

การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์
โดยการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าด้วยวิธีทาคุชิ

An Investigation of Effect of Parameters on Wire Electrical
Discharge Machining of WC-Co using Taguchi Method

พิชัย จันทน์มณี¹, กมลพงศ์ แจ่มกมล² และอภิวัฒน์ มุศตตามระ³

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

E-mail: pichai.j@rmutk.ac.th , kamonpong26@gmail.com

³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

E-mail: mapiwat@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ – งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ เกรด 90WC-10Co โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบวิธีทาคุชิเทคนิคเป็น L_9 Orthogonal Array (3^3) โดยมี 3 พารามิเตอร์หลัก คือ ความต่างศักย์วงจไฟฟ้า (Open Voltage), ปัจจัยประสิทธิภาพ (Duty Factor) และอัตราป้อน (Feedrate Override) ทำการทดลองตัดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ขนาดพื้นที่ตัด 10×15 mm ด้วยลวดตัดวัสดุทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $250 \mu\text{m}$ และวัดผลตัวแปรตอบสนองจากการทดลองในรูปของความเร็วในการตัด (Cutting Speed), ระยะอาร์ก (Spark Gap) และความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนตัดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับความต่างศักย์วงจไฟฟ้า และปัจจัยประสิทธิภาพ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยเมื่ออัตราป้อนสูงจะทำให้ความเร็วตัดในการตัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความหยาบผิวเฉลี่ยและระยะอาร์กจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งจะแปรผันกับปัจจัยประสิทธิภาพและความต่างศักย์วงจไฟฟ้า

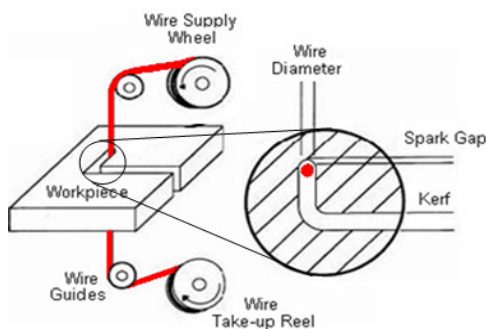
คำสำคัญ : ทาคุชิ / ทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ / การกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้า / ระยะอาร์ก

Abstract - The aim of this paper is to show the effect of parameter on Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) of tungsten carbide composite grade 90WC - 10Co based on Taguchi method. The Taguchi methodology was used to study that effect of parametric on WEDM process respectively. The specimen in this work 10×15 mm of cutting area, were carried out on $250 \mu\text{m}$ of wire diameter. Moreover, this paper adapted an L_9 orthogonal array. Experiments have been conducted to access the effect of three factors open voltage, duty factor, and feedrate override of WEDM process parameters. Moreover, it concluded that all factors have significant effect on cutting speed, spark gap, and surface roughness respectively. The result show that response of feedrate override parameters on WEDM process to be highly but it not significant at 95% of confident compared to other factors. The high feedrate override give more cutting speed. However, surface roughness and small spark gap found that increase when used duty factor and open voltage for additional parameters.

Keyword : Taguchi / WC-Co / WEDM /Spark Gap

1. บทนำ

การกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้า (WEDM : Wire Electrical Discharge Machining) เป็นวิธีการแปรรูปที่ไม่เกิดเศษ ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ [1-2] เนื่องจากสามารถผลิตรูปร่างชิ้นงานได้อย่างแม่นยำ ด้วยการแยกอนุภาค ของวัสดุ โดยอาศัยความร้อนจากการอาร์กของกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) เข้าไปทำลายพื้นผิวการจับยึดของอนุภาคออกจากเนื้อวัสดุในรูปของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 1 การกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าจะกระทำภายใต้สารของเหลวที่เรียกว่าสารไดอิเล็กตริก (Dielectric Fluid) โดยเส้นลวดทำหน้าที่เป็นเครื่องมือตัดซึ่งจะไม่สัมผัสกับชิ้นงาน ทั้งนี้จึงเป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้แปรรูปวัสดุที่ยากต่อการแปรรูปด้วยกรรมวิธีการทางกล โดยเฉพาะวัสดุที่มีความแข็งสูงอย่างวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่นิยมใช้ผลิตเป็นเครื่องมือตัดและวัสดุแม่พิมพ์สำหรับงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสามารถด้านทานการสึกหรอที่อุณหภูมิสูงได้ดี[3-4]



