บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติการพัฒนา

เครื่อง Computer numerical control (CNC) Electrical discharge machine (EDM) ได้ถูกค้นพบมานานกว่า 100 ปีมาแล้ว โดดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ Joseph Priestly ได้ทำการทดลองและสังเกตุเห็นการเกิด Erosion ของโลหะจาก electrical discharge ต่อมา Lazarenkos ได้พัฒนาและได้มีการนำไปใช้งาน

2.2 คำจำกัดความของ EDM

ลักษณะการทำงานของเครื่อง EDM ได้ถูกจัดให้อยู่ในรูปของ Removal ซึ่งก็คือเทคนิคการแยกอนุภาคของวัตถุจากชิ้นงานโดยไม่ใช้วิธีทางกล ซึ่ง removal แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1.Thermal Removal

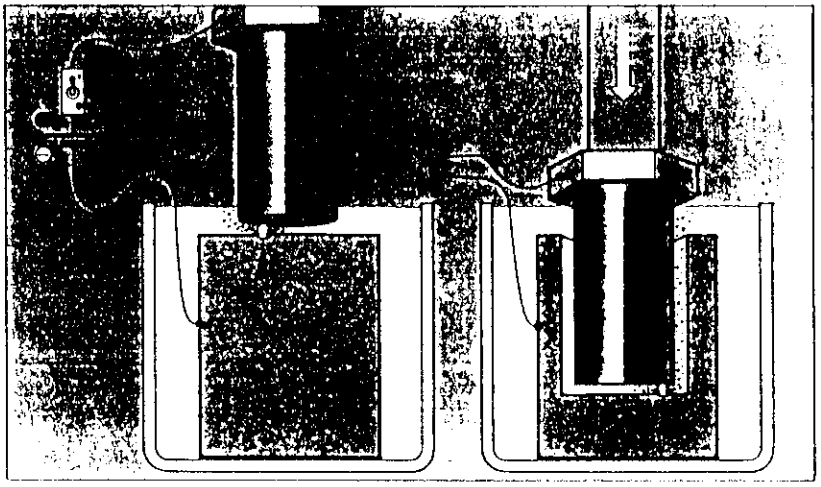
2.Chemical Removal

3.Electrochemical Removal

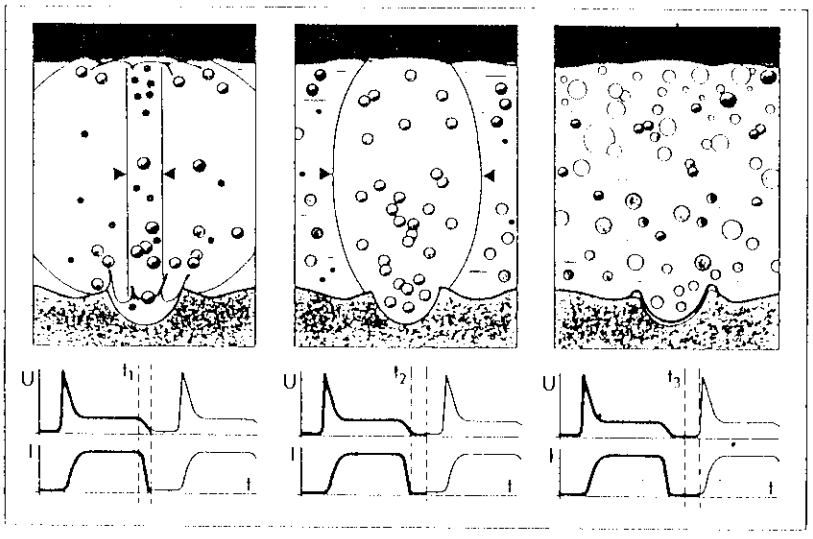
ซึ่ง EDM คือขบวนการที่อนุภาคของวัตถุถูกกำจัดด้วยความร้อนโดยการเกิดการสปาร์กของ Electrical discharge ผ่าน Electrod 2ตัว ภายใต้การทำงานใน Dielectric fluid ซึ่งมีคุณสมบัติไม่นำไฟฟ้า

2.3 หลักการของ Erosion

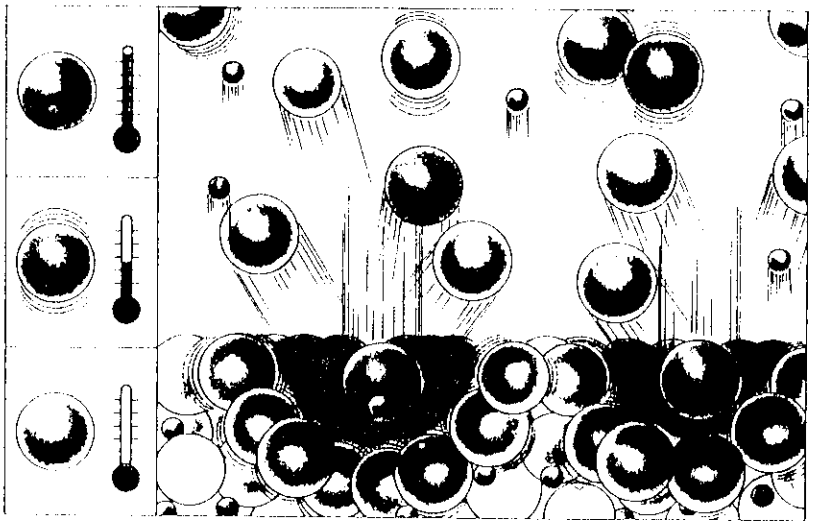
ลักษณะของ Erosion คือ Electrode และชิ้นงานได้รับพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งทั้งสองต่อเข้ากับขั้วที่ต่างกัน เมื่อเริ่มต้นทำงาน Electrode ถูกนำเข้าใกล้ชิ้นงานในระยะที่สามารถทำให้เกิดพลังงานศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเลคโทรดกับชิ้นงาน จนถึงจุดที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดจะเกิดการสปาร์กขึ้น ซึ่งเรียกว่า Discharge process ทำให้ผิวชิ้นงานรอบๆ Discharge channel ร้อนและหลอมเหลว เมื่อปิดสวิตช์ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าระหว่างอิเลคโทรดกับชิ้นงานทำให้ Discharge channel ถูกทำลาย ความดันใน Discharge channel ลดลงอย่างรวดเร็วโลหะที่หลอมเหลวถูกดึงออกมาจากบ่อหลอมซึ่งทำให้ชิ้นงานเป็นหลุม ซึ่งหลักการของ Erosion สามารถอธิบายได้ดังรูปที่2.1



