

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ผลการดำเนินการวิจัยจากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการผลิตแผ่นเพลทขัดผิวหัวอ่าน มีด้วยกัน 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องมือวัด
2. ผลการทดสอบเพื่อเลือกปัจจัยในการออกแบบการทดลอง
3. ผลของการออกแบบการทดลองและผลการทดลองซ้ำ

4.1 ผลการทดสอบหาความสามารถของเครื่องมือวัด

4.1.1 เครื่องวัดค่า MRR (เครื่อง Quasi Static Test หรือ QST)

ตารางที่ 4.1

แสดงผลการวัดหาค่าความสามารถของเครื่อง QST

คิวท์	เครื่องที่ 1			เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 3		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
1	252.33	252.52	252.55	252.54	252.44	252.19	252.53	252.44	252.19
2	227.65	227.85	227.63	227.90	228.01	228.01	227.89	228.00	228.00
3	166.62	166.64	166.78	167.00	167.05	166.97	167.00	167.05	166.96
4	167.83	167.62	167.85	168.09	168.03	168.06	168.09	168.02	168.05
5	217.12	217.14	217.06	216.97	217.46	217.31	216.97	217.45	217.30
6	262.83	262.77	262.70	263.08	263.06	262.95	263.08	263.05	262.95
7	265.06	265.12	265.09	265.50	265.37	265.43	265.50	265.37	265.42
8	267.82	267.79	267.90	268.26	267.84	268.24	268.26	267.84	268.23
9	266.92	266.81	267.00	267.39	266.94	267.02	267.38	266.94	267.02
10	277.98	277.87	277.95	278.35	278.46	278.22	278.35	278.46	278.21
11	304.43	304.37	304.40	304.52	304.52	304.70	304.51	304.51	304.69
12	295.55	295.49	295.29	296.07	296.19	295.96	296.07	296.18	295.95
13	293.51	293.22	293.54	293.82	294.14	293.82	293.82	294.13	293.82
14	287.43	287.62	287.57	288.40	288.01	288.04	288.40	288.00	288.03
15	296.76	296.88	296.79	297.53	296.63	296.55	297.53	296.63	296.54
16	313.42	313.36	313.33	314.03	314.12	313.97	314.03	314.12	313.96
17	315.79	315.76	315.89	316.53	316.44	316.56	316.53	316.44	316.56
18	313.07	313.11	313.29	314.02	314.09	314.12	314.02	314.08	314.11
19	315.63	315.57	315.54	316.67	316.67	316.52	316.67	316.67	316.51
20	308.41	308.59	308.41	309.58	309.43	309.40	309.58	309.42	309.39
21	330.29	329.93	330.38	330.87	331.03	330.64	330.86	331.02	330.64
22	321.74	321.45	321.61	322.36	322.43	322.55	322.36	322.42	322.55
23	322.30	321.99	322.27	323.09	323.21	323.47	323.08	323.21	323.46
24	335.49	334.97	335.40	336.37	336.50	336.43	336.36	336.49	336.43
25	331.17	331.23	330.97	332.51	332.22	332.38	332.50	332.21	332.37
26	345.06	345.23	344.93	346.04	346.01	345.63	346.03	346.00	345.63
27	348.00	347.90	347.62	348.41	348.92	348.81	348.40	348.91	348.81
28	339.80	339.93	339.80	341.31	341.11	341.21	341.31	341.11	341.21
29	355.62	355.59	355.59	356.93	357.04	357.21	356.93	357.03	357.21
30	338.04	338.11	338.14	339.65	339.35	339.75	339.65	339.35	339.75

จากผลในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูปได้ดังผล
ต่อไปนี้

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for MRR

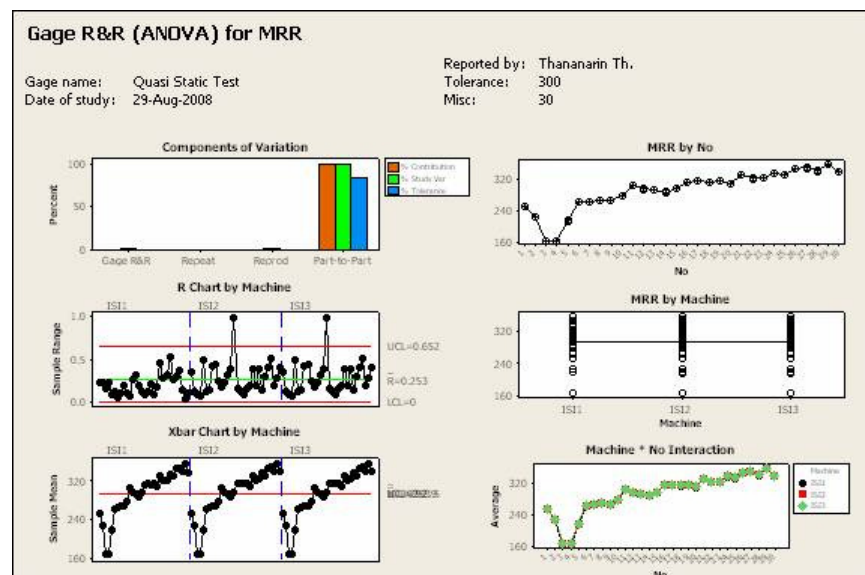
Gage name: Quasi Static Test
Date of study: 29-Aug-2008
Reported by: Thananarin Th.
Tolerance: 300
Misc: 30

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.22	0.01
Repeatability	0.03	0.00
Reproducibility	0.20	0.01
Machine	0.14	0.01
Machine*No	0.05	0.00
Part-To-Part	2398.68	99.99
Total Variation	2398.90	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.4713	2.427	0.96	0.81
Repeatability	0.1631	0.840	0.33	0.28
Reproducibility	0.4422	2.278	0.90	0.76
Machine	0.3761	1.937	0.77	0.65
Machine*No	0.2326	1.198	0.47	0.40
Part-To-Part	48.9763	252.228	100.00	84.08
Total Variation	48.9786	252.240	100.00	84.08

จากผลการวัดพบว่าเครื่องวัดค่า MRR หรือ QST นี้ สามารถยอมรับได้ เนื่องจากค่า P/T Ratio และค่า %GR&R (%Contribution) อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้(ดูเกณฑ์มาตรฐานได้จาก บทที่ 2 หน้าที่ 27)



ภาพที่ 4.1

ภาพแสดงการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดของเครื่อง QST

4.1.2 เครื่องวัดความหยาบของผิว (เครื่อง Atomic Force Microscopy หรือ AFM)

ตารางที่ 4.2

ตารางแสดงผลการวัดหาค่าความสามารถของเครื่อง AFM

คิวท์	พนักงาบคนที่ 1			พนักงาบคนที่ 2			พนักงาบคนที่ 3		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
1	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26	0.27
2	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25
3	0.21	0.20	0.21	0.22	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21
4	0.55	0.56	0.55	0.54	0.55	0.55	0.54	0.55	0.56
5	0.57	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56
6	0.53	0.53	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.53
7	1.09	1.10	1.09	1.08	1.11	1.09	1.09	1.08	1.09
8	1.25	1.23	1.25	1.26	1.25	1.25	1.23	1.25	1.25
9	1.35	1.36	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.36
10	1.50	1.49	1.49	1.51	1.50	1.51	1.50	1.50	1.49

จากผลจากตารางที่ 4.2 สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูป
ได้ดังผลต่อไปนี้

