เครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ

The PCB milling machine semi-automatic

วาสนา เกษมสินธ์[1*]

Wassana Kasemsin[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ โดยเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นโครงสร้างทำมาจากอะคริลิกใช้ระบบการฉีดพ่นกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ควบคุมอัตราความเร็วในการฉีดพ่นกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยบอร์ดอาดุยโน ยูโน อาร์สาม การสั่งงานสามารถสั่งผ่านหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟที่สามารถปรับได้ 3 ระดับ และแสดงผลการทำงานด้วยจอแสดงผลแบบแอลซีดี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ การวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 12×13 นิ้ว จำนวน 15 แผ่น ขนาด 6×6.5 นิ้ว จำนวน 15 แผ่น ขนาด 3×3.25 นิ้ว จำนวน 15 แผ่น และขนาด 1.5×1.625 นิ้ว จำนวน 15 แผ่น ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของการสั่งงานผ่านหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟตอบสนองต่อการกดสั่งงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จอแสดงผลแบบแอลซีดี การแสดงผลของคำสั่งต่างๆ แสดงผลได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ลิมิตสวิตช์ทางกลที่นำมาใช้ในส่วนของความปลอดภัยทำงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลองผลปรากฏว่าแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด12×13 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่งโหมดความเร็วต่ำเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:39:56 นาที โหมดความเร็วปานกลางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 53:26 นาที และ โหมดความเร็วสูงเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 39:32 นาที แผ่นวงจรพิมพ์ ขนาด 6×6.5 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่งโหมดความเร็วต่ำเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:19:22 นาที โหมดความเร็วปานกลางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:05:26 นาที และโหมดความเร็วสูงเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 51:04 นาที แผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 3×3.25 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่งโหมดความเร็วต่ำเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:03:39 นาที โหมดความเร็วปานกลางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 56:01 นาที และ โหมดความเร็วสูงเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 41:54 นาที และแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 1.5×1.62 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่งโหมดความเร็วต่ำเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 57:10 นาที โหมดความเร็วปานกลางเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 47:55 นาที และโหมดความเร็วสูงเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 28:30 นาที

คำสำคัญ: การกัดแผ่นวงจรพิมพ์ แผ่นวงจรพิมพ์ วงจรควบคุมมอเตอร์ บอร์ดอาดุยโน่

Abstract

This research aims 1) to create a PCB milling machine semi-automatic, 2) to test the efficiency of PCB (printed circuit boards) milling machine semi-automatic. The PCB milling machine semi-automatic, built a structure made of acrylic. Use spraying acid onto a printed circuit board. Controlled by Arduino Uno R3 which, controlled orders with capacitive touch keypad hads three levels and the LCD display indicated the availability of at works of

[1] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000

[1] Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000

* Corresponding author. E-mail: wassana_kasemsin@hotmail.com

the machine.The instrument used in the research consisted of PCB milling machine semi-automatic. This research used a samples were PCB size 12×13 inches in size 6×6.5 inches, 15 sheets measuring 3×3.25 inches and 1.5×1.625 inches, 15 sheets. The results showed that the quality of the PCB milling machine semi-automatic. The structure wais made of acrylic. Use spraying acid onto a printed circuit board. Controlled by Arduino Uno R3 which controlled orders with capacitive touch keypad which hads three levels and the LCD display indicated the availability atof works of the machine efficiency evaluation of the semi-automatic PCB milling machine was also conducted. The evaluation results showed that the controlling via a capacitive touch keypad responded to work order pressing with 100% completion. LCD display of the various commands and mechanical limited switches for security also showed 100% completion. The performance of milling printing circuit board sheet in varied sizes was also experimented. The results showed that for the size of 12×13 inches when using the low speed mode, the average processing time was 1:39:56 minutes, for medium speed mode, the average processing time was 53:26 minutes, and for full speed mode, the average processing time was 39:32 minutes. For the size of 6×6.5 inches, the results showed that for the low speed mode, the average processing time was 1:19:22 minutes, for medium speed mode, the average processing time was 1:05:26 minutes and for full speed mode, the average processing time was 51:04 minutes. For the size of 3×3.25 inches, the results showed that for the low speed mode, the average processing time was 1:03:39 minutes, for medium speed mode, the average processing time was 56:01 minutes, and for full speed mode, the average processing time was 41:54 minutes. For the size 1.5×1.62 inches, the results showed that for the low speed mode resulting the average processing time was 57:10 minutes, for medium speed mode, the average processing time was 47:55 minutes, and full speed mode, the average processing time was 28:30 minutes.

