตถุได้



รูปที่ 2.11 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) [21]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pradeep Krishnan G et al. [23] มีการศึกษาการเจาะ SS 304 ภายใต้งานแบบแห้ง และแบบใช้น้ำหล่อเย็น ที่ความเร็ว 90 mm/min และอัตราการกัดชิ้นงาน 525 mm/min มีวิธีวัดการสึกหรอด้านข้างแบบใหม่ซึ่งได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับวัดการสึกหรอของดอกสว่านให้ได้แม่นยำ เนื่องจากผลลัพธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูมีการสูญเสียไปมากจากการเสียดสีของของมีคม การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพื้นผิวที่ครอบคลุมสำหรับการตัดเฉือนภายใต้ “ความเร็วสูง” เช่น ความขรุขระของพื้นผิว ความผิดปกติของพื้นผิว เศษที่เกิดจากการหลุดลอก มีการรายงานเป็นครั้งแรก ส่วนเรื่องการเกิดเสี้ยนของวัสดุที่มาจากการเจาะใกล้ๆ กับขอบรูเจาะที่ดอกสว่านออกมาจะเห็นได้จากการตัดเฉือนแบบแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็น นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์อายุการใช้งานของเครื่องมือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรู และประสิทธิภาพของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการเจาะ

B. Tisdelen et al. [24] ในช่วงระยะไม่นานมานี้ มีการหลีกเลี่ยงการใช้น้ำมันตัดกลึงจากการผลิต การตัดเฉือนวัสดุแบบแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็นในปริมาณที่ต่ำ ได้รับความนิยมนอกจากอุตสาหกรรม แต่มีข้อจำกัดอยู่ หลักในการประยุกต์ใช้ MQL คือกลไกที่ยังไม่ค่อยเป็นที่เข้าใจกัน งานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ที่ได้มาจากการเฉือนโดยใช้น้ำมันหล่อเย็น MQL ในปริมาณที่ต่างกัน และแบบแห้ง ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาโดยแสดงถึงการสึกหรอ แรงบิด และพื้นผิว การทดสอบเจาะรูด้วยมีดแบบถอดเปลี่ยนได้แสดงให้เห็นว่า MQL และแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งส่งผลให้การสึกหรอของมีดลดลง แต่ในทางกลับกันส่งผลให้พื้นผิวของตัววัสดุไม่เรียบและยังมีเศษที่หลุดลอกจากการตัดเฉือนที่เยอะ

Robson Bruno Dutra Pereira et al. [25] การกัดแบบเฮลิคอลลเป็นกระบวนการสร้างรูที่มีข้อดีมากเมื่อเทียบกับการเจาะรูแบบทั่วไป แบบเฮลิคอลลเครื่องมือจะหมุนไปตามแกนรอบแกนของมันเพราะมีจลศาสตร์ที่ยืดหยุ่น ทำให้การสึกหรอของตัวเครื่องมือและพื้นผิวของรูเจาะมีสภาพที่สมบูรณ์มากขึ้น บทวิจัยนี้จะเป็นการทบทวนกระบวนการกัดเกลียว นำเสนอจลศาสตร์เพื่อสร้างมาตรฐานระบบเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว อีกทั้งอธิบายถึงเศษที่ไม่เสีรูป นอกจากนี้ยังสรุปผลการศึกษาแรงตัดเฉือนและอุณหภูมิยืนยันให้เห็นว่าการกัดแบบเฮลิคอลลทำให้รูที่ตัดเฉือนมีความเรียบ อีกทั้งยังมีการศึกษาการใช้เครื่องมือและการสึกหรอในการกัดแบบเฮลิคอลล

Arjun Nagaraj et al. [26] วัสดุคอมโพสิตโพลีเอสเตอร์เสริมคาร์บอนไฟเบอร์ เป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมการบินและอวกาศและยานยนต์ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีเยี่ยม เนื่องจากลักษณะที่แตกต่างกันของคอมโพสิตจึงมักเป็นงานที่ยากในการกลึงซึ่งแตกต่างจากโลหะ โดยส่วนใหญ่มักใช้ในภาคการบินและอวกาศที่ต้องการชิ้นส่วนคุณภาพสูงสุดและความสมบูรณ์ของพื้นผิวชิ้นงาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการตัดเฉือนเมื่อเจาะวัสดุคอมโพสิต ภายใต้สภาวะแห้ง แข็ง การหล่อลื่นปริมาณต่ำ และไฮบริด และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการเจาะแบบแห้ง จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าการเจาะวัสดุคอมโพสิต โดยใช้สารหล่อเย็น / น้ำมันหล่อลื่น มีประสิทธิภาพมากกว่าการเจาะแบบแห้ง

Ferit Fici. [27] การเจาะเป็นหนึ่งในกระบวนการใช้กันแพร่หลายในการผลิตและประกอบชิ้นส่วนที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ดอกสว่านเสื่อมสภาพเนื่องจากแรงและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจาะ การสึกหรอของดอกสว่านเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญเมื่อเจาะวัสดุธรรมดาหรือวัสดุคอมโพสิต ในการศึกษาครั้งนี้มีการตรวจสอบกลไกการสึกหรอระหว่างการเจาะคอมโพสิต ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เพราะฉะนั้นดอกสว่าน HSS มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm และมุมปลาย 118° เพื่อทำการทดสอบการเจาะการทดสอบการเจาะในสภาพแห้งบนเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน มีการเลือกความเร็วในการตัด 15, 20 และ 25 mm/min และอัตราการป้อน 0.1, 0.1 และ 5 mm/rev

Christopher Krebs al. [28] ในการตัดเฉือนรูสึกหรอด้วยดอกสว่านบิตในการเจาะรูด้วยดอกสว่านบิตจะมีการสั่นสะเทือนทำให้เกิดความผิดพลาดของชิ้นงานเนื่องจากการสั่นสะเทือนของชิ้นงานทำให้เกิดการเสียดสีของรูเจาะจึงทำให้รูเจาะมีความไม่สมบูรณ์ บทวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองทางกายภาพระหว่างพื้นที่สัมผัสกับระยะขอบของเครื่องมือและชิ้นงานเพื่อทำนายการหมุนเวียนของรูเจาะเพื่อพัฒนาเครื่องมือเจาะที่ช่วยลดการสั่นสะเทือนและนำไปปรับปรุงให้ดีขึ้น

Shengguo ZHANG et al. [29] การเจาะโดยใช้แรงสั่นสะเทือนแบบอัลตราโซนิก (UVAD) เจาะสำเร็จในพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน/พลาสติก (CFRP) แต่ก็พบข้อผิดพลาดหลายอย่างในกระบวนการ CFRP ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพของรู คอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์/บิสมาลีอีไมด์ (BMI) เป็น CFRP ชนิดที่มีความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทนต่อความร้อน ซึ่งมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากโครงสร้างมีน้ำหนักเบาและทนทานต่ออุณหภูมิ ในด้านการบินและอวกาศ ในการแก้ไขข้อบกพร่องระหว่างการผลิตของวัสดุผสมคาร์บอนไฟเบอร์/BMI ใน การศึกษานี้ได้ทำการสังเกตและวิเคราะห์การเกิดข้อผิดพลาดในการเจาะแบบธรรมดา (CD) และ UVAD จาก การทดลองพบว่า UVAD สามารถปรับปรุงคุณภาพของรูเจาะได้ โดยไม่มีการหลุดร่อนและเศษวัสดุ ใน ขณะเดียวกัน กลไกการแก้ไขข้อผิดพลาดและแรงขับเคลื่อนใน UVAD ได้รับการวิเคราะห์และตรวจสอบ ซึ่งวิธีการ กำจัดเศษวัสดุส่งผลกระทบต่ออาการก่อตัวของข้อผิดพลาดด้านทางออกของรูเจาะ สรุปได้ว่า UVAD เป็นเทคนิค การเจาะวัสดุผสมคาร์บอนไฟเบอร์/BMI ที่สามารถกำจัดเศษวัสดุที่ส่งผลกระทบต่ออาการเกิดข้อผิดพลาดของ ทางออกรูเจาะ

Abhinav Shard et al. [30] โพลีเอทรีไมด์เสริมด้วยเส้นใยคาร์บอน (CFRP) เป็นวัสดุคอมโพสิตขั้นสูงที่มี อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ในการศึกษาได้ทำการเจาะด้วยอัลตราโซนิกแบบโรตารีของคอมโพสิต CFRP และเปรียบเทียบกับวิธีการเจาะแบบโรตารีและการเจาะแบบปกติ มีการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การ เจาะต่างๆ ที่มีต่อแรงตัด อุณหภูมิ แรงบิดความขรุขระของพื้นผิว, อัตราการกำจัดวัสดุและรอยแตกขนาดเล็กที่ เกิดขึ้นกับพื้นผิวขอบเจาะ พบว่าความเร็วในการหมุน 2,500 rev/min อัตราการป้อน 10 mm/min ขนาด เม็ดเพชร 420 μm และ พลังอัลตราโซนิก 100 % ให้การตัดที่แม่นยำและลักษณะพื้นผิวที่เรียบ สามารถ นำไปใช้กับงานอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดรอยแตกขนาดเล็กและการหลุดร่อนของเส้นใย

Luis Filipe S. Devesa et al. [31] วัสดุคอมโพสิตได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะ จึงมีการนำมาทดสอบการตัดเฉือนซึ่งวิธีที่ใช้มากคือการเจาะ โดยวิธีการเจาะจะเป็นการยึดติดชิ้นส่วนกับ ชิ้นส่วนแบบไม่ถาวรเพื่ออำนวยความสะดวกในการซ่อมบำรุง จึงมีการศึกษาพารามิเตอร์การตัดเฉือนส่งผลกระทบต่ออาการการ แยกชั้นโดยการเจาะชุดคาร์บอนแผ่นโพลีเมอร์เสริมไฟเบอร์ เทคนิคการถ่ายภาพรังสีและการวิเคราะห์ภาพขั้น สูง พบว่าการใช้พารามิเตอร์การเจาะที่แตกต่างกัน ได้แก่ อัตราการป้อนสองอัตราในขณะที่รักษาความเร็ว ของสปินเดิลให้คงที่ และรูปทรงดอกสว่านที่แตกต่างกัน มีการตรวจสอบความเร็วรอบระหว่างการเจาะและ หลังการเจาะชิ้นส่วนได้รับการทดสอบแบบไม่ทำลายและทำลาย (ตลับลูกปืน, ตลับลูกปืนพิน) ผลปรากฏว่าถึง ความเร็วรอบจะแตกต่างกัน และส่วนขยายของชั้นผิวจะได้รับผลกระทบจากพารามิเตอร์การตัดเฉือนแต่การ จากทดลองไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ ดังนั้นการทดสอบตลับลูกปืนที่มีอยู่อาจไม่ใช้การทดสอบที่ เหมาะสมที่สุดในการขยายการแยกชั้นโดยการเจาะ

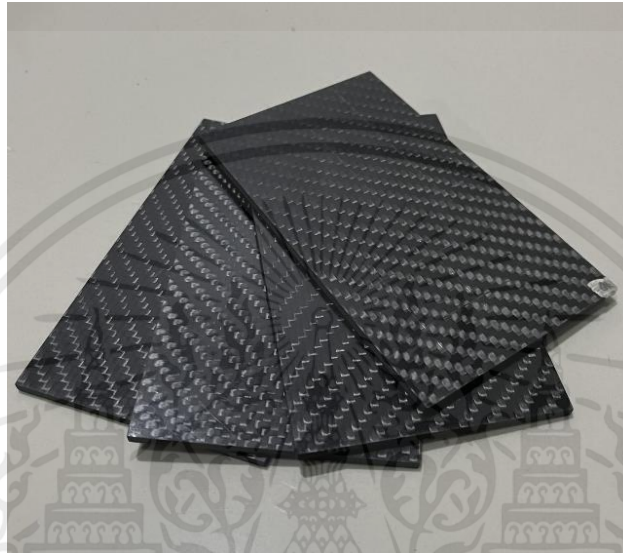
Rampal et al. [32] วัสดุคอมโพสิต (FRPCs) นิยมนำมาใช้ในภาคส่วนต่างๆ เพราะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว และเป็นประโยชน์ เช่น มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการกัดกร่อน บทวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพการ ประมวลผลพารามิเตอร์ขณะที่ทำการเจาะวัสดุโดยใช้เครื่องมือหลากหลายและการเคลื่อนไหวขั้นสูงระหว่าง ชิ้นงานและเครื่องมือ ดังนั้นจึงมีการทบทวนการเจาะ (FRPCs) ทบทวนเทคนิคการเจาะที่ไม่ใช่แบบ ดั้งเดิมที่จะช่วยลดการเสียหายของรูได้มากที่สุด และเพื่อสร้างรูที่มีความสมบูรณ์

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) แบบเนื้อเรียบ 3K หนา 3 mm จำนวน 8 แผ่น



รูปที่ 3.1 แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

3.1.2 ดอกสว่านไฮสปีด $\varnothing 10$ mm (HSS drill bit) ความยาว 50 mm องศามุมเจาะ 135°



รูปที่ 3.2 ดอกสว่านไฮสปีด [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 น้ำหล่อเย็น (Coolant) เป็นน้ำหล่อเย็นชนิด (Soluble cutting oils) แบบผสมน้ำอัตราส่วนผสม 1:20 โดยปริมาตร มีสารประกอบหลักคือ น้ำมันพื้นฐาน 80-90% สารเติมแต่ง 5-10% และอิมัลซิฟายเออร์ 5-10% เมื่อผสมน้ำแล้วจะมีสีเหมือนน้ำนม มีคุณสมบัติป้องกันสนิมสูง มีสารเพิ่มคุณภาพที่เพิ่มการแทรกซึมในการหล่อลื่นสูง



รูปที่ 3.3 น้ำหล่อเย็น [15]

3.1.4 เครื่องวัดแรงบิด (Dynamic torque sensor) ช่วงการวัดค่าแรงบิด 0.1-10000 N.m วัดรอบการหมุนสูงสุด 15000 rpm ใช้วัดแรงบิดหรือรอบการหมุนที่กระทำกับเพลาเจาะ



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter) ตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนแบบ RMS และ Peak ช่วงการวัดค่าการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว 0.1-1000 mm/s



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน

3.1.6 เครื่องมิลลิ่ง (Milling Machine) รุ่น PF-6S ผลิตโดย PAO FONG INDUSTRY CO., LTD มอเตอร์ 5 HP รอบการหมุนสูงสุด 4700 rpm อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 0.08 0.15 mm/s ใช้สำหรับกัดและเจาะรูชิ้นงาน