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Ra Sample

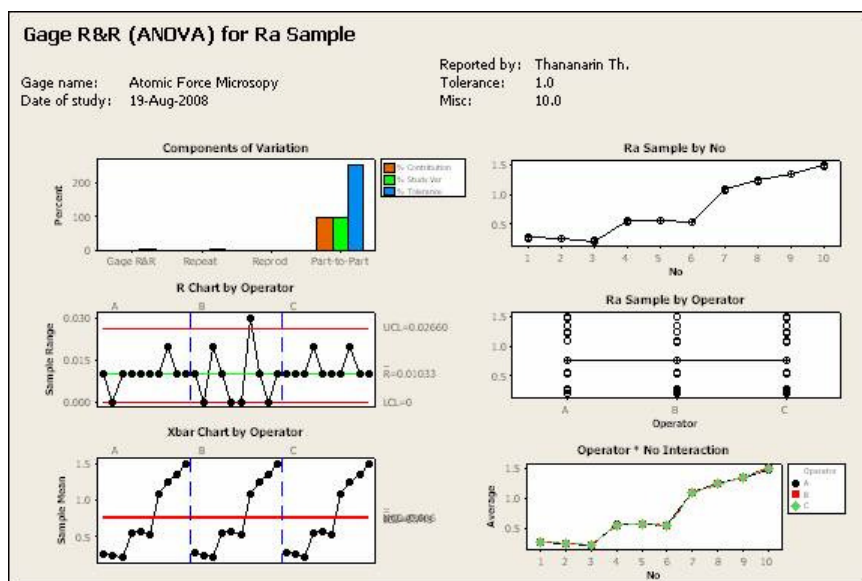
Gage name: Atomic Force Microscopy
Date of study: 19-Aug-2008
Reported by: Thananarin Th.
Tolerance: 1.0
Misc: 10.0

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000045	0.02
Repeatability	0.000045	0.02
Reproducibility	0.000000	0.00
Operator	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.243564	99.98
Total Variation	0.243609	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.006692	0.03447	1.36	3.45
Repeatability	0.006692	0.03447	1.36	3.45
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Operator	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.493522	2.54164	99.99	254.16
Total Variation	0.493567	2.54187	100.00	254.19

จากผลการวัดพบว่าเครื่องวัดค่าความหยาบของผิว หรือ AFM นี้สามารถยอมรับได้
เนื่องจากค่า P/T Ratio และค่า %GR&R (%Contribution) อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (ดูเกณฑ์
มาตรฐานได้จากบทที่ 2 หน้า 27)



ภาพที่ 4.2

แสดงการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดของเครื่อง AFM

ตารางที่ 4.3

สรุปผลการหาค่าความสามารถของเครื่องมือวัด

	เครื่องวัดค่า MRR	เครื่องวัดค่าความหยาบผิว
ค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (P/T Ratio)	3.45	0.81
ค่ารีพีเทบิลิตีและรีโพรดูซิบิลิตี (%GR&R)	0.02	0.01
ผลสรุป	ยอมรับได้	ยอมรับได้

4.2 ผลการทดสอบเพื่อเลือกปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่ผู้วิจัยได้คาดไว้เบื้องต้นเพื่อที่จะเลือกมาคัดจาก 6 ปัจจัย ให้เหลือ 5 ปัจจัย เพื่อการควบคุมปัจจัยได้ถูกต้อง และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองอีกด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้วิธีการ One Factor At A Time และหลักการของ 2-Proportion มาเพื่อคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า %MRR และ Ra ในเบื้องต้นก่อนการออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.4

สรุปผลการหาค่าความสามารถของเครื่องมือวัด

ลำดับที่	ปัจจัย	ค่าที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ		ผลของค่า % MRR Defect		ค่า P-Value (2-Proportion)	สรุปผล
		ค่าที่ใช้ปัจจุบัน	ค่าที่ใช้เปรียบเทียบ	ผลของค่าที่ใช้ปัจจุบัน	ผลของค่าที่ใช้เปรียบเทียบ		
1	ระยะเวลาในการฝังอัดไดมอนด์ (นาที)	60	75	3.34%	2.17%	0.045	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
2	น้ำหนักที่ใช้ในการบดอัด (กิโลกรัม)	15	18	3.38%	1.79%	0.006	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
3	ความเร็วรอบของแผ่นเพลทขณะทำการบดอัด (รอบ/นาที)	25	35	3.51%	2.27%	0.044	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
4	ความเร็วรอบของวงแหวนเซรามิคที่ช่วยในการบดอัด (รอบ/นาที)	10	15	3.13%	2.02%	0.056	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
5	ความเร็วรอบในการส่ายไปมาของวงแหวนเซรามิค (รอบ/นาที)	10	15	3.28%	2.05%	0.038	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
6	ทิศทางการหมุนของวงแหวนเซรามิคที่ช่วยในการบดอัด	ทวนเข็มนาฬิกา	ตามเข็มนาฬิกา	3.45%	3.61%	0.806	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ซึ่งจากการทดลองทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยเปรียบเทียบระหว่างที่ค่ามาตรฐานกับค่าที่นำมาเปรียบเทียบ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.4 สรุปได้ว่าจากทั้งหมด 6 ปัจจัยนั้น มีเพียง 4 ปัจจัยที่ส่งผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า %MRR แต่เนื่องจากมีปัจจัยหนึ่งที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.056 ซึ่งเกือบที่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจะนำเอาอีก 1 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบของวงแหวนเซรามิคที่ช่วยในบดอัด มาร่วมทำการออกแบบในการทดลองด้วย จะได้ ทั้งหมด 5 ปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาในการฝังอัดไดมอนด์ (Charging time)

