



เครื่องเจาะรูขนาดเล็กแบบอีดีเอ็ม  
SMALL HOLE MADE BY EDM.



โดย  
นาย กฤษดา เลิศประเสริฐเวช 36014013  
นาย พิทักษ์ สุนทรปกาสิต 36014294  
นาย ไพรัช ปิตพยันธ์ 36014305

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2539

วัน เดือน ปี..... 29.ก.พ. 2541  
เลขทะเบียน..... 038103  
เลขเรียกหนังสือ..... T.3.0123.ก.2841

เครื่องเจาะรูขนาดเล็กแบบอีดีเอ็ม  
SMALL HOLE MADE BY EDM.

โดย

นาย กฤษดา เลิศประเสริฐเวช 36014013

นาย พิทักษ์ สุนทรปกาสิต 36014294

นาย ไพรัช ปิตพยัคฆ์ 36014305

อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ. ทวี เทศเจริญ )

## สารบัญ

	หน้า	
บทที่ 1	บทนำ	3
บทที่ 2	ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปาร์ค	4
บทที่ 3	การดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 2	8
	3.1 ระบบปรับตำแหน่งชิ้นงาน	8
	3.2 ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งหัวเจาะ	9
	3.3 ชุดหัวเจาะ	10
	3.4 ชุดควบคุมความเร็วของรอยเจาะ	10
	3.5 ระบบช่วยระบายความร้อน	11
	3.6 ระบบวงจรควบคุมการทำงานต่าง ๆ	11
	3.7 การไล่อากาศการตะกอนบนชิ้นงานในเครื่อง EDM.	11
	3.8 วงจรการฉีดไล่น้ำไล่อากาศ	12
บทที่ 4	การทดลอง และผลการทดลอง	15
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	18
	ปัญหาที่พบในโครงการ	19
	แนวทางการปรับปรุง	19
ภาคผนวก		20
	- ผ.1 วิธีการ OPERATE เครื่อง EDM SMALL HOLE	20
	- ผ.2 แผงวงจรควบคุมการทำงานด้านหลัง	21
	- ผ.3 หลักการทำงานในการควบคุม STEPPING MOTOR	23
กิตติกรรมประกาศ		29
หนังสืออ้างอิง		30

## เครื่องเจาะขนาดเล็กแบบอีดีเอ็ม

กฤษฎา เลิศประเสริฐเวช

พิทักษ์ สุนทรปกาสิต

ไพรัช ปิณฑพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ทวี เทศเจริญ

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องเจาะ โดยใช้ระบบไฟฟ้าในการทำการเจาะโลหะ ที่มีความแข็งสูง ซึ่งไม่สามารถเจาะรูได้โดยวิธีธรรมดา โดยอาศัยหลักการสปาร์คของขั้วไฟฟ้า ทำให้ชิ้นงานหลุดออกมาเป็นรูขนาดตามต้องการ ในการเจาะเราจะใช้ NC (Numerical Control) ควบคุมการสปาร์คและใช้ Stepping Motor ควบคุมตำแหน่งหัวเจาะในการเลื่อนขึ้น-ลง โดยจับชุดหัวเจาะโดยผ่านเพลาลูกเบี้ยวให้หัวเจาะสั่นขึ้นลงเป็นระยะสั้น ๆ ควบคุมจังหวะการสปาร์ค จากนั้นใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และระบายเศษโลหะออก โดยใช้ชื่อว่า SMALL HOLD MADE BY EDM. เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะวัสดุที่มีความแข็งสูง ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี เช่น เหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง เหล็กกล้าคาร์บอนสูง หรือโลหะพิเศษอื่น ๆ

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องเจาะเพื่อที่จะทำให้เครื่องเจาะมีประสิทธิภาพในการเจาะมากขึ้น และยังทำให้เครื่องเจาะสามารถเจาะได้เรียบมากขึ้น และมีความเร็วสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเจาะชิ้นงานที่มีความหนาได้มากกว่าเดิม

## Small hole made by EDM

KRITSADA LERTPRASERTWACH

PITAK SONTHRONPAKASIT

PHAIRAT PITPHAYAN

Associate Professor THAVEE TESHCHAREON

### Abstract

This Thesis is operation and construction of Drill by used electrical discharge system to drill a metal, which is a high strength to be not drill by common system. By using sparking of electrode. A particle will have a hole for used. For drilling we used NC (Numerical Control) as sparking controller and stepping motor will control at moving drill machine position up and down by driving a drill machine, which to pass cam shaft around, drill machine will vibrating up and down a small gap. Another it to be control timing of sparking. This system used lubricant to remove heat, it is dielectric which can give a particulate of metal out. Name of this machine is small hold made by EDM. It is a machine for drilling a high hardness material, Such as quench hardens metal, cemented carbide metal, or special metal, etc.

The improving for making drill machine to have more efficient of drilling. It make drill machine can drill more smooth and speed up. Another that It can drill the material that have more thickness.

## บทที่ 1

## บทนำ

เทคโนโลยีในปัจจุบันนี้ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการผลิตมากขึ้น สำหรับโครงการนี้จึงได้นำเอาเทคโนโลยีทางการเจาะขึ้นรูปโลหะ โดยการเจาะโลหะที่มีความแข็งสูง โดยใช้หลักการสปาร์คด้วยไฟฟ้าระหว่างโลหะกับโลหะ เพื่อให้หลุดออกเป็นรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งโครงการนี้ ใช้ชื่อว่า SMALL HOLD MADE BY EDM. เป็นโครงการต่อเนื่องจากนักศึกษาปีการศึกษา 2538 โดยการควบคุมการสปาร์คได้ใช้ NC ( Numerical Control ) ให้เหมาะสมในการเคลื่อนที่ของชุดหัวเจาะ โดยใช้ Stepping Motor ในการขับเคลื่อนผ่านชุดเฟืองทด และมีชุดมอเตอร์ทำหน้าที่ขับเคลื่อนชุดหัวเจาะให้ขับเคลื่อนหัวเจาะให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลง เป็นจังหวะในการสปาร์คของหัวเจาะและชุด Pump น้ำ เพื่อระบายความร้อนให้กับชิ้นงานและหัวเจาะ ประโยชน์ที่สำคัญของเครื่องเจาะ EDM. ในโครงการ คือ การเจาะโลหะที่มีความแข็งสูง ซึ่งไม่สามารถเจาะได้โดยวิธีธรรมดา

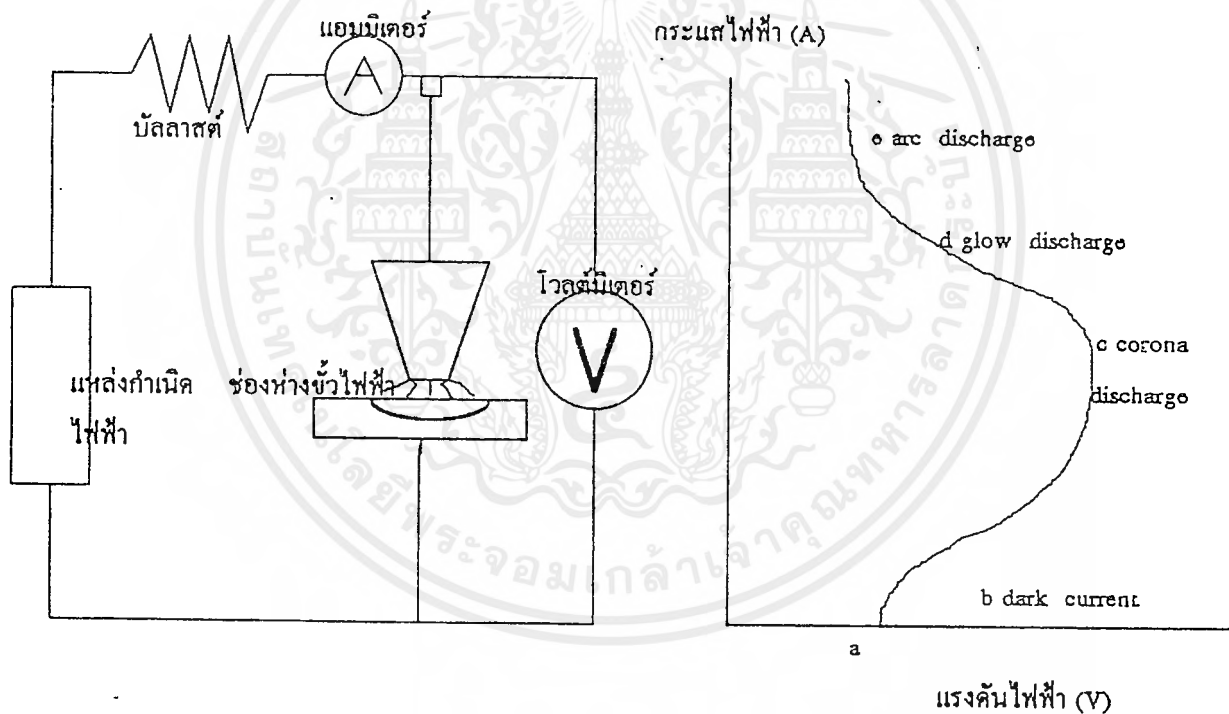
ในปีการศึกษา 2539 นี้ ได้ดำเนินงานในส่วนของชุดขับเคลื่อนหัวเจาะ ชุดหัวเจาะ และชุดควบคุมการทำงานของแผงวงจรด้านหลัง โดยนำเอามอเตอร์และมู่เล่-สายพาน มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้รู้ที่เกิดจากการเจาะมีความราบเรียบมากขึ้น มีขนาดรูที่คงที่ และช่วยลดปัญหาการ short circuit ที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นสำหรับชุดขับเคลื่อนชิ้นงานขึ้นลงและปรับชิ้นโลหะให้อยู่ในตำแหน่ง ได้ทำการติดตั้ง มอเตอร์ เพื่อช่วยทำให้การขับเคลื่อนเร็วขึ้น ( จากเดิมใช้มือหมุน ) และทำการติดตั้งมอเตอร์ขนาดเล็กที่หัวเจาะเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนหัวเจาะให้หมุนได้ เพื่อให้รอยเจาะที่เกิดขึ้นราบเรียบสม่ำเสมอ และทั้งยังช่วยในการไล่อุณหภูมิของเศษโลหะที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเจาะออก นอกจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการเจาะระหว่างเครื่องเจาะแบบเก่าที่ยังไม่ได้ปรับปรุงกับเครื่องเจาะที่ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งรายละเอียดในการดำเนินงานต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

## บทที่ 2

### ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปาร์ก

ปรากฏการณ์การสปาร์ก เป็นชื่อเรียกโดยรวมของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า ประเภท ของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซคั่นอยู่ จนให้ฉนวนไฟฟ้าเหล่านี้สูญเสียความเป็นฉนวน (Dielectric Breakdown) และเกิดมีกระแสไหลอย่างรุนแรง

ดังนั้นปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงหมายถึง การฝืนบังคับทำให้เกิดการแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุตัวกลางที่โดยปกติกระแสจะไหลผ่านได้ยาก และเมื่อถึงเวลาที่มีการฝืนบังคับนี้ถึงขีดจำกัด ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ไหลขึ้นมาอย่างกะทันหัน การนำเอาหลักการสปาร์กมาประยุกต์ใช้งาน ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ การเชื่อมแบบอาร์ค การขึ้นรูปด้วยวิธีการสปาร์ก เครื่อง Wire-Cut EDM.



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรไฟฟ้า และ ช่วงลักษณะการเกิดกระแสขณะเกิดการสปาร์ก

จากรูปที่ 2.1 ได้แสดงถึงคุณสมบัติพิเศษของการสปาร์กระดับขั้นพื้นฐาน โดยอาศัยการสร้างวงจรง่าย ๆ ดังรูปและทำให้เกิดการสปาร์กขึ้นในอากาศ

### 1. สภาพที่กระแสเริ่มไหล ( dark current )

ถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า หรือ ลดช่องว่างระหว่างหัวสปาร์คลงมาเรื่อย ๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งอากาศจะรวมตัวเป็นประจุไฟฟ้า และอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบจะถูกดูดจากฝั่งขั้วลบไปยังขั้วบวก ซึ่งในช่วงเวลาระยะนี้จะเริ่มมีกระแสไหลมากประมาณ  $10^{-8} - 10^{-11}$  A. สภาพเช่นนี้มีชื่อเรียกว่า สภาพกระแสเริ่มไหล

### 2. การสปาร์คแบบโคโรน่า ( Corona discharge )

ถ้าเพิ่มแรงดันหรือลดช่องว่างลงอีกผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าบางส่วนที่เกิดสนามไฟฟ้าแรงเป็นพิเศษจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน เราเรียกสภาพนี้ว่าการสปาร์คแบบโคโรน่า ซึ่งเป็นการสปาร์คที่ขาดเสถียรภาพอย่างมาก

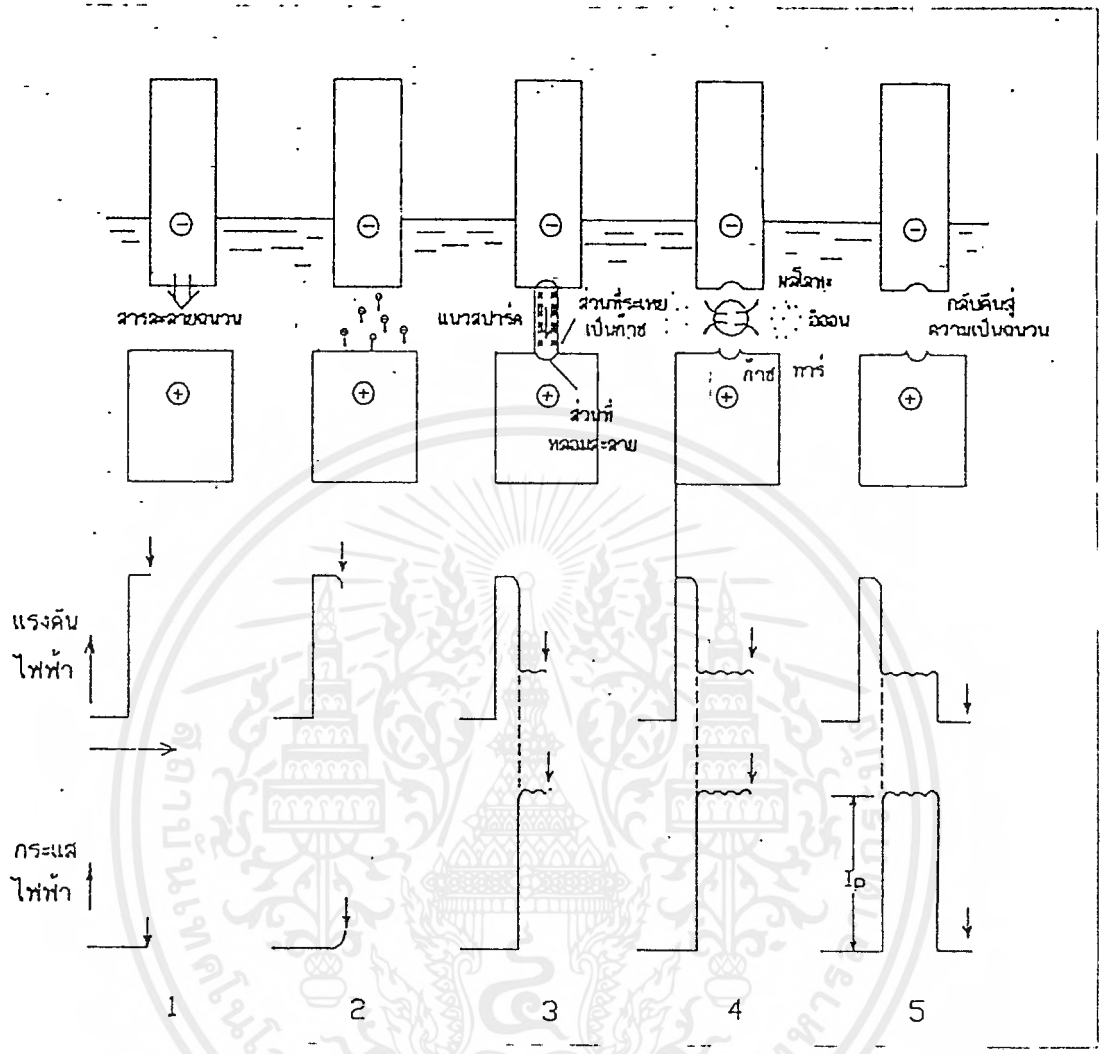
### 3. การสปาร์คแบบโกลว์ ( glow discharge )