รูปที่2.1แสดงลักษณะของ Discharge Process



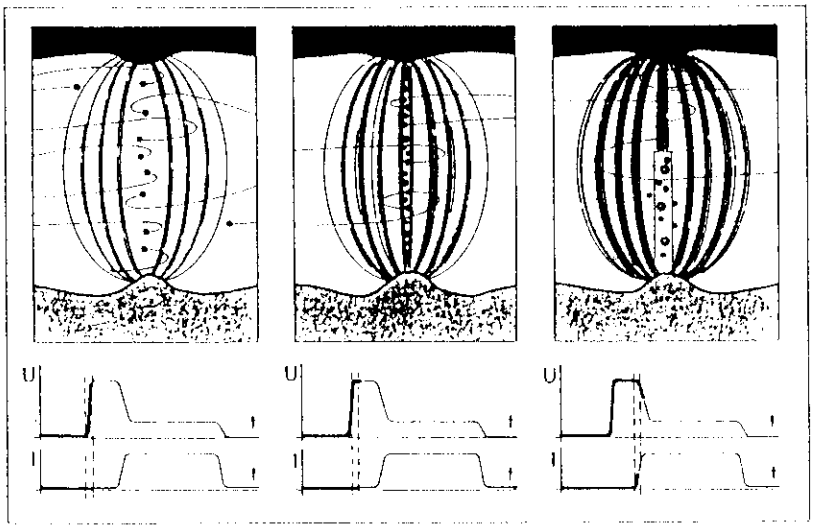
รูปที่2 2แสดง Discharge channel ถูกทำลายเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าในระบบ



รูปที่2.3แสดงลักษณะของอนุภาคและคุณหภูมิ

2.4 การเกิด Discharge channel

พลังงานศักย์ที่เกิดที่เกิดขึ้นระหว่าง Electrodeและชิ้นงานไม่ได้มีพฤติกรรมไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าดังรูปที่2.4

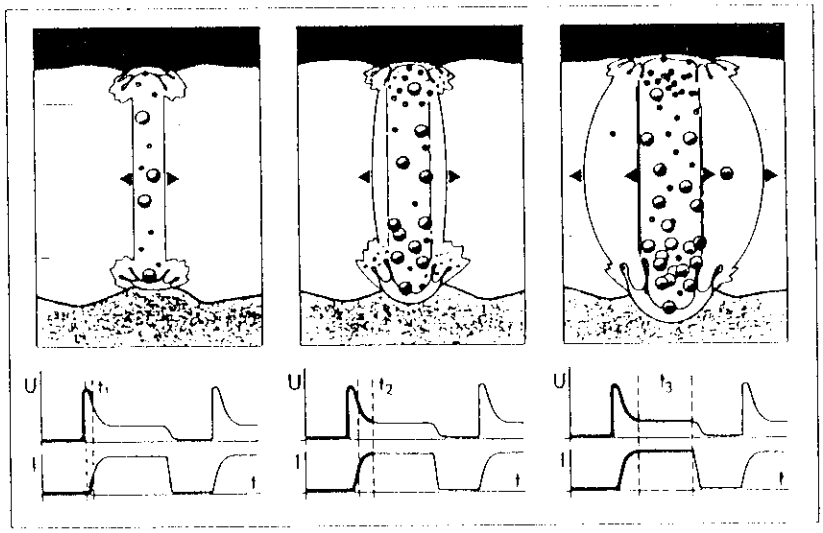


รูปที่2.4แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์และกระแสไฟฟ้าในการเกิด Discharge channel

ในช่องแรกของภาพพลังงานศักย์จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างElectrode กับผิวชิ้นงาน ณ จุดที่มีสนามไฟฟ้าเข้มที่สุด แรงจากสนามไฟฟ้าจะดึงอนุภาคที่ลอยอยู่ใน Dielectric fluid เข้ามารวมกันและเกิด Conductive bridge หรือ Discharge channel ระหว่าง Electrode กับชิ้นงานทำให้อนุภาคลบถูกผลักออกมาและชนกับอนุภาคที่เป็นกลางใน Dielectric fluid ทำให้อนุภาคเหล่านั้นแตกตัวเป็นไอออนและสามารถนำไฟฟ้าได้ซึ่งเรียกขบวนการนี้ว่า Collision Ionisation

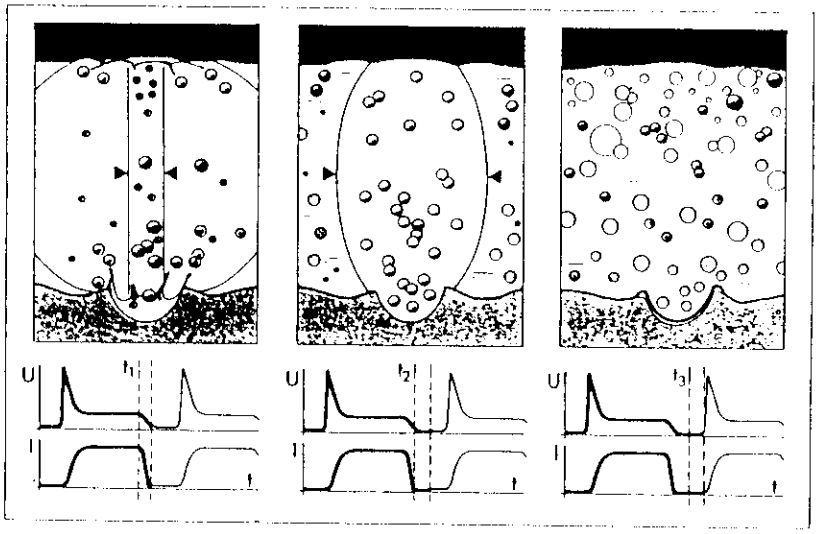
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์กับเวลาในรูปที่1.4จะเห็นว่าพลังงานศักย์มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งๆพลังศักย์จะมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาหนึ่งในขณะที่เกิดDischarge channel เรียกช่วงเวลานี้ว่า Ignition delay

