

บทที่ 4 ผลการดำเนินการทดลอง

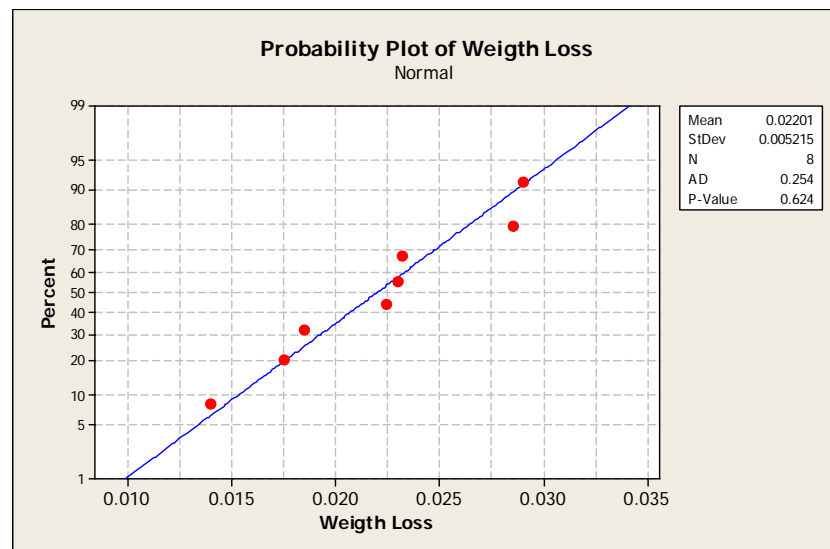
การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการทดลองตามขั้นตอน โดยทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบขั้นตอนต่าง ๆ ว่าถูกต้องหรือไม่ มีปัญหาอุปสรรคที่ต้องแก้ไขก่อนหรือไม่และดำเนินการทดลองจริงตามลำดับการทดลอง โดยใช้หลักการของ Factorial Design³ โดยกำหนดตัวแปรออกเป็น 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปรถูกกำหนดออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า โดยแปรค่าที่ระดับ 15 21 และ 30 V เวลาดีสชาร์จ แปรค่า ที่ระดับ 300 500 และ 900 μ s และระยะห่างการสปาร์ก แปรค่า ที่ระดับ 2 4 และ 6 μ m สภาวะโลหะเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง AISI M2 เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง AISI M2 และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อลักษณะสำคัญของกรรมวิธีอีดีเอ็ม 3 ประการ คือ การสึกหรอของอิเล็กโทรด เวลาในการสปาร์ก และ ความหนาผิวหน้าชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง AISI M2 โดยทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองในบทที่ 3 ผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของผลการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

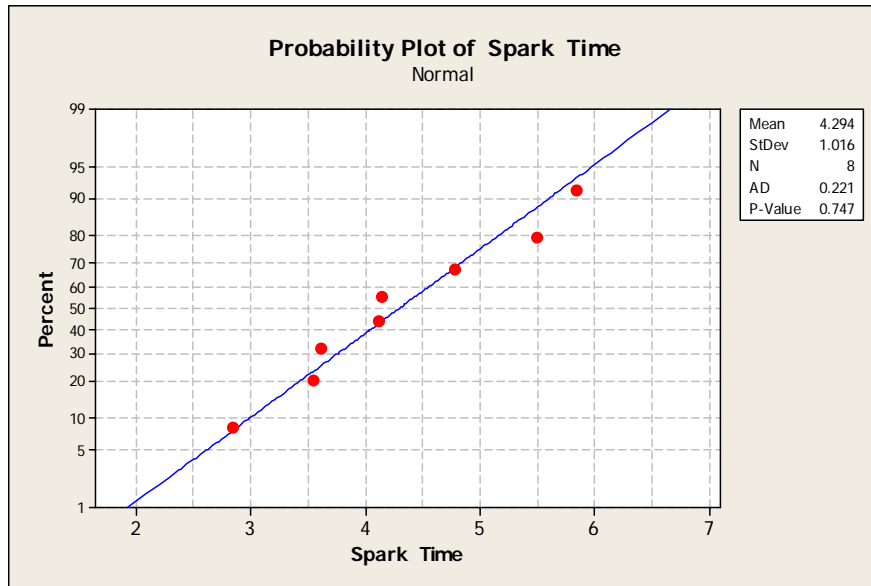
ลำดับการทดลอง	ระยะห่างสปาร์ก (Gap)	แรงดันไฟฟ้า (V)	เวลาดีสชาร์จ (T _{on})	อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (กรัม)	ความหนาผิวงานโดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	เวลาในการสปาร์ก (นาท)
1	1	1	1	0.0230	10.5320	4.771
2	1	1	3	0.0290	10.2890	3.615
3	1	3	1	0.0140	11.0103	5.837
4	1	3	3	0.0232	11.2200	4.141
5	3	1	1	0.0285	11.2270	5.488
6	3	1	3	0.0185	10.4200	3.537
7	3	3	1	0.0175	10.1470	4.118
8	3	3	3	0.0224	10.0270	2.844