บริเวณที่เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนแล้วนั้นอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบจะไหลในส่วนนี้มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้กระแสไฟฟ้ามียุทธศาสตร์ใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยสภาพการสปาร์คที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาที่สั้นมาก เช่นนี้ เรียกว่า การสปาร์คแบบโกลว์

### 4. การสปาร์คแบบอาร์ค ( arc discharge )

หลังจากที่ประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ระหว่างขั้วถูกปลดปล่อยออกมาและการสปาร์คแบบโกลว์ได้มีขนาดกระแสไฟฟ้าค่าสูงสุดแล้ว การสปาร์คจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้าย สภาพการสปาร์คเช่นนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการสปาร์ค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมพลังงานหรือระยะก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะการสปาร์คแบบอาร์คนี้

การสปาร์คที่เป็นประกายไฟ โดยทั่วไปแล้วนั้นเป็นการสปาร์คซึ่งเกิดขึ้นทุกขั้นตอนตั้งแต่สภาพที่กระแสเริ่มไหล จนถึงสภาวะสปาร์คแบบการอาร์ค ภายในช่วงระยะเวลาที่สั้นมาก



รูป 2.2 แสดงขั้นตอนของการสปาร์ก

### 2.1 ไล่แรงดันไฟฟ้า

เริ่มด้วยการไล่แรงดันไฟฟ้า (ประมาณ 60 - 280 V) ที่ระหว่างขั้วงานกับขั้วไฟฟ้า (เรียกว่าระหว่างขั้ว) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าไร้โหลด (no-load voltage) ในสภาพเช่นนี้ระหว่างขั้วยังรักษาความต้านทานระหว่างขั้วให้มีค่าสูงเพื่อลดระยะระหว่างขั้ว และเป็นการระบายความร้อนของขั้ว ซึ่งการลดช่องว่างของขั้วไฟฟ้าที่เกิดการสปาร์กให้แคบลงจะส่งผลคือ ทำให้ขั้วงานที่ทำการขึ้นรูปมีความละเอียดสูง

### 2.2 การสูญเสียความเป็นฉนวน

เมื่อย่านระยะระหว่างขั้วให้เข้าใกล้กันเรื่อย ๆ จนถึงระยะหนึ่ง ( ระยะทางเป็นไมโครเมตร ) สารละลายจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนอันเนื่องประจุลบจะถูกดึงไปฝั่งที่เป็นบวก คือ เริ่มมีกระแสไหล

### 2.3 สปาร์คหลอมละลาย

เมื่อเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบจะเริ่มไหลเป็นจำนวนมากอย่างรุนแรง ซึ่งก็คือการสปาร์คนั่นเอง บริเวณส่วนที่จะเกิดการสปาร์คขึ้นนี้จะมีกระแสไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสูงมากไหลในช่วงระยะเวลาสั้น ในการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นจะมีกระแสตั้งแต่ 0.1 A ขึ้นไป ไปจนถึงหลายร้อยแอมแปร์ พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาในช่วงนี้จะทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์คมีอุณหภูมิสูงขึ้นมา ( 3,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป ) จนบางส่วนของชิ้นงานถูกหลอมละลาย นอกจากนั้นแล้วสารละลายบริเวณที่เกิดการสปาร์คก็จะถูกความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้กลายเป็นก๊าซไป และเกิดความดันที่สูงมากเป็นบางส่วน

เมื่อการสปาร์คเริ่มขึ้น เนื่องจากว่ามีฉนวน ( สารละลาย ) อยู่ระหว่างขั้วจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วต่ำลง

$$E = IR \quad ( \text{ตามกฎของโอห์ม} )$$

แรงดันไฟฟ้าในช่วงนี้ เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าการสปาร์ค ( discharge )

### 2.4 เย็นตัว

ความดันที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้ส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานหลุดกระเด็นไป ซึ่งเมื่อถูกสารละลายรอบข้างดูดความร้อนออกไปก็จะเริ่มเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วกลายเป็นเศษผงชิ้นเล็ก ๆ ในช่วงที่เกิดการสปาร์คอยู่นั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลอยู่ในระดับค่าหนึ่งแต่ทว่าเมื่อพลังงานที่สะสมอยู่ในระหว่างนั้นถูกปลดปล่อยออกมาแรงดันไฟฟ้าจะต่ำลงอย่างรวดเร็ว

### 2.5 กลับคืนสู่ความเป็นฉนวน

หลังจากที่การสปาร์คหนึ่งครั้งได้จบลงกระแสไฟฟ้าจะกลับกลายเป็นศูนย์ และจะรอจนกว่าสารละลายจะกลับคืนสู่ความเป็นฉนวนโดยไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าไป การรอในช่วงนี้จะช่วยป้องกันการเกิดการสปาร์คแบบผิดปกติ เช่นการ สปาร์คซ้ำหรือสปาร์คเป็นบางจุดอันเนื่องจากการสะสมหรือทับถมจับตัวกันของอิเล็กตรอนที่ตกค้างอยู่ระหว่างขั้วหรือเศษผงที่เกิดจากการสปาร์ค ภายหลังจากที่กลับคืนสู่ความเป็นฉนวนแล้วก็จะทำการสปาร์คเช่นเดิมอีก โดยเริ่มต้นที่ 1. ใหม่

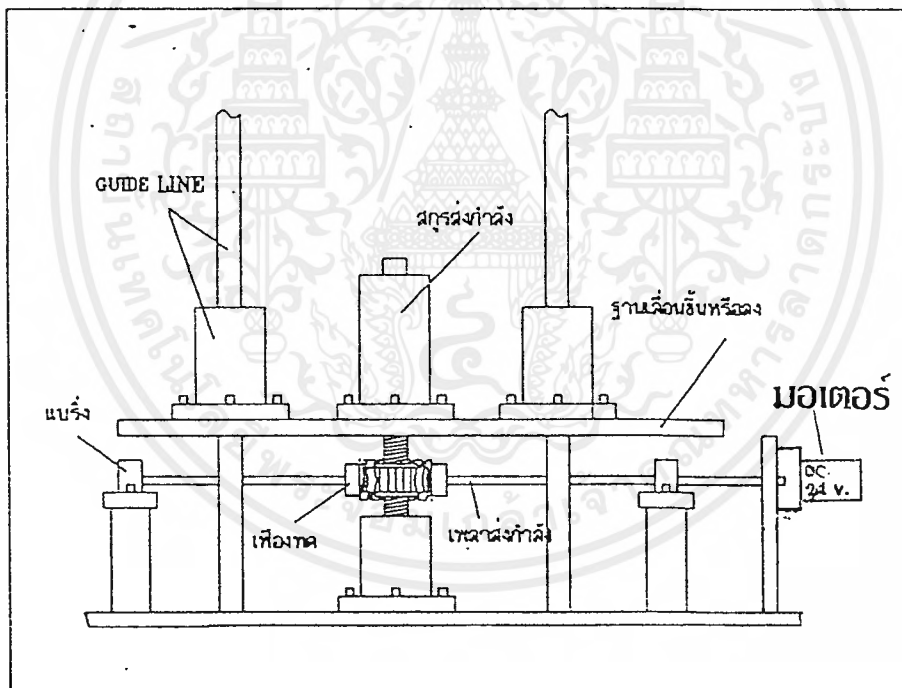
## บทที่ 3

## การดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 2

การดำเนินงานในภาคการศึกษานี้ เป็นส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องเจาะ ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

## 3.1 ระบบปรับตำแหน่งชิ้นงาน

เป็นส่วนช่วยในการปรับระดับและตำแหน่งตามต้องการในการเจาะ โดยจะใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วรอบ 299 rpm ในการส่งกำลังผ่านชุดเฟืองหนอนส่งกำลังการหมุนจากแวนอน ( หมุนด้วยมอเตอร์ ) ไปสู่แนวตั้งให้กับสกรูส่งกำลังในแนวตั้ง ทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ขึ้นลง และใช้ชุดปากกาจับชิ้นงานซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แกน ในแนวระนาบ เพื่อปรับชิ้นงานให้ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ ดังรูป



รูป 3.1 แสดงรายละเอียดของระบบปรับตำแหน่งชิ้นงาน

จากรูป เกลียวตัวหนอนเป็นชนิดหนึ่งปาก ส่วนเฟืองหนอนมีจำนวนฟัน 25 ฟัน ดังนั้นได้อัตราทด  $m = 1/25$

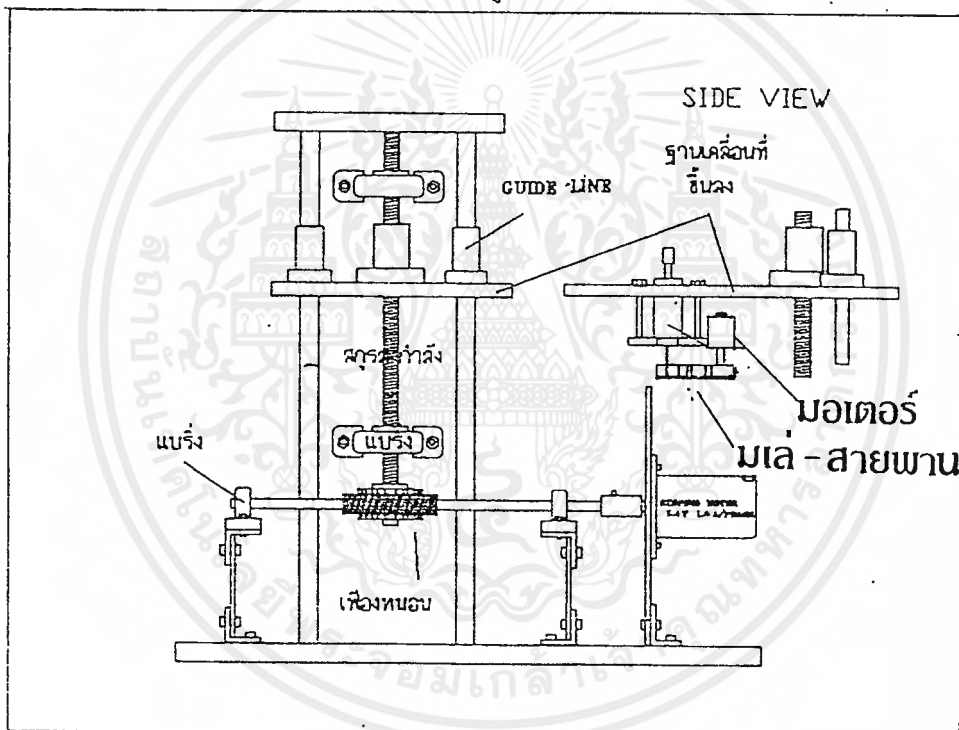
ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง โดยสกรูส่งกำลังที่ใช้เป็นชนิด M 20 x 1.5 คือ หมุน 1 รอบฐานยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ 1.5 mm ดังนั้นเมื่อเราหมุนด้วยมือ 1 รอบ ฐานยึดจับชิ้นงานก็จะเคลื่อนที่

$$1 \times \frac{1}{25} \times 1.5 = 0.06 \text{ mm.}$$

ฐานยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ ขึ้นหรือลงเป็นระยะทาง 0.06 mm. เมื่อหมุนด้วยมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบ 299 rpm

### 3.2 ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งหัวเจาะ

ใช้ชุดเฟืองหนอนเป็นตัวทดกำลังจากแนวระดับเป็นแนวตั้งเช่นกัน แต่สกรูส่งกำลังในแนวตั้งเป็นเกลียวสี่เหลี่ยมขนาด 25 x 3.2 ดังรูป



รูป 3.2 แสดงโครงสร้างหลักในการขับเคลื่อนหัวเจาะ

จากรูป จะให้อัตราทดในการควบคุมตำแหน่ง ดังนี้

เกลียวตัวหนอนเป็นชนิดเกลียว 1 ปาก ส่วนเฟืองหนอนมีจำนวนฟัน 32 ฟัน

อัตราทดจากแนวระดับเป็นแนวตั้ง  $m = 1/32$

สกรูส่งกำลังมีระยะพิต 3.2 mm. ดังนั้น Stepping Motor หมุน 1 รอบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

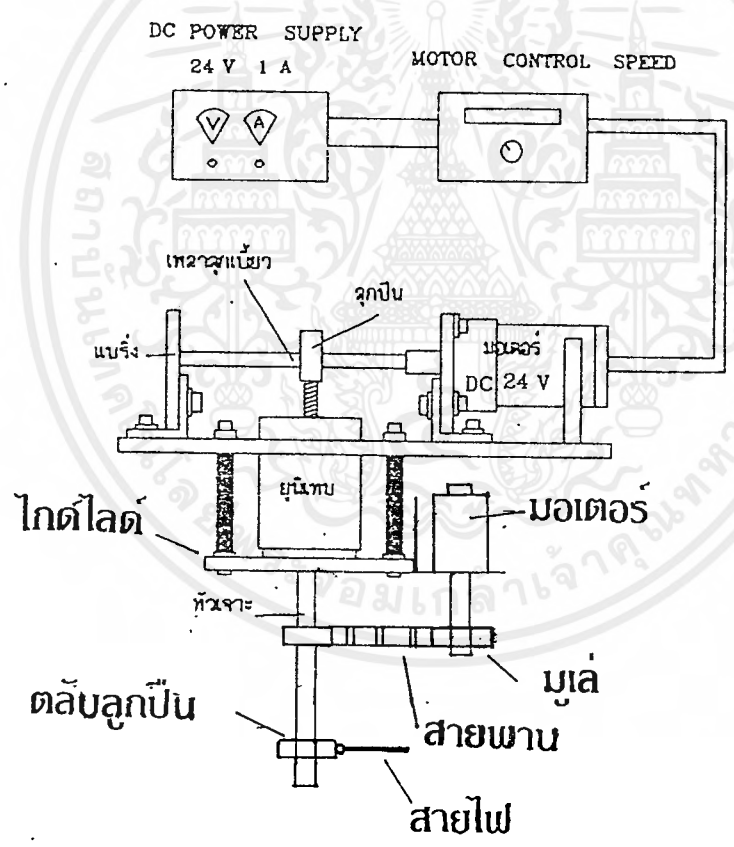
$$1 \times \frac{1}{32} \times 3.2 = 0.1 \text{ mm.}$$

Stepping Motor ที่ใช้มี Step angle = 1.8 ดังนั้น 1 Step motor ที่ทำให้ฐานยึดชุดหัวเจาะเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

$$(1.8/360) \times 0.1 = 5 \times 10^{-4} \text{ mm. หรือ } 0.5 \text{ ไมโครเมตร}$$

### 3.3 ชุดหัวเจาะ

ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านเพลาลูกเบี้ยวเพื่อให้เกิดการสั่นขึ้นลงของชุดหัวเจาะ เป็นการควบคุมจังหวะการสปาร์ก และทำให้เกิดการคายของอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสปาร์กออก โดยเพลาลูกเบี้ยวจะดันให้ตุ๊กตาเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งตุ๊กตาคงจะต่ออยู่กับขูนิเทปด้านบน ส่วนด้านล่างจะเจาะรูยึดหัวเจาะที่ทำหน้าที่สปาร์กขึ้นงานไว้ และมีแผ่นอลูมิเนียมทำหน้าที่เป็น guide โดยใช้รีดยึดกับฐานด้านบนและมีสปริงทำหน้าที่ดันแผ่นอลูมิเนียมลงมา เพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนที่กลับลงหลังจากถูกเพลาลูกเบี้ยวยกขึ้น ดังรูป



รูป 3.3 แสดงรายละเอียดของชุดหัวเจาะ

### 3.4 ชุดควบคุมความเร็วของรอยเจาะ

โดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านมูเล่และสายพาน โดยมูเล่จะติดตั้งอยู่ระหว่างแท่งหัวเจาะกับฐาน ติดตั้งมอเตอร์ เพื่อ ไปขับเคลื่อนหัวเจาะให้หมุนเพื่อทำให้ขนาดรูที่เจาะได้มีขนาดคงที่ นอกจากนั้นยังช่วย

ระบายเศษโลหะที่เกิดขึ้นหลังจากการเจาะ บางส่วนที่ยังตกค้างอยู่หลังจากการใช้น้ำระบาย เพื่อไม่ให้ตกค้างอยู่ที่รูเจาะอันจะเป็นผลให้เกิดการ short circuit และยังทำให้การสปาร์กเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

### 3.5 ระบบช่วยระบายความร้อน

จะนำพัดลมมาช่วยในการระบายความร้อนออกจากตู้บรรจุตัวต้านทาน และ capacitor ( ET-SMCC ) โดยจะดูดเอาความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อทำการใช้งานเครื่องเจาะออกไปจากตู้

### 3.6 ระบบวงจรควบคุมการทำงานต่าง ๆ

ได้นำเอาชุดวงจร รีเลย์และเตอร์ ทั้งหมด 0 - 30 V 1 A และ 0 - 30 V 2 A มาประยุกต์ใช้งานเป็นตัวจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปในภาคผนวก

### 3.7 การไล่ออนุภาคจากตะกอนบนชิ้นงานในเครื่อง EDM.

การใช้เครื่องเจาะ EDM. ( Electro-Discharge Machine ) จะมีปัญหาทางการควบคุมการสปาร์กให้เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องควบคุมสภาวะของหัวเจาะและชิ้นงานให้เหมาะสม เพื่อการสปาร์กที่มีคุณภาพที่ดี ในการสปาร์กจะเกิดอนุภาคโลหะขึ้น ซึ่งอนุภาคโลหะที่เกิดขึ้นจนทำให้การสปาร์กผิดปกติไป เราจึงแก้ปัญหาโดยการฉีดน้ำ เป็นสาร Dielectric ให้เข้าหัวถึงผิวหน้าที่มีการสปาร์กและทำหน้าที่ถ่ายเทอนุภาคโลหะออกมาจากผิวหน้าดังกล่าว ถ้าการไหลเวียนของน้ำเกิดขึ้นอย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว จะทำให้การสปาร์กเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นการไหลเวียนของน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการใช้เครื่อง EDM.