ในขณะที่เกิด Discharge channel อนุภาคที่อยู่ภายใน Discharge channel เคลื่อนที่ชนกันทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น จากรูปที่1.4จะเห็นว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าระหว่าง Electrode กับชิ้นพลังงานศักย์จะลดลงในขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ณ จุดที่พลังงานศักย์มีค่าต่ำสุดอุณหภูมิและความดันใน Discharge channel จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Vapour bubbleก็จะขยายใหญ่ขึ้นด้วยดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์กับกระแสไฟฟ้าใน Discharge channel

และเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าในระบบทำให้ Discharge channel ถูกทำลายอุณหภูมิแปะความดันจึงลดลงอย่างรวดเร็ว โลหะหลอมเหลวถูกดึงออกจากบ่อหลอมละลายและแตกกระจายเป็นอนุภาคของแข็งใน Dielectric fluid ดังรูปที่ 2.6



รูปที่2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์กับกระแสไฟฟ้าเมื่อ Discharge channel ถูกทำลาย

ดังนั้นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อ Ignition process มีดังต่อไปนี้

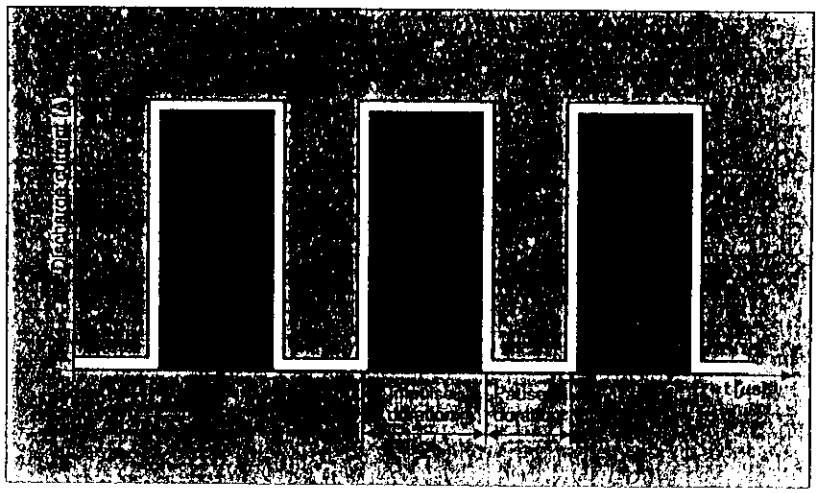
1. Level of ignition potential
2. Residual soiling
3. Current stength ใน Dielectric fluid
4. ระยะห่างระหว่าง Electrode กับชิ้นงาน

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อ Discharge process มีดังนี้

1. Discharge current strength
2. Impulse duration
3. วัสดุที่ใช้ทำ Electrode
4. ระยะห่างระหว่าง Electrode กับชิ้นงาน
5. คุณสมบัติของ Dielectric fluid
6. คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน

2.5 Generator

เครื่อง Generation ใน EDM ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณอิมพัลส์ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกขนาด , duration และช่วงของสัญญาณอิมพัลส์ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานได้



รูปที่2.7 ลักษณะของสัญญาณอิมพัลส์

จากรูปที่ 2.7 สัญญาณอิมพัลส์แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

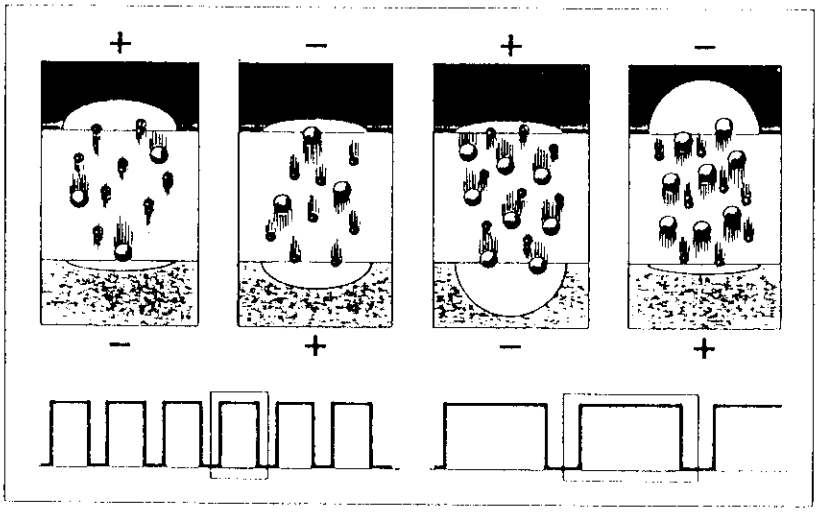
1. Impulse duration
2. Pause duration

ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเปิดและปิดทรานซิสเตอร์ตามลำดับ

2.6 Polarity

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น กระแสไฟฟ้าเกิดจากการชนกันของอนุภาคภายใน Discharge channel ซึ่งทำให้เกิดความร้อนในปริมาณที่สามารถทำให้โลหะหลอมเหลวได้ถ้าให้ Impulse duration ต่ำ จะมีอนุภาคประจุลบมากกว่าอนุภาคประจุบวก ทำให้ Electrode สึกหรอ