Keywords: PCB etching, print circuit board, control motor, Arduino board

บทนำ

ปัจจุบันการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีลายวงจรตามต้องการด้วยวิธีการกัดแผ่นวงจรพิมพ์มีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน (Small lab, 2554) เช่น การผลิตแผ่นวงจรพิมพ์อย่างง่ายสำหรับนักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปที่สนใจสร้างระบบและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตนเอง (ห้องสมุดกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2556) การผลิตจำนวนมากๆ โดยใช้กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม (สิริวัฒน์, 2556) การกัดแผ่นวงจรพิมพ์ เป็นวิธีการที่นำแผ่นวงจรที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเรียบร้อยแล้ว มาผ่านกระบวนการสร้างแผ่นปริ้นต์โดยเป็นกระบวนการที่ทำให้ลายวงจรที่ทำการออกแบบไว้ติดกับแผ่นปริ้นต์หรือแผ่น PCB นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างด้วยวิธีการ dry film การซิลล์สกรีน การรีดแผ่นใส (อติชัย และณรงค์, 2544) จากนั้นนำผ่านกระบวนการกัดในส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยการใช้กรดกัด การกัดแผ่นวงจรพิมพ์หรือใช้เฟอริกคลอไรด์ (ferric chloride: $FeCl_3$) ก็จะเหลือเฉพาะลายวงจรที่จะนำไปใช้งาน (Shi *et al*., 2004) กระบวนการในการกัดแผ่นวงจรพิมพ์นั้นมีงานวิจัยและการสร้างนวัตกรรมหลายเรื่องประกอบด้วยเครื่องเขย่าแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติในการทำงานใช้มอเตอร์ในเป็นตัวขับเคลื่อนถาดที่มีกรดบรรจุอยู่ข้างใน ซึ่งสามารถปรับความเร็วของมอเตอร์

ในการเขย่าได้ (นรสิงห์และคณะ, 2555) เครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับห้องปฏิบัติการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้หลักการเร่งปฏิกิริยาการกัดโดยการกวนกรดที่ควบคุมด้วยแรงแม่เหล็กและการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อช่วยเร่งการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ได้รวดเร็วขึ้น เพิ่มความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (สิริวัฒน์, 2556) เครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์ระบบน้ำวน (ปรัชญาและคณะ, 2557) เครื่องกัดแผ่นปริ้นต์อัตโนมัติ (พงศ์ศิริและคณะ, 2552) ซึ่งงานดังกล่าวใช้การเขย่าเพื่อให้กรดและแผ่นวงจรพิมพ์ทำปฏิกิริยากัน ยังไม่พบเห็นการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยการใช้การฉีดกรดลงบนชิ้นงาน อีกทั้งเวลาที่นักศึกษาทำการกัดแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อสร้างโครงงานจะนำภาชนะพลาสติกบรรจุกรดกัดปริ้นต์แล้ววางแผ่นวงจรพิมพ์ลงไป จากนั้นทำการเขย่าให้แผ่นวงจรพิมพ์ขยับไปมาแล้วคอยสังเกตว่าส่วนที่ไม่ต้องการนั้นหลุดร่อนออกหมดหรือยัง จากนั้นนำแผ่นการกัดแผ่นวงจรพิมพ์มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า วิธีการนี้ต้องเสียเวลาในการเขย่าถาดในการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ หากแผ่นวงจรมีขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลานาน และถ้าใช้แรงในการเขย่ามากเกินไปจะทำให้กรดกระเด็นถูกร่างกาย นับเป็นอันตรายอย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังหยดลงพื้นหรือบริเวณที่ปฏิบัติงาน ซึ่งกรดจะทำปฏิกิริยากับโลหะและพื้นซีเมนต์ ทำให้พื้นซีเมนต์ ผิวโลหะโดยรอบสกปรกและทำความสะอาดได้ยาก

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติขึ้น โดยใช้หลักของการฉีดพ่นกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ในการฉีดพ่นสามารถควบคุมความแรงของการฉีดโดยใช้บอร์ดอาดุยโน ยูโน อาร์สาม ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมได้ถึง 3 ระดับ มีระบบป้องกันอันตรายจากการทำงานของเครื่องที่ไม่ปิดฝาหรือปิดฝาไม่สนิท จึงเป็นการช่วยแก้ปัญหาการกระเด็นของกรด การหยดลงพื้น การลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์ เพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน ประหยัดเวลาในการทำงาน และรักษาความสะอาดของสถานที่ปฏิบัติงาน (สิริวัฒน์, 2556) อีกทั้งผู้วิจัยยังทำการสอนในรายวิชาเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ที่นักศึกษาต้องเรียนรู้กระบวนการในการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาดังกล่าวและรายวิชาที่เกี่ยวของได้ด้วย

วิธีการศึกษา

การออกแบบส่วนของโครงสร้าง

1. ตัวของโครงสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ทำมาจากอะคริลิก (acrylic) ชนิดใส เพื่อป้องกันการกัดของกรดเฟอริกคลอไรด์ และเพื่อสังเกตการกัดของกรดเฟอริกคลอไรด์กับชิ้นงาน

2. ขนาดของโครงสร้างที่ออกแบบในลักษณะของกล่องมีขนาดความกว้าง 32 เซนติเมตร ความยาว 42 เซนติเมตร และความสูง 35 เซนติเมตร เพื่อให้มีขนาดที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและมีน้ำหนักที่เบา

3. หัวฉีดที่ใช้เป็นหัวฉีดสเปรย์แบบพลาสติกที่ดัดแปลงมาจากหัวฉีดต้นไม้ที่มีวางขายตามท้องตลาดและพลาสติกจะทนต่อการกัดกร่อนของกรดเฟอริกคลอไรด์ได้ดี

4. ฝาปิดของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ มีหัวฉีดแบบ 6 หัวฉีด ลักษณะโครงสร้างของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ (Figure 1-5)

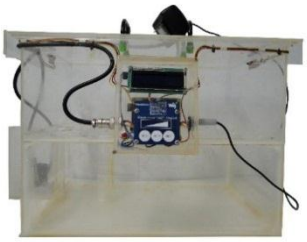


Figure 1 Front.

