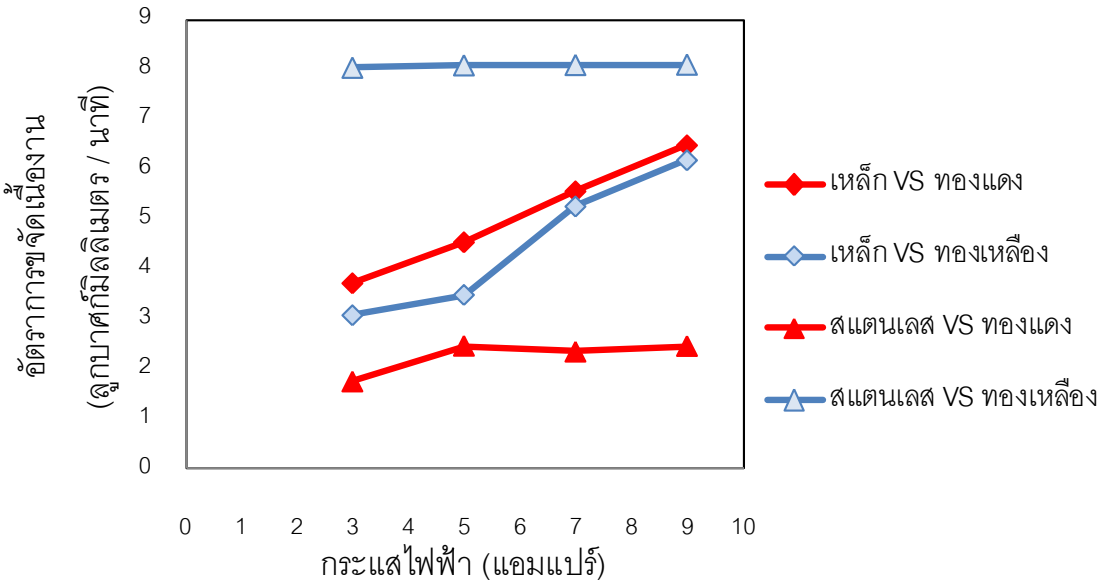
บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

การพิจารณาผลการทดลองประเมินจาก อัตราการขจัดเนื้องาน , อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด , ความเรียวในรูเจาะ และความหยาบผิวเฉลี่ยจากตัวแปรต่างๆ คือ กระแสไฟฟ้า , เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพ, ความดันน้ำ และอัตราป้อน

4.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาการส่งผลของอิเล็กโตรดทองเหลืองและทองแดงที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

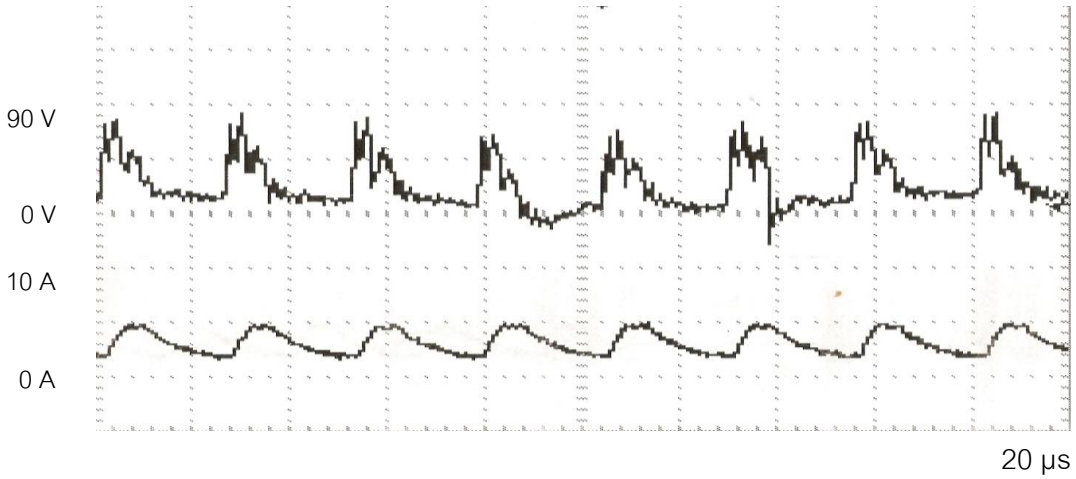
ในอุตสาหกรรมทั่วไป มักมีการแปรรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า และนิยมใช้อิเล็กโตรดทองแดงในการแปรรูป สำหรับเหล็กทั่วไป ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาว่าอิเล็กโตรดชนิดใดเหมาะสมกับการแปรรูปชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม การทดลองได้ทดลองบนเหล็กเพลาขาว (JIS SS400) เพื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิม



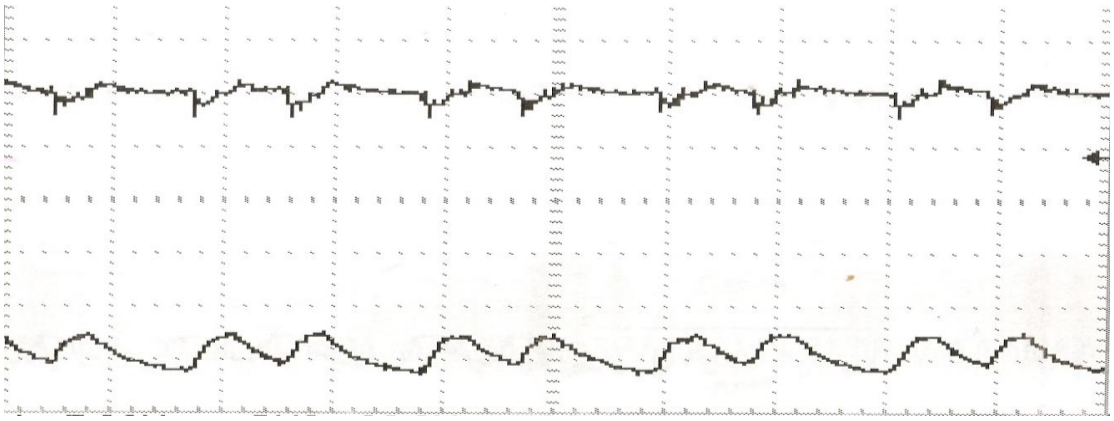
ภาพที่ 4.1
ความสัมพันธ์ของอัตราการขจัดเนื้องานกับกระแสไฟฟ้าโดยชิ้นงานคือเหล็กและเหล็กกล้าไร้สนิม

จากภาพที่ 4.1 สำหรับชิ้นงา นเหล็ก อิเล็กโตรดทองแดงให้ค่าการขจัดชิ้นงานสูงกว่าอิเล็กโตรดทองเหลือง เนื่องจากอิเล็กโตรดทองแดงมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่า และอิเล็กโตรดทองเหลืองมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าอิเล็กโตรดทองแดงจึง ทำให้อิเล็กโตรดทองเหลืองสึกมากกว่า [F. Ghanema และคณะ, 2003]

สำหรับชิ้ นงานเหล็กกล้าไร้สนิมกัดอาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองให้ผลอัตราขจัดดีกว่าทองแดงเนื่องจากว่า ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมมีการนำความร้อนที่ต่ำกว่าเหล็กเพลาขาว ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการกัดอาร์คจึงสะสมอยู่บริเวณระหว่างชิ้นงานและอิเล็กโตรด การสปาร์คแต่ละครั้งจำเป็นต้องมีการทำให้เป็นกลาง (Deionized) และ รอให้เย็นตัวลงของของเหลวตัวกลาง สำหรับอิเล็กโตรดทองเหลืองมีจุดหลอมเหลวและค่าเหนี่ยวนำความร้อนที่ต่ำกว่าจึงหลอมละลายได้มากกว่าจึงทำให้มีข้อได้เปรียบในเรื่องของระยะช่องไฟเพิ่มขึ้นทำให้การสปาร์คเกิดได้เสถียรกว่า สามารถดูได้จากภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงรูปคลื่นที่ได้จากการสปาร์ค [A.A. Khan และคณะ , 2007] ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกอิเล็กโตรดทองเหลืองทำการ ออกแบบการทดลองต่อไป



ภาพที่ 4.2
ลักษณะรูปคลื่นขณะสปาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองเหลือง



20 µs

ภาพที่ 4.3
ลักษณะลักษณะรูปคลื่นขณะสปาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองแดง

จากภาพที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าการกัดอาร์คชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองมีลักษณะการสปาร์คที่เสถียรกว่าการสปาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองแดง โดยดูจากช่วงคลื่นของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีลักษณะที่สม่ำเสมอมากกว่า

4.2 ผลการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล

จากผลการทดลองที่ 4.1 จะเห็นว่าอิเล็กโตรดทองเหลืองส่งผลให้มีค่าอัตราการขจัดเนื้องานที่มากกว่าอิเล็กโตรดทองแดงบนชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม จึงทำการเลือกอิเล็กโตรดทองเหลืองมาทำการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรีย ล โดยในขั้นต้นจะต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับของแต่ละตัวแปรที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการทดลองฟูลแฟคทอเรียล และวิเคราะห์ความแปรปรวนพร้อมทั้งสร้างสมการเพื่อทำนายผลตอบสนอง

การทดลองหาค่าระดับตัวแปรที่เหมาะสมนั้นจะทำการวัดผลจากค่า อัตราการขจัดเนื้องาน ซึ่งเป็นค่าเบื้องต้นในการทดลอง

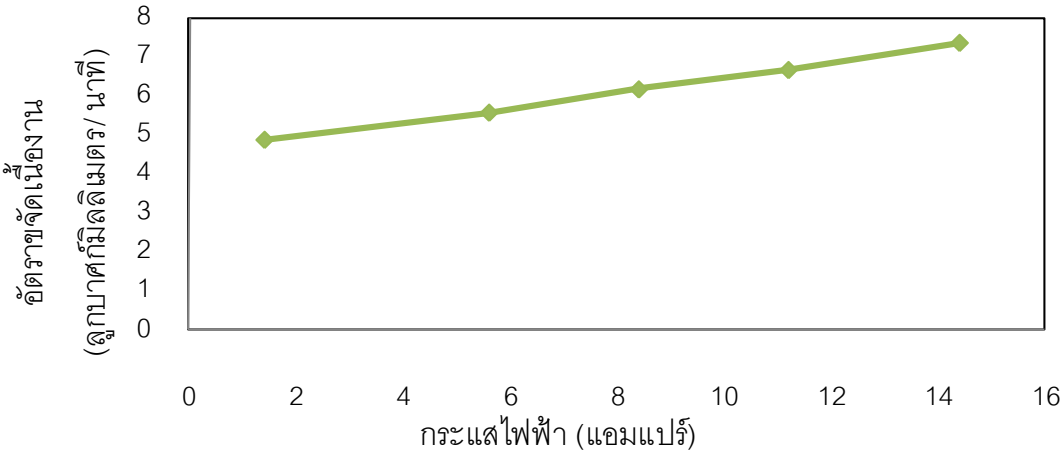
4.2.1 การหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อหาค่าระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จะทำการทดลองโดยปรับค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 4.1

การปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	1.4 – 14.4 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาพที่ 4.4

กราฟแนวโน้มค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับต่างๆ กับ อัตราการขจัดเนื้องาน

ผลการทดลองหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดการเนื้องานเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มพลังงานทำให้สามารถขจัดเนื้องานได้มากขึ้น จึงเลือกค่ากระแสไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 1.4 และ14.4 แอมแปร์

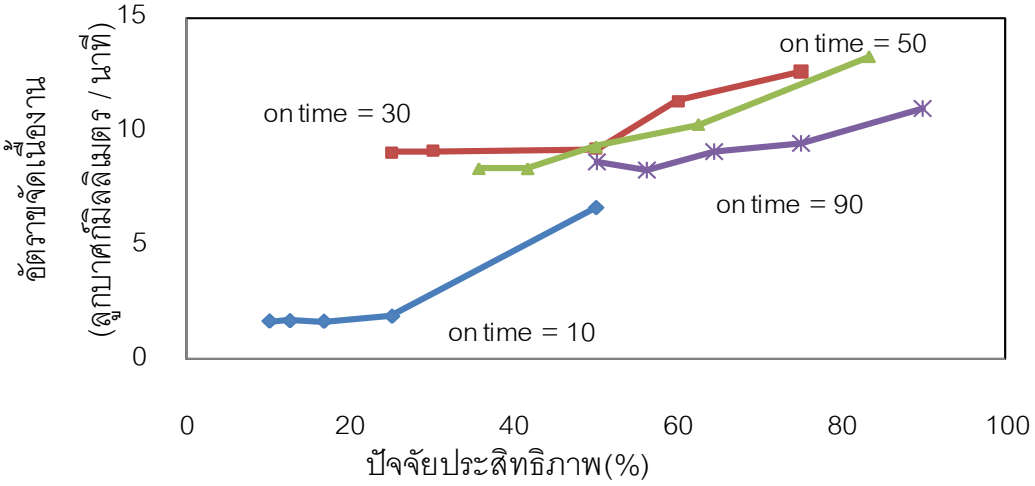
4.2.2 การหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อหาค่า ปัจจัยประสิทธิภาพ ที่เหมาะสม จะทำการทดลองโดยปรับให้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.2

การปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่เหมาะสม

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	14.4 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	10-83.33 เปอร์เซนต์
ความดันน้ำ	60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาพที่ 4.5

กราฟแสดงผลของการปรับปัจจัยประสิทธิภาพที่ค่าต่างๆ กับอัตราการขจัดเนื้องาน

ผลการทดลองหาปัจจัยประสิทธิภาพที่เหมาะสม พบว่าเวลาเปิดที่ค่าต่างๆ จะให้ค่าที่เหมาะสมกับปัจจัยประสิทธิภาพต่างๆ กัน ดังนั้นจึงเลือกค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่เหมาะสมคือ 50% และ 83.33% โดยที่ใช้ค่าเวลาเปิดคือ 10 และ 90 ไมโครวินาที เนื่องจากไม่สามารถปรับค่า