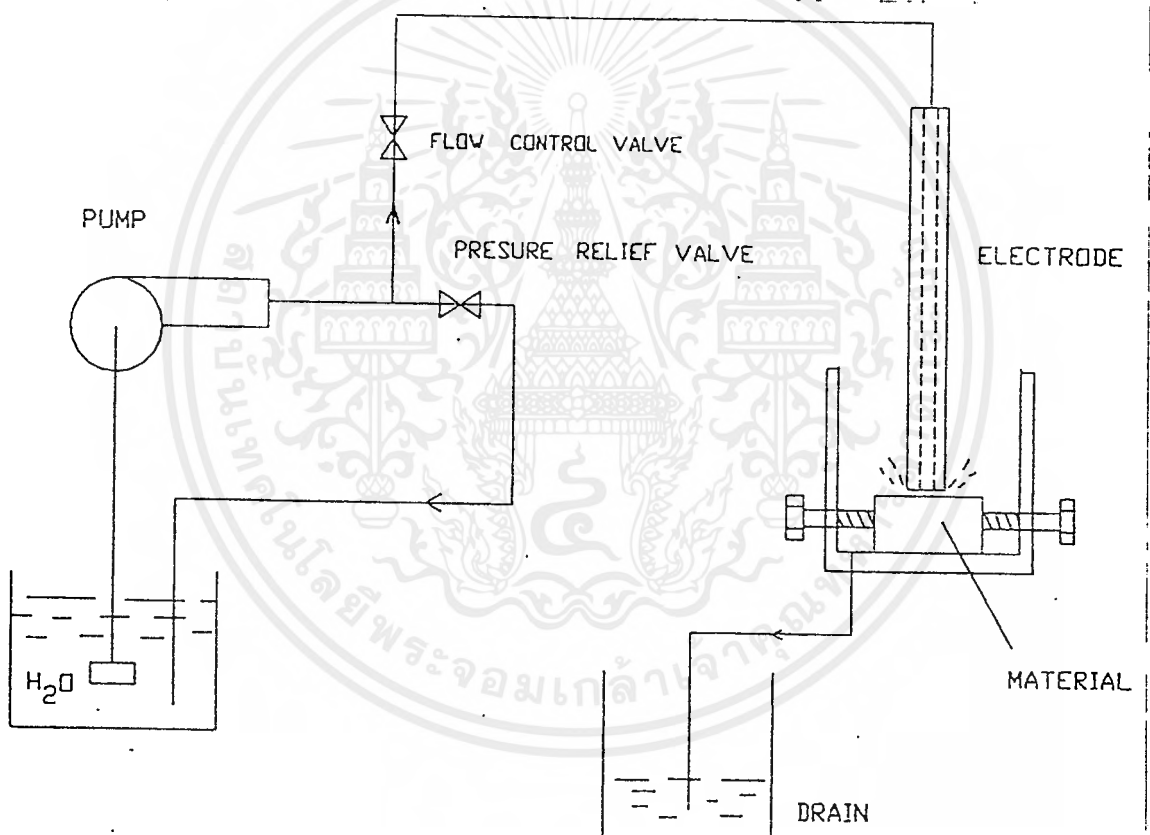
การสปาร์กถ้าขาดการไหลเวียนของน้ำหรือสาร Dielectric อื่น ๆ จะทำให้เกิดผลเสีย คือ เมื่อเริ่มต้นการสปาร์กช่วงแรก น้ำสภาวะระหว่างหัวเจาะและชิ้นงานจะมีความสะอาดอยู่ และความเป็นฉนวนสูงอยู่ ดังนั้นจะมีช่วงรอเล็กน้อยก่อนที่จะเริ่มการสปาร์กครั้งต่อไปง่ายขึ้น จนทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าต่อระหว่างหัวเจาะกับชิ้นงาน คือ เกิดการลัดวงจร ซึ่งจะมีผลทำให้การสปาร์กผิดปกติเกิดขึ้นและทำความเสียหายแก่ชิ้นงานและหัวเจาะ เราจึงป้องกันโดยการฉีดน้ำไล่ออนุภาคเหล่านั้นออกไป เพื่อควบคุมการสปาร์กให้มีประสิทธิภาพสูง

ใน PROJECT นี้ ได้ใช้การไล่ออนุภาคด้วยการฉีด โดยวิธีการฉีดน้ำ ( Injection Flushing ) ผ่านชิ้นงาน โดยจะใช้อิเล็กโทรดเข้าสู่ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานแล้วไหลออกด้านข้าง การสปาร์กที่เกิดขึ้นและการไล่ออนุภาคด้วยการฉีดผ่านอิเล็กโทรดนี้ อาจเกิดเทเปอร์ขึ้นเนื่องจากอนุภาคที่ถูกกัดกร่อนจะไหลผ่านไปตามด้านข้างของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน จึงเกิดการสปาร์กขึ้นได้ จึงต้องมีการเผื่อระยะด้านข้างในการขึ้นรูปชิ้นงานไว้ด้วย นอกจากนั้นการติดตั้ง

มอเตอร์เพิ่มเข้าไปในชุดหัวเจาะเพื่อใช้สำหรับขับเคลื่อนหัวเจาะยังสามารถช่วยไล่เศษอนุภาคของโลหะที่เกิดจากการเจาะได้

### 3.8 วงจรการฉีดน้ำใล่ออนุภาค

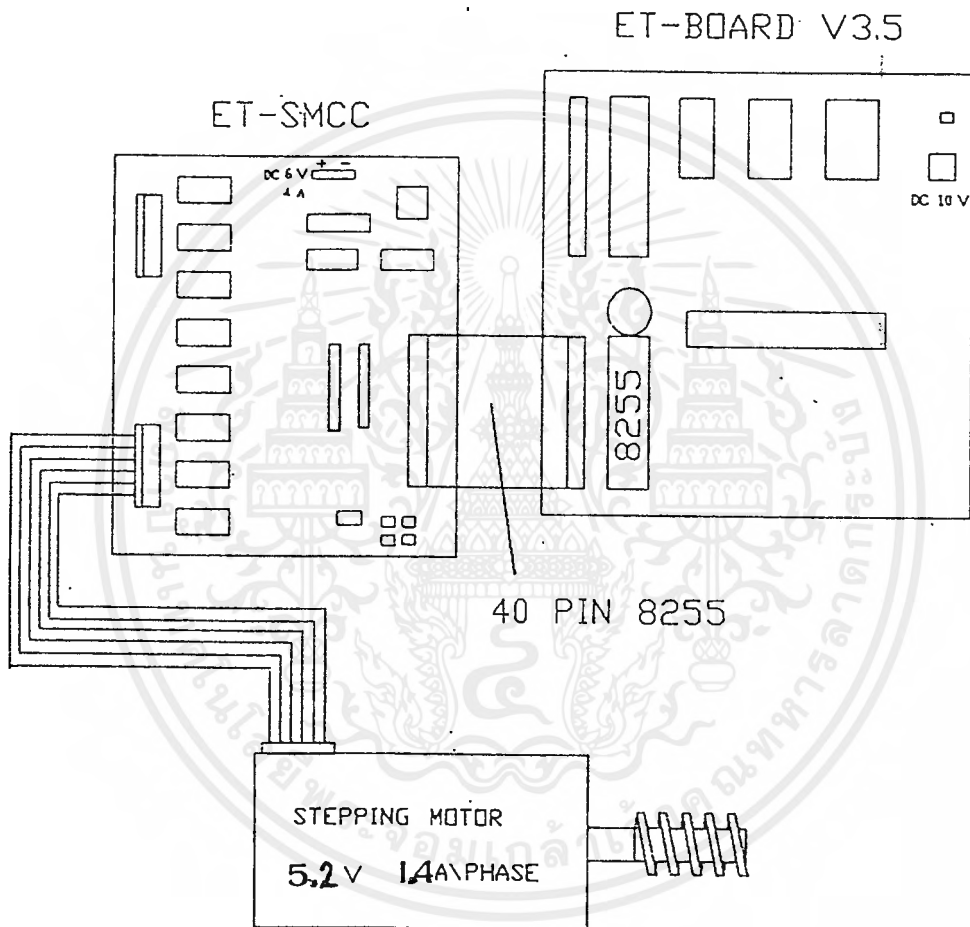
ระบบน้ำหมุนเวียนของชุดหัวเจาะ จะใช้ปั้มน้ำขนาด 1 แรงม้า ที่มีความดันสูงสุด 3 บาร์ โดยเราจะใช้วาล์วควบคุมความดันที่ 1.5 บาร์ และแบ่งน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลส่งไปใช้งานเข้าอิเล็กโทรดคู่ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน และนำอนุภาคโลหะระบายออกสู่ถังน้ำทิ้ง ดังรูป



รูป 3.4 แสดงรายละเอียดของวงจรการฉีดน้ำใล่ออนุภาค

## แสดง Board และวงจรการควบคุม Stepping Motor

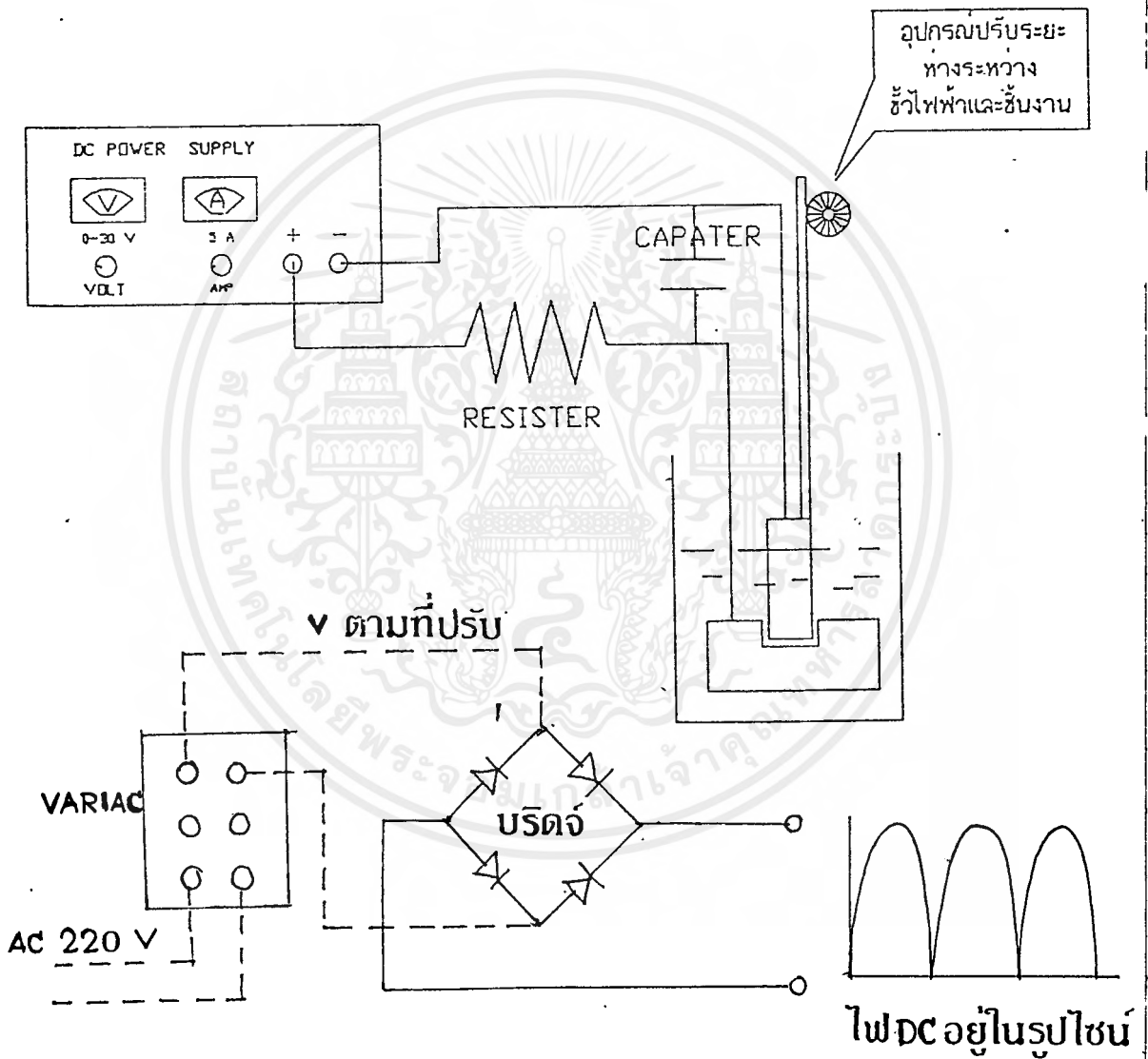
การควบคุม Stepping Motor ได้ใช้ ET-Board V 3.5 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณดิจิทัล ในการควบคุม โดยโปรแกรมให้ และ ET-Board จะทำการส่งสัญญาณผ่านทาง ET-SMCC ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอีกทอดหนึ่ง โดยจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับ Stepping Motor ตามคำสั่งของ ET-Board V 3.5 ให้มอเตอร์หมุนในทิศทางและสปีด ที่ต้องการ ดังผังวงจรข้างล่างนี้



รูป 3.5 แสดง Board และวงจรควบคุม Stepping Motor

### วงจรไฟฟ้าป้อนให้กับหัวเจาะ EDM. ประกอบด้วย

DC Power Supply ขนาด 150 VA 0-30 V. กระแสสูงสุด 10 A. เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงในการสปาร์ก ผ่านความต้านทาน ขนาด  $12.5 \Omega$  ( $25 \Omega$  100 วัตต์ 2 ตัวขนานกัน แต่มีทั้งหมด 4 ตัว เพื่อใช้ในการปรับค่า) จากนั้นใช้คาปาซิเตอร์ต่อคร่อมระหว่างชิ้นงานและหัวเจาะ ( ระวังอย่ากลับขั้ว และต้องใช้คาปาซิเตอร์ที่มีค่า Voltage สูงๆ ) เพื่อเป็นตัว Discharge พลังงานให้กระแสไฟฟ้าขึ้นสูงหรือมีขนาดใหญ่ในระยะเวลาสั้น ให้ได้พลังงานสูงเพียงพอกับการหลอมละลายโลหะออกในการสปาร์กแต่ละครั้ง ดังรูปวงจร