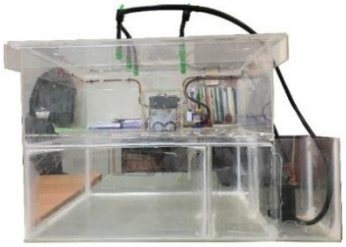


Figure 2 Side.

Figure 3 Backside.

Figure 4 Top.

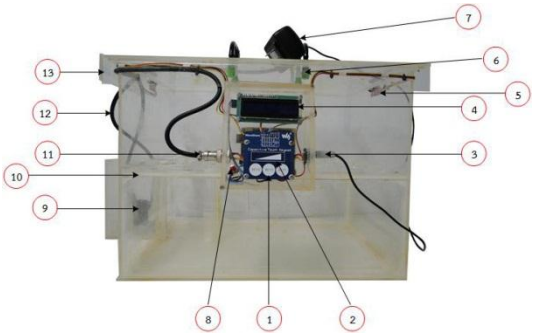


Figure 5 Complement.

ส่วนประกอบของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ประกอบด้วย

1. หมายเลข 1 ปุ่มหยุดการทำงาน
2. หมายเลข 2 หน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟ ใช้เลือกระดับความแรงของการการดูดและฉีดกรดลงบนชิ้นงาน
3. หมายเลข 3 พอร์ต 12 VDC
4. หมายเลข 4 จอแสดงผลแบบแอลซีดี
5. หมายเลข 5 ลิมิตสวิทช์
6. หมายเลข 6 หัวฉีด
7. หมายเลข 7 Adapter 12 VDC
8. หมายเลข 8 ปุ่ม Reset
9. หมายเลข 9 ปั๊มฉีดกระจกรถยนต์
10. หมายเลข 10 ตะแกรงรองแผ่นวงจรพิมพ์
11. หมายเลข 11 พอร์ตต่อ USB สำหรับดาวน์โหลดและสื่อสารข้อมูล
12. หมายเลข 12 ท่อยาง/สายยาง
13. หมายเลข 13 ฝาปิด

ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาประกอบเป็นชุดควบคุมปั๊มฉีดกระจกรถยนต์ ประกอบด้วย

1. ปั๊มฉีดกระจกรถยนต์ที่ใช้ไฟ 12 โวลต์ DC ในการสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ในครั้งนี้ได้นำเอาปั๊มฉีดกระจกของรถยนต์ที่ใช้ไฟเลี้ยง 12 โวลต์ DC มาประยุกต์ใช้กับระบบการฉีดกรดเฟอริกคลอไรด์ (ศิริพร, 2539) ลงบนแผ่นปริ้นต์

2. Arduino Uno R3 (Elec2you, 2015) ในการวิจัยในครั้งนี้ได้นำเอา Arduino Uno R3 มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของปั๊มฉีดกระจกรถยนต์ บอร์ด Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ open-source บนแพลตฟอร์ม Arduinoออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายใช้ชิพ ATmega328 รันที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี digital input/output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี analog input 6 ขา serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด ในการเขียนโปรแกรมบนซอฟท์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB ซึ่งง่ายต่อการเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ลักษณะของบอร์ด Arduino Uno R3 ที่นำมาใช้งาน

3. Capacitive touch keypad module-blue เป็นการนำ touch keypad มาประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วของปั๊มฉีดกรดเฟอริกคลอไรด์ลงบนแผ่นปริ้นต์ โดยเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด Arduino Uno R3 เพื่อให้สามารถปรับระดับการความแรงของการฉีดกรดเฟอริกคลอไรด์ลงบนแผ่นปริ้นต์ โดยในการวิจัยในครั้งนี้สามรถปรับระดับความแรงได้ 3 ระดับ

4. Display LCD (16×2 LCD) ใช้แสดงผลของการใช้งาน เช่นการแจ้งชื่อของเครื่องเป็นภาษาอังกฤษ และใช้แสดงสถานะของระดับการปรับหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟ

5. Mechanical limit switch ลิมิตสวิตซ์ทางกลประยุกต์เพื่อความปลอดภัยของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้จำนวน 2 ตัว ติดกับกล่องอะคริลิกเพื่อเมื่อโดนแรงกดจากการปิดฝาเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติจะเป็นการปิดวงจร ทำให้ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ทำงานแต่ถ้าฝาโดนเปิดอยู่หรือปิดไม่สนิทจะเป็นการเปิดวงจรซึ่งทำให้ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไม่ทำงาน

6. ทำการออกแบบผังวงจรของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2549) (Figure 6)

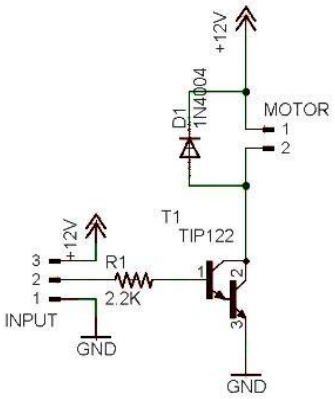


Figure 6 Schematic circuit.

7. ทำการออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบ (Figure 7)

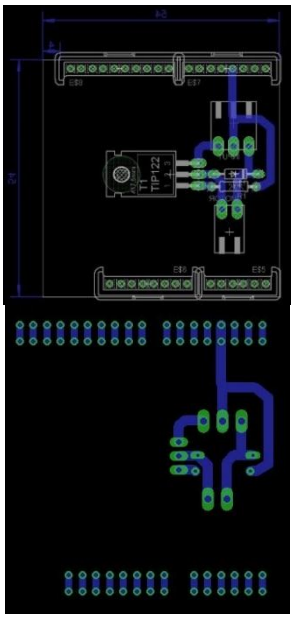


Figure 7 Placement equipment.

8. หลังจากออกแบบวงจรเรียบร้อยแล้วขั้นต่อไปคือการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ตามที่ออกแบบไว้ ในที่นี้ใช้วิธีการปริ้นต์วงจรที่ออกแบบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปโดยใช้เครื่องปริ้นต์เลเซอร์ ปริ้นต์โดยใช้กระดาษโฟโต้ (ศมิทธิ์, 2556) และในส่วนรูปของอุปกรณ์ใช้แผ่นใสชนิดถ่ายในการปริ้นต์ จากนั้นนำลายวงจรที่ปริ้นต์ออกมา มาทำการรีดลงบนแผ่นปริ้นต์ที่เตรียมไว้

9. นำไปล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อให้กระดาษที่ติดกับลายวงจรออก จะเหลือเฉพาะลายวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ จากนั้นทำให้วงจรแห้งโดยการใช้ไดร์เป่าผมเป่าหรือปล่อยไว้ให้แห้งเอง

10. นำแผ่นปริ้นต์ที่ได้มาทำการกัดปริ้นต์เพื่อให้เหลือเฉาพะลายวงจรที่ต้องการ จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำเปล่าและทำการเคลือบแผ่นปริ้นต์

11. นำส่วนที่เป็นรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ต้องการติดตั้งมารีดติดอีกด้านของแผ่นปริ้นต์

12. นำแผ่นปริ้นต์มาเจาะรูเพื่อลงอุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้

13. ทำการประกอบวงจรและเชื่อมต่อกับส่วนประกอบต่างๆ เพื่อทำการทดสอบ

14. หลังจากทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อไปเป็นการนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาลงกล่องเพื่อความเรียบร้อยและสวยงาม

การหาประสิทธิภาพ

1. การหาประสิทธิภาพของวงจรควบคุมมอเตอร์ ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของการกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟที่สามารถกดได้ 3 ระดับ ประสิทธิภาพของจอแสดงผลแบบแอลซีดี ในการแสดงการรับคำสั่งจากการกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟในแต่ละครั้ง (low, middle, high) ประสิทธิภาพของระบบป้องกันอันตรายจากการที่ไม่ปิดฝาเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ

2. การหาประสิทธิภาพในการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วย ระยะเวลาในการกัดเมื่อกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟ low ระยะเวลาในการกัดเมื่อกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟ middle ระยะเวลาในการกัดเมื่อกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟ full speed

3. การวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย หาประสิทธิภาพของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ โดยนำผลที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และร้อยละ (%)

ผลการศึกษา

1. การสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ

1.1 ทำการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบ

1.2 ศึกษาการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ

1.3 ทำการออกแบบส่วนของโครงสร้างโดยใช้ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามา ดังนี้

1.3.1 ลักษณะโครงสร้างที่ออกแบบ

1) ตัวของโครงสร้างเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ทำมาจากอะคริลิกชนิดใสที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร สาเหตุที่เลือกใช้โครงสร้างที่ทำมาจากอะคริลิกเพราะว่าสามารถป้องกันการกัดของกรดเฟอริกคลอไรด์ได้และเพื่อสังเกตการกัดของกรดเฟอริกคลอไรด์กับชิ้นงาน

2) ขนาดของโครงสร้างที่ออกแบบมีลักษณะของที่เป็นกล่อง มีขนาด ความกว้าง 32 เซนติเมตร ความยาว 42 เซนติเมตร และความสูง 35 เซนติเมตร ซึ่งจากขนาดดังกล่าวโครงสร้างที่ทำการสร้างมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนักจึงสามารถที่จะเคลื่อนย้ายได้สะดวกอีกทั้งยังมีน้ำหนักที่ที่เบาด้วย

3) หัวฉีดเลือกที่ใช้เป็นหัวฉีดแบบสเปรย์ชนิดที่เป็นพลาสติก ที่นำหัวฉีดต้นไม้ที่มีวางขายตามท้องตลาดมาดัดแปลงและประยุกต์ใช้ซึ่งพลาสติกจะทนต่อการกัดกร่อนของกรดเฟอริก-คลอไรด์ได้ดีกว่าวัสดุที่ทำมาจากโลหะ

4) ฝาปิดของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นเป็นแบบ 6 หัวฉีด ซึ่งสามารถเลือกเปิด - ปิดหัวฉีดได้โดยการเปิด - ปิดที่วาล์ว โดยวาล์วที่ควบคุมจะมีอยู่ 2 จุด แต่ละจุดจะควบคุมการฉีดจุดละ 3 หัวฉีด

2. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ

2.1 ประสิทธิภาพการทำงานของหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟในการกดตำแหน่งหมายเลข 1, 2, 3 (low speed, medium speed, full speed) ในการทดสอบทำการกดจำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่สร้างขึ้นนั้นทำงานได้ตรงตามการกดในแต่ละครั้งและแสดงผลที่จอแสดงผลแบบแอลซีดีเป็น low speed, medium speed และ full speed คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของการกด (Table 1)

2.2 ประสิทธิภาพการทำงานของหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟในการกดตำแหน่ง KEY2 ในการทดสอบทำการกดที่ตำแหน่ง KEY2 จำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่สร้างขึ้นนั้นทำงานได้ตรงตามการกดในแต่ละครั้งและแสดงผลที่จอแสดงผลแบบแอลซีดีเป็น stop คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของการกด (Table 2)

Table1 Performance capacitive touch keypad to dial the numbers 1, 2, and 3 and display.

