



การพัฒนาระบบกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี

Development of wire electrochemical machining



นายเฉลิมเกียรติ สীগาม
นายชินวัฒน์ คำหอม
นายศรัณชัย ยนต์สาตร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรปีการศึกษา 2562



ใบรับรองโครงการ

หัวข้อโครงการ : การพัฒนาระบบกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี
Development of wire electrochemical
machining

ผู้ดำเนินโครงการ : นายเฉลิมเกียรติ สีงาม รหัสนิสิต 59360891
: นายชินวัฒน์ คำหอม รหัสนิสิต 59361126
: นายศรัณชัย ยนต์ศาสตร์ รหัสนิสิต 59365292

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์ชะชัย


สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล


ปีการศึกษา : 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนนคร อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์ชะชัย)


.....กรรมการ
(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์)


.....กรรมการ
(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงการ	: การพัฒนาระบบกักตัวสัตว์ด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายเฉลิมเกียรติ สีงาม รหัสนิสิต 59360891
	: นายชินวัฒน์ คำหอม รหัสนิสิต 59361126
	: นายศรัณชัย ยนต์ศาสตร์ รหัสนิสิต 59365292
ที่ปรึกษาโครงการ	: ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาระบบการกักตัวสัตว์ด้วยกระบวนการเส้นลวดไฟฟ้าเคมี เพื่อให้สามารถกักตัวสัตว์ได้ โดยมีการพัฒนาระบบขับเคลื่อนเส้นลวดให้มีความตึงที่เหมาะสมในขณะเคลื่อนที่ และชุดควบคุมความเร็วของมอเตอร์จำนวน 2 ตัว โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ (1) ชุดขับเคลื่อนเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เกียร์ (2) ชุดควบคุมมอเตอร์ โดยควบคุมผ่านบอร์ด Arduino (3) ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้แปลงถ่านของมอเตอร์

ในการทดลองเพื่อประเมินความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้นจำนวน 3 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นการทดลองสั่งงานชุดควบคุม และเขียนโปรแกรมควบคุม รูปแบบที่ 2 เป็นการทดลองหาแรงบิดของมอเตอร์สูงสุดขณะไม่เคลื่อนที่เทียบกับความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยการหาน้ำหนักที่ยกได้ และรูปแบบที่ 3 เป็นการทดลองตัดตัวสวิตช์สแตนด์บาย 304 โดยมีปัจจัยควบคุม เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน ความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และความต่างศักย์

ผลการทดลองบ่งชี้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำมาใช้ในการกักตัวสัตว์ระดับไมโครได้สำเร็จ ซึ่งในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาด และคุณภาพของรอยกักพบว่า ความต่างศักย์ที่ใช้ในการทดลองจะมีผลต่อขนาดของรอยกัก และความเร็วในการกักตัว โดยหากความต่างศักย์ที่สูงจะทำให้การกักตัวสัตว์ใช้เวลาสั้นกว่า และส่งผลให้รอยกักมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นด้วย ดังนั้นการใช้อัตราความเร็วที่เหมาะสมจะรักษาช่องว่างระหว่างชิ้นงาน กับเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ให้พอเหมาะ ทำให้การเกิดปฏิกิริยามีความต่อเนื่อง ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไนเตรทควบคุม กับการใช้ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และอัตราการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อวินาที จะทำให้กักได้เร็วที่สุด

Project Title : Development of wire electrochemical machining

Name : Mr.Chaloemkiat Seengam ID. 59360891
: Mr.Chinnawat Khamhom ID. 59361126
: Mr.Sarunchai Yonsad ID. 59365292

Project advisor : Dr.Sumet Heamawatanachai

Department : Mechanical Engineering

Year : 2019

Abstract

The purposes of this research was to design and develop of wire electrochemical machining system. The wire driving mechanism was developed to achieve suitable tension consists of 3 main parts; 1)two gear motor system, 2)motor control system using Arduino board and 3)the power supply to electrode wire by carbon brush.

To evaluate the performance of the developed system, three setups of experiment were performed. The first of experiment was to program and control the system. The second setup was experiment to find the torque of the motor compare with supply voltage. The last experiment was to machining of stainless 304 with various controlled parameters such as feeding speed of workpiece, concentration of electrolyte and the supply voltage.

The experiment revealed that the developed system can be used for micro machining using wire electrochemical process. It was found that the supply voltage affect to size and quality of the cut and also affect to the feeding speed. The results of the study show that the high voltage spend less time on material machining and increasing the size of cut. Consequently utilization the suitable feeding speed for to keep distance between the workpiece and electrode wire produce continuous

electrochemical reaction. This experiment setup reveal that using sodium nitrate with supply voltage at 15 volts and speed movement at 30 micrometer per minute give the best quality of cut.



กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ เรื่องการพัฒนาระบบกักตัวสัตว์ด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี สามารถประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัยอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการจัดทำปริญญานิพนธ์รวมถึงการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนข้อมูลเกี่ยวกับการจัดทำโครงการวิจัย อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบ ท่านแรก รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์ ท่านที่สอง ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหน่วยงาน ซึ่งหน่วยงานแรกขอกราบขอบพระคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรง และการแพทย์ (PMET) ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำต่างๆ ห้องที่ใช้ในการทำโครงงาน และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ หน่วยงานที่สอง คือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับบิดามารดา และทุกคนในครอบครัวของคณะผู้จัดทำที่คอยดูแลให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดเวลาที่ผ่านมา รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนศิษย์ สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้จัดทำโครงการขอมอบให้แก่บิดา มารดา อาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และผู้ที่มีส่วนในการสนับสนุนการทำโครงงานวิศวกรรมครั้งนี้ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองโครงการ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญกราฟ	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฏ
บทที่ 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตโครงการ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	4
บทที่ 2	5
2.1 ทฤษฎี.....	5
2.1.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) [1]	5
2.1.2 กระบวนการกักตัวสูดด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี (ECM) [2].....	6

2.1.3 กระบวนการการกัดวัสดุด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM) [2]	7
2.1.4 เครื่องไวร์คัท (Wire Cut) [3]	8
2.1.5 Encoder (เอ็นโค้ดเดอร์) [4]	9
2.1.6 Brass (ทองเหลือง) [5].....	10
2.1.7 สเตนเลสเกรด 304 (SUS 304) [6].....	10
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์	11
บทที่ 3	17
3.1 ศึกษาและออกแบบระบบกัดวัสดุระดับไมโคร	17
3.1.1 ศึกษาทฤษฎีกระบวนการกัดแบบ ECM	17
3.1.2 ออกแบบระบบกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี	17
3.1.3 การทดลองชุดตัด	23
3.2 วิธีการทดลอง	31
3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้	32
3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	44
.....	45
บทที่ 4	45
4.1 ผลการทดลองชุดที่ 1 สารละลายโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์	45
บทที่ 5	50
5.1 สรุปผล	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
อ้างอิง	53
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ค	66

ภาคผนวก ง72

ประวัติผู้จัดทำ.....74



สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน.....	4
ตารางที่ 3.1 แสดงค่า AnalogWrite และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ของไดร์เวอร์ช่องที่ 1 และ 2..	26
ตารางที่ 3.2 แสดงค่า AnalogWrite กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และน้ำหนักที่ยกได้ ของมอเตอร์ A	28
ตารางที่ 3.3 แสดงค่า AnalogWrite กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และน้ำหนักที่ยกได้ ของมอเตอร์ B	29
ตารางที่ 3.4 แสดงเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
ตารางที่ 4.1 ความยาวระหว่างสองค่าความต่างศักย์ของชิ้นงาน.....	49



สารบัญกราฟ

เรื่อง	หน้า
กราฟที่ 3.1 แสดงความต่างศักย์ของไดร์เวอร์ช่องที่ 1 และช่องที่ 2.....	27
กราฟที่ 3.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ A และ B แบบไม่มีมวล.....	30
กราฟที่ 4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ และขนาดความยาวของการตัดแนว เส้นตรงที่อัตราการเคลื่อนที่คงที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที	46
กราฟที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ และขนาดความยาวของการตัดแนว เส้นตรงที่อัตราการเคลื่อนที่คงที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที	48



สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบหลักของกระบวนการ ECM	2
รูปที่ 2.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ [1].....	5
รูปที่ 2.2 ลายละเอียดการทำงานเครื่องไวร์คัท [3].....	9
รูปที่ 2.3 คลื่นของ Top Spark ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อรูเจาะ [7].....	11
รูปที่ 2.4 แผนผังไดอะแกรมของ ECM พร้อมการไหลของอิเล็กโทรไลต์ [8].....	12
รูปที่ 2.5 กราฟความถี่การเต้นเป็นจังหวะของการไหล [8].....	12
รูปที่ 2.6 การตัดเฉือนของ WECM ในแผ่นโลหะผสมโคบอลต์ โดยใช้ลวดไทเทเนียม (ทั้งสแตน) ที่ อัตราเร็ว 0.02 $\mu\text{m/s}$ ในทิศทางของพื้นผิวที่ถูกกัด [9].....	13
รูปที่ 2.7 แผนผังพื้นที่การตัดในกรณีของ WECM [10].....	14
รูปที่ 2.8 แผนภูมิของกระบวนการ PECM [11].....	15
รูปที่ 2.9 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ EDM และ ECM ตามลำดับจากซ้ายไปขวาลงล่าง [12]	15
รูปที่ 2.10 ภาพ Schematic diagram of Wire EDM process [13].....	16
รูปที่ 2.11 การกัดของลวดที่มีประจุด้วยไฟฟ้า ที่กัดชิ้นงานในระนาบแนวเส้นตรง [14].....	16
รูปที่ 3.1 ภาพการออกแบบของชุดตัด	18
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนระหว่างการกลึงเพลาทองเหลือง	18
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่ได้จากการกลึง.....	19
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการปรี้นบูช โดยใช้การปรี้น3D	19
รูปที่ 3.5 ชุดตัดเมื่อประกอบเสร็จแล้ว	20
รูปที่ 3.6 ระบบควบคุมของชุดตัด	20
รูปที่ 3.7 การต่อวงจรของระบบควบคุมชุดตัด.....	21
รูปที่ 3.8 ชุดตัด และชุดควบคุม	22
รูปที่ 3.9 การทดลองของชุดตัด.....	23
รูปที่ 3.10 การซึ่่งน้ำหนักของเกลลอน	24
รูปที่ 3.11 การติดตั้งชุดทดลอง.....	24
รูปที่ 3.12 ภาพชุดทดลองที่ใช้อ่านค่า	25

รูปที่ 3.13	การทำงานทั้งหมดของระบบการกักตัววัสดุด้วยไฟฟ้าเคมี	31
รูปที่ 3.14	เครื่อง CNC.....	34
รูปที่ 3.15	เครื่องคอมพิวเตอร์.....	34
รูปที่ 3.16	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	34
รูปที่ 3.17	บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N.....	35
รูปที่ 3.18	แผ่นอะคริลิค.....	35
รูปที่ 3.19	เพลาทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm.	35
รูปที่ 3.20	เพลาลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.1/2 นิ้ว เกรด 6063	36
รูปที่ 3.21	เพลาสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm. เกรด 304	36
รูปที่ 3.22	สกรู M3 ยาว 10 cm.....	36
รูปที่ 3.23	แหวนรองน็อต M3.....	37
รูปที่ 3.24	เสารองโลหะ PCB ยาว 25 mm.....	37
รูปที่ 3.25	ตลับลูกปืน	37
รูปที่ 3.26	สกรูตัวหนอน M4	38
รูปที่ 3.27	เส้นลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm.	38
รูปที่ 3.28	สายไฟจัมพ์เปอร์	38
รูปที่ 3.29	ดอกสว่าน.....	39
รูปที่ 3.30	ดอกตัดาปเกลียว	39
รูปที่ 3.31	มอเตอร์ รุ่น ZGA37RG244i.....	39
รูปที่ 3.32	สายไฟ 5 core.....	40
รูปที่ 3.33	ขั้วต่อ 5 เข็ม (Connector)	40
รูปที่ 3.34	เคเบิลแกน	40
รูปที่ 3.35	บุช.....	41
รูปที่ 3.36	สวิตช์แบบกด	41
รูปที่ 3.37	สวิตช์แบบคั่นโยก.....	41
รูปที่ 3.38	รีเลย์ 12 VDC	42
รูปที่ 3.39	สายไฟขนาด 26 AWG.....	42
รูปที่ 3.40	สายไฟพร้อมปลั๊ก	42
รูปที่ 3.41	กล่องพลาสติกใส.....	43

รูปที่ 3.42 ท่อหด.....	43
รูปที่ 3.43 ตัวแปรง่า่น.....	43
รูปที่ 3.44 กระบะใส่สารละลาย.....	44
รูปที่ 4.1 รอยตัดของชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ ทั้ง 3 รอยตามลำดับ.....	46
รูปที่ 4.2 รอยตัดของชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ทั้ง 3 รอยตามลำดับ.....	47
รูป ข.1 การติดแบบที่ออกแบบจากโปรแกรมลงบนแผ่นอะคริลิค.....	59
รูป ข.2 การตัดตามแบบที่ติดลงบนแผ่นอะคริลิค.....	59
รูป ข.3 การเจาะรูเพื่อยึดอุปกรณ์ต่างๆ.....	60
รูป ข.4 การเจาะรูทำเกลียวเพื่อล็อคแกนเพลลา และล็อคเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์.....	60
รูป ข.5 การปรับ 3 มิติ เพื่อทำตัวประกอบลื่อนนำเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ให้อยู่ตรงกลาง.....	61
รูป ข.6 ชุดขับเคลื่อนเส้นลวดที่ทำการประกอบเสร็จ.....	61
รูป ข.7 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ทำการประกอบเสร็จ.....	62
รูป ข.8 สารโซเดียมไนเตรท(NaNO_3).....	62
รูป ข.9 สแตนเลส เกรด 304 หน้า 2 มิลลิเมตร.....	63
รูป ข.10 อลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร.....	63
รูป ข.11 การติดตั้งวัสดุชิ้นงานกับแท่นยึดชิ้นงานของเครื่อง CNC.....	63
รูป ข.12 การทำงานของเครื่องระหว่างการกัดชิ้นงาน.....	64
รูป ข.13 การทำปฏิกิริยาของกระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	64
รูป ข.14 โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่.....	65
รูป ค.1 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หน้า 2 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.05 โมลาร์.....	67
รูป ค.2 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หน้า 2 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 8.57 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.03 โมลาร์.....	68
รูป ค.3 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หน้า 2 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์.....	68
รูป ค.4 ภาพรอยกัดอลูมิเนียมหนา 3 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 15 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 9 โวลต์ และความเข้มข้น 0.01 โมลาร์.....	69

รูป ค.5 ภาพรอยกัดเงินหนา 0.5 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 9 โวลต์ และความเข้มข้น 0.01 โมลาร์.....	69
รูป ค.6 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นบนด้านบน) อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์.....	70
รูป ค.7 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นบนด้านประกบกัน) อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์.....	70
รูป ค.8 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นล่างด้านประกบกัน) อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์.....	71
รูป ค.9 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 มิลลิเมตรซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นล่างด้านล่าง) อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์.....	71
รูป ง.1 กล้องควบคุมด้านข้าง.....	73
รูป ง.2 กล้องควบคุมด้านบน.....	73



บทที่ 1

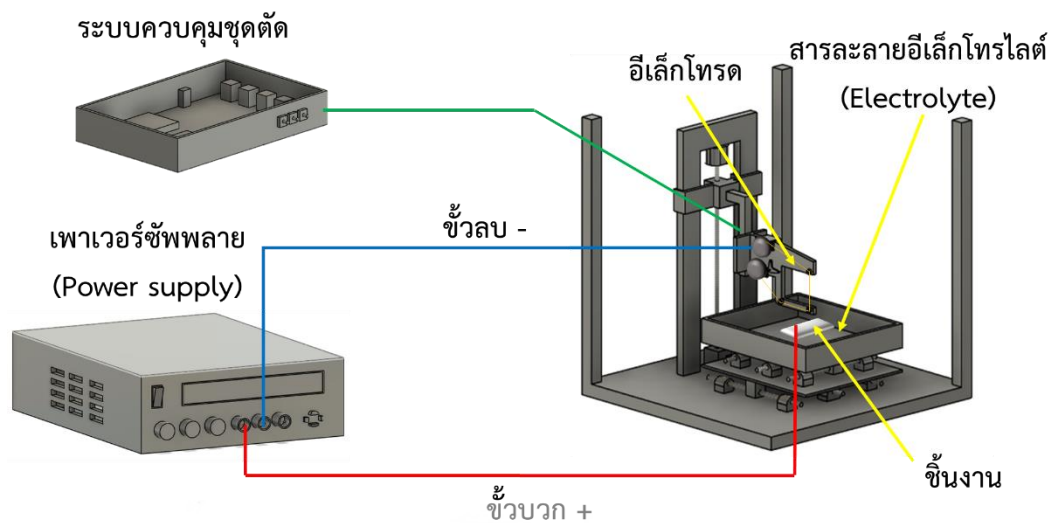
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีระดับไมโครได้เป็นที่สนใจและแพร่หลายเป็นอย่างมาก ซึ่งเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีในชีวิตประจำวัน ส่งผลให้อัตราการเติบโตของตลาดเทคโนโลยีไมโครอยู่ในระดับสูง ซึ่งทำให้มีการพัฒนา และการเติบโตอย่างต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก จึงทำให้กระบวนการผลิต และการใช้วัสดุมีความหลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้งานที่แตกต่างกัน

เทคโนโลยีระดับไมโครในกระบวนการผลิตสามารถขึ้นรูป หรือตัดสิ่งต่างๆที่มีโครงสร้างขนาดเล็กได้ซึ่งมีหลายวิธี เช่น ทางกล(Micro-milling) ทางไฟฟ้า(Electrical Discharge Machining) และทางไฟฟ้าเคมี(Electrochemical Machining) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการตัดวัสดุด้วยไฟฟ้าเคมีข้อดีคือไม่อาศัยแรงในการกัดวัสดุ สามารถกัดวัสดุโดยไม่ก่อให้เกิดความเค้นทางกล หรือทางความร้อนภายในโครงสร้างวัสดุ และไม่เกิดการสึกหรอของตัวอิเล็กโทรด(Electrode) ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการพัฒนา และศึกษากระบวนการตัดวัสดุด้วยไฟฟ้าเคมีซึ่งเป็นการต่อยอดเครื่อง กัดวัสดุด้วยไฟฟ้าเคมี โดยเปลี่ยนจาก กระบวนการการกัดวัสดุโดยใช้แท่งอิเล็กโทรดในการกัดทำให้เกิดรูที่ชิ้นงาน มาเป็นการตัดโดยใช้อิเล็กโทรดแบบเส้นลวด ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษา พัฒนา และสร้างเครื่องตัดวัสดุด้วยลวดไฟฟ้าเคมี ซึ่งสามารถขึ้นรูป หรือตัดวัสดุในระดับไมโครได้ และสามารถนำไปต่อยอดในด้านต่างๆ ได้อีกด้วย