รูป 3.6 แสดงวงจรไฟฟ้าป้อนให้กับหัวเจาะ

## บทที่ 4

## การทดลอง

ขั้นตอนในการทดลอง

1. ตัดชิ้นงานขนาดตามต้องการ นำลงจับยึดในกระบอกลูกเหล็ก -ปรับตำแหน่งให้ตรงหัวเจาะ
2. นำฝาครอบแก้วครอบเพื่อป้องกันน้ำกระเด็น และเป็น guide line ของหัวเจาะครอบลงร่องให้เรียบร้อย
3. ปรับระยะห่างของหัวเจาะ (जूไฟฟ้า) ให้ห่างชิ้นงานประมาณ 0.3 มม. แล้วค่อยๆ ลดระดับของหัวเจาะลง
4. เปิดปั้มน้ำปรับความดันไว้ที่ 1.5 บาร์
5. เปิด Power Supply เพื่อใช้ในการสปาร์ค และตั้งแรงดันไว้ที่ 30 V. หรือใช้ VARIAC แล้วปรับค่า Voltage ให้ได้ตามต้องการ
6. ปรับความเร็วจังหวะการสปาร์คของหัวเจาะไว้ที่ 250 รอบ / นาที
7. เปิดสวิทช์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ที่ใช้สำหรับหมุนจับหัวเจาะ
8. สั่ง ET-BOARD ให้เริ่มควบคุม Stepping Motor หมุนเพื่อเริ่มการสปาร์ค โดยสังเกตจากระดับของหัวเจาะ
9. ทำการเจาะชิ้นงานจนชิ้นงานทะลุ โดยสังเกตจากระดับของหัวเจาะ แล้วปล่อยให้หัวเจาะเจาะต่อลงไปอีกประมาณ 3 mm. เพื่อให้ชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้น
10. คอยควบคุมตรวจสอบการไหลของน้ำ แรงดันไฟฟ้าและกระแสในการเจาะจนทะลุ เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่เกิดขึ้น

**หมายเหตุ** จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อใช้ไฟจาก Power Supply ( Pure DC ) จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ Voltage สูงขึ้น วงจรจะกินกระแสลดลง อาจสรุปได้ว่า สำหรับ Voltage 24 V จะใช้กระแสประมาณ 10 A และสำหรับ Voltage 30 V จะใช้กระแสประมาณ 8 A

แต่ถ้าใช้ VARIAC ในการจ่ายไฟ จะให้ผลตรงกันข้าม เนื่องจากกระแสที่ใช้ยังคงเป็นรูป sin ซึ่งไม่ใช่ Pure DC

ตารางผลการทดลอง (เก่า)

ชิ้นงาน	เหล็กกล้า ไฮสปีด	เหล็กกล้า ไฮสปีด	เหล็กกล้า ไฮสปีด	เหล็กกล้า ไฮสปีด	เหล็กกล้า ไฮสปีด
ความหนา(mm.)	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
แรงดัน(V.)	30-	30	30	30	30
ความต้านทาน( $\Omega$ )	10	10	10	6.25	3
คาปาซิเตอร์( $\mu$ F)	1000	1000	3200	1000	3200
อัตราการป้อนหัวเจาะ(mm./min.)	0.03	0.15	0.15	0.15	0.33
กระแสไฟฟ้าขณะเจาะ(A)	1.5	1.8	1.8	2.1	3.0
เวลาเจาะ(hr.)	4:13	1:28	1:35	1:31	0:30

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลองเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง (ใหม่ )

ชิ้นงาน	เหล็กกล้า ไฮสปีด 1	เหล็กกล้า ไฮสปีด 2	เหล็กกล้า ไฮสปีด 3	เหล็กกล้า ไฮสปีด 4	เหล็กกล้า ไฮสปีด 5
ความหนา(mm.)	1.95	1.95	9.0	9.0	11.5
แรงดัน(V.)	30	30	30	30	30
ความต้านทาน( $\Omega$ )	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
คาปาซิเตอร์( $\mu$ F)	300	300	300	300	300
อัตราการป้อนหัวเจาะ ( mm./min. )	0.095	0.095	0.095	0.1	0.1
กระแสไฟฟ้าขณะเจาะ(A)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
เวลาเจาะ(hr.)	0:21	0:23	1:45	1:35	1:55

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดลองใหม่

ชิ้นงาน	เหล็กกล้า ไฮสปีด 6	เหล็กกล้า ไฮสปีด 7	เหล็กกล้า ไฮสปีด 8	สแตนเลส
ความหนา(mm.)	2.0	1.95	1.95	5.0
แรงดัน(V.)	40	40	30	40
ความต้านทาน( $\Omega$ )	25	25	25	25
คาปาซิเตอร์( $\mu$ F)	300	300	300	300
อัตราการป้อนหัวเจาะ(mm. /min.)	0.07	0.1	0.07	0.03
กระแสไฟฟ้าขณะเจาะ(A)	0.5	0.5	0.5	0.75
เวลาเจาะ(hr.)	3:00	0:20	0:30	2:35

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการทดลองใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปและวิจารณ์

สรุปและวิจารณ์

1. ผลที่ได้จากการเจาะด้วยเครื่องเจาะที่มีการพัฒนาประสิทธิภาพแล้วโดยการขับเคลื่อนหัวเจาะให้หมุน เป็นผลให้ชิ้นงานที่ได้จากการเจาะมีความเรียบมากขึ้น และโอกาสในการที่จะเกิดการ Short circuit ขึ้นมีน้อยมาก

2. จากการทดลองจะพบว่า ที่แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เท่าเดิมจะใช้ปริมาณกระแสลดลงมาก โดย

ก่อนการปรับปรุง ใช้กระแสประมาณ 10 A ในการเจาะ

หลังการปรับปรุง ใช้ปริมาณกระแสสูงสุดไม่เกิน 2.5 A ( ที่ 30 V / DC )

ถ้าเกิดการ Short circuit ขึ้น จะเห็นได้ว่า กระแสจะคงที่อยู่ที่ระดับประมาณ 2 A เท่านั้น ทำให้วงจรหลักที่ใช้ในการเจาะไม่ร้อนมากจนเกินไป

3. ถ้าใช้กระแสแบบ Pure DC กรณีที่ Voltage มีค่าสูงขึ้นไปจะทำให้ปริมาณกระแสที่ใช้ลดลงไป และจะทำให้รอยเจาะที่เกิดขึ้นมีความเรียบมากขึ้น

4. ในการเจาะชิ้นงาน แผงวงจรด้านหลังจะเกิดความร้อนมากทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ต่าง ๆ จึงต้องทำการติดตั้งพัดลม เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

5. เมื่อใช้หัวเจาะเจาะชิ้นงานหลาย ๆ ครั้ง จะทำให้หัวเจาะเกิดอาการตัน สังเกตได้จากเมื่อเปิดปั๊มน้ำแล้วน้ำไม่ไหลออกจากหัวเจาะ จึงต้องคอยถอดหัวเจาะออกมาแก้ไขเพื่อทำไม่ให้ตัน

6. หลังจากทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องเจาะแล้ว เวลาที่ใช้ในการเจาะจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม



## ปัญหาที่พบในโครงการ

1. จังหวะในการสั้นของหัวเจาะไม่คงที่สม่ำเสมอ เป็นผลให้อัตราการสปาร์คที่เกิดขึ้นไม่คงที่ ทำให้รอยเจาะที่เกิดขึ้นไม่เรียบเท่าที่ควร.
2. GUIDE LINE ของหัวเจาะหลวมเกินไป ทำให้หัวเจาะเกิดการส่าย ในขณะที่ทำการเจาะ เป็นผลให้รอยเจาะที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ และปลายด้านข้างของแท่งหัวเจาะเกิดการสึกหรอและตัน ทำให้ต้องเปลี่ยนและแก้ไขหัวเจาะบ่อย ๆ
3. ในการเจาะโลหะบางชนิด หัวเจาะจะเกิดอาการตัน ทำให้น้ำที่ช่วยในการระบายความร้อนและไล่เศษโลหะไม่ไหล ดังนั้นในการที่จะเปลี่ยนหัวเจาะจึงเป็นการไม่สะดวกมากนัก
4. ถ้าใช้ Power Supply ที่เป็น VARIAC จะมีปัญหากับกระแส เนื่องจากกระแสที่จ่ายออกมาจะไม่เรียบสม่ำเสมอ (Pure DC.) ตามรูป
5. ในการปรับความเร็วของ STEPPING MOTOR เพื่อที่จะทำการเจาะ จะมีผลต่ออัตราการสปาร์ค ถ้าปรับความเร็วไม่เหมาะสม จะทำให้การสปาร์คที่เกิดขึ้นไม่คงที่ สังเกตได้จากกระแสที่เกิดขึ้นไม่นิ่ง ทำให้รอยเจาะที่ออกมาไม่เรียบ ดังนั้นในการเจาะต้องเลือก Speed ที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่เจาะ

## แนวทางการปรับปรุง

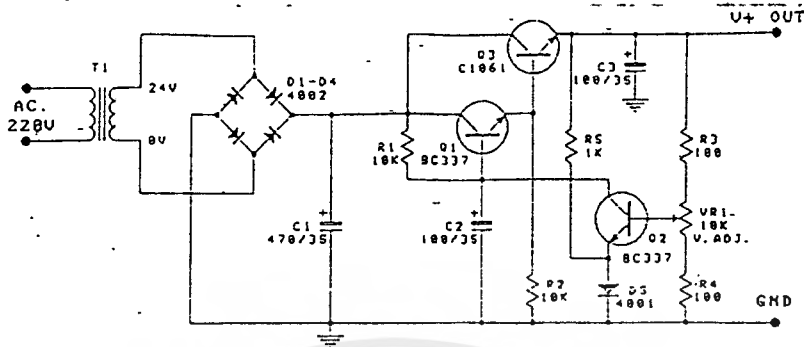
1. ควรทดลองหาค่า Speed ในการเจาะของโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ยังไม่ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการการเจาะโลหะชนิดนั้น ๆ
2. ในการเจาะชิ้นงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟจาก VARIAC คุณภาพของชิ้นงานที่ได้ออกมาจะดีกว่าชิ้นงานที่เจาะโดยใช้แหล่งจ่ายไฟจาก Power Supply แต่เนื่องจากการเจาะเราจำเป็นต้องใช้ค่า Voltage สูง ๆ ( กระแสต่ำ ) เพราะจะทำให้รอยเจาะที่ได้จากเจาะเรียบขึ้น เนื่องจากความแรงในการสปาร์คลดลง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ VARIAC เป็น Source เพราะว่า Power Supply สามารถจ่ายไฟได้สูงสุดเพียง 30 V จึงต้องใช้วงจรฟิลเตอร์ควบคู่ไปด้วยเพื่อทำให้กระแสเรียบ

## ภาคผนวก.

### ผ.1 วิธีการ OPERATE เครื่อง EDM. SMALL HOLE

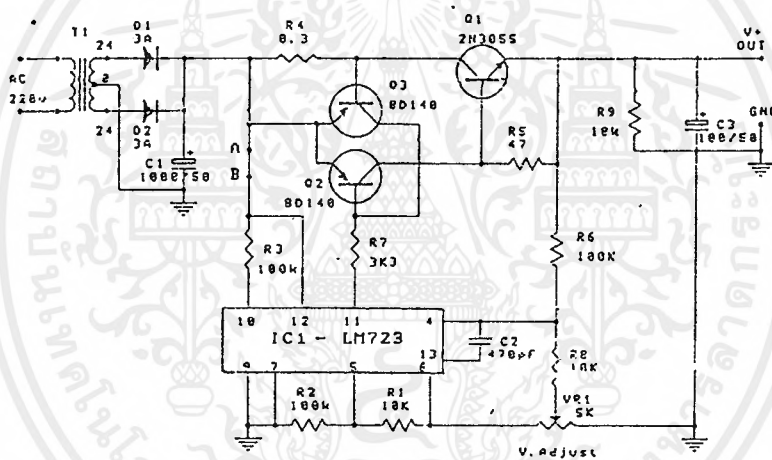
1. เปิด ET - BOARD ( V 3.5 ) โดยการเสียบ Adaptor กับไฟบ้านที่ ET - BOARD ที่หน้าจะขึ้นสัญลักษณ์ “ - “ ควรทำการ Reboot เมื่อเปิดเครื่องครั้งแรก โดยกดคีย์ MON ค้างไว้ก่อน จากนั้นกดคีย์ DEC ค้างไว้ อีกคีย์หนึ่ง จากนั้นให้ปล่อยคีย์ MON และคีย์ DEC ออกตามลำดับ
2. เสียบปลั๊กไฟของแผงวงจรทางด้านหลัง และของ Power Supply และเสียบปลั๊กไฟพัฒนาของแผงวงจรด้านหลัง เพื่อช่วยระบายความร้อน
3. นำชิ้นงานใส่ในฐานเจาะแล้วยึดให้แน่นด้วยน๊อต ทำการเลื่อนหัวเจาะกับชิ้นงานให้เข้ามาใกล้กันมากที่สุด โดยใช้มอเตอร์ที่ฐานหรือทำการเลื่อนหัวเจาะลงมา
4. เลื่อนกรอบแก้วลงมาพร้อมทั้งใช้เทปกาวพันกรอบแก้วกับชิ้นงานไว้ให้ดี
5. นำสายไฟจากวงจรหลักที่ใช้ในการเจาะไปต่อที่ตัว Bearing ที่หัวเจาะกับที่ฐานของชิ้นงาน ( สายสีแดง - ขั้วลบ , สายสีน้ำเงิน - ขั้วบวก ) โดยต้องกำหนดขั้วของชิ้นงานและหัวเจาะตามตารางที่กำหนดไว้ ( ทั้งนี้ต้องขึ้นกับชนิดของชิ้นงาน เนื่องจากหัวเจาะเป็นทองแดง )
6. ทำการเปิดปั้มน้ำ , เปิด Power Supply , เปิดมอเตอร์สำหรับสั่นหัวเจาะและมอเตอร์สำหรับหมุนหัวเจาะ แล้วนำการเจาะโดยการกดคีย์ 2 แล้วตามด้วยคีย์ RUN บน ET - BOARD
7. ทำการเจาะชิ้นงานจนกระทั่งปลายหัวเจาะเจาะผ่านชิ้นงานประมาณ 3 mm. โดยสังเกตได้จากระดับของหัวเจาะ

ผ.2 แผงวงจรควบคุมการทำงานด้านหลัง



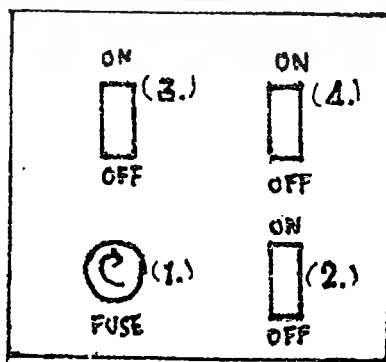
P003 REG 0-30V 1A

รูป ผ.2.1 แสดงวงจรเร็กกูเลเตอร์แบบ 0-30 V, 1 A



(P004) REGULATOR 0-30V 2A

รูป ผ.2.2 แสดงวงจรเร็กกูเลเตอร์แบบ 0-30 V, 2 A



รูป ผ.2.3 แสดงแผงวงจรควบคุมการทำงาน ในด้านหลังเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### จากรูป

หมายเลข 1 คือ ช่องสำหรับบรรจุฟิวส์ ขนาด 10 A

หมายเลข 2 คือ สวิตช์ สำหรับควบคุมการปิด - เปิด ของวงจรควบคุมการทำงานด้านหลังทั้งหมด