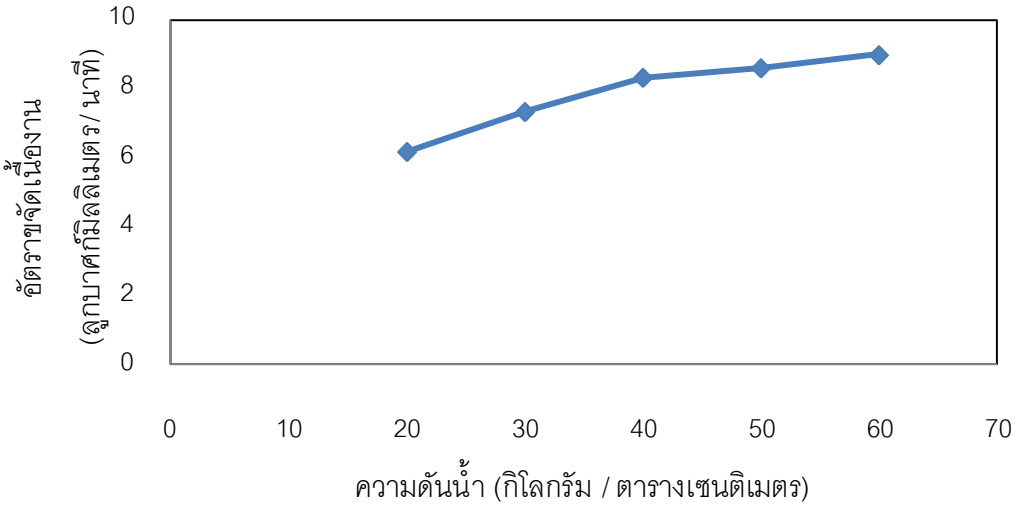
ปัจจัยประสิทธิภาพที่น้อยกว่านี้ได้ เพราะ ถ้าปรับให้มีค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ 20 โดยปรับค่าเวลาเปิดที่ 10 ไมโครวินาทีจะต้องปรับค่าเวลาปิดที่ -9.5 ซึ่งเครื่องไม่สามารถปรับค่าเวลาปิดนี้ได้ ดังนั้นจึงต้องเลือกค่าเวลาเปิด และปัจจัยประสิทธิภาพดังข้างต้น

4.2.3 **การหาค่าความดันน้ำที่เหมาะสม**

การทดลองเพื่อหาค่าระดับ ความดันน้ำที่เหมาะสมจะทำการทดลองโดยปรับให้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.3
การปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อหาค่าความดันน้ำที่เหมาะสม

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	14.4 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42 เปอร์เซนต์
ความดันน้ำ	20-60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาพที่ 4.6
กราฟแสดงผลของการปรับความดันน้ำที่ค่าต่างๆ กับอัตราการขจัดเนื้องาน

ผลการทดลองหาความดันน้ำที่เหมาะสม พบว่าเมื่อเพิ่มความดันน้ำทำให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วย เนื่องจากความดันน้ำมากขึ้นจะทำให้สามารถขจัดเศษชิ้นงานออกได้ดีจึงทำให้เกิดการสปาร์คที่สมบูรณ์มากขึ้น อัตราการขจัดเนื้องานจึงเพิ่มขึ้น จึงเลือกค่าความดันน้ำที่เหมาะสมคือ 20 และ 60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

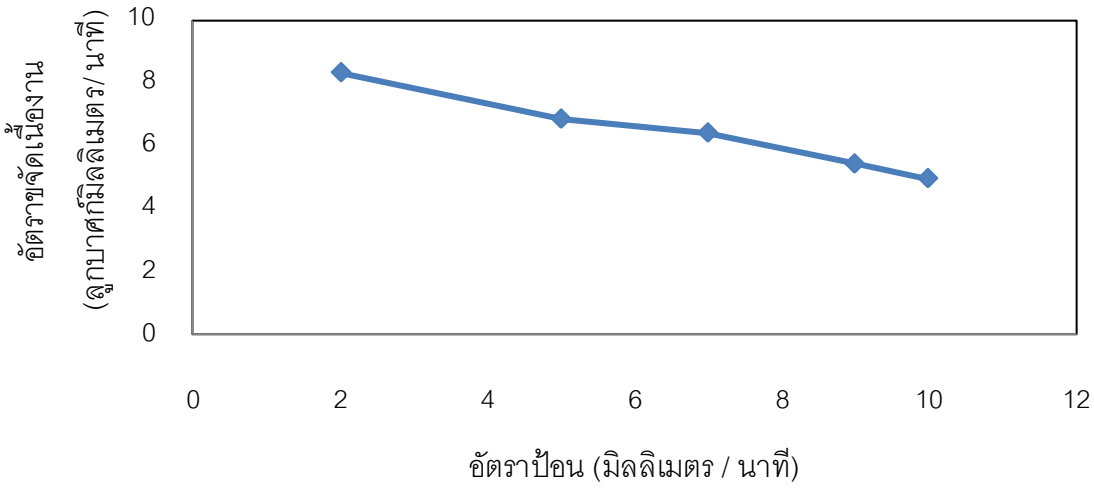
4.2.4 การหาค่าอัตราป้อนที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อหาค่าระดับเวลาปิดที่เหมาะสม จะทำการทดลองโดยปรับให้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.4

การปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อหาค่าอัตราป้อนที่เหมาะสม

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	14.4 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42 %
ความดันน้ำ	60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2-10 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาพที่ 4.7

แสดงผลของการปรับค่าอัตราป้อนที่ค่าต่างๆ กับอัตราการขจัดเนื้องาน

ผลการทดลองหาค่า อัตราป้อนที่เหมาะสม พบว่า พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อน จะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานลดลง เนื่องจากขณะเกิดการสปาร์คจำเป็นต้องมีระยะช่องไฟ (Gap) ที่

เหมาะสม ซึ่งเมื่ออัตราป้อนมีค่ามากเกินไปจะทำให้ระยะช่องไฟ (Gap) น้อยเกินไปทำให้เกิดการสปาร์คไม่สมบูรณ์หรือเกิดการลัดวงจร (Short) จึงเลือกค่าอัตราป้อนที่เหมาะสมคือ 2 และ 10

จากการทดลองเพื่อหาค่าระดับตัวแปรที่เหมาะสมทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5
แสดงค่าระดับตัวแปรที่เหมาะสมทั้งหมด

ตัวแปร	ค่าระดับตัวแปรที่เหมาะสม	
	ระดับ 1	ระดับ 2
กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	1.4	14.4
เวลาเปิด(ไมโครวินาที)	10	90
ปัจจัยประสิทธิภาพ	50	83.33
อัตราป้อน (มิลลิเมตร / นาที)	2	10
ความดันน้ำ(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	20	60

จากผลการทดลอง หาระดับของ ตัวแปรที่ส่งผลต่ อประสิทธิภาพของการสปาร์คเจาะรูเหล็กกล้าไร้สนิม แล้วนั้น จึงทำการกำหนดระดับของตัวแปรและ ค่าของระดับแต่ละระดับ ของตัวแปรนั้นๆ ตามตารางที่ 4.6 โดยการทดลองต้องการ 2 ระดับ ซึ่งระดับ 1 หมายถึง ระดับที่มีค่าต่ำและระดับที่ 2 หมายถึงระดับที่มีค่าสูง

ตารางที่ 4.6

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล และระดับของตัวแปร

สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย	ระดับ 1	ระดับ 2
I	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	1.4	14.4
T-on	เวลาเปิด	ไมโครวินาที	10	90
D.F.	ปัจจัยประสิทธิภาพ	เปอร์เซนต์	50	83.33
P	ความดันน้ำ	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	20	60
Servo	อัตราป้อน	มิลลิเมตรต่อนาที	2	10

จากนั้นจึงกำหนดแผนผังการทดลองแฟคทอเรียลซึ่งมีผังการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7

แผนผังการทดลองแฟคทอเรียล

การทดลองที่	ระดับของตัวแปร				
	เวลาเปิด	กระแสไฟฟ้า	ปัจจัยประสิทธิภาพ	ความดันน้ำ	อัตราป้อน
1	1	1	-1	-1	1
2	1	1	1	-1	1
3	-1	-1	-1	1	1
4	-1	-1	1	-1	1
5	1	-1	1	1	-1
6	1	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	-1
8	-1	-1	-1	1	-1
9	-1	-1	-1	-1	1
10	-1	1	1	-1	1

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

แผนผังการทดลองแฟคทอเรียล

การทดลองที่	ระดับของตัวแปร				
	เวลาเปิด	กระแสไฟฟ้า	ปัจจัยประสิทธิภาพ	ความดันน้ำ	อัตราป้อน
11	-1	1	-1	1	-1
12	1	-1	1	1	1
13	-1	1	1	1	1
14	-1	-1	1	-1	-1
15	1	-1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	1
17	-1	-1	1	1	1
18	1	1	-1	-1	-1
19	-1	1	1	-1	-1
20	1	-1	-1	1	-1
21	-1	1	-1	-1	1
22	-1	-1	-1	-1	-1
23	1	1	-1	1	-1
24	1	-1	-1	-1	-1
25	1	-1	-1	-1	1
26	-1	1	-1	-1	-1
27	-1	1	-1	1	1
28	1	-1	-1	1	1
29	1	1	-1	1	1
30	-1	1	1	1	-1
31	1	1	1	-1	-1
32	1	1	1	1	-1

ในการทดลอง ได้ใช้ อิเล็กโตรด ชนิด ทอง เหลืองแบบกลวงที่มี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และเจาะชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 35 มิลลิเมตร

4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรแบบฟูลแฟคทอเรียล

ผลการศึกษาปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย คือ กระแสไ ฟฟ้า, เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพ, ความ ดันน้ำ และ อัตราป้อน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสปาร์คเจาะรู เหล็กกล้าไร้สนิ มนั้น สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยโปรแกรม MINITAB 15 เพื่อทำการแยกความแปรปรวนออกมาเป็น ความแปรปรวนเนื่องจากทั้ง 5 ตัวแปร แล ะความแปรปรวนเนื่องมาจากสาเหตุที่ไม่ได้ควบคุ ม จนมีผลทำให ผลการทดลองมีความแตกต างกันมากหรือไม หากมีผลตอการทดลอง แสดงวาอิทธิพลของตัวแปรทั้ง 5 มีผลตอการทดลองอยางมีนัยสำคัญ

ทำการทดสอบสมมติฐานสำหรับ อัตราการขจัดเนื้องาน , อัตราการสึกกร อนของอิเล็กโตรด, ความเรียวในรูเจาะ และความหยาบผิวเฉลี่ย กับตัวแปร 5 ตัว คือ กระแสไฟฟ้า, เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพ, ความดันน้ำ และอัตราป้อนที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ตั้งสมมติฐานดังนี้

1. อัตราการขจัดเนื้องาน

- H_0 : อัตราการขจัดเนื้องาน ของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร ไมแตกตางกัน หรือ

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ โดยที่

μ_1 = อัตราการขจัดเนื้องาน ของตัวแปร กระแสไฟฟ้า

μ_2 = อัตราการขจัดเนื้องาน ของตัวแปรเวลาเปิด

μ_3 = อัตราการขจัดเนื้องาน ของตัวแปรปัจจัยประสิทธิภาพ

μ_4 = อัตราการขจัดเนื้องาน ของความดันน้ำ

μ_5 = อัตราการขจัดเนื้องาน ของอัตราป้อน

- H_1 : อัตราการขจัดเนื้องาน ของตัวแปรอยางนอย 1 ตัว มีคาแตกตางจากตัวแปรอื่น โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หากคาสถิติ P ที่คำนวณไดนั้นมีค่าน้อยกว่า ค่าแอลฟา หรือก็คือตัวแปรอยางนอย 1 ตัว มีผลตออัตราการขจัดเนื้องาน

2. อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

- H_0 : อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร ไมแตกตางกัน หรือ

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ โดยที่

μ_1 = อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของตัวแปร กระแสไฟฟ้า

μ_2 = อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของตัวแปรเวลาเปิด

μ_3 = อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของตัวแปรปัจจัยประสิทธิภาพ

μ_4 = อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของความดันน้ำ

μ_5 = อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของอัตราป้อน

- H_1 : อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ของตัวแปรอยางนอย 1 ตัว มีค่าแตกต่างจากตัวแปรอื่นโดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หากคาสถิติ P ที่คำนวณไดนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าแอลฟา หรือก็คือตัวแปรอยางนอย 1 ตัว มีผลตออัตราการสึกกร่อนอิเล็กโตรด

3. ความเรียวในรูเจาะ

- H_0 : ความเรียวในรูเจาะของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร ไมแตกตางกัน หรือ

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ โดยที่

μ_1 = ความเรียวในรูเจาะของตัวแปร กระแสไฟฟ้า

μ_2 = ความเรียวในรูเจาะของตัวแปรเวลาเปิด

μ_3 = ความเรียวในรูเจาะของตัวแปรปัจจัยประสิทธิภาพ

μ_4 = ความเรียวในรูเจาะของความดันน้ำ

μ_5 = ความเรียวในรูเจาะของอัตราป้อน

- H_1 : ความเรียวในรูเจาะของตัวแปรอยางนอย 1 ตัว มีคาแตกตางจากตัวแปรอื่นโดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หากคาสถิติ P ที่คำนวณไดนั้นมีค่าน้อยกว่า ค่าแอลฟา หรือก็คือตัวแปรอยางนอย 1 ตัว มีผลตอความเรียวในรูเจาะ

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน และผลกระทบหลักที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

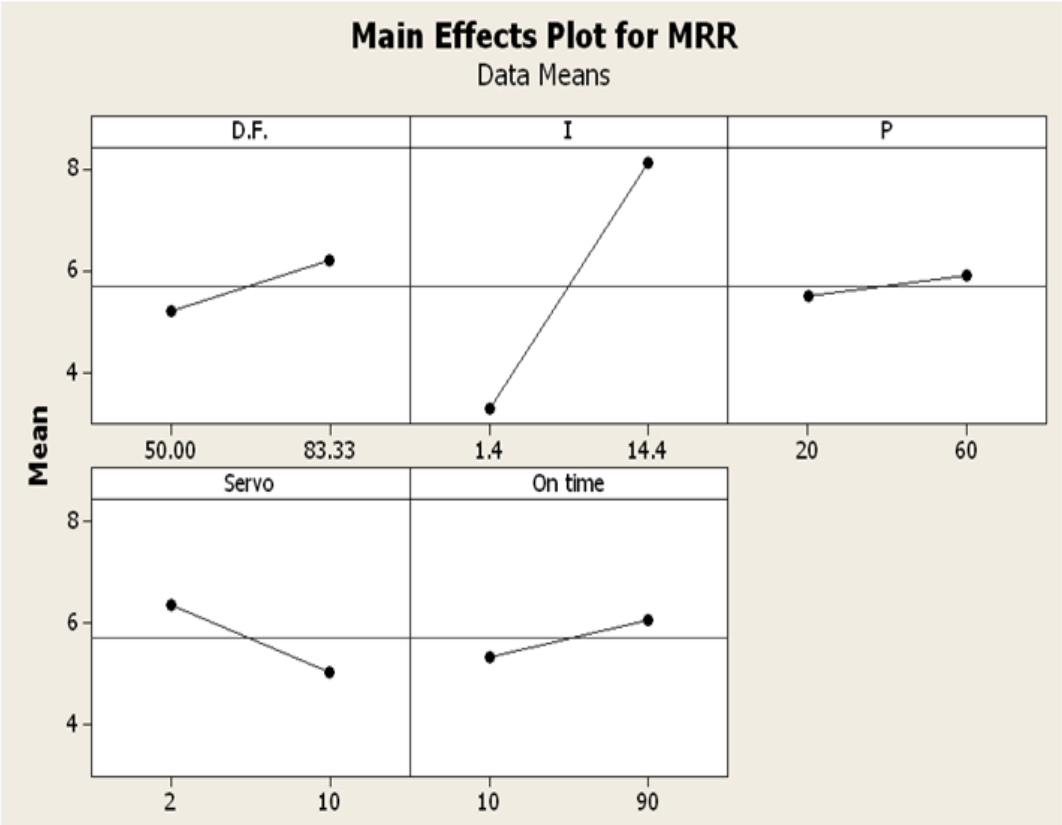
ตารางที่ 4.8

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการขจัดเนื้องาน

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.000
I	0.000
P	0.059
Servo	0.000
On time	0.001
D.F.*I	0.000
D.F.*P	0.908
D.F.*Servo	0.526
D.F.*On time	0.279
I*P	0.888
I*Servo	0.100
I*On time	0.000
P*Servo	0.668
P*On time	0.089
Servo*On time	0.208