กระบวนการ WECM จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ คอมพิวเตอร์ ชุดตัด กล้องควบคุมชุดตัด แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สารละลาย และชิ้นงาน ซึ่งหลักการทำงานจะเริ่มโดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากเพาเวอร์ซัพพลาย(Power supply) ซึ่งจะต่อขั้วบวก(Anode) เข้าที่ชิ้นงาน แล้วต่อขั้วลบ(Cathode) ไปที่ตัวแปลงถ่าน ซึ่งสัมผัสกับเส้นลวดอิเล็กโทรด โดยมีสารละลายที่เรียกว่า Electrolyte ทำปฏิกิริยาระหว่างเส้นลวด และชิ้นงาน ซึ่งการกัดจะให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ตามแนวแกน x และแกน y โดยที่เส้นลวดอิเล็กโทรดเคลื่อนที่ในแกน z ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบหลักของกระบวนการ WECCM

ปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าถูกจ่ายเข้าไปที่ชิ้นงาน และตัวอีเล็กโทรดทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ จึงทำให้ชิ้นงาน กับสารละลายเกิดการแตกตัว และจับตัวกันเป็นสารใหม่ เจือปนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการของกระบวนการ WECCM นั่นคือ ชิ้นงาน และอีเล็กโทรดต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้

ซึ่งในการวิจัยนี้ได้อาศัยโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการกัดโลหะด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี
- 1.2.2 เพื่อสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ และความตึงเส้นลวด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดเช่น ความต่างศักย์ และความเร็วในการกัด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้ชุดทดลองกระบวนการกัดโดยใช้เส้นลวดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี
- 1.3.2 ได้ความรู้ด้านหลักการการทำงานของเครื่องกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี (WECM)
- 1.3.3 ได้ความรู้ด้านปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี

1.4 ขอบเขตโครงการ

- 1.4.1 สารละลายเจือจางที่ใช้ คือ โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
- 1.4.2 ใช้เส้นลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร
- 1.4.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ สแตนเลส เกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตร
- 1.4.4 ศึกษาผลของการเคลื่อนที่ตามแกน Y และ ความตึงของเส้นลวดที่เหมาะสม
- 1.4.5 ศึกษาการกัดตัดเป็นเส้นตรง
- 1.4.6 ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นกระแสตรง 12 และ 15 โวลต์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 สร้างชุดกัดชิ้นงาน ระบบควบคุมชุดกัด แทนจับยึดชิ้นงาน และกระบะใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์
- 1.5.3 ติดตั้งอุปกรณ์
- 1.5.4 พัฒนาโปรแกรมควบคุม
- 1.5.5 ทำการทดลอง
- 1.5.6 วิเคราะห์ และสรุปผลที่ได้
- 1.5.7 จัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2562					2563				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
2.ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง ECM										
3.พัฒนาโปรแกรมควบคุม										
4.ทำการทดลอง										
5.วิเคราะห์ และสรุปผล										
6.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.7.1 ค่าอุปกรณ์ 5000 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

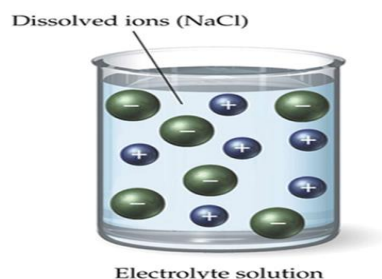
2.1 ทฤษฎี

2.1.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) [1]

อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO_3 เป็นต้น โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน H^+ , Cl^- , OH^- , K^+ และ NO_3^- ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ นำไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของอิเล็กโทรไลต์ไม่เท่ากัน อิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่า ก็จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยกว่า อิเล็กโทรไลต์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. อิเล็กโทรไลต์แก่ (strong electrolyte) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้มาก อาจแตกตัวได้ 100% และนำไฟฟ้าได้ดีมาก เช่น กรดแก่ และเบสแก่ และเกลือส่วนใหญ่จะแตกตัวได้ 100% เป็นต้น

2. อิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวได้บางส่วน นำไฟฟ้าได้น้อย



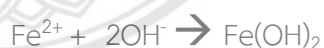
รูปที่ 2.1 แสดงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ [1]

2.1.2 กระบวนการกัดวัสดุด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี (ECM) [2]

กระบวนการกัดวัสดุด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical machining) หรือ ECM ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการกัดวัสดุด้วยวิธีการขั้นสูง ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก เช่น ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือชิ้นส่วนที่มีโครงสร้างขนาดเล็กประกอบ เช่น การขึ้นรูปใบพัด (turbine blade) หรืออาจเป็นการกัดวัสดุบนแผ่นงานที่มีความบางมาก และยากแก่การใช้กรรมวิธีอื่น ในการกัดเอาเนื้อวัสดุออกในปริมาณน้อยๆ โดยไม่ก่อให้เกิดความเค้นทางกล หรือทางความร้อนภายในโครงสร้างวัสดุ

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสารละลาย Electrolyte วัสดุงาน และวัสดุต้นแบบ หรือ Electrode แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่กระบวนการ ECM จะจ่ายกระแสไฟฟ้าขั้วบวก (anode) เข้าที่ชิ้นงาน และขั้วลบ (cathode) ที่ Electrode และทั้งชิ้นงาน และ Electrode จะถูกจุ่มลงในสารละลายที่เรียกว่า Electrolyte รูปแบบเช่นนี้ แท้จริงแล้วคือกระบวนการแยกสารเคมีด้วยไฟฟ้า หรือ Electrolysis นั่นเอง

ปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าถูกจ่ายเข้าไปที่ชิ้นงาน และตัว Electrode ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้วัสดุงานและสารละลายเกิดการแตกตัว และจับตัวกันเป็นสารใหม่ ยกตัวอย่างเช่น วัสดุงานที่เป็นโลหะ (Fe) เมื่อเกิดการแตกตัวจะกลายเป็น Fe^{2+} ซึ่งจะไปรวมตัวกับไอออน Cl^- และ OH^- ในสารละลายตามลำดับจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น $Fe(OH)_2$ ตกตะกอนเป็นผงอยู่ในสารละลาย ดังแสดงในสมการที่ 2.1



(2.1)

จากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้น้ำเกิดการแตกตัวในขณะที่ $NaCl$ หรือเกลือไม่ได้หายไปจากระบบ ดังนั้นเมื่อกระบวนการกัดดำเนินไปได้ในระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายมีมากขึ้น การเติมน้ำเข้าไปในระบบเพื่อชดเชยน้ำที่หายไป และรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย Electrolyte จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการกัดแบบ ECM

2.1.3 กระบวนการกัดวัสดุด้วยกระแสไฟฟ้า (EDM) [2]

EDM หรือ Electrical Discharge Machine หมายถึง เครื่องกัดเนื้อโลหะด้วยหลักการทำงานของกระแสไฟฟ้า มีความต่างศักย์สูง โดยการปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุที่เป็นโลหะสองชิ้น ได้แก่ ชิ้นงาน และอิเล็กโทรด จนทำให้เนื้อโลหะถูกกัดเซาะตามแบบ CAD ที่กำหนดไว้ในโปรแกรมจนได้รูปร่างชิ้นงานตามต้องการ

EDM เป็นเทคนิคที่ควบคุมการกัดโลหะโดยการสปาร์คของกระแสไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าจะเป็นตัวกัดเซาะชิ้นงาน อิเล็กโทรดจะถูกแปรรูปให้มีรูปร่างตามแบบงานที่ต้องการ อิเล็กโทรด และชิ้นงานจะจมอยู่ในของเหลวที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดไฮดรอลิกหรือน้ำกลั่น ของเหลวนี้จะไม่เป็นสื่อทางไฟฟ้า ในขณะที่เครื่อง EDM จะมีกลไกเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นตัวควบคุม และรักษาระยะช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด และชิ้นงานทำให้สามารถควบคุมค่าความละเอียดได้ในระดับ 0.002 มิลลิเมตรเลยทีเดียว เพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กโทรด และชิ้นงานสัมผัสกัน

งานที่เหมาะสมกับการใช้ EDM นั้น ส่วนมากจะเป็นงานที่ต้องการความเที่ยงตรง งานที่ไม่สามารถขึ้นรูปหรือตัดเฉือนด้วยวิธีปกติได้ เช่น กลึงไม่ได้ กัดด้วยมิลลิ่ง Milling ไม่ได้ เจียรนัยไม่ได้ หรือทำได้แต่ทำได้ยากเพราะมีรูปร่างซับซ้อน หรือเป็นชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้ว เช่น ส่วนเบ้าของแม่พิมพ์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ตารางการเปรียบเทียบกระบวนการ ECM และ EDM [2]

ECM	EDM
มีการใช้โวลต์ที่ต่ำ	มีการใช้โวลต์ที่สูง
สมบัติเชิงกลไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากไม่เกิดความร้อนขึ้น	สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเกิดความร้อนขณะทำงาน
มีความแม่นยำ และเที่ยงตรงน้อย	การใช้งานมีความเที่ยงตรงมาก
การใช้งานอิเล็กโทรดนานมากขึ้น	การใช้งานอิเล็กโทรดสั้นเปลือง

2.1.4 เครื่องไวร์คัท (Wire Cut) [3]

เครื่อง Wire Cut จัดเป็นเครื่องจักรประเภทเดียวกับเครื่อง EDM แต่เปลี่ยนจากการใช้อิเล็กโทรดเป็นตัวตัดเฉือนชิ้นงานมาใช้ลวดเป็นตัวตัดให้ได้รูปร่างตามต้องการในแนวตั้ง เครื่อง Wire cut เป็นเครื่องที่ตัดงานด้วยความเที่ยงตรงขนาดสูงมาก สามารถควบคุมขนาดได้เล็กกว่า 5 ไมครอน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง ในการทำชิ้นงานจึงเหมาะกับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงเครื่อง NC และ CNC (Numerical Control and Computerized Numerical Control)

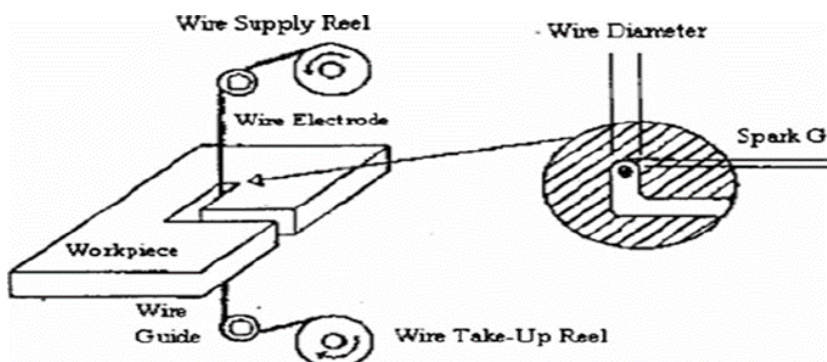
1) ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบตัดโลหะด้วยเส้นลวด

เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดเป็นเครื่องจักรที่อาศัยการเดินตัดของเส้นลวด (Wire) ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวสะพานไฟ (Contact) แล้วจ่ายไฟให้กับเส้นลวด โดยที่เส้นลวดจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราความเร็วที่เหมาะสม การเคลื่อนที่ของเส้นลวดจะเคลื่อนที่จากหัวนำลวดด้านบน (Upper Wire Guide) ผ่านมายังชิ้นงาน และผ่านหัวนำลวดด้านล่าง (Lower Wire Guide) การเคลื่อนที่ของโต๊ะงานจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC) การทำงานจะเริ่มต้นจากแบบงาน (Drawing) และนำมาเขียนเป็นโปรแกรม M & G Code เพื่อกำหนดรูปร่าง ชิ้นงานตัดก่อนทำการตัดจะต้องกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ เกี่ยวกับการตัด เช่น ความหนาของชิ้นงานค่าไฟ ชนิดลวด และวัสดุที่ใช้ตัด เพื่อเป็นเงื่อนไขในการปรับตั้งการทำงานของเครื่องจักร ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2

2) ชนิดของเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด

2.1) เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดระบบฉีดพ่น (Injection System) เครื่องชนิดนี้เวลาทำงานจะอาศัยน้ำฉีดบริเวณแนวตัด เพื่อทำการไล่เศษผงตัด ให้พื้นบริเวณแนวเดินตัด โดยที่ชิ้นงานไม่ถูกแช่อยู่ในน้ำหรือน้ำมันบริเวณถังโต๊ะงาน (Work Tank) ต้องมีฝาปิดกัน และอุปกรณ์ปกคลุม เพื่อป้องกันน้ำฉีดไม่ให้กระเด็นออกนอกเครื่อง ปกติแรงดันน้ำสูงสุด 6-10 bar ที่หัว Upper Wire Guide ด้านบน และ Lower Wire Guide ด้านล่างขณะทำการตัดชิ้นงาน

2.2) เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดระบบตัดใต้น้ำ (Submerge System) เครื่องชนิดนี้เวลาทำงานจะต้องเปิดน้ำให้ท่วมบริเวณชิ้นงานที่ทำการตัดขณะที่ตัดงานจะมีระบบน้ำฉีดเพื่อไล่เศษ ให้พื้นบริเวณแนวตัดโดยที่ชิ้นงานถูกแช่อยู่ในน้ำหรือน้ำมันปกติแรงดันน้ำสูงสุด 6-10 bar ที่หัว Upper Wire Guide ด้านบนและ Lower Wire Guide ด้านล่างความเที่ยงตรงของเครื่องจะมีความละเอียดมากกว่ารุ่นน้ำฉีด



รูปที่ 2.2 แสดงรายละเอียดการทำงานเครื่องไวร์คัท [3]

2.1.5 Encoder (เอ็นโค้ดเดอร์) [4]

Encoder (เอ็นโค้ดเดอร์) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเข้าถึงรหัส จากระยะทางจากการหมุนรอบตัวเอง และแปลงเป็นรหัสในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า หลังจากนั้นจะนำรหัสนั้นมาแปลงกลับเพื่อหาค่าต่าง ๆ เช่น ระยะทางการหมุน, องศาการเคลื่อนที่, ความเร็วรอบ ได้ตามต้องการ การที่จะให้อุปกรณ์ใช้งานได้ดีหรือทำงานได้เต็มประสิทธิภาพนั้น สิ่งสำคัญ คือวิธีการเลือกใช้ เพราะหากเลือกใช้อุปกรณ์ได้เหมาะสม จะช่วยให้ชิ้นงานที่ออกมามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นวิธีการเลือกซื้อเอ็นโค้ดเดอร์มีดังนี้

ความยาวสายสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์ หากนำตัวเอ็นโค้ดเดอร์ไปใช้งานตรวจจับความเร็วที่มีสัญญาณความถี่สูงจะทำให้ระยะความยาวของสายสัญญาณนั้นสั้นลง เนื่องจากความต้านทานในสายสัญญาณมีค่าสูงมากที่ค่าความถี่สูง ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณที่มากตามลำดับ

ความเร็วสูงสุดของเอ็นโค้ดเดอร์ ต้องศึกษาค่าความเร็วสูงสุดของแกนเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายเอ็นโค้ดเดอร์ ถ้าสายมีความยาวมาก จะส่งผลให้ค่าตัวเก็บประจุเกิดขึ้น ซึ่งทำให้มีผลกระทบต่อสัญญาณ จึงสามารถหาค่าความเร็วสูงสุดได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{RPM} = \frac{\text{Max Frequency (kHz)} \times 60 \times 1000}{\text{PPR}} \quad (2.2)$$

RPM คือ ความเร็วรอบสูงสุด (รอบ/นาที)

PPR คือ จำนวนพัลส์ต่อรอบที่ตัวเซ็นโค้ดเดอร์สามารถจ่ายได้

Max Frequency คือ ความถี่สูงสุดที่ตัวคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าได้

2.1.6 Brass (ทองเหลือง) [5]

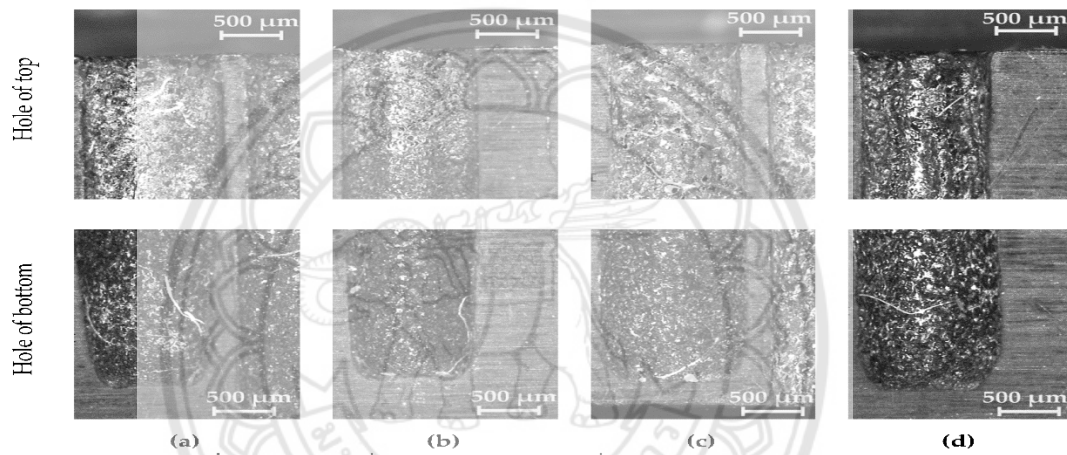
เป็นโลหะผสมที่มีทองแดง และสังกะสีเป็นส่วนประกอบหลัก ปริมาณของสังกะสีนั้นแปรเปลี่ยนไป ระหว่าง 30 - 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ทองเหลืองที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป ทองเหลืองแตกต่างจากสำริดตรงที่ สำริดมีส่วนประกอบของทองแดง และดีบุกเป็นหลัก ทองเหลือง ก็คือ โลหะที่มีการผสมระหว่างทองแดง และสังกะสีเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ก็เพราะสังกะสีสามารถละลายในทองแดงได้ ซึ่งปริมาณของสังกะสีที่ใส่ลงไปนั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตเอง โดยจะทำให้ทองเหลืองที่ได้ มักมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ไม่สามารถกำหนดคุณสมบัติอย่างตายตัวได้ แต่สำหรับคุณสมบัติที่ดีนั้น จะต้องมียุทธศาสตร์หลักๆ ดังนี้ คือ สามารถทนต่อการกัดกร่อน และสภาพอากาศได้ดี ทั้งมีความแข็งแรงทนทาน และทนต่อรอยขีดข่วนได้อย่างดี