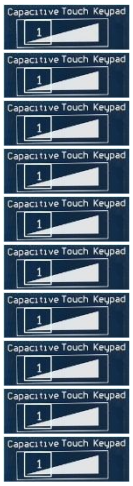
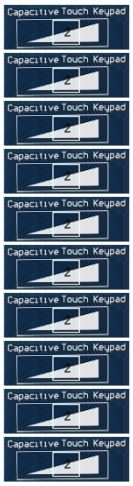
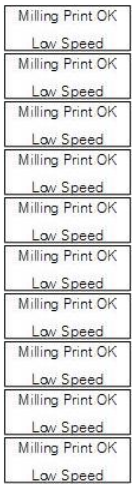
press No	position low speed	position medium speed	position full speed	display low speed	display medium speed	display full speed	preciseness (%)
1							100
2							100
3							100
4							100
5							100
6							100
7							100
8							100
9							100
10							100
total average							100

Table 2 Performance capacitive touch keypad in the press position KEY2.

press No	position	display	preciseness (%)
1			100
2			100
3			100
4			100
5			100
6			100
7			100
8			100
9			100
10			100
total average			100

2.3 ประสิทธิภาพของความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ โดยการทดสอบทำการเปิดฝาเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติจำนวน 10 ครั้ง จอแสดงผลแบบแอลซีดีแสดง milling print NO และไฟแสดงสถานะการทำงานของลิมิตสวิตช์ทางกล ไฟดับ 10 ครั้ง คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของการตัดการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ทำการทดสอบการปิดฝาเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติจำนวน 10 ครั้ง จอแสดงผลแบบแอลซีดีแสดง milling print OK และไฟแสดงสถานะการทำงานของลิมิตสวิตช์ทางกล ไฟสว่าง 10 ครั้ง คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของการสั่งการให้วงจรควบคุมมอเตอร์ของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติพร้อมทำงาน (Table 3)

Table 3 Performance of safety in the workplace.

No	open/close cover	display	indicator	preciseness (%)	No	open/close cover	display	indicator	preciseness (%)
1	open	Milling Print OK	bright	100	11	open	Milling Print OK	bright	100
2	Close	Milling Print ON	No bright	100	12	Close	Milling Print ON	No bright	100
3	open	Milling Print OK	bright	100	13	open	Milling Print OK	bright	100
4	Close	Milling Print ON	No bright	100	14	Close	Milling Print ON	No bright	100
5	open	Milling Print OK	bright	100	15	open	Milling Print OK	bright	100
6	Close	Milling Print ON	No bright	100	16	Close	Milling Print ON	No bright	100
7	open	Milling Print OK	bright	100	17	open	Milling Print OK	bright	100
8	Close	Milling Print ON	No bright	100	18	Close	Milling Print ON	No bright	100
9	open	Milling Print OK	bright	100	19	open	Milling Print OK	bright	100
10	Close	Milling Print ON	No bright	100	20	Close	Milling Print ON	No bright	100
				total average					100

2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ในการกัดแผ่น PCB ขนาด 12×13 นิ้ว ในการทดสอบใช้แผ่น PCB จำนวน 5 แผ่นในการทดสอบ โดยใช้คำสั่ง low speed ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 1:35:38 นาที 1:45:07 นาที 1:20:47 นาที 1:50:23 นาที และ 1:47:55 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 1:39:56 นาที ใช้คำสั่ง medium speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 1:22:54 นาที 0:52:57 นาที 0:43:51 นาที 0:43:49 นาที และ 0:43:49 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:53:26 นาที และใช้คำสั่ง full speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:45:15 นาที 0:34:56 นาที 0:33:19 นาที 0:33:55 นาที และ 0:50:16 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:39:32 นาที (Table 4) รูปก่อนกัดและหลังกัดของแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 12×13 นิ้ว (Figure 8-9)

2.5 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ในการกัดแผ่น PCB ขนาด 6×6.5 นิ้ว ในการทดสอบใช้แผ่น PCB จำนวน 5 แผ่นในการทดสอบโดยใช้คำสั่ง low speed ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 1:20:45 นาที 1:43:12 นาที

0:55:36 นาที 1:28:56 นาที และ 1:08:19 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 1:19:22 นาที ใช้คำสั่ง medium speed ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 1:10:27 นาที 0:48:22 นาที 0:58:47 นาที 1:08:52 นาที และ 1:20:44 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 1:05:26 นาที และใช้คำสั่ง full speed ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:45:39 นาที 0:42:50 นาที 0:55:18 นาที 0:57:42 นาที และ 0:53:51 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัด อยู่ที่ 0:51:04 นาที (Table 5) รูปก่อนกัดและหลังกัดของแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 6×6.5 นิ้ว (Figure 10-11)

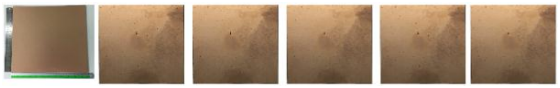


Figure 8 PCB size 12×13 inches before corrosion.