หมายเลข 3 คือ สวิตช์ ปิด - เปิด มอเตอร์ ที่ใช้สำหรับควบคุมการสั้น

หมายเลข 4 คือ สวิตช์ สำหรับควบคุมการปิด - เปิด ของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนหัว

เจาะ

และจากรูปวงจร Regulator จะเห็นได้ว่า มีตัวต้านทาน ( $R$ ) ที่ปรับค่าได้ ซึ่งใช้สำหรับปรับความเร็วในการสั้นของหัวเจาะ

**หมายเหตุ** วงจรอื่นๆ ไม่ควรที่จะปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน เนื่องจากเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนไปจะทำให้ค่า Voltage ของวงจรมันเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีผลกับอุปกรณ์ที่ต้องใช้ไฟจากวงจรมันๆ



### ผ.3 หลักการทำงานในการควบคุม STEPPING MOTOR

เราสามารถสั่งงานให้ STEPPING MOTOR หมุนได้ แบบง่าย ๆ 2 แบบ ตามหลักกระแสไฟฟ้าที่เราป้อนแก่เฟสต่าง ๆ ดังนี้ ( รายละเอียดของ STEPPING MOTOR ให้อ่านต่อได้จากคู่มือ ET - BOARD LAB )

1. แบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เฟสเดียววนเวียนกันไป หรือ ONE - EXCITATION หรือแบบ DRIVE คือ OUTPUT จะได้เป็น 0001 , 0010 , 0100 , 1000

HALF DRIVE

	OUT4	OUT3	OUT2	OUT1
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

การ OUT EXCITATION แบบนี้จะเกิดแรงบิดน้อย

2. แบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พร้อมกันทีละ 2 เฟส หรือ TWO - EXCITATION หรือ FULL STEP คือ 00011 , 0110 , 1100 , 1001 หมุนเวียนกันไปแบบนี้แรงบิดจะมาก

FULL STEP

	OUT4	OUT3	OUT2	OUT1
1	0	0	1	1
2	0	1	1	0
3	1	1	0	0
4	1	0	0	1

โปรแกรมควบคุมการขับ STEPPING MOTOR ผ่าน ET- board V 3.5

โปรแกรมจะถูกป้อนเป็นเลขฐานสิบหก ให้แก่ ET-board ดังนี้

ADDRESS	CODE	
2000	3E80	START: LD A, 80H ;CONTROL ORT OUT
2002	D323	OUT (PCC),A
2004*	3E11*	LD A,00010001B
2006	D320	LOOP: OUT (PA),A ;OUT STEP
2008	07	RLCA, RRCA
2009	CD0E20	CALL DELAY
200C	18F8	JR LOOP
200E	18F5	DELAY: PUSH AF
200F	2100FF	LD HL,2000H
2012	2B	DEL1: DEC HL
2013	7C	LD A,H
2014	B5	OR L
2015	20FB	JR NZ, DEL1
2017	F1	POF AF
2018	C9	RET

จากโปรแกรมข้างบนนี้ จะเห็นได้ว่า

ก. ในการปรับหัวเจาะขึ้นลงจะใช้วิธีเปลี่ยนค่า ใน address 2008 โดยถ้าจะให้หัวเจาะลง จะให้ค่าใน address นี้เป็น 07 และถ้าจะให้หัวเจาะเลื่อนขึ้นจะให้ค่าใน address นี้ มีค่าเป็น 0F

ข. ในการปรับความเร็วขึ้น-ลง ของหัวเจาะ จะใช้วิธีเปลี่ยนค่า ใน address ที่ 2010 - 2011 โดยค่าที่ป้อนจะอยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก ซึ่งดูค่าเรียงจาก 2011 ตามด้วย 2010 ถ้าต้องการปรับให้หัวเจาะเคลื่อนที่เร็วขึ้น จะต้องเปลี่ยนค่าทั้งสองที่เรียงกันนี้ให้มีค่าน้อยลง ถ้าต้องการให้หัวเจาะเคลื่อนที่ช้าลง จะต้องปรับเปลี่ยนค่าทั้ง 2 ค่าที่เรียงกันให้มีค่ามากขึ้น

ค. ที่ ADDRESS 2005 ถ้ามีค่าเป็น 11 ( ดัง โปรแกรมทางด้านบน ) จะเป็นการขับมอเตอร์แบบ HALF DRIVE แต่ถ้ามีค่าเป็น 33 จะเป็นการขับมอเตอร์แบบ FULL DRIVE

## โปรแกรมตัวอย่างการขับ STEPPING MOTOR แบบ HALF DRIVE แบบที่ 2

การใช้งานจะมี คีย์ 3 คีย์ ใช้งาน คือ คีย์ 4,5,6 โดยถ้ากดคีย์ 4 จะเป็นคีย์ที่ให้ stepping motor หมุนตามเข็มนาฬิกา ถ้ากดคีย์ 5 จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา และถ้ากดคีย์ 6.จะเป็นคำสั่งให้ run ตามโปรแกรมที่เรากดคีย์ 4 หรือ คีย์ 5

