เครื่องมือตรวจการสัมผัสสำหรับการปรับระนาบเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก

Contact-Inspection Device For Thermode Alignment in Anisotropic-Conductive-Film Bonding

นายวิรชัช โชคจิรประภา

MR. WIRACHAT CHOKCHIRAPRAPHA

นายอภิเศรษฐ์ ธัญธรบุญสิทธิ์

MR. APISATE TANYATORNBOONYASITH

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เครื่องมือตรวจการสัมผัสสำหรับการปรับระนาบเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก

Contact-Inspection Device For Thermode Alignment in Anisotropic-Conductive-Film Bonding

นายวิรชัช โชคจิรประภา

MR. WIRACHAT CHOKCHIRAPRAPHA

นายอภิเศรษฐ์ ธัญธรบุญสิทธิ์

MR. APISATE TANYATORNBOONYASITH

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact-Inspection Device For Thermode Alignment in Anisotropic-Conductive-Film Bonding

MR. WIRACHAT CHOKCHIRAPRAPHA
MR. APISATE TANYATORNBOONYASITH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องมือตรวจการสัมผัสสำหรับการปรับระนาบเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก
Contact-Inspection Device For Thermode Alignment in Anisotropic-Conductive-Film Bonding

นักศึกษา นายวิรชัช โชคจิรประภา รหัสประจำตัว 56011137
นายอภิเศรษฐ์ ธัญธรบุญสิทธิ์ รหัสประจำตัว 56011415

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องมือตรวจการสัมผัสสำหรับการปรับระนาบเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก
นักศึกษา	นายวิรชัช โชคจิรประภา นายอภิเศรษฐ์ ธัญธรบุญสิทธิ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือที่จะปรับแต่งระนาบของหัวเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก (Anisotropic-Conductive-Film (ACF) Bonding) กระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิกนั้นเป็นการเชื่อมต่อของ Head Gimbal Assembly (HGA) และ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) ของชิ้นส่วน Head Stack Assembly (HSA) ในฮาร์ดดิส และหน้าที่ของหัวเทอร์โหมดคือการให้ความร้อนและแรงกดลงบนรอยเชื่อมต่อหรือ Bond Pad ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือถ้าหัวเทอร์โหมดและ Bond Pad นั้นมีระนาบที่ไม่ตรงกัน จะทำให้มีบางส่วนบน Bond Pad ที่ไม่ได้รับแรงกดเพียงพอ ซึ่งจะทำให้เกิดคุณสมบัติทางกลและไฟฟ้าที่ไม่ดีในพื้นที่นั้นๆ และอาจจะทำให้ฮาร์ดดิสใช้งานไม่ได้หรือมีอายุการใช้งานที่สั้นลง ในการศึกษานี้ เครื่องมือปรับแต่งระนาบนั้นจะมี ระนาบที่เหมือนกับระนาบของ Bond Pad และบนระนาบนั้นจะมีเครื่องตรวจจับทางไฟฟ้าอยู่หลายตำแหน่ง เครื่องมือนี้จะทำงานโดยการวัดเวลาที่ระนาบของหัวเทอร์โหมดมาสัมผัสกับเครื่องตรวจจับ ซึ่งเวลาที่วัดได้จากเครื่องตรวจจับนั้นจะสามารถนำมาคำนวณระนาบของหัวเทอร์โหมดได้ ในการศึกษานี้ทดสอบการวัดพิกเซลสีแดงที่มาจากแผ่นวัดแรงดัน เทียบกับเวลาเฉลี่ยตั้งแต่โปรแกรมเริ่มทำงานจนถึงตอนที่หัวเทอร์โหมดสัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์ จากข้อมูลนี้ สามารถกำหนดมาตรฐานที่บ่งบอกการเริ่มเอียงของระนาบเทอร์โหมดออกมาในเชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Contact-Inspection Device for Thermode Alignment in Anisotropic-Conductive-Film Bonding
Student	Mr. Wirachat Chokchiraprapha
	Mr. Apisate Tanyatornboonyasith
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year	2016
Thesis Advisor	Dr. Nirand PisuthaArnond

ABSTRACT

This project focuses on fabrication of a device that inspects the orientation of the thermode used in anisotropic-conductive-film (ACF) bonding. The ACF bonding is a process used to establish an electrical/mechanical connection between a head gimbal assembly (HGA) and an actuator pivot flex assembly (APFA) of the head-stack-assembly (HSA) in the hard disk drive (HDD); the role of thermodes is to apply heat and pressure to the connection or the bond pad. Without proper alignment between the contact plane of the thermode and the bond pad, insufficient application of pressure could occur in some areas. This could then lead to poor mechanical/electrical properties in these particular areas and potentially cause device malfunctioning or short device lifetime. In this study, the "contact-Inspection" device has a contact plane that mimics the orientation of the bonding pad and on this contact plane, several electrical sensors are attached. The device then inspects the orientation of the thermode by measuring the time at which each sensor makes electrical contact with the contact surface of the thermode. The difference in contact times from the sensors can be used to estimate the thermode orientation and this information can then be used to readjust the thermode. The inspection and readjustment processes will repeat until proper thermode alignment is achieved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องมือตรวจการสัมผัสสำหรับการปรับระนาบเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก สามารถสำเร็จลุล่วงบรรลุผลตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ในลำดับถัดมา คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาด้านการออกแบบทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาสิริ และ ดร.พชรพล ตัณฑวิรุฬห์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการเป็นคณะกรรมการที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คุณกำธร สุขพิมาย คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกสำหรับการใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆภายในห้องปฏิบัติการ

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ภายในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวอันเป็นที่รัก รวมถึงเพื่อนๆและพี่ๆ สำหรับการให้การสนับสนุน ทั้งด้านความช่วยเหลือ และกำลังใจ การให้คำปรึกษา ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายวิรชัช โชคจิรประภา
นายอภิเศรษฐ์ ธัญธรบุญสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก 3

2.4 แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board : PCB) 3

2.5 Arduino และ บอร์ด i-Duino UNO 5

2.6 ระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic System) 6

2.7 การทดสอบที หรือ T-Test 6

2.8 ANOVA 7

บทที่ 3 การดำเนินงาน

3.1 สาเหตุของปัญหา 11

3.2 แนวทางการแก้ไข 12

3.3 สร้างเครื่องมือต้นแบบ 13

3.3.1 ฮาร์ดแวร์ของเครื่องมือ 12

3.3.2 ซอฟต์แวร์ของเครื่องมือ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 โปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบแผ่นวัดแรงดัน..... 15

3.5 สร้างเครื่องจำลองของ ACF Bonding Machine..... 16

3.5.1 ส่วนของตัวปรับระนาบรอบแกน x และ y..... 16

3.5.2 สร้างส่วนลำตัวเครื่อง..... 18

3.6 การทดลอง..... 21

3.6.1 สมมติฐาน..... 21

3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง..... 21

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดลอง..... 22

4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 23

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 25

เอกสารอ้างอิง..... 26

ภาคผนวก..... 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ภาพจำลองหัวเทอร์โหมดแบบ Diablo..... 1
รูปที่ 2.1 ความไม่แน่นอนในการตรวจสอบด้วยแผ่นวัดแรงดัน..... 5
รูปที่ 2.2 แผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์..... 6
รูปที่ 2.3 แผ่นวงจรพิมพ์เปล่า..... 6
รูปที่ 2.4 แสดงฟังก์ชั่นการใช้งานของบอร์ด i-Duino UNO..... 7
รูปที่ 3.1 กระบวนการ ACF Bonding..... 7
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของวงจรที่ใช้กระบวนการ ACF Bonding ในการเชื่อมวงจรเข้ากับหัวอ่าน..... 10
รูปที่ 3.3 การวัดระนาบโดยใช้แผ่นวัดแรงดัน..... 10
รูปที่ 3.4 แสดงภาพตัวอย่างของหัวเทอร์โหมดใน Bottom View..... 10
รูปที่ 3.5 แสดงภาพตัวอย่างของหัวเทอร์โหมดใน Side View..... 10
รูปที่ 3.6 ผลการตรวจสอบด้วยแผ่นวัดแรงดันของการปรับหัวเทอร์โหมดที่ตรงระนาบ..... 11
รูปที่ 3.7 ผลการตรวจสอบด้วยแผ่นวัดแรงดันของการปรับเทอร์โหมดที่ไม่ตรงระนาบ..... 11
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานต้นแบบ..... 12
รูปที่ 3.9 แผ่นวงจรพิมพ์ที่ตัดวางลงบนชิ้นงานต้นแบบ..... 13
รูป 3.10 แสดงภาพชิ้นงานตัวอย่างหลังทำการบัดกรีเชื่อมแผ่นวงจรพิมพ์กับสายไฟ..... 13
รูป 3.11 แสดงภาพชิ้นงานตัวอย่างหลังทำการบัดกรีเชื่อมแผ่นวงจรพิมพ์กับสายไฟ..... 13
รูปที่ 3.12 สัญญาณไฟ 4 ดวง..... 14
รูปที่ 3.13 แผ่นวงจรพิมพ์ 4 ส่วน..... 14
รูปที่ 3.14 ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาของระนาบตัวอย่างเท่ากับ 2028 ไมโครวินาที..... 15
รูปที่ 3.15 แผ่นวัดแรงดันที่วางบนแผ่นกระดาษที่มีรูปกล่องสีดำ..... 15
รูปที่ 3.16 โปรแกรม Matlab ที่ใช้ในการหาค่าพิกเซลสีแดง..... 16
รูปที่ 3.17 แผ่นอลูมิเนียมกว้าง 6.6 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร..... 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.18 อลูมิเนียมทรงกระบอก ยาว 6.6 เซนติเมตร และ 8 เซนติเมตร..... 17
รูปที่ 3.19 แผ่นอลูมิเนียมหลังกัดร่อง..... 17
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาเท่ากับ 3329ไมโครวินาที และมีค่าพิกเซลสีแดง เท่ากับ 0.3813..... 22
รูปที่ 4.2 ไม่สามารถวัดค่าเวลาได้ และมีค่า พิกเซลสีแดงเท่ากับ 0.2212..... 22
รูปที่ 5.1 รูปผลของแผ่นวัดแรงดันที่เวลาเฉลี่ย..... 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