รูปที่ 1 การตัดด้วยลวดไฟฟ้า [5]

การกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าจะใช้หลักการจ่ายประจุไฟฟ้าผ่านเส้นลวดเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานเพื่อก่อให้เกิดการกัดกร่อน โดยความเร็วของการกัดกร่อนจะเรียกว่าความเร็วตัด (Cutting speed) ทั้งนี้การกัดกร่อนซึ่งเครื่องมือตัดไม่สัมผัสกับชิ้นงานจะทำให้เกิดช่องว่างที่เรียกว่า ระยะอาร์ก (Spark gap) ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นการอาร์กแล้วร่องรอยที่เหลือจะกลายเป็นลักษณะผิวงานที่สามารถวัดค่าได้ในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) โดยผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวเป็นผลมาจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เรียกว่าอัตราป้อน (Feedrate

Override) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Open Voltage) และประสิทธิภาพการทำงานในหนึ่งวัฏจักร (Duty Factor) [1,4] โดยระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากการปรับค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ไม่เท่ากันเป็นผลให้การทดลองไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้ ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องดำเนินการทดลองที่มากกว่าครั้ง ซึ่งทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายที่มากตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการหาค่าที่เหมาะสมต่อการเกิดผลกระทบน้อยที่สุด ทางคณะผู้วิจัยพิจารณาเห็นว่าเทคนิคทางสถิติเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาไว้ดังนี้ Lajis และคณะ[6] ได้ศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์การกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยกราฟฟิโตรีดโดยการประยุกต์เทคนิคทางสถิติ ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าให้ผลกระทบมากที่สุดต่อการเกิดความหยาบผิวและอัตราการสึกหรอเครื่องมือตัด Mahapatra และคณะ[5] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าด้วยกระบวนการเทคนิคทางสถิติ ผลการทดลองพบว่าทางสถิติสามารถช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการกัดกร่อนวัสดุกลุ่มอุตสาหกรรมแม่พิมพ์และอื่นๆได้ Wang และคณะ [7] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าด้วยทางสถิติ ซึ่งพบว่าสามารถลดจำนวนตัวอย่างการทดลองได้ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาและเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในการทดลองโดยใช้ทางสถิติด้วยการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ระดับความรุนแรง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA สำหรับการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพในกระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า

2. วิธีทางสถิติ (Taguchi Method)

ดร. เก็นอิชิ ทากูชิ (Genichi Taguchi) เป็นผู้สร้างแนวคิดในการออกแบบการทดลองให้ง่ายต่อการทดลองและการวิเคราะห์ผลโดยไม่ใช้การแจกแจงทางสถิติ เนื่องจากมองว่าค่าความเสียหาย (Loss) เกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ (Product) หรือกระบวนการ (Process) ผิดปกติไปจากค่าเป้าหมาย ดังนั้นเป้าหมายในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ คือการทำให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด วิธีการของทากูชิเป็นการเลือก

ปัจจัยที่ต้องการศึกษาหรือแก้ไขมากำหนดเป็นแบบแผนการทดลอง (Orthogonal Array) เพื่อลดจำนวนการทดลองให้เหมาะสมกับเงื่อนไขที่กำหนด จากนั้นจึงพิจารณาถึงอัตราส่วนผลกระทบ (S/N Ratio) โดยเลือกตัวแปรตอบสนองที่ตรงกับเป้าหมาย ซึ่งนำไปสู่การสร้างตัวชี้วัด (Performance Measure) ของวิธีการทางสถิติ นั่นคือ “ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratio ; S/N Ratio)” ทั้งนี้การวิเคราะห์ของทางสถิติวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณีดังสมการที่ 1 ถึง 3 [8]

(I) กรณีค่ายิ่งมาก ยิ่งดี (Larger the better)

$$S/N_L = -10\log\left\{\sum_{i=1}^n \frac{[1/y_i^2]}{n}\right\} \quad (1)$$

(II) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Small the better)

$$S/N_L = -10\log\left(\sum \frac{y_i^2}{n}\right) \quad (2)$$

(III) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target the best)

$$S/N_L = 10\log\left(\sum \frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \quad (3)$$