2000	3E 80	STMST	LD A, 80H	;INT
2002	D3 23		OUT (STMINT),A	
2004	DD 21 3000		LD IX, STMDAT	;ADDRESS DATA
2008	DD 22 2FFE		LD (STMBUF), IX	
200C	3E 03		LD A,CLEAR	;CLEAR DISPLAY
200E	D7		RST SYSCAL	
200F	1601		LD D,1	;DATA
2011	01 0000		LD BC,0	;NUMBER STEP
2014	D5	STM	PUSH DE	;SAVE DATA
2015	C5		PUSH BC	;SAVE NUMBER STEP
2016	CD 209A		CALL STMDL	;DELAY
2019	21 3FFD		LD HL,SYSFAG	
201C	CB 86		RES 0,(HL)	;AUTO KEY
201E	3E 80		LD A,80H	;DOT
2020	32 3FE7		LD (DISPY),A	
2023	3E 02		LD A,SCAN	;GET KEY
2025	D7		RST SYSCAL	
2026	DD 2A 2FFE		LD IX,(STMBUF)	;LOAD ADD. DATA
202A	C1		POP BC	;POP NUMBER STEP
202B	D1		POP DE	;POP DATA STEP
202C	FE	STMR	CP 4	;ROTATE RIGHT KEY4
202E	20 0F		JR NZ,STML	
2030	CD 206B		CALL STMRT	
2033	07		RLCA	
2034	FE 10		CP 10H	
2036	20 02		JR NZ,STMR1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2038 3E 01          LD A,1
203A CD 207B STMR1 CALL STMRT1
203D 18 D5          JR STM
203F FE 05          STML CP 5          ;ROTATE LEFT KEY 5
2041 20 0F          JR NZ,STMRT
2043 CD 2068          CALL STMRT
2046 0F              RRCA
2047 FE 80          CP 80H
2049 20 02          JR NZ,STML1
204B 3E 08          LD A,8
204D CD 207B STML1 CALL STMRT1
2050 18 C2          JR STM
2052 FE 06 STMRN CP 6          ;RUN STEP KEY 6
2054 20 BE          JR NZ,STM
2056 DD 2B          DEC IX          ;DATA
2058 C5              PUSH BC          ;START STEP
2059 CD 2084 STMRN1 CALL STMGO
205C 20 FB          JR NZ,STMRN1
205E C1              POP BC
205F CD 2084 STMRN2 CALL STMGO          ;FINAL
2062 DD 23          INC IX
2064 DD 23          INC IX          ;ADDRESS+1
2066 20 F7          JR NZ,STMRN2
2068 3E 00 STMEN LD A,MON          ;END
206A D7              RST SYSCAL
206B 3E 06 STMRT LD A,6          ;STEP ROTATE
206D D3 02          OUT (DIGIT),A          ;DISPLAY FLAG
206F 7A              LD A,D
2070 DD 77 00          LD (fX+0),A
2073 D3 01          OUT (SEGM),A
2075 D3 20          OUT (STMOP),A          ;OUT STEP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2077* CD 20A5*          CALL STMDL          ;STEP DELAY
207A C9                 RET
207B 57          STMRT1 LD D,A          ;STEP EXECITATION
207C DD 23                INC IX
207E DD 22 2FEE         LD (STMBUF),IX    ;STEP
2082 03                 INC BC          ;STEP+1
2083 C9                 RET