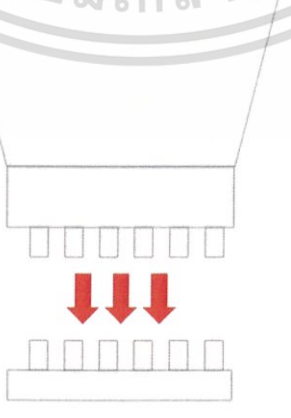
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด (Western Digital (Thailand) Co., Ltd.) หรือ WD เป็นผู้บุกเบิกเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดดิสก์โดยมีฐานการผลิตหลักทั้งโรงงานผลิตชิ้นส่วน และโรงงานประกอบอยู่ในประเทศไทย โดยการผลิตเน้นใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติในการผลิต โดยมีบุคลากรที่มีความสามารถคอยวางแผนและดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพ และยกระดับสมรรถภาพผลผลิตให้สูงขึ้นอยู่เสมอ เพื่อตอบสนองความพอใจสูงสุดของลูกค้า

ปัจจุบันพบว่า บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด กำลังประสบปัญหา ด้านคุณภาพของสายการผลิตฮาร์ดดิสก์เนื่องมาจากหัวอ่านฮาร์ดดิสก์จำนวนหนึ่งใช้งานไม่ได้ เกิดจากปัญหาด้านการเชื่อมวงจร จึงทำให้สินค้าไม่ผ่านกระบวนการควบคุมคุณภาพ ส่งผลให้บริษัทสูญเสียรายได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งหนึ่งในขั้นตอนการผลิตที่อาจส่งผลให้เกิดปัญหานั้นคือขั้นตอน Anisotropic Conductive Film Bonding หรือ ACF Bonding ซึ่งเป็นขั้นตอนในการเชื่อม Flex Circuit กับ Actuator Pivot Flex Assembly ซึ่งในกระบวนการนี้ต้องใช้หัวเทอร์โหมดในการให้ความร้อน และความดันกับชิ้นส่วนที่ต้องถูกประสาน โดยที่ระนาบของเทอร์โหมด กับชิ้นส่วนที่ต้องถูกประสานนั้น จำเป็นต้องมีความขนานกันเพื่อที่จะทำให้รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ต้องถูกประสานนั้น มีความแข็งแรง และนำไฟฟ้าได้เพียงพอ

กระบวนการผลิต ACF Bonding ประกอบด้วยสายการผลิต 2 แบบ คือ 1. Diablo และ 2. Giant ซึ่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของสายการผลิตแบบ Diablo เท่านั้น ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ภาพจำลองหัวเทอร์โหมดแบบ Diablo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการจัดระนาบของเทอร์โหมดโดยพนักงานในโรงงานนั้น ยังขาดมาตรฐาน เนื่องจากการจัดระนาบของเทอร์โหมดจะใช้ความชำนาญส่วนบุคคลของพนักงานเป็นหลัก โดยมาตรฐานของพนักงานแต่ละคนไม่ได้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ส่งผลต่อการควบคุมคุณภาพ และทำให้ต้องหยุดการผลิตเป็นเวลานาน ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะกล่าวถึงการสร้างต้นแบบของเครื่องมือที่จะทำให้กระบวนการปรับแต่งระนาบของหัวเทอร์โหมดมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้การตรวจสอบระนาบของหัวเทอร์โหมดทำได้ง่ายและมีมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของการเชื่อมวงจรที่ดีขึ้น และทำให้การผลิตเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น โดยต้นแบบของเครื่องมือที่จะสร้างขึ้นมานั้น เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบการปรับแต่งหัวเทอร์โหมดเฉพาะในระนาบที่ศึกษาเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์

สร้างเครื่องมือต้นแบบสำหรับการตรวจสอบการปรับแต่งระนาบของหัวเทอร์โหมดในกระบวนการ ACF Bonding ที่ใช้สำหรับทดแทนแผ่นวัดแรงดัน โดยเครื่องมือสามารถตรวจสอบการปรับระนาบโดยให้ข้อมูลในเชิงปริมาณแทนวิธีเดิมซึ่งให้ข้อมูลในเชิงคุณภาพ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะระนาบของชิ้นงานต้นแบบที่จำลองขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ชื่อ Diablo (มี 6 แฉก) และใช้เครื่องจำลองของเครื่องจักรที่อยู่ในสายการผลิตที่ควบคุมด้วยมือสำหรับกระบวนการ ACF Bonding

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดการใช้วัสดุสิ้นเปลืองในกระบวนการ
2. ลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ โดยเปลี่ยนจากการวัดเชิงคุณภาพเป็นการวัดเชิงปริมาณ
3. ได้นำความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องมือสำหรับตรวจสอบการปรับแต่งหัวเทอร์โหมด โดยจะออกแบบสำหรับเฉพาะในระนาบที่ศึกษาเท่านั้น ซึ่งอยู่ในสายการผลิตแบบ Diablo และอยู่ในกระบวนการผลิต ACF Bonding กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการศึกษาการสภาพการทำงานในปัจจุบัน วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากสภาพการทำงานในปัจจุบัน และออกแบบเครื่องมือเพื่อช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต

2.1 กระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก

กระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก (Anisotropic Conductive Film Bonding หรือ ACF Bonding) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกัน ด้วยเทอร์โหมด ซึ่งให้ความร้อนและความดันกับชิ้นงาน ผ่านสิ่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมในกระบวนการนี้ก็คือฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก (Anisotropic Conductive Film หรือ ACF Tape) มีลักษณะเป็นเทปกาวอิพอกซี (epoxy) และมีอนุภาคที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองเชื่อมกันโดยที่ยังคงคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ ซึ่งในงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะใช้ในการเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ไดร์ฟ (drive electronics) และแผ่นฐานหรือซับสเตรท (Substrate) เช่น chip on glass (COG), flex on glass (FOG), flex on board (FOB)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาในกระบวนการการผลิตหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ซึ่งในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิกนั้นเป็นการเชื่อมต่อของ Head Gimbal Assembly (HGA) และ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) ของชิ้นส่วน Head Stack Assembly (HSA) ในฮาร์ดดิสก์ และยังเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตหัวอ่านฮาร์ดดิสก์อีกด้วย

2.4 แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board : PCB)

แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board หรือ PCB) คือ ส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่อยู่บนแผงวงจร ทำให้อุปกรณ์ต่างๆเชื่อมต่อกันได้ และสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้

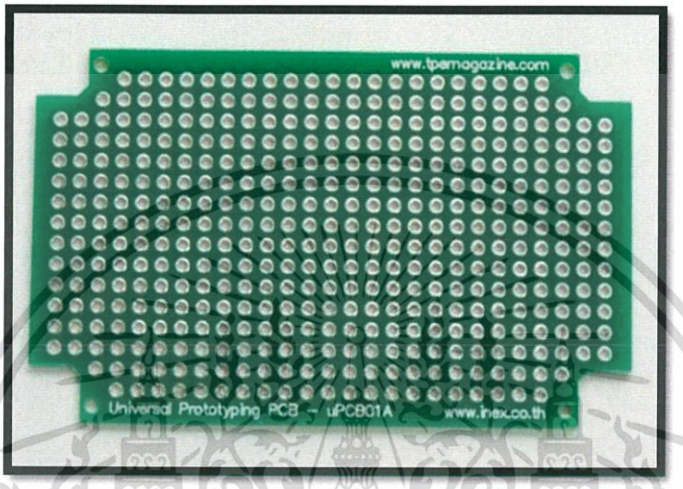
แผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบไปด้วยแผ่นฐานหรือซับสเตรท (Substrate) ที่ทำจากแผ่นฉนวนบาง ๆ อัดยึดรวมกันด้วยพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting plastic) เพื่อรองรับแผ่นตัวนำที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำซับสเตรตที่นิยม เช่น กระดาษชุบฟีนอลลิกอัด, อีพอกซี่ไฟเบอร์กลาส เป็นต้น แผ่นวงจรพิมพ์จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

-แผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์ (Universal PCB Board)

จะเป็นแผ่นวงจรพิมพ์แบบที่เป็นรูๆเพื่อใส่ขาอุปกรณ์ แล้วก็โยงสายทองแดงหากัน ตามที่ออกแบบ



รูปที่ 2.2 แผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์

-แผ่นวงจรพิมพ์เปล่า หรือ แผ่นปรินท์

รูปที่ 2.3 แผ่นวงจรพิมพ์เปล่า

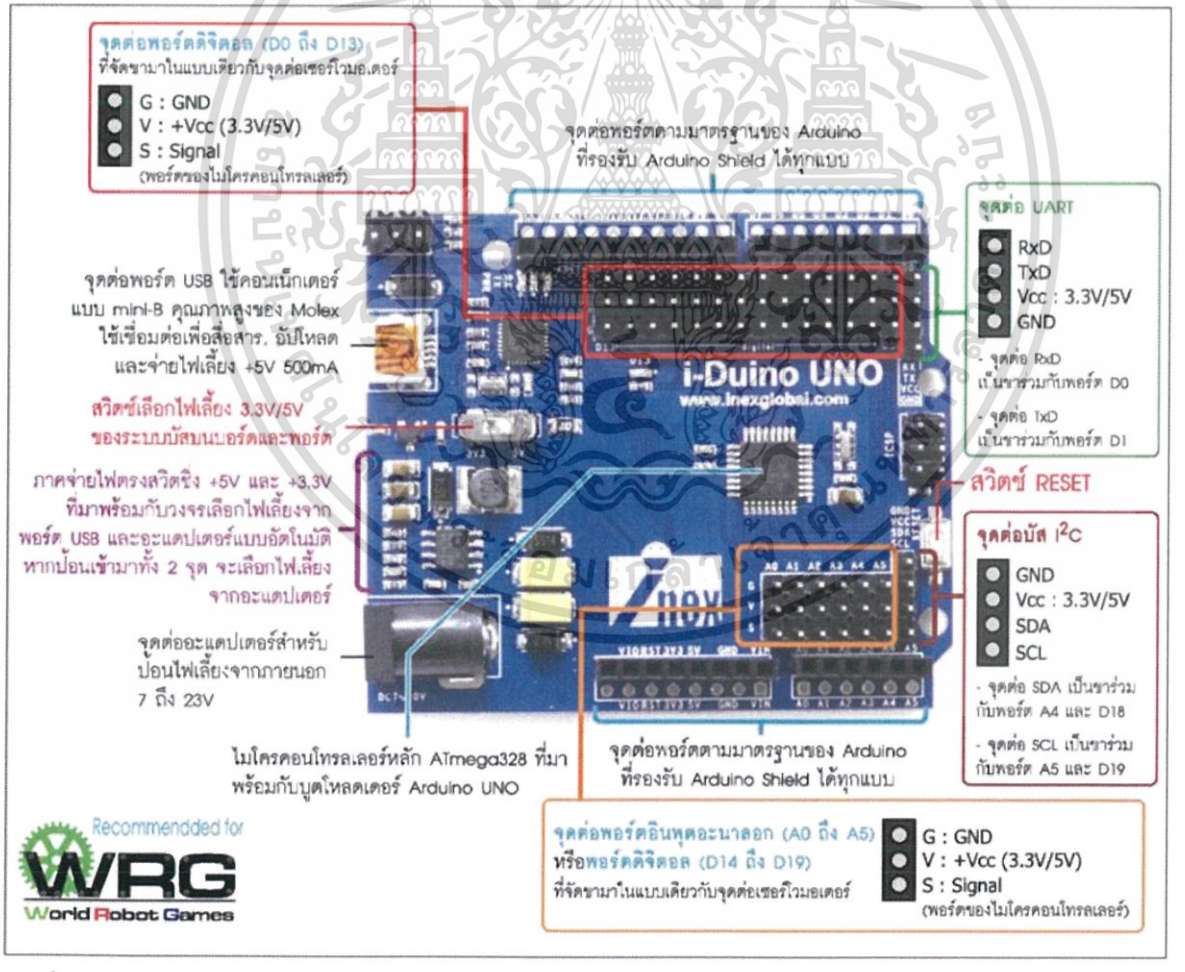
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Arduino และ บอร์ด i-Duino UNO

