

## การศึกษาอิทธิพลของการแปรพารามิเตอร์การกัดเจาะด้วยไฟฟ้าต่อคุณภาพของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11

### A study of Influence of Parameters on work Proportion of EDM processing SKD11

นำโชค มีชานาน<sup>1</sup>, สันติรัฐ นันสะอาง<sup>1</sup>

Namchok Meechamnan<sup>1</sup>, Santirat Nansaarn<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในกระบวนการกัดเจาะด้วยไฟฟ้าต่อสภาพผิวที่ต่างกันของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าเวลาดีสชาร์จและสภาพผิว การทดลองออกแบบด้วยวิธีแฟคทอเรียล ในการวิจัยพิจารณาการแปรค่าพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัว ตัวละ 3 ระดับ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า ที่ระดับ 21, 36 และ 50V เวลาดีสชาร์จที่ระดับ 590, 790 และ 1100 $\mu$ s และสภาพโลหะ ได้แก่ สภาพปกติ สภาพที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งโดยปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ และสภาพที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งด้วยน้ำมัน ผลการวิจัยพบว่าแรงดันไฟฟ้าและเวลาดีสชาร์จ ส่งผลต่อเวลาในการแปรรูปที่ระดับนัยสำคัญ .01 โดยเมื่อแรงดันไฟฟ้าต่ำจะได้เวลาในการแปรรูปน้อย ส่วนเวลาดีสชาร์จเมื่อให้เวลาดีสชาร์จสูงจะส่งผลให้เวลาในการแปรรูปเพิ่มขึ้น พิจารณาอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด พารามิเตอร์ที่ส่งผลได้แก่แรงดันไฟฟ้า เวลาดีสชาร์จ ที่ระดับนัยสำคัญ .01 โดยแรงดันไฟฟ้าต่ำจะส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำ ส่วนเวลาดีสชาร์จเมื่อให้เวลาดีสชาร์จน้อยจะได้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว พบว่าแรงดันไฟฟ้า เวลาดีสชาร์จและสภาพโลหะ ไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวที่ระดับนัยสำคัญ .01

#### Abstract

The purpose of this research was to study the influence of parameters on Electrical Discharge Machine (EDM) process on surface difference of tool steel SKD11. Factors studied were voltages, time discharge, and work surface conditions. The experiment used was factorial design with three different levels on each parameter such as voltage set at 21, 36 and 50V, time discharge set at 590, 790 and 1100 $\mu$ s, and work surface condition set at work surface normal, work surface quenching of water, and work surface quenching of Aging. Results indicated that main effects of voltage and time discharge were affect to transformed time work significantly different at the level of .01. At the low level of voltage, transformed time work was decreased. On the other hand, increasing time discharge was affected to longer time to transformed work. Result on electrode wear rate was affect form main effect of voltage significantly different at the level of .01. At the low level of voltage, the electrode wear rate would be decreased. Moreover, interaction effects between voltage and time discharge was affected to electrode wear rate significantly different at the level of .01. Voltage and time discharge and work surface were not affect to surface roughness significantly different at the level of .01.

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>1</sup>Department of Production Technology, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of technology Thonburi.

**Keywords:** Electrical Discharge machine (EDM)/ Factorial designs/Voltage/ Time discharge/ Time work/ Electrode wear rate (อัตราสึกหรอของอิเล็กโทรด)/Surface roughness (Ra)

E-mail: namchok838@gmail.com

## คำนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทยนั้นเกี่ยวข้องกับงานแม่พิมพ์ทั้งสิ้น โดยในขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ออกมาให้มีคุณภาพจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง มาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีเพราะสามารถตัดเฉือนชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้วได้ (Salonitis et al., 2007 and Baril,1987) คือ เครื่องกัดเจาะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine: EDM) การแปรรูปโลหะด้วยเครื่องกัดเจาะด้วยไฟฟ้า เป็นกระบวนการกัดเซาะวัสดุชิ้นงานที่มีความแข็งสูง และรูปทรงที่ยากต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการทางกล โดยหลักการทำงานของเครื่องจะอาศัยความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุตัวนำที่เรียกว่า “Tool Electrode” ทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กภายใต้ของเหลวกึ่งตัวนำที่เรียกว่าสาร “Dielectric” ลักษณะการหลอมละลายของเนื้อโลหะจะเกิดในบริเวณที่เล็กมาก ๆ ทำให้สามารถควบคุมผิวชิ้นงานที่ถูกขจัดออกมีลักษณะรูปทรงเหมือนกับอิเล็กโทรด