2.1.7 สแตนเลสเกรด 304 (SUS 304) [6]

เป็นสแตนเลสที่มีสารโครเมียมอยู่ 18% และนิกเกิลอยู่ 8 % บางที่เรียกว่า สแตนเลส 18/8 ซึ่งจะไม่มีการเติมคาร์บอนต่ำ และเป็นสแตนเลสที่ทนต่อการเกิดสนิม (Oxidation) และทนการกัดกร่อนต่างๆได้เป็นอย่างดี (Corrosion) เนื่องจากมีสารนิกเกิลจึงทำให้แม่เหล็กดูไม่ติด มีคาร์บอนต่ำจึงมีความเหนียวสูง สามารถใช้กับการปั๊มขึ้นรูปสูงๆ ได้ดี

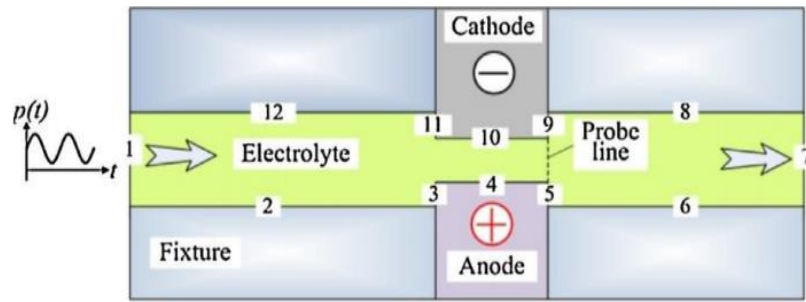
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์

จากงานวิจัยของ KP Rajurkar et al. [7] แสดงให้เห็นแบบจำลองกระบวนการ ECM แสดงความหนาในการกัดวัสดุ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ช่องว่าง ในการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ ส่งผลให้มีความต่างกันของรอยตัดตามอุณหภูมิ และฟองก๊าซ ซึ่งความแตกต่างขึ้นอยู่กับความเร็ว และเขตความดัน นอกจากนี้แบบจำลอง ECM แสดงให้เห็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อน ซึ่งการจำลองความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ ECM และการกระจายตัว อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวนำ พบว่าแคโทด และแรงดันไฟฟ้าพัลส์ ช่วยในการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 2.3



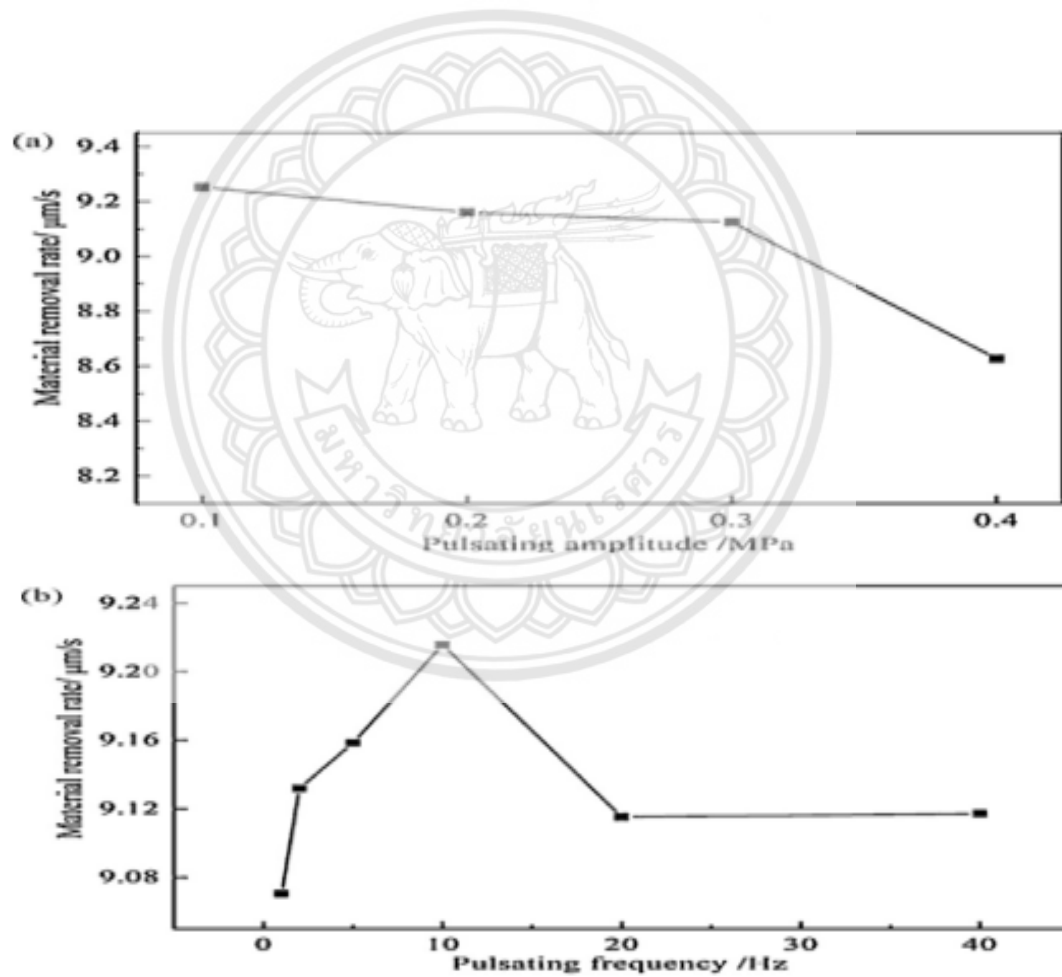
รูปที่ 2.3 แสดงคลื่นของ Top Spark ที่ไม่ส่งผลกระทบท่อรูเจาะ [7]

จากงานวิจัยของ Xiao long Fang et al. [8] ศึกษาผลของการไหลของอิเล็กโทรไลต์ ในกระบวนการ ECM และพยายามจะสร้างการไหลแบบไม่ต่อเนื่องจากวาล์วเซอร์โว ในอิเล็กโทรด โดยมีการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อน, อัตราการกัดวัสดุ, และลักษณะพื้นผิว ซึ่งยังมีการนำเสนอแบบจำลองทางฟิสิกส์ ของการเกิดปฏิกิริยาของไฟฟ้า, ความร้อน, การไหลของของเหลว ซึ่งการไหลที่ไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ต่อการกระจายความเร็ว, อัตราส่วนของก๊าซต่ออุณหภูมิ, และทิศทางทางการไหลใกล้พื้นผิวชิ้นงานเป็นเวลานาน ซึ่งได้ทำการทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้ของกระบวนการของการไหลของอิเล็กโทรไลต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4



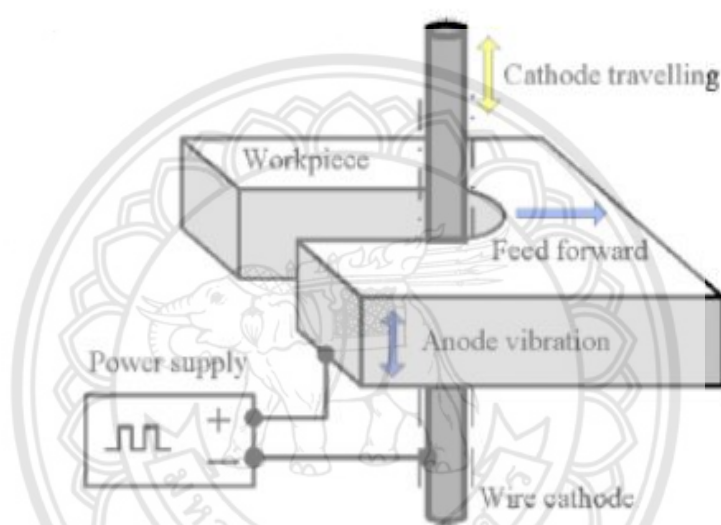
รูปที่ 2.4 แผนผังไดอะแกรมของ ECM พร้อมการไหลของอิเล็กโทรไลต์ [8]

ผลของการไหลแบบต่อเนื่อง ส่งผลต่ออัตราการกัดวัสดุ พบว่าการไหลแบบต่อเนื่อง ส่งผลให้อัตราการกัดวัสดุเพิ่มขึ้น และลดลง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5



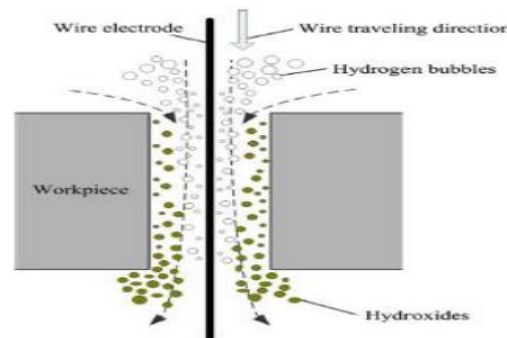
รูปที่ 2.5 แสดงกราฟความถี่การเต้นเป็นจังหวะของการไหล [8]

จากงานวิจัยของ Adam Ruszaj et al. [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีที่สามารถใช้สำหรับการกัดวัสดุที่พิเศษ และมีประสิทธิภาพ โดยใช้กระแสไฟฟ้าในการกัด ซึ่งเป็นเรื่องที่ยาก และเป็นไปไม่ได้ สำหรับวิธีการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยกระบวนการปกติ ซึ่งวัสดุที่ถูกกัดออกไปเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฟฟ้ากับเคมี โดยไม่มีแรงเชิงกล ซึ่งกลไกการกัดวัสดุนี้ จะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ และมีชิ้นผิวที่สม่ำเสมอ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6



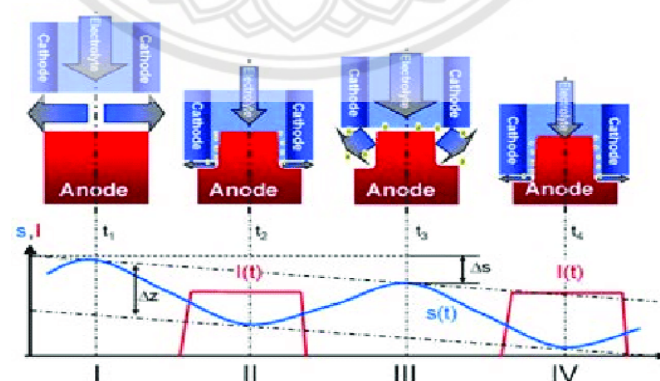
รูปที่ 2.6 แสดงการตัดเฉือนของ WECCM ในแผ่นโลหะผสมโคบอลต์ โดยใช้ลวดไทเทเนียม (ทั้งสแตน) ที่อัตราเร็ว $0.02 \mu\text{m/s}$ ในทิศทางของพื้นผิวที่ถูกกัด [9]

จากงานวิจัยของ Maeda R et al. [10] ได้อธิบายเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของกระบวนการ WECCM จะเห็นได้ว่าระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจะมีช่องว่างระหว่างกัน ซึ่งการไหลของอิเล็กโทรไลต์ในกระบวนการ WECCM อิเล็กโทรไลต์จะรวมถึงไฮดรอกไซด์ และฟองอากาศจะถูกปล่อยเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นอัตราการกัดวัสดุขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอิเล็กโทรไลต์ไปที่อิเล็กโทรด ซึ่งการกำหนดอัตราการไหลที่เหมาะสมจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยได้มีการประยุกต์ ด้วยการฉีดอิเล็กโทรไลต์ออกจากหัวฉีด และพบว่าอัตราการไหลที่มากเกินไปมีผลกระทบต่ออัตราการกัดวัสดุเช่นกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7

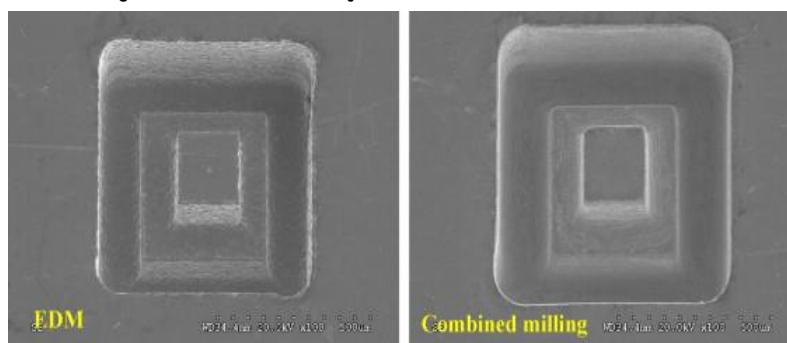


รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังพื้นที่การตัดในกรณีของ WECM [10]

จากงานวิจัยของ Van Damme et al. [11] Pulse Electrochemical Machining (PECM) เป็นกระบวนการผลิตที่ประหยัด และมีประสิทธิภาพสำหรับการกัดวัสดุที่มีความแข็งให้เป็นรูปร่าง แต่มีข้อเสียที่สำคัญของ ECM คือการไม่มีซอฟต์แวร์การจำลองเชิงปริมาณเพื่อคาดการณ์รูปร่างของเครื่องมือ และพารามิเตอร์การตัดเฉือน ที่จำเป็นในการสร้างโปรไฟล์ชิ้นงานที่กำหนด ซึ่งการคำนวณการกระจายอุณหภูมิในระบบ ยังช่วยให้การจำลองมีความแม่นยำมากขึ้นรวมถึงการกำหนดขอบเขตความร้อนของระบบ ในการวัดอุณหภูมิของชิ้นงานเปรียบเทียบกับ การคำนวณพัลส์หลายครั้ง พบว่าวิธีการสร้างแบบจำลองระบบมีผลกระทบอย่างมาก ต่อการวิวัฒนาการของอุณหภูมิในเลเยอร์ขอบเขตความร้อน เพื่อดูว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการแยกของพัลส์จะสะสมหรือไม่ในระหว่างกระบวนการ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8



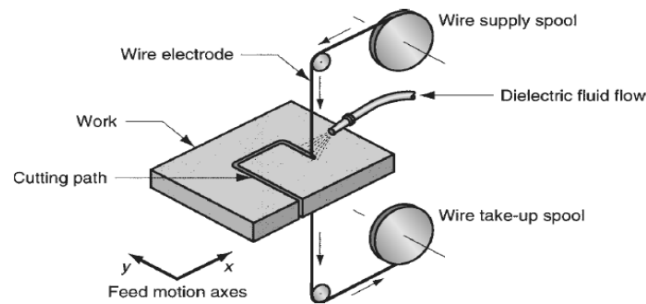
รูปที่ 2.8 แสดงแผนภูมิของกระบวนการ PECM [11]



รูปที่ 2.9 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ EDM และ ECM ตามลำดับจากซ้ายไปขวาลงล่าง [12]

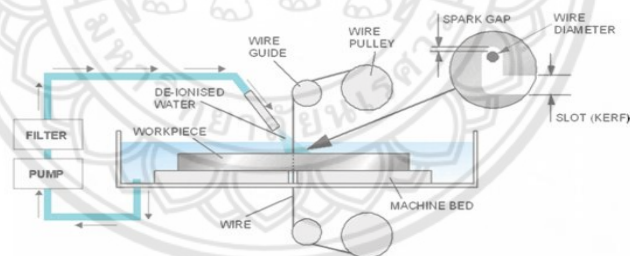
จากงานวิจัย Zenga et al. [12] การศึกษาการทำงานกระบวนการกัดวัสดุด้วยกระแสไฟฟ้าในระดับไมโคร (EDM) และกระบวนการกัดวัสดุด้วยไฟฟ้าเคมี (ECM) ในโครงสร้าง 3 มิติในระดับไมโคร จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อขึ้นรูปวัสดุด้วยวิธี EDM ผิวของชิ้นงานจะมีลักษณะขรุขระ จึงใช้วิธีการ ECM เพื่อลดรอยขรุขระด้วยความต่างศักย์ 8 โวลต์ จากนั้นเพิ่มความต่างศักย์เป็น 9 โวลต์ และ 10 โวลต์ จนทำให้พื้นผิวชิ้นงานเรียบเนียน

Micro-EDM และ micro-ECM การกัดโครงสร้างโลหะ 3 มิติในระดับไมโคร ดำเนินการโดยการเทียบค่าในเครื่องมือเดียวกัน กับอิเล็กทรอนิกส์เดียวกัน ความต่างศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน ในการตัดเฉือนที่ช่องว่างการในการเริ่มต้นกัดวัสดุ และอัตราการการเคลื่อนที่ของการกัด คือ 10 V, 10 μm และ 10 $\mu\text{m/s}$ ความหยาบของผิวจาก 0.707 $\mu\text{m Ra}$ ลดลงเหลือ 0.143 $\mu\text{m Ra}$ คุณภาพพื้นผิวในการตัดเฉือน และสมบัติของชิ้นงานที่ได้จากการปรับปรุง มีสมบัติที่ดีขึ้น และมีความเที่ยงตรงมากขึ้น และยังส่งผลให้รูปร่างของชิ้นงานนั้นดีกว่า ของการกระบวนการกัดแบบ Micro-EDM



รูปที่ 2.10 แสดงภาพ Schematic diagram of Wire EDM process [13]

งานวิจัย Prohaszka et al. [13] ศึกษากระบวนการ WEDM เป็นรูปแบบพิเศษของกระบวนการ EDM การการทดลองใช้ลวดทองแดงเคลือบที่อย่างต่อเนื่อง (0.05–0.25 มม.) ซึ่งลวดทองแดงทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งกลไกการกัดวัสดุเกิดขึ้นได้จากการหลอม และการระเหยวัสดุในชิ้นงาน ซึ่งแต่ละจุดปล่อยไฟฟ้าออกมาแล้ว และถูกผสมด้วยของเหลวอิเล็กทริก โดยวัสดุถูกกัดเซาะจากประกายไฟที่ไม่ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงาน และลวดที่คั่นด้วยกระแสของของเหลวอิเล็กทริก ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการถูของลวดกับพื้นผิวที่ถูกกัด และนอกจากนี้อิเล็กโทรดจะไม่สัมผัสกับชิ้นงาน ในระหว่างกระบวนการ WEDM อีกด้วย