มากกว่าชิ้นงาน และถ้าสลับขั้วระหว่าง Electrode กับชิ้นงานโดยให้ Electrode เป็นขั้วลบส่วนชิ้นงานเป็นขั้วบวก จะทำให้ชิ้นงานเกิดกานสึกหรอมากกว่า Electrode ดังรูปที่ 2.8



รูปที่2.8 แสดงผลของขั้วไฟฟ้าและImpulse ที่มีต่อการสึกหรอของชิ้นงานและElectrode

ดังนั้นจึงนิยมให้ Electrode เป็นขั้วลบเมื่อมี Impulse duration เมื่อ Impulse duration ยาวจะให้ Electrode เป็นขั้วบวก

2.7 <u>การสึกหรอของ Electrode</u>

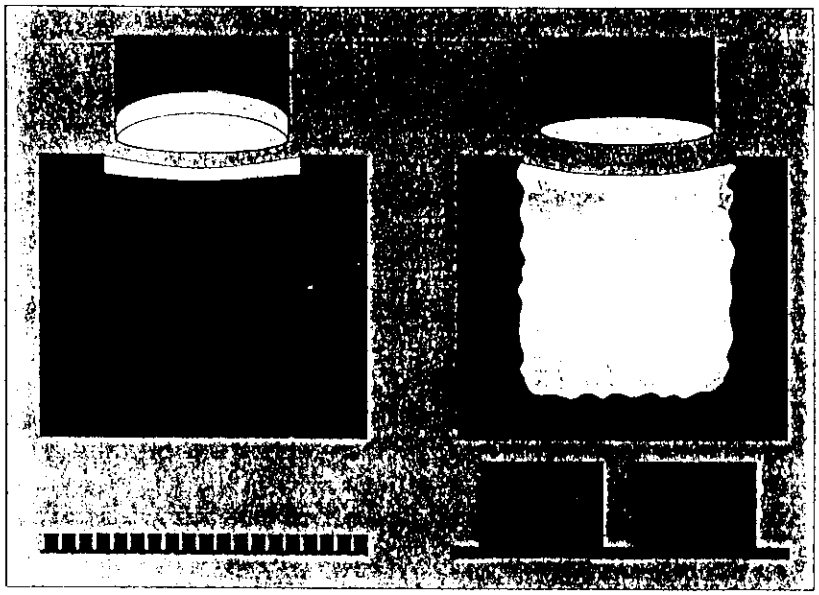
การสึกหรอของ Electrode ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. กระแสไฟฟ้าปริมาณกระแสไฟฟ้ามีผลต่อคุณภาพของผิวงานคือถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าต่ำ ผิวงานที่ได้เรียบแต่การสึกหรอของ Electrode สูง

2. Impulse duration คือช่วงเวลาในการสปาร์กงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการสึกหรอ ถ้า Impulse duration ต่ำผิวชิ้นงานและกานสึกหรอของ Electrode เพิ่มขึ้น

3. Pause duration ช่วงที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าในระบบ ถ้า Pause duration สั้น จะทำให้ Electrode สึกหรอช้า แต่อัตราการกัดเซาะชิ้นงานเร็ว นั่นคือผิวชิ้นงานที่ได้หยาบ

แต่ถ้าตั้งค่า Impulse duration ต่ำเกินไป ขบวนการ Erosion จะเปลี่ยนแปลงทำให้ชิ้นงานถูกกัดเซาะน้อยลงและเกิดการสึกหรอของ Electrode มากขึ้นนอกจากนี้ยังอกจจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ โดยปกติในการใช้งานจะเลือกใช้สัญญาณอิมพัลส์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการกัดเซาะชิ้นงานมากที่สุดแต่ทำให้ Electrode สึกหรอน้อยที่สุด



รูปที่2 9 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอิมพัลส์ต่อผิวชิ้นงานและการสึกหรอของอิเลคโทรด

2.8 การตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญก่อนการใช้งาน

ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกัดเซาะชิ้นงานการสึกหรอของ Electrode และคุณภาพของผิวงาน ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานจะต้องตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. Peak current (I)
2. Mean operating current
3. Ignition potential (u)
4. Discharge potential (ue)
5. Impulse duration (ti)
6. Pause duration (t/o) TB
7. Ignition deley (td)
8. Curation of discharge (t/e) TA
9. Impulse period Period duration (t/po)

2.9 คุณสมบัติและการเลือกใช้ Dielectric fluid

2.9.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ Dielectric fluid มีดังต่อไปนี้

1 เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insuration) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของ Dielectric fluid ซึ่งจะไม่นำไฟฟ้าระหว่าง Electrode กับชิ้นงาน และการอาร์กจะไม่เกิดขึ้นจนกว่า Electrode จะอยู่ใกล้กับชิ้นงานในระยะที่เหมาะสม

2.Ionisation Dielectrode fluid ที่ดีจะต้องทำให้เกิด Conductive bridge อย่างรวดเร็วและเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าในระบบจะต้องกำจัดไอออนออกไปจาก Discharge channel เพื่อให้การ Discharge ถัดไปเกิดขึ้นแทนที่ นอกจากนี้ Dielectric fluid จะต้องทำให้ Discharge channel แคบ นั่นคือทำให้มีความหนาแน่นของพลังงานสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นด้วย

3. Cooling ในระหว่างการทำงานจะมีความร้อนเกิดขึ้นมีอุณหภูมิประมาณ 10,000 c Dielectric fluid มีหน้าที่ในการระบายความร้อนออกจากชิ้นงานและ Electrode ร้อนจนเกินไปจะทำให้ Electrode หรือ Viscosily สึกหรอเร็วกว่าปกติ