สำหรับหลักวิธีการของทางสถิติเทคนิคจัดเป็นวิธีการที่แพร่หลายในงานอุตสาหกรรมโดยมีเครื่องมือหลักสำคัญที่ใช้ในการออกแบบประกอบด้วย Orthogonal Array และ Signal-to-Noise (S/N) Ratios โดยมีลำดับขั้นตอนการดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 3

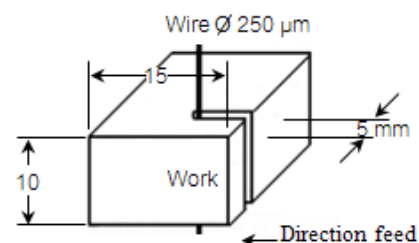
3. วิธีการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดวัสดุทั้งสเตนคาร์ไบด์โดยการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าด้วยวิธีการทางสถิติ โดยมีตัวแปรต้นในการศึกษา คือพารามิเตอร์อันประกอบด้วย ความต่างศักย์วงจร (Open Voltage), ปัจจัยประสิทธิภาพ (Duty Factor) และอัตราป้อน (Feedrate Override) โดยมีตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนองที่นำมาวิเคราะห์คือความเร็วในการตัด (Cutting Speed), ระยะอาร์ก (Spark Gap) และความหนาผิว

(Ra) ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่นำมาประมวลผลด้วยวิธีการทางสถิติ โดยพิจารณาถึงคุณภาพดีที่สุดคือ ความเร็วตัดสูงสุด ระยะอาร์กและความหนาผิวเฉลี่ยต่ำสุด [8-9] ในการทดลองนี้เป็น การทดลองแบบ 3 ปัจจัย 3 ระดับ โดยมีพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ประมวลผลจะใช้ร่วมกับโปรแกรม Minitab Version 14 การทดลองจะใช้เส้นลวดทองเหลืองขนาด $\varnothing$ 250 μ m ตัดวัสดุทั้งสเตนคาร์ไบด์เกรด 90WC-10Co ขนาดพื้นที่ตัด 10 x 15 mm ดังรูปที่ 2 และมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่อง WEDM ยี่ห้อ ARISTECH รุ่น CW-30 ดังแสดงในรูปที่ 4 และพารามิเตอร์ควบคุมดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และระดับในการทดลอง

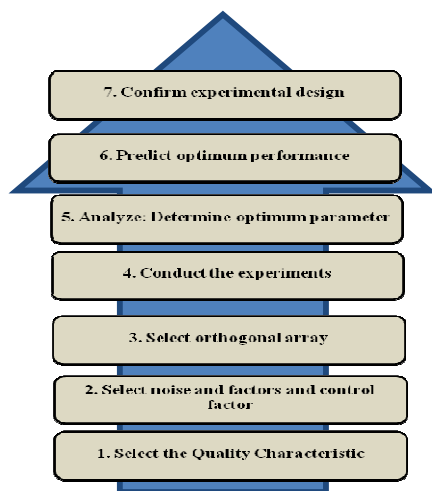
Factors	Level I	Level II	Level III
Open voltage (V)	90	95	100
Duty factor (%)	25	29	33
Feedrate override (mm/min)	1.5	2.0	2.5



รูปที่ 2 ลักษณะการตัดชิ้นงานทดลอง

ตารางที่ 2 สมบัติวัสดุทั้งสเตนคาร์ไบด์

Properties	Tungsten Carbide
Melting Point	2,800 °C
Density	15.7g/cm ³
Thermal expansion	5x10 ⁻⁶ °C
Hardness	87.4(HRA)
Elastic modulus	648 Gpa



รูปที่ 3 ลำดับขั้นตอนวิธีการทางสถิติ



รูปที่ 4 เครื่อง WEDM ARISTECH รุ่น CW-30

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลอง

No.	Fix Parameter	Level
1	Wire type	Brass
2	Diameter of wire (μm)	250
3	Off-Time (μs)	12
4	Arc on-time (μs)	3
5	Arc off-time (μs)	15
6	Servo Voltage (V)	30
7	Wire feed (mm/sec)	90
8	Wire tension (g)	1180
9	Water flow	Strong

จากการกำหนดรูปแบบการทดลองเป็น 3 ปัจจัย 3 ระดับ โดยสามารถออกแบบการทดลองอยู่ในรูปแบบของตารางเก็บผลการทดลองทางสถิติเป็นแบบ L_9 Orthogonal Array ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 L_9 Orthogonal array