รูปที่ 3.6 เครื่องมิลลิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 กล้องขยายรุ่น Nikon SMZ660 (Stereo Microscope Nikon SMZ660) เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ช่วงกำลังขยาย 0.8-5 เท่า อัตราส่วนกำลังขยาย 6:3:1 โดยใช้กำลังขยาย 1 เท่า ในวิเคราะห์และบันทึกภาพชิ้นงานที่เจาะรูแล้ว



รูปที่ 3.7 กล้องขยาย Nikon SMZ660

3.1.8 กล้องอินฟราเรดจับความร้อน (Compact Thermal Camera Flir E60) ใช้ส่องตรวจอุณหภูมิระหว่างการเจาะรูแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ สามารถบันทึกภาพและวิดีโอเป็นภาพสีและขาวดำได้ ช่วงอุณหภูมิจะอยู่ที่ -20 ถึง 250 °C แสดงค่าอุณหภูมิสูง กลาง ต่ำ บันทึกภาพได้ 500 ภาพ มีความไวต่ออุณหภูมิเท่ากับ 0.10 °C



รูปที่ 3.8 กล้องอินฟราเรดจับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.9 กล้องถ่ายรูป (Camera) กล้อง Canon รุ่น EOS250D โดยใช้ร่วมกับกล้องขยายเพื่อบันทึกภาพ ความละเอียด 24.1 MP หน่วยประมวลผลภาพ DIGIC 8 บันทึกวิดีโอ 4K, Full HD และ HD รองรับการชาร์จ SD ความจุแบตเตอรี่ 10 mAh



รูปที่ 3.9 กล้องถ่ายรูป Canon EOS 250D [22]

3.1.10 Laser Displacement Sensor ใช้วัดระยะระหว่างแรกเริ่มก่อนเจาะโดยให้ดอกสว่านและแผ่นคาร์บอนอยู่ในจุดที่เหมาะสม ใช้เป็นแบรนด์ Keyence รุ่น LB-11 ความยาวคลื่นอยู่ที่ 785 nm จุดที่เซนเซอร์จะวัดจะอยู่ในช่วง 80-120 mm



รูปที่ 3.10 Laser Displacement Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.11 ป้อนจ่ายสารเคมี (Dosing pump) ใช้จ่ายน้ำหล่อเย็น AMP Peak 24W , Power supply 200-300VAC แรงดันป้อนอยู่ที่ 8 bar



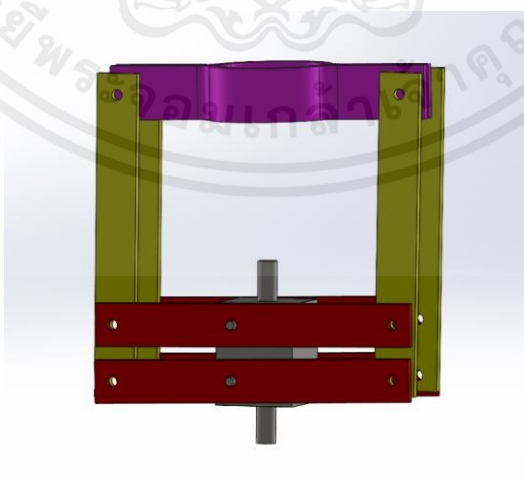
รูปที่ 3.11 ป้อนจ่ายสารเคมี (Dosing pump)

3.2 ขั้นตอนการสร้าง Dynamic torque sensor holder และติดตั้งบน milling machine

3.2.1 วัดระยะ ขนาดพื้นที่ และตำแหน่งบนเครื่องมิลลิ่งเพื่อจะทำการออกแบบ Dynamic torque sensor holder

3.2.2 ทำการออกแบบตัวยึดจับ Dynamic torque sensor holder ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2020

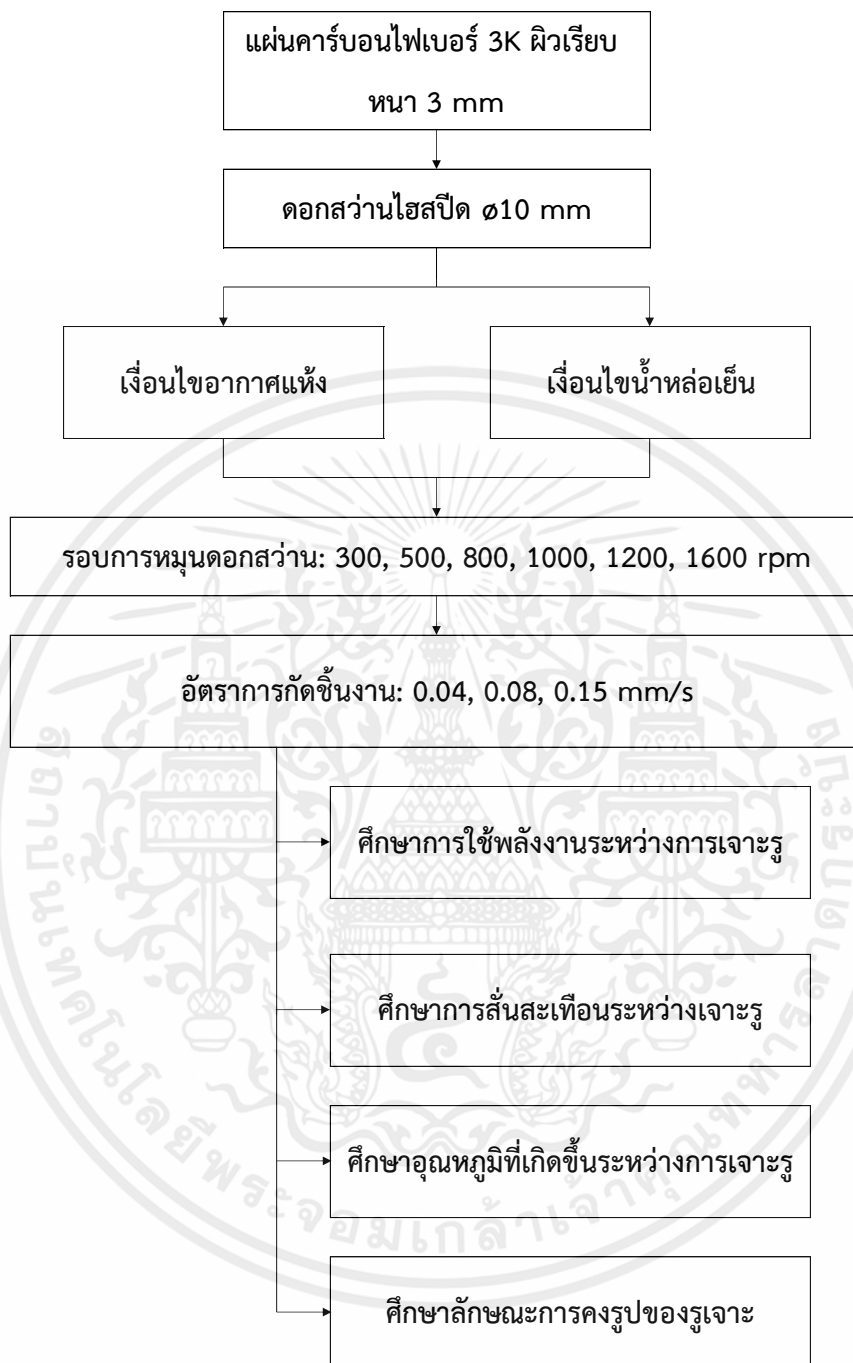
3.2.3 ดำเนินการสร้าง Dynamic torque sensor holder ตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.12 ออกแบบ Dynamic torque sensor holder ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

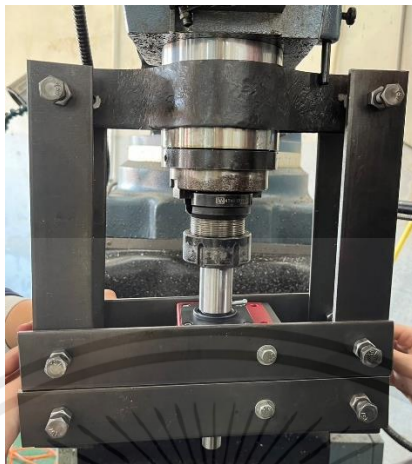
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง



รูปที่ 3.13 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลองตามเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 เตรียมอุปกรณ์ก่อนเริ่มทดลอง เริ่มจากติดตั้งและตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนเริ่มทดลองการเจาะ โดยนำ Dynamic torque sensor holder ประกอบเข้ากับ Milling machine



รูปที่ 3.14 ติดตั้ง Dynamic torque sensor holder

3.3.2 ติดตั้งเครื่องมือชนิดอื่นๆให้พร้อมใช้งาน เช่น เครื่องวัดการสั่น กล้องตรวจจับอนุภาคนิวตริโน ดอกสว่านไฮสปีด 10 mm. แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และปั๊มจ่ายสารเคมี โดยตั้งค่าให้ปั๊มจ่ายสารเคมีมีอัตราไหลที่ 100 mL/min



รูปที่ 3.15 ติดตั้งอุปกรณ์และตรวจสอบความพร้อมในการใช้งาน

3.3.3 เริ่มการทดลองการเจาะแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยดำเนินการเจาะตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยจะมีความเร็วรอบตั้งแต่ 300 500 800 1000 1200 และ 1600 rpm จะมีอัตราการกัดชิ้นงานอยู่ที่ 0.04 0.08 และ 0.15 mm/s ซึ่งระยะในการเจาะแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์แต่ละครั้งจะมีระยะขอบกับจุดศูนย์กลางรู เท่ากับ 2 mm ระยะจากจุดศูนย์กลางรูแต่ละรู เท่ากับ 2 mm และระยะความกว้างจากจุดศูนย์กลางรู เท่ากับ 1 mm โดยแต่ละเงื่อนไข จะทำการทดลองซ้ำ 3 รอบ ซึ่งดอกสว่านที่นำมาใช้จะเป็นดอกสว่านที่มีอุณหภูมิเท่ากันทุกรอบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 เริ่มทำการเจาะแผ่นคาร์บอนตามเงื่อนไขที่กำหนด

3.3.4 เมื่อดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขเสร็จสิ้นแล้ว จะได้รูเจาะบนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จำนวน 108 รู ซึ่งแบ่งเป็นแบบแห้ง 54 รู และแบบใช้น้ำหล่อเย็น 54 รู

3.4 ขั้นตอนการนำผลที่ได้มาวิเคราะห์

3.4.1 เมื่อได้ผลการทดลองทั้ง 2 กรณีแล้ว จากนั้นจะนำไปศึกษาต่อด้านลักษณะรูปร่างของรูเจาะทั้ง 2 เงื่อนไขการเจาะ โดยจะใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) รุ่น Nikon SMZ660 ในการขยายดูลักษณะทั้งภายนอกและภายใน และทำการวัดขนาดของรูเจาะทั้ง 2 ประเภท ซึ่งจะใช้กล้อง Canon รุ่น EOS250D ในการบันทึกภาพ และนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.17 ใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูลักษณะภายนอกและภายในของรูเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 นำค่าที่ได้จากเครื่องวัดการสั่น Vibration Meter แต่ละรอบบันทึกผลเก็บไว้ และค่าที่ได้จากเครื่องวัดบิด Dynamic torque sensor ที่ได้จะถูกส่งไปในโปรแกรม LabVIEW และจะบันทึกลงไปในไฟล์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นของแต่ละเงื่อนไขนั้นๆ ส่วนในตัวของกล้องตรวจจับอุณหภูมิ จะทำการอัดคลิปวิดีโอขณะทำการเจาะจากตัวกล้องตรวจจับอุณหภูมิไว้ และเมื่อได้รวบรวมข้อมูลต่างๆครบหมดแล้วก็จะนำมาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความแตกต่างต่อไป

3.5 การทดลองหาค่าการใช้พลังงานในการเจาะ

ทำการทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานสำหรับการเจาะรูในแต่ละเงื่อนไข ซึ่งอัตราการใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จาก

$$P = \frac{2\pi NM}{60} \quad (3.1)$$

เมื่อ P = Power (W)

N = Revolutions per minute (rpm)

M = Torque (N.m)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอถึงผลการทดลองการเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิตเพื่อศึกษาการใช้พลังงานและการสิ้นเปลืองทางกลระหว่างการเจาะวัสดุคอมโพสิต กรณีที่มีการเจาะแบบแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็น (Soluble cutting oils) แบบผสมน้ำ และเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการคงรูปของรูในการเจาะ โดยกำหนดใช้วัสดุคอมโพสิตเป็นแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ 3K แบบเนื้อเรียบ หนา 3 mm ใช้ดอกสว่านไฮสปีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ในการเจาะรู โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาการใช้พลังงานระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเจาะรูลงบนวัสดุคอมโพสิตซึ่งเป็นแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ 3K แบบเนื้อเรียบ หนา 3 mm โดยใช้ดอกสว่านไฮสปีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm เป็นดอกสว่านสำหรับเจาะรูลงบนชิ้นงานทดสอบ ซึ่งได้แบ่งเงื่อนไขการเจาะรูเป็นแบบอากาศแห้ง (Dry air) และแบบใช้น้ำหล่อเย็น (Coolant) ใช้รอบการหมุนของดอกสว่าน (spindle speed) ที่ 300 500 800 1000 1200 และ 1600 rpm ใช้อัตราการกัดชิ้นงาน (feed rate) ที่ 0.04 0.08 และ 0.15 mm/s ในการทดลอง จากผลการทดลองพบว่า ค่าอัตราการกัดชิ้นงานของดอกสว่านและรอบการหมุนของดอกสว่านจะแปรผันตรงกับค่าแรงบิดในการเจาะรูชิ้นงานและส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในการเจาะรูอย่างมีนัยยะสำคัญ