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาประสิทธิภาพการแปรรูปพารามิเตอร์การกัดเจาะด้วยไฟฟ้าที่มีต่อคุณภาพผิว คือแรงดันไฟฟ้า เวลาดีสชาร์จ ในเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานวิจัยที่มีประโยชน์ทางวิชาการและสามารถนำไปใช้ได้เชิงปฏิบัติต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องกัดเจาะด้วยไฟฟ้าเครื่องหมายเลข JOEMARS EDM ผลิตโดยบริษัท JOEMARS MACHINE

เครื่องกัด (CNC Milling) เครื่องหมายเลข Mazak รุ่น VTC-16A Vertical Travelingcolumn

เครื่องเจียรระนาบผิวราบ (Horizontal Surface Grinding Machine) เครื่องหมายเลข Stankoimport รุ่น OW-550

ประเทศรัสเซีย

เครื่องกลึง (CNC Lathe) เครื่องหมายเลข Mazak รุ่น 200 M Super Quick Turn

เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) เครื่องหมายเลข Mahr รุ่น MarSurt PS1

เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องหมายเลข Denver Instrument รุ่น T/TB Series

นาฬิกาจับเวลา เครื่องหมายเลข CASIO รุ่น HS-10W ความละเอียด 0.01sec

เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaner) เครื่องหมายเลข CT BRAND รุ่น GT-430G1

### การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล Douglas (1997) ค่าสถิติในการวิเคราะห์ใช้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (Volt) เวลาดีสชาร์จ (Time on) และสภาพผิว (Work surface) ในการทดลองพิจารณาการแปรค่าพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัว ตัวละ 3 ระดับ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 21, 36 และ 50V เวลาดีสชาร์จ ที่ระดับ 590, 790 และ 1100 $\mu$ s และสภาพผิวได้แก่ สภาพผิวที่ปกติ สภาพผิวที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ และสภาพผิวที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งด้วยน้ำมัน ทำการทดลองซ้ำ 2

ครั้ง ในแต่ละพารามิเตอร์ รวมการทดลองทั้งหมด 54 ครั้ง ใช้ น้ำมันเป็นสารไดอิเล็กตริก โดยทำการทดลองเบื้องต้น และหาค่า ความเป็นปกติของข้อมูลและวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ได้แก่ เวลาในการทดลอง (Time) ความหยาบผิว (Surface roughness; Ra) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode wear rate; อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด)

### ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

ขั้นเตรียมชิ้นงานทดลอง

- 1) นำเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก SKD11 ที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็ง เจียรระไนผิว และทำการทดสอบความแข็ง
- 2) ทำการกลึงอิเล็กโทรดทองแดงตามขนาด และชั่งน้ำหนัก (g)

ขั้นการทำการทดลองเบื้องต้น

- 1) ใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 12 ชิ้น ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
- 2) หาค่าความเป็นปกติของข้อมูล