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีจุดมุ่งหมายให้ Arduino Platform เป็น Platform ที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยจะประกอบไปด้วย

- ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ด Arduino โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

- ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ คือ ภาษา Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++, Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และ อัพโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload)



รูปที่ 2.4 แสดงฟังก์ชั่นการใช้งานของบอร์ด i-Duino UNO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino ถูกใช้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกับ MCU คือ ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับ MCU เพื่อควบคุมการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆ ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้ Arduino ในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบเปิด/ปิดไฟในบ้านอัตโนมัติ, ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ, ระบบเปิด/ปิดประตูอัตโนมัติ, ระบบเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ หรือ ใช้ควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของคุมมอเตอร์ เป็นต้น

บอร์ด Arduino ถูกนำมาใช้ในการสร้างเครื่องตรวจสอบการปรับระนาบเทอร์โหมด เนื่องจากสามารถใส่โปรแกรมและมีฟังก์ชันที่ผู้สร้างต้องการ ก็คือการวัดเวลาในหน่วยเวลาไมโครและมิลลิวินาทีและแสดงผลออกมาได้ทันที

2.6 ระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic System)

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวทำงานในการส่งกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องจักรต่างๆ ให้ทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่ เช่น กระบอกสูบหรือมอเตอร์ลม ปัจจุบันได้มีการใช้ลมอัดและระบบนิวแมติกส์มาใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ งานการบรรจุหีบห่อ งานด้านกระบวนการผลิตอาหาร งานการประกอบสิ่งต่างๆ งานขนย้ายวัสดุ งานพิมพ์ และงานด้านอื่นๆอีกมากมายวัตถุประสงค์ของการนำลมอัดมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติและการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้การใช้ลมอัดนั้น ถ้ามีการประกอบรวมกับกำลังไฟฟ้า สามารถดัดแปลงเป็นการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายได้ อีกทั้งลมอัดและระบบนิวแมติกส์ ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีค่าใช้จ่ายต่ำ มีค่าใช้จ่ายต่ำ มีโครงสร้างอย่างง่าย มีความสะดวกในการบำรุงรักษา เป็นต้น

ระบบนิวแมติกส์ถูกนำมาใช้ในการสร้างเครื่องจำลองของเครื่อง ACF Bonding ในส่วนของการยกเทอร์โหมดขึ้นลง และยังสามารถปรับความเร็วตามที่ต้องการได้อีกด้วย

2.7 การทดสอบที หรือ T-Test

การทดสอบที (t-test) เป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิจัย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของประชากร หรือกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Two Independent Samples) แบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Two dependent Samples) โดยสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันจะต้องมีเงื่อนไขดังนี้

-กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไม่สัมพันธ์กัน(เป็นอิสระต่อกัน)

-ค่าของตัวแปรตามในแต่ละหน่วยเป็นอิสระต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ไม่ทราบความแปรปรวนของแต่ละประชากร

-กลุ่มตัวอย่างได้มาอย่างสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

ในการทดลองของวิจัยนี้ต้องการนำข้อมูล 2 ชุดซึ่งเป็น 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันมาเปรียบเทียบกันซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลา และ ค่าพิกเซลสีแดงซึ่งจะกล่าวความหมายในบทถัดไป

2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือ ANOVA

การวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ เทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 2 กลุ่ม ขึ้นไป (ตัวแปรอิสระเป็นแบบจัดกลุ่ม ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ) เช่นเดียวกับ t-test การวิเคราะห์มีทั้งในกรณีที่กลุ่มเป็น อิสระจากกัน และกลุ่มมีความสัมพันธ์กันถ้ามีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียว เรียกว่า One-Way ANOVA ถ้ามี 2 ตัวแปร เรียกว่า Two-Way ANOVA ถ้ามีหลายตัวแปร เรียกว่า Multi-Way ANOVA ซึ่งการวิเคราะห์นี้เป็นการทดสอบที่เรียกว่า Overall Test คือ ทดสอบในภาพรวมว่าอย่างน้อยมีค่าเฉลี่ยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกัน ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นค่อยมาค้นหาต่อไปว่า มีค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน (Post Hoc Test or Multiple Comparison) โดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จะมีค่า Alpha หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริงเรียกว่า Pairwise Error (PE) ตามระดับค่า Alpha ที่ตั้งเอาไว้

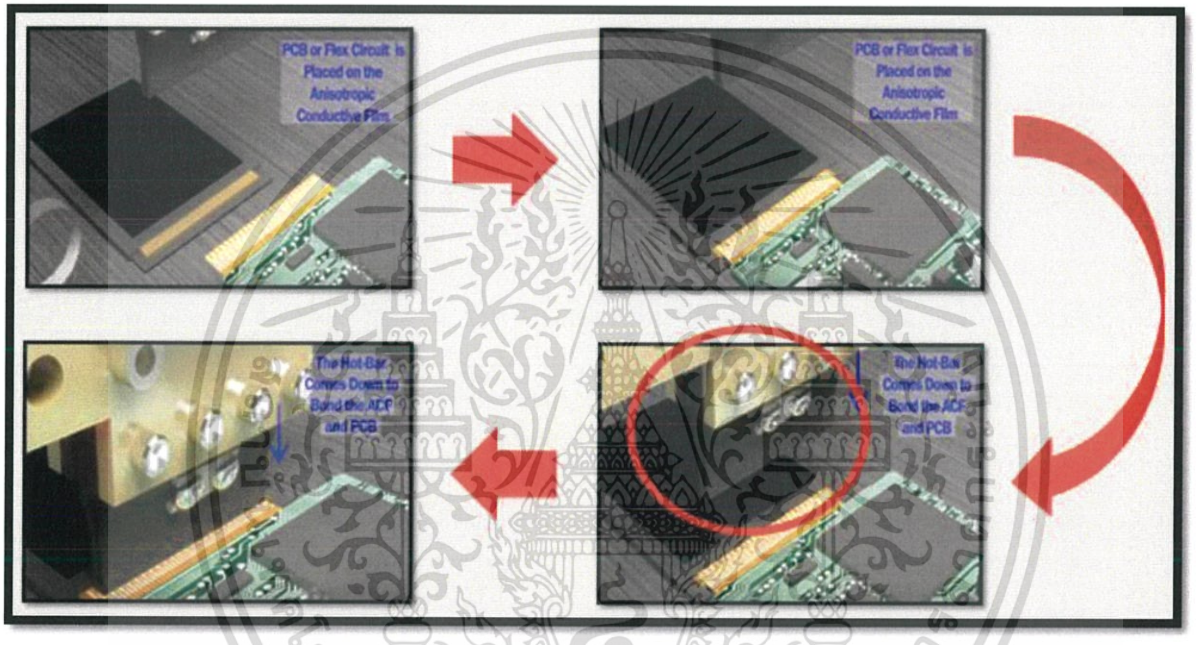
การวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) เราเรียกว่า “Analysis of Variance “ หรือเรียกง่ายๆว่า ANOVA ซึ่งในการทดลองต้องการใช้การพลอตกราฟ ANOVA เพื่อดูแนวโน้มของพฤติกรรมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยที่ข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความแปรปรวนคือ

1. ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องอยู่ในมาตราอันตรภาคหรือ อัตราส่วน (Interval Scale)
2. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้อง สุ่ม จากประชากรที่มีการ แจกแจงแบบโค้งปกติ
3. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องเป็นอิสระจากกัน
4. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องได้มาจากประชากรที่มีความ แปรปรวนเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงาน

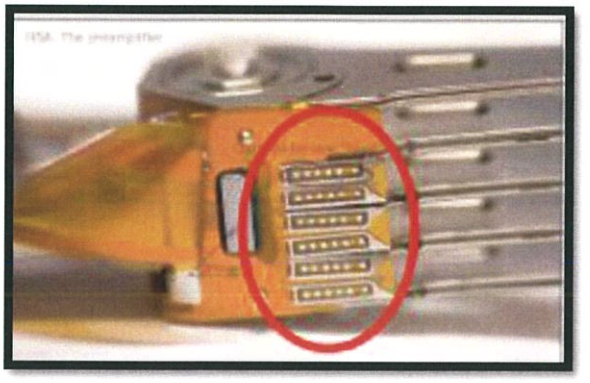
กระบวนการ ACF Bonding คือกระบวนการที่เชื่อมวงจรลงบนชิ้นงาน โดยใช้ความดันและความร้อนจากเทอร์โหมด (ในวงกลมสีแดงในรูปที่3.1) ซึ่งเป็นขั้นตอนการผลิตขั้นสุดท้ายในการผลิตหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์