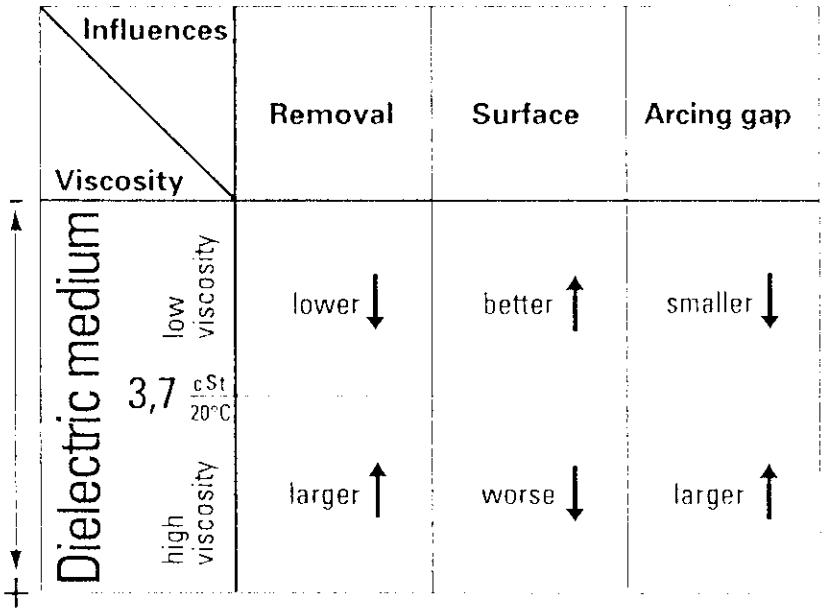
4. Removal of particles อนุภาคที่เกิดจากการกัดเซาะจะถูกระบายออกจากบริเวณการอาร์กเพื่อป้องกันการรบกวนและเกิดความผิดพลาดในขบวนการ

2.9.2 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ Dielectric fluid มีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

1. Ageing and wear behavior
2. Combustion point
3. Evaporation valve
4. Dielectric constant
5. Arcing - over potential
6. Filterability
7. Compatibility with system components
8. Ageing resistance
9. Maintenance of quality level
10. Availability
11. ราคา (Prices)
12. ความหนาแน่น (Density)
13. ด้านสุขลักษณะ เช่นกลิ่น,ควัน เป็นต้น
14. ความหนืด (Viscosity)
15. ความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity)

2.9.3 อิทธิพลของความหนืดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน

อิทธิพลของความหนืดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานสามารถแสดงดังตาราง2.1



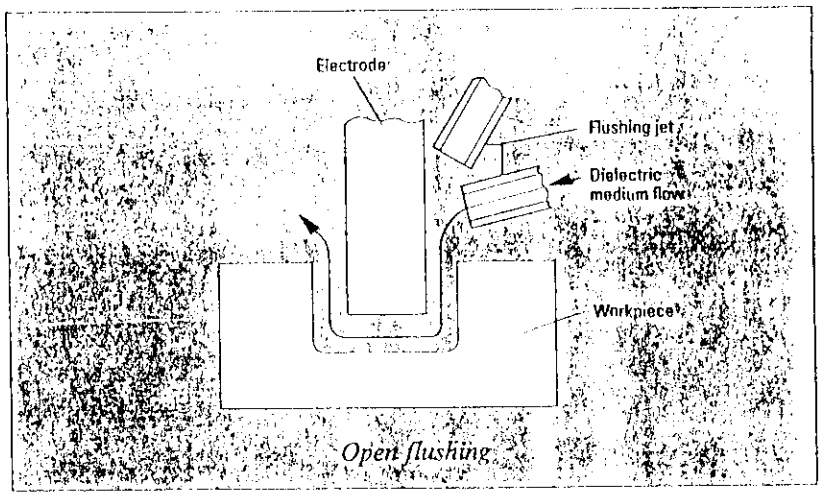
ตารางที่2.1 แสดงอิทธิพลของความหนืดต่อประสิทธิภาพการทำงาน

2.10 <u>ระบบ Flushing ใน EDM</u>

ระบบ Flushing ใน EDM ทำหน้าที่ระบายอนภาคที่เกิดจากขบวนการ Erosion ออกจากบริเวณการอาร์ก ถ้าระบบ Flushing ไม่ดีพอจะเกิด Conductive bridge ระหว่าง Electrode กับชิ้นงานซึ่งทำให้ Short circuit และเกิดการอาร์กขึ้นที่ไม่สามารถควบคุมได้และอาจจะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้

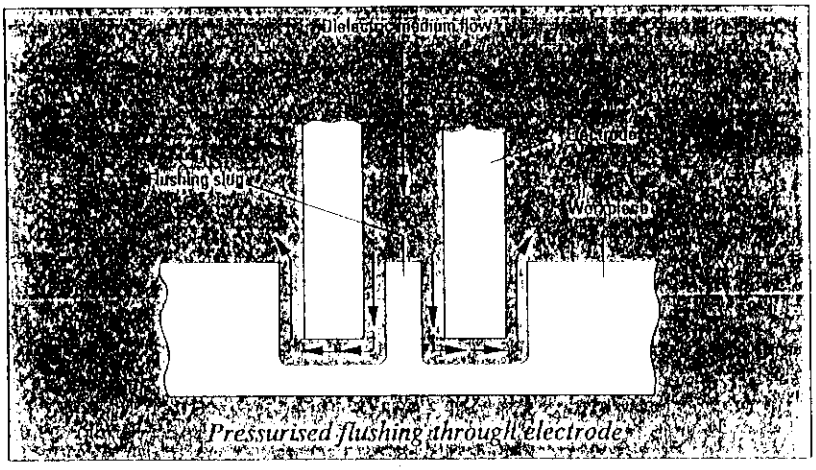
ระบบ Flushing ที่ใช้กับเครื่อง EDM มีอยู่ 4 วิธีคือ

1. Open flushing เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ใช้ในกรณีที่ ไม่สามารถเจาะช่องสำหรับ Flushing ได้ ดังรูปที่ 2.10