รูปที่ 2.11 แสดงการกัดของลวดที่มีประจุด้วยไฟฟ้า ที่กัดชิ้นงานในระนาบแนวเส้นตรง [14]

จากงานวิจัย Khan NZ et al [14] ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของของเหลวอิเล็กทริก ที่สร้างความแตกต่างของชิ้นงาน ของลักษณะการทำงานแบบ micro-WEDM เพื่อปรับเปลี่ยนส่วนการทดลองทางเคมี, ความเป็นฉนวน, ความหนืด, พลังงานการสลาย และอัตราการเย็นตัว ตามลำดับ ดังนั้นการเลือกอิเล็กทริก จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการทดลอง ซึ่งกระบวนการ micro-WEDM สร้างเพื่อทดสอบหาผลกระทบ ของอิเล็กทริกของเหลวต่อการกัดวัสดุ และพารามิเตอร์ของชิ้นงาน เช่น กระแสสูงสุด และระดับของสัญญาณไฟฟ้า ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ เป็นการทดลองการกัดวัสดุด้วยกระบวนการเส้นลวดไฟฟ้าเคมี ในระดับไมโคร โดยทำการกัดวัสดุสแตนเลสแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในการออกแบบของโครงการนี้เน้นไปที่การออกแบบระบบที่ใช้กัดชิ้นงาน โดยแบ่งได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ออกแบบชุดกัดชิ้นงานที่จะมายึดกับเครื่อง และออกแบบระบบควบคุมของชุดกัดชิ้นงาน จากนั้นทำการสร้างอุปกรณ์ ทำการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

3.1 ศึกษาและออกแบบระบบกัดวัสดุระดับไมโคร

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีกระบวนการการกัดแบบ ECM

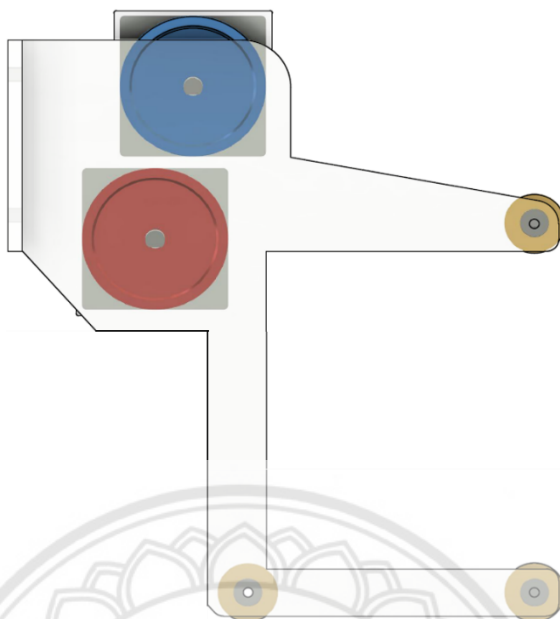
1) ศึกษาทฤษฎีของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่าโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) ให้คุณภาพของพื้นผิวที่ได้จากการกัดเรียบเนียน มากกว่าสารละลายชนิดอื่นๆ อ้างอิงจากปริญาณิพนธ์เรื่อง การศึกษาระบบกัดวัสดุระดับไมโครด้วยไฟฟ้าเคมี ปีการศึกษา 2558 [15]

2) ศึกษาทฤษฎีกระบวนการการกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี (WECM)

3) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ออกแบบระบบกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี

1) ทำการออกแบบระบบกัด โดยใช้มอเตอร์ทรอบกระแสตรงควบคุมการเคลื่อนที่ของเส้นลวด 2 ตัว ควบคุมความตึงของเส้นลวดด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทั้งสองตัวไม่เท่ากัน ทำให้ด้านการเคลื่อนที่ ส่งผลให้เกิดความตึงในเส้นลวด โดยข้อดีของระบบนี้คือ การเคลื่อนที่ของเส้นลวดมีความสม่ำเสมอ ความเร็วคงที่ และควบคุมความตึงได้ง่าย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพการออกแบบของชุดกัด

2) ทำการสร้างชุดกัด โดยการขึ้นรูปวัสดุเช่น การกลึง การกัด ปรี้น3D เป็นต้น จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน



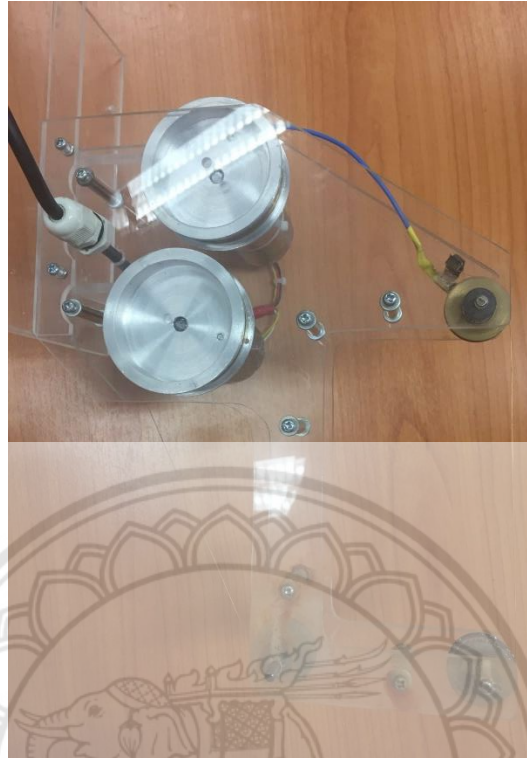
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนระหว่างการกลึงเพลาทองเหลือง



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่ได้จากการกลึง



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการปริ้นบูช โดยใช้การปริ้น3D

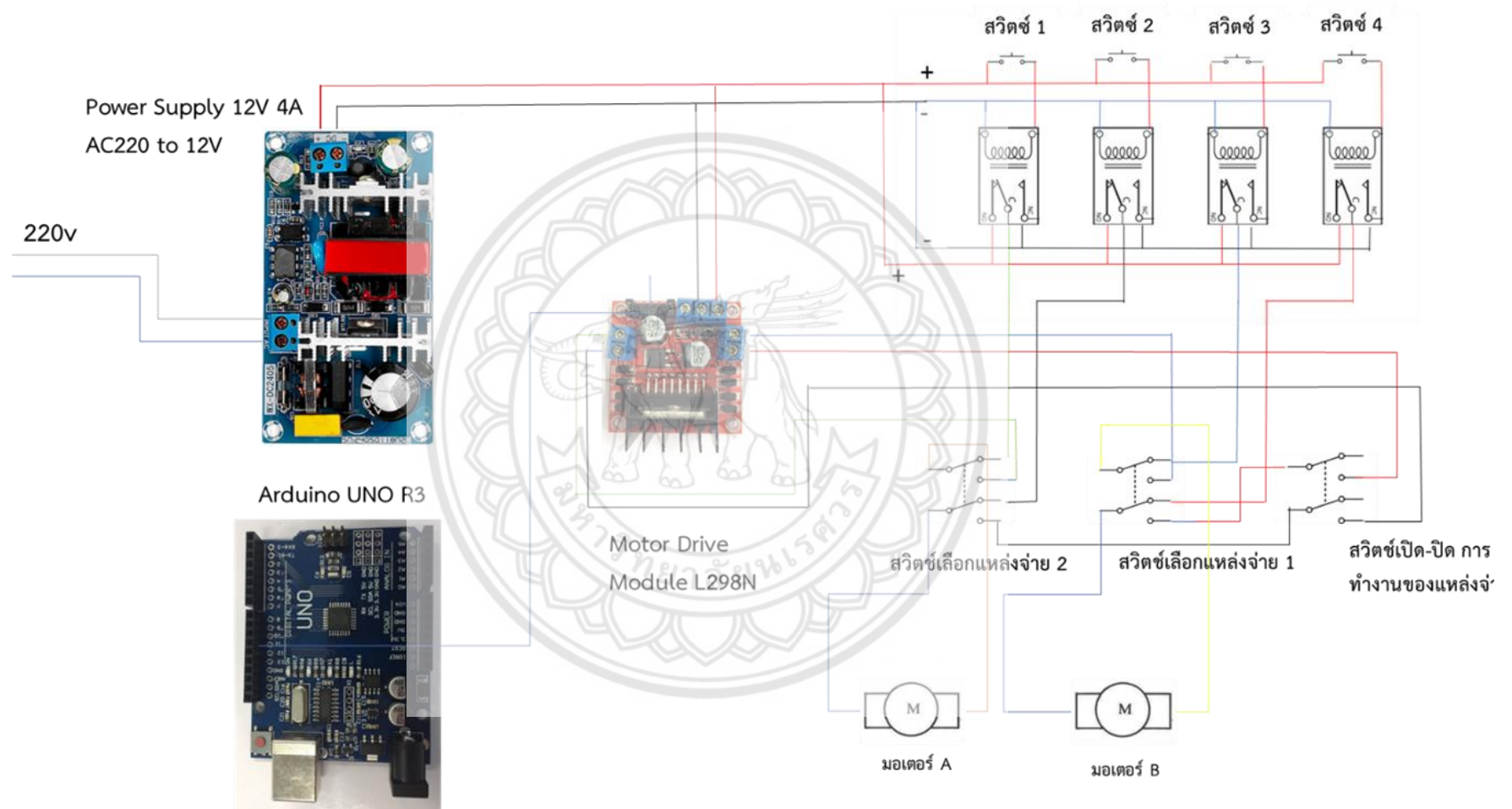


รูปที่ 3.5 ชุดตัดเมื่อประกอบเสร็จแล้ว

3) ออกแบบระบบควบคุมของชุดกัด



รูปที่ 3.6 ระบบควบคุมของชุดกัด



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรของระบบควบคุมชุดกััด

การทำงานของระบบควบคุม

ระบบควบคุมการทำงานด้วย บอร์ด Arduino และ L298N ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์

หลักการการทำงานของรีเลย์ควบคุมมอเตอร์แบบควบคุมด้วยมือ มีหลักการทำงานดังนี้

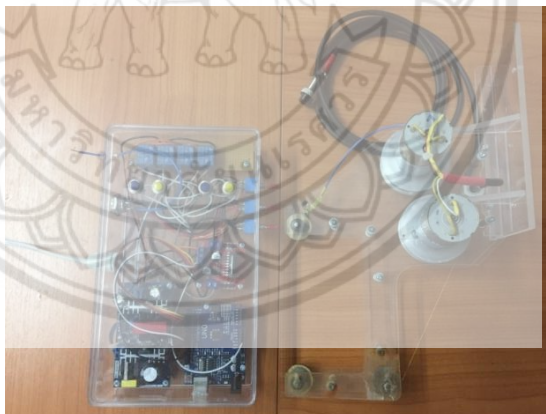
Relay 1 ทำงาน และ Relay 2 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนทิศทางปกติ

Relay 1 ไม่ทำงาน และ Relay 2 ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง

Relay 3 ทำงาน และ Relay 4 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนทิศทางปกติ

Relay 3 ไม่ทำงาน และ Relay 4 ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง

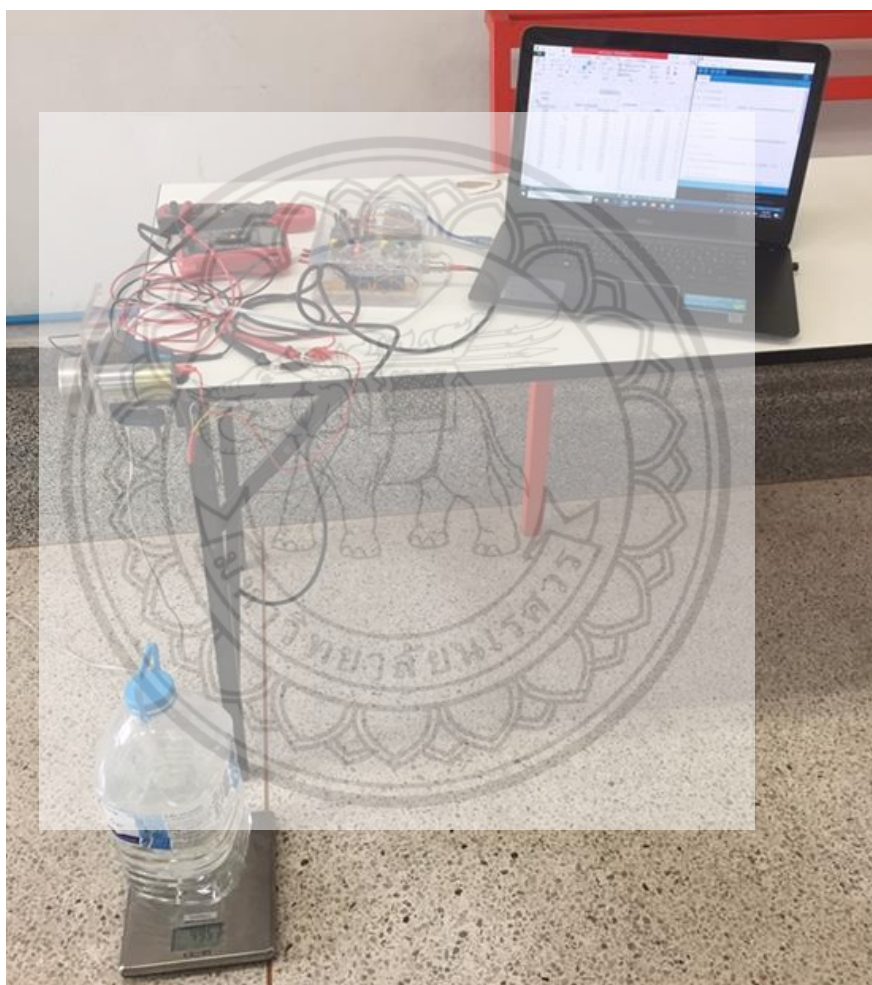
การต่อวงจรไฟฟ้าภายในกล่องควบคุม ออกแบบให้สามารถควบคุมด้วยมือ กับควบคุมด้วยการสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ได้ โดยมีการต่อวงจรดังนี้ เมื่อมีการป้อนค่าความเร็ว และทิศทางของมอเตอร์ให้บอร์ด Arduino UNO R3 ตัวบอร์ดจะส่งสัญญาณ PWM หรือ (Pulse Width Modulation) ออกมาเพื่อไปสั่งงานบอร์ดขับมอเตอร์ L298N ให้จ่ายกระแสเข้ามอเตอร์ ตามข้อที่กำหนดด้วยลอจิกเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วนความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วย สัญญาณ PWM ที่บอร์ด Arduino UNO R3 จ่ายออกมา และในส่วนของวงจรควบคุมด้วยมือจะมีสวิตซ์ให้เลือกว่าจะรับกระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์จากวงจร Arduino UNO R3 กับ L298N หรือจากวงจรรีเลย์ที่สามารถในการกลับทางหมุนมอเตอร์ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใส่เส้นลวดตัวนำ



รูปที่ 3.8 ชุดตัด และชุดควบคุม

3.1.3 การทดลองชุดตัด

ในการทดลองชุดตัดนี้ เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของไฟฟ้าที่จ่าย กับน้ำหนักที่สามารถยกได้ ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการทดลองในหลายๆส่วน โดยทำการวัดค่าความต่างศักย์ของตัวไดร์เวอร์(ตัวขับมอเตอร์) วัดค่ากระแส และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้งแบบมีน้ำหนัก และไม่มีน้ำหนักถ่วง ในการทดลองนี้จะทำการป้อนค่า Analogwrite ในโปรแกรม Arduino โดยทำการป้อนค่าห่างกันช่วงละ 10 ค่า ซึ่งค่าสูงสุดที่สามารถป้อนได้คือ 255



รูปที่ 3.9 การทดลองของชุดตัด

วิธีการทดลองชุดตัด (แบบมีมวล)

1. ทำการเติมน้ำใส่แกลอน แล้วนำไปวางบนตาชั่งดิจิตอล ดังรูปที่ 3.10



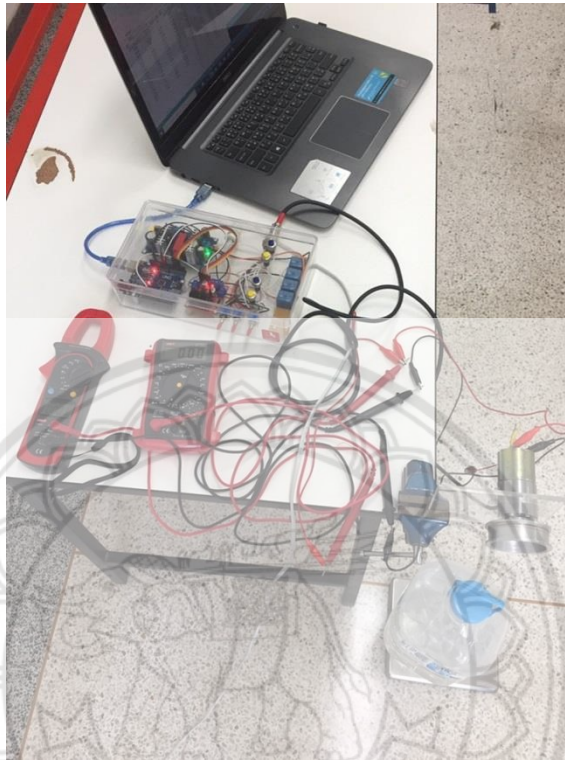
รูปที่ 3.10 การชั่งน้ำหนักของแกลอน

2. ทำการติดตั้งชุดทดลองโดยใช้ปากกาจับมอเตอร์ยึดกับขอบโต๊ะไว้ จากนั้นทำการพันเส้นลวดกับพูลเลย์แล้วนำมาคล้องกับที่หิ้วของแกลอน ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การติดตั้งชุดทดลอง

3. ทำการป้อนค่า Analogwrite โดยป้อนค่าห่างกันช่วงละ 10 เริ่มตั้งแต่ 105 ถึง 255 จากนั้นทำการอ่านค่าน้ำหนักที่ยกได้ ในแต่ละค่า ซึ่งคิดได้จากน้ำหนักของแกลอนลบด้วยน้ำหนักที่หายไป จากนั้นจึงอ่านค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า จากมัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.12 แสดงภาพชุดทดลองที่ใช้อ่านค่า