Exp. No	Open voltage (V)	Duty Factor (%)	Feedrate override (mm/min)
1	1 (90)	1 (25)	1 (1.5)
2	1 (90)	2 (29)	2 (2.0)
3	1 (90)	3 (33)	3 (2.5)
4	2 (95)	1 (25)	2 (2.0)
5	2 (95)	2 (29)	3 (2.5)
6	2 (95)	3 (33)	1 (1.5)
7	3 (100)	1 (25)	3 (2.5)
8	3 (100)	2 (29)	1 (1.5)
9	3 (100)	3 (33)	2 (2.0)

วิธีการวัดค่าความเร็วในการตัด (Cutting speed) จะใช้วิธีการคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดต่อระยะเวลาที่ใช้ในการตัด ส่วนระยะอาร์ก (Spark Gap) จะใช้วิธีการวัดความกว้างรอยตัดด้วยเครื่องวัดแบบจุลภาค (Measurement Microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น STM-6LM ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากญี่ปุ่น ปลายขนาดเส้นลวดที่ใช้ $\varnothing 250 \mu\text{m}$ สำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยวัดโดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ยี่ห้อ Mahr รุ่น Surf PS1 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากประเทศเยอรมัน ทั้งนี้ได้ตั้งค่าการวัดความหยาบผิวคือ Cut off $5 \times 0.8 \text{ mm}$

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองตามวิธีการของทางสถิติเพื่อการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดวัสดุทั้งสแตนเลส 304 โดยการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าสามารถเก็บผลการทดลองได้ดังแสดงใน ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลอง (Response)

Exp. No	Cutting Speed (mm ² /min)	Spark Gap (μm)	Ra (μm)
1	15.97	85.367	1.551
2	21.20	52.733	1.666
3	26.40	51.867	1.826
4	20.75	57.000	1.763
5	25.92	42.400	2.030
6	15.71	62.900	1.750
7	22.81	51.617	2.052
8	15.97	61.100	1.680
9	21.20	54.800	1.724

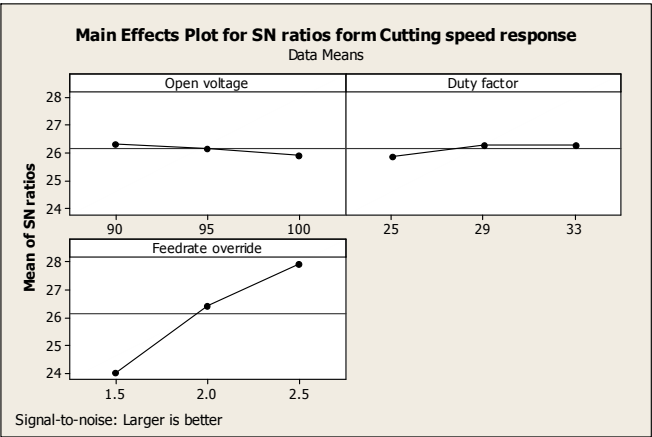
4.2 การวิเคราะห์ผล

4.2.1 วิเคราะห์ความเร็วในการตัด (Cutting Speed)

พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความเร็วในการตัด (Cutting Speed) วัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติซึ่งให้ผลลัพธ์คุณภาพค่ายิ่งมกยิ่งดีพบว่าความเร็วในการตัดแปรผันกับอัตราป้อน (Feedrate Override) ดังแสดงในรูปที่ 5 และตารางที่ 6 ซึ่งแสดงถึงการจัดระดับของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความเร็วในการตัดมากที่สุดคืออัตราป้อน ปัจจัยประสิทธิภาพ และความต่างศักย์วงจรไฟฟ้าตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเร็วในการตัดด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังแสดงผลในตารางที่ 7 พบว่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองกรณีค่ายิ่งมกยิ่งดีสามารถสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้จากระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ความเร็วในการตัดสูงสุด คือ อัตราป้อน 2.5 mm/min ปัจจัยประสิทธิภาพ 33 % และความต่างศักย์วงจรไฟฟ้า 90 V ซึ่งได้ค่าพยากรณ์ความเร็วในการตัดเท่ากับ 26.02 mm²/min ในขณะที่ค่าจากการปฏิบัติการจริงอยู่ที่ 26.40 mm²/min