2084 C5          STMGO   PUSH BC
2085 3E 06                LD A,6
2087 D3 02                OUT (DIGIT),A    ;FLAG
2089 DD 7E 00            LD A,(IX+0)
208C D3 01                OUT (SEGM),A
208E D3 20                OUT (STMOP),A   ;OUT
2090* CD 209A*          CALL STEMDL        ;STEP DELAY
2093 C1                 POP BC
2094 DD 2B                DEC IX
2096 0B                 DEC BC
2097 78                 LD A,B
2098 B1                 OR C
2099 C9                 RET
209A 08          STMDL   EX AF,AF'
209B 21 1500            LD HL,1500H      ;DELAY
209E 2B          STMDL   DEC HL
209F 7C                 LD A,H
20A0 B5                 OR L
20A1 20 FB             JR NZ,STMDL1
20A3 08                 EX AF,AF'
20A4 C9                 RET
20A5 08
20A6 21 0005
20A9 2B

```

20AA 7C

20AB B5

20AC 20 F8

20AE 08

20AF C9

END;

**หมายเหตุ** ที่ \* ไว้ เป็นค่า speed ของ stepping motor สำหรับการหมุนขึ้น - ลง ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

รศ. ทวี เทศเจริญ ที่ให้คำปรึกษาตลอดในการดำเนินงานจนทำให้ปริญา  
นิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง

คุณ มณฑา เทียมเมือง ที่คอยให้ความสะดวกและช่วยเหลือในการทำงาน  
เพื่อน ๆ ทุกท่าน ที่คอยช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำปริญยานิพนธ์มา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

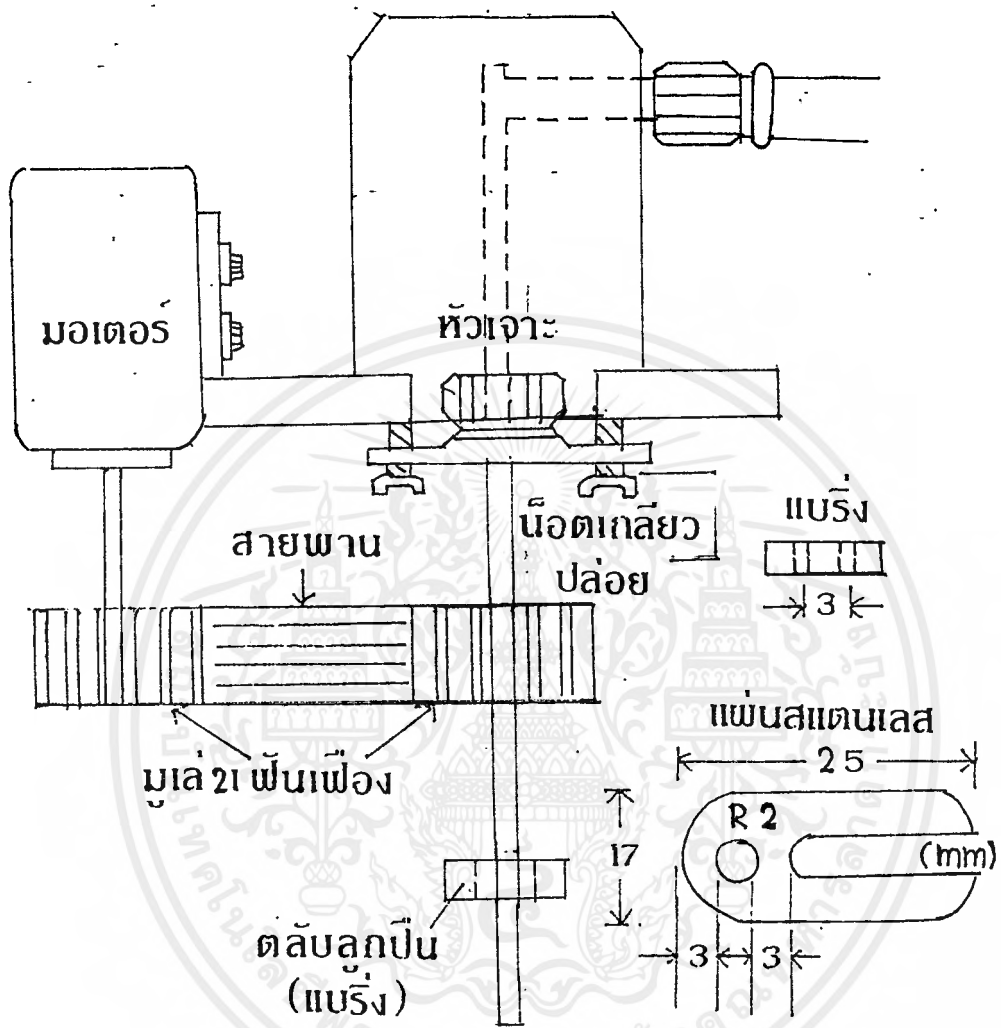
เอกสารการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง “ การประยุกต์ใช้เครื่อง EDM. ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ละเอียด ”, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม , 2534

“ Z - 80 ET - BOARD SINGLE BOARD MICROCOMPUTER “ , ETT CO , LTD , 2532.

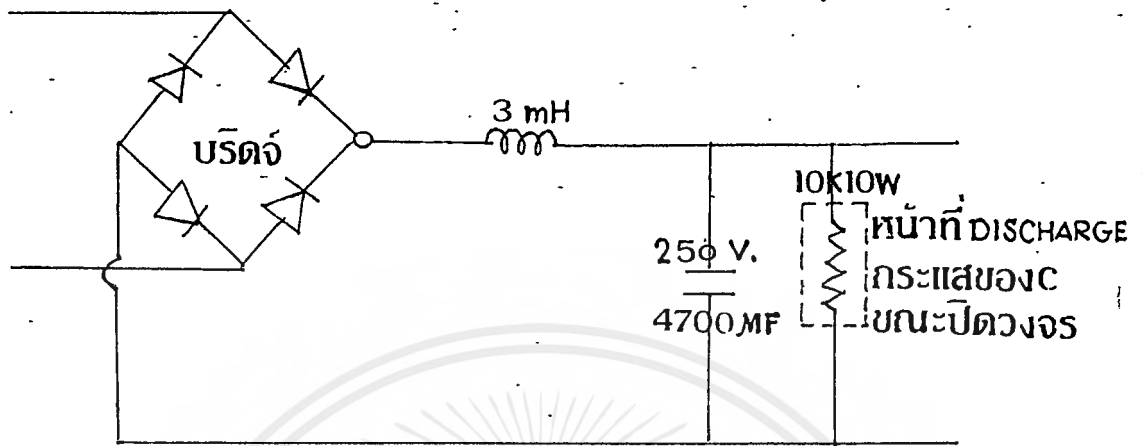
วิธีการไล่อนุภาคของกากตะกอนบนชิ้นงานในเครื่อง EDM. , รศ. ชีระยุทธ สุวรรณประทีป , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

“ ET - SMCC STEPPING MOTOR CONTROL “ , BY ETT CO, TLD.

“ เข้าใจ / สร้าง / เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ เล่ม 1 “ , บริษัท ETT จำกัด , 2538

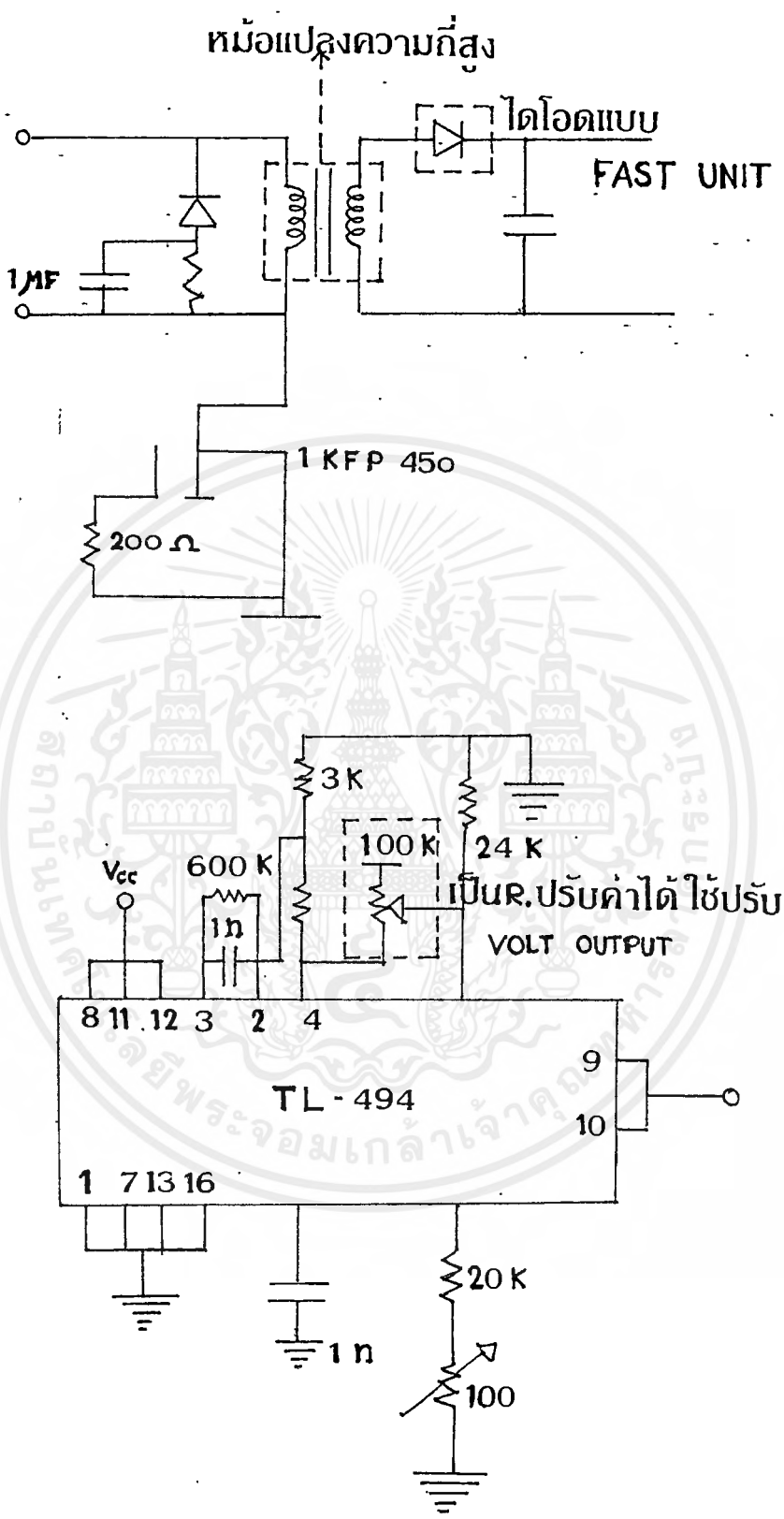


รูป แสดงรายละเอียดของหัวเจาะที่ปรับปรุงใหม่



รูป ตัวอย่างวงจรที่ใช้ในการปรับกระแส DC ที่ได้จาก VARIAC ให้เรียบ แบบที่ 1