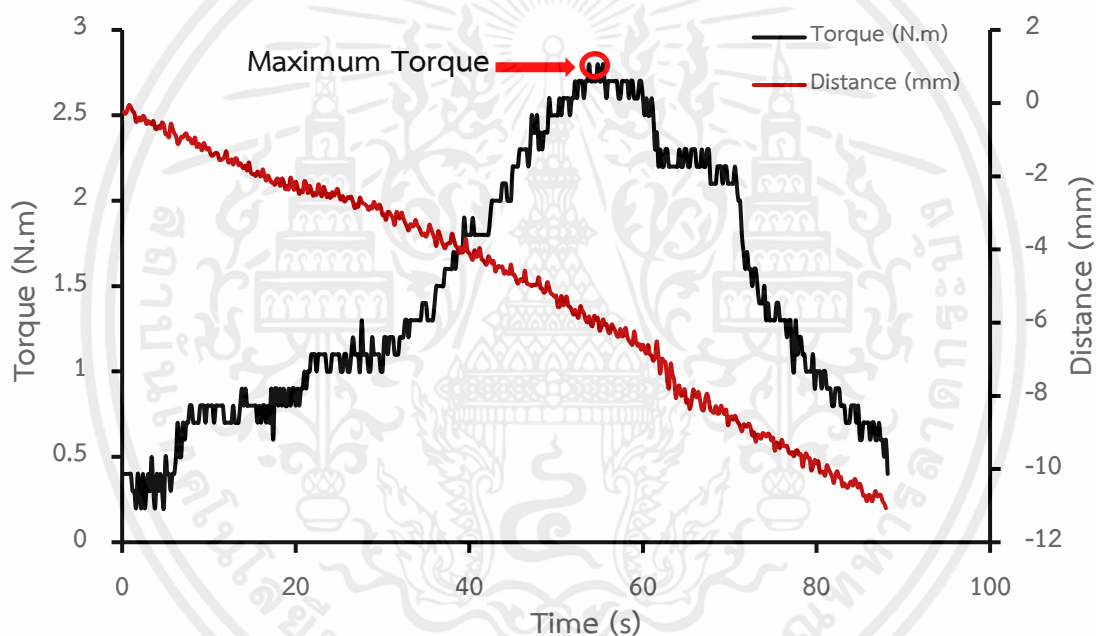
จากรูปที่ 4.1 จะเป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงถึงค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจาะรูของเงื่อนไขการเจาะแบบอากาศแห้ง (Dry air) อัตราการกัดชิ้นงานที่ 0.04 mm/s รอบการหมุนของดอกสว่าน 300 rpm โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อเริ่มทำการเจาะรูลงบนชิ้นงานเส้นกราฟค่าแรงบิดจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆกระทั่งถึงจุดสูงสุดโดยจุดนี้เองจะเป็นจุดที่มีค่าแรงบิดสูงที่สุดในการเจาะรู หลังจากนั้นเส้นกราฟจะค่อยๆลดลงมาจนถึงสิ้นสุดการเจาะรู ซึ่งกราฟนี้จะใช้สำหรับคำนวณค่าแรงบิดรวมโดยทำการเฉลี่ยค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงเริ่มเจาะรูจนกระทั่งถึงจุดที่การเจาะรูสิ้นสุดและทำซ้ำ 3 ครั้งทุกเงื่อนไขการทดลองเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการใช้พลังงานในการเจาะรูต่อไป

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟที่แสดงถึงค่าการใช้พลังงานในการเจาะรูที่คำนวณจากสมการที่ 3.1 ทั้งแบบอากาศแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงค่าการใช้พลังงานที่ต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง โดยเส้นกราฟค่าพลังงานจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามรอบการหมุนของดอกสว่าน และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการกัดชิ้นงานในแต่ละเงื่อนไขรอบการหมุนของดอกสว่านจะพบว่า เงื่อนไขที่ใช้อัตราการกัดชิ้นงานที่สูงก็จะมีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูงเช่นกันอันเนื่องมาจากดอกสว่านต้องใช้แรงบิดตัดเฉือนชิ้นงานเพื่อเอาชนะความต้านทานจากเนื้อวัสดุ[23] ซึ่งกำลังงานที่ต้องใช้จะสูงขึ้นตามรอบการหมุนของดอกสว่านที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันนั้น กำลังงานของการเจาะรูจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการกัดชิ้นงานที่สูงขึ้นเช่นกัน ในการเจาะรูโดยใช้รอบการหมุนของดอกสว่านที่ต่ำและอัตราการกัดชิ้นงานที่ต่ำจะส่งผลให้มีค่าแรงบิดต่ำ ในทาง

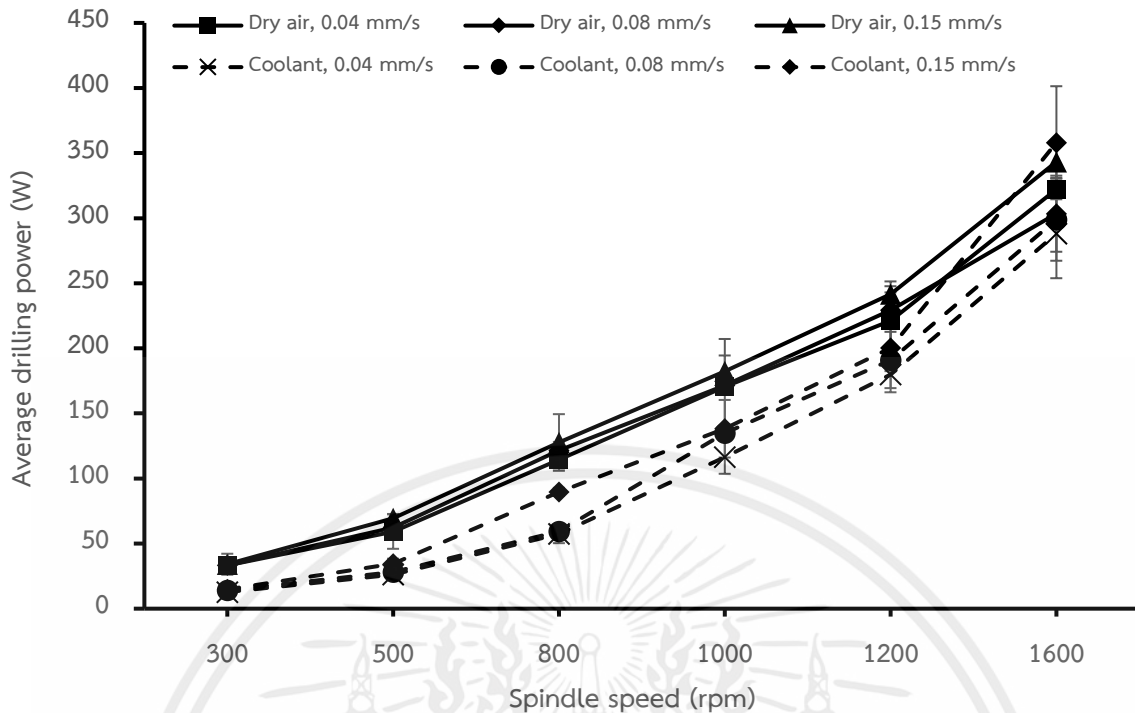
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับกันหากใช้รอบการหมุนของดอกสว่านที่สูงและอัตราการกัดชิ้นงานที่สูงก็จะทำให้มีค่าแรงบิดที่เพิ่มสูงขึ้น และนั่นจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพื่อเจาะรูที่สูงขึ้นเช่นกัน[23]

ในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขการเจาะแบบอากาศแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็นนั้น จากกราฟที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานที่ใช้ระหว่าง 2 เงื่อนไขนี้จะมีค่าไม่แตกต่างกันมาเท่าไร โดยเส้นกราฟของค่าพลังงานในเงื่อนไขการเจาะแบบน้ำหล่อเย็นทั้ง 3 อัตราการกัดชิ้นงานจะมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าเงื่อนไขการเจาะแบบอากาศแห้งเล็กน้อยเนื่องจากการระบายความร้อนด้วยสารหล่อลื่นหรือน้ำยาหล่อเย็นช่วยหล่อลื่นคมตัดของดอกสว่านและลดแรงเสียดทานระหว่างดอกสว่านกับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์[24] ซึ่งอาจส่งผลให้แรงดัดลดลง และส่งผลให้แรงบิดในการเจาะลดลงและมีการคายเศษที่ดีขึ้น กล่าวคือส่วนหนึ่งการระบายความร้อนสามารถช่วยในการคายเศษหรือเศษผงออกจากพื้นที่ตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การคายเศษที่การเจาะรูช่วยให้การเจาะราบรื่นขึ้นและลดโอกาสที่จะเกิดการอุดตันของเศษซึ่งนำไปสู่แรงบิดที่เพิ่มขึ้น[24]



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับระยะเวลาและระยะทางในการเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้ง อัตราการกัดชิ้นงานที่ 0.04 mm/s รอบการหมุนดอกสว่าน 300 rpm



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพลังงานรวมในการเจาะรูกับรอบการหมุนของดอกสว่าน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็น

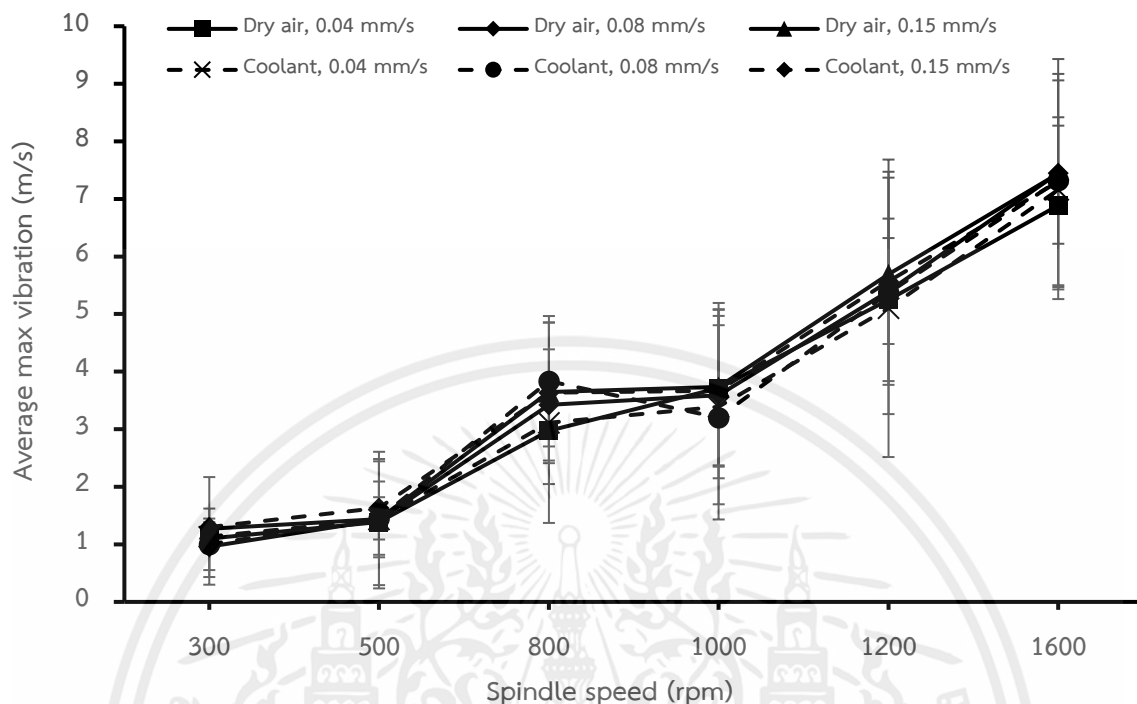
4.2 ผลการศึกษาการสั่นสะเทือนระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต

ในศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างเจาะรูลงบนวัสดุคอมโพสิตโดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือนและใช้วิธีการแบบวัดความเร็วในการสั่น (Velocity) ซึ่งจะได้ค่าการสั่นสะเทือนแบบ RMS (Root Mean Square) [23] โดยติดตั้งโพรบวัดห่างจากตำแหน่งรูเจาะขึ้นงาน 25 mm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดที่สามารถติดตั้งโพรบวัดได้ จากผลการทดลองพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนในการเจาะรูที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไขจะเพิ่มขึ้นตามตัวแปรสองตัวนั้นคือค่าอัตราการกัดขึ้นงานและรอบการหมุนของดอกสว่านที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจาะรูในเงื่อนไขการเจาะแบบอากาศแห้งและแบบน้ำหล่อเย็น โดยจะเห็นได้ว่าในการใช้รอบการหมุนของดอกสว่านที่ต่ำ (spindle speed: 300 rpm) จะมีค่าการสั่นสะเทือนที่ต่ำที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับรอบการหมุนของดอกสว่านที่สูงที่สุด (Spindle speed: 1600 rpm) เส้นกราฟค่าการสั่นจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงอย่างเห็นได้ชัด และหากเปรียบเทียบอัตราการกัดขึ้นงานในแต่ละรอบการหมุนดอกสว่านก็จะเห็นได้ว่าค่าการสั่นสะเทือนจะต่างกันเล็กน้อย โดยในเงื่อนไขที่ใช้อัตราการกัดที่สูงจะมีแนวโน้มค่าการสั่นสะเทือนสูงที่สุดอันเนื่องมาจากการตัดเฉือนของดอกสว่านก็เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าการสั่นสะเทือน กล่าวคือเมื่อดอกสว่านตัดผ่านขึ้นงาน ดอกสว่านจะเกิดแรงต้านและความต้านทานนี้สร้างแรงที่สามารถนำไปสู่การสั่นสะเทือน ในส่วนของเงื่อนไขแบบน้ำหล่อเย็น สังเกตได้ว่าค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับการเจาะรูแบบเงื่อนไขการเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอากาศแห้งอย่างมาก กล่าวได้ว่าในเงื่อนไขของการเจาะรูแบบใช้อากาศแห้งและน้ำหล่อเย็นจะไม่ค่อยส่งผลต่อค่าการสั่นสะเทือนในระหว่างการเจาะรู



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนสูงสุดในการเจาะรูกับรอบการหมุนของดอกสว่าน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้งและแบบน้ำหล่อเย็น

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิต

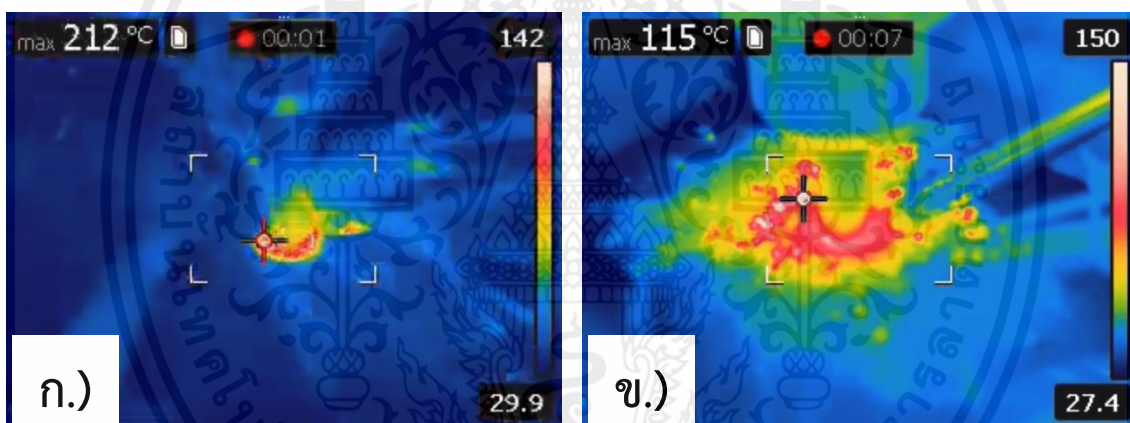
ในศึกษาการอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะรูบนวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งเงื่อนไขการทดสอบเป็น 2 เงื่อนไขหลักคือ การทดสอบการเจาะรูแบบอากาศแห้งและการเจาะรูแบบใช้น้ำหล่อเย็น ในการเจาะรูโดยใช้น้ำหล่อเย็นจะใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ อัตราส่วนผสม 1:20 โดยปริมาตร อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น 100 mL/min ตลอดการทดลองแบบใช้น้ำหล่อเย็น จากผลการทดลองพบว่า ในการเจาะรูแบบใช้อากาศแห้งจะมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งรูเจาะค่อนข้างสูง โดยจะอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามรอบการหมุนของดอกสว่านและอัตราการกัดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น และในการเจาะรูแบบใช้น้ำหล่อเย็นจะมีช่วงอุณหภูมิที่ลดลงทุกๆเงื่อนไขการทดลอง