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

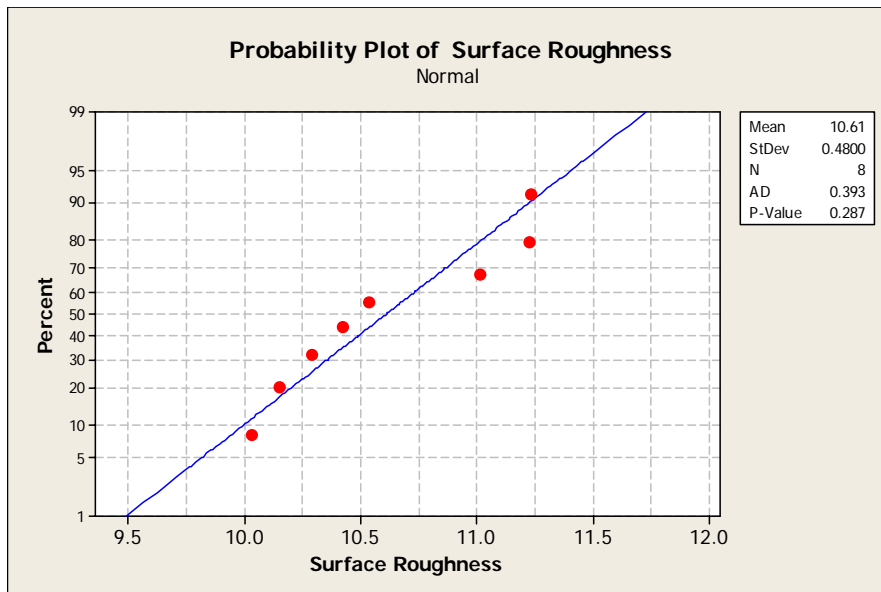
เพื่อหาค่าการแจกแจงของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลอง โดยปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า ที่ระดับ 15 และ 30 V เวลาชดเชยที่ระดับ 300 และ 900 μ s ระยะห่างในการสปาร์ก ที่ระดับ 2 และ 6 μ m เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง AISI M2 โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 8 ชิ้น จากการวิเคราะห์พบว่าค่าตัวแปรตาม ซึ่งประกอบไปด้วย อัตราการสึกหรอ เวลาในการสปาร์ก และความหยาบผิวเฉลี่ย มีการแจกแจงแบบปกติ โดยพิจารณาได้จากค่า P-value มีค่ามากกว่า .05 คือ P-value อัตราการสึกหรอเท่ากับ 0.624, P-value เวลาในการสปาร์ก เท่ากับ 0.747 และ P-value ความหยาบผิว เท่ากับ 0.287 ซึ่งเป็นค่าที่เห็นว่ามีความเหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ดังนั้นจึงดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงการแจกแจงแบบปกติของการสึกหรออิเล็กทรอนิกส์โทรด