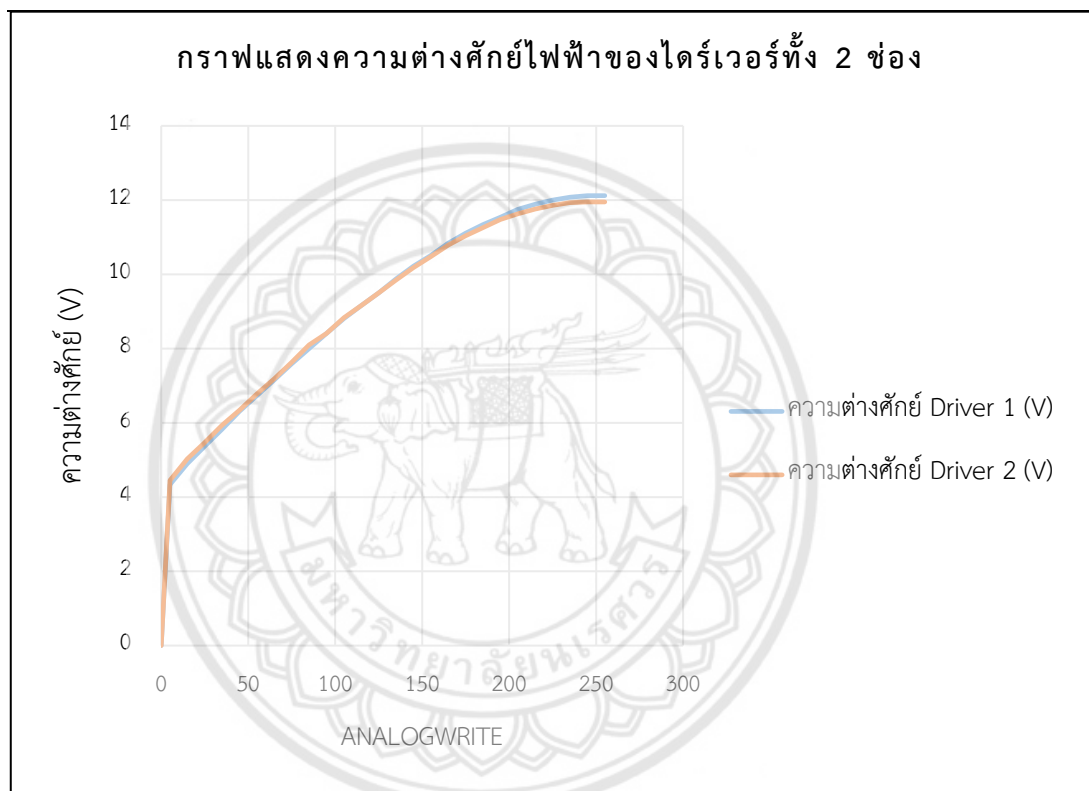
4. ทำการบันทึกผลการทดลอง โดยทำการบันทึกค่าของกระแสในแต่ละช่วง

1) การทดลองวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไดร์เวอร์

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า AnalogWrite และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ของไดร์เวอร์ช่องที่ 1 และ 2

AnalogWrite	ความต่างศักย์ (V)	
	Driver ช่อง1	Driver ช่อง2
255	12.12	11.95
245	12.12	11.95
235	12.08	11.93
225	12.00	11.86
215	11.89	11.76
205	11.75	11.63
195	11.54	11.48
185	11.34	11.26
175	11.11	11.04
165	10.84	10.79
155	10.51	10.48
145	10.22	10.18
135	9.88	9.85
125	9.50	9.50
115	9.16	9.16
105	8.81	8.83
95	8.41	8.41
85	8.00	8.10
75	7.59	7.63
65	7.16	7.19
55	6.73	6.78
45	6.31	6.34

35	5.83	5.94
25	5.37	5.47
15	4.90	5.03
5	4.34	4.45
0	0	0



กราฟที่ 3.1 แสดงความต่างศักย์ของไดร์เวอร์ช่องที่ 1 และช่องที่ 2

จากตารางที่ 3.1 และกราฟที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อป้อนค่า AnalogWrite ที่เท่ากันในแต่ละช่วง ช่องที่ 1 และช่องที่ 2 ของตัวไดร์เวอร์มีค่าความต่างศักย์เท่ากัน และไม่เท่ากันบ้าง ซึ่งสรุปได้ว่า ช่องที่ 1 และช่องที่ 2 ของไดร์เวอร์จ่ายไฟได้ไม่เท่ากัน

2) การทดลองวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ A และ B

โดยในการทดลองใช้ค่า Analogwrite ตั้งแต่ 255 ถึง ค่าที่น้อยที่สุดที่มอเตอร์หมุน คือ 105

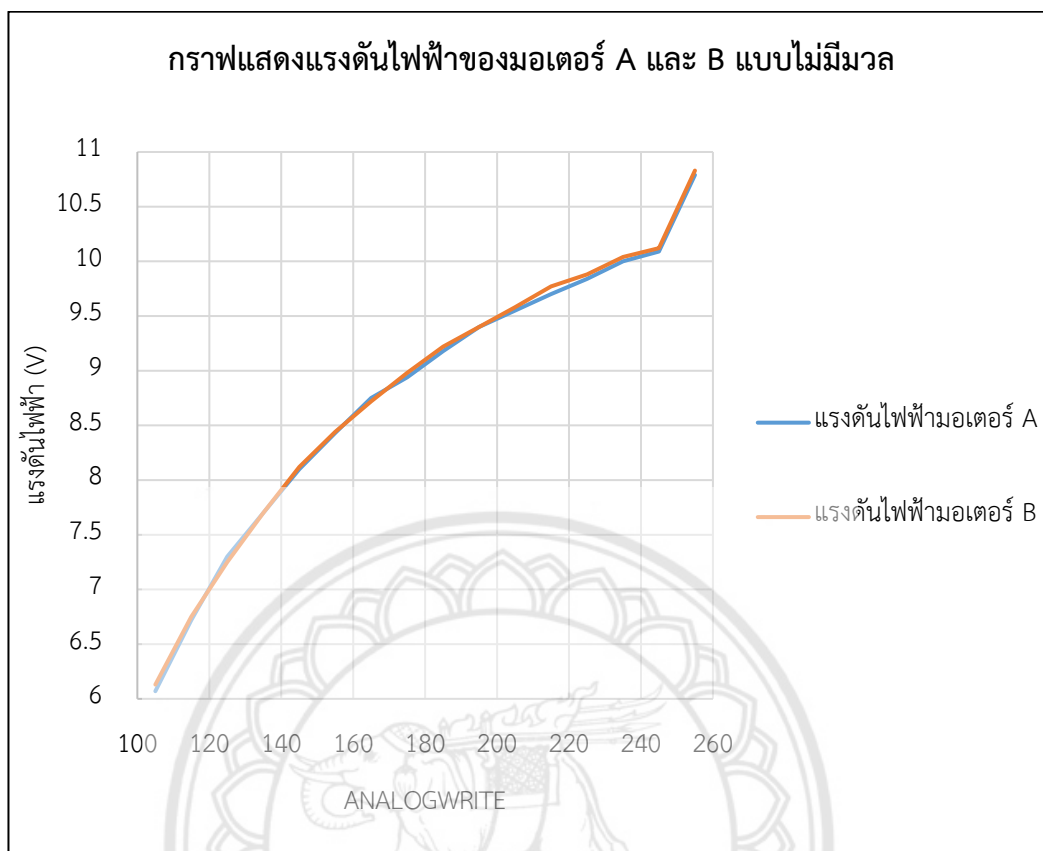
ตารางที่ 3.2 แสดงค่า AnalogWrite กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และน้ำหนักที่ยกได้ ของมอเตอร์

AnalogWrite	มอเตอร์ A							
	ไม่มีมวล		มีมวล					
			หมุนตามเข็มนาฬิกา			หมุนทวนเข็มนาฬิกา		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรง ดัน (V)	กระแส (A)	น้ำหนักที่ยกได้ (g)	แรง ดัน (V)	กระแส (A)	น้ำหนักที่ยกได้ (g)
255	10.79	0.04	9.3	0.44	4956	9.27	0.45	4952
245	10.09	0.04	8.75	0.33	4793	8.73	0.34	4592
235	10	0.04	7.89	0.3	4359	7.86	0.31	4168
225	9.84	0.04	6.08	0.33	3413	7	0.28	3592
215	9.7	0.04	6.17	0.23	3047	6.14	0.25	2960
205	9.55	0.04	5.32	0.2	2797	5.29	0.21	2625
195	9.4	0.04	4.45	0.22	2509	4.69	0.19	2451
185	9.18	0.04	4.37	0.17	2303	4.33	0.18	2250
175	8.94	0.04	3.85	0.18	2167	3.98	0.16	2110
165	8.75	0.04	3.66	0.14	1925	3.64	0.15	2011
155	8.43	0.04	3.33	0.16	1738	3.33	0.14	1923
145	8.1	0.04	3.04	0.12	1614	3.02	0.13	1684
135	7.7	0.04	2.74	0.1	1396	2.7	0.11	1520
125	7.3	0.04	2.3	0.11	1338	2.42	0.1	1338
115	6.72	0.04	2.02	0.1	1089	2.13	0.09	1100
105	6.07	0.04	1.86	0.08	937	1.85	0.08	977

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า AnalogWrite กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และน้ำหนักที่ยกได้ ของมอเตอร์ B

AnalogWrite	มอเตอร์ B							
	ไม่มีมวล		มีมวล					
			หมุนตามเข็มนาฬิกา			หมุนทวนเข็มนาฬิกา		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรง ดัน (V)	กระ แส (A)	น้ำหนักที่ยกได้ (g)	แรง ดัน (V)	กระ แส (A)	น้ำหนักที่ยกได้ (g)
255	10.83	0.04	9.2	0.46	4892	9.45	0.36	4665
245	10.12	0.04	8.67	0.34	4763	8.69	0.34	4465
235	10.04	0.04	7.8	0.3	3966	7.78	0.3	4262
225	9.88	0.04	6.94	0.27	3384	6.97	0.27	3362
215	9.77	0.04	5.9	0.29	2944	6.13	0.24	2804
205	9.58	0.04	5.27	0.2	2440	5.26	0.21	2735
195	9.4	0.04	4.67	0.18	2148	4.68	0.19	2287
185	9.22	0.04	4.33	0.17	2011	4.33	0.18	2060
175	8.98	0.04	4.02	0.15	1970	3.96	0.16	1928
165	8.72	0.04	3.7	0.14	1898	3.66	0.15	1783
155	8.44	0.04	3.37	0.13	1779	3.36	0.14	1751
145	8.12	0.04	3.06	0.11	1557	3.02	0.12	1463
135	7.7	0.04	2.75	0.1	1377	2.72	0.11	1353
125	7.25	0.04	2.43	0.09	1170	2.42	0.1	1164
115	6.75	0.04	2.15	0.08	905	2.05	0.1	954
105	6.13	0.04	1.89	0.07	801	1.84	0.08	935

จากตารางที่ 3.2 และ 3.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีมวลถ่วงแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแปรผันกับค่า Analogwrite ที่ป้อนเข้าไป ซึ่งต่างกับค่ากระแสไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ และเมื่อมีการเพิ่มมวลเข้าไป จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ลดลงแปรผันกับน้ำหนักที่สามารถยกได้



กราฟที่ 3.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ A และ B แบบไม่มีมวล

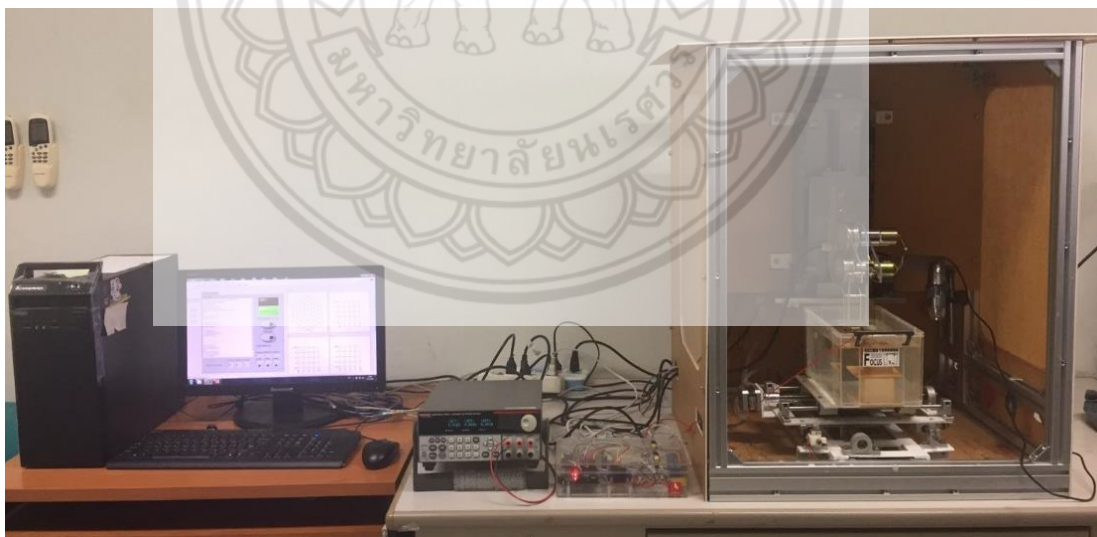
จากกราฟที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการป้อนค่า Analogwrite ที่เท่ากันให้มอเตอร์ A และ B ผลปรากฏว่าแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้งสองนั้น มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน ซึ่งเกิดจากขดลวดที่พันของมอเตอร์ทั้งสองตัวนั้นมีความต้านทานแตกต่างกัน จึงส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้งสองตัวนั้นไม่เท่ากัน

จากการทดลองนี้ สรุปได้ว่าการควบคุมความตึงของเส้นลวดนั้น เราต้องคำนึงถึงปัจจัย 2 อย่าง คือ การที่ไดร์เวอร์ทั้งสองช่องจ่ายไฟได้ไม่เท่ากัน และมอเตอร์มีความเร็วรอบไม่เท่ากันจึงส่งผลให้ในการป้อนค่า Analogwrite ของทั้งสองมอเตอร์นั้นต่างกันไปด้วย

3.2 วิธีการทดลอง

1. จัดวางตำแหน่งของชุดตัดที่ต้องการ โดยขึ้นงานกับเส้นลวดตัวนำห่างกันประมาณ 10 ไมโครเมตร
2. เติมสารละลายโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ใส่กระบะ
3. นำขั้วบวกหนีบเข้ากับน็อตที่ยึดขึ้นงาน และขั้วลบต่อเข้ากับตัวแปลงถ่านที่ติดอยู่กับชุดตัดขึ้นงาน
4. เปิดเครื่องชุดตัด
5. ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
6. Run โปรแกรม

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการตัดวัสดุระดับไมโครด้วยไฟฟ้าเคมี ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา จะประกอบไปด้วย ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y และความต่างศักย์ ซึ่งขึ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ คือ แผ่นสแตนเลส เกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไนเตรทปริมาตร 3 ลิตร โดยความต่างศักย์ที่ใช้คือ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์



รูปที่ 3.13 การทำงานทั้งหมดของระบบการกัดวัสดุด้วยเส้นลวดไฟฟ้าเคมี

3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้

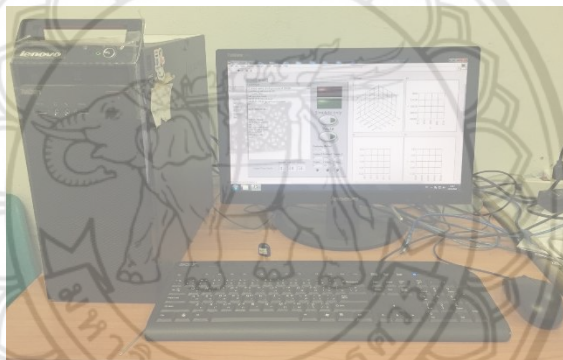
ตารางที่ 3.4 แสดง เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ/อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	คุณสมบัติ
เครื่อง CNC	-	เคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y
คอมพิวเตอร์	-	ใช้ควบคุมเครื่อง CNC
ระบบควบคุม	Arduino	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป
ระบบควบคุม	L298N	สามารถขับมอเตอร์ได้ถึง 2 ตัว
แผ่นอะคริลิกใสหนา 3 mm. และ 5 mm.	-	มีความทนทานแข็งแรง สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี
เพลาทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm.	-	ทนต่อการกัดกร่อน
เพลาลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.1/2 นิ้ว	เกรด 6063	แข็งแรงทนทาน และทนต่อรอยขีดข่วนได้ดี
เพลาสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm.	เกรด 304	ไม่เป็นสนิม แข็งแรง และทนต่อการกัดกร่อน
สกรู M3 ยาว 10 cm.	-	สำหรับการยึดวัตถุสองชิ้นให้ติดกัน
แหวนรองน็อต M3	-	ช่วยให้ในการขันน็อตให้ได้แน่นขึ้น
เสารองโลหะ PCB ยาว 25 mm.	-	ใช้สำหรับยึดแผ่น 2 แผ่น
ตลับลูกปืน	-	ใช้รองรับการหมุนของเพลลา และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส
สกรูตัวหนอน M4	-	สำหรับการยึดวัตถุสองชิ้นให้ติดกัน โดยไม่มีหัวสกรูโผล่ออกมา
เส้นลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm	-	ใช้สำหรับเครื่อง wire cut เพื่อตัดชิ้นงาน
สายไฟจัมเปอร์	-	ต่ออุปกรณ์ได้แน่นยิ่งขึ้น
ดอกสว่าน	-	ใช้กับงานเจาะ
ดอกตัดาปเกลียว	-	ใช้สำหรับทำเกลียว
มอเตอร์ไฟฟ้า	ZGA37RG244i	ใช้หมุนเพลลาเพื่อจ่ายพลังงานกล
สายไฟ 5 core	-	สำหรับส่งพลังงานไฟฟ้า
ขั้วต่อ 5 เข็ม(Connector)	GX16	อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า

เคเบิลแกน	-	ทำหน้าที่ป้องกันสายไฟจากการโดนบาด
บูช	ปรีน 3D	ทำหน้าที่ประคองแบร์ริง
สวิตช์แบบกด	-	ทำหน้าที่เปิด หรือปิดวงจร
สวิตช์แบบคั่นโยก	-	ทำหน้าที่เปิด หรือปิดวงจร
รีเลย์ 12 VDC	SONGLE	ทำหน้าที่ปิด หรือเปิดหน้าสัมผัส คล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์
สายไฟขนาด 26 AWG	-	สำหรับส่งพลังงานไฟฟ้า
สายไฟพร้อมปลั๊ก	-	สำหรับส่งพลังงานไฟฟ้า
กล่องพลาสติกใส	BOX BOX	สำหรับใส่บอร์ด และวงจรไฟฟ้า
ท่อหด	-	ใช้หุ้มจุดต่อเชื่อมสายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้องกันการลัดวงจร
แปรงถ่านมอเตอร์	-	เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้า
กระเบใส่สารละลาย	-	ใช้สำหรับใส่สารละลาย



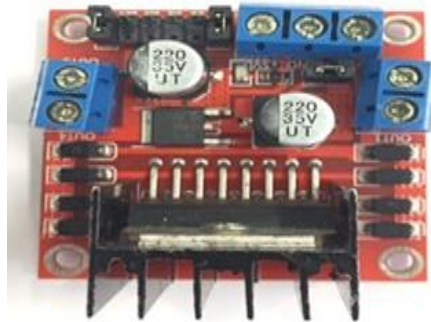
รูปที่ 3.14 เครื่อง CNC



รูปที่ 3.15 เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.16 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino



รูปที่ 3.17 บอร์ดขับมอเตอร์ รุ่น L298N



รูปที่ 3.18 แผ่นอะคริลิก



รูปที่ 3.19 เพลาทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm.