Figure 9 PCB size 13×13 inches after corrosion.

Figure 10 PCB size 6× 6.5 inches before corrosion.

Figure 11 PCB size 6×6.5 inches after corrosion.

Figure 12 PCB size 3×3.25 inches before corrosion.

Figure 13 PCB size 3× 3.25 inches after corrosion.

Table 4 Performance semi-automatic PCB milling machine. The PCB size 12×13 inches when using low speed, medium speed, full speed.

plate No.	PCB size 12×13		
	low speed	medium speed	full speed
1	1:35:38	1:35:38	0:45:15
2	1:45:07	1:45:07	0:34:56
3	1:20:47	1:20:47	0:33:19
4	1:50:23	1:50:23	0:33:55
5	1:47:55	1:47:55	0:50:16
average	1:39:56	0:53:26	0:39:32

Table 5 Performance semi-automatic PCB milling machine. The PCB size 6×6.5 inches when using low speed, medium speed, full speed.

Plate No.	PCB size 6×6.5		
	low speed	medium speed	full speed
1	1:20:45	1:10:27	0:45:39
2	1:43:12	0:48:22	0:42:50
3	0:55:36	0:58:47	0:55:18
4	1:28:56	1:08:52	0:57:42
5	1:08:19	1:20:44	0:53:51
average	1:19:22	1:05:26	0:51:04

2.6 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ในการกัดแผ่น PCB ขนาด 3×3.25 นิ้ว ในการทดสอบใช้แผ่น PCB จำนวน 5 แผ่น ในการทดสอบโดยใช้คำสั่ง low speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 1:11:25 นาที 0:55:42 นาที 0:57:52 นาที 0:58:31 นาที และ 1:14:45 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 1:03:39 นาที ใช้คำสั่ง medium speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:55:27 นาที 0:58:19 นาที 0:58:55 นาที 0:54:32 นาที และ 0:52:53 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:56:01 นาที และใช้คำสั่ง full speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:38:00 นาที 0:42:11 นาที 0:35:52 นาที 0:42:19 นาที และ 0:51:08 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:41:54 นาที (Table 6) รูปก่อนกัดและหลังกัดของแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 6×6.5 นิ้ว (Figure 12-13)

Table 6 Performance semi-automatic PCB milling machine. The PCB size 3×3.25 inches when using low speed, medium speed, full speed.

plate No.	PCB size 3×3.25		
	low speed	medium speed	full speed
1	1:11:25	0:55:27	0:38:00
2	0:55:42	0:58:19	0:42:11
3	0:57:52	0:58:55	0:35:52
4	0:58:31	0:54:32	0:42:19
5	1:14:45	0:52:53	0:51:08
average	1:03:39	0:56:01	0:41:54

2.7 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ในการกัดแผ่น PCB ขนาด 1.5×1.62 นิ้ว ในการทดสอบใช้แผ่น PCB จำนวน 5 แผ่น ในการทดสอบ โดยใช้คำสั่ง low speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:58:11 นาที 0:58:52 นาที 0:53:17 นาที 0:57:49 นาที และ 0:57:42 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:57:10 นาที ใช้คำสั่ง medium speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:45:55 นาที 0:48:47 นาที 0:49:50 นาที 0:51:07 นาที และ 0:43:55 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:47:55 นาที และใช้คำสั่ง full speed mode ผลปรากฏว่าระยะเวลาที่ใช้คือ 0:25:52 นาที 0:28:44 นาที 0:22:18 นาที 0:30:10 นาที และ 0:35:10 นาที โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการกัดอยู่ที่ 0:28:30 นาที (Table 7) รูปก่อนกัดและหลังกัดของแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 6×6.5 นิ้ว (Table 14-15)

Table 7 Performance semi-automatic PCB milling machine. The PCB size 1.5×1.62 inches when using low speed, medium speed, full speed.

plate No.	PCB size 1.5×1.62		
	low speed	medium speed	full speed
1	0:58:11	0:45:55	0:25:52
2	0:58:52	0:48:47	0:28:44
3	0:53:17	0:49:50	0:22:18
4	0:57:49	0:51:07	0:30:10
5	0:57:42	0:43:55	0:35:10
average	0:57:10	0:47:55	0:28:30

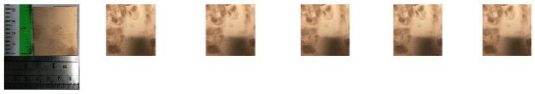


Figure 14 PCB size 1.5×1.62 inches before corrosion.

Figure 15 PCB size 1.5×1.62 inches after corrosion.