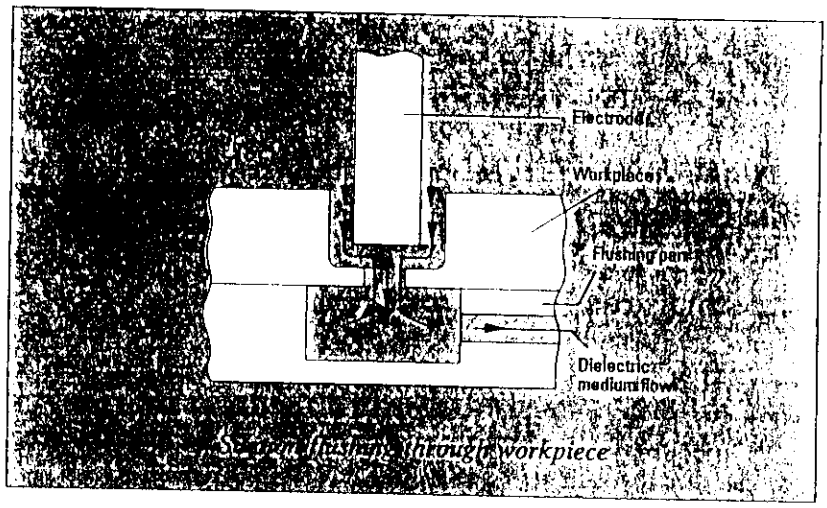
รูปที่2.10 ลักษณะของ Open flushing

2. Pressurised flushing Dielectric fluid จะถูกดัดผ่าน Electrode ใช้ในกรณีที่ Electrode มีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2.11

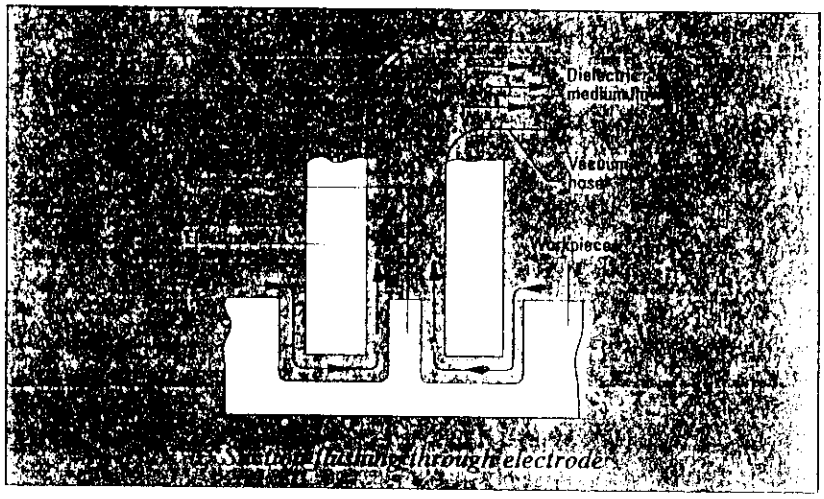


รูปที่2.11 ลักษณะของ Preddurlded flushing

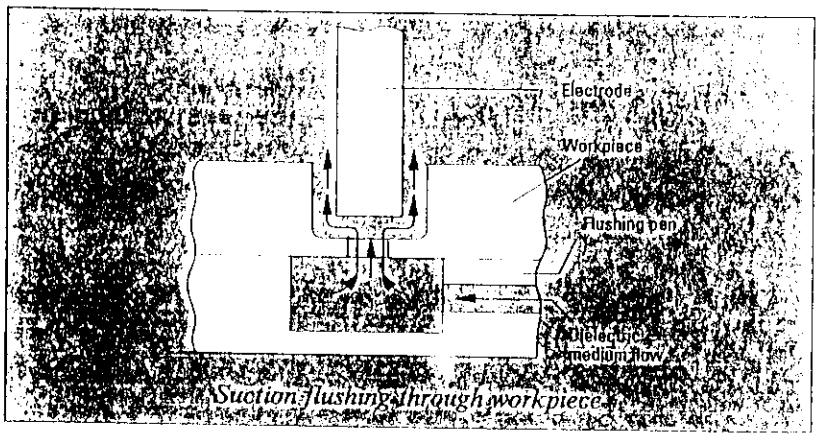
3. Suction flushing เป็นวิธีการที่ดูดอนุภาคออกจากบริเวณการอาร์กใช้สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดของผิวและผนัง ดังรูปที่ 2.12



รูปที่2.12แสดงลักษณะของ Suction flushing

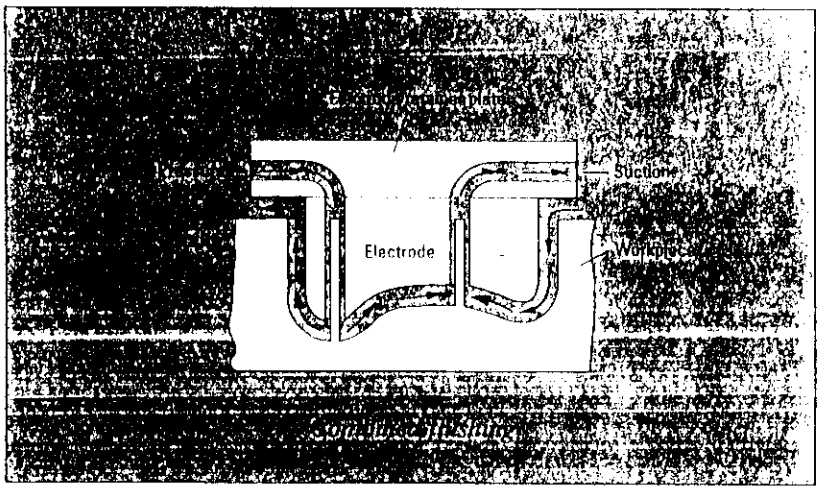


รูปที่2.13 แสดงลักษณะของ Suction flushing



รูปที่2.14 แสดงลักษณะของ Suction flushing

4. Combined flushing เป็นการรวมวิธีการทั้ง3ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นใช้สำหรับงานที่ซับซ้อนดังรูปที่2.15