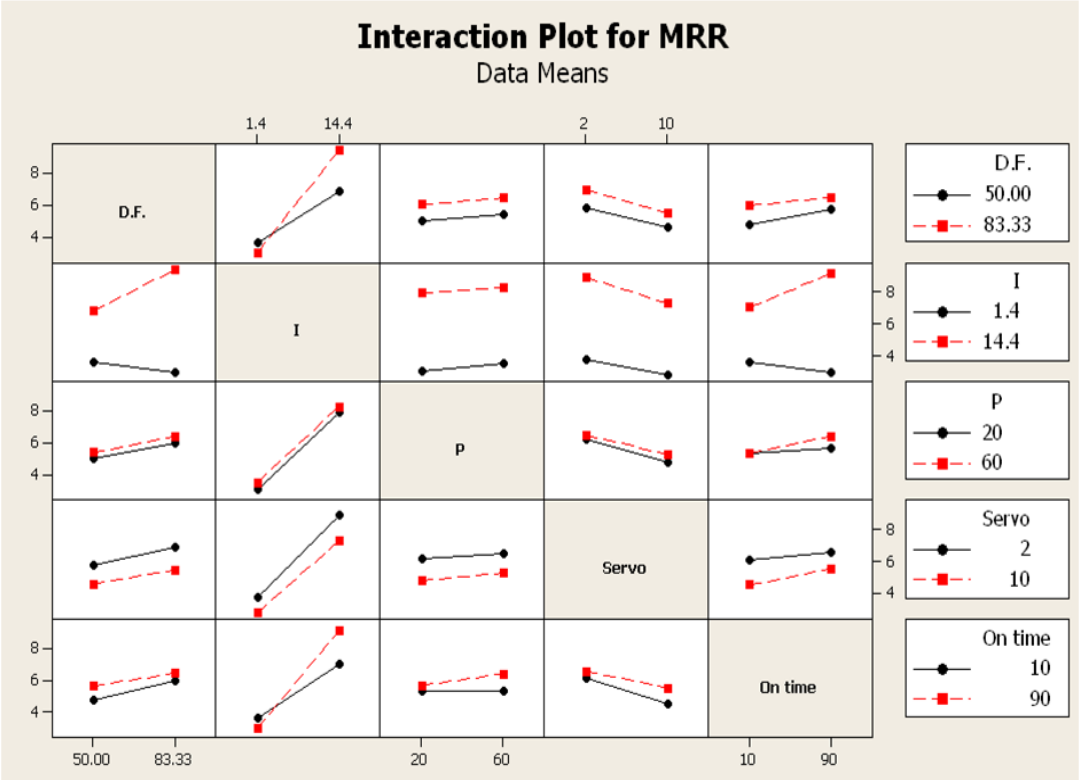
ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.003
D.F.*I*Servo	0.000
D.F.*I*On time	0.000
D.F.*P*Servo	0.689
D.F.*P*On time	0.040
D.F.*Servo*On time	0.897
I*P*Servo	0.024
I*P*On time	0.128
I*Servo*On time	0.021
P*Servo*On time	0.938
D.F.*I*P*Servo	0.125
D.F.*I*P*On time	0.003
D.F.*I*Servo*On time	0.246
D.F.*P*Servo*On time	0.657
I*P*Servo*On time	0.757
D.F.*I*P*Servo*On time	0.633

จากตารางที่ 4.8 ค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพ, กระแสไฟฟ้าและอัตราป้อน เนื่องจากค่า P-value ของทั้งสามปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้แนวโน้มอิทธิพลของแต่ละปัจจัยสามารถดูได้จากรูปการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักและ อิทธิพลของปัจจัยร่วมในภาพที่ 4.8 และ 4.9



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร ต่างๆ ต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

จากภาพ 4.8 จะเห็นได้ว่าปัจจัยประสิทธิภาพ, เวลาเปิด, กระแสไฟฟ้า และอัตราป้อน มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน โดยที่กระแสไฟฟ้า, ปัจจัยประสิทธิภาพ และเวลาเปิดส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานมากตาม ลำดับและแปรผันตรงกับอัตราการขจัดเนื้องานเนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าปัจจัยประสิทธิภาพ และเวลาเปิด ส่วนอัตราป้อนส่งผลในเชิงแปรผกผันกับอัตราการขจัดเนื้องาน



ภาพที่ 4.9

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรร่วมต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

จากภาพที่ 4.9 แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 1 จะเห็นว่าตัวแปรที่ส่งผลซึ่งกัน และกันระหว่างปัจจัยคือ ปัจจัยประสิทธิภาพและกระแสไฟฟ้ามีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน โดยที่เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับต่ำถึงแม้จะเพิ่มปัจจัยประสิทธิภาพก็ส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานลดลงเนื่องจาก ถึงแม้ว่าก ารเพิ่มปัจจัยประสิทธิภาพเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการสปาร์คแต่หากใช้กระแสไฟฟ้าระดับต่ำนั่นคือ พลังงานในการสปาร์คน้อยจึงทำให้การสปาร์คไม่สมบูรณ์ อัตราการข จัดเนื้องานจึงลดลง เช่นเดียวกับ แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 5 ตัวแปรกระแสไฟฟ้าและเวลาเปิดมีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน โดยเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าระดับต่ำถึงแม้ว่าจะเพิ่มระยะเวลาเปิดจะส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานลดลง

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าอัตราการขจัดเนื้องาน โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.9 มาสร้างสมการดังสมการที่ 1

ตารางที่ 4.9

ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปร

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
1	Constant	9.52760000
2	D.F.	-0.09336950
3	I	-1.01533000
4	P	0.05253930
5	Servo	-0.78308400
6	On time	0.07132000
7	D.F.*I	0.02155760
8	D.F.*P	-0.00062906
9	D.F.*Servo	0.01316100
10	D.F.*On time	-0.00138553
11	I*P	0.00007466
12	I*Servo	0.08123220
13	I*On time	-0.00115442
14	P*Servo	0.00139140
15	P*On time	-0.00352378
16	0.00291537	-0.00291537

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
17	D.F.*I*P	-0.00002833
18	D.F.*I*Servo	-0.00181861
19	D.F.*I*On time	0.00004923
20	D.F.*P*Servo	-0.00007827
21	D.F.*P*On time	0.00005850
22	D.F.*Servo*On time	0.00001916
23	I*P*Servo	-0.00022291
24	I*P*On time	0.00029121
25	I*Servo*On time	0.00021324
26	P*Servo*On time	0.00014582
27	D.F.*I*P*Servo	0.00001142
28	D.F.*I*P*On time	-0.00000469
29	D.F.*I*Servo*On time	0.00000127
30	D.F.*P*Servo*On time	-0.00000197
31	I*P*Servo*On time	-0.00001094
32	D.F.*I*P*Servo*On time	0.00000014

จากตารางที่ 4.9 สามารถสร้าง สมการการทำนายค่าอัตรากา รขจัดเนื้องานได้ดังสมการที่ 1 ดังนี้

อัตราการขจัดเนื้องาน = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2 +.....+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

หรือ อัตราการขจัดเนื้องาน = [9.5276-(0.09336950*D.F.) – (1.01533000*I) + (0.0525393*P) – (0.783084*Servo) + (0.07132*On time) + (0.02155760* D.F.*I) – (0.00062906*D.F.*P) + (0.013161* D.F.*Servo) – (0.00138553* D.F.*On time) + (0.00007466* I*P) + (0.0812322* I*Servo) – (0.00115442* I*On time) + (0.00139140* P*Servo) – (0.00352378* P*On time) – (0.00291537* Servo*On time) – (0.00002833* D.F.*I*P) – (0.00181861* D.F.*I*Servo) + (0.00004923* D.F.*I*On time) – (0.00007827* D.F.*P*Servo) + (0.00005850* D.F.*P*On time) + (0.00001916* D.F.*Servo*On time) – (0.00022291*I*P*Servo) + (0.00029121*I *P*On time)+(0.00021324*I*Servo*On time)+(0.00014582*P*Servo*On time)+ (0.000011 * D.F.*I*P*Servo) – (0.00000469 D.F.*I*P*On time) + (0.00000127* D.F.*I*Servo*On time) – (0.00000197*D.F.*P*Servo*On time) – (0.00001094* I*P*Servo*On time) +(0.00000014 * D.F.*I*P*Servo*On time)].....(1)

* หมายเหตุ ค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรในสมการการทำนายผลต่างๆ นั้นไม่สามารถนำมาวัดผลได้ว่าตัวแปรนั้นๆ ส่งผลต่อสมการมากน้อยเพียงใด เป็นเพียงค่าที่เกิดขึ้นเพื่อการทำนายสมการให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นเท่านั้น

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยลองแทนค่าตัวแปรต่างๆ คือ

ตารางที่ 4.10
ค่าตัวแปรต่างๆ ที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการอัตราการขจัดเนื้องาน = [-2.76661000+(0.18373000*71.42) –

- (0.00000256*71.42*9*40*2*10)]

อัตราการขจัดเนื้องาน = 6.77 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที

อัตราการขจัดเนื้องานที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 6.77 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที แต่จากการทดลองจริง อัตราการขจัดเนื้องานเท่ากับ 7.86 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 1.09 ลูกบาศก์มิลลิเมตร /นาที คิดเป็น 13.85% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลองจำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (1) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.81% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

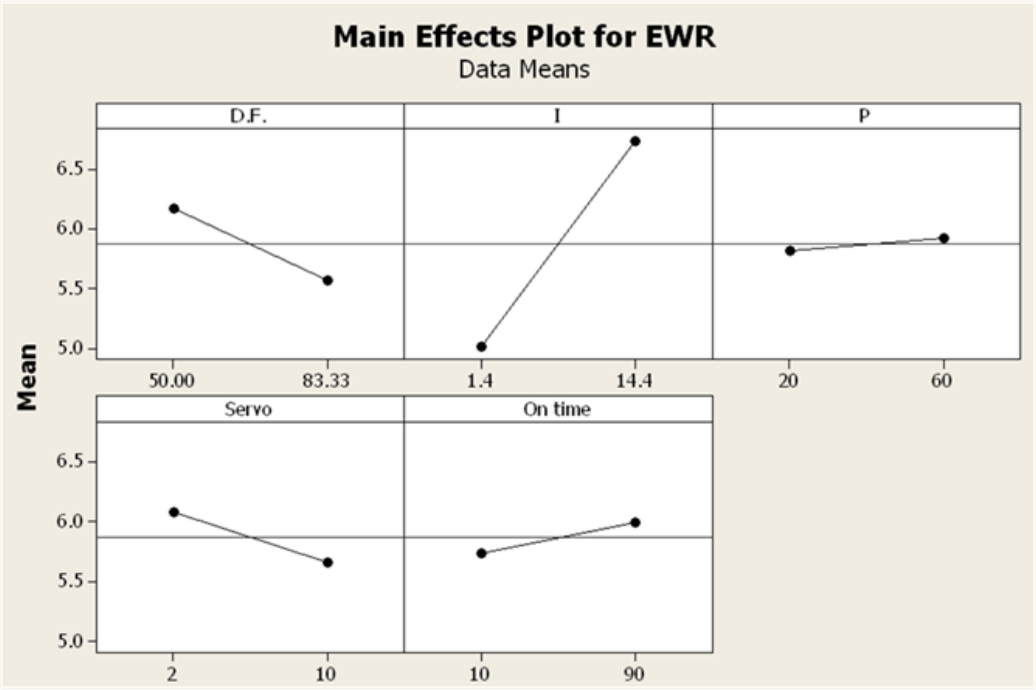
4.3.2. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์แต่ละตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

ตารางที่ 4.11

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

ตัวแปร	P	ตัวแปร	P
Constant	0.000	D.F.*I*P	0.005
D.F.	0.000	D.F.*I*Servo	0.004
I	0.000	D.F.*I*On time	0.006
P	0.137	D.F.*P*Servo	0.312
Servo	0.000	D.F.*P*On time	0.080
On time	0.001	D.F.*Servo*On time	0.000
D.F.*I	0.000	I*P*Servo	0.000
D.F.*P	0.112	I*P*On time	0.000
D.F.*Servo	0.000	I*Servo*On time	0.983
D.F.*On time	0.559	P*Servo*On time	0.014
I*P	0.702	D.F.*I*P*Servo	0.023
I*Servo	0.775	D.F.*I*P*On time	0.520
I*On time	0.000	D.F.*I*Servo*On time	0.001
P*Servo	0.375	D.F.*P*Servo*On time	0.000
P*On time	0.361	I*P*Servo*On time	0.000
Servo*On time	0.000	D.F.*I*P*Servo*On time	0.000

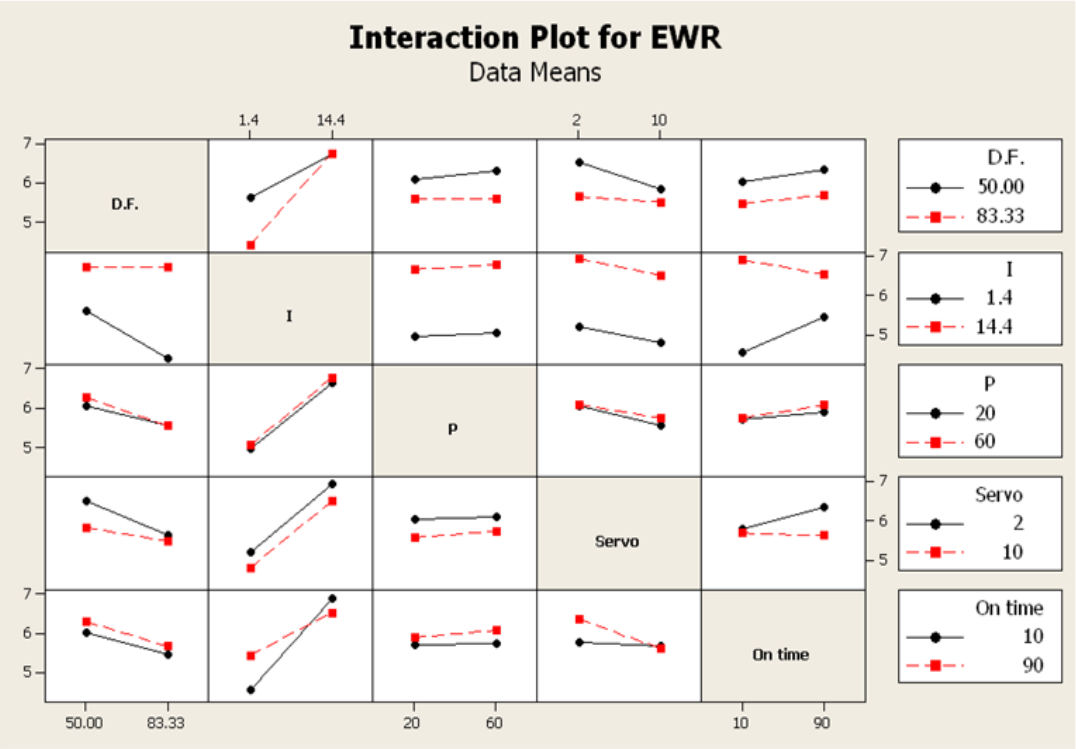
จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ กระแสไฟฟ้า, ปัจจัยประสิทธิภาพ, อัตราป้อน และเวลาเปิดเนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้แนวโน้มอิทธิพลของแต่ละปัจจัยสามารถดูได้จาก รูปการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก และผลของปัจจัยร่วม ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