จากรูปที่ 4.5 จะเป็นกราฟที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจาะรูแบบอากาศแห้งและแบบน้ำหล่อเย็น โดยการเจาะรูที่ใช้รอบหมุนของดอกสว่านที่ต่ำที่สุด (spindle speed: 300 rpm) จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 100-150°C และหากเปรียบเทียบกับรอบหมุนของดอกสว่านที่สูงที่สุด (spindle speed: 1600 rpm) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 150-200°C ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราการกัดสูงขึ้น อุณหภูมิตำแหน่งเจาะรูจะสูงขึ้นเนื่องจากอัตราการป้อนจะส่งผลต่อปริมาณความร้อนจากการเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะ อัตราการป้อนที่สูงขึ้นสามารถเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างดอกสว่านและวัสดุ ส่งผลให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดความร้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการป้อนที่ต่ำมากอาจทำให้แรงเสียดทานและความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเสียดสีมากเกินไปและการคายเศษที่ไม่เพียงพอ[24]

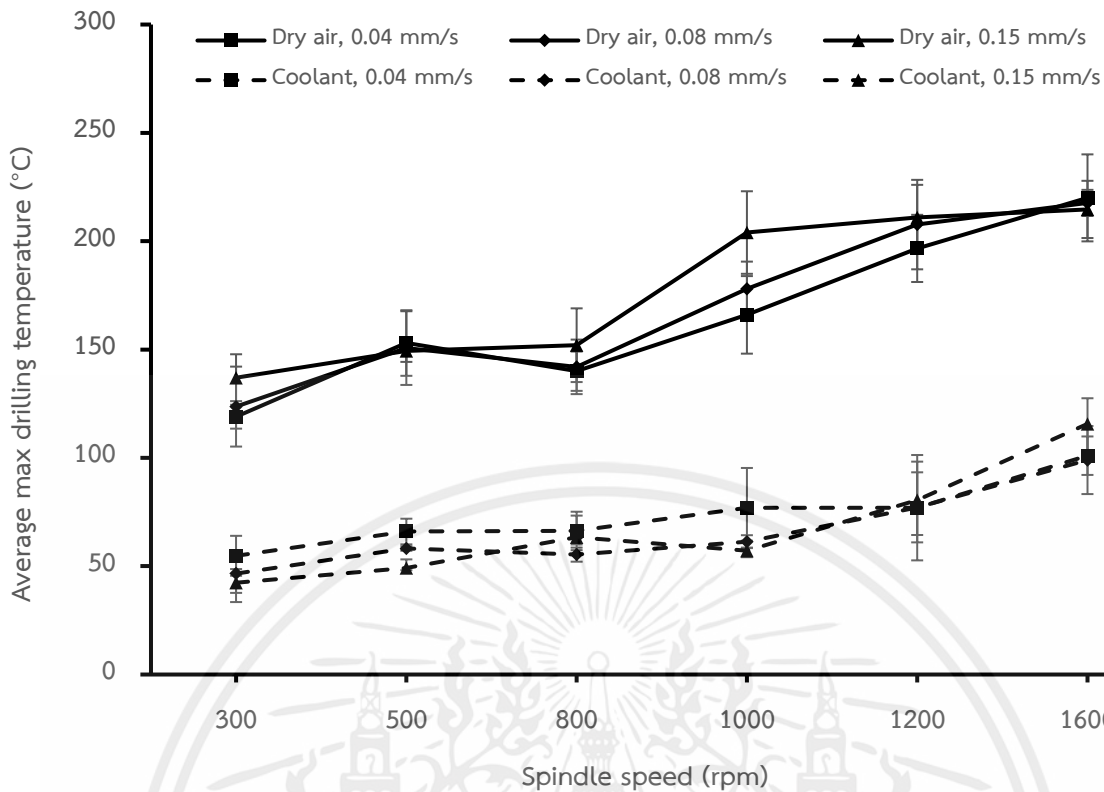
ในส่วนของการรอบการหมุนของดอกสว่านก็เช่นกัน เมื่อเพิ่มรอบการหมุนของดอกสว่านสูงขึ้น อุณหภูมิตำแหน่งเจาะรูจะสูงขึ้นตามอันเนื่องมาจากการตัดเฉือนชิ้นงานและแรงเสียดทานของดอกสว่านกับชิ้นงาน ความเร็วในการตัดของดอกสว่านก่อให้เกิดความร้อน[24] ขอบคมของดอกสว่านหรือคมตัดสัมผัสกับวัสดุ และการตัดเฉือนจะขจัดวัสดุในรูปของเศษ พลังงานที่ต้องใช้ในการเฉือนและขจัดวัสดุจะถูกแปลงเป็นความร้อน ความร้อนนี้จะกระจุกตัวอยู่ที่คมตัดของดอกสว่านและบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ตัด

จากรูปที่ 4. จะเป็นกราฟที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจาะรูแบบใช้น้ำหล่อเย็น โดยสิ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนคืออุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณรูเจาะจะลดลงต่ำลงทุกเงื่อนไขเมื่อเปรียบเทียบกับ การเจาะแบบอากาศ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 50-120°C ซึ่งอุณหภูมิลดลงจากเงื่อนไขอากาศแห้งถึง 2 เท่า เท่า โดยการลดอุณหภูมิในการเจาะของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของรูเจาะซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อการทดลองถัดไป



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นกับเงื่อนไขการเจาะรูที่ต่างกัน

- ก.) เงื่อนไขแบบอากาศแห้ง Spindle speed: 1600 rpm, Feed rate 0.15 mm/s
- ข.) เงื่อนไขแบบน้ำหล่อเย็น Spindle speed: 1600 rpm, Feed rate 0.15 mm/s



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดในการเจาะรูกับรอบการหมุนของดอกสว่าน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้งและแบบน้ำหล่อเย็น

4.4 ผลการศึกษาลักษณะการคงรูปของรูเจาะ

ในการศึกษาลักษณะของรูเจาะจากการทดลองเจาะรูบนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้กำหนดไว้ จะใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือสำหรับบันทึกภาพของรูเจาะและนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของรูเจาะ โดยรูปที่ 4.7-4.9 จะเป็นลักษณะของรูเจาะที่เจาะรูโดยใช้เงื่อนไขการเจาะแบบอากาศแห้ง และรูปที่ 4.10-4.12 จะเป็นลักษณะของรูเจาะที่เจาะรูโดยใช้เงื่อนไขการเจาะแบบน้ำหล่อเย็น จากการทดลองจะเห็นได้ว่าลักษณะของรูเจาะจะแตกต่างกันระหว่างสองเงื่อนไข และยังมีความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของรูเจาะโดยมีอัตราการกัดชิ้นงาน รอบหมุนของดอกสว่าน สันสะเทือนและความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณรูเจาะเป็นตัวแปรสำคัญ

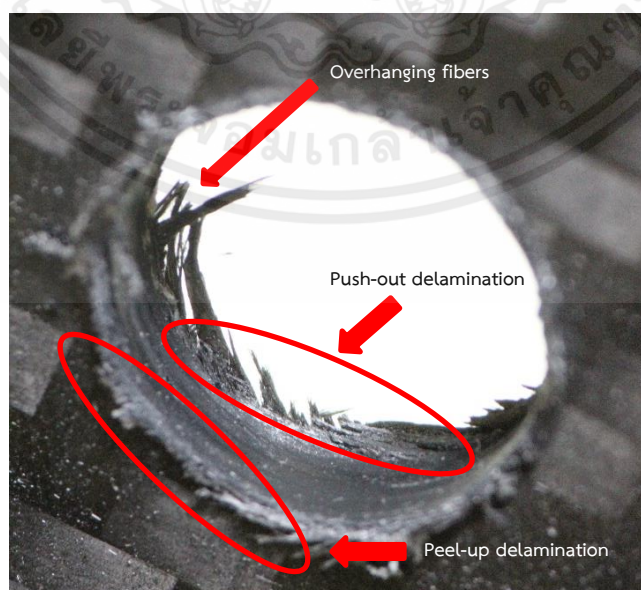
จากรูปที่ 4.7 จะเป็นลักษณะรูเจาะของเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s ในช่วงรอบการหมุนของดอกสว่านที่ต่ำ (300 500 rpm) จะเห็นได้ว่าลักษณะด้านหน้าของรูเจาะค่อนข้างที่จะมีความกลมคงรูปอยู่แต่เมื่อเพิ่มรอบการหมุนของดอกสว่านสูงขึ้น (800-1600 rpm) ลักษณะของรูเจาะจะค่อยๆ เสื่อมรูปและมีการหลุดลอกของเส้นใยไฟเบอร์ออกมา ซึ่งหากพิจารณารูปที่ 4.8 กับ 4.9 ซึ่งเป็นเงื่อนไขการเจาะแบบอากาศแห้งเหมือนกันก็จะมีลักษณะของรูเจาะไปในทิศทางเดียวกันและหากพิจารณาในส่วนของอัตราการกัดชิ้นงานประกอบด้วยก็จะสังเกตเห็นว่าการหลุดลอกของเส้นใยไฟเบอร์ออกมามากขึ้นตามอัตราการกัดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น โดยลักษณะการหลุดลอกของเส้นใยไฟเบอร์นี้เป็นปรากฏการณ์ที่ขึ้นของคอมโพสิตแยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อดอกสว่านสัมผัสกับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ จะเกิดแรงตัดตามแนวเส้นรอบวงของดอกสว่านจึงทำให้ร่องเจาะตั้งชั้นลามิเนตด้านบนของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และทำให้เกิดการแยกชั้นของเส้นใยที่พื้นผิว (Peel-up delamination) [31] และเมื่อสังเกตภายในรูเจาะก็จะมีเส้นใยไฟเบอร์ออกมาเช่นกันและบริเวณขอบรูเจาะทางออกยังมีลักษณะที่นูนสูงออกมาเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากเมื่อดอกสว่านอยู่ใกล้กับทางออกของหลุมเจาะ เนื้อความหนาของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่สามารถเจาะได้จะน้อยลง ดังนั้นเมื่อแรงผลักของดอกสว่านมากเกินไป ความแข็งแรงพันธะของแผ่นลามิเนต ชั้นของแผ่นลามิเนตจะผลัดออกไปทางออกของรูเจาะ(Push-out delamination) [31] ทำให้เกิดการหลุดลอกที่ทางออกซึ่งจะรุนแรงกว่าด้านเจาะรูทางเข้า โดยลักษณะความเสียหายของรูเจาะจะแสดงดังรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.10-4.12 จะเป็นลักษณะรูเจาะของเงื่อนไขแบบน้ำหล่อเย็น หากพิจารณาคุณลักษณะของรูเจาะ จะเห็นความแตกต่างของรูเจาะอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการเจาะรูแบบอากาศแห้ง โดยลักษณะรูเจาะมีการหลุดลอกของเส้นใยไฟเบอร์ที่น้อยลง โดยเป็นผลมาจากการใช้น้ำหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจาะรู โดยระหว่างการเจาะรู ความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีระหว่างดอกสว่านกับเนื้อแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ หากความเร็วการหมุนของดอกสว่านสูงหรือหรือใช้อัตราการกัดชิ้นงานที่สูง อาจเกิดความร้อนมากเกินไปได้ ความร้อนนี้สามารถทำให้เมทริกซ์เรซินซึ่งยึดเส้นใยคาร์บอนไว้ด้วยกันอ่อนตัวลง [21] ซึ่งทำให้เกิดการหลุดร่อนและแยกชั้นระหว่างชั้นของคาร์บอนไฟเบอร์

อีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายจากการเจาะรูแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จากการทดลองนั้นคืออัตราการกัดชิ้นงาน หากใช้อัตราการป้อนสูงจะทำให้เกิดแรงผลักและแรงสั่นสะเทือนมากเกินไปจนนำไปสู่การหลุดร่อนได้[31] ในทางกลับกัน หากใช้อัตราการกัดชิ้นงานที่ต่ำเกินไป อาจทำให้เกิดการเสียดสีและแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งนำไปสู่การหลุดลอกได้เช่นกัน โดยสังเกตได้ว่าในทุกเงื่อนไขที่ใช้อัตราการกัดชิ้นงานที่ต่ำจะเกิด ลักษณะของรูเจาะค่อนข้างที่จะมีความสมบูรณ์และความเสียหายน้อยสุดถึงแม้จะมีการหลุดลอกออกมาบ้างเล็กน้อยก็ตาม



รูปที่ 4.6 ลักษณะความเสียหายของรูเจาะที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Condition | Feed rate (mm/s) | Spindle speed (rpm) | Characteristics of holes | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | | | 1st experiment | | 2nd experiment | | 3rd experiment | |
| | | | Front | Inside | Front | Inside | Front | Inside |
| Dry air | 0.04 | 300 | | | | | | |
| | 0.04 | 500 | | | | | | |
| | 0.04 | 800 | | | | | | |
| | 0.04 | 1000 | | | | | | |
| | 0.04 | 1200 | | | | | | |
| | 0.04 | 1600 | | | | | | |

รูปที่ 4.7 ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน

| Condition | Feed rate (mm/s) | Spindle speed (rpm) | Characteristics of holes | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | | | 1st experiment | | 2nd experiment | | 3rd experiment | |
| | | | Front | Inside | Front | Inside | Front | Inside |
| Dry air | 0.08 | 300 | | | | | | |
| | 0.08 | 500 | | | | | | |
| | 0.08 | 800 | | | | | | |
| | 0.08 | 1000 | | | | | | |
| | 0.08 | 1200 | | | | | | |
| | 0.08 | 1600 | | | | | | |