รูปที่2.15 ลักษณะของ Combined flushing

2.11 วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน(Work piece materials)

วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นงานส่วนใหญ่จะเป็น Temperable steel ที่มี Strenght และ Hardness สูงและมีความต้านทานต่อการเกิดสนิมด้วย งานบางอย่างที่ต้องการลักษณะของชิ้นงานที่พิเศษจะใช้วัสดุที่เป็นอัลลอยด์โดยมีธาตุต่างๆเช่น โครเมียม นิกเกิล โมลิบดินัม วาเนเดียม ทังสเตน เป็นต้นซึ่งในขณะการเกิดขบวนการ Erosion ชิ้นงานถูกแบ่งออกเป็น 4 โซนคือ

1.White layer เป็นชั้นที่ถูกกัดเซาะและเกิดการหลอมเหลวเมื่อแข็งตัวชั้นนี้จะเต็มไปด้วยรอยแตก ถ้าเกิด Erosion มากขนาดของWhite layer ก็จะมาก

2.Newly hardened zone เป็นชั้นที่มีความร้อนมากขณะเกิด Erosion process ดังนั้นเมื่อเย็นตัวจึงมีโครงสร้างเป็น Martensite

3.Temper zone ผลจากความร้อนจะทำให้เกิด Tempering effect

4.Base materials

ปัจจัยที่มีผลต่อการแบ่งโซนของชิ้นงานคือ

1.อัตราการกัดเซาะ

2.ปริมาณธาตุผสมในชิ้นงาน เช่น โครเมียม ทังเสตน นิเกิล โมลิบดินั่ม วาเนเดียม ถ้าปริมาณธาตุผสมในชิ้นงานมากทำให้เกิดการแตกร้าวในชิ้นงานสูง คุณภาพผิวชิ้นงานต่ำนอกจากนี้อัตราการกัดเซาะยังต่ำอีกด้วย

2.12 วัสดุที่ใช้ทำอิเลคโทรด (Electrode materials)

วัสดุที่ใช้ทำอิเลคโทรดแบ่งออกได้เป็น3ประเภทคือ

1. Metallic materials เช่น electrolytric copper Tungsten copper Tungsten silver Brass Steel

2.Non metallic materials เช่น Graphite

3.วัสดุผสม เช่น Copper/Graphite

2.13 การใช้กราฟเทคโนโลยี

ค่าไฟและชนิดของอิเลคโทรดมีผลต่อการปรับเปลี่ยนค่าเทคโนโลยีของแต่ละค่าเทคโนโลยี ซึ่งสำหรับตารางค่าเทคโนโลยีที่สามารถใช้กับเครื่อง EDM รุ่น ROBOFORM 20 มีดังนี้

1.Graphite/Steel Technology	(U) FGRAC.TEC
2.Copper/Steel Technology	(U) FCUAC.TEC
3.Fine graphite/Steel Technology	(U) FGFAC.TEC
4.Copper tungsten/Steel Technology	(U) FCUWAC.TEC
5.Micromachining Technology	(U) FMICU.TEC
6.Steel/Steel Technology	(U) FACAC.TEC
7.Copper/Coper Technology	(U)FCUCU.TEC

2.14 ตัวย่อที่ควรทราบในการใช้กราฟเทคโนโลยี

ตัวย่อที่ใช้ในกราฟเทคโนโลยีเพื่อความกะทัดรัดและสะดวก ซึ่งตัวย่อต่างๆมีความหมายดังต่อไปนี้

CH ค่าความเรียบผิวตามมาตรฐานของบริษัท Charmilles Technology

CHe ค่าความเรียบผิวเริ่มแรก

CHf ค่าความเรียบผิวสุดท้าย

CHT ความเรียบผิวที่ต้องเปลี่ยนอิเลคโทรด

Sf พื้นที่ผิวหน้าตัดด้านหน้าของอิเลคโทรด

Sl พื้นที่ผิวด้านข้างของอิเลคโทรด

St พื้นที่ผิวโดยรวมของอิเลคโทรด

H ค่าระยะช่องว่างระหว่างอิเลคโทรด

2.15 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการผลิตชิ้นงาน

1.Surface condition ขึ้นอยู่กับค่าไฟที่เลือกในการผลิตชิ้นงาน

2.Material removal อัตราการกำจัดโลหะออกจากชิ้นงาน

3.Electrode wear อัตราการสึกหรอของอิเลคโทรด

4.Gap ช่องว่างระหว่างอิเลคโทรดกับชิ้นงาน

ตารางเทคโนโลยีประกอบด้วยตัวเลขซึ่งเป็น code สองส่วนด้วยกันคือ

1.ตัวเลขส่วนแรก เป็นส่วนที่บ่งบอกคุณภาพผิวชิ้นงานที่ต้องการ

2.ตัวเลขส่วนที่สอง เป็นส่วนที่บอกอัตราการสึกหรอและความเร็วในการกำจัดโลหะออกจากชิ้นงาน โดยที่

เลข1 หมายถึงความสามารถในการกำจัดเร็วที่สุดแต่มีอัตราการสึกหรอของอิเลคโทรดมาก

เลข2 หมายถึงความสามารถในการกำจัดโลหะปานกลางและการสึกหรอของอิเลคโทรดปานกลาง

เลข3 หมายถึงความสามารถในการกำจัดโลหะน้อยและอัตราการสึกหรอของอิเลคโทรดต่ำ

ตัวอย่างเช่น E451

ตัวเลขตัวแรกคือ 45 หมายถึงคุณภาพผิวอยู่ในระดับ CH42

ตัวเลขตัวที่สองคือ 1 หมายถึงอัตราการกำจัดโลหะและอัตราการสึกหรอของอิเลคโทรดสูง

2.16 องค์ประกอบของแผ่นกราฟเทคโนโลยี

องค์ประกอบของแผ่นกราฟเทคโนโลยีมีส่วนสำคัญประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