ตารางที่ 6 S/N Ratio from Cutting Speed Response

Level	Open Voltage	Duty Factor	Feedrate Override
1	26.34	25.86	24.02
2	26.18	26.29	26.46
3	25.92	26.29	27.96
Delta	0.42	0.44	3.94
Rank	3	2	1



รูปที่ 5 S/N Ratio from Cutting speed response

ตารางที่ 7 Anova from Cutting speed response

Source	DF	SS	MS	F	P
Open Voltage	2	2.229	1.115	0.88	0.533
Duty Factor	2	3.001	1.501	1.18	0.459
Feedrate override	2	126.547	63.273	49.70	0.020
Error	2	2.546	1.273		
Total	8	134.324			

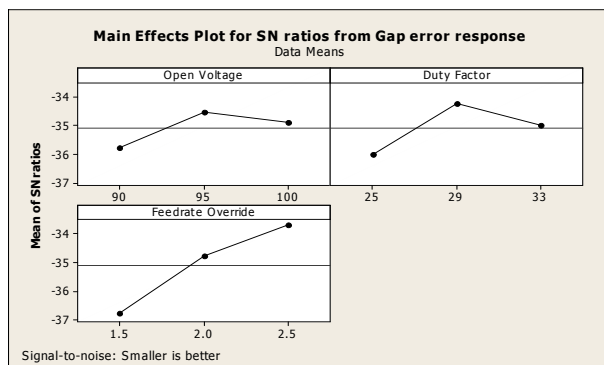
S = 1.12837 R-Sq = 98.10% R-Sq(adj) = 92.42%

4.2.2 วิเคราะห์ระยะอาร์ก (Spark Error)

พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อระยะอาร์ก (Spark Error) วัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติลักษณะคุณภาพค่าน้อยยิ่งดีพบว่าระยะอาร์กแปรผันกับอัตราป้อน (Feedrate Override) ดังแสดงในรูปที่ 6 และตารางที่ 8 แสดงการจัดระดับของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อระยะอาร์กมากที่สุดคือ อัตราป้อน ปัจจัยประสิทธิภาพ และความต่างศักย์วงจรไฟฟ้าตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อระยะอาร์กในการตัดด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังแสดงผลในตารางที่ 9 พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองกรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดีสามารถสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้จากระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ระยะอาร์กต่ำสุด คือ อัตราป้อน 1.5 mm/min ปัจจัยประสิทธิภาพ 25 % และความต่างศักย์วงจร 90 V ซึ่งได้ค่าพยากรณ์ระยะอาร์กเท่ากับ 82.265 μm ในการทดลองจริงอยู่ที่ 85.376 μm ทั้งนี้จากการพิจารณาผลจากการเก็บข้อมูลจากตารางที่ 5 จะพบว่ามีผลบางการ ทดลองที่ให้ค่าระยะอาร์กต่ำกว่าค่าพยากรณ์จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าอาจมีพารามิเตอร์ในการทดลองคู่หนึ่งคู่ใดมีความสัมพันธ์ร่วมกัน (Interaction)

ตารางที่ 8 S/N Ratio from Spark Gap response

Level	Open Voltage	Duty Factor	Feedrate Override
1	-35.79	-36.00	-36.77
2	-34.55	-34.24	-34.78
3	-34.92	-35.02	-33.70
Delta	1.24	1.76	3.07
Rank	3	2	1



รูปที่ 6 S/N Ratio from Spark Gap responses

ตารางที่ 9 Anova from Spark Gap response

Source	DF	SS	MS	F	P
Open Voltage	2	144.08	72.04	3.24	0.236
Duty Factor	2	244.35	122.17	5.49	0.154
Feedrate override	2	709.77	354.89	15.94	0.059
Error	2	44.53	22.26		
Total	8	1142.72			