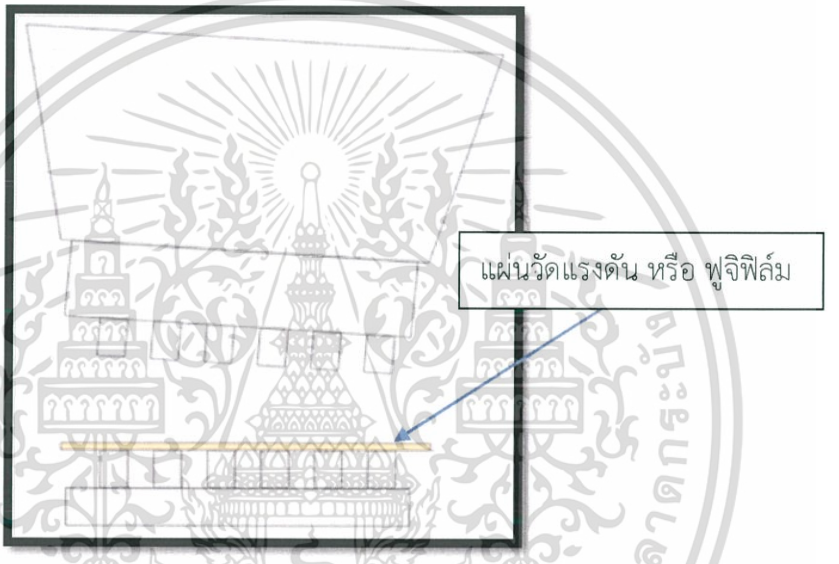
รูปที่ 3.1 กระบวนการ ACF Bonding

ถ้าหัวเทอร์โหมดไม่ขนานกับวงจร จะทำให้หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ทำงานไม่ได้เนื่องจากการเชื่อมวงจรที่ไม่สมบูรณ์ เทอร์โหมดบนเรื่องจักรสามารถปรับได้ด้วยมือโดยต้องอาศัยความชำนาญของพนักงาน และจะถูกวัดระนาบโดยใช้แผ่นวัดแรงดันที่เรียกว่า ฟูจิฟิล์ม

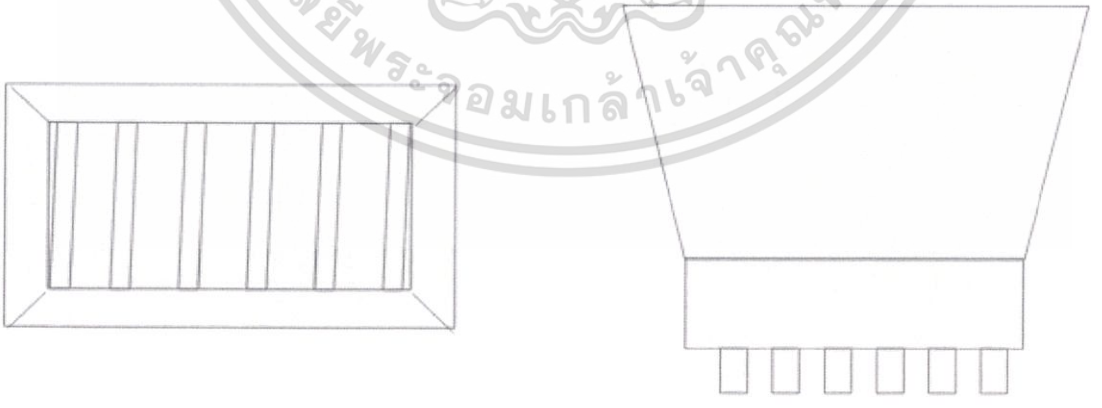
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของวงจรที่ใช้กระบวนการ ACF Bonding ในการเชื่อมวงจรเข้ากับหัวอ่าน



รูปที่ 3.3 การวัดระนาบโดยใช้แผ่นวัดแรงดัน

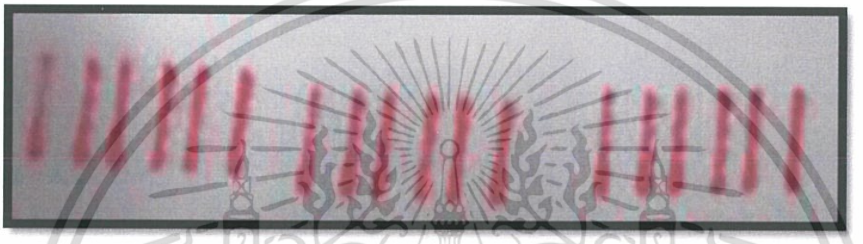


รูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงภาพตัวอย่างของหัวเทอร์โหมดใน Bottom View และ Side View ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 สาเหตุของปัญหา

จากการเยี่ยมชมโรงงานเพื่อศึกษาการผลิตในกระบวนการ ACF Bonding การทำงานของเครื่อง ACF Bonding และขั้นตอนการปรับระนาบเทอร์โหมด พบว่าขั้นตอนที่เป็นหนึ่งในต้นเหตุของปัญหาด้านคุณภาพของการเชื่อมวงจรฮาร์ดดิสก์ คือ ขั้นตอนการปรับระนาบของเทอร์โหมดโดยพนักงานในโรงงาน โดยปกติแล้วพนักงานจะทำการปรับระนาบเทอร์โหมด แล้วตรวจสอบด้วยการกดเทอร์โหมดลงบนแผ่นวัดแรงดันที่วางในตำแหน่งวงจรของหัวอ่าน ซึ่งหากสามารถปรับได้ตรงระนาบ แผ่นวัดแรงดันจะเป็นรอยแดงสมบูรณ์ตามฟันของเทอร์โหมด ดังรูปที่ 3.6 แต่หากไม่ตรง แผ่นวัดแรงดันจะเป็นรอยที่ไม่สมบูรณ์และต้องทำการปรับระนาบใหม่ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ผลการตรวจสอบด้วยแผ่นวัดแรงดันของการปรับหัวเทอร์โหมดที่ตรงระนาบ

รูปที่ 3.7 ผลการตรวจสอบด้วยแผ่นวัดแรงดันของการปรับเทอร์โหมดที่ไม่ตรงระนาบ

เนื่องจากการจัดระนาบของเทอร์โหมดจะใช้ความชำนาญส่วนบุคคลของพนักงานเป็นหลัก โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ซึ่งมาตรฐานของพนักงานแต่ละคนไม่ได้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ในบางครั้งพนักงานบางคน ตัดสินให้งานที่ผลการตรวจสอบระนาบด้วยแผ่นวัดแรงดันที่ไม่ได้มาตรฐานผ่าน แล้วดำเนินงานต่อในขั้นตอนถัดไป ซึ่งจะส่งผลต่อปัญหาด้านคุณภาพ ทำให้วงจรใช้งานไม่ได้

3.2 แนวทางการแก้ไข

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ ทางคณะผู้จัดทำ จึงสร้างต้นแบบของเครื่องมือที่จะช่วยสร้างมาตรฐานในการตรวจสอบการปรับระนาบของเทอร์โหมด โดยจะแสดงผลออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวเลข แทนการมองด้วยตาเปล่า หรือให้ข้อมูลกับพนักงานเป็นเชิงปริมาณ แทนวิธีเดิมซึ่งให้ข้อมูลเป็นเชิงคุณภาพเพื่อลดข้อผิดพลาดในขั้นตอนการตรวจสอบนี้ และส่งผลต่อจำนวนของเสียของหัวอ่านต่อไป โดยเครื่องมือถูกออกแบบให้สร้างจากบอร์ด Arduino เชื่อมกับส่วนต่างๆของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ถูกติดตั้งลงบนตำแหน่งวงจรหัวอ่านของชิ้นงานต้นแบบ เพื่อตรวจจับระนาบในแต่มุมของเทอร์โหมด

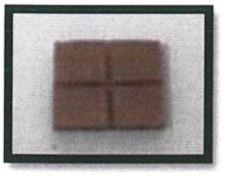
3.3 สร้างเครื่องมือต้นแบบ

ในส่วนของเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการตรวจสอบระนาบของหัวเทอร์โหมดนั้น คณะผู้จัดทำได้ออกแบบให้เครื่องมือสามารถบอกระนาบของเทอร์โหมดเป็นไฟแสดงผลเพื่อจะได้ทราบว่าเทอร์โหมดกำลังวางระนาบอยู่ในรูปแบบใดและควรปรับไปทางระนาบใด และ แสดงเวลาเพื่อจะได้ทราบว่าควรจะปรับเทอร์โหมดไปในระนาบดังกล่าวมากน้อยเพียงใด ซึ่งข้อมูลเวลาดังกล่าวยังสามารถนำไปทำกระบวนการทางสถิติเพื่อกำหนดเวลามาตรฐาน ในการให้การตรวจสอบผ่านหรือไม่ผ่านได้อีกด้วย

การสร้างเครื่องมือจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์นั่นก็คือส่วนที่เป็นบอร์ด Arduino มีหน้าที่แสดงผลเป็นไฟ LED และสั่งงานตามคำสั่งต่างๆที่ได้ป้อนไว้ ซึ่งจะต่อกับเซนเซอร์บนชิ้นงานต้นแบบที่ถูกนำมาทดสอบ และ ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ ใช้คำสั่งที่ทำหน้าที่ตรวจวัดเวลา โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE และ โปรแกรมเพื่อใช้ในการทดลอง ในการวัดพื้นที่สีแดงของแผ่นวัดแรงดันโดยใช้โปรแกรม Matlab

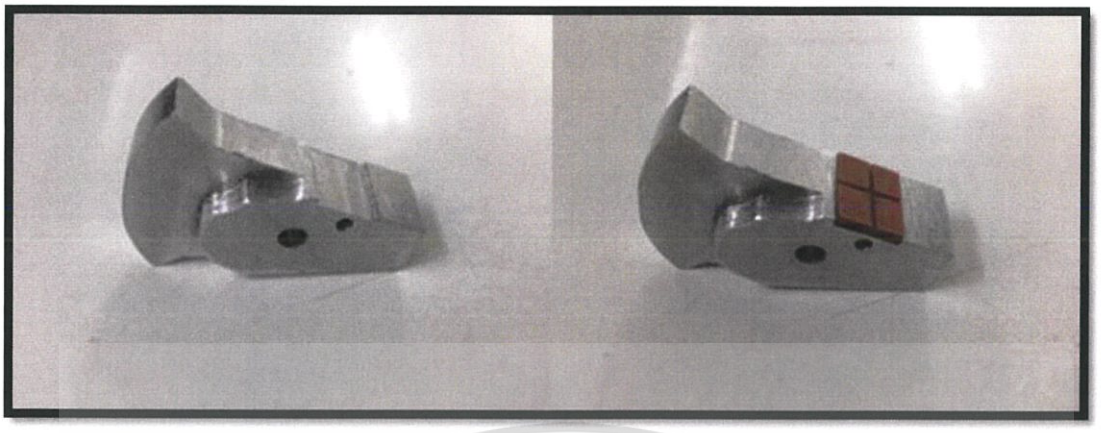
3.3.1 ฮาร์ดแวร์ของเครื่องมือ

ขั้นแรกจะสร้างเซ็นเซอร์ในตำแหน่งวงจรของหัวอ่านและเป็นตำแหน่งที่หัวเทอร์โหมดกดลงมาโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์เปล่านำมาแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3.8 เพื่อตรวจวัดระนาบของเทอร์โหมดทั้ง 4 มุม ขั้นต่อไปคือการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพื่อนำมาเป็นชิ้นงานมาตรฐานในการตรวจสอบระนาบ โดยการกัดอลูมิเนียมเป็นรูปหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ตามแบบโดยใช้เครื่อง Computer Numerical Control หรือ CNC แล้วติดแผ่นวงจรพิมพ์แทนที่ตำแหน่งวงจรของหัวอ่าน เพื่อตรวจว่าเทอร์โหมดได้ตกลงมาสัมผัสกับเซนเวอร์ในเวลาเท่าไหร่ และมีลักษณะการสัมผัสชิ้นงานแตกต่างกันอย่างไรบ้างในแต่ละมุม ดังรูปที่ 3.9 แล้วบัดกรีแผ่นวงจรพิมพ์ทั้ง 4 ส่วน เข้ากับบอร์ดวงจร i-Duino UNO โดยใช้สายไฟขนาดเล็กและทำการเก็บสายไฟทั้งหมดในร่องที่กัดไว้แล้วบนชิ้นงานหัวอ่าน ดังรูป 3.11 ซึ่งทั้ง 4 ช่อง จะทำหน้าที่เป็น Input ของบอร์ดต่อไป