ขั้นการทดลอง

- 1) ทดลองตามการออกแบบการทดลอง
- 2) จับยึดอิเล็กโทรดเข้ากับหัวจับของเครื่องกัดเจาะด้วยไฟฟ้าพร้อมตรวจเช็คอิเล็กโทรดให้ได้ฉาก
- 3) จับยึดชิ้นงานบนแท่นเครื่องกัดเจาะด้วยไฟฟ้าบริเวณกึ่งกลางแท่นเครื่อง ตั้งระนาบ X, Y
- 4) หาระนาบของผิวงานกับระนาบของหน้าอิเล็กโทรด แล้วเซตค่าเป็น 0
- 5) กำหนดเงื่อนไขการแปรรูปตามที่กำหนด
- 6) ทำการทดลองกัดเจาะด้วยไฟฟ้าเพื่อทำการแปรรูปชิ้นงานลึก 2 mm และจับเวลา
- 7) ปลดชิ้นงานและอิเล็กโทรดออกจากเครื่อง ทำความสะอาดเครื่องจักร ชิ้นงาน และอิเล็กโทรด
- 8) ทำการทดลองซ้ำตามลำดับการออกแบบการทดลอง และตามขั้นตอนการทดลอง
- 9) หลังทดลองชั่งน้ำหนักอิเล็กโทรดเพื่อหาความสึกหรอของอิเล็กโทรด (g)
- 10) นำชิ้นงานทำความสะอาดเพื่อวัดความหยาบของผิวงาน ( $\mu\text{s}$ )
- 11) หาค่าความเป็นปกติของข้อมูลและวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

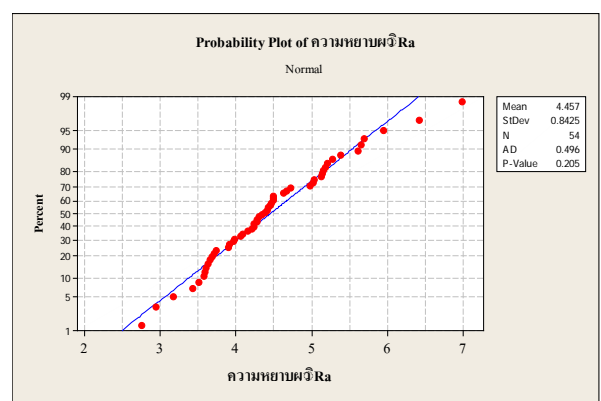
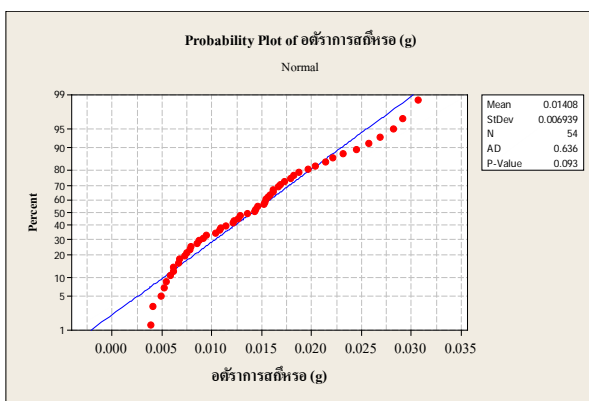
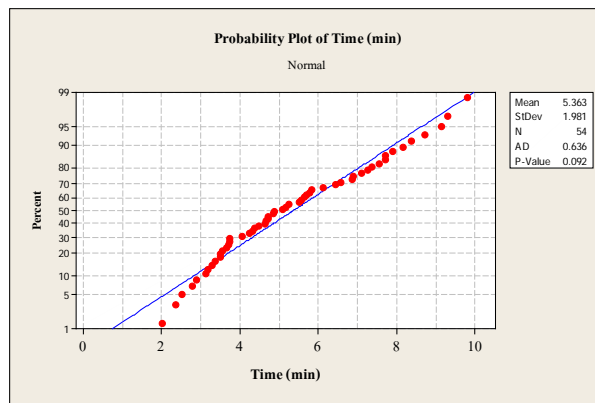
ชิ้นงานทดลอง

ชิ้นงานทดลองใช้เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ขนาด 75×200×6.5 mm แบ่งออกเป็น 3 สภาพผิว ได้แก่ M1 คือ สภาพผิวที่ปกติ M2 คือ สภาพผิวที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (อบที่อุณหภูมิ 1050°C เวลา 45 min) และ M3 คือ สภาพผิวที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งด้วยน้ำมัน (อบที่อุณหภูมิ 1050°C เวลา 45 min)