รูปที่ 3.20 เหล็กอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.1/2 นิ้ว เกรด 6063



รูปที่ 3.21 เหล็กสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm. เกรด 304



รูปที่ 3.22 สกรู M3 ยาว 10 cm.



รูปที่ 3.23 แหวนรองน็อต M3



รูปที่ 3.24 เสารองโลหะ PCB ยาว 25 mm.



รูปที่ 3.25 ตลับลูกปืน



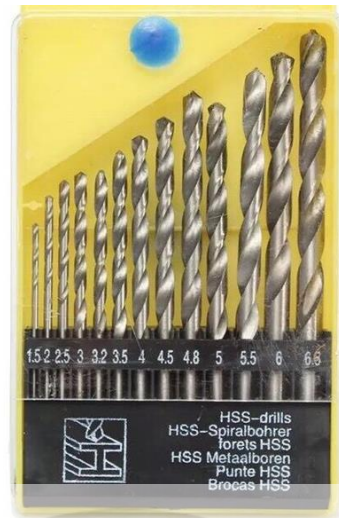
รูปที่ 3.26 สกรูตัวหนอน M4



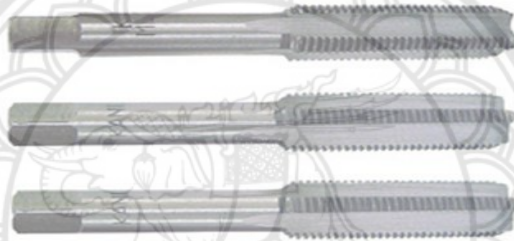
รูปที่ 3.27 เส้นลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm.



รูปที่ 3.28 สายไฟจัมป์เปอร์



รูปที่ 3.29 ดอกสว่าน



รูปที่ 3.30 ดอกตัดเกลียว



รูปที่ 3.31 มอเตอร์ รุ่น ZGA37RG244i



รูปที่ 3.32 สายไฟ 5 core



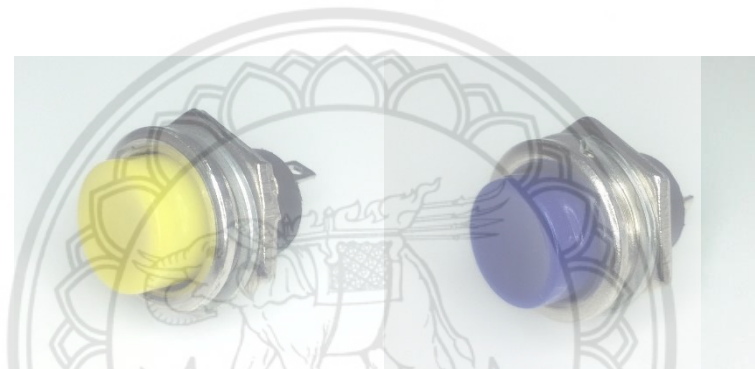
รูปที่ 3.33 ขั้วต่อ 5 เข็ม (Connector)



รูปที่ 3.34 เคเบิลแกลน



รูปที่ 3.35 บูช



รูปที่ 3.36 สวิตช์แบบกอด



รูปที่ 3.37 สวิตช์แบบคั่นโยก



รูปที่ 3.38 รีเลย์ 12 VDC



รูปที่ 3.39 สายไฟขนาด 26 AWG



รูปที่ 3.40 สายไฟพร้อมปลั๊ก



รูปที่ 3.41 กล่องพลาสติกใส



รูปที่ 3.42 ท่อหด



รูปที่ 3.43 ตัวแปรงถ่าน



รูปที่ 3.44 กระบะใส่สารละลาย

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการทดลองที่ความต่างศักย์ต่างกัน มาเปรียบเทียบกับขนาดของรอยตัด และเวลาที่ใช้ มาวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของรอยตัด



บทที่ 4

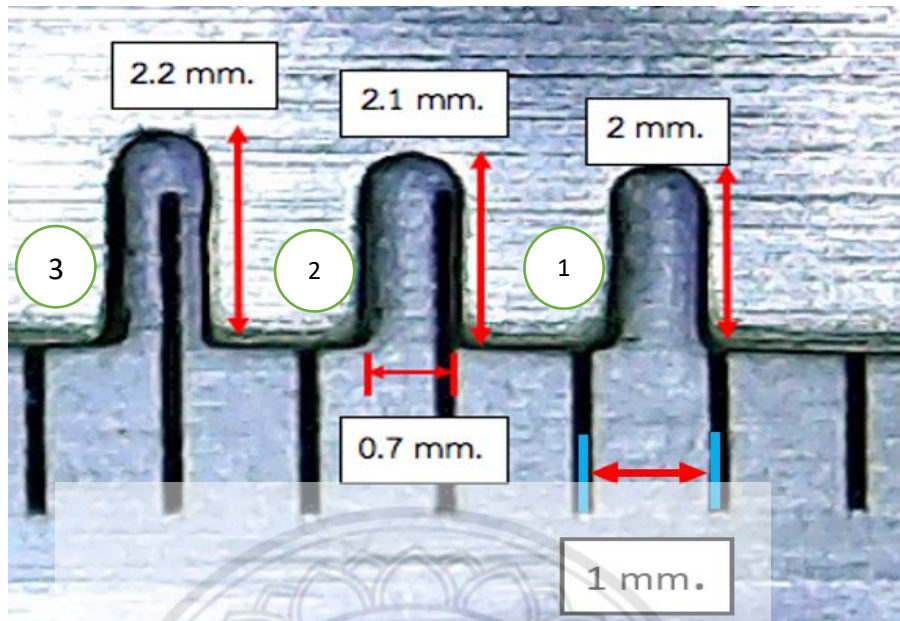
ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองของกระบวนการ ECM จากชุดการทดลองที่ได้สร้างขึ้นนั้น ประกอบด้วยการเปรียบเทียบความต่างศักย์ที่ใช้ในกระบวนการ และขนาดของรอยกัดแต่ละรอยที่ความต่างศักย์เดียวกัน ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยเครื่อง CNC เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรอยกัด และระยะเวลาในการกัด

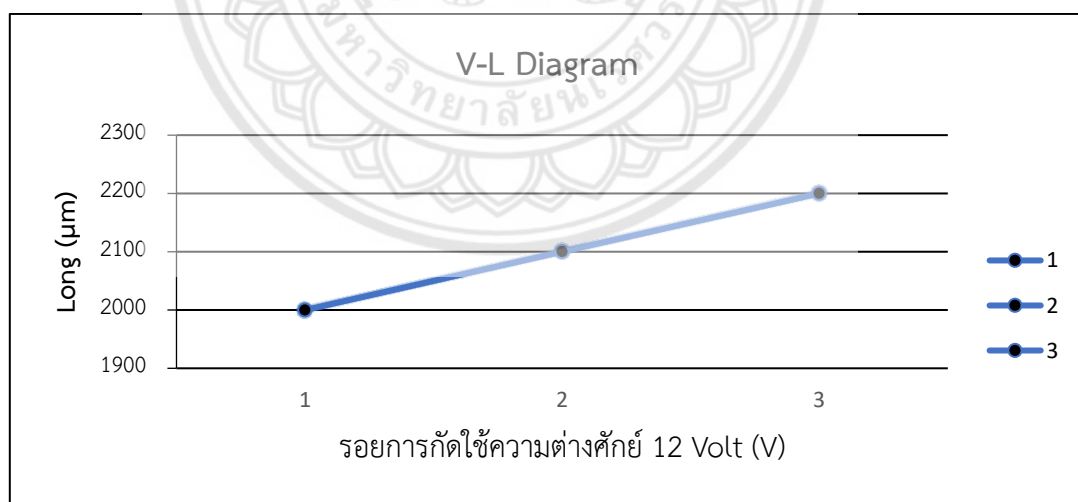
อัตราเร็วการเคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดลอง ใช้อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที และ 30 ไมโครเมตรต่อนาที เนื่องจากทำการวิเคราะห์จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าเนื่องด้วยถ้าความเร็วมากกว่านี้ จะทำให้เกิดลัดวงจร ในวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้า จึงได้ทำการลดอัตราเร็วการเคลื่อนที่ลงเพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจร จึงได้อัตราเร็วการเคลื่อนที่ คือ 20 ไมโครเมตรต่อนาที และ 30 ไมโครเมตรต่อนาที เป็นความเร็วที่เหมาะสม ในแต่ละความต่างศักย์

4.1 ผลการทดลองชุดที่ 1 สารละลายโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์

การทดลองในส่วนของสารละลายโซเดียมไนเตรท(NaNO_3) เริ่มทำการกัดที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ โดยใช้อัตราการเคลื่อนที่ของการกัดในแนวแกน Y คือ 20 ไมโครเมตรต่อนาที โดยไม่เปลี่ยนสารละลายใหม่



รูปที่ 4.1 รอยการกัดของชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ ทั้ง 3 รอยตามลำดับ
 จากรูปที่ 4.1 การกัดโดยใช้ความต่างศักย์ 12 โวลต์ และสารละลายโซเดียมไนเตรท
 (NaNO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สังเกตได้ว่าทั้งสามรอยมีขนาดที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าขนาด
 ของรอยกัดน่าจะเป็นผลมาจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย

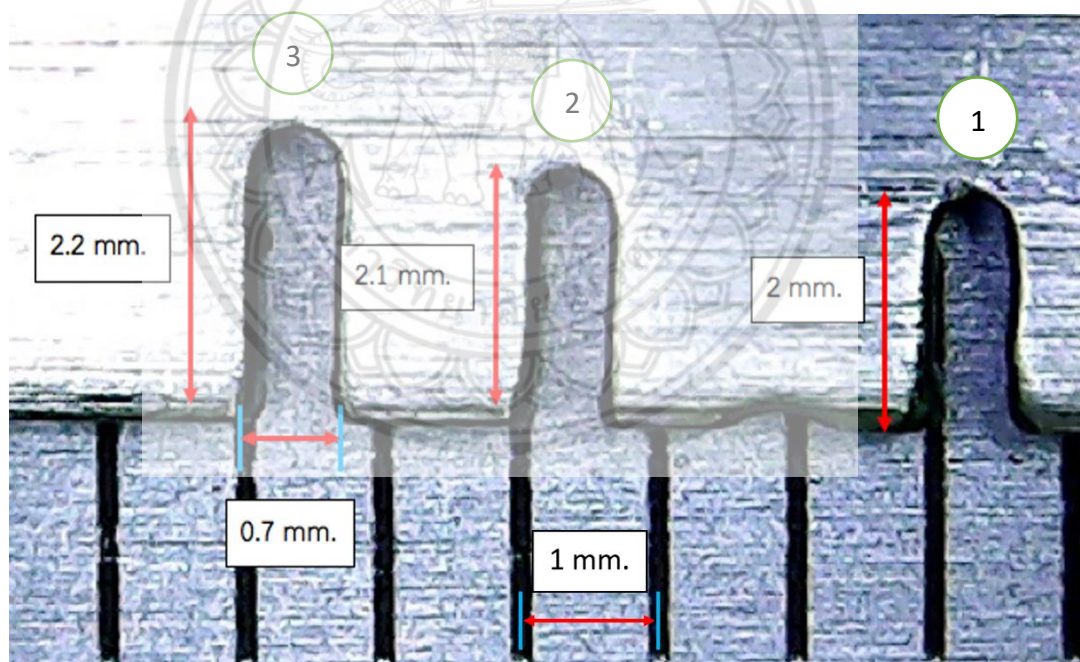


กราฟที่ 4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างขนาดความยาวของการตัดแนวเส้นตรงในแต่ละรอย
 ที่อัตราการเคลื่อนที่คงที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที

จากกราฟที่ 4.1 โดยการใช้สารละลายโซเดียมไนเตรท ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์ที่ 12 โวลต์ อัตราการเคลื่อนที่คงที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที ที่ความลึกของการกัดเท่ากับที่ 2,000 ไมโครเมตร และไม่เปลี่ยนสารละลาย พบว่ารอยกัดที่ 1, 2 และ 3 มีความลึกของรอยกัดเพิ่มขึ้นจากรอยกัดก่อนหน้าทุกครั้ง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรอยถัดๆไป คาดการณ์ว่ารอยกัดที่ลึกขึ้นนั้นมีผลมาจากความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการไม่มีการเปลี่ยนสารละลายใหม่ ส่งผลให้ความลึกในแต่ละรอยไม่เท่ากัน

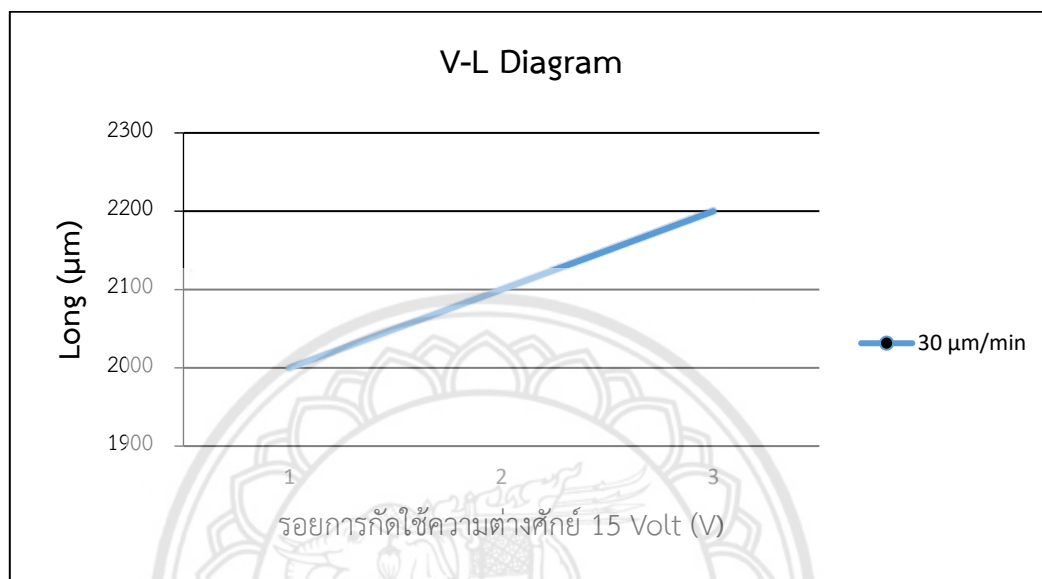
4.2 ผลการทดลองชุดที่ 2 โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์

การทดลองในส่วนของสารละลายโซเดียมไนเตรท(NaNO_3) เริ่มทำการกัดที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ โดยใช้อัตราการเคลื่อนที่ของการกัดในแนวแกน Y คือ 30 ไมโครเมตรต่อนาที โดยไม่เปลี่ยนสารละลายใหม่



รูปที่ 4.2 รอยการกัดของชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ทั้ง 3 รอยตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 การกัดโดยใช้ความต่างศักย์ 15 โวลต์ และสารละลายโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สังเกตได้ว่าทั้งสามรอยมีขนาดที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าขนาดของรอยกัดน่าจะเป็นผลมาจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย



กราฟที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างขนาดความยาวของการตัดแนวเส้นตรงในแต่ละรอยที่อัตราการเคลื่อนที่คงที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.2 โดยการใช้สารละลายโซเดียมไนเตรท ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ อัตราการเคลื่อนที่คงที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ที่ความลึกของการกัดเท่ากันที่ 2,000 ไมโครเมตร และไม่เปลี่ยนสารละลาย พบว่ารอยกัดที่ 1, 2 และ 3 มีความลึกของรอยกัดเพิ่มขึ้นจากรอยกัดก่อนหน้าทุกครั้ง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรอยถัดๆไป คาดการณ์ว่ารอยกัดที่ลึกขึ้นนั้นมีผลมาจากความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนสารละลายใหม่ ส่งผลให้ความลึกในแต่ละรอยไม่เท่ากัน

ตารางที่ 4.1 แสดงความยาวระหว่างสองค่าความต่างศักย์ของชิ้นงาน

ครั้งการทดลอง	ความต่างศักย์ 12 โวลต์	ความต่างศักย์ 15 โวลต์
	20 $\mu\text{m}/\text{min}$	30 $\mu\text{m}/\text{min}$
	ความยาวของรอยกัด (μm)	
1	2,000	2,000
2	2,100	2,100
3	2,200	2,200

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าความยาวของรอยกัดระหว่าง ความต่างศักย์ที่ 12 โวลต์ ใช้อัตราการเคลื่อนที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที และค่าความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ ใช้อัตราการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที มีค่าเท่ากันทั้งสองการทดลอง ซึ่งความยาวที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 2,000 ไมโครเมตร เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารละลายมีค่าคงที่ ปราศจากส่วนผสมจากเศษวัสดุที่กัดออกไป ทำให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับระยะที่สั่งกัดชิ้นงานมากที่สุด

หมายเหตุ : กระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ ควรอยู่ในระหว่าง 0.6- 0.9 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ควรอยู่ในระหว่าง 0.7- 0.9 แอมแปร์