ภาพที่ 4.10

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร ต่างๆ ต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้า, ปัจจัยประสิทธิภาพ, อัตราป้อน และ เวลาเปิดมีผลต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดตาม ลำดับ โดยที่กระแสไฟฟ้า และ เวลาเปิดส่งผลแบบแปรผันตรงกับอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดเนื่องจากว่าการเพิ่มเวลาเปิดและการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเป็นการเพิ่มระยะเวลาการให้พลังงานทำให้การสปาร์คสมบูรณ์ยิ่งขึ้นจึงทำให้อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปัจจัยป ระสิทธิภาพ และอัตราป้อนส่งผลแบบแปรผกผัน เนื่องจากว่าการเพิ่มปัจจัยประสิทธิภาพนั้นเป็นการเพิ่มระยะเวลาเปิดในขณะที่มีระยะเวลาปิดที่น้อยลงอีกทั้งการเพิ่มอัตราป้อนทำให้ระยะช่องไฟลดลง ดังนั้นการสปาร์คจึงไม่สมบูรณ์ทำให้อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดลดลง



ภาพที่ 4.11

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรร่วมต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

จากภาพที่ 4.11 แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 5 จะเห็นว่าตัวแปรกระแสไฟฟ้าและเวลาเปิดส่งผลต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด โดยที่เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าส่งผลให้อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด เพิ่มขึ้นในขณะที่เมื่อใช้ระดับกระแสไฟฟ้าที่สูงพร้อมกับเพิ่ มเวลาเปิดจะส่งผลให้อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดลดลงเนื่องจาก การเพิ่มระยะเวลาเปิด และเพิ่มกระแสไฟฟ้าเป็นการเพิ่มระยะเวลา และพลังงานในการสปาร์คให้มากขึ้นแต่เมื่อเพิ่มมากจนเกินไปจะทำให้การสปาร์คไม่สมบูรณ์จึงทำให้อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดลดลง

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.12 มาสร้างสมการดังสมการที่ 2

ตารางที่ 4.12

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

Term	สัมประสิทธิ์
Constant	3.37305
D.F.	0.0531832
I	0.222235
P	0.199245
Servo	0.599312
On time	0.0748153
D.F.*I	-0.00484258
D.F.*P	-0.00401453
D.F.*Servo	-0.01417100
D.F.*On time	-0.00142414
I*P	-0.01359410
I*Servo	-0.03722150
I*On time	-0.00395426
P*Servo	-0.03128460
P*On time	-0.00282791
Servo*On time	-0.01568220

Term	สัมประสิทธิ์
D.F.*I*P	0.00031455
D.F.*I*Servo	0.00107535
D.F.*I*On time	0.00009939
D.F.*P*Servo	0.00059953
D.F.*P*On time	0.00005701
D.F.*Servo*On time	0.00028102
I*P*Servo	0.00194444
I*P*On time	0.00018200
I*Servo*On time	0.00087942
P*Servo*On time	0.00056105
D.F.*I*P*Servo	-0.00004225
D.F.*I*P*On time	-0.00000418
D.F.*I*Servo*On time	-0.00001878
D.F.*P*Servo*On time	-0.00000994
I*P*Servo*On time	-0.00003424
D.F.*I*P*Servo*On time	0.00000065

จากตารางที่ 4.12 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดได้ดังสมการที่ 2

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2 +.....+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

หรือ อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = [3.37305 + (0.0531832*D.F.) + (0.222235 *I) + (0.199245*P)+(0.599312*Servo)+(0.0748153*On time)-(0.00484258* D.F.*I) – (0.004015 * D.F.*P) - (0.01417100* D.F.*Servo) – (0.00142414* D.F.*On time) - (0.01359410* I*P) - (0.03722150* I*Servo)-(0.00395426*I*On time)-(0.03128460*P*Servo)–(0.00282791 *P*On time) – (0.01568220* Servo*On time – (0.00031455* D.F.*I*P) + (0.00107535* D.F.*I*Servo)+(0.00009939*D.F.*I*On time)+(0.00059953* D.F.*P*Servo) + (0.00005701* D.F.*P*On time)+(0.00028102*D.F.*Servo*On time)–(0.00194444*I*P*Servo)+ (0.00018 *I*P*On time)+(0.00087942*I*Servo*On time)+(0.00056105*P*Servo*On time)- (0.000042 * D.F.*I*P*Servo) – (0.00000418D.F.*I*P*On time) - (0.00001878* D.F.*I*Servo*On time) – (0.00000994*D.F.*P*Servo*On time) - (0.00003424* I*P*Servo*On time) – (0.00000065* D.F.*I*P*Servo*On time)].....(2)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยลองแทนค่าตัวแปรต่างๆ คือ

ตารางที่ 4.13
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = [3.37305 + (0.053183 *71.42)+……- (0.00003424*9*40*2*10) – (0.00000065* 71.42*9*40*2*10)]

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = 5.86%

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 5.86% แต่จากการทดลองจริง อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดเท่ากับ 6.32% ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.46% คิดเป็น 7.32% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (2) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.83% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.3.3. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเรียวในรูเจาะ

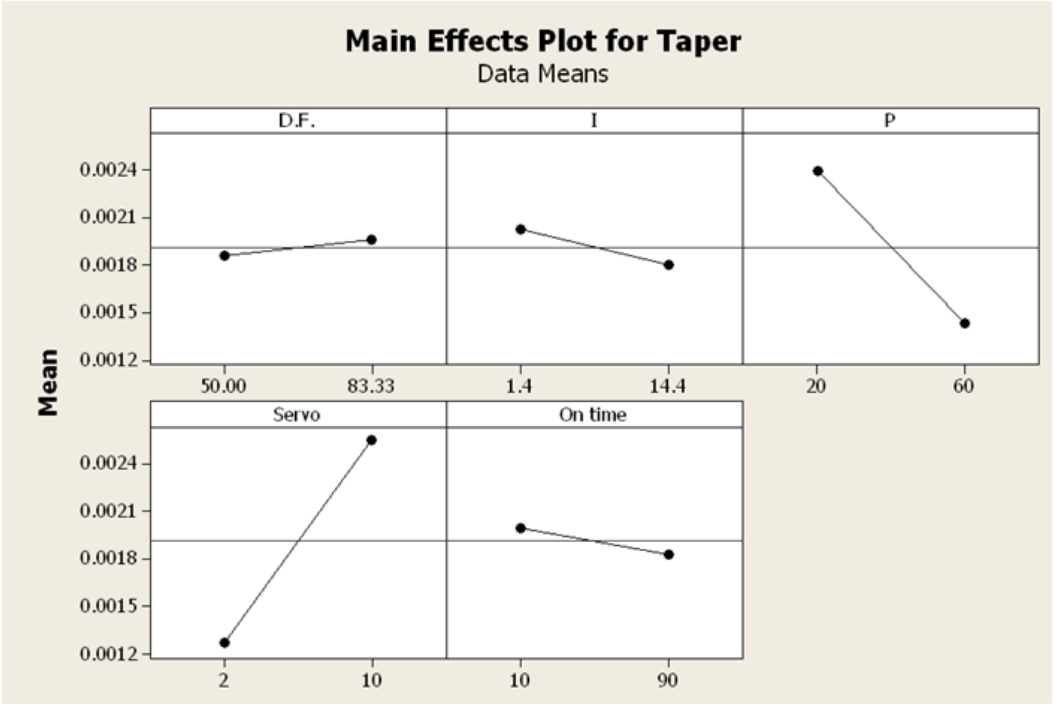
ตารางที่ 4.14

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียวในรูเจาะ

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.462
I	0.101
P	0.000
Servo	0.000
On time	0.223
D.F.*I	0.013
D.F.*P	0.000
D.F.*Servo	0.123
D.F.*On time	0.036
I*P	0.390
I*Servo	0.525
I*On time	0.003
P*Servo	0.007
P*On time	0.012
Servo*On time	0.006

ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.004
D.F.*I*Servo	0.005
D.F.*I*On time	0.002
D.F.*P*Servo	0.000
D.F.*P*On time	0.923
D.F.*Servo*On time	0.000
I*P*Servo	0.006
I*P*On time	0.000
I*Servo*On time	0.287
P*Servo*On time	0.200
D.F.*I*P*Servo	0.004
D.F.*I*P*On time	0.824
D.F.*I*Servo*On time	0.010
D.F.*P*Servo*On time	0.685
I*P*Servo*On time	0.519
D.F.*I*P*Servo*On time	0.275

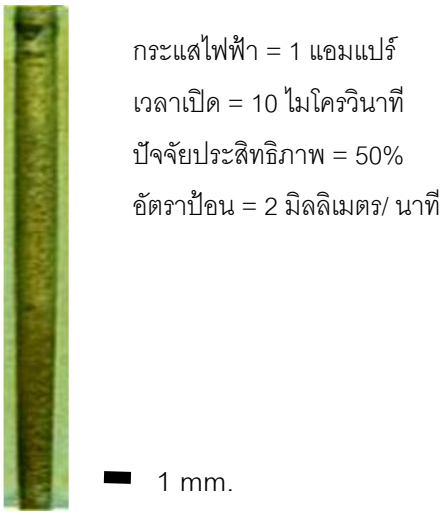
จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียวในรูเจาะที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ความดันน้ำ และอัตราป้อน เนื่องจากค่าP-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้แนวโน้มอิทธิพลของแต่ละปัจจัยสามารถดูได้จาก รูปการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักและผลของปัจจัยร่วมในรูปที่ 4.12 และ 4.15



ภาพที่ 4.12

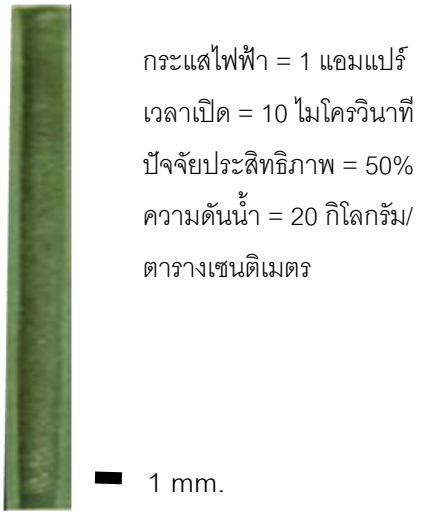
แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ต่อความเรียวในรูเจาะ

ภาพที่ 4.13 ก
ลักษณะของความเรียวในรูเจาะ
เมื่อความดันน้ำ = 20 กก./ซม^2



ภาพที่ 4.13 ข
ลักษณะของความเรียวในรูเจาะ
เมื่อความดันน้ำ = 60 กก./ซม^2

ภาพที่ 4.14 ก
ลักษณะของความเรียวในรูเจาะ
เมื่ออัตราป้อน = 2 มิลลิเมตร/ นาที

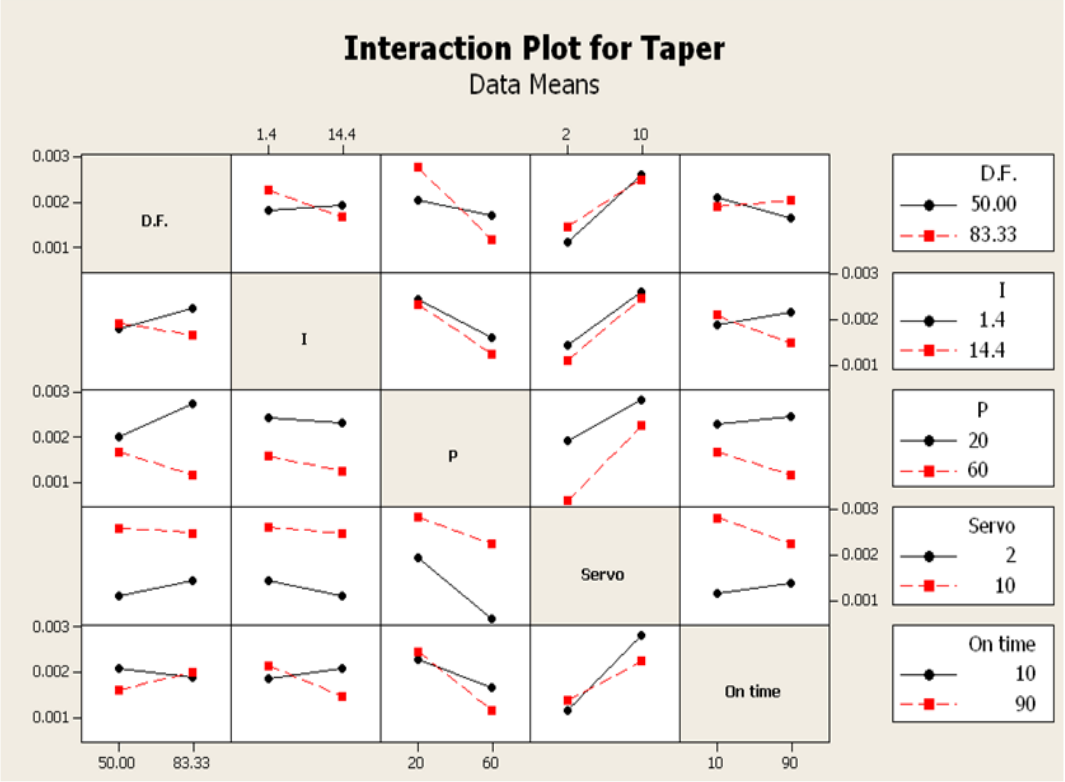


ภาพที่ 4.14 ข
ลักษณะของความเรียวในรูเจาะ
เมื่ออัตราป้อน = 2 มิลลิเมตร/ นาที

จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าความดันน้ำ และ อัตราป้อนมีผลต่อความเรียวในรูเจาะ โดยที่ความดันน้ำแปรผกผันกับความเรียวในรูเจาะเมื่อเพิ่มความดันน้ำส่งผลให้ความเรี ยวในรูเจาะลดลงเนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันน้ำทำให้ระหว่างเกิดการสปาร์คความดันน้ำจะช่วยให้เศษที่เกิดขึ้นขจัดออกไปได้ดีทำให้การสปาร์คสมบูรณ์ ส่งผลให้ความเรียวในรูเจาะลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนเป็นการทำให้ระยะช่องไฟไม่เหมาะสมจึงทำให้การสปาร์คไม่สมบูรณ์ส่ง ผลให้ความเรียวในรูเจาะเพิ่มขึ้น และอัตราป้อนส่งผลแบบแปรผันตรงกับความเรียวในรูเจาะ