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเบื้องต้นโดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในทดลองประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า เวลาดีสชาร์จและสภาพผิวของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก SKD11 โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 12 ชิ้น กำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ 21 36 และ 50V เวลาดีสชาร์จที่ 590 และ 1100 $\mu\text{s}$  ต่อสภาพผิวที่ปกติ และสภาพผิวที่ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งด้วยน้ำมันผลการทดลองพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาได้จากค่า P-Value มีค่ามากกว่า .05 เมื่อได้ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วจึงทำการทดลองตามแผนการทดลอง จำนวน 54 ครั้ง ทำการหาอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด และ

หาค่าความหยาบผิว ที่ระดับของพารามิเตอร์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการแจกแจงปกติของข้อมูล

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าเวลาในการแปรรูป

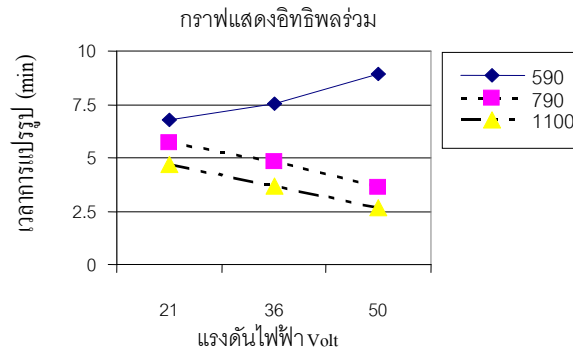
Dependent Variable: Time

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	205.428 <sup>a</sup>	26.000	7.901	81.654	0.000
Intercept	1553.114	1.000	1553.114	16050.000	0.000
Volt	160.459	2.000	80.230	829.136	0.000
Ontime	3.706	2.000	1.853	19.152	0.000
Steel	0.998	2.000	0.499	5.156	0.013
Volt * Overtime	36.288	4.000	9.072	93.756	0.000
Volt * Steel	2.464	4.000	0.616	6.365	0.001
Overtime * Steel	0.270	4.000	0.067	0.697	0.601
Volt * Overtime * Steel	1.243	8.000	0.155	1.605	0.170
Error	2.613	27.000	0.097		
Total	1761.155	54.000			
Corrected Total	208.041	53.000			

. R Squared = .987 (Adjusted R Squared = .975)

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าผลการวิเคราะห์ ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ทั้ง 3 คือ แรงดันไฟฟ้า เวลาดีสชาร์จ และสภาพโลหะพบว่าพารามิเตอร์ที่เป็น

อิทธิพลร่วมและอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อเวลาในการแปรรูปชิ้นงานคือแรงดันไฟฟ้าและเวลาดิสชาร์จมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และสภาพโลหะส่งผลต่อเวลาในการแปรรูปชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลร่วมเวลาในการแปรรูปชิ้นงานพบว่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลของเวลาในการแปรรูปชิ้นงานน้อยที่สุด คือ แรงดันไฟฟ้า 50V และเวลาดิสชาร์จ 1100 $\mu$ s โดยให้ค่าเฉลี่ยเวลาในการแปรรูปชิ้นงานที่ 2.65 นาที และพารามิเตอร์ที่ให้ผลของเวลาในการแปรรูปชิ้นงานมากที่สุด คือ แรงดันไฟฟ้า 21V และเวลาดิสชาร์จ 1100 $\mu$ s โดยให้ค่าเฉลี่ยของเวลาในการแปรรูปชิ้นงานที่ 8.93 นาที



รูปที่ 2 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของเวลาดิสชาร์จและแรงดันไฟฟ้าที่มีผลต่อเวลาในการแปรรูปชิ้นงาน