รูปที่ 4.2 แสดงการแจกแจงแบบปกติของเวลาในการสปาร์ค



รูปที่ 4.3 แสดงการแจกแจงแบบปกติของความหยาบผิว

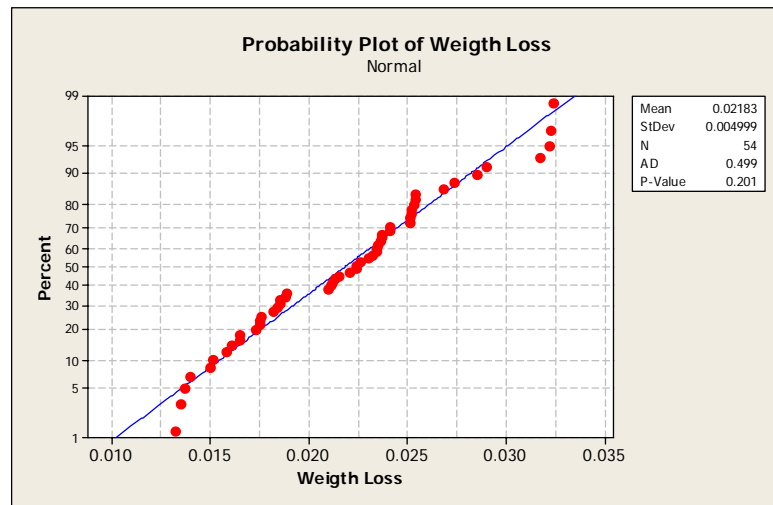
4.2 ผลการดำเนินการทดลอง

การทดลองใช้อิเล็กโทรดทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm. ชิ้นงานทดลองโลหะเหล็กกล้า เครื่องมือความเร็วสูง AISI M2 ทำการทดลองทั้งหมด 54 ครั้ง หลังการทดลองตัดเนื้อชิ้นงาน ทำการชั่งน้ำหนักอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนและหลังการทดลอง บันทึกเวลาในการสปาร์ค และวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเฉลี่ย ปัจจัยในการศึกษา ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 15

21 และ 30 V เวลาดีสชาส์จ ที่ระดับ 300 500 และ 900 μ s ระยะห่างในการสปาร์ค ที่ระดับ 2 4 และ 6 μ m โลหะเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง AISI M2

4.2.1 ผลการทดลองด้านการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Weight Loss)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.201



รูปที่ 4.4 แสดงการแจกแจงแบบปกติของการสึกหรออิเล็กโทรดของการทดลอง

การวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด โดยใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนแบบ ANOVA พบว่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด คือระยะห่างในการสปาร์ค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และ เวลาดีสชาส์จ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วนแรงดันไฟฟ้า ไม่ส่งผลต่อการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ไม่ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด ดังแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ต่ออัตราการสึกหรอของแ่งอิเล็กทรอนิกส์

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: WeightLoss

แหล่งความแปรปรวน	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาความเป็นอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่าF	ระดับนัยสำคัญ
Corrected Model	.001 ^a	26	3.388E-5	2.063	.033
Intercept	.026	1	.026	1.567E3	.000
Volt	5.273E-5	2	2.636E-5	1.606	.219
Gap	.000	2	6.132E-5	3.734	.037
T_On	.000	2	.000	8.205	.002
Volt * Gap	6.699E-5	4	1.675E-5	1.020	.415
Volt * T_On	.000	4	4.082E-5	2.486	.067
Gap * T_On	9.388E-5	4	2.347E-5	1.429	.251
Volt * Gap * T_On	.000	8	1.399E-5	.852	.567
Error	.000	27	1.642E-5		
Total	.027	54			
Corrected Total	.001	53			

a. R Squared = .665 (Adjusted R Squared = .343)

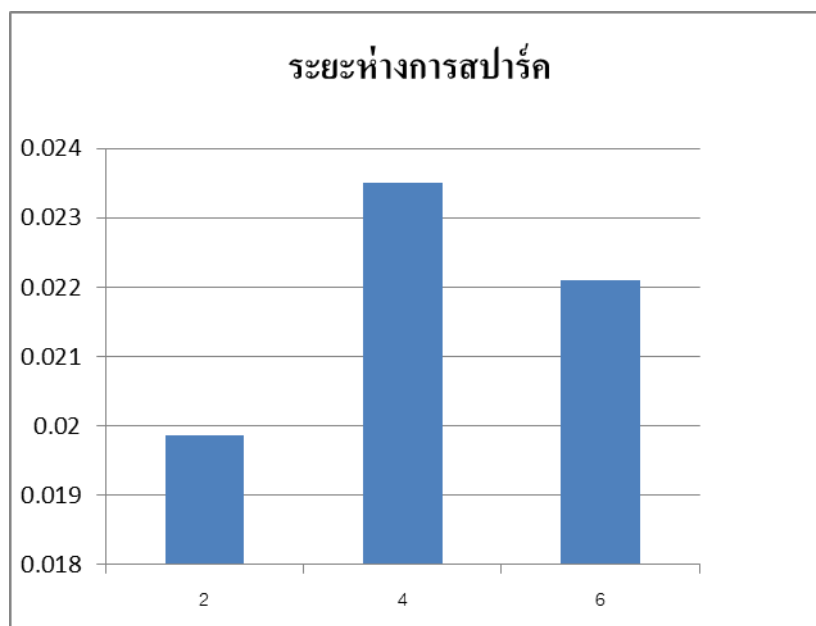
จากการวิเคราะห์พบว่า ระยะห่างในการสปาร์คส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของแ่งอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างกัน เวลาดีสชาส์จส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของแ่งอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison) โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Least Significant Difference (LSD) เพื่อทดสอบดูว่ารายคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 4.3, 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงความแตกต่างของระยะห่างในการสปาร์คที่ส่งผลอัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด

Gap	2	4	6
2		*	.104
4			.315
6			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ ของระยะห่างของการสปาร์ค พบว่าที่ ระดับ 2 กับ 4 μm มีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะห่างการสปาร์ค พบว่าระยะห่างในการสปาร์คที่ระดับ 4 μm มี ค่าอัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดมากที่สุดเท่ากับ 0.0235 กรัมดังแสดงในรูปที่ 4.5



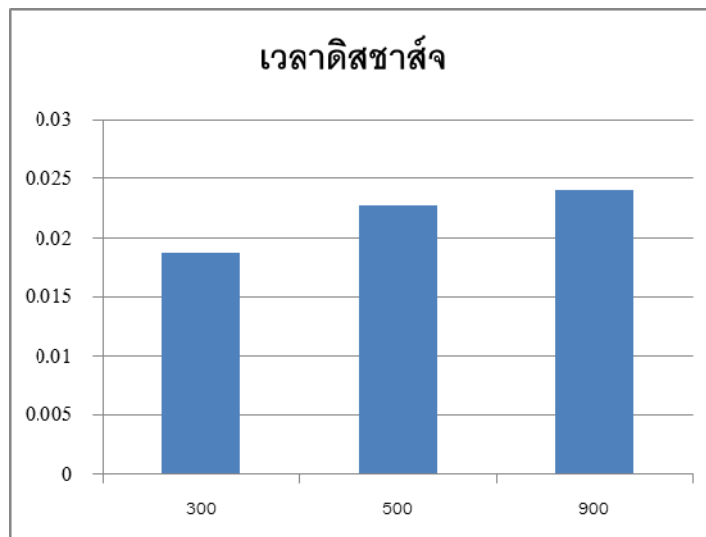
รูปที่ 4.5 แสดงระยะห่างของการสปาร์ค

ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างของเวลาติสชาส์จที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด

T_ON	300	500	900
300		*	*
500			.334
900			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

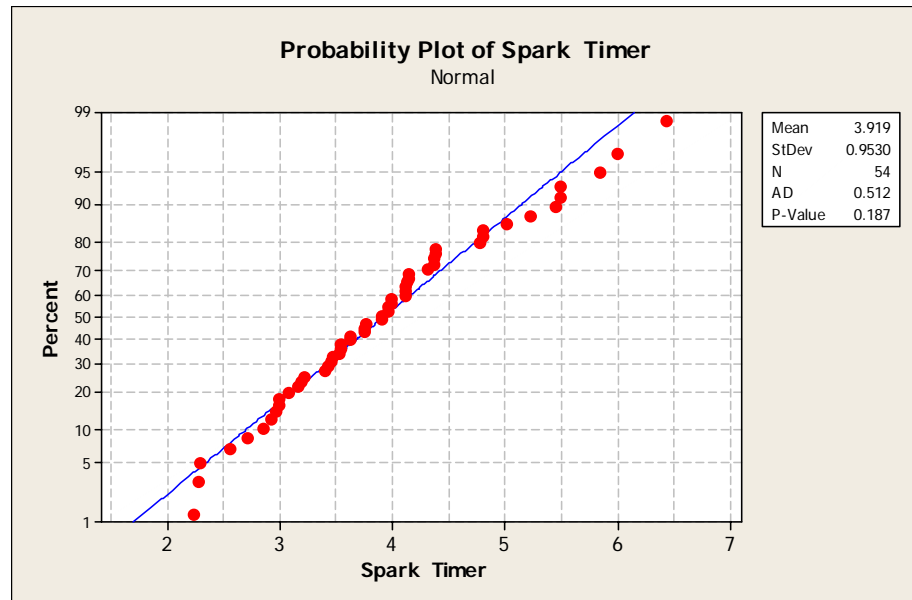
จากตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของเวลาติสชาส์จพบว่าระดับ 300 กับ 500 μs และ 300 กับ 900 μs มีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาติสชาส์จพบว่าที่ระดับ 900 μs ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดมากที่สุดเท่ากับ 0.0240 กรัมดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่เกิดจากการอิทธิพลของเวลาติสชาส์จ