Test and CI for Two Proportions - Charging time

Sample	X	N	Sample p
1	52	1556	0.033419
2	34	1567	0.021698

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.0117215
 95% CI for difference: (0.000241767, 0.0232013)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2.00
 P-Value = 0.045

2. น้ำหนักที่ใช้ในการบดอัด (Charging Weight)

Test and CI for Two Proportions - Charge Weight

Sample	X	N	Sample p
1	50	1479	0.033807
2	27	1505	0.017940

Difference = $p(1) - p(2)$
 Estimate for difference: 0.0158664
 95% CI for difference: (0.00447306, 0.0272598)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): $Z = 2.73$
 P-Value = 0.006

3. ความเร็วรอบของแผ่นเพลทขณะทำการบดอัด (Plate speed)

Test and CI for Two Proportions - Plate speed

Sample	X	N	Sample p
1	52	1482	0.035088
2	34	1495	0.022742

Difference = $p(1) - p(2)$
 Estimate for difference: 0.0123452
 95% CI for difference: (0.000309153, 0.0243813)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): $Z = 2.01$
 P-Value = 0.044

4. ความเร็วรอบของวงแหวนเซรามิกที่ช่วยในการบดอัด (Ceramic speed)

Test and CI for Two Proportions - Ring Speed

Sample	X	N	Sample p
1	46	1470	0.031293
2	30	1486	0.020188

Difference = $p(1) - p(2)$
 Estimate for difference: 0.0111041
 95% CI for difference: (-0.000313059, 0.0225212)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): $Z = 1.91$
 P-Value = 0.057

5. ความเร็วรอบในการส่ายไปมาของวงแหวนเซรามิก (Oscillate speed)

Test and CI for Two Proportions - Oscillate Speed

Sample	X	N	Sample p
1	49	1496	0.032754
2	31	1509	0.020543

Difference = $p(1) - p(2)$
 Estimate for difference: 0.0122106
 95% CI for difference: (0.000696503, 0.0237247)
 Test for difference=0(vs not = 0): $Z=2.08$
 P-Value= 0.038

4.3 ผลของการออกแบบการทดลอง

- จำนวนปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 5 ปัจจัย (Factor = 5)
- จำนวนระดับในแต่ละปัจจัย เท่ากับ 2 ระดับ (Level = 2)

- มิติของการออกแบบ เท่ากับ 5 (Resolution = 5)
- จำนวนการทดลองที่ศูนย์กลาง เท่ากับ 1 การทดลอง (Center point = 1)
- จำนวนการจัดกลุ่มการทดลอง - ไม่มี(Block = 0)
- การเรียงลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Randomize)
- จำนวนการทดลองรวมเท่ากับ 17 การทดลอง (Run = 17)

ซึ่งผลการออกแบบการทดลองและผลตอบสนองจากการออกแบบการทดลองทั้ง %MRR loss และค่าความหยาบของผิวหัวอ่าน (Ra) ของทั้ง 17 การทดลองนั้นแสดงดังในตารางที่ 4.5 สำหรับรายละเอียดของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ ในการทดลองนี้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

Fractional Factorial Design

Factors: 5 Base Design: 5,16 Resolution: V
 Runs: 17 Replicates: 1 Fraction: 1/2
 Blocks: 1 Center pts (total): 1

Design Generators: E = ABCD

Alias Structure

I + ABCDE

A + BCDE

B + ACDE

C + ABDE

D + ABCE

E + ABCD

AB + CDE

AC + BDE

AD + BCE

AE + BCD

BC + ADE

BD + ACE

BE + ACD

CD + ABE

CE + ABD

DE + ABC

Alias Information for Terms in the Model.