รูปที่ 4.8 ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.08 mm/s ในแต่รอบการหมุนของดอกสว่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Condition | Feed rate (mm/s) | Spindle speed (rpm) | Characteristics of holes | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | | | 1st experiment | | 2nd experiment | | 3rd experiment | |
| | | | Front | Inside | Front | Inside | Front | Inside |
| Dry air | 0.15 | 300 | | | | | | |
| | 0.15 | 500 | | | | | | |
| | 0.15 | 800 | | | | | | |
| | 0.15 | 1000 | | | | | | |
| | 0.15 | 1200 | | | | | | |
| | 0.15 | 1600 | | | | | | |

รูปที่ 4.9 ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขอากาศแห้งที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.15 mm/s ในแต่ละรอบการหมุนของดอกสว่าน

| Condition | Feed rate (mm/s) | Spindle speed (rpm) | Characteristics of holes | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | | | 1st experiment | | 2nd experiment | | 3rd experiment | |
| | | | Front | Inside | Front | Inside | Front | Inside |
| Coolant | 0.04 | 300 | | | | | | |
| | 0.04 | 500 | | | | | | |
| | 0.04 | 800 | | | | | | |
| | 0.04 | 1000 | | | | | | |
| | 0.04 | 1200 | | | | | | |
| | 0.04 | 1600 | | | | | | |

รูปที่ 4.10 ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็นที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s ในแต่ละรอบการหมุนของดอกสว่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Condition | Feed rate (mm/s) | Spindle speed (rpm) | Characteristics of holes | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | | | 1st experiment | | 2nd experiment | | 3rd experiment | |
| | | | Front | Inside | Front | Inside | Front | Inside |
| Coolant | 0.08 | 300 | | | | | | |
| | 0.08 | 500 | | | | | | |
| | 0.08 | 800 | | | | | | |
| | 0.08 | 1000 | | | | | | |
| | 0.08 | 1200 | | | | | | |
| | 0.08 | 1600 | | | | | | |

รูปที่ 4.11 ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็นที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.08 mm/s ในแต่ละรอบการหมุนของดอกสว่าน

| Condition | Feed rate (mm/s) | Spindle speed (rpm) | Characteristics of holes | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | | | 1st experiment | | 2nd experiment | | 3rd experiment | |
| | | | Front | Inside | Front | Inside | Front | Inside |
| Coolant | 0.15 | 300 | | | | | | |
| | 0.15 | 500 | | | | | | |
| | 0.15 | 800 | | | | | | |
| | 0.15 | 1000 | | | | | | |
| | 0.15 | 1200 | | | | | | |
| | 0.15 | 1600 | | | | | | |

รูปที่ 4.12 ลักษณะของรูเจาะในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็นที่อัตราการกัดชิ้นงาน 0.15 mm/s ในแต่ละรอบการหมุนของดอกสว่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบวิธีการหล่อเย็นขณะเจาะวัสดุคอมโพสิตเพื่อศึกษาการใช้พลังงานและการสั่นสะเทือนทางระหว่างการเจาะวัสดุคอมโพสิต กรณีที่มีการเจาะแบบแห้งและแบบใช้น้ำหล่อเย็น เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการคงรูปของรูในการเจาะ ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขที่มีความเสียหายของรูเจาะที่น้อยที่สุด โดยวิเคราะห์จากลักษณะทางกายภาพของรูเจาะจะสรุปได้ว่าเงื่อนไขแบบใช้น้ำหล่อเย็น รอบการหมุนดอกสว่าน 300 rpm อัตราการกัดชิ้นงาน 0.04 mm/s มีความเสียหายของรูเจาะน้อยที่สุด เนื่องจากในเงื่อนไขนี้ใช้รอบการหมุนของดอกสว่านที่ต่ำและมีการระบายความร้อนในการเจาะรูด้วยน้ำหล่อเย็นโดยมีอุณหภูมิบริเวณรูเจาะเท่ากับ 50.8 °C ซึ่งน้ำหล่อเย็นนี้เองทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณรอบรูเจาะต่ำ ซึ่งช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยคาร์บอนอันเนื่องมาจากการหลอมละลายของเมทริกซ์เรซินที่ยึดเส้นใยคาร์บอนไว้ด้วยกัน และการใช้อัตราการกัดชิ้นงานที่ต่ำจะช่วยลดการเสียดสีระหว่างดอกสว่านกับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและอุณหภูมิในระหว่างการเจาะรูสูงขึ้นซึ่งจะทำให้รูเจาะเกิดความเสียหายมากขึ้นได้ โดยค่าการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1.13 m/s และในส่วนของการใช้พลังงานในการเจาะของเงื่อนไขนี้ยังให้การใช้พลังงานในการเจาะที่ต่ำโดยมีค่าการใช้พลังงานเท่ากับ 12.96 W อันเนื่องมาจากการใช้รอบการหมุนของดอกสว่านและอัตราการกัดชิ้นงานที่ต่ำและน้ำหล่อเย็นก็มีส่วนช่วยในการคายเศษออกจากพื้นที่ตัดเฉือนชิ้นงาน โดยการคายเศษที่รูเจาะช่วยให้การเจาะรูราบรื่นขึ้นและลดโอกาสที่จะเกิดการอุดตันของเศษซึ่งนำไปสู่แรงบิดที่เพิ่มขึ้นได้

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 เนื่องจากในการทดลองจำเป็นต้องเก็บผลการทดลองอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน และบันทึกภาพอุณหภูมิในระหว่างการเจาะรูพร้อมๆกัน จึงต้องหาอาสาสมัครมาช่วยในการเก็บผลทดลองด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากในการทดลองนี้เป็นการทดลองการเจาะรูแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการเจาะรูด้วยดอกสว่าน จึงทำให้หลีกเลี่ยงปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายของรูเจาะไม่ได้ หากต้องการรูเจาะที่มีความแม่นยำและมีความเสียหายน้อย แนะนำให้ใช้เทคนิคการเจาะรูแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยวิธีอื่น เช่น เทคนิคการเจาะด้วยน้ำ (Abrasive Water Jet Drilling (AWJD)) ซึ่งช่วยลดความเสียหายจากความร้อนที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่เจาะรูได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอสเจ สินธุพันธ์. (2556). **วัสดุคอมโพสิตในงานเรซินคืออะไร**. เข้าถึงเมื่อ 3 เมษายน 2566 เข้าถึง <https://resinsjthailand.com>
- [2] ปกัศรา กัลปพฤกษ์. (2563). **เส้นใยคาร์บอนคืออะไร**. เข้าถึงเมื่อ 3 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.applicadthai.com>
- [3] Hillside Composites. **Hillside Composites-All Products**. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://hillsidecomposites.com>
- [4] เอสเจ สินธุพันธ์. (2556). **คาร์บอนไฟเบอร์คืออะไร**. เข้าถึงเมื่อ 6 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://resinsjthailand.com>
- [5] เสาสร้างสรรค์ เซอร์วิส. (2556). **แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์**. เข้าถึงเมื่อ 6 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.saosangsan.com/blog/what-is-carbon-fiber-sheet.html>
- [6] VICKI MCCONNELL. **The making of carbon fiber** เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.compositesworld.com>
- [7] Blogger. **Polyacrylonitrile Fibers**. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <http://textilewithme.blogspot.com>
- [8] Zhongren Yue ORCID, Chang Liu and Ahmad Vakili. **Meltblown Solvated Mesophase Pitch-Based Carbon Fibers: Fiber Evolution and Characteristics**. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.mdpi.com>
- [9] สรพงษ์ จันท์หอม. (2555). **ประเภทของดอกสว่านและการเลือกใช้**. เข้าถึงเมื่อ 7 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.sumipol.com>
- [10] Primer. **The Power Drill: A Modern Man's Guide to Tools**. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.pinterest.com/pin/104356916335964751>
- [11] ทศพร ศรีวรกุล. (2563). **ดอกสว่าน เลือกยังไงให้เหมาะสม ใช้ได้ถูกต้อง**. เข้าถึงเมื่อ 7 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://thaitool.com>

- [12] บริษัท เอ ทู เอ็น เทรดดิ้ง จำกัด. **สิ่งที่คุณจำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับ ดอกสว่าน !** . เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.a2ntrading.com>
- [13] Feito N., Lopez-Puente J., Santiuste C., Miguelez M.H. **Numerical prediction of delamination in CFRP drilling**. Composite Structures, s 9 (2022)
- [14] INDUSTRIAL GRADE CHEMICAL AND LUBRICANT PRODUCTS. **น้ำมันตัดกลึง (Cutting fluid)** เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.eastern-produce.com>
- [15] สยาม โกลบอล ลูบริแคนท์. (2563). **น้ำมันหล่อเย็นคืออะไร**. เข้าถึงเมื่อ 8 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <http://www.sgl1.com>
- [16] อีสเทิร์น โปรดิวซ์ แอนด์เซอร์วิสเสส. (2564). **คุณสมบัติของน้ำมันตัดกลึง**. เข้าถึงเมื่อ 9 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://eastern-produce.com>
- [17] บุคัวร์ เจริญยืนนาน. (2564). **เครื่องมือวัดแรงบิดคืออะไร**. เข้าถึงเมื่อ 10 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://misumitechnical.com>
- [18] Connor. **Digital Rotary Torque Sensor**. เข้าถึงเมื่อ 11 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.ato.com/rotary-torque-sensor>
- [19] กรีนเวิร์ดมีเดีย. (2564). **การสิ้นสະเทือน บอกความผิดปกติของเครื่องจักรอย่างไร**. เข้าถึงเมื่อ 12 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.mmthailand.com>
- [20] บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด. **กล้องถ่ายภาพความร้อนคืออะไร: ทำความเข้าใจกับเทคโนโลยีภาพอินฟราเรด**. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.tools.in.th>
- [21] LEGA Corporation Co., Ltd. **กล้องถ่ายภาพความร้อน**. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.legatool.com>
- [22] Digital 2 home. **กล้องถ่ายภาพ Canon EOS 250D/200D MarkII** . เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.digital2home.com>

- [23] Pradeep Krishnan G, Samuel Raj D. **Analysis of high-speed drilling AISI 304 under MQL condition through a novel tool wear measurement method and surface integrity studies.** Science of The Total Environment, December 2022, 107871
- [24] B. Tasdelen, T. Wikblom, S. Ekered. **Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling.** Science of The Total Environment, 8 May 2008, Pages 339-346
- [25] Robson Bruno Dutra Pereira, Lincoln Cardoso Brandão, Anderson Paulo de Paiva, João Roberto Ferreira, J. Paulo Davim. **A review of helical milling process.** Science of The Total Environment, September 2017, Pages 27-48
- [26] Arjun Nagaraj, Alper Uysal, Suhasini Gururaja, I.S. Jawahir **Analysis of surface integrity in drilling carbon fiber reinforced polymer composite material under various cooling/lubricating conditions.** Science of The Total Environment, October 2022, Pages 124-137
- [27] Ferit Ficici. **Investigation of wear mechanism in drilling of PPA composites for automotive industry.** Science of The Total Environment, June 2023, 100034
- [28] Christopher Krebs, Dennis Heyser, Bernhard Schweizer, Marcel Volz, Eberhard Abele, Matthias Weigold **Numerical and experimental analysis of margin geometries of twist drills in deep hole machining operations.** Science of The Total Environment, May 2023, 100120
- [29] Shengguo ZHANG, Wenhua WANG, Yifeng XIONG, Bo HUANG, Ruisong JIANG. **Investigation on defect suppression mechanism of ultrasonic vibration-assisted drilling carbon fiber/bismaleimide composite.** Science of The Total Environment, 28 October 2022
- [30] Abhinav Shard, Raj Agarwal, Vishal Gupta, Mohinder Pal Garg. **Influence of ultrasonic vibrations during drilling of carbon-fiber-reinforced polyetherimide composites.** Science of The Total Environment, January 2023, 109163

- [31] Luis Filipe S. Devesa, João E. Matos, Luís Miguel P. Durão. **Experimental assessment of delamination extension on carbon / epoxy drilled plates.** Science of The Total Environment, July 2021, 100144
- [32] Rampal, Gaurav Kumar, Sanjay Mavinkere Rangappa, Suchart Siengchin, Sunny Zafar. **A review of recent advancements in drilling of fiber-reinforced polymer composites.** Science of The Total Environment, s 9 (2022) 100312
- [33] Onestockhome. ดอกสว่านเจาะสแตนเลส HSS. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://www.onestockhome.com>
- [34] mkj2017. MTECH OIL น้ำมันหล่อเย็น ชนิดผสมน้ำ. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2566 เข้าถึงจาก <https://shopee.co.th/product>
- [35] Pramanik A., Basak A.K., Prakash C., Shankar S., Chattopadhyaya. **Sustainability in drilling of aluminum alloy.** Cleaner Materials, s 9 (2022) 100048
- [36] Shiyu Cao, Hao Nan Li, Wenjian Huang, Qi Zhou, Ting Lei, Chaoqun Wu. **A delamination prediction model in ultrasonic vibration assisted drilling of CFRP composites.** Science of The Total Environment, s 9 (2022) 100312. Journal of Materials Processing Technology, s 9 (2022) 117480
- [37] Oliver Pecat, Ekkard Brinksmeier. **Tool Wear Analyses in Low Frequency Vibration Assisted Drilling of CFRP/Ti6Al4V Stack Material.** Procedia CIRP, s 9 (2014)



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลค่าการทดลองการใช้พลังงานในเงื่อนไขอากาศแห้ง

| Spindle speed (rpm) | Feed rate (mm/s) | Average total Torque (Dry air, N.m.) | Power (W) | S.D |
|---------------------|------------------|---|-----------|-------|
| 300 | 0.04 | 1.0573 | 33.217 | 5.55 |
| 300 | 0.08 | 1.0578 | 33.230 | 3.83 |
| 300 | 0.15 | 1.0867 | 34.138 | 8.07 |
| 500 | 0.04 | 1.1308 | 59.210 | 13.23 |
| 500 | 0.08 | 1.1907 | 62.346 | 5.17 |
| 500 | 0.15 | 1.3257 | 69.414 | 3.34 |
| 800 | 0.04 | 1.3652 | 114.374 | 6.66 |
| 800 | 0.08 | 1.4518 | 121.627 | 6.48 |
| 800 | 0.15 | 1.5241 | 127.679 | 21.75 |
| 1000 | 0.04 | 1.6288 | 170.567 | 36.60 |
| 1000 | 0.08 | 1.6369 | 171.416 | 1.41 |
| 1000 | 0.15 | 1.7414 | 182.364 | 12.15 |
| 1200 | 0.04 | 1.7596 | 221.116 | 30.29 |
| 1200 | 0.08 | 1.8246 | 229.283 | 13.68 |
| 1200 | 0.15 | 1.9221 | 241.536 | 6.18 |
| 1600 | 0.04 | 1.9223 | 322.076 | 3.54 |
| 1600 | 0.08 | 1.8109 | 303.425 | 29.22 |
| 1600 | 0.15 | 2.0482 | 343.187 | 12.27 |