อภิปรายผล

ผลจากการสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ ในครั้งนี้

1. ในส่วนของโครงสร้างของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัตินั้นในการออกแบบผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการออกแบบทำให้แบบที่ออกมาตรงตามความต้องการ ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้โครงสร้างของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติใช้อะคริลิกชนิดใสที่มีความหนาขนาด 3 มิลลิเมตร โดยในการตัดนั้นได้ใช้เครื่องตัดที่เป็นเลเซอร์ ทำให้อะคริลิกแต่ละชิ้นที่ตัดออกมาตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ ในการประกอบอะคริลิกให้เป็นโครงสร้างผู้วิจัยใช้น้ำยาประสานพลาสติกมาใช้ในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ให้เป็นรูปร่างตามแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ เมื่อประกอบโครงสร้างเรียบร้อยแล้วได้นำซิลิโคนชนิดใสมายิงยาแนวตามรอยต่อต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการซึมหรือรั่ว ในส่วนของระบบการฉีดพ่นกรดกัดปริ้นต์ลงบนวงจรพิมพ์ใช้หัวฉีดแบบพลาสติกจำนวน 6 หัวฉีด ซึ่งติดตั้งบนบริเวณฝาบน เพื่อให้การฉีดกระจายทั่วถึงแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมากัด

2. ในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น ได้นำปั๊มฉีดกระจกรถยนต์ที่ใช้ไฟ 12 VDC ที่สามารถหาได้ตามท้องตลาดทั่วๆ ไป มาประยุกต์ใช้กับระบบการฉีดพ่นกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ใช้บอร์ด Arduino Uno R3 ที่เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ open source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน hardware และ software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ซึ่งผู้ใช้งานสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมได้ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำบอร์ด Arduino Uno R3 มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ โดยผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อการสั่งงานชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ประกอบด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น ควบคุมการรับคำสั่งในการกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟที่ 3 ระดับ และสั่งหยุดการทำงานของเครื่อง ควบคุมการแสดงผลจอแสดงผลแบบแอลซีดีโดยที่จอแสดงผลแบบแอลซีดีจะบอกถึงความพร้อมและไม่พร้อมในการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ นอกจากนั้นจอแสดงผลดังกล่าวยังบอกระดับของความเร็วของการดูดและฉีดกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ 3 ระดับ คือ low speed, medium speed และ full speed และผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ลิมิตสวิตซ์โดยนำมาติดตั้งกับเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งเมื่อปิดฝาบนสนิทเครื่องจะพร้อมใช้งานแต่ถ้าฝาเปิดหรือปิดไม่สนิทเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติจะไม่สามารถทำงานได้

3. ในส่วนของการหาประสิทธิภาพเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นนั้นได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการสั่งงานผ่านหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟซึ่งผลที่ได้คือ หน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟตอบสนองต่อการกดสั่งงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นเพราะชุดคำสั่งที่เขียนในบอร์ด

Arduino Uno R3 กำหนดเงื่อนไขในการสั่งงานและรับการกดอย่างชัดเจนและถูกต้อง จึงเป็นผลทำให้การกดหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบตอบสนองได้แม่นยำ ประสิทธิภาพของจอแสดงผลแบบแอลซีดีแสดงผลของคำสั่งต่างๆ ที่ได้โปรแกรมไว้ ผลที่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชุดคำสั่งที่เขียนในบอร์ด Arduino Uno R3 ได้กำหนดเงื่อนไขในการแสดงผลไว้อย่างชัดเจน โดยในตัวของโปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้จะสั่งให้จอแสดงผลตอบสนองต่อการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติไม่ว่าจะเป็นข้อความเริ่มต้นเมื่อทำการจ่ายไฟเข้าสู่ชุดควบคุม จะแสดง milling print OK ซึ่งเป็นสถานะที่พร้อมใช้งาน ถ้าแสดง milling print NO เป็นสถานะไม่ที่พร้อมใช้งานสาเหตุอาจเกิดจากการปิดฝาที่ไม่สนิท ถ้าแสดง milling print OK ที่บรรทัดแรกและ stop ในบรรทัดที่สองจะเป็นการแสดงถึงการสั่งให้เครื่องหยุดทำงาน ถ้าแสดง milling print OK ที่บรรทัดแรกและ low speed ในบรรทัดที่สองจะเป็นการแสดงถึงการสั่งให้ปั๊มทำงานในความเร็วรอบที่ต่ำ ถ้าแสดง milling print OK ที่บรรทัดแรกและ medium speed ในบรรทัดที่สองจะเป็นการแสดงถึงการสั่งให้ปั๊มทำงานในความเร็วรอบที่ระดับปานกลาง และ ถ้าแสดง milling print OK ที่บรรทัดแรกและ full speed ในบรรทัดที่สองจะเป็นการแสดงถึงการสั่งให้ปั๊มทำงานในความเร็วรอบที่ระดับสูงสุด อาจเป็นเพราะการกำหนดเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรมถูกต้องและชัดเจน เมื่อเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติเริ่มทำงานจะแสดงผลต่างๆ ตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้โดยการสั่งงานต่างๆ จะสั่งผ่านหน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟด้วยการกดไม่ว่าจะเป็นการสั่งหยุดการทำงานของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ การเลือกระดับการการฉีดกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์ ลิมิตสวิตช์ทางกลที่นำมาใช้ในส่วนของความปลอดภัยทำงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตำแหน่งของการติดตั้งเหมาะสม คือนำมาติดตั้งบริเวณโครงสร้างและส่วนที่เป็นสวิตช์ จะใช้การกดทับของฝา ดังนั้นเมื่อฝาปิดไม่สนิทหรือโดนเปิดไว้ตัวสวิตช์จะทำการเปิดวงจรทำให้ชุดควบคุมไม่สามารถทำงานได้ แต่ถ้าฝาปิดสนิท สวิตช์ดังกล่าวจะอยู่ในสภาวะปิดวงจรทำให้ไฟฟ้าไหลครบวงจร จึงทำให้วงจรควบคุมสามารถทำงานได้และประสิทธิภาพในการกัดแผ่น PCB ขนาดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลองผลปรากฏว่า PCB ขนาด 12×13 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่หาซื้อได้ในร้านอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เมื่อใช้คำสั่ง low speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:39:56 นาที medium speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 53:26 นาที และ full speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 39:32 นาที PCB ขนาด 6×6.5 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่ง low speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:19:22 นาที medium speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:05:26 นาที และ full speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 51:04 นาที 3×3.25 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่ง low speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1:03:39 นาที medium speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 56:01 นาที และ full speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 41:54 นาที และ PCB ขนาด 1.5×1.62 นิ้ว เมื่อใช้คำสั่ง low speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 57:10 นาที medium speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 47:55 นาทีและ full speed mode เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 28:30 นาที ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเร็วในการดูดและฉีดในแต่ละ mode แตกต่างกันและขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ก็มีขนาดที่แตกต่างกันจึงทำให้เวลาที่ใช้แตกต่างกันตามไปด้วย