- เมื่อ
- A คือ ระยะเวลาในการฝังอัดไดม่อน (Charging time)
 - B คือ ความเร็วรอบของแผ่นเพลทขณะทำการบดอัด (Plate speed)
 - C คือ ความเร็วรอบในการส่ายของวงแหวนเซรามิก (Oscillate speed)
 - D คือ ความเร็วรอบของวงแหวนเซรามิกในการบดอัด (Ceramic speed)
 - E คือ น้ำหนักที่ใช้ในการบดอัด (Charging Weight)

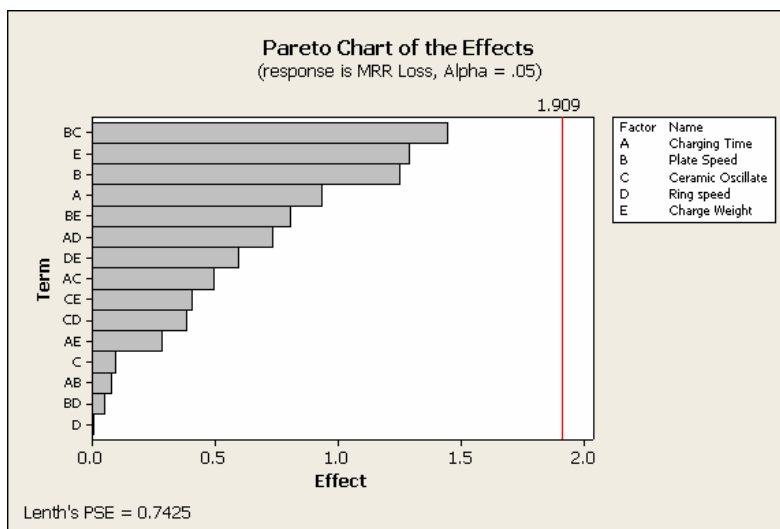
ตารางที่ 4.5

สรุปผลการออกแบบการทดลอง

ผลของการออกแบบการทดลอง									ผลการทดลอง	
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Charging Time	Charge Weight	Plate Speed	Ring speed	Ring Oscillate	%MRR Loss	Ra (nm)
1	1	1	1	50	18	20	10	10	3.00	0.29
2	2	1	1	75	12	20	10	10	1.85	0.24
3	3	1	1	50	12	35	10	10	3.07	0.34
4	4	1	1	75	18	35	10	10	1.50	0.38
5	5	1	1	50	12	20	10	15	5.64	0.28
6	6	1	1	75	18	20	10	15	2.48	0.24
7	7	1	1	50	18	35	10	15	2.00	0.28
8	8	1	1	75	12	35	10	15	1.20	0.23
9	9	1	1	50	12	20	15	10	3.99	0.37
10	10	1	1	75	18	20	15	10	0.94	0.30
11	11	1	1	50	18	35	15	10	2.97	0.38
12	12	1	1	75	12	35	15	10	3.02	0.28
13	13	1	1	50	18	20	15	15	2.25	0.29
14	14	1	1	75	12	20	15	15	5.56	0.34
15	15	1	1	50	12	35	15	15	1.53	0.23
16	16	1	1	75	18	35	15	15	0.42	0.22
17	17	0	1	63	15	27	12	12	2.50	0.32