จากภาพที่ 4.13 ก เป็นภาพที่ใช้ความดันน้ำที่ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และภาพที่ 4.13 ข เป็นภาพที่ใช้ความดันน้ำที่ 60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ตัวแปรอื่นๆ คงที่

จากภาพที่ 4.14 ก เป็นภาพที่ใช้อัตราป้อนที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที และภาพที่ 4.14 ข เป็นภาพที่ใช้อัตราป้อนที่ 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยที่ตัวแปรอื่นๆ คงที่



ภาพที่ 4.15

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรร่วมต่อความเรียวในรูเจาะ

จากภาพที่ 4.15 แถวที่ 3 คอลัมน์ที่ 1 พบว่าตัวแปรปัจจัยประสิทธิภาพ และตัวแปรความดันน้ำ มีผลต่อความเรียวในรูเจาะ โดยเมื่อ เพิ่มปัจจัยประสิทธิภาพในขณะที่ใช้ความดันน้ำระดับต่ำ ส่งผลให้ความเรียวในรูเจาะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มปัจจัยประสิทธิภาพเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการปล่อยพลังงานจึงมีเศษที่เกิดขึ้นขณะการสปาร์คแต่ความดันน้ำน้อยจึงทำใ ห้การสปาร์คมีความสมบูรณ์ลดลง จึงทำให้ความเรียวในรูเจาะเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดในรูปของสมการการทำนายค่าความเรียวในรูเจาะ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.15 มาสร้างสมการดังสมการที่ 3

ตารางที่ 4.15

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
1	Constant	-0.00801707
2	D.F.	0.00015231
3	I	0.00105292
4	P	0.00010185
5	Servo	0.00054788
6	On time	0.00008604
7	D.F.*I	-0.00001583
8	D.F.*P	-0.00000205
9	D.F.*Servo	-0.00001012
10	D.F.*On time	-0.00000094
11	I*P	-0.00001993
12	I*Servo	-0.00006472
13	I*On time	-0.00000422
14	P*Servo	0.00000315

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
17	D.F.*I*P	0.00000030
18	D.F.*I*Servo	0.00000134
19	D.F.*I*On time	0.00000003
20	D.F.*P*Servo	0.00000007
21	D.F.*P*On time	0.00000001
22	D.F.*Servo*On time	0.00000013
23	I*P*Servo	0.00000185
24	I*P*On time	0.00000011
25	I*Servo*On time	-0.00000029
26	P*Servo*On time	0.00000010
27	D.F.*I*P*Servo	-0.00000004
28	D.F.*I*P*On time	-0.000000001
29	D.F.*I*Servo*On time	0.000000002
30	D.F.*P*Servo*On time	-0.000000002

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
15	P*On time	-0.00000120
16	Servo*On time	-0.00000757

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
31	I*P*Servo*On time	-0.00000001
32	D.F.*I*P*Servo*On time	0.0000000002

จากตารางที่ 4.15 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าความเรียวในรูเจาะได้ดังสมการที่ 3 ดังนี้

ความเรียวในรูเจาะ = สัมประสิทธ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่1+สัมประสิทธ์พจน์ที่ 2* ตัวแปรพจน์ที่ 2+……+ สัมประสิทธ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

ความเรียวในรูเจาะ = [- 0.00801707–(0.00015231*D.F)+(0.00105292*I)+ (0.000102 *P) + (0.00054788*Servo) + (0.00008604*On time) - (0.00001583* D.F.*I) – (0.00000205* D.F.*P) - (0.00000094* D.F.*Servo) – (0.00000094* D.F.*On time) - (0.00001993* I*P) - (0.00006472* I*Servo) – (0.00000422* I*On time) + (0.00000315* P*Servo) – (0.0000012 * P*On time) – (0.00000757* Servo*On time) – (0.00031455* D.F.*I*P) + (0.00000030* D.F.*I*Servo)- (0.00000134* D.F.*I*On time)+(0.00000007* D.F.*P*Servo)+ (0.00000001* D.F.*P*On time)+(0.00000013*D.F.*Servo*On time)+(0.0000012*I*P*Servo)+ (0.0000001 *I*P*On time)-(0.0000003*I*Servo*On time)+(0.0000001*P*Servo*On time)- (0.00000004 * D.F.*I*P*Servo) – (0.000000001*D.F.*I*P*On time) + (0.000000002* D.F.*I*Servo*On time) – (0.000000002*D.F. *P*Servo*On time) - (0.00000001*I*P*Servo*On time) + (0.0000000002* D.F.*I*P*Servo*On time)]……(3)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.16
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ ความเรียวในรูเจาะ = [-0.00801707– (0.00015231*71.42)+…….-
(0.00000001* 9*40*2*10) + (0.0000000002
*71.42*9*40*2*10)]

ความเรียวในรูเจาะ = 0.001237

ความเรียวในรูเจาะที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.001237 แต่จากการทดลองจริง ความเรียวในรูเจาะเท่ากับ 0.001692151ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.000045 คิดเป็น 26.93% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (3) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.89% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย

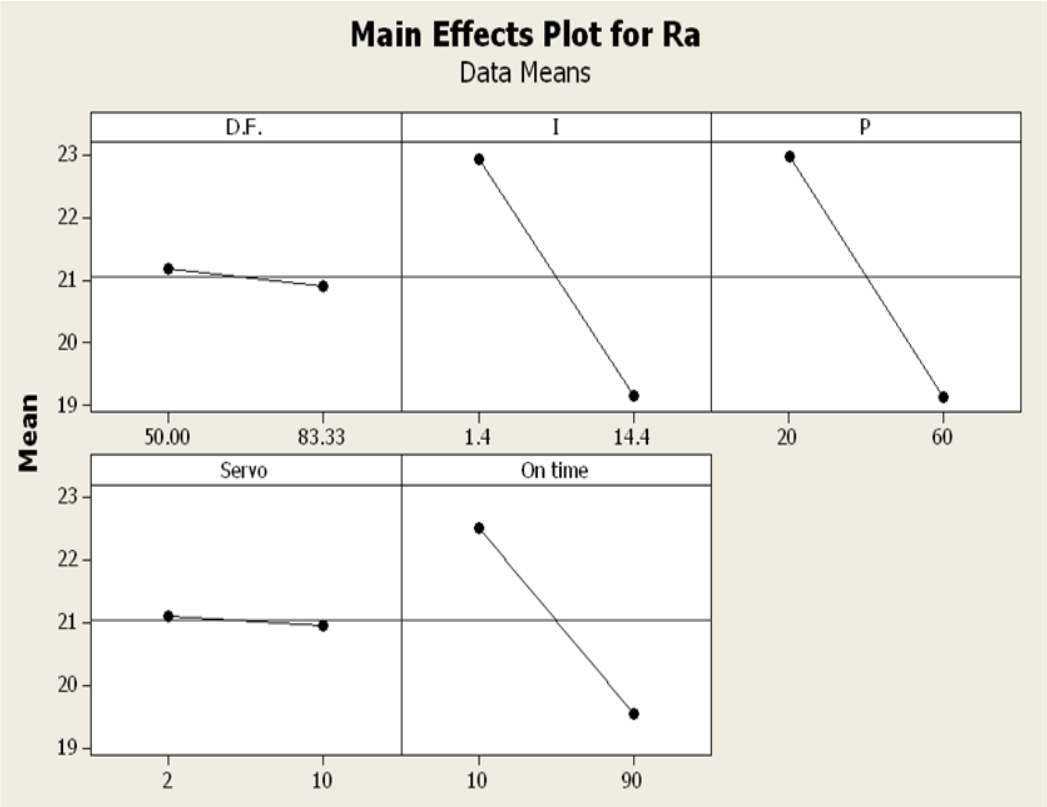
ตารางที่ 4.17

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิวเฉลี่ย

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.179
I	0.000
P	0.000
Servo	0.451
On time	0.000
D.F.*I	0.003
D.F.*P	0.000
D.F.*Servo	0.000
D.F.*On time	0.000
I*P	0.000
I*Servo	0.179
I*On time	0.000
P*Servo	0.014
P*On time	0.179
Servo*On time	0.056

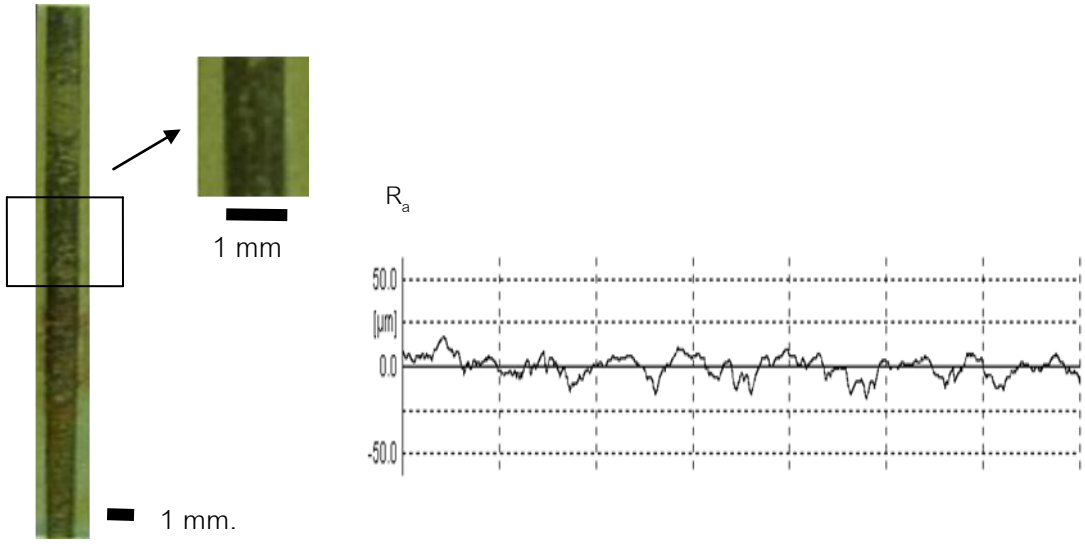
ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.001
D.F.*I*Servo	0.000
D.F.*I*On time	0.000
D.F.*P*Servo	0.000
D.F.*P*On time	0.880
D.F.*Servo*On time	0.029
I*P*Servo	0.003
I*P*On time	0.000
I*Servo*On time	0.294
P*Servo*On time	0.001
D.F.*I*P*Servo	0.451
D.F.*I*P*On time	0.103
D.F.*I*Servo*On time	0.650
D.F.*P*Servo*On time	0.179
I*P*Servo*On time	0.000
D.F.*I*P*Servo*On time	0.451

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ กระแสไฟฟ้า, ความดันน้ำ และ เวลาเปิด เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้แนวโน้มอิทธิพลของแต่ละปัจจัยสามารถดูได้จากรูปการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักและผลของปัจจัยร่วมในรูปที่ 4.16 และ4.20



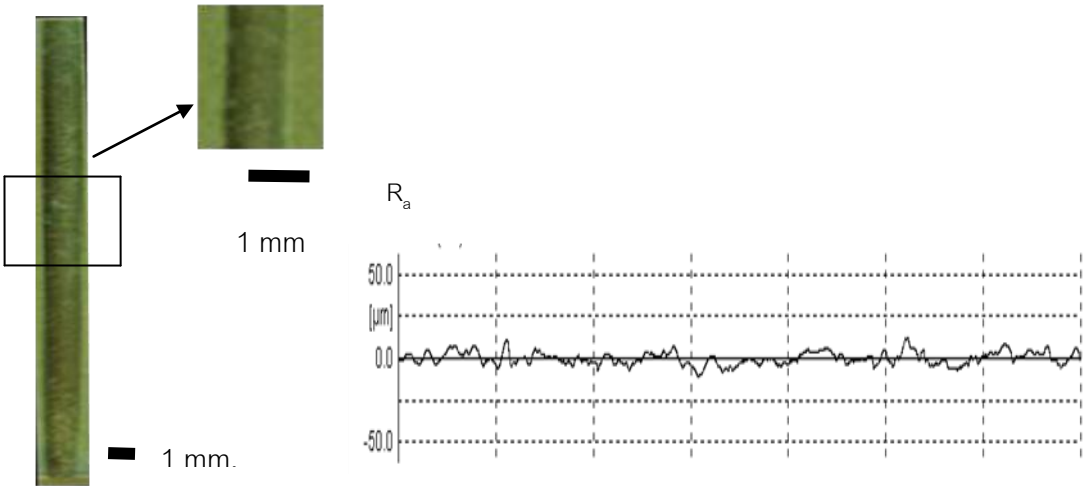
ภาพที่ 4.16

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต่อความหยาบผิวเฉลี่ยในรูเจาะ



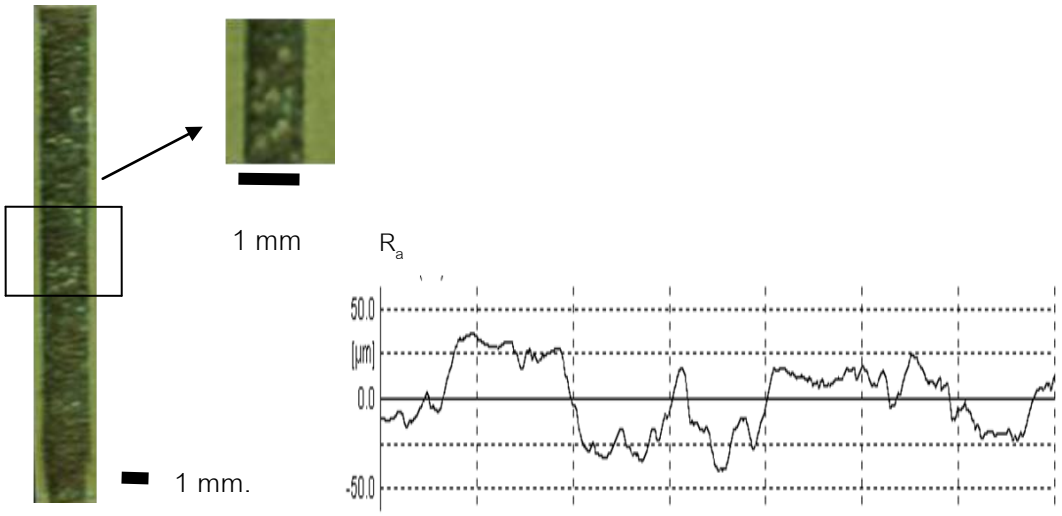
ภาพที่ 4.17 ก

ลักษณะความหยาบผิวเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ 1.4 แอมแปร์, เวลาเปิด ที่ 90ไมโครวินาที, ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50%, ความดันน้ำที่ 60 กก./ซม^{2}และอัตราป้อน 10 มม.ต่อนาที