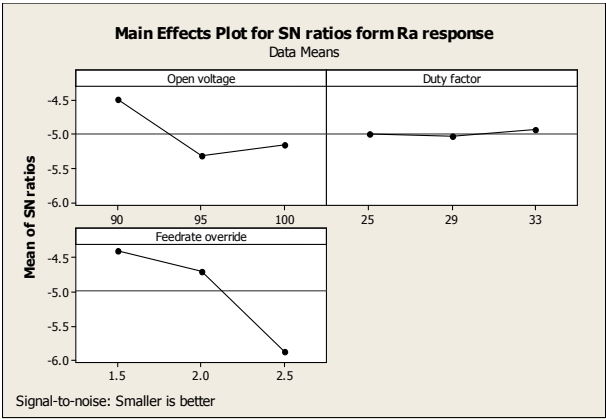
S = 4.71848 R-Sq = 96.10% R-Sq(adj) = 84.41%

4.2.3 วิเคราะห์ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)

พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) วัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติลักษณะคุณภาพค่าน้อยยิ่งดีพบว่าความหยาบผิวเฉลี่ยแปรผันกับอัตราป้อน (Feedrate Override) ดังแสดงในรูปที่ 7 และตารางที่ 10 ซึ่งแสดงการจัดระดับของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวเฉลี่ยมากที่สุดคืออัตราป้อน ความต่างศักย์วงจรไฟฟ้า และปัจจัยประสิทธิภาพ ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อระยะอาร์กในการตัดด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังแสดงผลในตารางที่ 9 พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองกรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดีสามารถสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้จากระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ระยะอาร์กต่ำสุด คือ อัตราป้อน 2.5 mm/min ปัจจัยประสิทธิภาพ 29 % และความต่างศักย์วงจร 95 V ซึ่งได้ค่าพยากรณ์ความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 2.044 μm ในขณะที่ได้จากการทดลองจริงอยู่ที่ 2.30 μm ทั้งนี้จากการพิจารณาผลจากการเก็บข้อมูลจากตารางที่ 5 จะพบว่ามีผลบางการ ทดลองที่ให้ค่าระยะอาร์กต่ำกว่าค่าพยากรณ์จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าอาจมีพารามิเตอร์ในการทดลองคู่หนึ่งคู่ใดมีความสัมพันธ์ร่วมกัน (Interaction)

ตารางที่ 10 S/N Ratio from Ra response

Level	Open Voltage	Duty Factor	Feedrate Override
1	-4.492	-4.994	-4.393
2	-5.312	-5.030	-4.696
3	-5.160	-4.941	-5.874
Delta	0.820	0.089	1.481
Rank	2	3	1



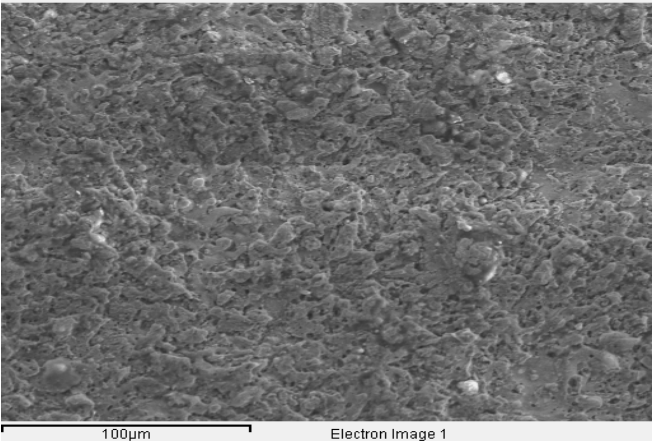
รูปที่ 7 S/N Ratio from Ra response

จากรูปที่ 8 แสดงลักษณะผิวงานที่เกิดจากการตัดด้วยลวดไฟฟ้าที่มีความหนาผิวเฉลี่ย 1.551 μm ที่พารามิเตอร์ ความต่างศักย์วงจร 90 V ปัจจัยประสิทธิภาพ 25% และอัตราป้อน 1.5 mm/min และรูปที่ 9 แสดงลักษณะความกว้างของรอยตัดโดยการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าบนวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (a) ความกว้างของรอยตัดบริเวณผิวด้านบนชิ้นงาน (b) ความกว้างของรอยตัดบริเวณผิวด้านล่างชิ้นงานที่ทำการวัดด้วยเครื่องวัดแบบจุลภาค (Measurement Microscope)