4.2.2 ผลการทดลองด้านเวลาในสปาร์ค (Spark Time)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการแจกแจงปกติ พบว่าการกระจายปกติ ซึ่งค่า P-Value เท่ากับ 0.187 ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการแจกแจงปกติของเวลาในการสปาร์ค

การวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อเวลาในการสปาร์ค โดยใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนแบบ ANOVA พบว่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ แรงดันไฟฟ้าส่งผลต่อเวลาในการสปาร์ค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนระยะห่างในการสปาร์ค เวลาดีสชาร์จ ไม่ส่งผลต่อเวลาในการสปาร์ค ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ไม่ส่งผลต่อเวลาในการสปาร์ค ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ต่อเวลาในการสปาร์ค

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SparkTime

แหล่งความแปรปรวน	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาความเป็นอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่า F	ระดับนัยสำคัญ
Corrected Model	28.553 ^a	26	1.098	1.514	.145
Intercept	829.433	1	829.433	1.144E3	.000
volt	6.487	2	3.244	4.473	.021
Gap	.273	2	.137	.188	.829
T_On	2.610	2	1.305	1.800	.185
Amp * Gap	7.104	4	1.776	2.449	.070
Amp * T_On	6.007	4	1.502	2.071	.113
Gap * T_On	.416	4	.104	.144	.964
Amp * Gap * T_On	5.656	8	.707	.975	.476
Error	19.580	27	.725		
Total	877.566	54			
Corrected Total	48.133	53			

a. R Squared = .593 (Adjusted R Squared = .201)

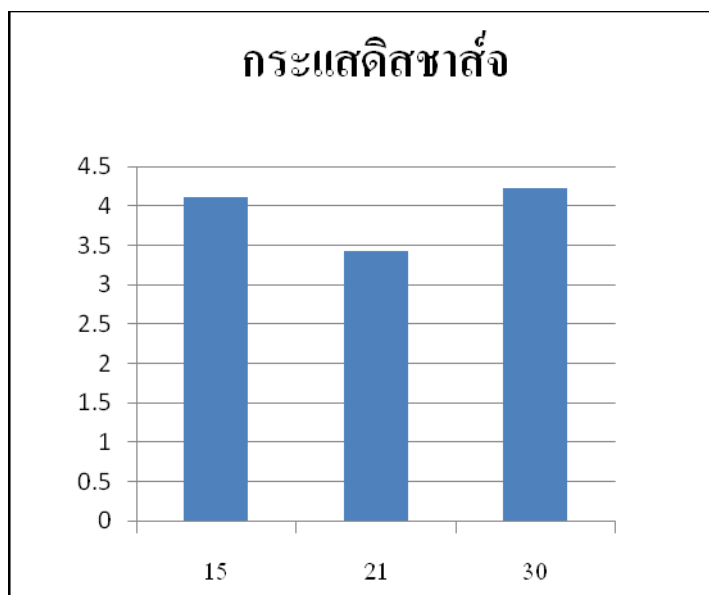
จากการวิเคราะห์พบว่า แรงดันไฟฟ้า ส่งผลต่อเวลาในการสปาร์ค แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison) โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Least Significant Difference (LSD) เพื่อทดสอบคู่วารายคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ LSD ของค่ากระแสคิชาลัจ