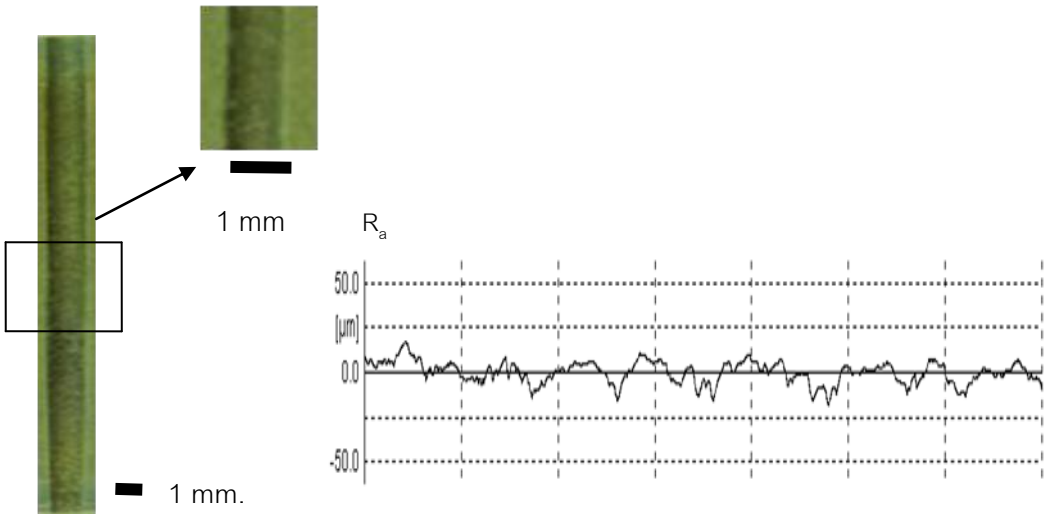
ภาพที่ 4.17 ข

ลักษณะของความหยาบผิวเฉลี่ยที่ กระแสไฟฟ้าที่ 14.4 แอมแปร์, เวลาเปิด ที่ 90ไมโครวินาที, ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50%, ความดันน้ำที่ 60 กก./ซม^{2}และอัตราป้อน 10 มม.ต่อนาที



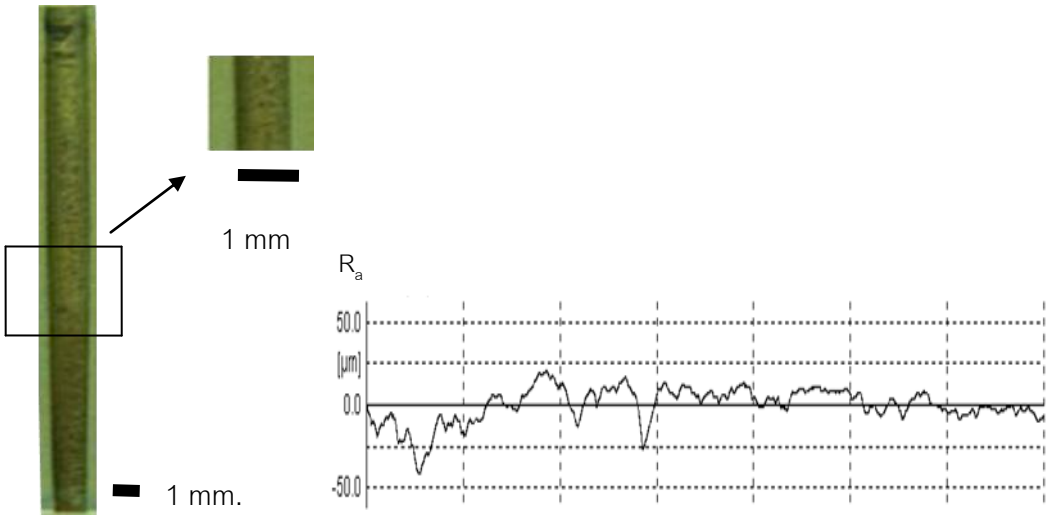
ภาพที่ 4.18 ก

ลักษณะของความหยาบผิวเฉลี่ยที่ กระแสไฟฟ้าที่ 9 แอมแปร์, เวลาเปิด ที่ 10 ไมโครวินาที , ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 83.33%, ความดันน้ำที่ 60 กก./ซม^{2}และอัตราป้อน 10 มม.ต่อนาที



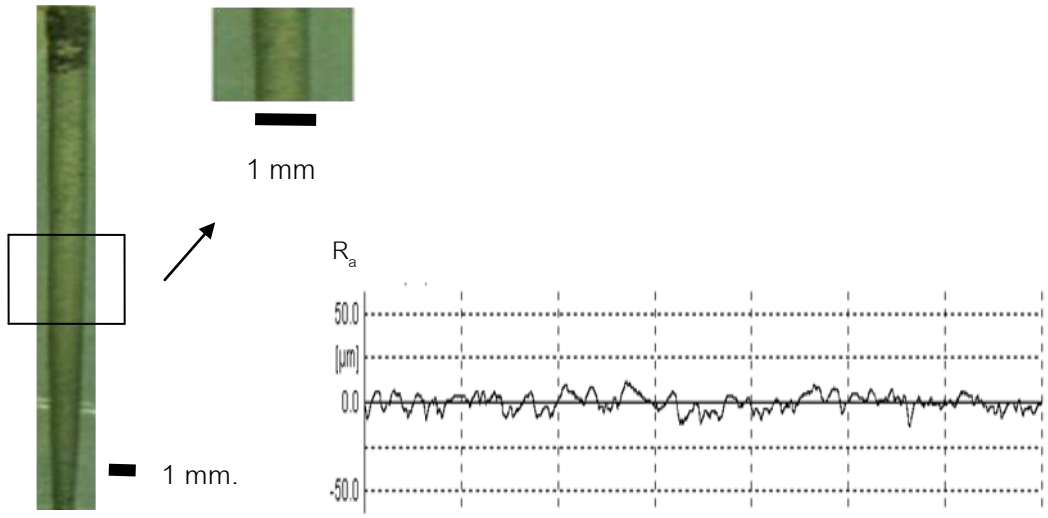
ภาพที่ 4.18 ข

ลักษณะของความหยาบผิวเฉลี่ยที่ กระแสไฟฟ้าที่ 9 แอมแปร์, เวลาเปิด ที่ 90 ไมโครวินาที, ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 83.33%, ความดันน้ำที่ 60 กก./ซม^{2}และอัตราป้อน 10 มม.ต่อนาที



ภาพที่ 4.19 ก

ลักษณะของความหยาบผิวเฉลี่ยที่ กระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์, เวลาเปิด ที่ 10 ไมโครวินาที, ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 83.33%, ความดันน้ำที่ 20 กก./ซม^{2}และอัตราป้อน 10 มม.ต่อนาที



ภาพที่ 4.19 ข

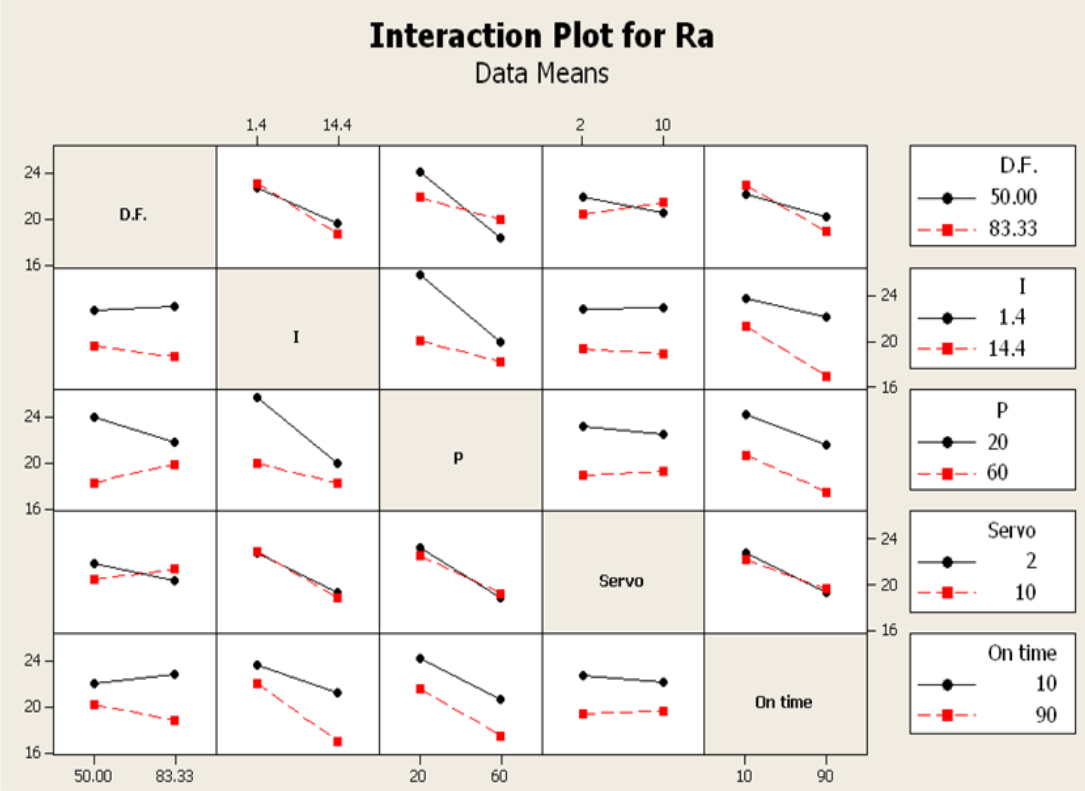
ลักษณะของความหยาบผิวเฉลี่ยที่ กระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์, เวลาเปิด ที่ 10 ไมโครวินาที, ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 83.33%, ความดันน้ำที่ 60 กก./ซม^{2}และอัตราป้อน 10 มม.ต่อนาที

จากภาพที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าของ เวลาเปิด , กระแสไฟฟ้าและความดันน้ำ จะส่งผลให้ความหยาบผิวเฉลี่ยลดลง เนื่องจากการเพิ่มเวลาเปิดเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการปล่อยพลังงานทำให้การกัดอาร์คมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เช่นเดียวกั บการเพิ่มกระแสไฟฟ้า , ความดันน้ำ

จากภาพที่ 4.17 ก เป็นภาพที่ใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ และภาพที่4.17 ข เป็นภาพที่ใช้กระแสไฟฟ้า 9 แอมแปร์ โดยตัวแปรอื่นๆคงที่

จากภาพที่ 4.18 ก เป็นภาพที่ใช้เวลาเปิด 10 ไมโครวินาที และภาพที่ 4.18 ข เป็นภาพที่ใช้เวลาเปิด 90 ไมโครวินาที โดยตัวแปรอื่นๆคงที่

จากภาพที่ 4.19 ก เป็นภาพที่ใช้ความดันน้ำ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และภาพที่ 4.19 ก เป็นภาพที่ใช้ความดันน้ำ 60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรโดยตัวแปรอื่นๆคงที่



ภาพที่ 4.20

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรร่วมต่อความหยาบผิวเฉลี่ย

จากภาพที่ 4.20 แถวที่ 3 คอลัมน์ที่ 1 พบว่าเมื่อใช้ปัจจัยประสิทธิภาพที่มากขึ้น และใช้ความดันน้ำมากส่งผลให้ความหยาบผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขจัดเศษไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ความหยาบผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าความหยาบผิวเฉลี่ย โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.18 มาสร้างสมการดังสมการที่ 4

ตารางที่ 4.18

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
1	Constant	28.24540000
2	D.F.	-0.07210460
3	I	-0.805637
4	P	-0.07767230
5	Servo	0.25346100
6	On time	-0.08840010
7	D.F.*I	0.00964640
8	D.F.*P	-0.00099800
9	D.F.*Servo	-0.00110528
10	D.F.*On time	0.00093002
11	I*P	0.00274960
12	I*Servo	0.03381270
13	I*On time	0.01012730
14	P*Servo	-0.04293090
15	P*On time	0.00070769
16	Servo*On time	0.00035172

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
17	D.F.*I*P	-0.00004057
18	D.F.*I*Servo	-0.00172193
19	D.F.*I*On time	-0.00022899
20	D.F.*P*Servo	0.00054588
21	D.F.*P*On time	-0.00001170
22	D.F.*Servo*On time	-0.00003227
23	I*P*Servo	0.00066847
24	I*P*On time	-0.00014275
25	I*Servo*On time	0.00058591
26	P*Servo*On time	0.00015460
27	D.F.*I*P*Servo	0.00002028
28	D.F.*I*P*On time	0.00000334
29	D.F.*I*Servo*On time	0.00000631
30	D.F.*P*Servo*On time	-0.00000086
31	I*P*Servo*On time	-0.00001277
32	D.F.*I*P*Servo*On time	-0.00000023

จากตารางที่ 4.18 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าความหยาบผิวเ ฉลี่ยได้ดังสมการที่ 4 ดังนี้

ความหยาบผิวเฉลี่ย = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2+.....+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

ความหยาบผิวเฉลี่ย = [28.2454 - (0.0721046*D.F.) - (0.805637*I) - (0.0776723*P) + (0.253461*Servo) - (0.0884001*On time) - (0.0096464*D.F.*I) – (0.000998*D.F.*P) - (0.00110528*D.F.*Servo) + (0.00093002*D.F.*On time) + (0.0027496*I*P) + (0.0338127 *I*Servo) + (0.0101273*I*On time) - (0.0429309*P*Servo)+(0.00070769*P*On time) +(0.00035172*Servo*Ontime)–(0.00004057*D.F.*I*P)-(0.00172193*D.F.*I*Servo)-(0.00022899*D.F.*I*Ontime)+(0.00054588*D.F.*P*Servo)-(0.00001170*D.F.*P*Ontime)-(0.00003227*D.F.*Servo*Ontime)+(0.00066847*I*P*Servo)-(0.00014275*I*P*Ontime)+(0.00058591*I*Servo*Ontime)+(0.0001546*P*Servo*Ontime)+(0.0000202*D.F.*I*P *Servo)–(0.000000001*D.F.*I*P*Ontime)+(0.000000002*D.F.*I*Servo*Ontime)–(0.000000002*D.F.*P*Servo*Ontime)+(0.00000334*D.F.*I*P*Ontime)-(0.00001277 *I*P*Servo*Ontime)-(0.00000023*D.F.*I*P*Servo*Ontime)] (4)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.19
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ ความหยาบผิวเฉลี่ย = [28.2454 - (0.07210460*71.42)+…….-
(0.00001277*9*40*2*10) - (0.00000023*71.42
*9*40*2*10)]