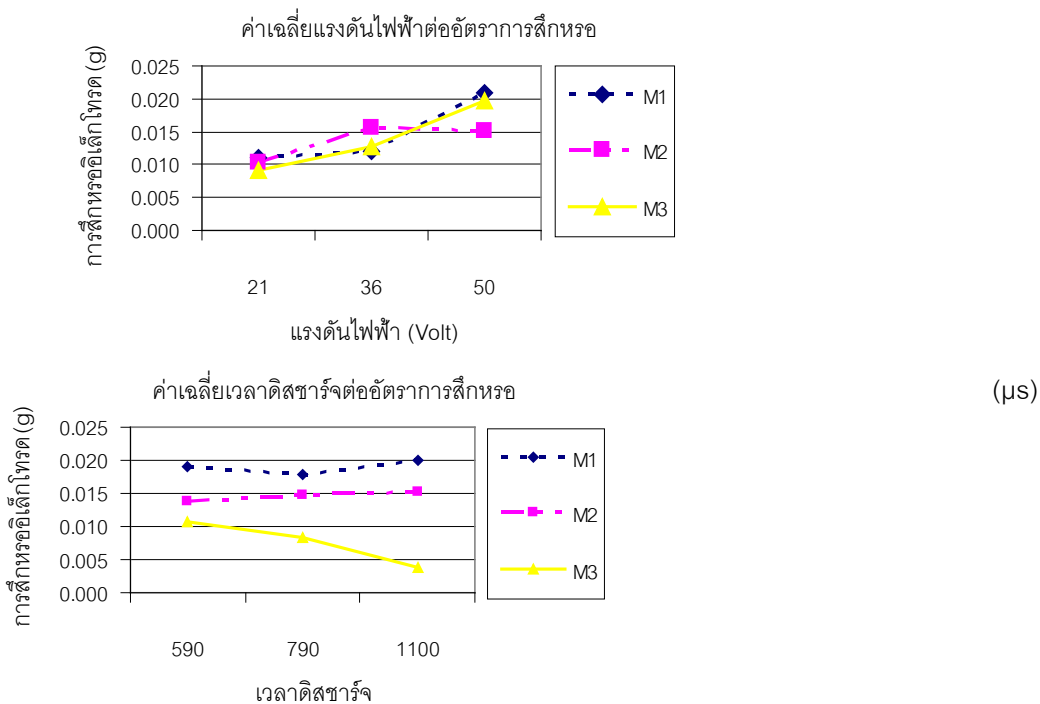
## ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าอัตราการสึกหรอ

Dependent Variable: g

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 <sup>a</sup>	26.000	0.000	9.447	0.000
Intercept	0.011	1.000	0.011	1143.000	0.000
Volt	0.001	2.000	0.000	34.640	0.000
Ontime	0.001	2.000	0.000	52.644	0.000
Steel	0.000	2.000	0.000	0.396	0.677
Volt * Overtime	0.000	4.000	0.000	7.227	0.000
Volt * Steel	0.000	4.000	0.000	4.161	0.009
Overtime * Steel	0.000	4.000	0.000	1.700	0.179
Volt * Overtime * Steel	0.000	8.000	0.000	2.239	0.056
Error	0.000	27.000	0.000		
Total	0.013	54.000			
Corrected Total	0.003	53.000			

a. R Squared = .901 (Adjusted R Squared = .806)

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าผลการวิเคราะห์ ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ทั้ง 3 คือ แรงดันไฟฟ้าและเวลาดิสชาร์จและสภาพโลหะพบว่าแรงดันไฟฟ้าและเวลาดิสชาร์จเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของอิลเล็กโทรด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าต่ำจะได้อัตราการสึกหรอต่ำ เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้มีอัตราการสึกหรอมากขึ้น เพราะที่แรงดันต่ำจะให้อัตราการกัดเนื้อโลหะมาก แต่เมื่อให้เพิ่มจะทำให้อัตราการกัดเนื้อโลหะน้อยลงเป็นผลอิลเล็กโทรดมีการสึกหรอมาก สอดคล้องกับการศึกษาเงื่อนไขของการแปรรูปเหล็ก K110 พบว่า การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิลเล็กโทรดลดลง ทวีป จีระประดิษฐ์ (2538)



รูปที่ 3 แสดงอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเมื่อพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าและเวลาดีสชาร์จ

จะพบว่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ จะมีผลต่อค่า อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด โดยแรงดันไฟฟ้า 21V ให้อัตราการสึกหรอเฉลี่ย 0.0102 g แรงดันไฟฟ้า 36V ให้อัตราการสึกหรอเฉลี่ย 0.0135 g แรงดันไฟฟ้า 50V ให้อัตราการสึกหรอเฉลี่ย 0.0186 g เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าต่ำจะได้ อัตราการสึกหรอต่ำ จึงสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นไปจะมีผลทำให้ค่า อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด มีค่าเพิ่มมากขึ้น Muhammad, P.J., และคณะ (2009) เพราะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำจะให้อัตราการกัดเนื้อโลหะมาก แต่เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจะทำให้อัตราการกัดเนื้อโลหะน้อยลง เป็นผลให้อิเล็กโทรดมีการสึกหรอมากขึ้น