สรุป

เครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นนี้โครงสร้างทำมาจากอะคริลิกชนิดใส ที่ประกอบเป็นรูปร่างตามการออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ในการควบคุมความแรงของการฉีดพ่นกรด สามารถเลือกได้ 3 ระดับ คือความแรงในการฉีดพ่นต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งในการควบคุมดังกล่าวคำสั่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาผ่านทางบอร์ดอาดุยโนยูโน อาร์สาม ใช้หน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟในการสั่งการระดับความแรงของการฉีดพ่นของกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ใช้ลิมิตสวิชต์ในการควบคุมความปลอดภัย โดยถ้าฝาของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติไม่ปิดหรือปิดไม่สนิท เครื่องก็จะไม่สามารถทำงานหรือไม่สามารถฉีดพ่นกรดได้ ส่วนการแสดงผลคำสั่งและการทำงานต่างๆ จะแสดงผลผ่านทางจอแสดงผลชนิดแอลซีดี และประสิทธิภาพของเครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นระยะเวลาของการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ขึ้นอยู่กับระดับของความเร็วของการดูดและฉีดกรดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ และขนาดของของแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาใช้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. 2549. การออกแบบวงจรพิมพ์ด้วยโปรแกรม Eagle. ด่านสุธาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

นรสิงห์ หม่องรอบ, ศราวุฒิ คนเทศ และศิริชัย เวียงคำฟ้า. 2555. เครื่องเขย่าแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ. แบบเสนอเค้าโครงของนักศึกษา. สาขาอิเล็กทรอนิกส์ คณะช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีพายัพและบริหารธุรกิจ, เชียงใหม่.

ปรัชญา โพธิบุตร, พัฒนพนธ์ เจริญผล และสมเจตน์ สุขทั่วญาติ. 2557. เครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์ระบบน้ำวน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://rms.tatc.ac.th/files/29891_15052215152109.pdf (16 สิงหาคม 2559).

พงศ์ศิริ ทาภู่, ปิยพงษ์ ศรีกอง, ดนุพล บัวศรี และธีระวัฒน์ ประเพณี. 2552. เครื่องกัดแผ่นปริ้นต์อัตโนมัติวิทยาลัยการอาชีพกบินทร์บุรี. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://bverd.vec.go.th/innovation/bverd/bb_project_detail.php?project_id=513 (23 มิถุนายน 2559).

ศิริพร ดาวพิเศษ. 2539. คลอไรด์ ตัวปัญหาของการกัดกร่อน. *วารสารวิชาการพระจอเกล้าพระนครเหนือ. 6(3)*:11-18.

ศมิทธิ์ เอมสมบัติ. 2556. วิธีการทำ PCB โดยใช้แผ่นใส. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http:/www.thaimicrotron.com/Trick/PCB/DIYPCB.html (16 กุมภาพันธ์ 2558).

สิริวัฒน์ เรืองคำ. 2556. เครื่องกัดแผ่นวงจรพิมพ์ สำหรับห้องปฏิบัติการทางอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ห้องสมุดกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2556. สภาวะอุตสาหกรรมแผ่นวงจรพิมพ์. *อุตสาหกรรมสาร 40*: 32-36.

อติชัย บุตรเพชร และณรงค์ ผังวิวัฒน์. 2554. การสึกหรอและการกัดกร่อนของทองแดงและทองเหลือง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 11(4)*: 49-55.

Elec2you. 2015. Arduno Uno R3. (online). Available: http://www. elec2you. com/product/2/arduino-uno-r3 (12 February 2015).

Shi,Y., M. Fan, R.C. Brown, S. Sung and J.V. Leeuwen. 2004. Comparison of corrosivity of polymeric sulfate ferric and ferric chloride as coagulations in water treatment. *Chem Eng Process. 43(8)*: 955-964.

Small lab. 2554. วิวัฒนาการของแผ่นวงจรพิมพ์. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://smalllaboratory . blogspot. jp/ 2011/ 08/ introduction-to-printed-circuit-board.html (28 เมษายน 2557).