ความหยาบผิวเฉลี่ย = 15.51 ไมโครเมตร

ความหยาบผิวเฉลี่ยที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 15.51 ไมโครเมตร แต่จากการทดลองจริง ความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 14 ไมโครเมตรซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 1.51 ไมโครเมตร คิดเป็น 10.78% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (4) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.49% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพื้นที่ตอบสนอง

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

ตารางที่ 4.20

แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการขจัดเนื้องาน

ปัจจัย	P
Constant	0.000
D.F.	0.002
I	0.000
P	0.206
Servo	0.000
On time	0.025
D.F.*I	0.000
D.F.*P	0.940

ปัจจัย	P
D.F.*Servo	0.677
D.F.*On time	0.475
I*P	0.927
I*Servo	0.273
I*On time	0.000
P*Servo	0.778
P*On time	0.257
Servo*On time	0.405

จากตารางที่ 4.20 ค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพ, กระแสไฟฟ้า และอัตราป้อน เนื่องจากค่า P-value ของทั้งสามปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05

ทั้งนี้ยังสามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของสมการการทำนายค่าอัตราการขจัดเนื้องาน โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.21 มาสร้างสมการดังสมการที่ 5

ตารางที่ 4.21

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
1	Constant	5.47800000
2	D.F.	-0.01566850
3	I	-0.21161700
4	P	-0.00596693
5	Servo	-0.10928300
6	On time	-0.01494200
7	D.F.*I	0.00741227
8	D.F.*P	0.00003547

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
9	D.F.*Servo	-0.00097723
10	D.F.*On time	-0.00016785
11	I*P	-0.00011061
12	I*Servo	-0.00662165
13	I*On time	0.00269556
14	P*Servo	0.00054934
15	P*On time	0.00022251
16	Servo*On time	0.00081627

จากตารางที่ 4.21 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าอัตราการขจัดเนื้องานได้ดังสมการที่ 5 ดังนี้

อัตราการขจัดเนื้องาน = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2….+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 16*ตัวแปรพจน์ที่ 16

อัตราการขจัดเนื้องาน = [5.478 - (0.0156685*D.F.) - (0.211617*I) - (0.00596693*P) - (0.109283*Servo) - (0.014942*On time) + (0.00741227*D.F.*I) + (0.00003547*D.F.*P) - (0.00097723*D.F.*Servo) - (0.00016785*D.F.*On time) - (0.00011061*I*P) - (0.00662165*I*Servo) + (0.00269556*I*On time) + (0.00054934*P*Servo) + (0.00022251*P*On time) + (0.00081627*Servo*On time)]…….(5)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.22
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42 %
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ อัตราการขจัดเนื้องาน = [5.478 - (0.01566850*71.42.) –
(0.21161700*9) - (0.00022251* 40*10) +
(0.00081627* 2*10)]

อัตราการขจัดเนื้องาน = 6.69 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที

อัตราการขจัดเนื้องานที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 6.69 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที

แต่จากการทดลองจริง อัตราการขจัดเนื้องานเท่ากับ 7.86 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 1.17 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที คิดเป็น 14.88% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลองจำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (5) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.10% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีผลต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

ตารางที่ 4.23

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.001
I	0.000
P	0.553
Servo	0.023
On time	0.148
D.F.*I	0.001
D.F.*P	0.525

ตัวแปร	P
D.F.*Servo	0.133
D.F.*On time	0.818
I*P	0.880
I*Servo	0.910
I*On time	0.001
P*Servo	0.726
P*On time	0.718
Servo*On time	0.074

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ กระแสไฟฟ้า, เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพและอัตราป้อน เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05

ทั้งนี้ยังสามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.24 มาสร้างสมการดังสมการที่ 6

ตารางที่ 4.24
ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
1	Constant	7.25589000
2	D.F.	-0.04455590
3	I	-0.00107226
4	P	0.00882007
5	Servo	-0.14924300
6	On time	0.01918890
7	D.F.*I	0.00286729
8	D.F.*P	-0.00017008

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
9	D.F.*Servo	0.00202930
10	D.F.*On time	-0.00003074
11	I*P	0.00010320
12	I*Servo	-0.00038540
13	I*On time	-0.00119301
14	P*Servo	0.00038984
15	P*On time	0.00004016
16	Servo*On time	-0.00101070

จากตารางที่ 4.24 สามารถสร้างสมการการทำนา ยค่าอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดได้ดังสมการที่ 6 ดังนี้

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2 +….+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 16*ตัวแปรพจน์ที่ 16

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = [7.25589-(0.0445559*D.F.)-(0.00107226*I)+(0.00882007*P) - (0.149243*Servo) + (0.0191889*On time) + (0.00286729*D.F.*I) - (0.00017008*D.F.*P) + (0.0020293*D.F.*Servo) - (0.00003074*D.F.*On time) + (0.0001032*I*P) - (0.0003854*I*Servo)-(0.00119301*I*On time)+(0.00038984*P*Servo)+ (0.0000402*P*On time) - (0.0010107*Servo*On time)].....(6)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.25
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42 เปอร์เซนต์
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = [7.25589 – (0.04455590*71.42) +
+0.00004016*40*10) – (0.0010107*
2*10)]

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = 5.89%

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 5.89% แต่จากการทดลองจริง อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดเท่ากับ 6.32% ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.43% คิดเป็น 6.8 % และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (6) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.15 % แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีผลต่อความเรียวในรูเจาะ

ตารางที่ 4.26

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียวในรูเจาะ

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.679
I	0.351
P	0.000
Servo	0.000
On time	0.491
D.F.*I	0.148
D.F.*P	0.014

ตัวแปร	P
D.F.*Servo	0.381
D.F.*On time	0.229
I*P	0.629
I*Servo	0.721
I*On time	0.074
P*Servo	0.116
P*On time	0.143
Servo*On time	0.110

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียวในรูเจาะที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ความดันน้ำ, อัตราป้อน และเวลาเปิด เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าความเรียวในรูเจาะ โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.27 มาสร้างสมการดังสมการที่ 7

ตารางที่ 4.27

แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
1	Constant	-0.00193266
2	D.F.	0.00005181
3	I	0.00014289
4	P	0.00003827
5	Servo	0.00021860
6	On time	0.00000628
7	D.F.*I	-0.00000165
8	D.F.*P	-0.00000093

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
9	D.F.*Servo	-0.00000161
10	D.F.*On time	0.00000022
11	I*P	-0.00000045
12	I*Servo	0.00000167
13	I*On time	-0.00000085
14	P*Servo	0.00000243
15	P*On time	-0.00000023
16	Servo*On time	-0.00000123

จากตารางที่ 4.27 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าความเรียวในรูเจาะได้ดังสมการที่ 7 ดังนี้

ความเรียวในรูเจาะ = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2 *ตัวแปรพจน์ที่ 2 +…….+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 16*ตัวแปรพจน์ที่ 16

ความเรียวในรูเจาะ = [-0.00193266 + (0.00005181*D.F.) + (0.00014289*I) + (0.00003827 *P) + (0.0002186*Servo) + (0.00000628*On time) – (0.00000165*D.F.*I) – (0.00000093 *D.F.*P) – (0.00000161*D.F.*Servo) + (0.00000022*D.F.*On time) – (0.00000045*I*P) + (0.00000167*I*Servo) – (0.00000085*I*On time) + (0.00000243*P*Servo) – (0.00000023 *P*On time) – (0.00000123*Servo*On time)]…….. (7)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.28
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42 %
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ ความเรียวในรูเจาะ = [-0.00193266 + (0.00005181*71.42)+…….
- (0.00000023* 40*10) - (0.00000123* 2*10)]

ความเรียวในรูเจาะ = 0.001166

ความเรียวในรูเจาะที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.001166 แต่จากการทดลองจริง ความเรียวในรูเจาะเท่ากับ 0.001692151 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.000526 คิดเป็น 31.10% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (7) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 21.22% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย

ตารางที่ 4.29

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิวเฉลี่ย

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.536
I	0.000
P	0.000
Servo	0.731
On time	0.000
D.F.*I	0.153
D.F.*P	0.000

ตัวแปร	P
D.F.*Servo	0.010
D.F.*On time	0.019
I*P	0.000
I*Servo	0.536
I*On time	0.005
P*Servo	0.245
P*On time	0.536
Servo*On time	0.373

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ กระแสไฟฟ้า, ความดันน้ำ และเวลาเปิด เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดในรูปของสมการการทำนายค่าความหยาบผิวเฉลี่ย โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.30 มาสร้างสมการดังสมการที่ 8

ตารางที่ 4.30

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
Constant	30.69370000
D.F.	-0.11272400
I	-0.23976900
P	-0.35958500
Servo	-0.78251300
On time	0.03741100
D.F.*I	-0.00302915
D.F.*P	0.00285966

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
D.F.*Servo	0.00914154
D.F.*On time	-0.00082040
I*P	0.00781250
I*Servo	-0.00540865
I*On time	-0.00258413
P*Servo	0.00332031
P*On time	-0.00017578
Servo*On time	0.00126953

จากตารางที่ 4.30 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าความหยาบผิวเฉลี่ยได้ดังสมการที่ 8 ดังนี้

ความหยาบผิวเฉลี่ย = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2 *ตัวแปรพจน์ที่ 2 +…….+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 16

ความหยาบผิวเฉลี่ย = [30.6937–(0.112724*D.F.)– (0.239769*I) – (0.359585*P) – (0.782513 *Servo)+(0.037411*On time)–(0.00302915*D.F.*I) + (0.00285966*D.F.*P) +(0.00914154 *D.F.*Servo) – (0.0008204*D.F.*On time) + (0.0078125*I*P) – (0.00540865*I*Servo) – (0.00258413*I*On time)+(0.00332031*P*Servo)– (0.00017578*P*On time) + (0.00126953 *Servo*On time)]…….. (8)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.31
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ ความหยาบผิวเฉลี่ย = [30.6937 – (0.11272400*71.42)+…….-
(0.00017578*40*10)+ (0.00126953* 2*10)]

ความหยาบผิวเฉลี่ย = 14.56 ไมโครเมตร

ความหยาบผิวเฉลี่ยที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 14.56 ไมโครเมตร แต่จากการทดลองจริง ความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 14 ไมโครเมตร ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.56 ไมโครเมตร คิดเป็น 4% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลองจำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (8) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.88% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรแบบวิเคราะห์ถดถอย

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน และผลกระทบหลักที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

ตารางที่ 4.32

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการขจัดเนื้องาน

ตัวแปร	P
Constant	0.032
D.F.	0.041
I	0.020
P	0.585
Servo	0.014
On time	0.021
D.F.*I	0.001
D.F.*P	0.653
D.F.*Servo	0.135
D.F.*On time	0.162
I*P	0.994
I*Servo	0.169
I*On time	0.040
P*Servo	0.917
P*On time	0.024
Servo*On time	0.754

ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.036
D.F.*I*Servo	0.038
D.F.*I*On time	0.006
D.F.*P*Servo	0.686
D.F.*P*On time	0.011
D.F.*Servo*On time	0.887
I*P*Servo	0.004
I*P*On time	0.053
I*Servo*On time	0.014
P*Servo*On time	0.484
D.F.*I*P*Servo	0.547
D.F.*I*P*On time	0.034
D.F.*I*Servo*On time	0.923
D.F.*P*Servo*On time	0.516
I*P*Servo*On time	0.591
D.F.*I*P*Servo*On time	0.633

จากตารางที่ 4.30 ค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ เวลาเปิด, ปัจจัยประสิทธิภาพ, กระแสไฟฟ้าและอัตราป้อน เนื่องจากค่า P-value ของทั้งสามปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำ นายค่าอัตราการขจัดเนื้องาน โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.33 มาสร้างสมการดังสมการที่ 9

ตารางที่ 4.33

ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปร

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
1	Constant	9.52800000	17	D.F.*I*P	-0.00002830
2	D.F.	-0.09337000	18	D.F.*I*Servo	-0.00181860
3	I	-1.01530000	19	D.F.*I*On time	0.00004923
4	P	0.05254000	20	D.F.*P*Servo	-0.00007830
5	Servo	-0.78310000	21	D.F.*P*On time	0.00005850
6	On time	0.07132000	22	D.F.*Servo*On time	0.00001920
7	D.F.*I	0.02155800	23	I*P*Servo	-0.00022300
8	D.F.*P	-0.00062900	24	I*P*On time	0.00029120
9	D.F.*Servo	0.01316100	25	I*Servo*On time	0.00021320
10	D.F.*On time	-0.00138550	26	P*Servo*On time	0.00014580
11	I*P	0.00007500	27	D.F.*I*P*Servo	0.00001142
12	I*Servo	0.08123000	28	D.F.*I*P*On time	-0.00000469
13	I*On time	-0.00115400	29	D.F.*I*Servo*On time	0.00000127
14	P*Servo	0.00139000	30	D.F.*P*Servo*On time	-0.00000197

ตารางที่ 4.33 (ต่อ)

ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปร

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
15	P*On time	-0.00352400
16	Servo*On time	-0.00291500

พจน์ที่	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์
31	I*P*Servo*On time	-0.00001094
32	D.F.*I*P*Servo*On time	0.00000014

จากตารางที่ 4.33 สามารถสร้าง สมการการทำนายค่าอัตราการขจัดเนื้องานได้ดังสมการที่ 9 ดังนี้

อัตราการขจัดเนื้องาน = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2 +.....+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

อัตราการขจัดเนื้องาน = [9.53 – (0.0934*D.F.) – (1.02*I + 0.0525*P) – (0.783*Servo) + (0.0713*Ontime)+(0.0216*D.F.*I)–(0.00063*D.F.*P)+(0.0132*D.F.*Servo)–(0.00139*D.F. *Ontime)+ (0.00007*I*P) + (0.0812*I*Servo) – (0.00115*I*Ontime) + (0.0014*P*Servo) - (0.00352*P*Ontime) – (0.00292*Servo*Ontime) – (0.000028*D.F.*I*P) - (0.00182*D.F. *I*Servo) + (0.000049*D.F.*I*Ontime) – (0.000078*D.F.*P*Servo) + (0.000059*D.F. *P *Ontime) + (0.000019*D.F.*Servo*Ontime) – (0.00022*I*P*Servo) + (0.000291*I*P*On time) + (0.000213*I*Servo*Ontime) + (0.000146*P*Servo*Ontime) + (0.000011*D.F. *I*P *Servo) – (0.000005*D.F.*I*P*Ontime) + (0.000001*D.F.*I*Servo*Ontime) – (0.000002 *D.F.*P*Servo*Ontime) - (0.000011*I*P*Servo*Ontime) + (0.00000014*D.F.*I*P*Servo *Ontime)] .....(9)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยลองแทนค่าตัวแปรต่างๆ คือ

ตารางที่ 4.34
ค่าตัวแปรต่างๆ ที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ อัตราการขจัดเนื้องาน = [9.528 - (0.09337*71.42) – (1.0153*9)
+……..+(0.00001094*9*40*2*10)–
(0.00000014 *71.42*9*40*2*10)]