รูปที่ 3.8 แผ่นวงจรพิมพ์ที่แบ่งเป็น 4 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผ่นวงจรพิมพ์ที่ตัดวางลงบนชิ้นงานต้นแบบ

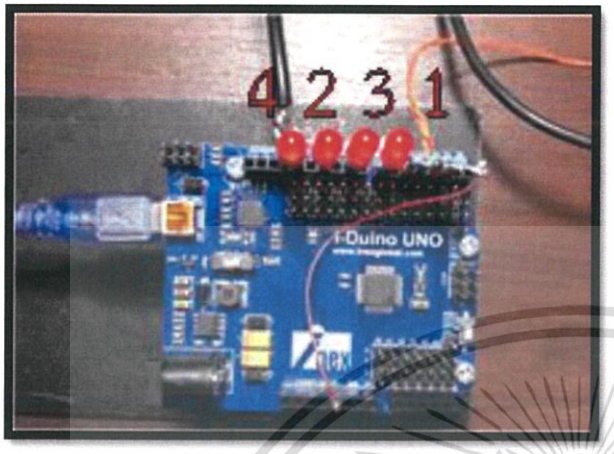
รูป 3.10 และ 3.11 แสดงภาพชิ้นงานตัวอย่างหลังทำการบัดกรีเชื่อมแผ่นวงจรพิมพ์กับสายไฟ

ทำการต่อหลอดไฟ LED 4 หลอดเข้ากับบอร์ด Arduino เพื่อแสดงผลว่ามุมใดของเทอร์โหมดกำลังสัมผัสอยู่กับแผ่นวงจรพิมพ์ และจะสามารถทราบได้ว่าควรจะปรับระนาบไปในระนาบใด

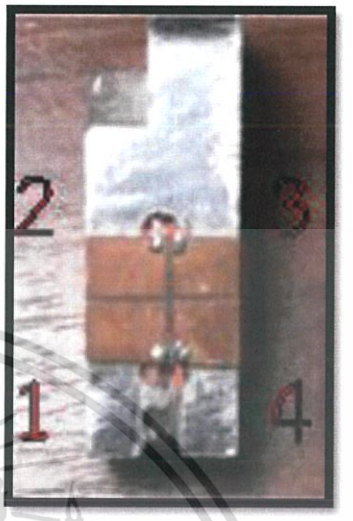
3.3.2 ซอฟต์แวร์ของเครื่องมือ

ใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อป้อนคำสั่งลงไปในบอร์ด Arduino ของเครื่องมือ โดยจะเขียนโปรแกรมวัดเวลาในหน่วยไมโครวินาทีตั้งแต่โปรแกรมเริ่มทำงาน จนถึงตอนที่หัวเทอร์โหมดสัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์ในแต่ละส่วน และแสดงสัญญาณไฟเมื่อหัวเทอร์โหมดสัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์ในแต่ละส่วน โดยสัญญาณไฟแต่ละดวงจะสัมพันธ์กับแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 สัญญาณไฟ 4 ดวง

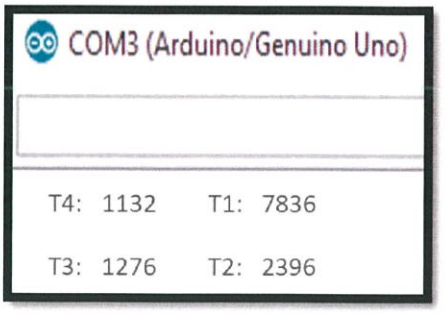


รูปที่ 3.13 แผ่นวงจรพิมพ์ 4 ส่วน

โดยโปรแกรมได้ถูกออกแบบให้ข้อมูลเวลาไม่แสดงผลเมื่อเทอร์โหมดสัมผัสกับเซนเซอร์ไม่ครบทั้ง 4 มุม หรือจะสังเกตได้จากไฟที่สว่างไม่ครบนั่นเอง กล่าวคือเมื่อเทอร์โหมดสัมผัสกับเซนเซอร์ครบทั้ง 4 มุม จะทำให้ไฟสว่างทั้ง 4 ดวง และหน้าจอจะแสดงผลเวลาออกมานั่นเอง โดยข้อมูลเวลาที่ได้จะนำไปหาผลต่างของเวลาทั้ง 4 และนำไปเฉลี่ยซึ่งค่าที่ได้จะเรียกว่า “ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลา” ซึ่งค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาที่มากๆ หมายถึง เทอร์โหมดไม่ตรงระนาบมาก และหากปรับระนาบแล้วได้ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาน้อยลง หมายถึงเทอร์โหมด เริ่มตรงระนาบมากขึ้นแล้วนั่นเอง

สาเหตุที่ต้องหาค่าเวลาดังกล่าว เนื่องจากการที่ไฟติดครบทั้ง 4 ดวง หรือทั้ง 4 มุมสัมผัสกับเซนเซอร์แล้วนั้น ไม่ได้หมายความว่า เทอร์โหมดได้ตรงระนาบกับชิ้นงานเสียทีเดียว โดยส่วนใหญ่แต่ละมุมของเทอร์โหมดจะสัมผัสกับชิ้นงานไม่พร้อมกัน โดยจะต่างกันในหน่วยไมโครวินาทีหรือมิลลิวินาทีเท่านั้น จึงต้องการทราบเวลาเพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่า เทอร์โหมดนั้นไม่ตรงระนาบกับชิ้นงานมาก หรือน้อยเพียงใดนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาของระนาบตัวอย่างเท่ากับ 2028 ไมโครวินาที

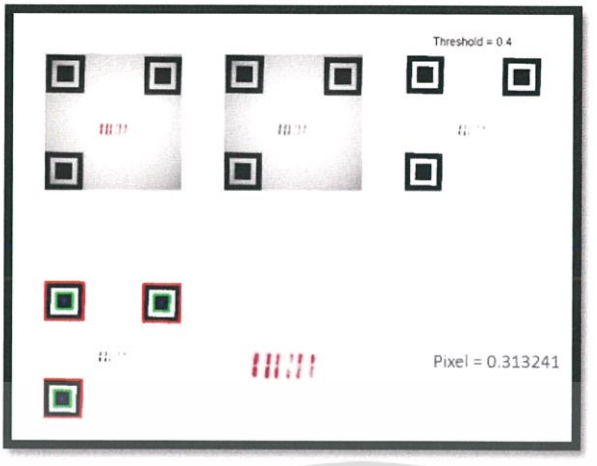
3.4 โปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบแผ่นวัดแรงดัน

ในการทดลองคณะผู้จัดทำต้องการเทียบข้อมูลระหว่างค่าเฉลี่ยผลต่างของเวลาในระนาบหนึ่งจากเครื่องมือที่ได้สร้างขึ้น กับผลจากการใช้แผ่นวัดแรงดันในการตรวจสอบระนาบเดิมนั้น เพื่อดูความแตกต่างของสองข้อมูล และเพื่อพิสูจน์ว่าเครื่องมือใช้ได้

โปรแกรมนี้เขียนด้วยโปรแกรม Matlab เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อเทียบข้อมูล การใช้งานของโปรแกรมนี้คือ นำแผ่นวัดแรงดันที่เป็นลักษณะรอยขีดสีแดงไปวางบนกระดาษซึ่งมีรูปกล่องสีดำอยู่ 3 กล่อง ดังรูป 3.15 แล้วถ่ายภาพเพื่อนำภาพไปใส่ในโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ข้างต้น โปรแกรมจำทำการวัดพื้นที่สีแดงจากแผ่นวัดแรงดัน เทียบกับพื้นที่ของกล่องสีดำ 1 กล่อง แล้วแสดงผลออกมาเป็นค่าหนึ่งๆ ซึ่งค่านั้นจะเรียกว่า “ค่าพิกเซลสีแดง” การนำแผ่นวัดแรงดันไปวางบนกระดาษที่มีรูปกล่องสีดำ 3 กล่อง ทำเพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานขนาดของรูปภาพ หากว่าใช้รูปแผ่นวัดแรงดันเพียงอย่างเดียว การถ่ายภาพใกล้ หรือไกล จะส่งผลต่อจำนวนพิกเซลสีแดง

รูปที่ 3.15 แผ่นวัดแรงดันที่วางบนแผ่นกระดาษที่มีรูปกล่องสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



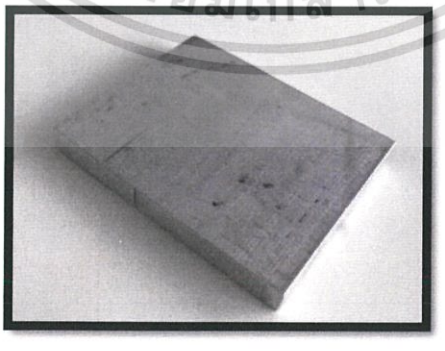
รูปที่ 3.16 โปรแกรม Matlab ที่ใช้ในการหาค่าพิกเซลสีแดง