ตารางที่ ก.2 บันทึกผลค่าการทดลองการใช้พลังงานในเงื่อนไขน้ำหล่อเย็น

| Spindle speed (rpm) | Feed rate (mm/s) | Average total Torque (Coolant, N.m.) | Power (W) | S.D |
|---------------------|------------------|---|-----------|-------|
| 300 | 0.04 | 0.4040 | 12.692 | 5.15 |
| 300 | 0.08 | 0.4497 | 14.127 | 0.94 |
| 300 | 0.15 | 0.4700 | 14.765 | 2.02 |
| 500 | 0.04 | 0.5003 | 26.197 | 2.85 |
| 500 | 0.08 | 0.5387 | 28.205 | 1.61 |
| 500 | 0.15 | 0.6583 | 34.470 | 3.91 |
| 800 | 0.04 | 0.6837 | 57.275 | 6.97 |
| 800 | 0.08 | 0.7080 | 59.313 | 4.48 |
| 800 | 0.15 | 1.0707 | 89.696 | 3.10 |
| 1000 | 0.04 | 1.1110 | 116.344 | 12.74 |
| 1000 | 0.08 | 1.2877 | 134.844 | 3.46 |
| 1000 | 0.15 | 1.3200 | 138.230 | 22.13 |
| 1200 | 0.04 | 1.4317 | 179.909 | 13.68 |
| 1200 | 0.08 | 1.5203 | 191.051 | 21.62 |
| 1200 | 0.15 | 1.5947 | 200.392 | 17.93 |
| 1600 | 0.04 | 1.7187 | 287.965 | 34.10 |
| 1600 | 0.08 | 1.7833 | 298.800 | 31.51 |
| 1600 | 0.15 | 2.1363 | 357.946 | 43.43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 บันทึกผลค่าการทดลองการสั่นสะเทือนสูงสุดของเงื่อนไขอากาศแห้ง

| Spindle speed (rpm) | Feed rate (mm/s) | Average max vibration | S.D |
|---------------------|------------------|-----------------------|------|
| | | (Dry air, m/s) | |
| 300 | 0.04 | 1.1 | 0.24 |
| 300 | 0.08 | 0.96 | 0.66 |
| 300 | 0.15 | 1.27 | 0.87 |
| 500 | 0.04 | 1.387 | 1.10 |
| 500 | 0.08 | 1.421 | 1.19 |
| 500 | 0.15 | 1.438 | 0.81 |
| 800 | 0.04 | 2.972 | 0.93 |
| 800 | 0.08 | 3.421 | 0.97 |
| 800 | 0.15 | 3.645 | 1.22 |
| 1000 | 0.04 | 3.711 | 1.36 |
| 1000 | 0.08 | 3.589 | 1.22 |
| 1000 | 0.15 | 3.733 | 1.52 |
| 1200 | 0.04 | 5.247 | 1.41 |
| 1200 | 0.08 | 5.4 | 0.92 |
| 1200 | 0.15 | 5.69 | 1.80 |
| 1600 | 0.04 | 6.887 | 1.39 |
| 1600 | 0.08 | 7.45 | 1.98 |
| 1600 | 0.15 | 7.44 | 1.87 |

ตารางที่ ก.4 บันทึกผลค่าการทดลองการสั่นสะเทือนสูงสุดของเงื่อนไขน้ำหล่อเย็น

| Spindle speed (rpm) | Feed rate (mm/s) | Average max vibration | S.D |
|---------------------|------------------|-----------------------|------|
| | | (Coolant, m/s) | |
| 300 | 0.04 | 1.133 | 0.25 |
| 300 | 0.08 | 1 | 0.45 |
| 300 | 0.15 | 1.3 | 0.21 |
| 500 | 0.04 | 1.433 | 0.66 |
| 500 | 0.08 | 1.451 | 0.37 |
| 500 | 0.15 | 1.63 | 1.06 |
| 800 | 0.04 | 3.111 | 1.74 |
| 800 | 0.08 | 3.833 | 1.13 |
| 800 | 0.15 | 3.633 | 2.05 |
| 1000 | 0.04 | 3.39 | 1.69 |
| 1000 | 0.08 | 3.2 | 1.77 |
| 1000 | 0.15 | 3.67 | 2.29 |
| 1200 | 0.04 | 5.1 | 2.58 |
| 1200 | 0.08 | 5.367 | 2.10 |
| 1200 | 0.15 | 5.57 | 1.27 |
| 1600 | 0.04 | 7.16 | 1.90 |
| 1600 | 0.08 | 7.32 | 1.10 |
| 1600 | 0.15 | 7.3 | 0.64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 บันทึกผลค่าการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรูเงื่อนไขอากาศแห้ง

| Spindle speed (rpm) | Feed rate (mm/s) | Average max temperature (Dry air, C°) | S.D |
|---------------------|------------------|--|-------|
| 300 | 0.04 | 119.00 | 5.51 |
| 300 | 0.08 | 123.67 | 18.45 |
| 300 | 0.15 | 137.00 | 10.82 |
| 500 | 0.04 | 153.00 | 15.13 |
| 500 | 0.08 | 150.67 | 17.01 |
| 500 | 0.15 | 149.33 | 5.03 |
| 800 | 0.04 | 140.00 | 9.07 |
| 800 | 0.08 | 142.00 | 12.58 |
| 800 | 0.15 | 152.00 | 17.01 |
| 1000 | 0.04 | 166.00 | 17.90 |
| 1000 | 0.08 | 178.00 | 12.58 |
| 1000 | 0.15 | 204.00 | 19.05 |
| 1200 | 0.04 | 196.67 | 15.50 |
| 1200 | 0.08 | 207.67 | 20.65 |
| 1200 | 0.15 | 211.00 | 15.01 |
| 1600 | 0.04 | 220.00 | 20.07 |
| 1600 | 0.08 | 217.67 | 6.03 |
| 1600 | 0.15 | 214.67 | 13.20 |

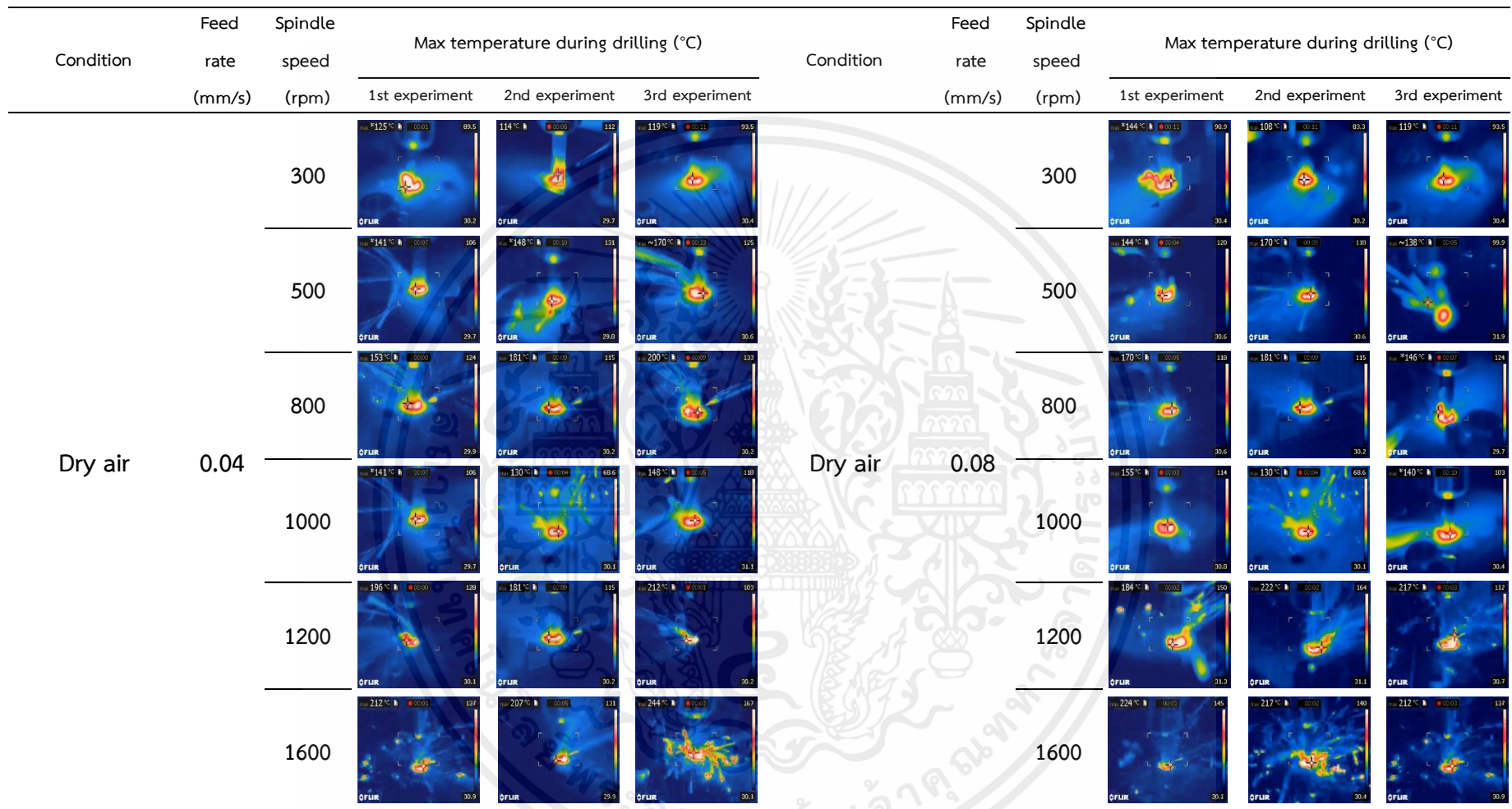
ตารางที่ ก.6 บันทึกผลค่าการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรูเงื่อนไขน้ำหล่อเย็น

| Spindle speed (rpm) | Feed rate (mm/s) | Average max temperature (Coolant, C°) | S.D |
|---------------------|------------------|--|-------|
| 300 | 0.04 | 54.80 | 9.22 |
| 300 | 0.08 | 46.60 | 8.92 |
| 300 | 0.15 | 42.37 | 6.31 |
| 500 | 0.04 | 66.00 | 5.92 |
| 500 | 0.08 | 58.17 | 1.04 |
| 500 | 0.15 | 49.20 | 3.95 |
| 800 | 0.04 | 66.27 | 8.88 |
| 800 | 0.08 | 55.33 | 3.25 |
| 800 | 0.15 | 63.30 | 10.05 |
| 1000 | 0.04 | 76.97 | 18.38 |
| 1000 | 0.08 | 61.33 | 2.97 |
| 1000 | 0.15 | 57.13 | 4.65 |
| 1200 | 0.04 | 77.00 | 24.31 |
| 1200 | 0.08 | 77.17 | 16.17 |
| 1200 | 0.15 | 80.57 | 17.69 |
| 1600 | 0.04 | 101.00 | 8.88 |
| 1600 | 0.08 | 99.00 | 15.71 |
| 1600 | 0.15 | 115.67 | 11.85 |

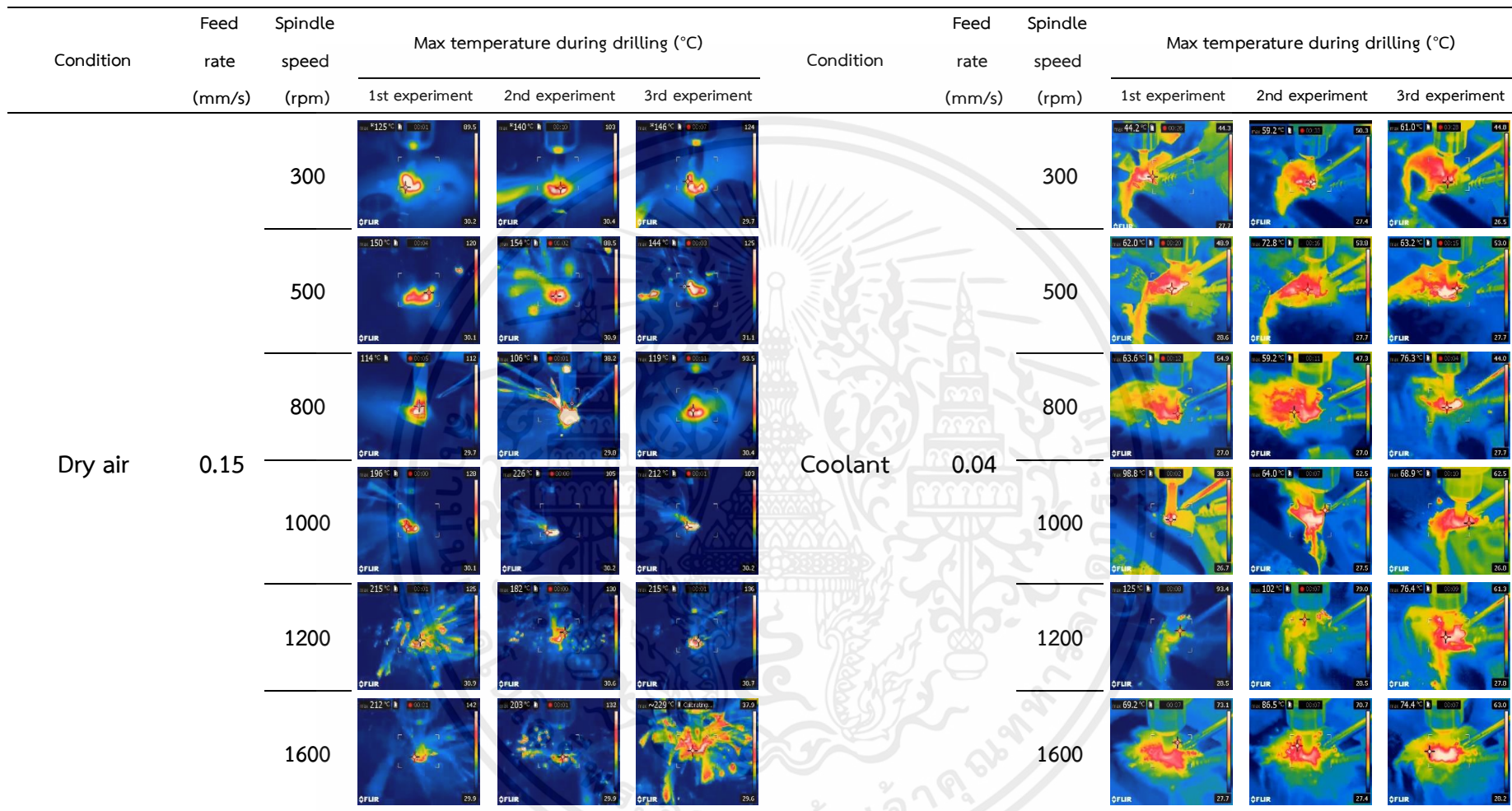
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