วงจรดังรูปด้านบนเป็นวงจรที่ใช้ในการปรับกระแส DC ที่อยู่ในรูป sin แต่เหมาะสำหรับให้ค่า Voltage ที่จุด 1 , จุด 2 มีค่าเดียว ซึ่งไม่เหมาะกับ Project นี้ ค่า L และ C ในรูปเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณตรงจุดที่คิดว่า Optimum แต่เนื่องจากกระแสที่ใช้เป็นไฟบ้าน ( 220 V , 50 Hz ) ซึ่งมีความถี่ต่ำ ตัว L ที่ใช้จึงต้องมีขนาดใหญ่มาก ๆ ซึ่งไม่มีขายในท้องตลาด



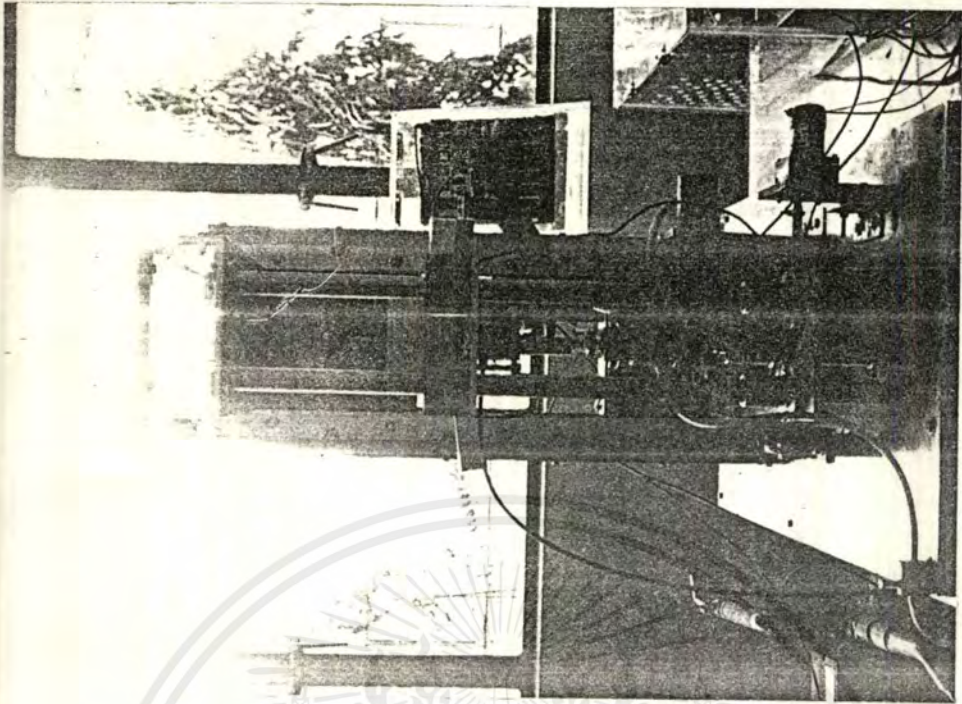
รูป ตัวอย่างวงจรที่ใช้ในการปรับกระแส DC ที่ได้จาก VARIAC ให้เรียบ แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

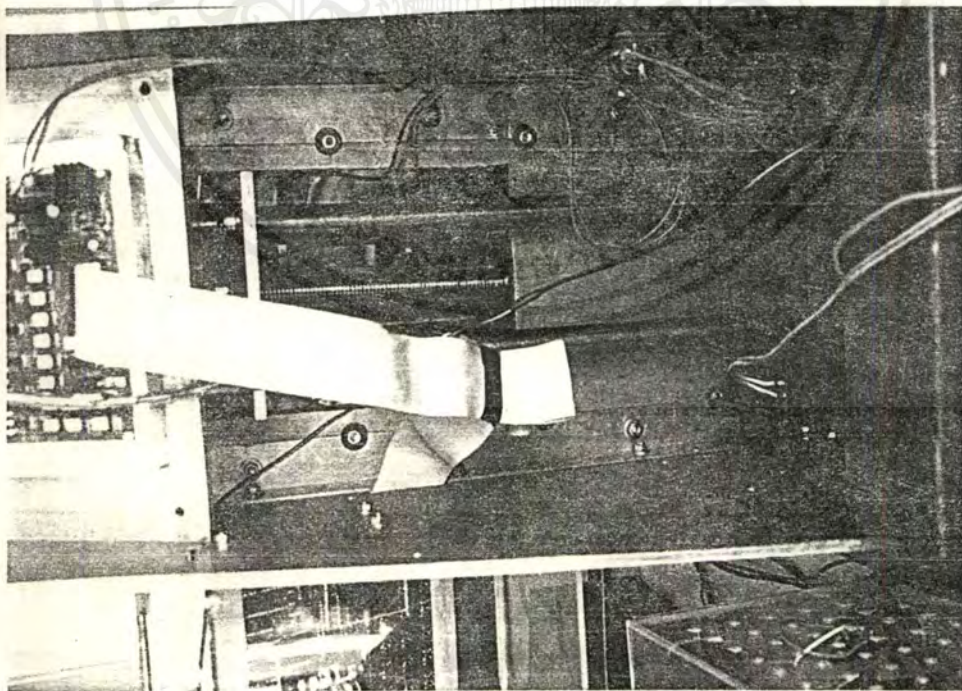
โดยวงจรด้านบนมีหลักการทำงานดังนี้ คือ วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟจาก AC เป็น DC ความถี่สูง และแปลงจาก DC ความถี่สูง เป็น AC ความถี่สูง แล้วแปลงจาก AC ความถี่สูงเป็น DC ใช้อดี. loss ของวงจรมีค่าต่ำมาก และเป็น PURE DC  
ข้อเสีย DC OUTPUT ที่ได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม load ซึ่งไม่แน่นอน ทำให้ OUTPUT ที่ออกมาไม่ค่อยดีเท่าที่ควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

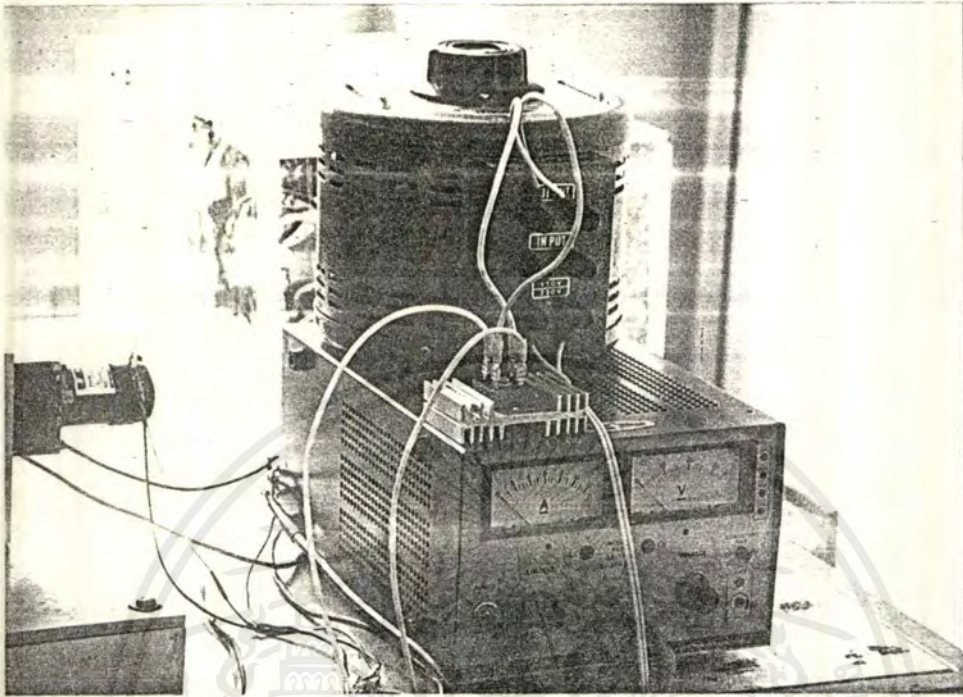


รูป แสดงเครื่องเจาะด้านหน้า

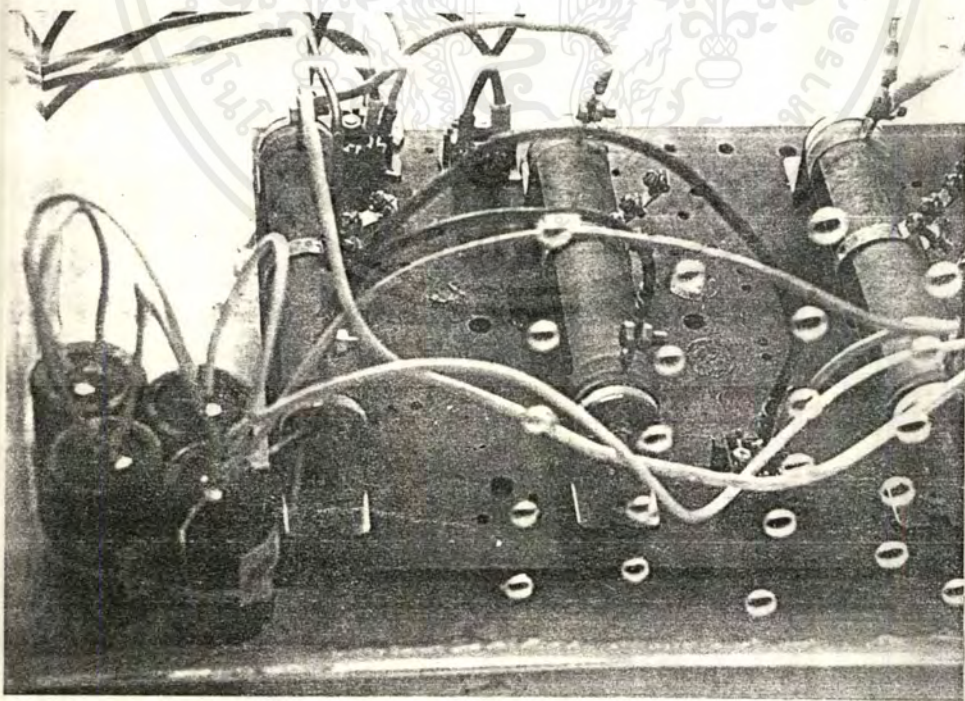


รูป แสดงตัวเครื่องด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

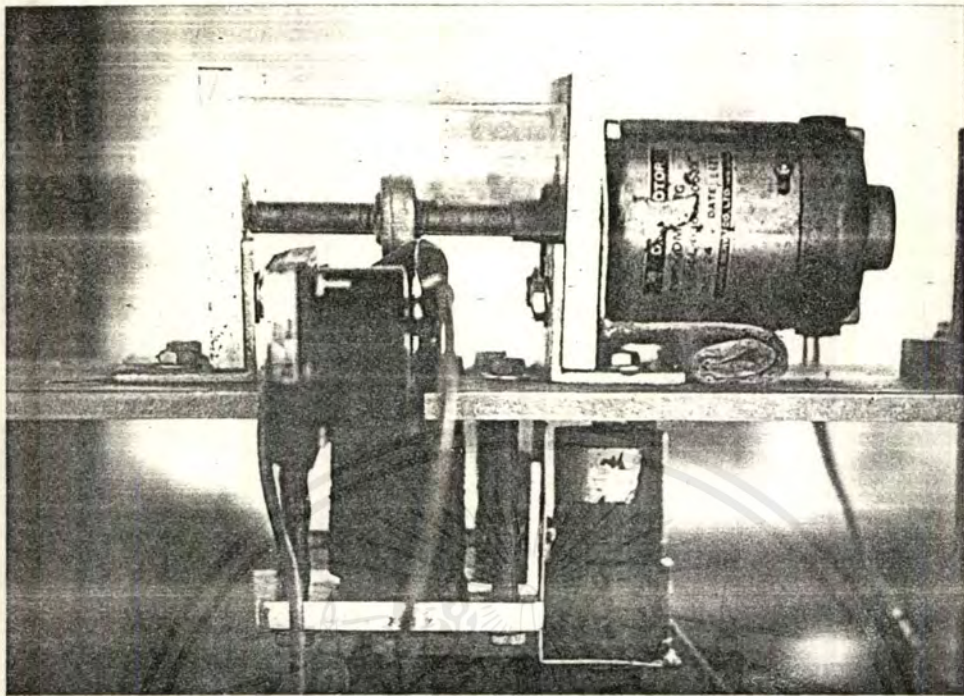


รูป แสดง Power Supply

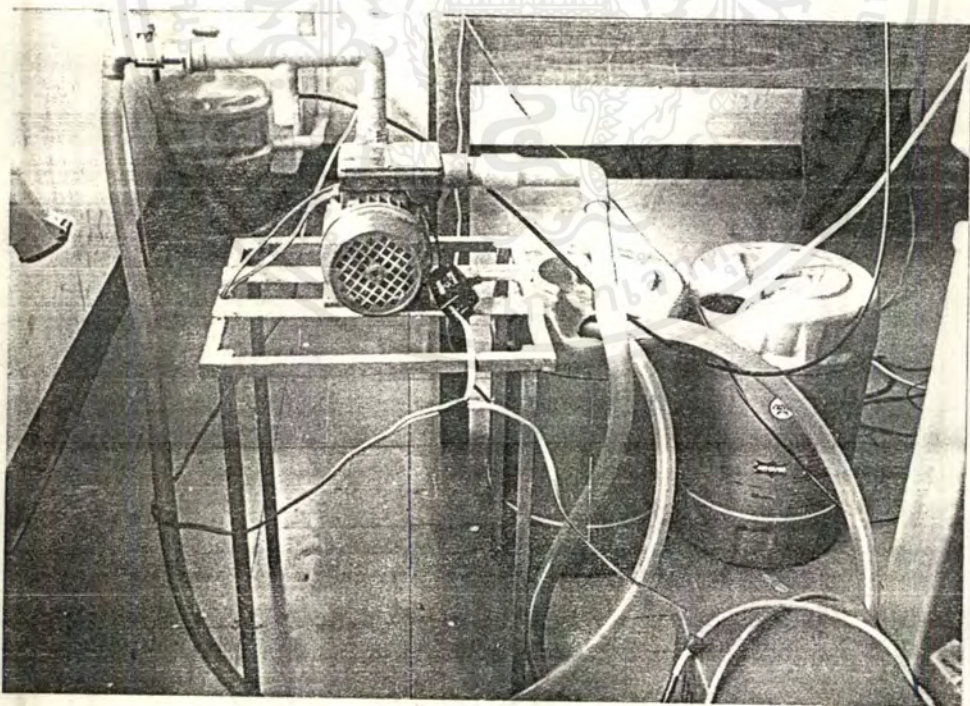


รูป แสดงวงจร RC ที่ใช้ในการปรับกระแสในการเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

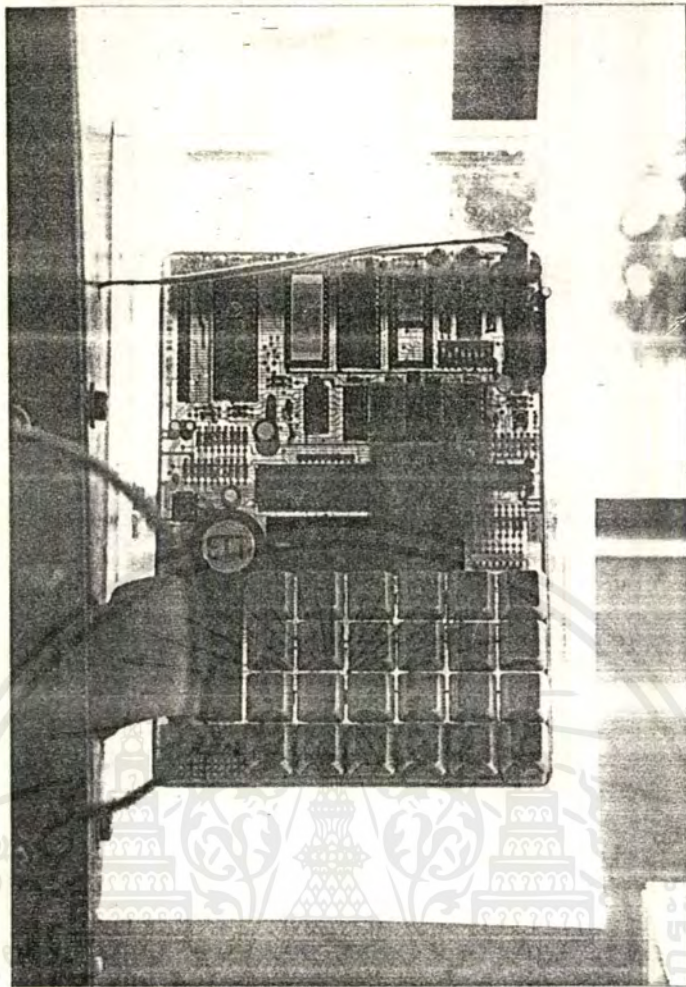


รูป แสดงชิ้นส่วนของหัวเจาะ

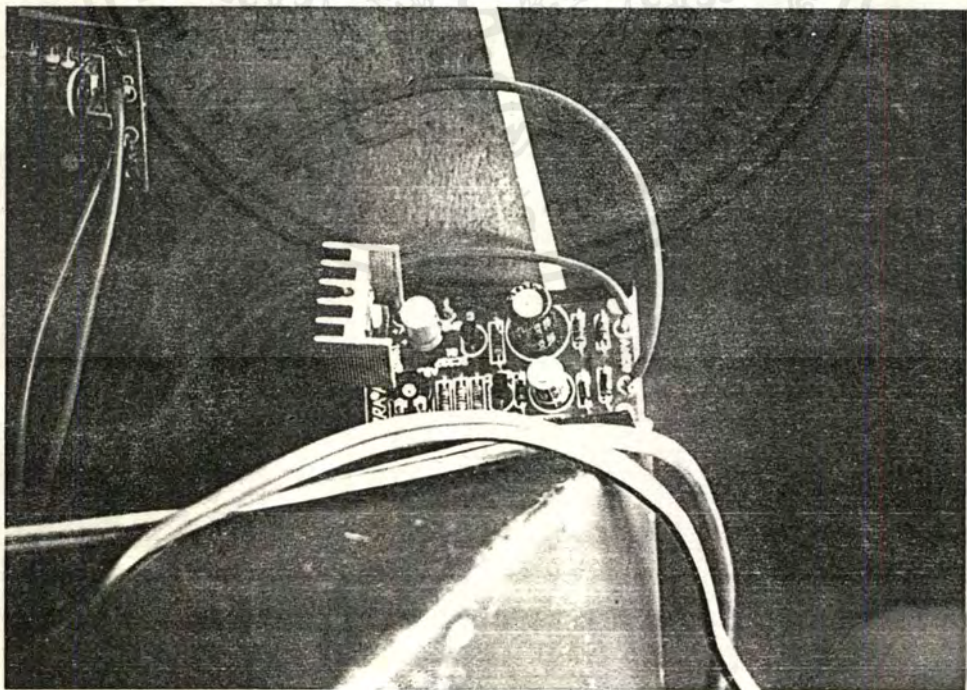


รูป แสดงปั้มน้ำที่ใช้ขับน้ำมาไล่นุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

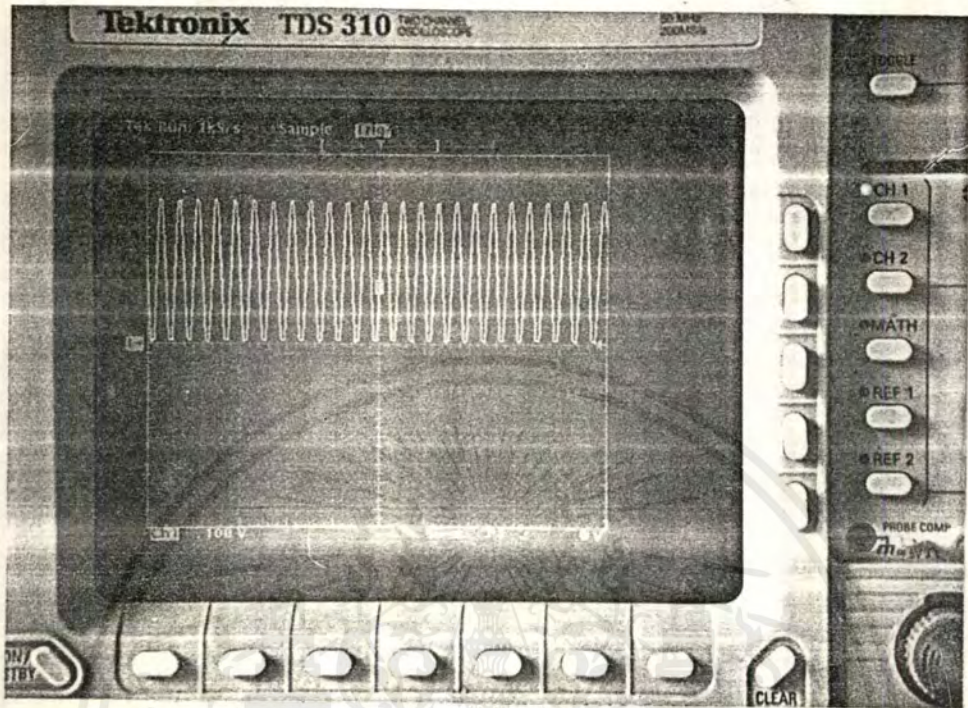


รูป แสดงแผงวงจร ET - BOARD

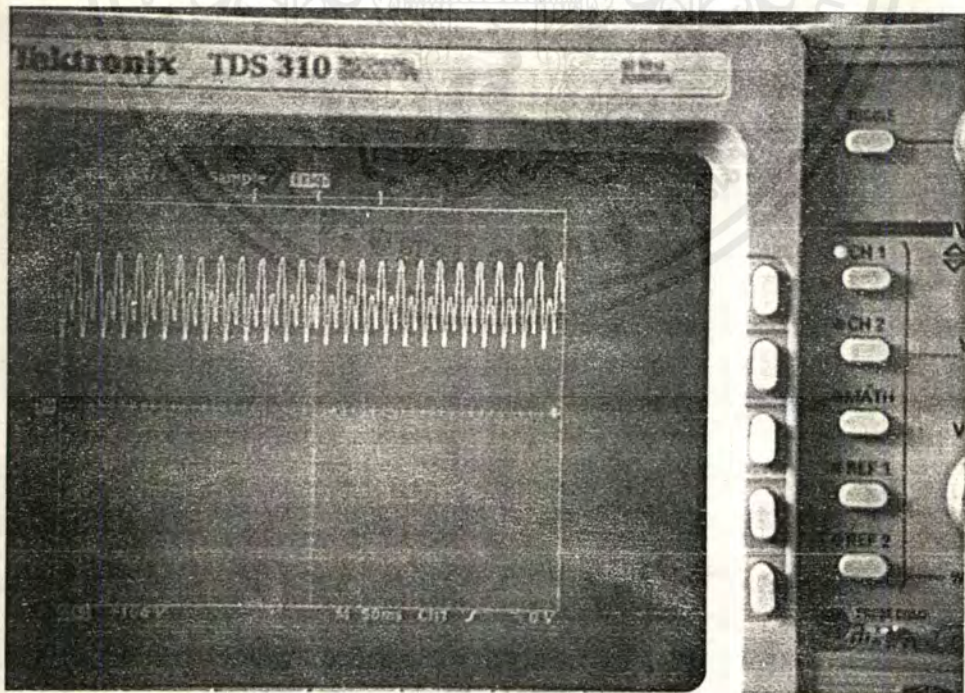


รูป แสดงวงจร Regulator 30 V , 1 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

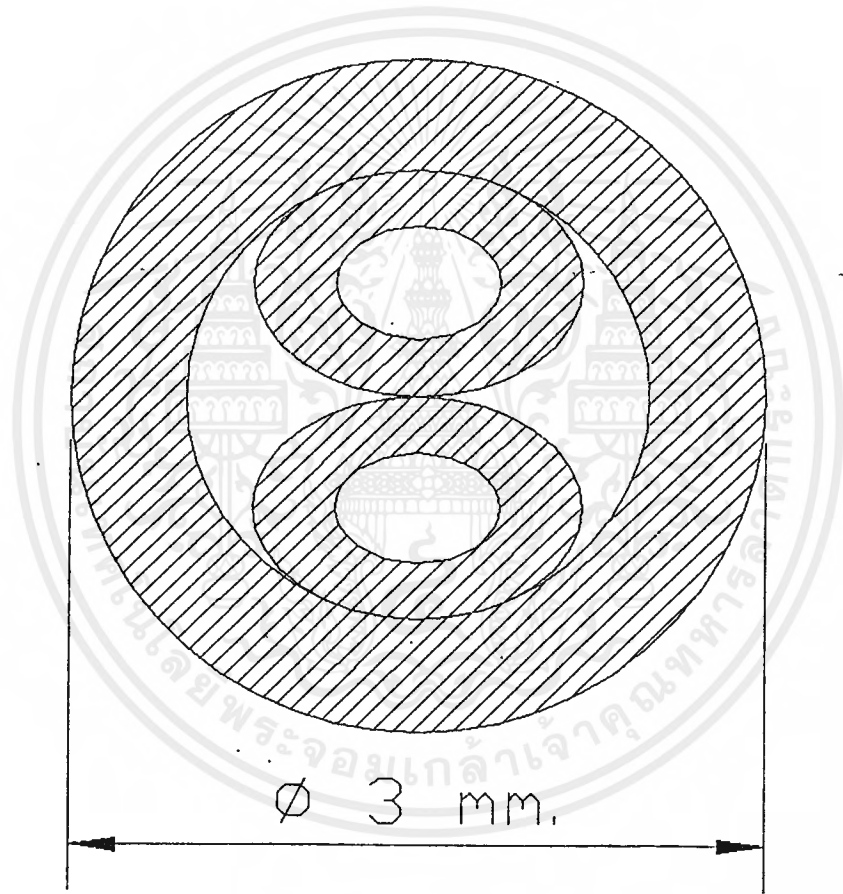


รูป แสดงกระแสไฟเมื่อ SET VARIAC เป็น 0 V.

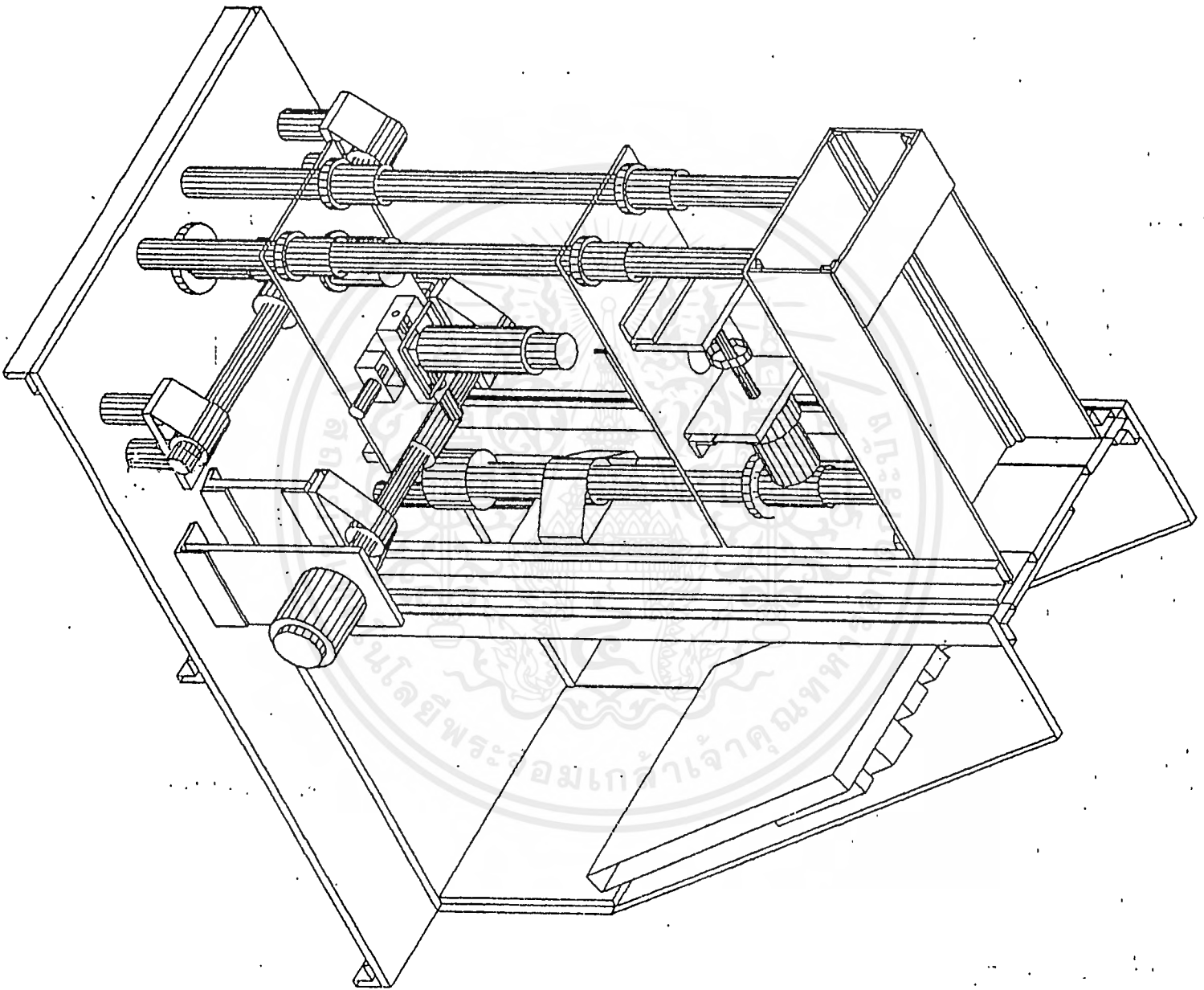


รูป แสดงกระแสไฟเมื่อ SET VARIAC เป็น 150 V.

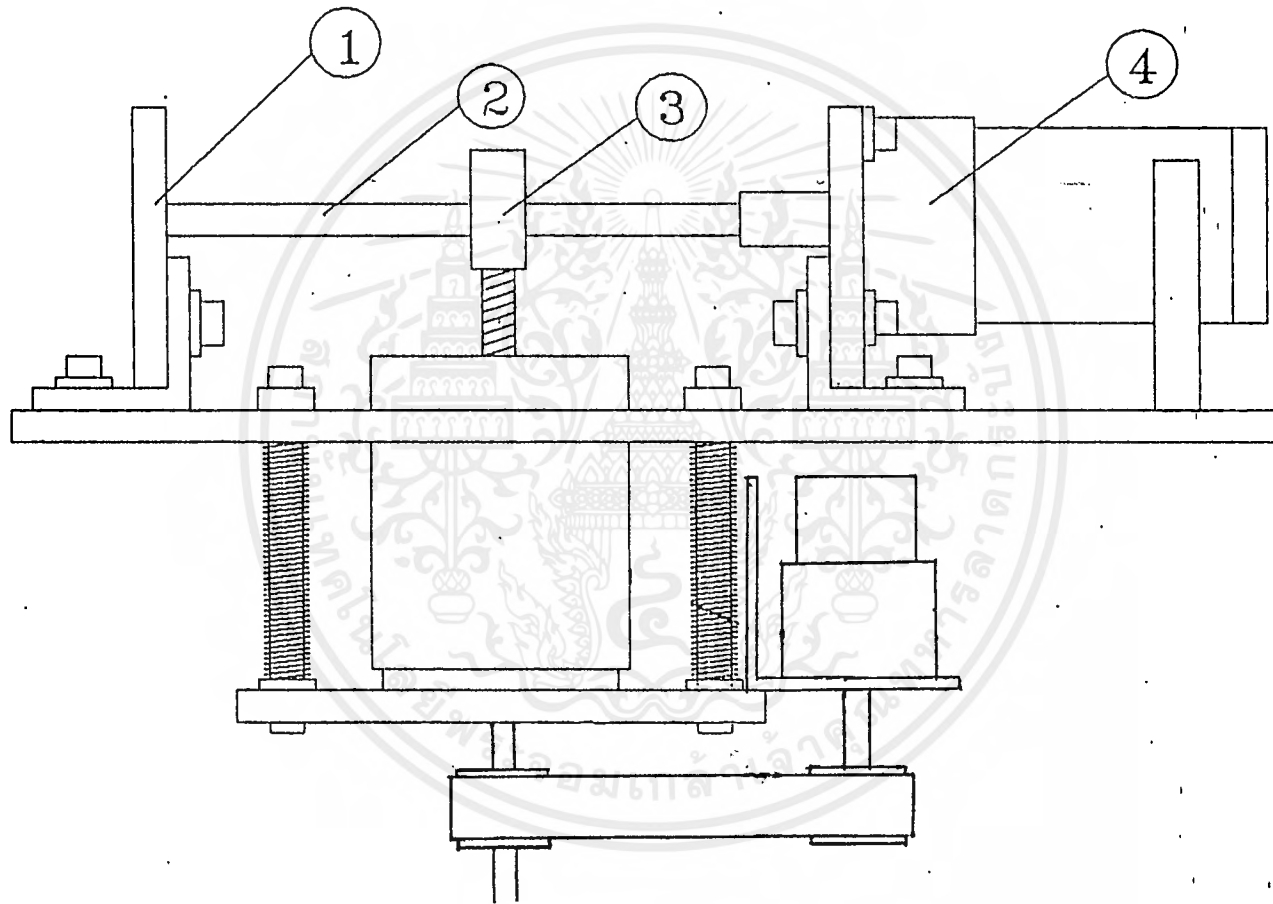
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



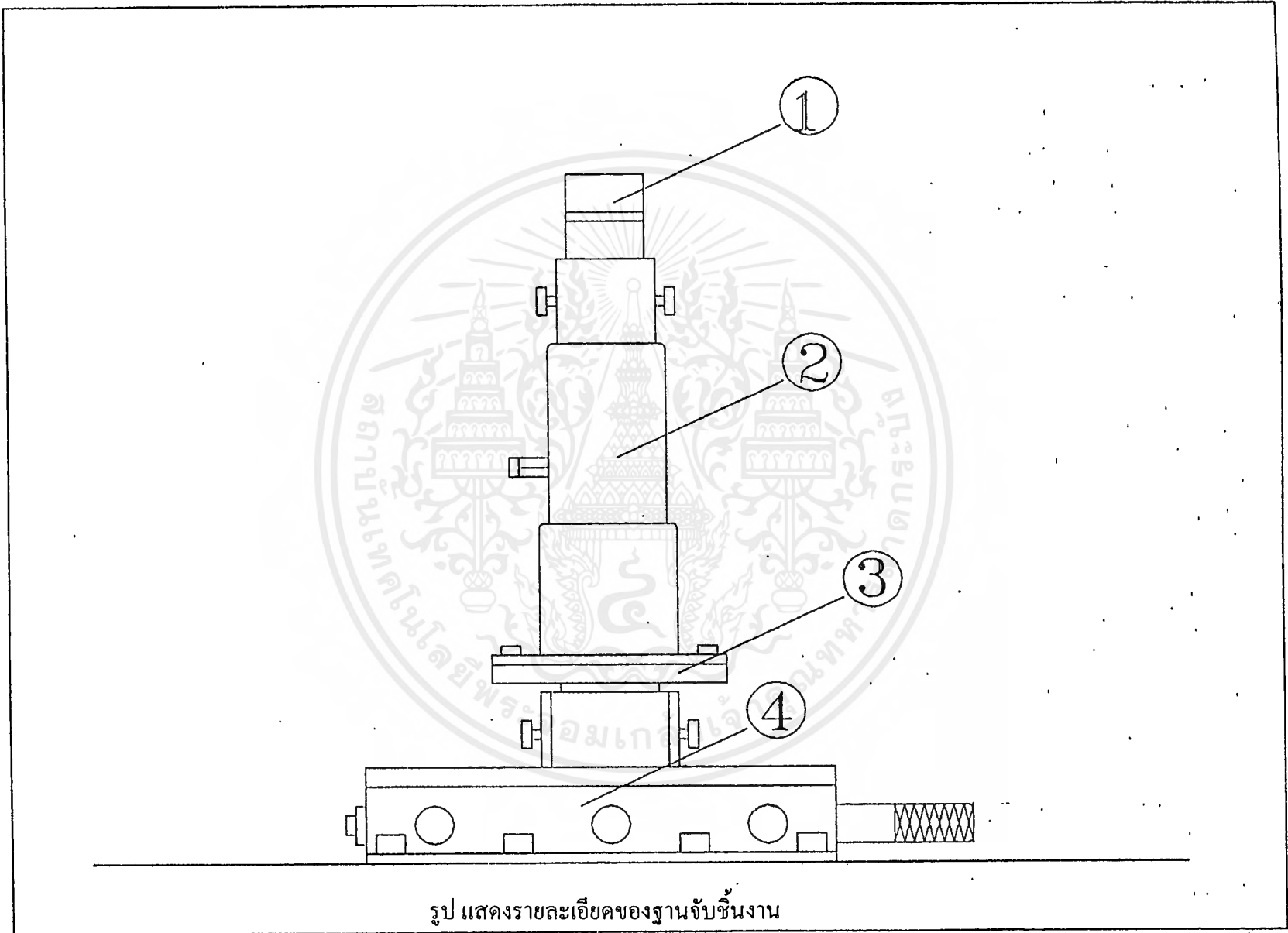
รูป แสดงภาพตัดของหัวแฉะ



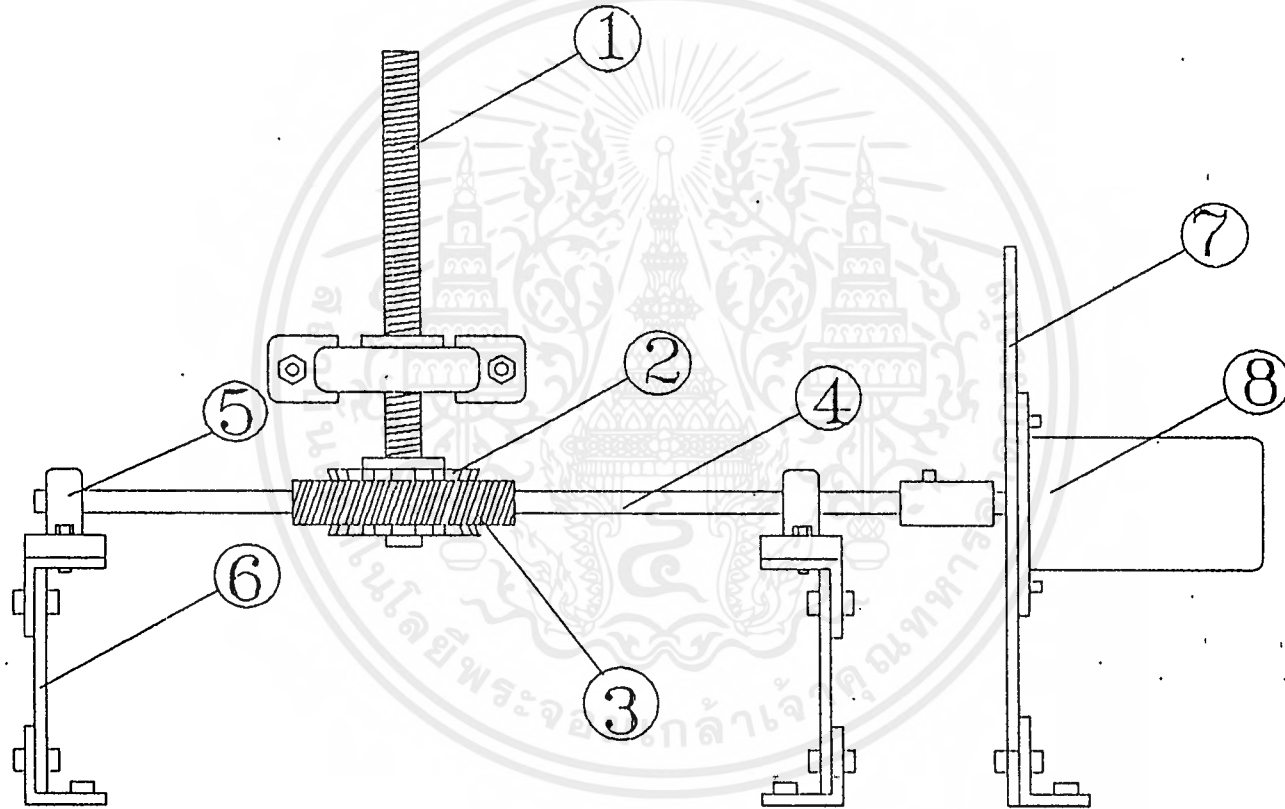
รูป แสดง โครงสร้างทั้งหมดของเครื่องเจาะ



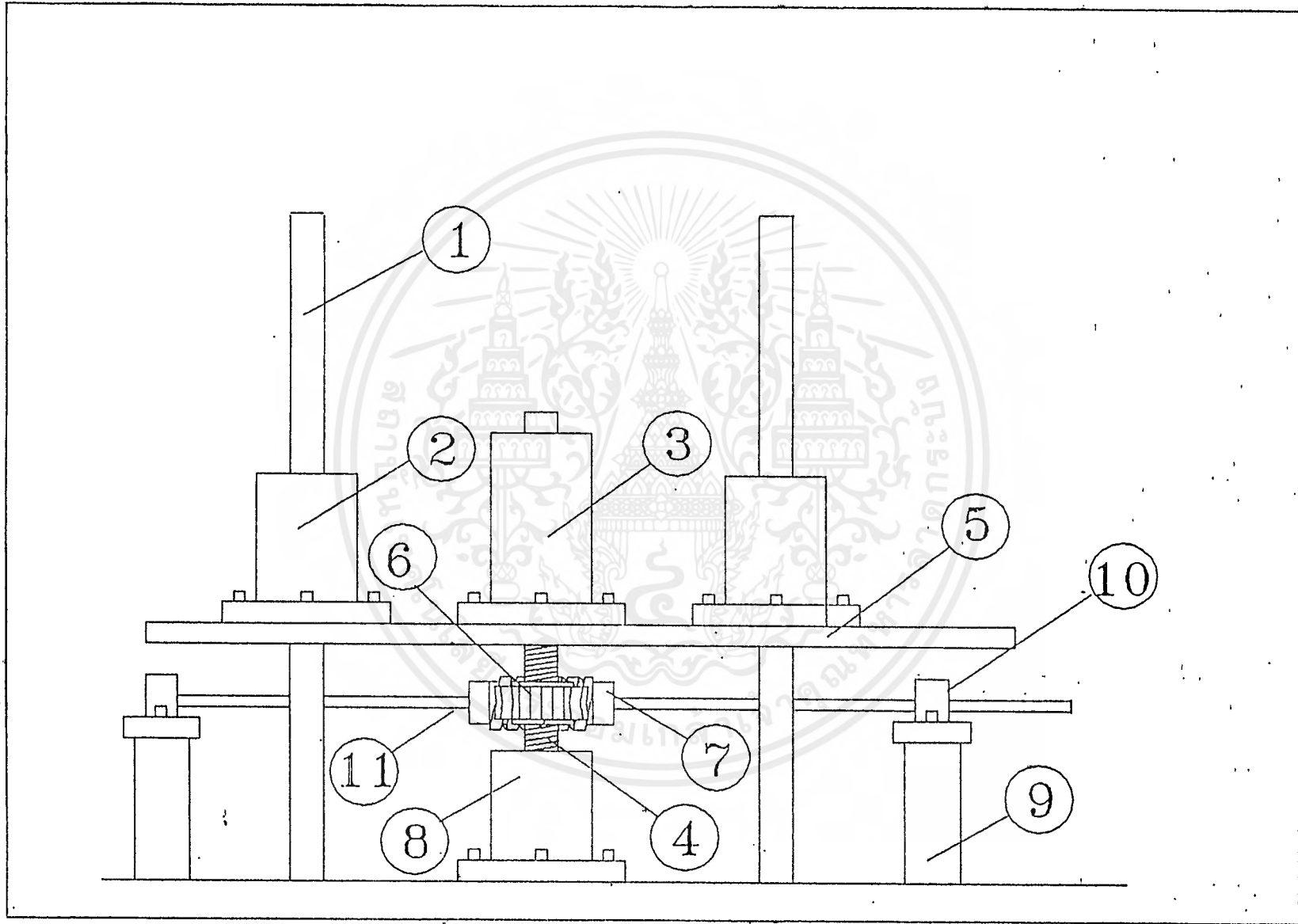
รูป แสดงภาพขยายของส่วนที่ใช้ในการสั้นและหมุนหัวเจาะ



รูป แสดงรายละเอียดของฐานจับชิ้นงาน



รูป แสดงรายละเอียดของเฟืองและมอเตอร์ที่ใช้เลื่อนหัวเจาะด้านบน



รูป แสดงรายละเอียดด้านล่างของเครื่องเจาะ