3.5 สร้างเครื่องจำลองของ ACF Bonding Machine

ในการทดลองมีข้อจำกัดในเรื่องการเดินทางไกลและค่าใช้จ่ายในการเดินทางสูง ซึ่งหากต้องทำการปรับแก้ไขอุปกรณ์เครื่องมือหรือโปรแกรมก็จะทำให้การดำเนินงานล่าช้า จึงต้องสร้างเครื่องจำลองขึ้นมาเพื่อสามารถทำการทดลองได้บ่อยครั้งเท่าที่ต้องการ โดยเครื่องจำลองจะทำการจำลองการทำหน้าที่ของเทอร์โหมด นั่นก็คือการให้แรงดันกับชิ้นงาน และสามารถปรับระนาบได้เหมือนเครื่องจักรจริง คือสามารถปรับเทอร์โหมดได้ในระนาบรอบแกน x และรอบแกน y

3.5.1 ส่วนของตัวปรับระนาบรอบแกน x และ y

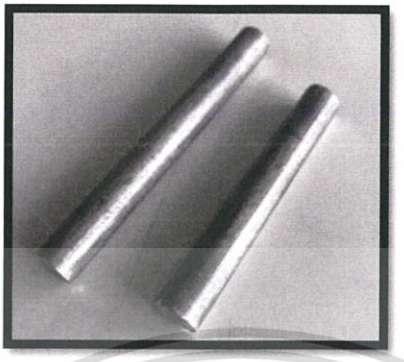
เลือกใช้อลูมิเนียมขนาดความหนา 9 มิลลิเมตร ทำการตัดเป็นแผ่นขนาดกว้าง 6.6 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น



รูปที่ 3.17 แผ่นอลูมิเนียมกว้าง 6.6 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดอลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ออกเป็น 2 แท่ง ความยาว 6.6 เซนติเมตร และ 8 เซนติเมตร เพื่อใช้ทำเป็นแกนในการหมุนเทอร์โหมดในระนาบต่างๆ



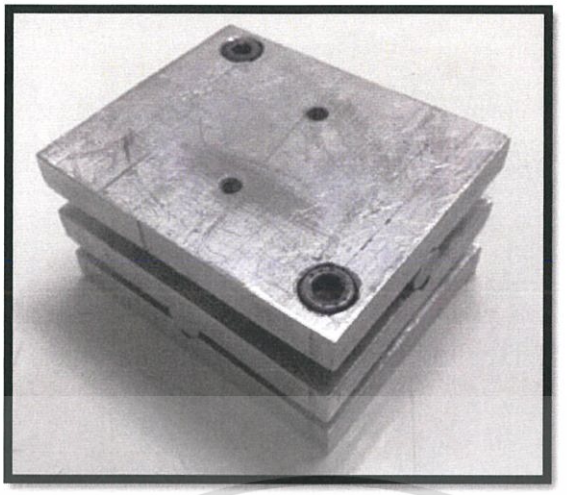
รูปที่ 3.18 อลูมิเนียมทรงกระบอก ยาว 6.6 เซนติเมตร และ 8 เซนติเมตร

ใช้เครื่องกัดในการกัดร่องสามเหลี่ยมเพื่อวางแกนอลูมิเนียมทรงกระบอกตามแบบ โดยการวางแผ่นอลูมิเนียมที่ตัดแล้ววางบนเหล็กฉากในมุม 45 องศา แล้วทำการกัดร่องเป็นร่องลึกประมาณ 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.19 แผ่นอลูมิเนียมหลังกัดร่อง

เจาะรูและทำเกลียวบนแผ่นอลูมิเนียมสำหรับนอตยึด เพื่อใช้ในการปรับระนาบ ใช้นอตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยึดแผ่นอลูมีเนียมทั้ง 3 แผ่นด้วยกัน โดยมีแท่งอลูมิเนียมทรงกระบอกอยู่ระหว่างร่องที่ได้ทำการกัด ดังรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20

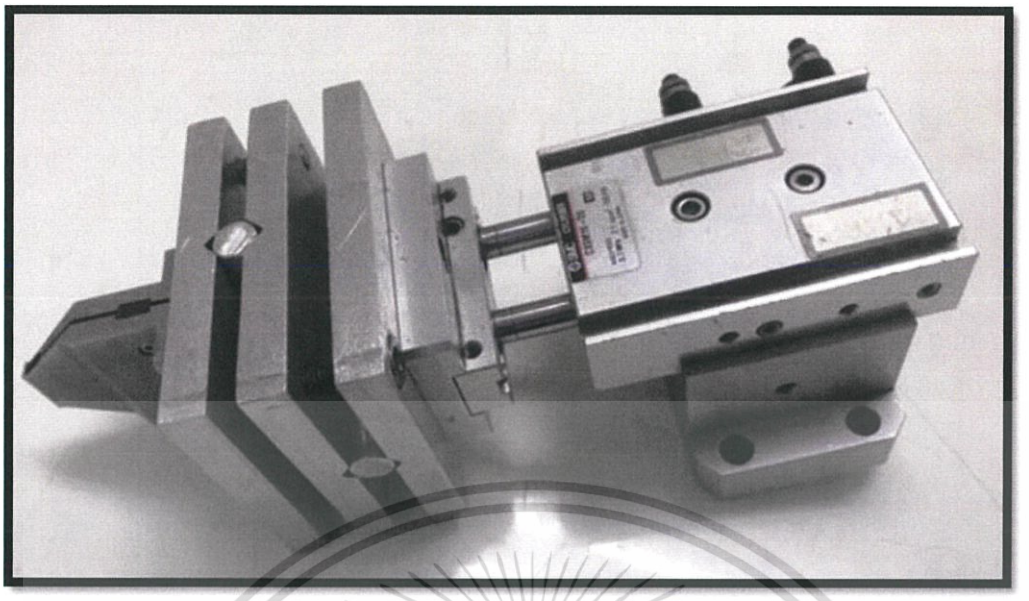
ขั้นสุดท้ายยึดอลูมิเนียมแผ่นล่างสุดเข้ากับหัวเทอร์โหมดดังรูป 3.21 เป็นอันเสร็จสิ้น

รูปที่ 3.21

3.5.2 สร้างส่วนลำตัวเครื่อง

เจาะรูที่อลูมิเนียมแผ่นบนสุดแล้วยึดกระบอกลม SMC CYLINDER รุ่น CXSM15-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



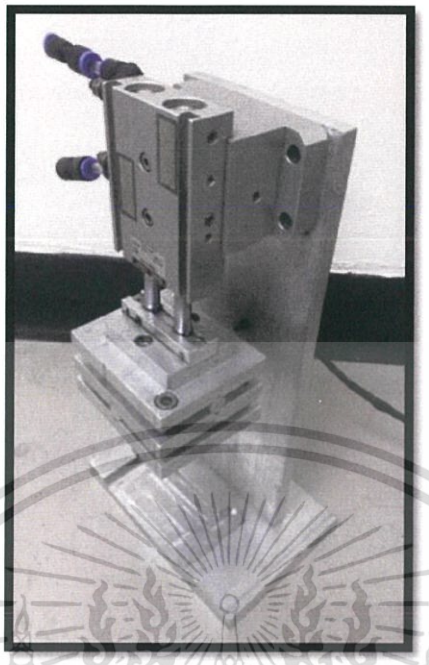
รูปที่ 3.22

ทำในส่วนของขาตั้งเครื่องจำลอง ACF Bonding Machine โดยการทำอลูมิเนียมเป็นรูปฉาก และกัดบริเวณฐานเพื่อไว้รองรับฐานรองชิ้นงานต้นแบบ ดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23

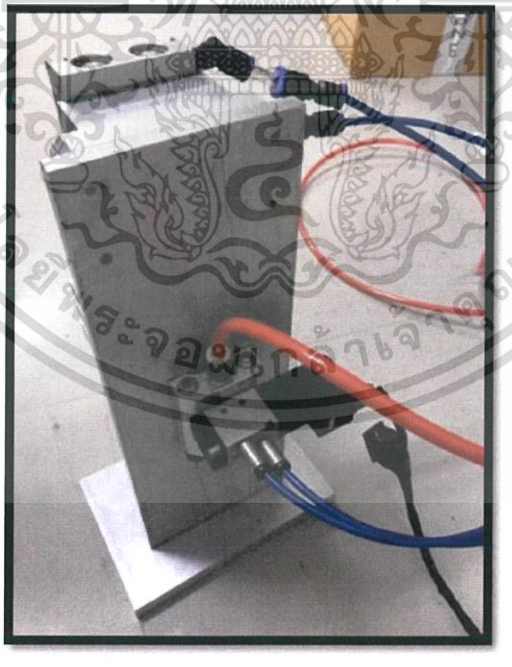
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดกระบอกลมเข้ากับขาตั้งเครื่องจำลอง ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24

ต่อท่อลมเข้ากับเครื่องปั้มลม เพื่อให้เครื่องใช้งานได้ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดลอง

ในการทดลองคณะผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองเพื่อต้องการพิสูจน์ว่าเครื่องมือในการตรวจสอบระนาบของเทอร์โหมดนั้น ใช้งานได้จริง และสามารถให้ข้อมูลของระนาบได้ตรงกับการตรวจสอบด้วยวิธีเดิม โดยทำการตรวจสอบระนาบเทอร์โหมดด้วยกัน 2 วิธีคือดั้งเดิมหรือการใช้แผ่นวัดแรงดัน ซึ่งผู้จัดทำจะทำการหาค่าพิกเซลสีแดงจากโปรแกรม Matlab ด้วยวิธีที่กล่าวไปข้างต้น อีกวิธีก็คือการใช้เครื่องมือตรวจสอบที่ได้ทำการสร้างขึ้นด้วยบอร์ด Arduino แล้วนำข้อมูล “ค่าพิกเซลสีแดง” และ “ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลา” จากระนาบเดียวกันมาเปรียบเทียบกันว่าให้ข้อมูลที่สอดคล้องกันหรือไม่ และมีแนวโน้มเป็นอย่างไร โดยที่ตั้งสมมติฐาน และ กำหนดขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.6.1 สมมติฐาน

ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาตั้งแต่โปรแกรมเริ่มทำงานจนถึงตอนที่หัวเทอร์โหมดสัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์แต่ละแผ่นมากขึ้น จะทำให้พิกเซลสีแดงลดลง และ ค่าเฉลี่ยของผลต่างของเวลาที่น้อยลงจะทำให้พิกเซลมากขึ้น

3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

1 เตรียมเครื่องมือตรวจสอบระนาบ ซึ่งประกอบไปด้วยบอร์ดวงจร Arduino ที่เชื่อมกับชิ้นงานต้นแบบที่ได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ไว้แล้ว

2 นำชิ้นงานต้นแบบติดตั้งเข้ากับตัวยึดชิ้นงาน (Four-Fixture) และวางตามตำแหน่งบนเครื่องจำลอง ACF Bonding