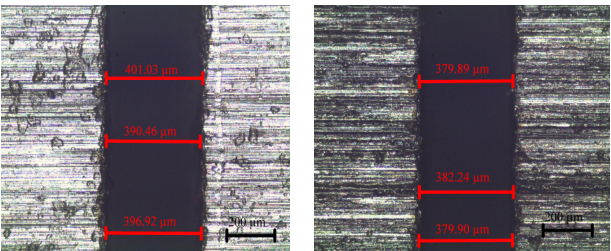
ตารางที่ 11 Anova from Ra response

Source	DF	SS($\times 10^{-3}$)	MS($\times 10^{-3}$)	F	P
Open Voltage	2	47.571	23.785	6.35	0.136
Duty Factor	2	1.137	0.568	0.15	0.868
Feedrate override	2	162.104	81.052	21.62	0.044
Error	2	7.496	3.748		
Total	8	218.308			

S = 0.00400722 R-Sq = 95.69% R-Sq(adj) = 82.75%



รูปที่ 8 แสดงลักษณะผิวงานที่เกิดจากการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้า



(a) ด้านบน

(b) ด้านล่าง

รูปที่ 9 แสดงลักษณะความกว้างรอยตัดจากการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้า (ขนาดกำลังขยาย10x)

5. สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์โดยการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าโดยการออกแบบการทดลองทางเทคนิค สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ความเร็วในการตัด(Cutting Speed)วัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์จะแปรผันตามอัตราป้อนและเมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเร็วตัดพบว่าแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ระยะอาร์ก (Spark Gap) ในการตัดวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์จะแปรผันตามอัตราป้อนและเมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเร็วตัดพบว่าแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3) ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ในการตัดวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์จะแปรผันกับอัตราป้อนและเมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเร็วตัดพบว่าแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4) ค่าพารามิเตอร์จะทำให้เกิดความสัมพันธ์ร่วมซึ่งมีผลต่อระยะอาร์กและความหยาบผิวเฉลี่ย ทั้งนี้ในกรณีที่ต้องการให้ได้ค่าพยากรณ์และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต้องนำความสัมพันธ์ร่วม(Interaction) ของพารามิเตอร์เข้ามาวิเคราะห์ด้วย วิธีการออกแบบการทดลองด้วยทฤษฎีนั้นทำให้สามารถลดขนาดกลุ่มตัวอย่างการทดลองได้ลง โดยที่ความเชื่อมั่นของข้อมูลไม่ได้ลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bud Guitrau, E., The EDM Handbook. Handser Gardener publication Cincinnati, 1997, PP. 19-54.
- [2] Thomas, B., Technology of Electrical Discharge Machining. Druckerei Helene, 6102 Pfunstste. PP. 11-53

- [3] Lee, S.H. and Li, X.P. Study of the Surface Integrity of the Machined Workpiece in the EDM of Tungsten Carbide. Journal of Materials Processing Technology, Vol.139, 2003.
- [4] Aristech., Aristech CNC Wire cut EDM Instruction Manual. Lien Sheng Mechine & Electrical., Ta-li Shing, 2004.
- [5] S.S.Mahapatra and Amar Patnaik., Parametric of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process using Taguchi Method. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., Vol.xxxvii, 2006. pp.422-429.
- [6] Mohd Amri Lajis, H.C.D. Mohd Radzi, A.K.M.Nurul Amin., The Implementation of Taguchi Method on EDM Process of Tungsten Carbide. European Journal of Scientific Research, Vol.26 (4),2009. pp.609-617.
- [7] Wang, C.C., Yan, B.H., "Blind-Hole Drilling of $Al_2O_3/6061Al$ Composite Using Rotary Electrical Discharge Machining. Journal of Materials Processing Technology., Vol. 102, 2000. pp. 90-102.
- [8] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงษ์ชนัน เหลืองไพฑูริย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2551.

7. ประวัติผู้วิจัย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์ อธิการบดี
ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
กรุงเทพขอขอบเขตงานวิจัยที่สนใจ เป็น
การศึกษาการแปรรูปวัสดุที่มีความแข็งสูงโดย
การกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (EDM)



นายคมลพงศ์ แจ่มกมล อาจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ขอขอบเขตงานวิจัยที่สนใจ การแปรรูปวัสดุด้วย
เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC)



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิวัฒน์ มุตตามระ
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์
รังสิต ขอขอบเขตงานวิจัยที่สนใจ การแปรรูปวัสดุที่
ไม่นำไฟฟ้า (เซรามิกส์) โดยการกัดกร่อนด้วย
ไฟฟ้า (EDM)