Volt	15	21	30
15		*	.698
21			*
30			

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

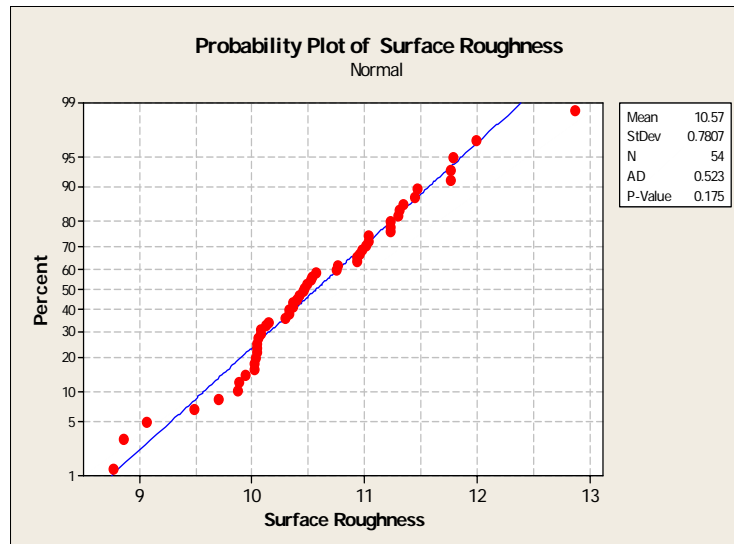
จากตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า พบว่าที่ระดับ 15 กับ 21V และ 21 กับ 30V มีอิทธิพลต่อเวลาในการสปาร์กแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า ต่อเวลาในการสปาร์ก พบว่าที่ระดับ 21 V ให้เวลาในการสปาร์กโดยเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 3.4332 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาในการสปาร์ก ที่เกิดจากการอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า

4.2.3 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้านความหยาบผิวงาน (Roughness)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการแจกแจงปกติ พบว่าการกระจายปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.175 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการแจกแจงปกติของความหยาบผิวงาน (Roughness)

การวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความหยาบผิวงาน (Roughness) โดยใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนแบบ ANOVA พบว่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ส่งผลต่อความหยาบผิว คือ แรงดันไฟฟ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ระหว่างในการสปาร์ค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เวลาดีดชาส์ ไม่ส่งผลต่อความหยาบผิวงาน อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ส่งผลต่อความหยาบผิวงาน คือ แรงดันไฟฟ้า กับ เวลาดีดชาส์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ต่อความหยาบผิว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Roughness

แหล่งความแปรปรวน	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาความเป็นอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่าF	ระดับนัยสำคัญ
Corrected Model	22.309 ^a	26	.858	2.318	.017
Intercept	6030.786	1	6030.786	1.629E4	.000
Volt	5.102	2	2.551	6.891	.004
Gap	3.545	2	1.773	4.789	.017
T_On	.742	2	.371	1.003	.380
Volt * Gap	.350	4	.087	.236	.915
Volt * T_On	4.921	4	1.230	3.323	.025
Gap * T_On	3.431	4	.858	2.317	.083
Volt * Gap * T_On	4.218	8	.527	1.424	.231
Error	9.994	27	.370		
Total	6063.089	54			
Corrected Total	32.303	53			

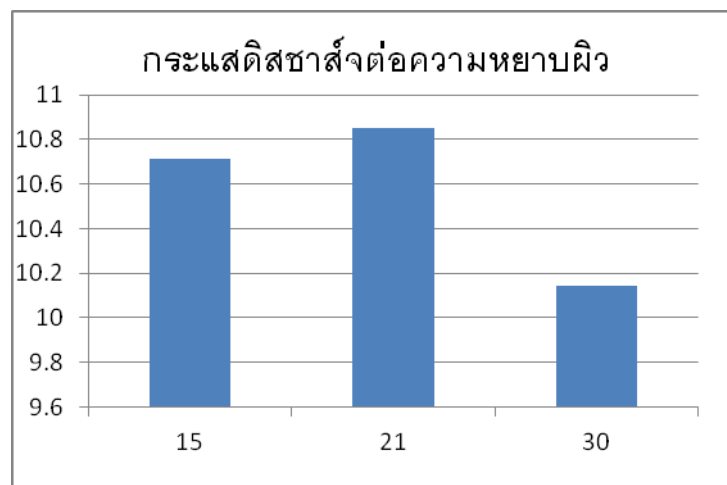
a. R Squared = .691 (Adjusted R Squared = .393)

จากการวิเคราะห์พบว่า แรงดันไฟฟ้า ระยะห่างในการสปาร์ก ส่งผลต่อความหยาบผิวงาน แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison) โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Least Significant Difference (LSD) เพื่อทดสอบดูว่ารายคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ LSD ของกระแสดิสชาส์จ