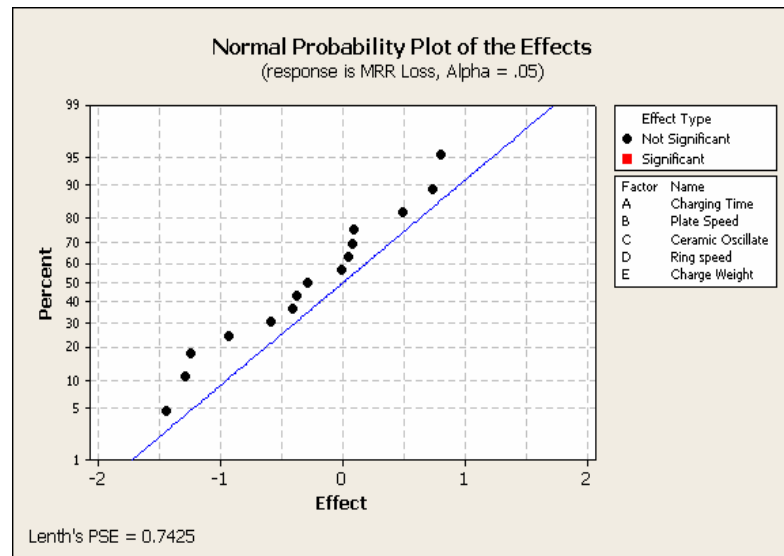
4.3.1 %MRR Loss จากการออกแบบการทดลอง

4.3.1.1 การวิเคราะห์ขั้นที่ 1



ภาพที่ 4.3

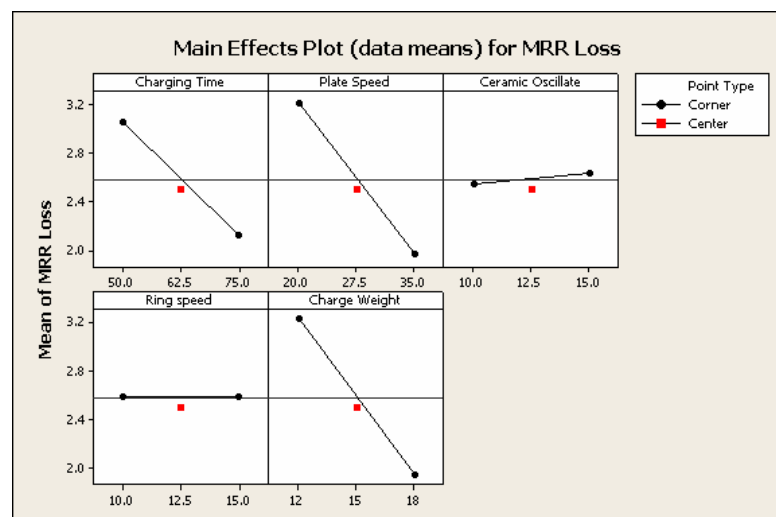
แสดง Pareto Chart of the Effects ของ %MRR Loss



ภาพที่ 4.4

แสดง Normal Probability Plot of the Effects ของ %MRR Loss

พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่ามีกลุ่มของข้อมูลบางชุดมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า %MRR Loss นั่นคือ BC, A, B และ E ตามลำดับ ส่วน C นั้นเกิดอันตรกิริยากับปัจจัย B ถึงจะมีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลต่อ %MRR loss นั้นเอง ในขณะที่ปัจจัย D นั้นไม่ส่งผลใดๆ เลยกับ %MRR loss ซึ่งสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้จากกราฟ Main Effect Plot ดังต่อไปนี้