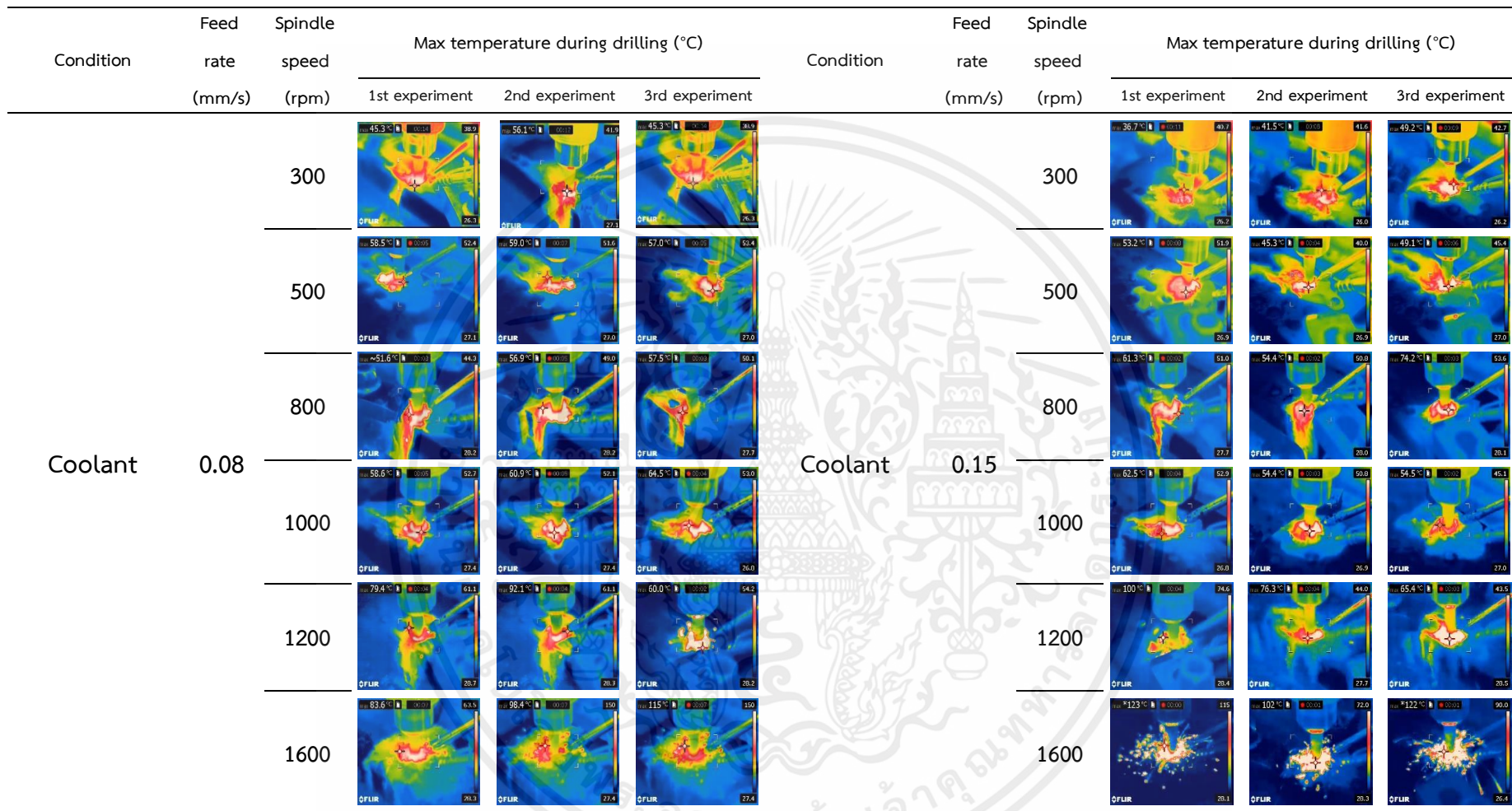
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 บันทึกภาพการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรู (Dry air, 0.04 mm/s และ Dry air, 0.08 mm/s)



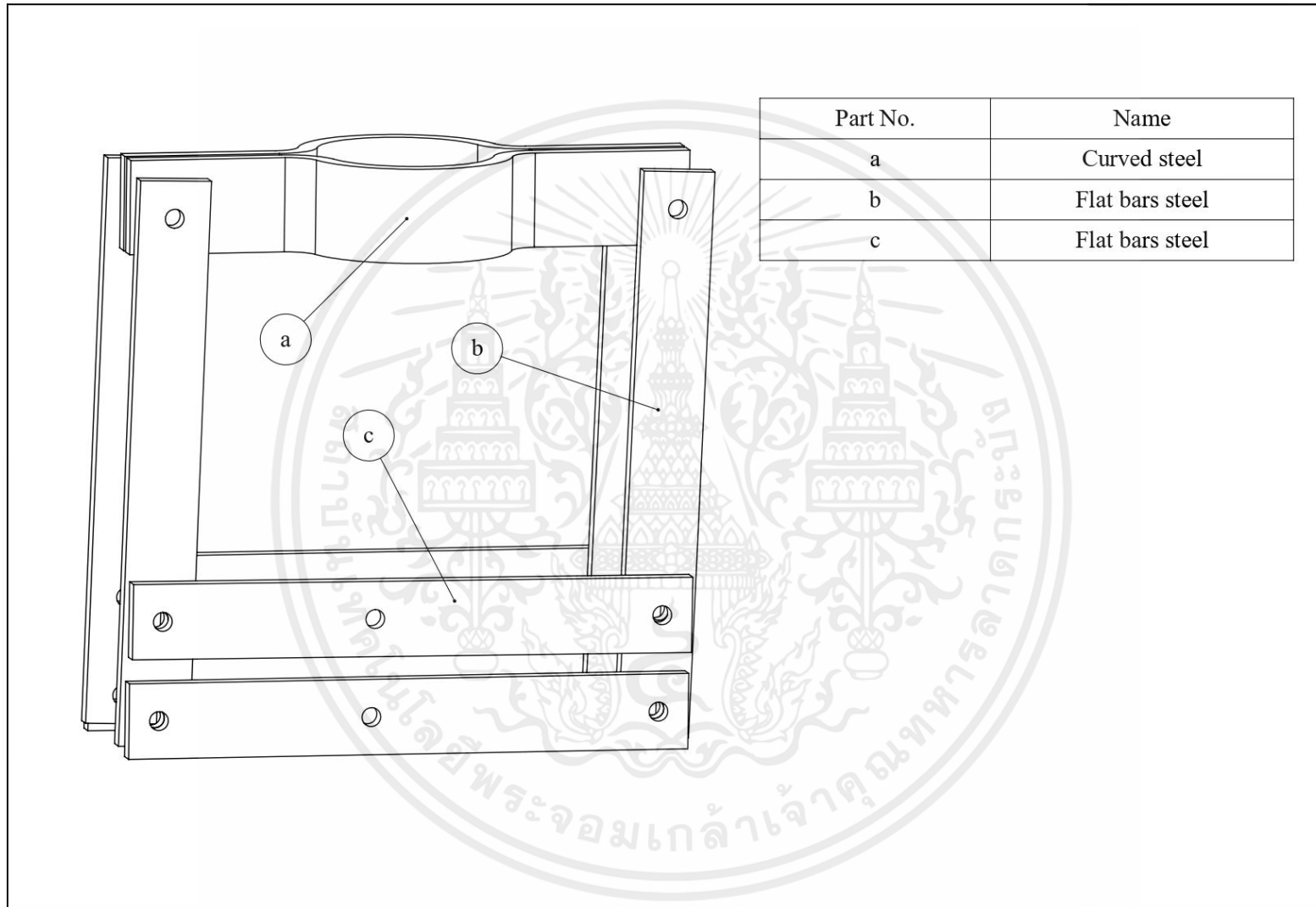
รูปที่ ข.2 บันทึกภาพการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรู (Dry air, 0.15 mm/s และ Coolant, 0.04 mm/s)



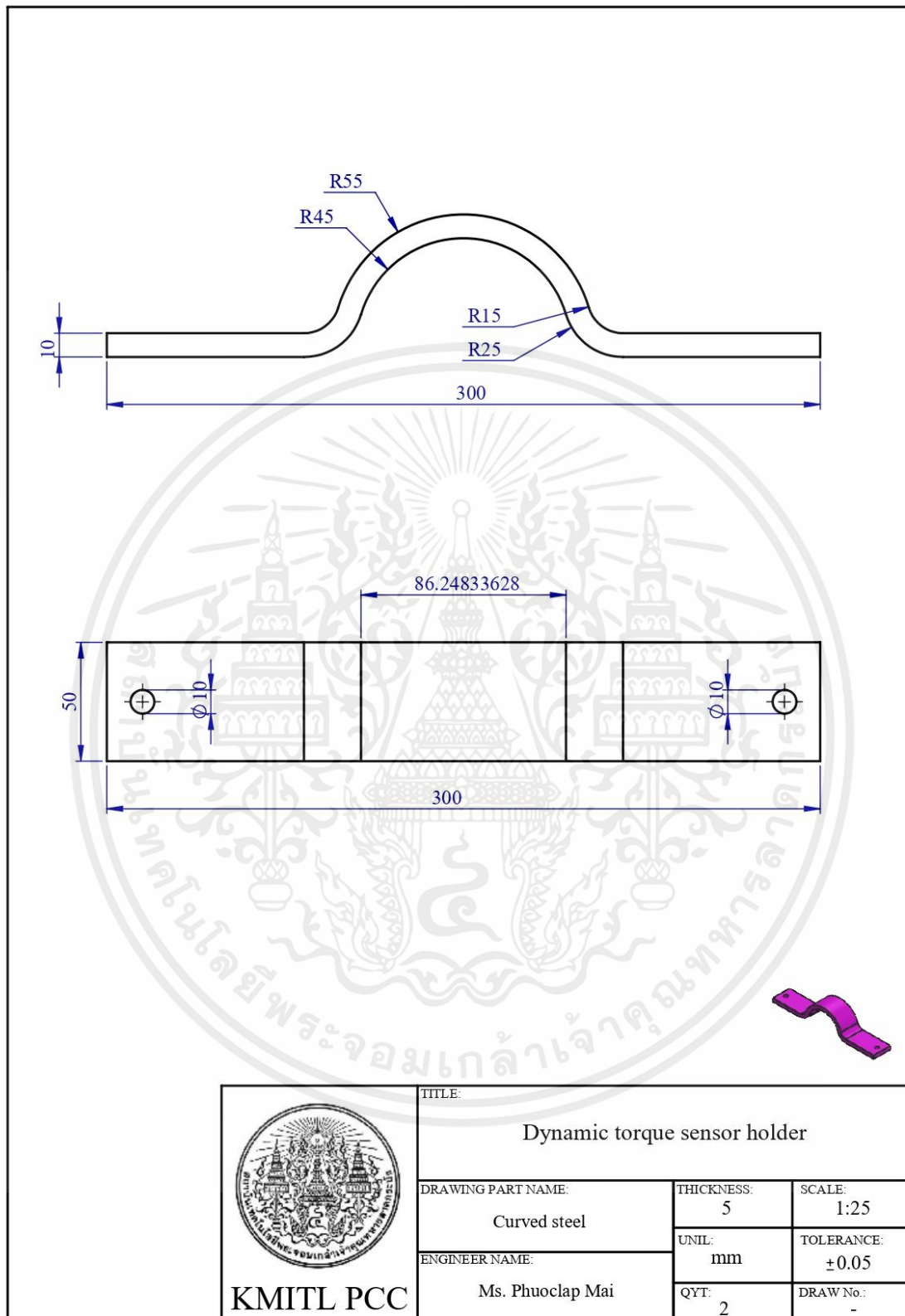
รูปที่ ข.3 บันทึกภาพการทดลองอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการเจาะรู (Coolant, 0.08 mm/s และ Coolant, 0.15 mm/s)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