อัตราการขจัดเนื้องาน = 6.77 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที

อัตราการขจัดเนื้องานที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 6.77 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที แต่จาการทดลองจริง อัตราการขจัดเนื้องานเท่ากับ 7.86 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 1.09 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที คิดเป็น 13.84% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (9) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.82% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.5.2. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์แต่ละตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

ตารางที่ 4.35

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด

ตัวแปร	P
Constant	0.027
D.F.	0.017
I	0.027
P	0.100
Servo	0.006
On time	0.002
D.F.*I	0.025
D.F.*P	0.080
D.F.*Servo	0.000
D.F.*On time	0.200
I*P	0.700
I*Servo	0.068
I*On time	0.004
P*Servo	0.000
P*On time	0.088
Servo*On time	0.000

ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.000
D.F.*I*Servo	0.001
D.F.*I*On time	0.004
D.F.*P*Servo	0.070
D.F.*P*On time	0.650
D.F.*Servo*On time	0.000
I*P*Servo	0.000
I*P*On time	0.001
I*Servo*On time	0.067
P*Servo*On time	0.000
D.F.*I*P*Servo	0.000
D.F.*I*P*On time	0.000
D.F.*I*Servo*On time	0.059
D.F.*P*Servo*On time	0.000
I*P*Servo*On time	0.000
D.F.*I*P*Servo*On time	0.000

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ปัจจัยประสิทธิภาพ, กระแสไฟฟ้า ,เวลาเปิด และอัตราป้อน เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าอัตราการขจัดเนื้องาน โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.36 มาสร้างสมการดังสมการที่ 10

ตารางที่ 4.36

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

Term	สัมประสิทธิ์
Constant	3.373
D.F.	0.05318
I	0.2222
P	0.19924
Servo	0.5993
On time	0.07482
D.F.*I	-0.004843
D.F.*P	-0.0040145
D.F.*Servo	-0.014171
D.F.*On time	-0.0014241
I*P	-0.013594
I*Servo	-0.03722
I*On time	-0.003954
P*Servo	-0.031285
P*On time	-0.0028279
Servo*On time	-0.015682

Term	สัมประสิทธิ์
D.F.*I*P	0.00031455
D.F.*I*Servo	0.0010754
D.F.*I*On time	0.00009939
D.F.*P*Servo	0.00059953
D.F.*P*On time	0.00005701
D.F.*Servo*On time	0.00028102
I*P*Servo	0.0019444
I*P*On time	0.000182
I*Servo*On time	0.0008794
P*Servo*On time	0.00056105
D.F.*I*P*Servo	-0.00004225
D.F.*I*P*On time	-0.00000418
D.F.*I*Servo*On time	-0.00001878
D.F.*P*Servo*On time	-0.00000994
I*P*Servo*On time	-0.00003424
D.F.*I*P*Servo*On time	0.00000065

จากตารางที่ 4.36 สามารถ สร้าง สมการการทำนายค่าอัตราการ สึกกร่อนของอิเล็กโตรดได้ดังสมการที่ 10

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = สัมประสิทธ์พจน์ที่1*ตัวแปรพจน์ที่1+สัมประสิทธ์พจน์ที่ 2 *ตัวแปรพจน์ที่ 2 +….+ สัมประสิทธ์พจน์ที่ 32 *ตัวแปรพจน์ที่ 32

หรือ อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = [3.37 + (0.0532*D.F.) + (0.222*I) + (0.199*P) + (0.599*Servo) + (0.0748*On time) - (0.00484*D.F.*I) – (0.00401*D.F.*P) – (0.0142*D.F. *Servo)- (0.00142*D.F.*Ontime) – (0.0136*I*P) – (0.0372*I*Servo) – (0.00395*I*Ontime) - (0.0313*P*Servo) – (0.00283*P*Ontime) – (0.0157*Servo*Ontime) + (0.000315*D.F.*I*P) + (0.00108*D.F.*I*Servo) + (0.000099*D.F.*I*Ontime)+ (0.000600*D.F.*P*Servo) + (0.000057*D.F.*P*Ontime)+ (0.000281*D.F.*Servo*Ontime) + (0.00194*I*P*Servo) + (0.000182*I*P*Ontime)+ (0.000879*I*Servo*Ontime) + (0.000561*P*Servo*Ontime) - (0.000042*D.F.*I*P*Servo) – (0.000004*D.F.*I*P*Ontime)- (0.000019*D.F. *I*Servo *Ontime)–(0.00001*D.F.*P*Servo*Ontime)-(0.000034*I*P*Servo*Ontime) +(0.000001*D.F. *I*P*Servo*Ontime) ……..(10)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยลองแทนค่าตัวแปรต่างๆ คือ

ตารางที่ 4.37
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42 %
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = [3.373– (0.05318*71.42) +
(0.2222*9) +…….. –
(0.00003424*71.42I*40*2) +
(0.00000065*71.42*9*40*10)]

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรด = 5.85%

อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 5.85% แต่จากการทดลองจริง อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโตรดเท่ากับ 6.32% ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.47 คิดเป็น 7.36% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (10) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.86% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.5.3 . ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเรียวในรูเจาะ

ตารางที่ 4.38

แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียวในรูเจาะ

ตัวแปร	P
Constant	0.008
D.F.	0.061
I	0.054
P	0.018
Servo	0.013
On time	0.061
D.F.*I	0.000
D.F.*P	0.033
D.F.*Servo	0.086
D.F.*On time	0.050
I*P	0.003
I*Servo	0.102
I*On time	0.037
P*Servo	0.022
P*On time	0.034
Servo*On time	0.026

ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.002
D.F.*I*Servo	0.022
D.F.*I*On time	0.007
D.F.*P*Servo	0.009
D.F.*P*On time	0.392
D.F.*Servo*On time	0.015
I*P*Servo	0.039
I*P*On time	0.048
I*Servo*On time	0.631
P*Servo*On time	0.453
D.F.*I*P*Servo	0.008
D.F.*I*P*On time	0.430
D.F.*I*Servo*On time	0.017
D.F.*P*Servo*On time	0.272
I*P*Servo*On time	0.365
D.F.*I*P*Servo*On time	0.275

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียวในรูเจาะที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ความดันน้ำและอัตราป้อน เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของสมการการทำนายค่าความเรียวในรูเจาะ โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.39 มาสร้างสมการดังสมการที่ 11

ตารางที่ 4.39

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
1	Constant	-0.008017
2	D.F.	0.00015231
3	I	0.0010529
4	P	0.00010185
5	Servo	0.0005479
6	On time	0.00008604
7	D.F.*I	-0.00001583
8	D.F.*P	-0.00000205
9	D.F.*Servo	-0.00001012
10	D.F.*On time	-0.00000094
11	I*P	-0.00001993
12	I*Servo	-0.00006472
13	I*On time	-0.00000422
14	P*Servo	0.00000315
15	P*On time	-0.0000012
16	Servo*On time	-0.00000757

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
17	D.F.*I*P	0.0000003
18	D.F.*I*Servo	0.00000134
19	D.F.*I*On time	0.00000003
20	D.F.*P*Servo	0.00000007
21	D.F.*P*On time	0.00000001
22	D.F.*Servo*On time	0.00000013
23	I*P*Servo	0.00000185
24	I*P*On time	0.00000011
25	I*Servo*On time	-0.00000029
26	P*Servo*On time	0.0000001
27	D.F.*I*P*Servo	-0.00000004
28	D.F.*I*P*On time	0
29	D.F.*I*Servo*On time	0
30	D.F.*P*Servo*On time	0
31	I*P*Servo*On time	-0.00000001
32	D.F.*I*P*Servo*On time	0

จากตารางที่ 4.39 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าความเรียวในรูเจาะได้ดังสม การที่ 11 ดังนี้

ความเรียวในรูเจาะ = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2 *ตัวแปรพจน์ที่ 2+……+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

ความเรียวในรูเจาะ = [- 0.00802 + (0.000152*D.F.) + (0.00105*I) + (0.000102*P) + (0.000548*Servo)+ (0.000086*On time) – (0.000016*D.F.*I) – (0.000002*D.F.*P) - (0.00001*D.F.*Servo) – (0.000001*D.F.*Ontime) – (0.000020*I*P) - (0.000065*I*Servo) – (0.000004*I*Ontime) + (0.000003*P*Servo) - (0.000001*P*Ontime) – (0.000008*Servo *Ontime)+ (0.0000003*D.F.*I*P)+ (0.000001*D.F.*I*Servo) + (0.0000003*D.F.*I*Ontime) + (0.00000007*D.F.*P*Servo)+ (0.00000001*D.F.*P*Ontime) + (0.00000013*D.F. *Servo *Ontime)+ (0.000002*I*P*Servo) + (0.00000011*I*P*Ontime) – (0.00000001*I*Servo*On time) + (0.0000001*P*Servo*Ontime) – (0.000000*D.F.*I*P*Servo) – (0.00000001*I*P *Servo*Ontime)] ……(11)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.40
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ ความเรียวในรูเจาะ = [-0.008017 – (0.00015231*71.42) +
(0.0010529*9)+…… -
(0.00000001*9*40*2*10)]

ความเรียวในรูเจาะ = 0.001247

ความเรียวในรูเจาะที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.001247 แต่จากการทดลองจริง ความเรียวในรูเจาะเท่ากับ 0.001692151 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 0.000045 คิดเป็น 26.32% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (11) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13.21% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก

4.5.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย

ตารางที่ 4.41

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหยาบผิวเฉลี่ย

ตัวแปร	P
Constant	0.000
D.F.	0.257
I	0.004
P	0.024
Servo	0.673
On time	0.016
D.F.*I	0.024
D.F.*P	0.040
D.F.*Servo	0.009
D.F.*On time	0.047
I*P	0.001
I*Servo	0.565
I*On time	0.132
P*Servo	0.003
P*On time	0.640
Servo*On time	0.970

ตัวแปร	P
D.F.*I*P	0.008
D.F.*I*Servo	0.050
D.F.*I*On time	0.022
D.F.*P*Servo	0.008
D.F.*P*On time	0.595
D.F.*Servo*On time	0.013
I*P*Servo	0.011
I*P*On time	0.037
I*Servo*On time	0.524
P*Servo*On time	0.042
D.F.*I*P*Servo	0.292
D.F.*I*P*On time	0.127
D.F.*I*Servo*On time	0.636
D.F.*P*Servo*On time	0.779
I*P*Servo*On time	0.034
D.F.*I*P*Servo*On time	0.451

จากค่า P-value ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ กระแสไฟฟ้า, ความดันน้ำ และ เวลาเปิด เนื่องจากค่า P-value ของปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05

ทั้งนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งหมดในรูปของ สมการการทำนายค่าความหยาบผิวเฉลี่ย โดยนำค่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ได้จากตารางที่ 4.42 มาสร้างสมการดังสมการที่ 12

ตารางที่ 4.42
ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
1	Constant	28.245
2	D.F.	-0.0721
3	I	-0.8056
4	P	-0.07767
5	Servo	0.2535
6	On time	-0.0884
7	D.F.*I	0.009646
8	D.F.*P	-0.000998
9	D.F.*Servo	-0.001105
10	D.F.*On time	0.00093
11	I*P	0.00275
12	I*Servo	0.03381
13	I*On time	0.010127
14	P*Servo	-0.04293
15	P*On time	0.000708
16	Servo*On time	0.000352

พจน์ที่	Term	สัมประสิทธิ์
17	D.F.*I*P	-0.0000406
18	D.F.*I*Servo	-0.0017219
19	D.F.*I*On time	-0.00022899
20	D.F.*P*Servo	0.0005459
21	D.F.*P*On time	-0.0000117
22	D.F.*Servo*On time	-0.0000323
23	I*P*Servo	0.000668
24	I*P*On time	-0.0001427
25	I*Servo*On time	0.0005859
26	P*Servo*On time	0.0001546
27	D.F.*I*P*Servo	0.00002028
28	D.F.*I*P*On time	0.00000334
29	D.F.*I*Servo*On time	0.00000631
30	D.F.*P*Servo*On time	-0.00000086
31	I*P*Servo*On time	-0.00001277
32	D.F.*I*P*Servo*On time	-0.00000023

จากตารางที่ 4.42 สามารถสร้างสมการการทำนายค่าความหยาบผิวเฉลี่ยได้ดังสมการที่ 4 ดังนี้

ความหยาบผิวเฉลี่ย = สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 1*ตัวแปรพจน์ที่ 1+สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 2*ตัวแปรพจน์ที่ 2+……+ สัมประสิทธิ์พจน์ที่ 32*ตัวแปรพจน์ที่ 32

ความหยาบผิวเฉลี่ย = [28.245- (0.0721*D.F.) – (0.806*I) – (0.0777*P) + (0.253*Servo) – (0.0884*On time)+ (0.00965*D.F.*I) – (0.00100*D.F.*P) – (0.00111*D.F.*Servo) + (0.000930*D.F.*Ontime) + (0.00275*I*P) + (0.0338*I*Servo) + (0.0101*I*Ontime) - (0.0429*P*Servo) + (0.00071*P*Ontime) + (0.00035*Servo*Ontime) - (0.000041 *D.F.*I*P) – (0.00172*D.F.*I*Servo) – (0.000229*D.F.*I*Ontime) + (0.000546*D.F. *P*Servo)– (0.000012*D.F.*P*Ontime) - (0.000032*D.F.*Servo*Ontime) + (0.00067 *I*P*Servo) – (0.000143*I*P*Ontime) + (0.000586*I*Servo*Ontime) + (0.000155*P *Servo*Ontime)+ (0.000020*D.F.*I*P*Servo) + (0.000003*D.F.*I*P*Ontime) + (0.000006 *D.F.*I*Servo*Ontime) – (0.000001*D.F.*P*Servo*Ontime) - (0.000013*I*P*Servo*Ontime) – (0.00000023*D.F.*I*P*Servo*Ontime) ……. (12)

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการนำไปทำนายผลของการทดลองชุดใหม่โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.43
ค่าตัวแปรที่แทนในสมการ

ตัวแปรที่ใช้	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า	9 แอมแปร์
เวลาเปิด	10 ไมโครวินาที
ปัจจัยประสิทธิภาพ	71.42%
ความดันน้ำ	40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
อัตราป้อน	2 มิลลิเมตรต่อนาที

จากสมการ ความหยาบผิวเฉลี่ย = [28.245 - (0.0721*71.42)+…….-
(0.00001277* 9*40*2*10) -
(0.00000023*71.42*9*40*2*10)]
ความหยาบผิวเฉลี่ย = 15.51 ไมโครเมตร

ความหยาบผิวเฉลี่ยที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 15.51 ไมโครเมตรแต่จากการทดลองจริง ความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 14 ไมโครเมตร ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไป 1.51 ไมโครเมตร คิดเป็น 10.8% และได้ลองนำสมการใช้กับการทดลอง จำนวน 10 การทดลองที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการที่ (12) ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.49% แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมามีความสามารถในการทำนายที่ดี สามารถดูได้จากภาคผนวก