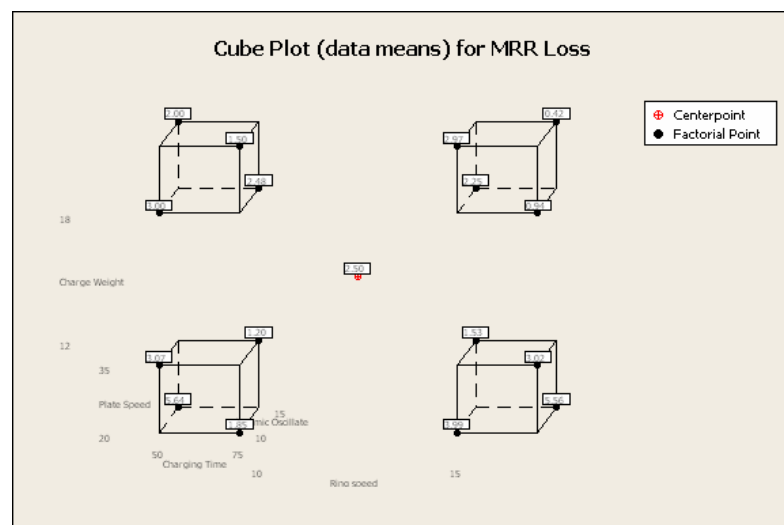
ภาพที่ 4.5

แสดง Main Effect Plot for MRR Loss



ภาพที่ 4.6

แสดง Interaction Plot for MRR Loss



ภาพที่ 4.7

แสดง Cube Plot for MRR Loss

Factorial Fit: MRR Loss versus All Factor

Estimated Effects and Coefficients for MRR Loss (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		2.5888
Charging Time	-0.9350	-0.4675
Plate Speed	-1.2500	-0.6250
Ceramic Oscillate	0.0925	0.0463
Ring speed	-0.0075	-0.0038
Charge Weight	-1.2875	-0.6438
Charging Time*Plate Speed	0.0775	0.0388
Charging Time*Ceramic Oscillate	0.4950	0.2475

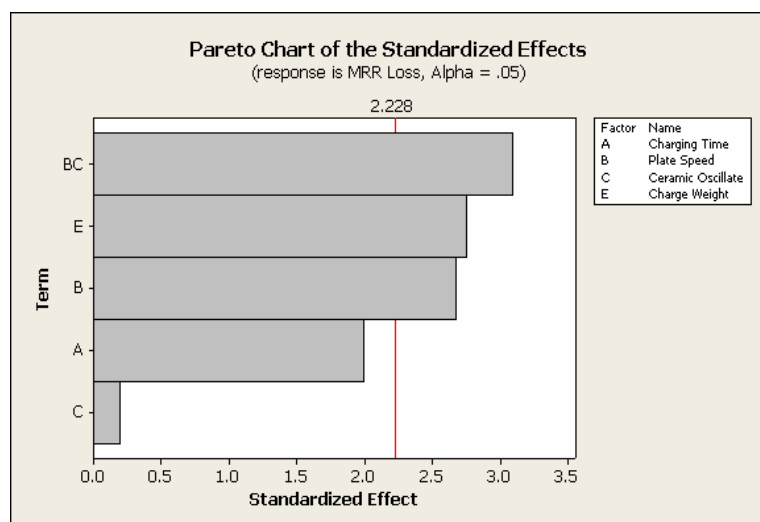
Charging Time*Ring speed	0.7350	0.3675
Charging Time*Charge Weight	-0.2850	-0.1425
Plate Speed*Ceramic Oscillate	-1.4450	-0.7225
Plate Speed*Ring speed	0.0500	0.0250
Plate Speed*Charge Weight	0.8050	0.4025
Ceramic Oscillate*Ring speed	-0.3825	-0.1912
Ceramic Oscillate*Charge Weight	-0.4075	-0.2037
Ring speed*Charge Weight	-0.5925	-0.2963
Ct Pt		-0.0888
S = *		

Analysis of Variance for MRR Loss (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	16.4120	16.4120	3.28240	*	*
2-Way Interactions	10	17.0978	17.0978	1.70978	*	*
Curvature	1	0.0074	0.0074	0.00741	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	16	33.5172				