3 ปรับระนาบแบบใดก็ได้บนเครื่องจำลอง แล้วกดลงบนชิ้นงานต้นแบบที่ติดตั้งไว้แล้วบนชิ้นงานต้นแบบ เพื่อเก็บค่าเวลาที่อ่านได้ ไปหาค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาในหน่วยไมโครวินาที (ถ้าหัวเทอร์โหมดกดลงบนแผ่นเซนเซอร์ไม่ครบทั้ง 4 ส่วน โปรแกรมจะไม่แสดงค่าเวลา แต่จะทำการเก็บข้อมูลไว้เช่นกัน)

4 ใช้ระนาบเดิมที่ได้ทำการตรวจวัดเวลาไปแล้วนั้น มาตรวจสอบด้วยการใช้แผ่นวัดแรงดัน แล้วนำแผ่นวัดแรงดันไปหาค่าพิกเซลสีแดงในโปรแกรม Matlab

5 ทำการทดลองซ้ำ 250 ครั้ง ในระนาบที่ต่างกันไปแบบสุ่ม แล้วเก็บข้อมูลเพื่อนำไปพลอตกราฟและทำกระบวนการทางสถิติต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองจะสังเกตพฤติกรรมของข้อมูลได้ว่า เมื่อระนาบที่สามารถวัดค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาได้น้อยๆนั้น เมื่อนำไปตรวจสอบระนาบเดิมนั้น ด้วยแผ่นวัดแรงดันและมองด้วยตาเปล่าจะพบว่า มีรอยสีแดงที่เข้มและชัดเจนตามรอยฟันของเทอร์โหมด ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.1 และเมื่อนำไปเข้าโปรแกรมตามขั้นตอนเพื่อหาค่าพิกเซลสีแดงก็พบว่า มีพิกเซลสีแดงมากเช่นกัน แต่กลับกันเมื่อระนาบใดที่วัดค่าเฉลี่ยผลต่างของเวลาออกมาได้มากๆ ก็จะพบว่ามีค่าพิกเซลสีแดงน้อย และหากว่าไม่สามารถวัดค่าเวลาได้ หรือไฟไม่ครบ 4 ดวงนั้น จะพบว่าเป็นกลุ่มที่มีค่าพิกเซลสีแดงน้อยที่สุด ในกลุ่มข้อมูลทั้งหมด

รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาเท่ากับ 3329 ไมโครวินาที และมีค่าพิกเซลสีแดง เท่ากับ 0.3813

รูปที่ 4.2 ไม่สามารถวัดค่าเวลาได้ และมีค่าพิกเซลสีแดงเท่ากับ 0.2212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

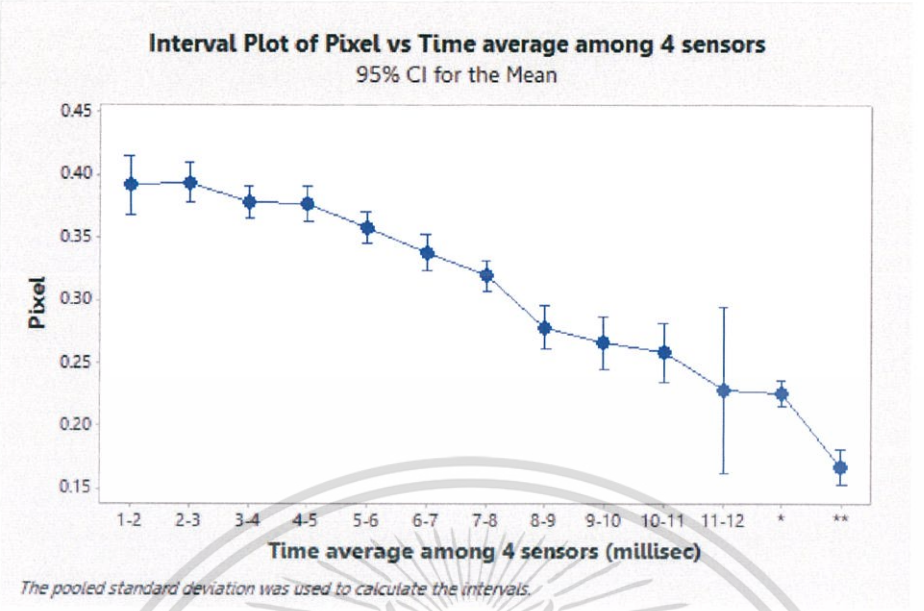
แผ่นวัดแรงดัน	ค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลา (ไมโครวินาที)	ค่าพิกเซลสีแดง
	Avg. time = 4698	0.34578
	Avg. time = 10728	0.250302
	Avg. time = n/a	0.207424
	Avg. time = n/a	0.257602
	Avg. time = 2829	0.414251

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลในรูปแบบระนาบต่างๆ

4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง

หลังจากได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดแล้ว นำข้อมูลมาใส่ในโปรแกรม Minitab เพื่อทำการพลอตกราฟเพื่อดูพฤติกรรมของข้อมูลว่าตรงตามสมมติฐานหรือไม่ โดยที่กำหนดให้กราฟแนวแกนตั้งเป็นข้อมูลของค่าพิกเซลสีแดง (Pixel) และกราฟแนวแกนนอนเป็นข้อมูลของค่าผลเฉลี่ยของผลต่างเวลา (Time average among 4 sensors) ในหน่วยมิลลิวินาที ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3

"*" หมายถึงมุมหนึ่งของหัวเทอร์โหมดไม่สัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์

"**" หมายถึงมุมสองมุมของหัวเทอร์โหมดไม่สัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์

จากกราฟในรูปที่ 4.3 ข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลามากขึ้น จะทำให้ค่าพิกเซลน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของการทดลองและสรุปได้ว่าเครื่องมือต้นแบบสามารถใช้งานแทนแผ่นวัดแรงดันได้จริง

นอกจากนี้นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผ่านกระบวนการทางสถิติ เพื่อหาเวลามาตรฐานที่ยอมรับได้ในการปรับระนาบเทอร์โหมด ซึ่งมาตรฐานคือเวลาขอบล่างของช่วงที่มีค่าพิกเซลสีแดงที่ต่างจากค่าพิกเซลสีแดงของช่วงเวลา 1-2 มิลลิวินาทีซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ตรงระนาบที่สุด เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาที่น้อย และมีค่าพิกเซลที่มากที่สุด โดยเปรียบเทียบชุดข้อมูลด้วยวิธี 2 Sample T-Test ในโปรแกรม Minitab เพื่อแยกว่าสองชุดข้อมูลมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยตั้งสมมติฐานดังนี้ สมมติฐานหลัก คือ ข้อมูล 2 ชุดไม่แตกต่างกัน และสมมติฐานรอง คือ ข้อมูล 2 ชุดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเฉลี่ย 1-2 และ 2-3 มิลลิวินาที

2 Sample T-Test

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	V1 & V2	26	.055	.791

ยอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่แตกต่างกันโดยมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ค่าความเชื่อมั่น 95%

เวลาเฉลี่ย 1-2 และ 3-4 มิลลิวินาที

2 Sample T-Test

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	V3 & V4	38	-.327	.045

ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลทั้ง 2 ชุดแตกต่างกันโดยมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ค่าความเชื่อมั่น 95%

จากผลของการเปรียบเทียบชุดข้อมูลจากวิธี 2 Sample T-test แสดงให้เห็นว่ามาตรฐานของการวัดอยู่ที่ 3 มิลลิวินาที ซึ่งหมายความเวลาที่เครื่องวัดได้ไม่เกิน 3 มิลลิวินาที จะแสดงถึงระนาบของเทอร์โหมดที่ได้มาตรฐาน หากว่าเกินไปจาก 3 วินาที เทอร์โหมดจะเริ่มเอียง และไม่ตรงระนาบตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบระนาบเทอร์โหมดในกระบวนการเชื่อมด้วยฟิล์มเหนี่ยวนำแอนิโซโทรปิก (Anisotropic-Conductive-Film (ACF) Bonding) จากวิธีดั้งเดิมคือการตรวจสอบด้วยการใช้แผ่นวัดแรงดันเพื่อดูรอยสีแดงที่เกิดจากฟันของเทอร์โหมดว่าตรงระนาบมากน้อยแค่ไหน ซึ่งมีการเกิดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากพนักงานในกระบวนการนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงสร้างเครื่องมือต้นแบบในการตรวจสอบระนาบ ซึ่งเครื่องมือนี้จะสามารถบอกระนาบของเทอร์โหมดออกมาเป็นเวลา ซึ่งจะเป็นการกำหนดมาตรฐานในการตรวจสอบออกมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ แทนข้อมูลเชิงคุณภาพ ซึ่งหลังจากการสร้างเครื่องมือ และทำการทดลองแล้วสรุปได้ว่า เครื่องมือต้นแบบสำหรับการตรวจสอบการปรับแต่งระนาบของหัวเทอร์โหมดสามารถใช้ทดแทนการใช้แผ่นวัดแรงดันได้ จากการทดสอบการวัดพิกเซลสีแดงที่มาจากแผ่นวัดแรงดัน เทียบกับค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลา ตั้งแต่โปรแกรมเริ่มทำงานจนถึงตอนที่หัวเทอร์โหมดสัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์พบว่า เมื่อค่าเฉลี่ยผลต่างของเวลามากขึ้น จะทำให้ค่าพิกเซลน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานในการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้ยังสามารถกำหนดมาตรฐานที่บ่งบอกการเริ่มเอียงของระนาบเทอร์โหมดออกมาในเชิงปริมาณ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ และลดความผิดพลาดที่เกิดจากพนักงาน

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 5.1 รูปผลของแผ่นวัดแรงดันที่เวลาเฉลี่ย (ก) 1-2 มิลลิวินาที (ข) 2-3 มิลลิวินาที และ (ค) 3-4 มิลลิวินาที

จากรูป เป็นการประเมินเชิงคุณภาพของระนาบเทอร์โหมด ซึ่งความแตกต่างของรูป5.3(ข) และ 4.3(ค) ไม่ชัดเจน แต่ถ้าวัดออกมาเป็นเชิงปริมาณ จะพบว่า รูปที่4.3(ค)นั้น เริ่มเกิดการเอียงของระนาบของหัวเทอร์โหมดเรียบร้อยแล้ว ดังนั้น การวัดในเชิงปริมาณจะให้ผลที่แม่นยำกว่าการวัดโดยใช้แผ่นวัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ดวงรัตน์ ชวปัญญาโรจน์ และศุภศักดิ์ พงษอนันต์. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes). กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ , 2544.

กัลยา วานิชย์บัญชา . การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ . พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539.