และเมื่อพิจารณาจากเวลาดีสชาร์จ พบว่าเวลาดีสชาร์จที่ 590μs ให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเฉลี่ย 0.0190 g เวลาดีสชาร์จที่ 790μs ให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเฉลี่ย 0.0147 g เวลาดีสชาร์จที่ 1100 ให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเฉลี่ย 0.0086 g จึงพอสรุปได้ว่าการให้เวลาดีสชาร์จเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด มีค่าลดลงเพราะที่ช่วงเวลาดีสชาร์จยาว สารไดอิเล็กตริก จะแตกตัวทำให้เกิดคาร์ไบด์ไปทับถมที่หน้าอิเล็กโทรดทำให้เกิดการดีสชาร์จระหว่างคาร์ไบด์ที่ผิวหน้าอิเล็กโทรดกับชิ้นงานเกิดการสปาร์คกันระหว่างคาร์ไบด์กับชิ้นงานเป็นผลให้อิเล็กโทรดมีอัตราการสึกหรอน้อย Mohd A. L. et al., (2009)

### ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความหยาบผิว

Dependent Variable: Ra

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16.184 <sup>a</sup>	26.000	0.622	0.784	0.731
Intercept	1072.812	1.000	1072.812	1351.000	0.000
Volt	0.108	2.000	0.054	0.068	0.934
Ontime	2.203	2.000	1.102	1.387	0.267
Steel	2.497	2.000	1.248	1.572	0.226
Volt * Overtime	1.877	4.000	0.469	0.591	0.672
Volt * Steel	2.373	4.000	0.593	0.747	0.569
Ontime * Steel	0.417	4.000	0.104	0.131	0.970
Volt * Overtime * Steel	6.709	8.000	0.839	1.056	0.421

Error	21.44	27.000	0.794	
Total	1110.436	54.000		
Corrected Total	37.624	53.000		

a. R Squared = .430 (Adjusted R Squared = -.119)

ในการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนนี้ พบว่า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่า Ra ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ แรงดันไฟฟ้า และเวลาดิสชาร์จ ทั้งนี้สามารถดูได้จากค่า Sig. ที่มีค่าน้อยกว่า .05 และทำการวิเคราะห์รายคู่เพื่อหา คู่ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4, 5 และแนวโน้มของอิทธิพลของแต่ละพารามิเตอร์ดูได้จาก แผนภูมิวิเคราะห์ผลในภาพที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว

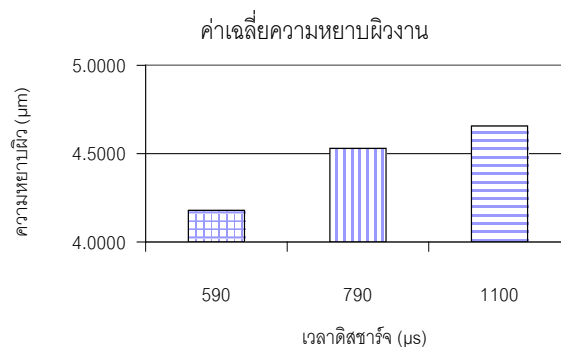
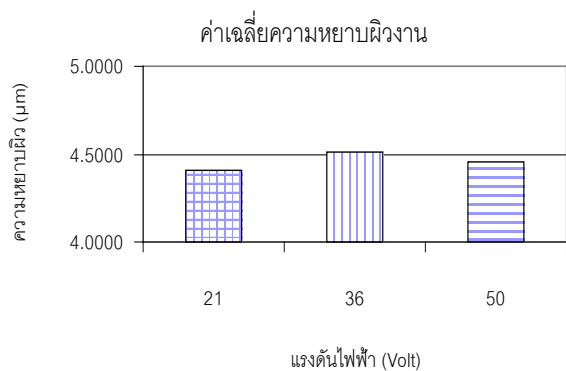
Ra LSD