- กราฟเทคโนโลยีหน้าที่1 ใช้สำหรับหาค่า E
- กราฟเทคโนโลยีหน้าที่2 ใช้สำหรับหาค่า Gap หรือค่าH ที่เหมาะสมสำหรับค่า E แต่ละค่า

2.16.1 แผ่นกราฟเทคโนโลยีหน้าที่1 ประกอบด้วย4ส่วนคือ

ส่วนที่1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกำจัดโลหะมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีกับค่าความเรียบผิวของชิ้นงานซึ่งวัดเป็น CH

ส่วนที่2 กราฟแท่งที่บ่งบอกถึงอัตราการสึกหรอของอิเลคโทรดเป็นเปอร์เซนต์ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการกำจัดโลหะ

ส่วนที่3 ตารางเลือกค่า E สำหรับการใช้คำสั่ง Down ครั้งแรก

ส่วนที่4 ตารางที่บอกถึงความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

2.16.2 แผ่นกราฟเทคโนโลยีหน้าที่2 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าCH กับค่า E

2.17 วิธีการคำนวณหาจำนวนอิเลคโทรดที่ใช้ในการสปาร์กชิ้นงาน

2.17.1การคำนวณหาจำนวนอิเลคโทรดของ Copper/Steel

- กรณีใช้อิเลคโทรด1ตัว

เมื่อ CHf≥30 หรือ CHe≤32 หรือ CHe-CHf≤8

- นอกเหนือจากกรณีที่1ใช้อิเลคโทรด2ตัว

2.17.2 การคำนวณหาจำนวนอิเลคโทรดของ Graphite/Steel

- กรณีใช้อิเลคโทรด1ตัว

เมื่อ CHe≤34 หรือ CHe>34 และ CHe-CHf≤8

- กรณีที่ใช้อิเลคโทรด2ตัว

เมื่อ CHe=(CHE+CHf)/2

2.18 วิธีการเลือกใช้ค่าเทคโนโลยีในการเขียนโปรแกรม

มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.คำนวณหาพื้นที่ทั้งหมดของอิเลคโทรด(St)

2.นำค่า St ไปหาค่า CHf ตามตารางชนิดของอิเลคโทรดในการกำหนดค่า CHf นั้นส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้มากกว่า แต่จะต้องไม่เกินขีดจำกัดของอิเลคโทรดที่สามารถให้ได้ตามตารางต่อไปนี้

St(ตารางเซนติเมตร)	ค่า CHfต่ำสุดที่สามารถทำได้
St < 40	12
40 <St ≤10	14
75 < St ≤ 100	18
100 <St ≤300	22
300 <St ≤ 500	24
500 <St ≤1000	26
St≥1000	30

ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดของค่า CHf เมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเลคโทรด

St (ตารางเซนติเมตร)	ค่า CHf ต่ำสุดที่สามารถทำได้
$St \leq 50$	24
$50 < St \leq 100$	26
$100 < St \leq 300$	28
$300 < St \leq 500$	30
$500 < St \leq 1000$	32
$St > 1000$	34

ตารางที่ 2.3 ข้อจำกัดของค่า CHf เมื่อใช้ Graphite เป็นอิเลคโทรด

St (ตารางเซนติเมตร)	ค่า CHf ต่ำสุดที่สามารถทำได้
$St < 5$	12
$5 < St < 10$	18
$10 < St < 20$	21
$20 < St < 30$	22
$30 < St < 50$	24
$50 < St < 100$	26
$100 < St < 300$	28
$300 < St < 500$	30
$500 < St \leq 1000$	32
$St \geq 1000$	43

ตารางที่ 2.4 ข้อจำกัดของค่า CH f เมื่อใช้ Fine graphite เป็นอิเลคโทรด

3. นำค่า Sf ไปหาค่า CHf เพื่อใช้ในการสปาร์กครั้งแรก จากกราฟ หน้าที่ 1 ส่วนที่ 3 ในการเลือกค่าCHe เริ่มแรกนั้นควรเลือกค่าที่เหมาะสม โดยจะต้องมีอัตราการกำจัดชิ้นงานและอัตราการสึกหรอของอิเลคโทรดที่ไม่สูงและต่ำจนเกินไป

4. เมื่อได้ค่า CHe เริ่มแรกแล้วให้ลากเส้นการสปาร์กชิ้นงาน โดยการลากจะต้องให้มีลักษณะการเคลื่อนของเส้นที่ราบเรียบโดยให้ลดค่า CH ลงทีละ 2CH

5. นำค่า CH ของแต่ละค่า E จากกราฟหน้าที่ 1 จากเส้นการสปาร์กไปหาค่า H เพื่อใช้ในการกำหนดช่องว่างระหว่างอิเลคโทรดกับชิ้นงานในหน้าที่2

6.จากค่า CH ที่ได้นำมาหาค่า H จากกราฟหน้าที่2 จะเห็นได้ว่าประกอบด้วยหลายเส้น ซึ่งแต่ละเส้นมีความหมายดังต่อไปนี้

เส้นสีส้ม สำหรับคำสั่ง Down หรือคำสั่งอื่นๆที่ใช้สำหรับการทำงานครั้งแรก

เส้นสีน้ำเงิน สำหรับคำสั่ง ORB

เส้นสีแดง สำหรับคำสั่ง ORB คำสั่งก่อนคำสั่งสุดท้าย

เส้นสีม่วง สำหรับคำสั่ง ORB คำสั่งสุดท้าย

ดังนั้นเมื่อเราลากเส้นแต่ละคำสั่ง CH ขึ้นไปตัดกับเส้นกราฟแต่ละสีก็จะได้ค่า H ของแต่ละค่า CH โดยแต่ละค่า H ที่ได้จะต้องหารด้วย 1000 จึงจะมีค่าเท่ากับมิลลิเมตร เมื่อได้ค่า CH และค่า H จึงนำไปเขียนโปรแกรมต่อไป