อรพิน ประวัติบริสุทธิ์. คู่มือเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ฉบับสมบูรณ์. (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ:บริษัท โปรวิชั่น จำกัด , 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าเวลาเพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE มีคำสั่งดังนี้

```
int led1 = 7;
int led2 = 9;
int led3 = 11;
int led4 = 13;

int button1 = 2;
int button2 = 3;
int button3 = 4;
int button4 = 5;

int state1 = 0;
int state2 = 0;
int state3 = 0;
int state4 = 0;

int check1 = 0;
int check2 = 0;
int check3 = 0;
int check4 = 0;

int time1;
int time2;
int time3;
int time4;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

    pinMode(button1, INPUT);
    pinMode(button2, INPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    pinMode(button3, INPUT);
    pinMode(button4, INPUT);

    pinMode(led1, OUTPUT);
    pinMode(led2, OUTPUT);
    pinMode(led3, OUTPUT);
    pinMode(led4, OUTPUT);

    digitalWrite(led1,LOW);
    digitalWrite(led2,LOW);
    digitalWrite(led3,LOW);
    digitalWrite(led4,LOW);

}

void loop(){

  int t1 = millis();
  int t2 = millis();
  int t3 = millis();
  int t4 = millis();

  state1 = digitalRead(button1);
  state2 = digitalRead(button2);
  state3 = digitalRead(button3);
  state4 = digitalRead(button4);

  if (state1==LOW&&check1==0){

    time1 = t1;
    digitalWrite(led1,HIGH);
     check1++;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  }



   if (state2==LOW&&check2==0){

    time2 = t2;
    digitalWrite(led2,HIGH);
    check2++;
  }

   if (state3==LOW&&check3==0){

    time3 = t3;
    digitalWrite(led3,HIGH);
    check3++;
  }

   if (state4==LOW&&check4==0){

    time4 = t4;
    digitalWrite(led4,HIGH);
    check4++;
   }

if (state1==LOW&&state2==LOW&&state3==LOW&&state4==LOW){

Serial.print("T4:  ");
Serial.print(time4);
Serial.print("  T1:  ");
Serial.println(time1);
Serial.print("T3:  ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.print(time3);
Serial.print("  T2:  ");
Serial.println(time2);

  while(1);
}
  }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าพิกเซลสีแดงโดยใช้โปรแกรม Matlab โดยการนำรูปถ่ายของแผ่นวัดแรงดันที่ผ่านการกดเทอร์โหมดแล้ว ไปเข้าโปรแกรม มีคำสั่งดังนี้

```
%% Setting up
clear; clc; close all;
%% Input
filename = '1.jpg';
tol = 3; thres = 0.4;
%% Preprocess
[JPG,CMAP] = imread(filename);
GRAY = rgb2gray(JPG);
BW = im2bw(GRAY,thres);
%
%% Find islands
FigHandle = figure(1); set(FigHandle, 'Position', [50, 50, 1800, 800]);
subplot(2,3,1); imshow(JPG);
subplot(2,3,2); imshow(GRAY);
subplot(2,3,3); imshow(BW);title(['Threshold = ' num2str(thres)])
%
BWI = ~BW; %Invert binary image
[B,L,N,A] = bwboundaries(BWI);
%
id = 1;
for B1 = 1:N
    found_candidate = false;
    %
    %plot_boundary(B,B1,'r') %Outer boundary
    B2 = find(A(:,B1)); %Find inner-boundary index
    B2_temp = B2;
    B2 = [];
    B2_index = 1;
    for i = 1:length(B2_temp)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    num_pixel = length(find(L==B2_temp(i)));
    if num_pixel > 200  %I need to get rid of boundary with small number of pixels.
        B2(B2_index) = B2_temp(i);
        B2_index = B2_index + 1;
    end
end
%
if length(B2) == 1 %We want only the object with one inner boundary
    %plot_boundary(B,B2,'g')
    B3 = find(A(:,B2));
    %
    B3_temp = B3;
    B3 = [];
    B3_index = 1;
    for i = 1:length(B3_temp)
        num_pixel = length(find(L==B3_temp(i)));
        if num_pixel > 200 %I need to get rid of boundary with small number of pixels.
            B3(B3_index) = B3_temp(i);
            B3_index = B3_index + 1;
        end
    end
    %
    if length(B3) == 1; %We want only one object inner object
        %plot_boundary(B,B3,'b')
        found_candidate = true;
    end
end
if found_candidate
    A_out = length(find(L==B1));
    A_in  = length(find(L==B3));
    A_ratio = A_out/A_in;
    if abs(A_ratio - 24/9) < tol
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            fprintf('Found island with with B_out = %i, B_in = %i \n', B1, B3)
            Data(id).B_out = B1;
            Data(id).B_in  = B3;
            id = id + 1;
        end
    end
end
clear A_in A_out A_ratio B1 B2 B3 found_candidate id img
%% Check the validity of data
if exist('Data','var') == 1
    island_exist = true;
    if length(Data) == 3
        found_3_island = true;
    else
        found_3_island = false;
        fprintf('Warning: number of islands is not 3. \n')
    end
else
    island_exist = false;
    fprintf('Cannot find any island. Increase tolerance or adjust grayscale threshold.\n')
end
%% Plotting island boundaries
if island_exist
    figure(1); subplot(2,3,4); imshow(BW); hold on;
    for i = 1: length(Data)
        plot_boundary(B,Data(i).B_out,'r')
        plot_boundary(B,Data(i).B_in,'g')
        Data(i).pixel_inside_box = length(find(L==Data(i).B_in));
    end
end
%% Find centroids
if island_exist
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    for i = 1:length(Data)
        Obj_index = Data(i).B_in;
        BWL = (L==Obj_index); %Isolate the inner object
        %
        s = regionprops(BWL,'centroid');
        centroids = cat(1, s.Centroid); %Collect all possible centroids
        %plot(centroids(:,1),centroids(:,2),'*b')
        %
        if length(s) == 1
            CT = centroids;
            Data(i).centroid = CT;
            Data(i).centroid_floor = floor(CT);
            fprintf('The centroid for B_in = %i is [%i,%i] \n',
 Data(i).B_in,floor(CT(1)),floor(CT(2)));
        else
            fprintf('More than one centroid found for B_in = %i \n',Data(i).B_in);
            Data(i).centroid = NaN;
            Data(i).centroid_floor = NaN;
        end
    end
    %
    for i = 1: length(Data)
        if ~isnan(Data(i).centroid)
            CT = Data(i).centroid;
            plot(CT(1),CT(2),'*b')
        end
    end
    hold off
end
clear s centroids i CT Obj_index BWL
%% Affine transformation
if island_exist && found_3_island
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fprintf('------------------------------\n')
fprintf('Entering image transformation. \n')
fprintf('------------------------------\n')
%Determind the location of the triangle corners
[TL,TR,BL] = determine_triangle_corners(Data); %TL = Top left, TR = Top right, BL =
bottom left
%Calculate side length (distance between centroids)
s1 = sqrt(sum((TL-BL).^2));
s2 = sqrt(sum((TL-TR).^2));
side = mean([s1,s2]);
%New coordinate
TLP = TL;
TRP = [TL(1) TL(2)+side];
BLP = [TL(1)+side TL(2)];
%Separate X and Y coordinate of centroids
XP = [TLP(1) TRP(1) BLP(1)];
YP = [TLP(2) TRP(2) BLP(2)];
%figure(2); hold on
%plot(XP,YP,'y*');
%Transformation
coor_before = [TL;  TR;  BL];
coor_after  = [TLP; TRP; BLP];
T = maketform('affine',coor_before,coor_after);
[BWT,shift_x,shift_y] = imtransform(BW,T);
if exist('GRAY','var') == 1
    [GRAYT] = imtransform(GRAY,T);
    [JPGT]  = imtransform(JPG,T);
end
%New coordinate for centroids
CTX = XP-shift_x(1)+1; %Without "+1" the centroid seems a bit shifted to the top left.
CTY = YP-shift_y(1)+1;
for i = 1:3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Data_T(i).centroid = [CTX(i) CTY(i)];
        Data_T(i).centroid_floor = [floor(CTX(i)) floor(CTY(i))];
        fprintf('The centroid (transformed) is [%i,%i] \n', floor(CTX(i)), floor(CTY(i)));
    end
    %New boundary for cropping
    Buffer = -side/15*3; %I know that the side length is 15 blocks and I need to expand for
another 4 blocks
    BX = [ min(CTX)-Buffer max(CTX)+Buffer];
    BY = [ min(CTY)-Buffer max(CTY)+Buffer];
else
    fprintf('------------------------------------------------------------------------ \n')
    fprintf('Skip image transformation due to insufficient number of centroid points found.
\n')
end
%
CX = floor(BX(1)):floor(BX(2));
CY = floor(BY(1)):floor(BY(2));
JPGC = JPG(CY,CX,:); %I don't know why this is the case but it works.
%
figure(1); subplot(2,3,5); imshow(JPGC);
%
[nx, ny, ~] = size(JPGC);
%% Reporting
for i = 1:length(Data)
    fprintf('Number of pixels in the inside box = %i \n', Data(i).pixel_inside_box)
end
average_pixel_box =  mean([Data(:).pixel_inside_box]);
fprintf('Average = %f \n', average_pixel_box)
%% Threshold the red color
frame = JPGC;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
red  = imsubtract(frame(:,:,1), rgb2gray(frame));  %Next two lines extract the red parts of
the image using thresholding  https://probhonjonbaruah.com/2015/01/03/the-algorithm-
to-detect-yellow-colored-objects-in-matlab-using-webcam/
%
%figure(1); subplot(2,3,6)
%imshow(red);

for redthresh = 0:0.01:0.2
    red2 = im2bw(red, redthresh);                %Output image has red parts as white
in the binary image
    red2 = im2uint8(red2);
    pixel_red = length(find(red2==255));
    fprintf('Threshold = %f,  Number of red pixels = %i, Relative pixel = %f \n',redthresh,
pixel_red, pixel_red/average_pixel_box)
end

FigHandle = figure(2); set(FigHandle, 'Position', [0, 0, 1600, 900]);
subplot(3,3,1); imshow(frame)
plot_index = 2;
for redthresh = linspace(0.02,0.18,8)
    red2 = im2bw(red, redthresh);                %Output image has red parts as white
in the binary image
    red2 = im2uint8(red2);
    subplot(3,3,plot_index); imshow(red2);title(['Thres = ' num2str(redthresh)])
    plot_index = plot_index + 1;
end

figure(1)
saveas(gcf,[filename(1:end-4) '_A1.png'])
figure(2)
saveas(gcf,[filename(1:end-4) '_A2.png'])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้