Volt	15	21	30
15		.493	*
21			*
30			

จากตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า พบว่าที่ระดับ 15กับ 30V และ ที่ระดับ 21กับ 30Vมีความแตกต่างต่อความหยาบผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า พบว่าที่ระดับ 30 V ส่งผลต่อความหยาบผิวโดยเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 10.14093 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.10



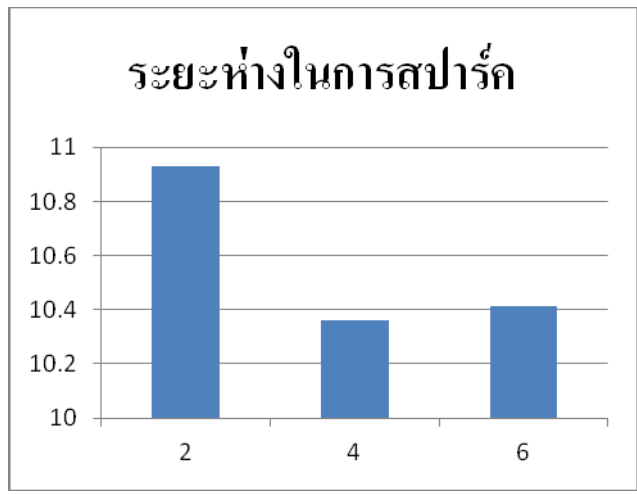
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าต่อความหยาบผิว

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของระยะห่างในการสปาร์คพบว่าที่ระดับ 2 กับ 4 μm และที่ระดับ 2 กับ 6 μm มีความแตกต่างต่อความหยาบผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ ระยะห่างในการสปาร์ค ที่ระดับ 6 μm ส่งผลต่อความหยาบผิวโดยเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 9.481 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ LSD ของระยะห่างในการสปาร์ก (Gap)

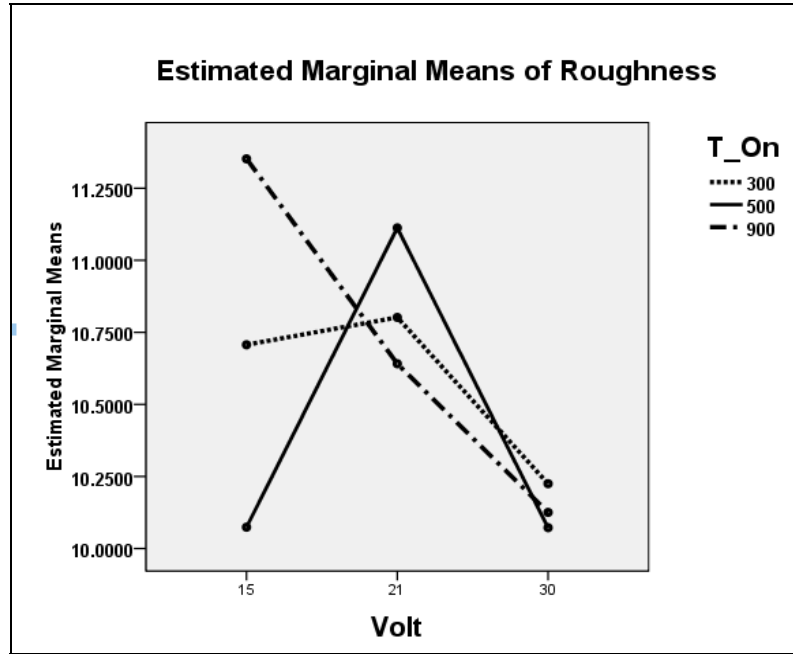
Volt	2	4	6
2		*	*
4			.804
6			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะห่างของการสปาร์กต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิว

จากการวิเคราะห์พบว่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect)ที่ส่งผลต่อที่ส่งผลต่อความหนาผิวงาน คือแรงดันไฟฟ้า กับ เวลาดีสชาร์จ และ แรงดันไฟฟ้า ที่ระดับ 15V และ เวลาดีสชาร์จ ที่ระดับ 900 μ s ส่งผลต่อความหนาผิวงาน มากที่สุดโดยเฉลี่ย 11.352 μ m ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม (Interaction Plot) แรงดันไฟฟ้ากับเวลาติสชาส์จ ต่อความหยาบผิวงาน