บทที่ 5

สรุปโครงการ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในการออกแบบ และสร้างชุดทดลองประกอบด้วยชุดขับเคลื่อนเส้นลวด โดยมอเตอร์เกียร์ทด 10 รอบต่อนาที ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ที่สามารถควบคุมความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นลวดในแนวแกน Z ได้ จากการทดลองพบว่ามอเตอร์ทั้งสองตัวมีแรงบิดไม่เท่ากัน โดยได้ทำการออกแบบให้ความคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านบอร์ดช่วยขับมอเตอร์ L298N ที่มีการเขียนโปรแกรมผ่านบอร์ด Arduino ซึ่งมีการใช้เครื่อง CNC สำหรับการเคลื่อนที่แนวแกน X และแกน Y ที่มีความละเอียด 10 ไมโครเมตร โดยระบบของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ใช้เป็นแบบถังจม

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกัดวัสดุระดับไมโครด้วยกระบวนการเส้นลวดไฟฟ้าเคมี พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนเตรท ที่ใช้ในการทดลองจะมีผลต่อความเร็วในการกัดวัสดุ โดยหากความเข้มข้นสูง จะทำให้ระยะเวลาการกัดวัสดุเร็วขึ้น ซึ่งในส่วนของอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานในกระบวนการนั้น ส่งผลกระทบต่อขนาดรอยกัดวัสดุน้อยมาก และในส่วนของความต่างศักย์นั้น เมื่อให้ความต่างศักย์ควบคู่กับการใช้อัตราเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม จะช่วยรักษาช่องว่างระหว่างชิ้นงาน กับเส้นลวดอิเล็กโทรดให้พอเหมาะ จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยามีความต่อเนื่อง ซึ่งหากความต่างศักย์ยิ่งสูงนั้น จะทำให้ใช้เวลาในการกัดวัสดุน้อยลงไปด้วย

ในการประเมินปัจจัยด้านสารละลายที่ใช้ พบว่าเมื่อสังเกตรอยกัดที่ได้พบว่า ขนาดของรอยกัดจะมีขนาดเพิ่มขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ของกระบวนการ ซึ่งถ้าใช้เวลาในการกัดมากก็จะส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษวัสดุที่ถูกกัดออกไปผสมเข้ากับสารละลาย ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น จึงทำให้รอยกัดที่ได้มีขนาดกว้างขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ปัจจัยของอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานก็มีส่วนสำคัญ โดยในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อกัดวัสดุให้ได้ และหาอัตราเร็วที่เหมาะสมในกระบวนการ

ระยะเวลาที่ใช้ในการกักตัวสตุ โดยใช้โซเดียมไนเตรทเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ใช้อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ใช้เวลา 4020 วินาทีต่อรอยกัก ที่มีความลึก 2000 ไมโครเมตร และใช้โซเดียมไนเตรทเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ใช้อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ ใช้เวลา 6000 วินาทีต่อการรอยกักที่มีความลึก 2000 ไมโครเมตร จึงสรุปได้ว่าการใช้โซเดียมไนเตรทเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ในกระบวนการ WECM นั้นจะทำให้กักได้เร็วที่สุด

จากการสังเกตชิ้นงาน ประกอบกับการวิเคราะห์ผลจากการทดลอง ทำให้สรุปได้ว่า ตัวแปรสำคัญ ที่ส่งผลต่อคุณภาพ คือความต่างศักย์ โดยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน จะต้องสัมพันธ์กับความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าด้วย เพื่อให้การเกิดปฏิกิริยามีความต่อเนื่อง โดยที่ความต่าง ศักย์เพิ่มขึ้นอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ที่จะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงจะได้รอยกักที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ และความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นโซเดียมไนเตรทนั้น ก็ส่งผลต่อขนาดของรอยกักอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นโซเดียมไนเตรท ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ และอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน 30 ไมโครเมตรต่อนาที จะทำให้ใช้เวลาในการกักน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ในการทดลองควรตรวจสอบการเคลื่อนที่ไป-กลับของเส้นลวดอิเล็กโทรดอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันเส้นลวดอิเล็กโทรดขาดเนื่องจากการลวดหมุนกลับเกินไป
- 5.2.2 ในการทดลองไม่ควรเปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ขณะทำการกักตัวสตุ เพราะอาจทำให้ตำแหน่งการกักเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากต้องยกถัง เพื่อเทสารละลายอิเล็กโทรไลต์ออกแล้วนำกลับเข้าตำแหน่งเดิมเพื่อเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ใหม่
- 5.2.3 ระหว่างการทดลองควรใส่อุปกรณ์ป้องกัน เช่น แว่นตา ถุงมือ เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมี

- 5.2.4 ในขณะที่ทำการทดลองควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าขึ้นสถานะลัดวงจร(cc) หรือไม่ ถ้าเกิดการลัดวงจร แสดงว่าช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ทรายน้อยเกินไป ให้ทำการปรับอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานให้เหมาะสม
- 5.2.5 ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกัดวัสดุระดับไมโครด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีจะมีตะกอนเกิดขึ้น เมื่อตะกอนมีจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นควรเพิ่มอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานตาม เพื่อให้รอยกัดที่ได้ไม่กว้างเกินไป ซึ่งวิธีในการแก้ปัญหาควรมีเครื่องวัดความเข้มข้นเพื่อปรับอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานให้เหมาะสม
- 5.2.6 ในเรื่องของการปรับปรุงคุณภาพของรอยกัดนั้น ควรจะฉีดสารละลายอิเล็กโทรไลต์แทนการจุ่มชิ้นงานในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพราะสามารถควบคุมความเข้มข้นของสารละลายได้ ซึ่งส่งผลต่อการกัดเร็วขึ้น
- 5.2.7 ควรเปลี่ยนมอเตอร์เกียร์ทดให้เป็นแบบที่มีตลับลูกปืน เพื่อลดการสึกหรอ เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน ซึ่งส่งผลต่อความตึงของเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ และความทนทานของอุปกรณ์
- 5.2.8 ในการทดลองไม่ควรนำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ผ่านกระบวนการ ECM แล้วกลับมาใช้ใหม่ เพราะสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้
- 5.2.9 ควรมีระบบวัดค่าของกระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน เพื่อให้กระบวนการกัดวัสดุมีประสิทธิภาพ และการปฏิกิริยาต่อเนื่อง
- 5.2.10 ควรเปลี่ยนล้อเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าและไม่เกิดการกัดกร่อนจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์
- 5.2.11 ปรับปรุงระบบควบคุมชุดตัดให้สามารถเปลี่ยนการควบคุมได้ด้วยการกดปุ่มเดียว เพื่อลดข้อผิดพลาดจากผู้ใช้งาน และให้ง่ายต่อการทำงาน

อ้างอิง

- [1] ณรงค์ชัย ใจเย็น, สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte), <https://sites.google.com/site/acidsandbasestutorial/acid>
- [2] วิบุญ ตั้งวโรตมนุกุลม, กระบวนการกัดวัสดุด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี, technology peamation, (2011) , 76-77
- [3] กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน, เครื่องไวร์คัท (Wire Cut), 0920082091201 สาขาช่างควบคุมเครื่องโลหะตัดเส้นลวดระดั1, <http://home.dsd.go.th/hr/web/uploads/dsdhrJQ3ArTue24849.pdf>
- [4] Kanjana Heenpooh, Encoder (เอ็นโค้ดเดอร์), สืบค้นเมื่อ 9 มกราคม 2017, <http://www.engineerfriend.com/2017/articles/automatio>
- [5] Machinery Handbook, Industrial Press Inc, New York, Edition, (2004), 501
- [6] PANSIAM MANUFACTURING, ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสแตนเลส สตีล, 11 กันยายน 2017, <https://pansiam.com>
- [7] Rajurkar, K.P, et al., Study of Pulse Electrochemical Machining Characteristics. CIRP Annals - Manufacturing Technology, (1993) , 231-234
- [8] Long Fang, Y. D. Zhang, D. Zhu, Enhancement of surface roughness in electrochemical machining Technol, (2013) , 2703–2709
- [9] Ruszaj A., Zybura M., zurek R., Skrabalak G., Some aspects of the electrochemical machining process supported by electrode ultrasonic vibration optimization, Journal of Engineering Manufacture. 217, (2003), 1365–1371

อ้างอิง (ต่อ)

[10] Maeda R, Chikamori K, Yamamoto H. Feed rate of wire electrochemical machining using pulsed current. *Precis Eng*, (1984), 193–9

[11] Smets N., Van Damme, De Wilde, D. et al. *Appl Electrochem*, (2007) , 37-315

[12] Zhaopi Zenga, Yukui Wang, Zhenlong Wang, Debin Shan, Xiaolong He , A study of micro-EDM and micro-ECM combined milling for 3D metallic micro-structures , *Precision Engineering* 36 , (2012) , 500-509

[13] Prohaszka, J.; Mamails, A.G. & Vaxevanidis, N.M. (1997). The effect of electrode material on machinability in wire electro-discharge machining. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol., 69, pp, 233–237

[14] Khan NZ, Khan ZA, Siddiquee AN, Chanda AK (2014) Investigations on the effect of wire EDM process parameters on surface integrity of HSLA: a multi-performance characteristics optimization. *Prod Manuf Res* 2(1), 501–518

[15] ปรินญาณีพนธ์เรื่อง การศึกษาระบบกัดวัสดุระดับไมโครด้วยไฟฟ้าเคมี ปีการศึกษา 2558



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

โซเดียมไนเตรท (NaNO_3)

(มวลโมเลกุลของ Na = 23 , N = 14 , O = 16)

หามวลโมเลกุลของของผสมหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$MW_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^n X_i MW_i$$

จะได้มวลโมเลกุลของของผสมดังนี้

$$MW_{\text{NaNO}_3} = (1 \times 23) + (1 \times 14) + (3 \times 16) = 85 \text{ g}$$

หาน้ำหนักของสารประกอบที่ใช้ในการผสมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 1000 cm^3

$$c = \frac{A \times N \times W_L}{W_{\text{mix}} \times MW_{\text{mix}} \times W_L}$$

โดยที่ c = ความเข้มข้นของสารละลาย มีหน่วยเป็น โมลาร์ (mol/L)

A = น้ำหนักของสารประกอบที่ใช้ในการผสมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีหน่วยเป็น กรัม (g)

N = จำนวนโมลของสาร มีหน่วยเป็น โมล (mol)

W_L = ปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์ 1 ลิตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

W_{mix} = ปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ต้องการ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

MW_{mix} = มวลโมเลกุลของของผสม มีหน่วยเป็น กรัม (g)

W_L = ปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์ 1 ลิตร มีหน่วยเป็น ลิตร (l)

$$\text{ใช้ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะได้ } 0.1 = \frac{A \times 1 \times 1000}{1000 \times 85 \times 1}$$

$$A = 8.5 \text{ g}$$

ถ้าใช้น้ำ 3000 cm^3 ต้องใช้ $A = 8.5 \times 3 = 25.5 \text{ g}$.

ใช้ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ จะได้ $0.05 = \frac{A \times 1 \times 1000}{1000 \times 85 \times 1}$

$$A = 4.25 \text{ g}$$

ถ้าใช้น้ำ 3000 cm³ ต้องใช้ A = 4.25 × 3 = 12.75 g.

ใช้ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จะได้ $0.01 = \frac{A \times 1 \times 1000}{1000 \times 85 \times 1}$

$$A = 0.85 \text{ g}$$

ถ้าใช้น้ำ 3000 cm³ ต้องใช้ A = 0.85 × 3 = 2.55 g.







รูป ข.1 การติดแบบที่ออกแบบจากโปรแกรมลงบนแผ่นอะคริลิก



รูป ข.2 การตัดตามแบบที่ติดลงบนแผ่นอะคริลิก



รูป ข.3 การเจาะรูเพื่อยึดอุปกรณ์ต่างๆ



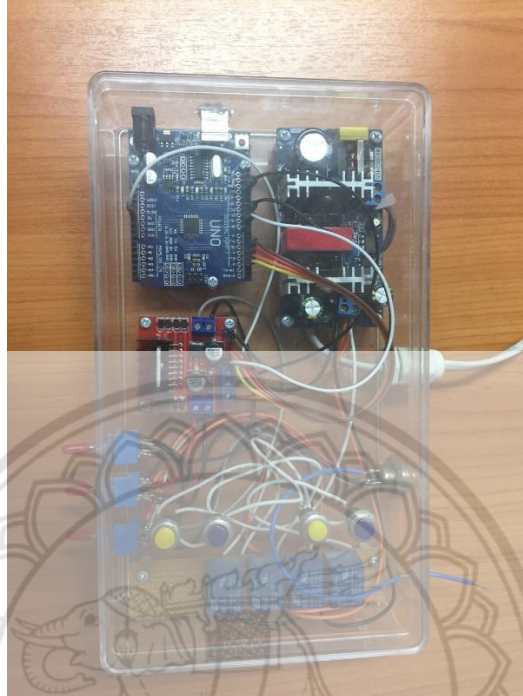
รูป ข.4 การเจาะรูทำเกลียวเพื่อล็อกแกนเพลลา และล็อกเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์



รูป ข.5 การปรี้น 3 มิติ เพื่อทำตัวประกอบลื่อนนำเส้นลวดอิเล็กทรอนิกส์ให้อยู่ตรงกลาง



รูป ข.6 ชุดขับเคลื่อนเส้นลวดที่ทำการประกอบเสร็จ



รูป ข.7 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ทำการประกอบเสร็จ



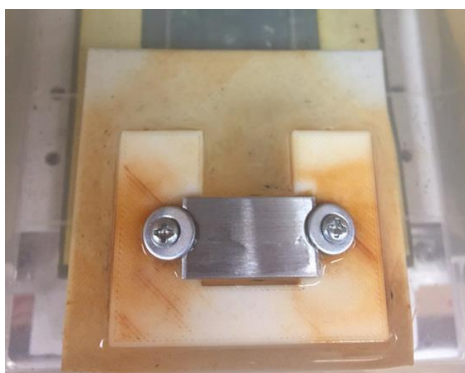
รูป ข.8 สารโซเดียมไนเตรท(NaNO_3)



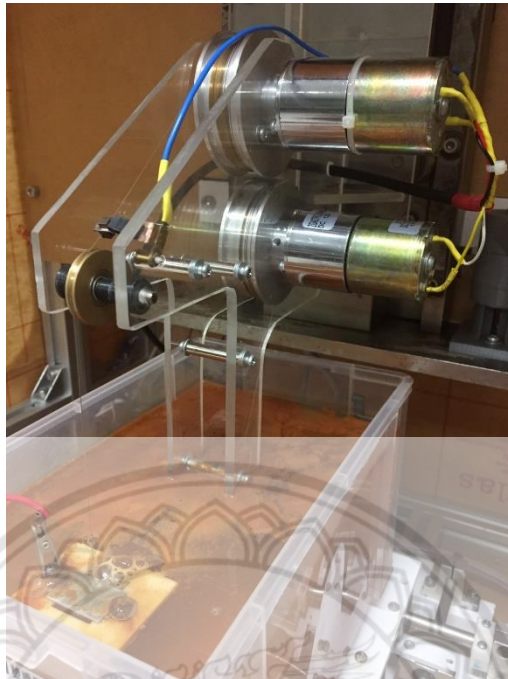
รูป ข.9 สแตนเลส เกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตร



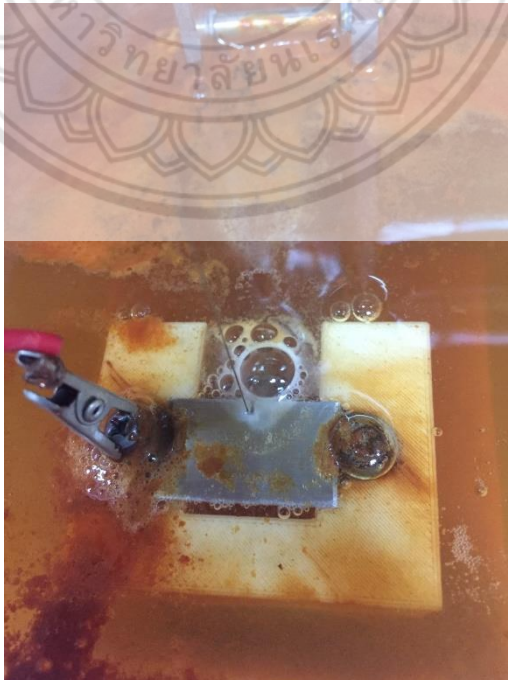
รูป ข.10 อลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร



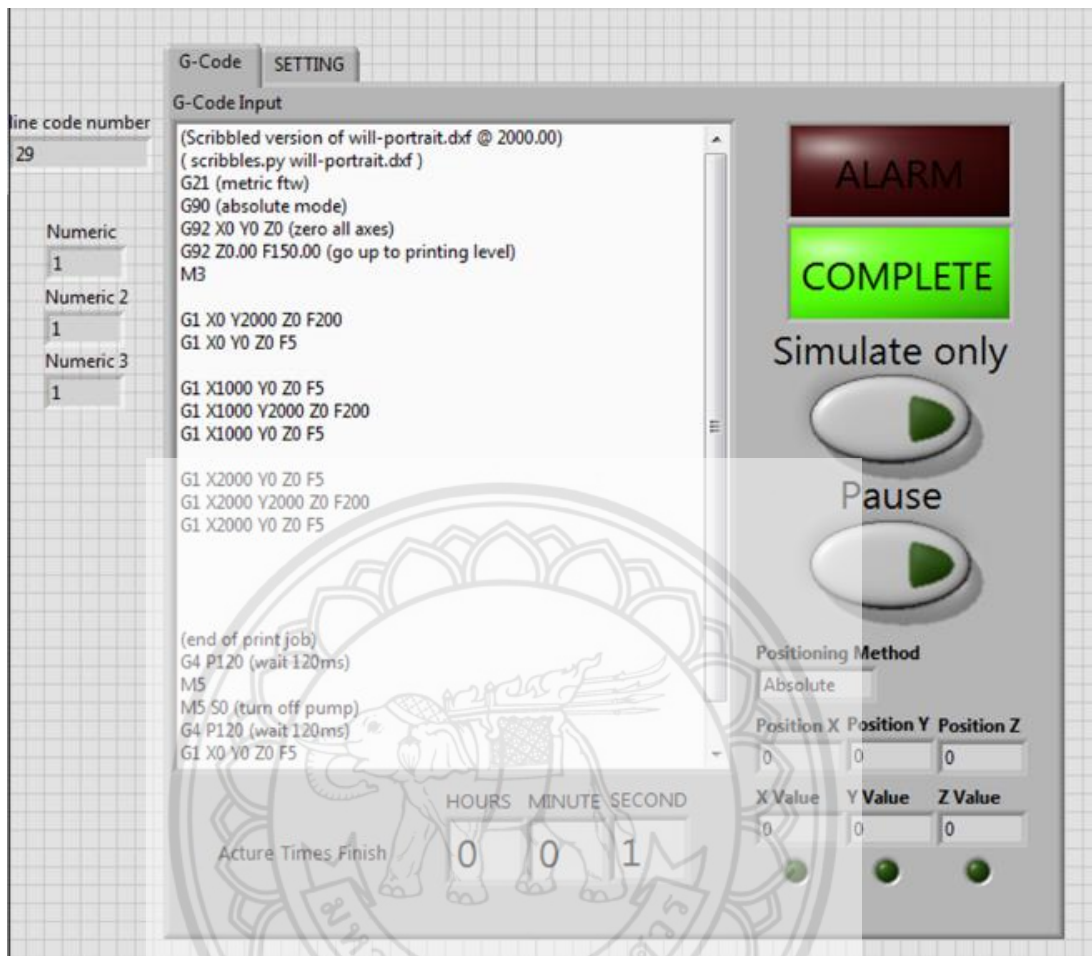
รูป ข.11 การติดตั้งวัสดุชิ้นงานกับแท่นยึดชิ้นงานของเครื่อง CNC