(I) Volt	(J)Volt	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
21	36	-0.1094	0.28589	0.704	-0.6834	0.4645
	50	-0.0481	0.28589	0.867	-0.6221	0.5258
36	21	0.1094	0.28589	0.704	-0.4645	0.6834
	50	0.0613	0.28589	0.831	-0.5126	0.6352
50	21	0.0481	0.28589	0.867	-0.5258	0.6221
	36	-0.0613	0.28589	0.831	-0.6352	0.5126

ตารางที่ 5 แสดงความแตกต่างของเวลาดิสชาร์จที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว

Ra LSD

(I)Overtime	(J)Overtime	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
590	790	-0.3504	0.27779	0.213	-0.9081	0.2073
	1100	-0.4777	0.27779	0.092	-1.0354	0.08
790	590	0.3504	0.27779	0.213	-0.2073	0.9081
	1100	-0.1273	0.27779	0.649	-0.685	0.4304
1100	590	0.4777	0.27779	0.092	-0.08	1.0354
	790	0.1273	0.27779	0.649	-0.4304	0.685



รูปที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบผิวงานเมื่อพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าและเวลาดิสชาร์จ

พบว่าพารามิเตอร์ 2 พารามิเตอร์ คือแรงดันไฟฟ้าและเวลาดิสชาร์จที่ส่งผลต่อค่า Ra ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 21V ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 4.4047µm แรงดันไฟฟ้า 36V ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 4.5141µm แรงดันไฟฟ้า

50V ให้ค่าความหยาบผิว  $4.4528\mu\text{m}$  จึงพอสรุปได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นไปจะมีผลทำให้ค่า Ra มีค่าเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ สันติรัฐ นันสะอาง และคณะ (2545) พิจารณาจากเวลาดิสชาร์จปรากฏผลคือ ที่เวลาดิสชาร์จ  $590\mu\text{s}$  ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย  $4.1956\mu\text{m}$  ค่าเวลาดิสชาร์จ  $790\mu\text{s}$  ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย  $4.5280\mu\text{m}$  และค่าเวลาดิสชาร์จ  $1100\mu\text{s}$  ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย  $4.6481\mu\text{m}$  จึงพอสรุปได้ว่าเมื่อให้เวลาดิสชาร์จยาวมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่า Ra มีค่าน้อยลง เพราะที่เวลาดิสชาร์จสั้น จะให้ความหนาแน่นของกระแสที่สูงกว่าเวลาดิสชาร์จยาว ความหนาแน่นของกระแสที่สูงนี้ทำให้เกิดการกินลึกผิวงานมากขึ้น ผิวงานมีความหยาบมากขึ้น

### สรุป

จากผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาพบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นจะมีผลต่อเวลาการแปรรูป ค่าความหยาบผิวและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 การเพิ่มช่วงเวลาการดิสชาร์จ จะมีผลต่อเวลาการแปรรูป รวมทั้งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวงานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และวิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุณ ปริสุทโธ ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- ทวีป จีระประดิษฐ์. 2538. การศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขการแปรรูปโลหะในงานอีดีเอ็ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สันติรัฐ นันสะอาง. 2545. ผลของอุณหภูมิ ต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าแมงกานีสสูง.การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา: หน้า 43-44.
- Salonitis ,K., Stourmaras A., Stavropoulos, P. and Cryssolouris. 2007. Thermal modeling of the material removal rate and Surface roughness for die-sinking EDM. Springer-Verlag London.
- Douglas, C. 1997. Design and Analysis of Experiment. 5th edition, John Wiley & Sons Inc, Arizona, USA.
- Baril, R. 1987. Electrical discharge machining (EDM). Delmar Publishers Ins.
- Mohd, A. L., Mohd, R. H.C.D., and Nurul, A. A.K.M., 2009, "The Implementation of Taguchi Method on EDM Process of Tungsten Carbide", European Journal of Scientific Research, Vol.26, No.4 (2009), pp. 609-617.