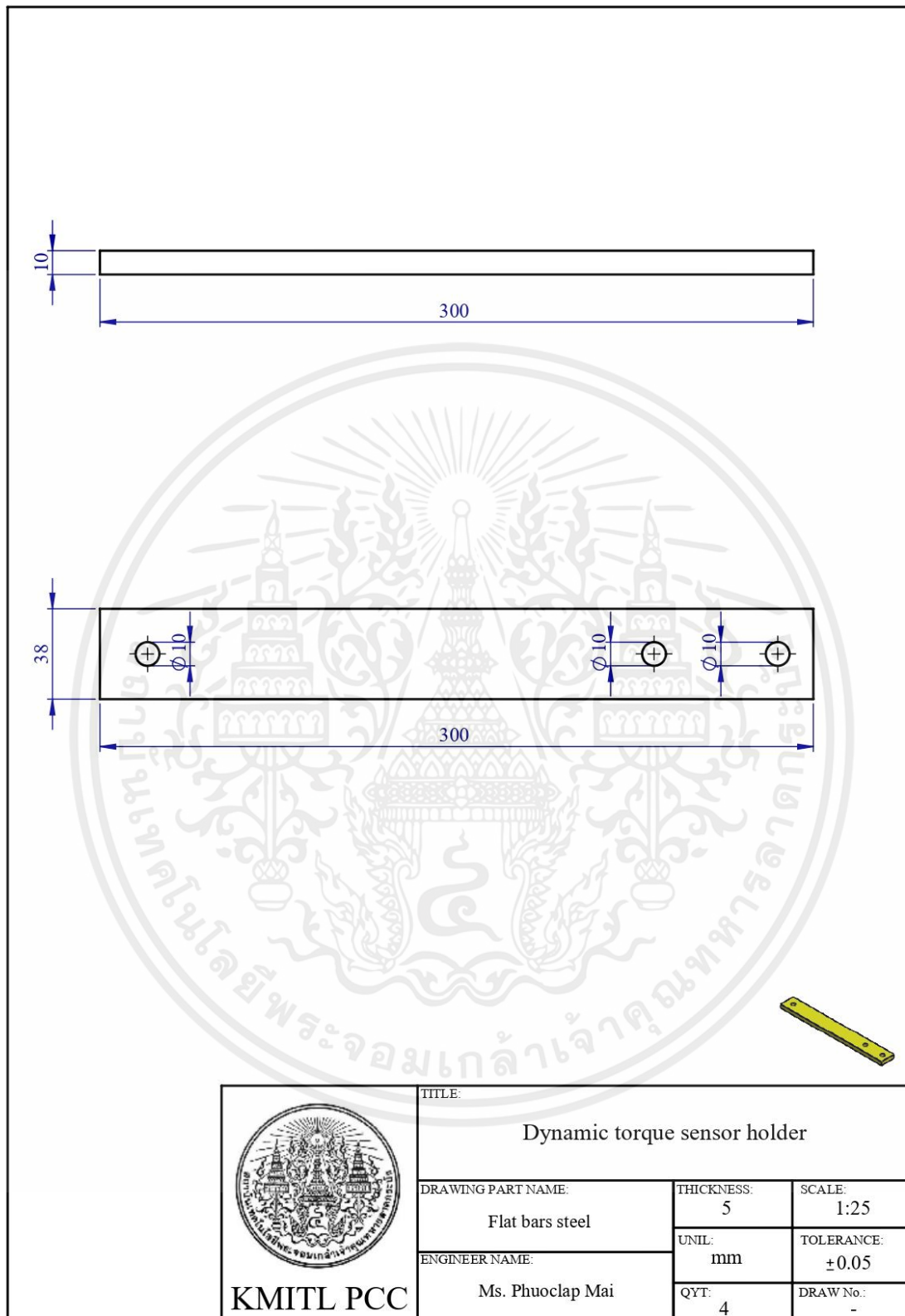


รูปที่ ค.1 ชิ้นส่วนประกอบของ Dynamic torque sensor holder



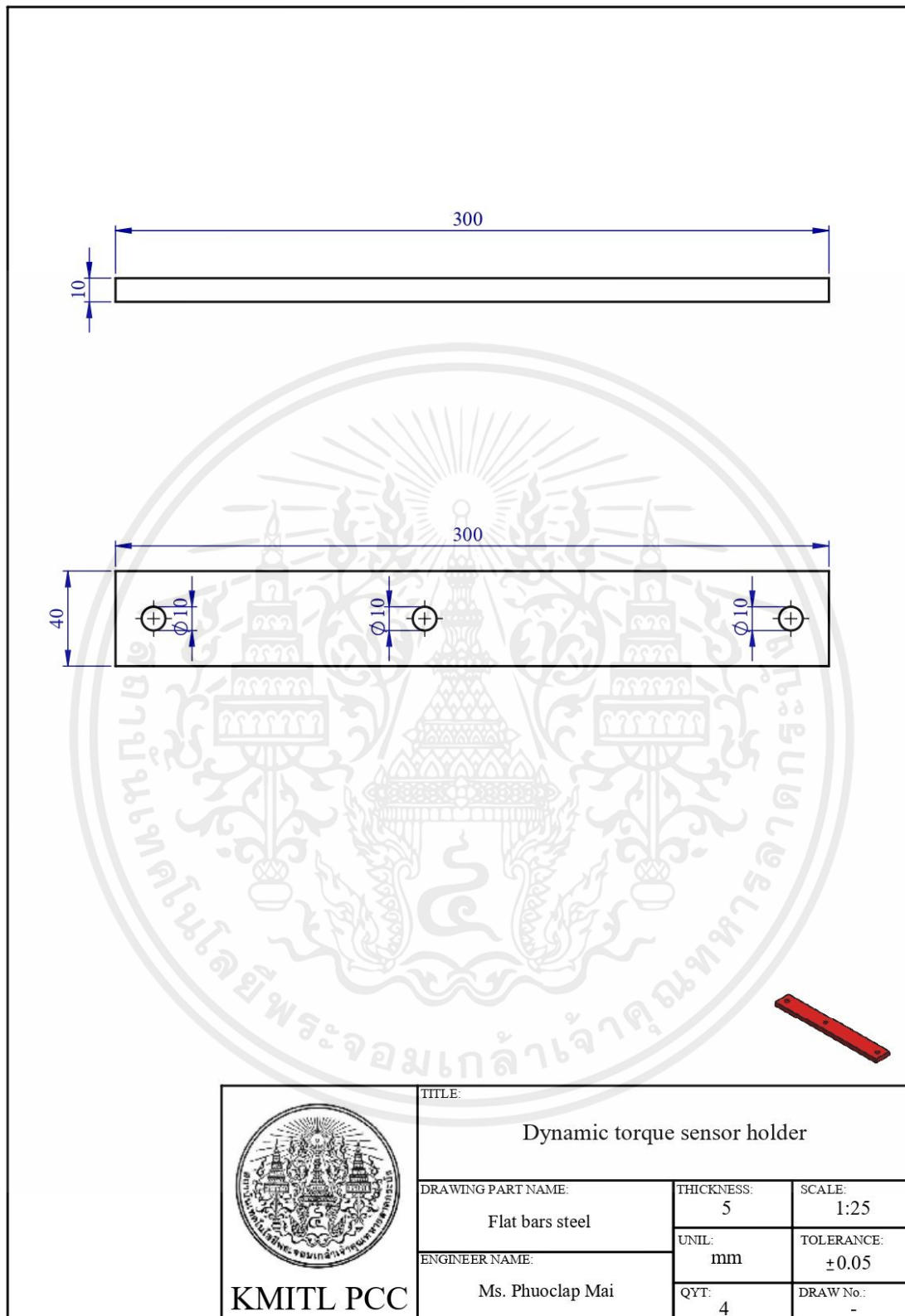
รูปที่ ค.2 ชิ้นส่วนของ Dynamic torque sensor holder (Curved steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 ชิ้นส่วนของ Dynamic torque sensor holder (Flat bars steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

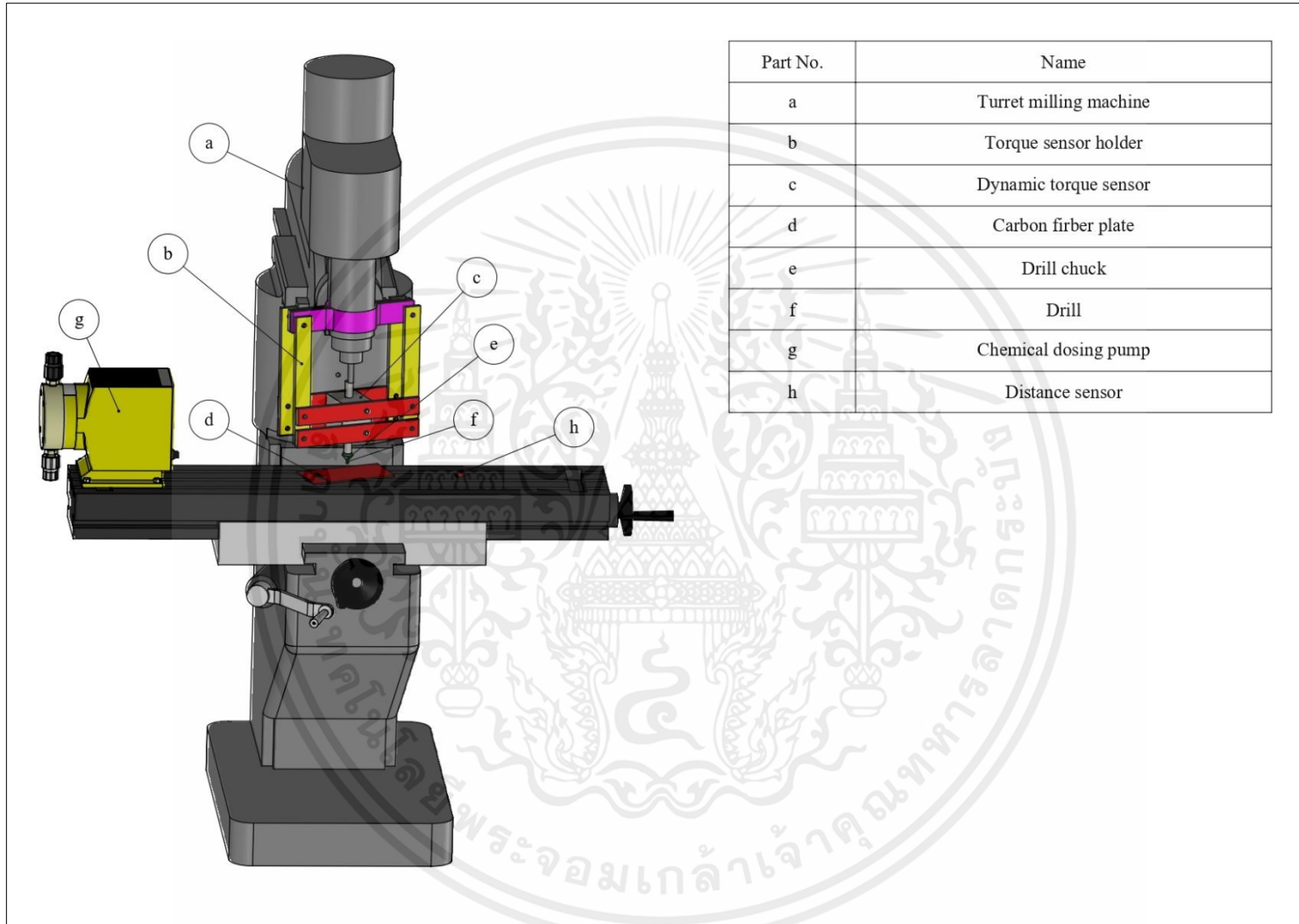


รูปที่ ค.4 ชิ้นส่วนของ Dynamic torque sensor holder (Flat bars steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



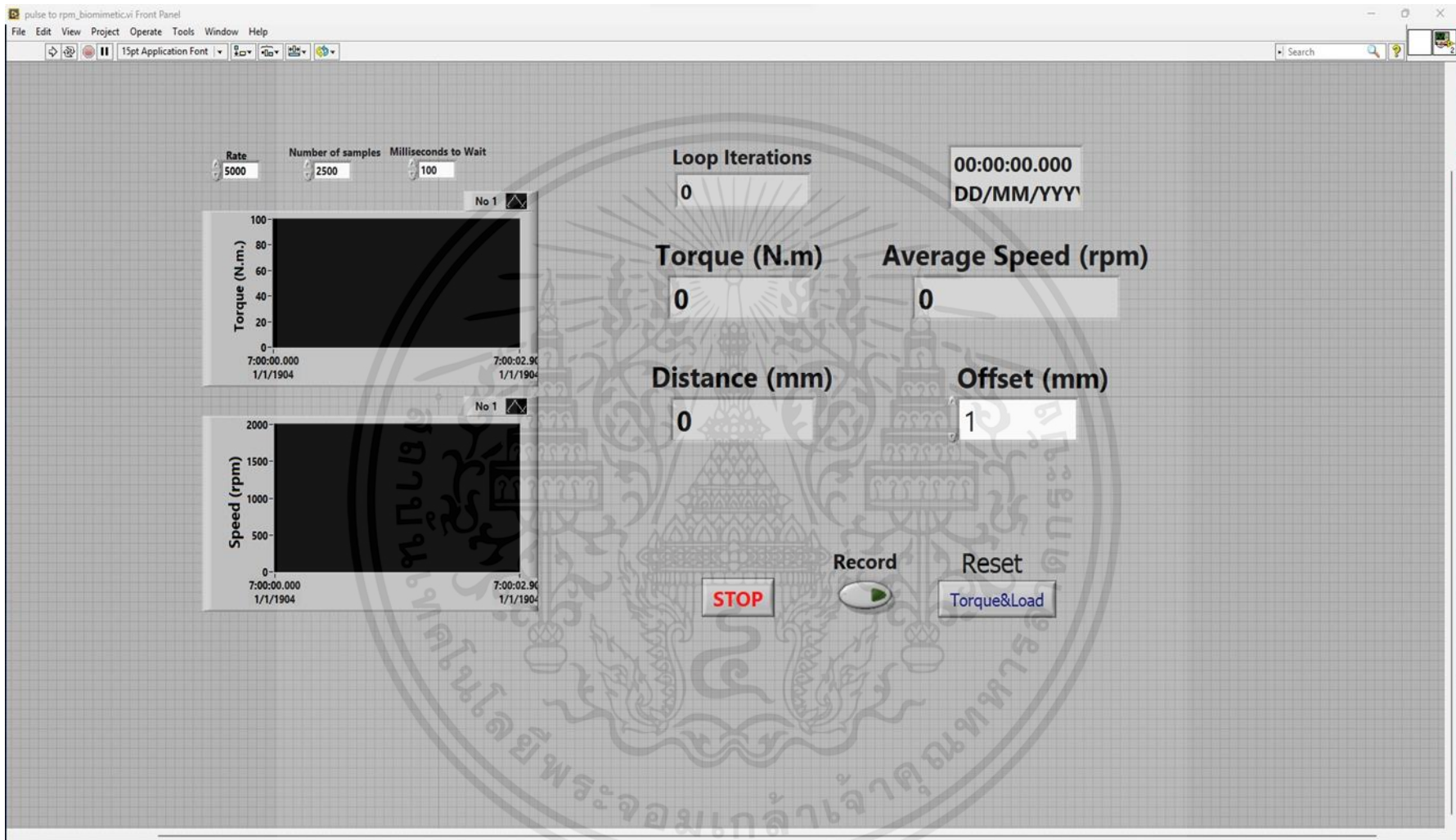
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1 หน้าโปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการทดลองหาค่าแรงบิด

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายเพ็ญหทัย มาย
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ.2540
ภูมิลำเนา ประเทศ เวียดนาม
ที่อยู่ 555/188 ตำบลป่าไร่ อำเภออรัญประเทศ
จังหวัดสระแก้ว 27120

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนคาราสุมุทอรัญประเทศ
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- อบรมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์และยานยนต์ไฟฟ้า จาก ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อบรมความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าจาก ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์ วิวัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐวดี สุมาวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 9 มีนาคม พ.ศ.2544
ภูมิลำเนา จังหวัด นครศรีธรรมราช
ที่อยู่ 26/1 หมู่ที่ 10 ตำบลกะปาง อำเภอทุ่งสง
จังหวัดนครศรีธรรมราช 80310

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนทุ่งสง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- อบรมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์และยานยนต์ไฟฟ้า จาก ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อบรมความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าจาก ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์ วิวัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นางสาวนภัสกร จินดาวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ.2543
ภูมิลำเนา จังหวัด นครศรีธรรมราช
ที่อยู่ 252 หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านลานาว อำเภอบางขัน
จังหวัดนครศรีธรรมราช 80360

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนทุ่งสง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- อบรมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์และยานยนต์ไฟฟ้า จาก ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อบรมความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าจาก ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์ วิวัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้