รูป ข.12 การทำงานของเครื่องระหว่างการกัดชิ้นงาน



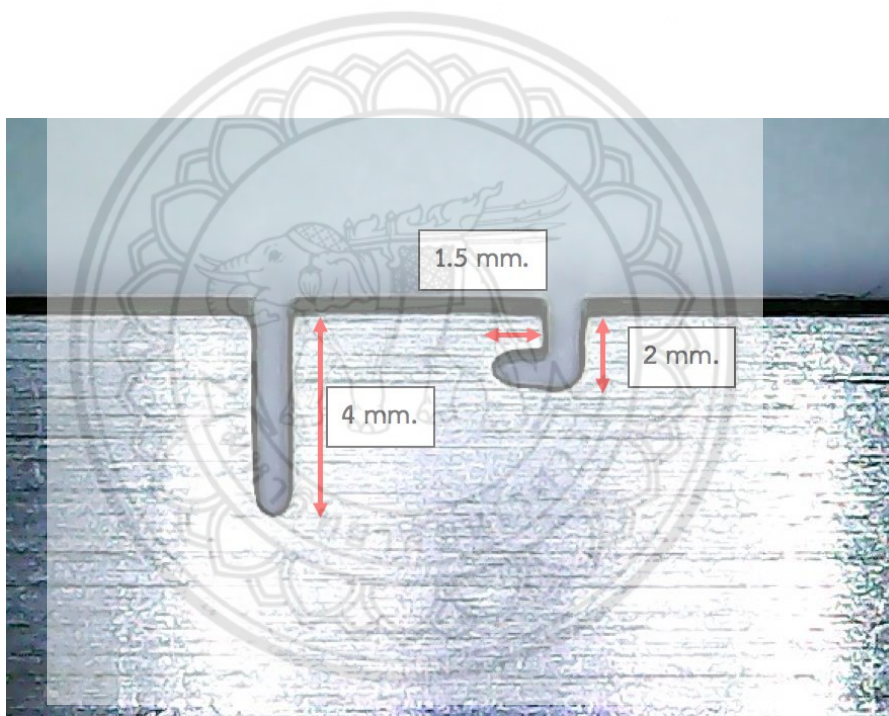
รูป ข.13 การทำปฏิกิริยาของกระบวนการไฟฟ้าเคมี



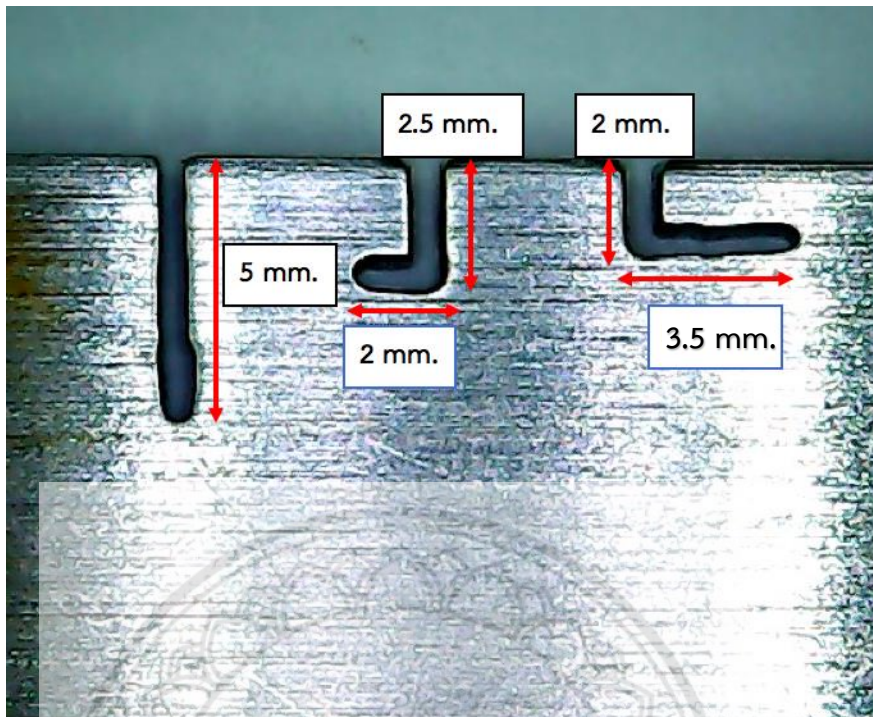
รูป ข.14 โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่



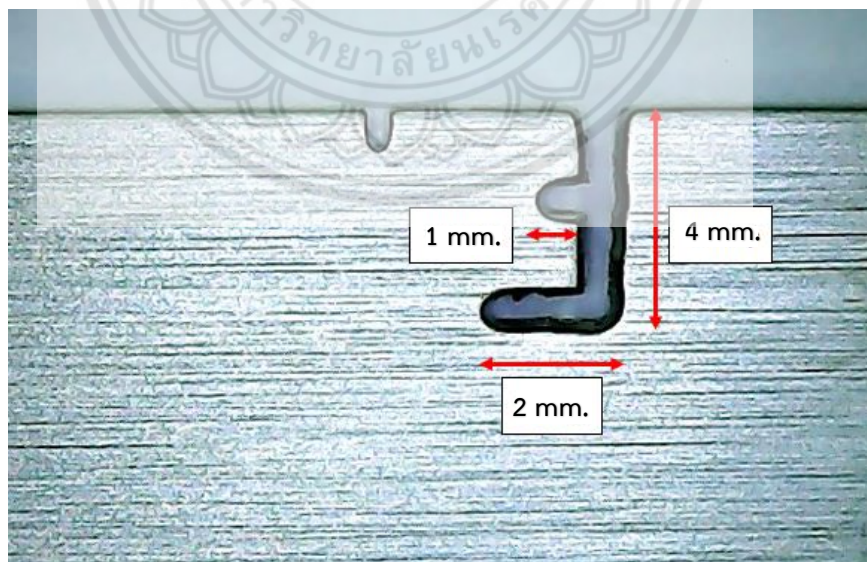
ทำการทดลองกัดวัสดุโดยใช้โซเดียมไนเตรทเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในกระบวนการกัดวัสดุเป็นรูปแบบต่างๆ มีวัสดุ 2 ชนิด คือ สแตนเลส เกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตร อลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร และสแตนเลส เกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตรซ้อนกัน 2 แผ่น ความต่างศักย์ที่ใช้คือ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์ อัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานปรับเปลี่ยนโดยการสังเกตกระบวนการกัดวัสดุ ซึ่งจะหยุดกระบวนการเมื่อเริ่มสังเกตเห็นการลัดวงจรของเส้นลวดอิเล็กโทรด กับแผ่นชิ้นงาน โดยทำการลดอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงานลง จากนั้นทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ไปและความกว้างของรอยกัด ของแต่ละการทดลอง



รูป ค.1 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่ออนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.05 โมลาร์



รูป ค.2 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 8.57 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.03 โมลาร์



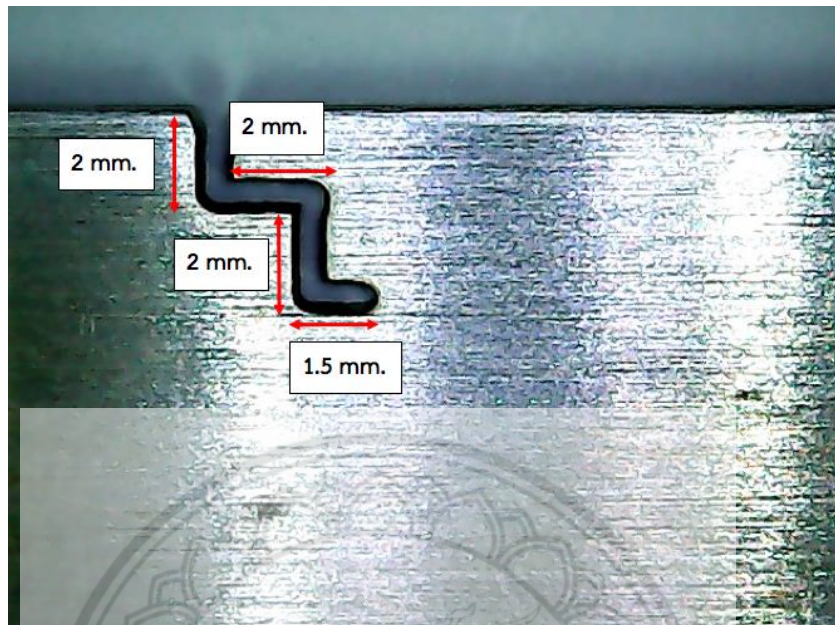
รูป ค.3 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์



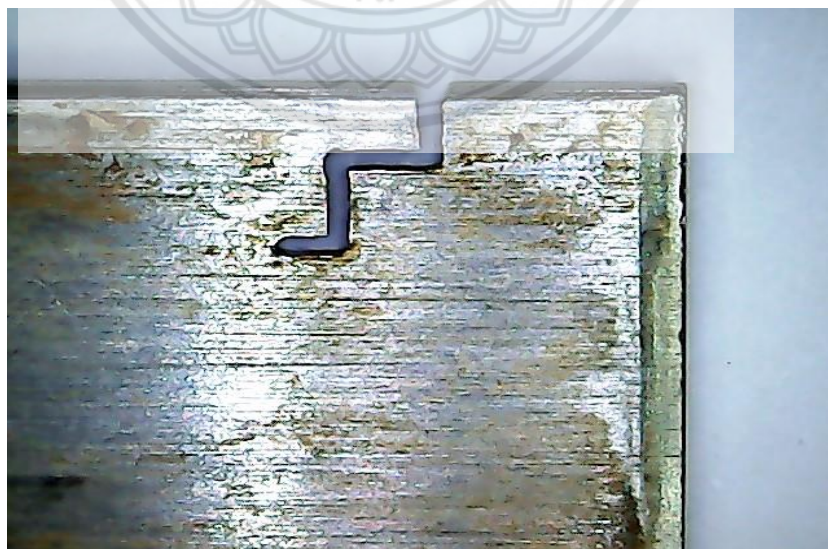
รูป ค.4 ภาพรอยกัดอลูมิเนียมหนา 3 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 15 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 9 โวลต์ และความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ผลการทดลองพบว่า ไม่สามารถกัดวัสดุนี้ได้



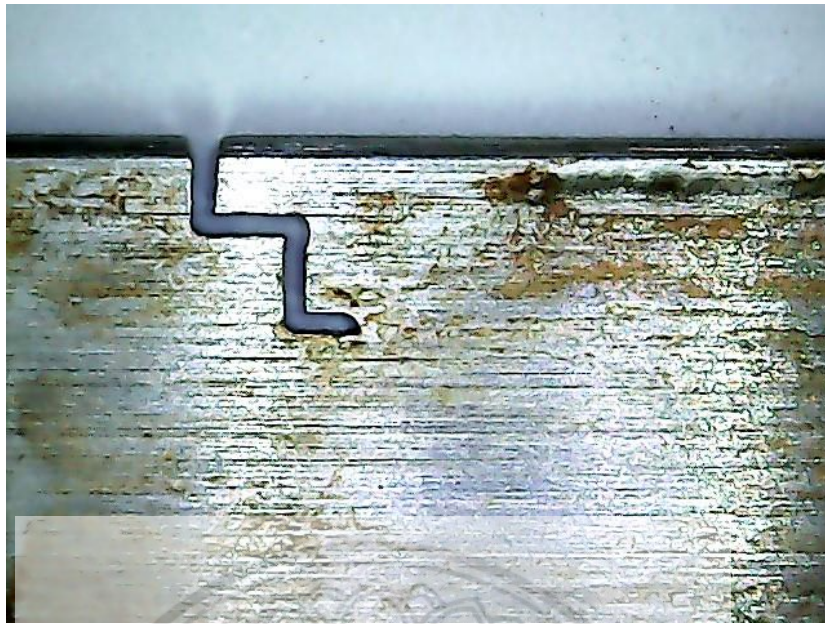
รูป ค.5 ภาพรอยกัดเงินหนา 0.5 mm. อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 20 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 9 โวลต์ และความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พบว่าเมื่อทำการทดลองสีของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเงิน เปลี่ยนเป็นสีดำ



รูป ค 6.ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นบนด้านบน) อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่าเมื่อทำการตัดพร้อมกัน 2 แผ่น ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า



รูป ค 7.ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นบนด้านประกบกัน) อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์



รูป ค.8 ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นล่างด้านประกบกัน)
อัตราเร็วการเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1
โมลาร์



รูป ค 9. ภาพรอยกัดสแตนเลส 304 หนา 2 มิลลิเมตรซ้อนกัน 2 แผ่น(แผ่นล่างด้านล่าง) อัตราเร็ว
การเคลื่อนที่ 30 ไมโครเมตรต่อนาที ความต่างศักย์ที่ 15 โวลต์ และความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

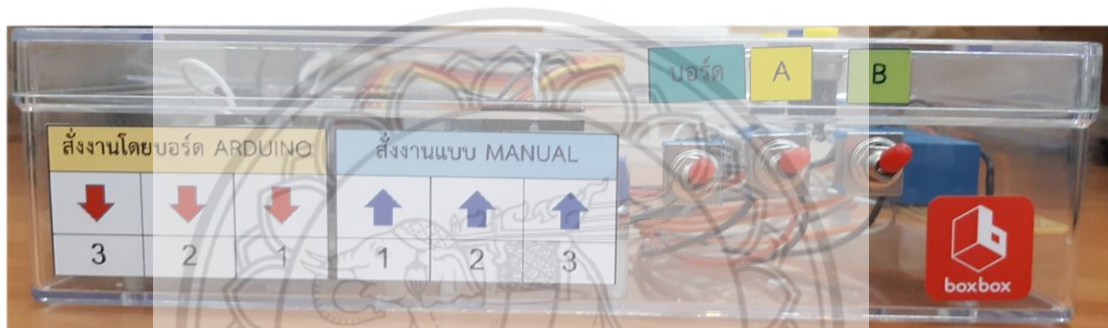
ภาคผนวก ง
วิธีใช้กล่องควบคุม



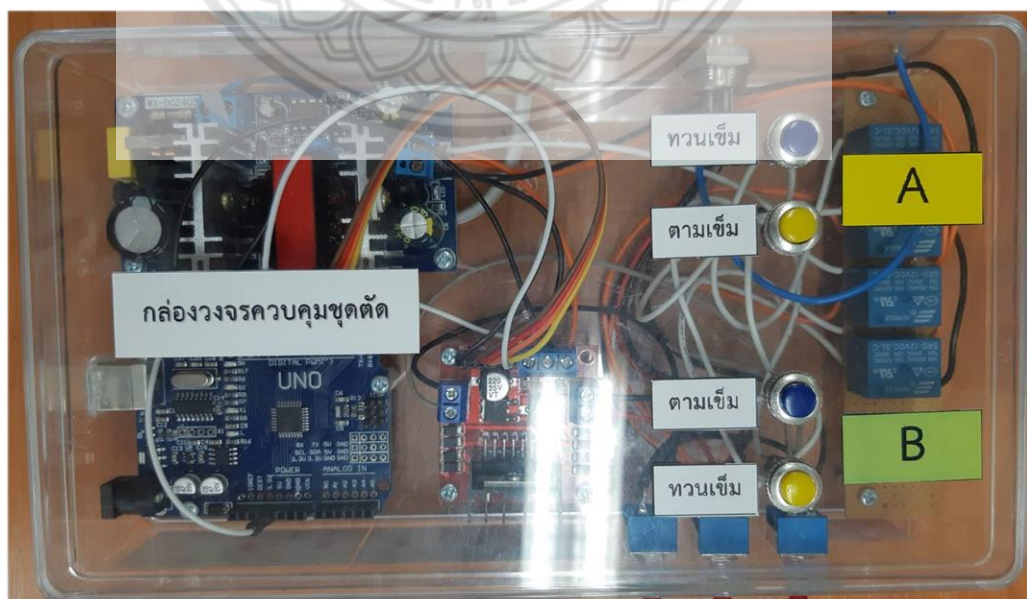
วิธีการใช้งานกล่องควบคุม

การใช้งานกล่องควบคุมนั้นจะมีวิธีการควบคุมทั้ง 2 แบบ ติดอยู่ข้างกล่อง ส่วนสวิตช์จะอยู่ด้านบนของกล่องจะมีบอกวาสวิตช์ตัวไหน ที่ควบคุมมอเตอร์อะไร และควบคุมในทิศทางใดบ้าง โดยที่ A และ B เป็นชื่อมอเตอร์

ในการปรับระบบเป็นแบบรับคำสั่งจากบอร์ด หรือแบบManual ต้องสับสวิตช์ตามลำดับของเลขที่อยู่ด้านล่างลูกศรขึ้น-ลง ถ้าไม่สับสวิตช์ตามลำดับอาจทำให้มอเตอร์ตัวตัวหนึ่งหมุน และอีกตัวไม่หมุน เนื่องจากมอเตอร์ทั้งสองตัวนั้นรับการควบคุมคนละแบบ ส่งผลทำให้เส้นลวดอาจขาดได้



รูป ง.1 กล่องควบคุมด้านข้าง



รูป ง.2 กล่องควบคุมด้านบน