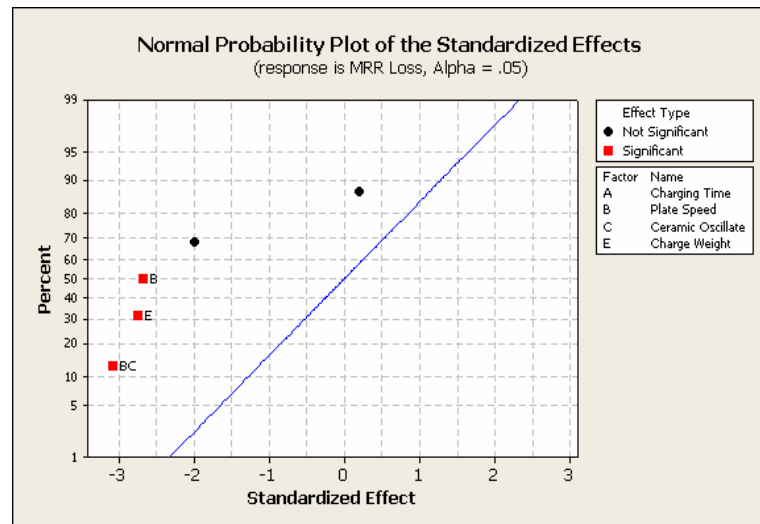
จากขั้นตอนที่ 1 นี้ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลต่อ %MRR loss อย่างมีนัยสำคัญได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการตัดข้อมูลบางกลุ่มที่เป็นอันตรกิริยา 3 ระดับ และ 2 ระดับบางกลุ่ม จากภาพที่ 4.3 ดังจะแสดงในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

4.3.1.2 การวิเคราะห์ขั้นที่ 2



ภาพที่ 4.8

แสดง Pareto Chart of the Effects ของ %MRR Loss



ภาพที่ 4.9

แสดง Normal Probability Plot of the Effects ของ %MRR Loss

Factorial Fit: MRR Loss versus Charging Time, Plate Speed, Ceramic Oscillate and Charge Weight

Estimated Effects and Coefficients for MRR Loss (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2.5888	0.2338	11.07	0.000	
Charging Time	-0.9350	-0.4675	0.2338	-2.00	0.073
Plate Speed	-1.2500	-0.6250	0.2338	-2.67	0.023
Ceramic Oscillate	0.0925	0.0463	0.2338	0.20	0.847
Charge Weight	-1.2875	-0.6438	0.2338	-2.75	0.020
Plate Speed* Ceramic Oscillate	-1.4450	-0.7225	0.2338	-3.09	0.011
Ct Pt		-0.0888	0.9640	-0.09	0.928

S = 0.935197 R-Sq = 73.91% R-Sq(adj) = 58.25%

Analysis of Variance for MRR Loss (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	16.4118	16.4117	4.10294	4.69	0.022
2-Way Interactions	1	8.3521	8.3521	8.35210	9.55	0.011
Curvature	1	0.0074	0.0074	0.00741	0.01	0.928
Residual Error	10	8.7459	8.7459	0.87459		
Total	16	33.5172				

Estimated Coefficients for MRR Loss using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-3.04042
Charging Time	-0.0374000
Plate Speed	0.398333
Ceramic Oscillate	1.07817
Charge Weight	-0.214583
Plate Speed* Ceramic Oscillate	-0.0385333
Ct Pt	-0.088750

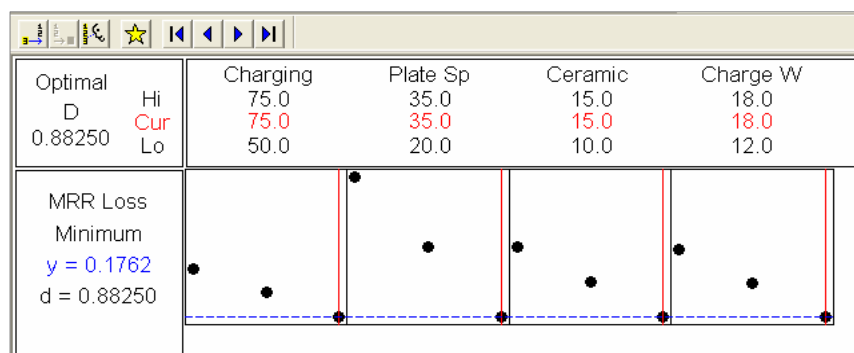
จากผลการวิเคราะห์ พบว่ามีทั้งหมด 3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่า %MRR loss แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือ ปัจจัย B (Plate Speed), E (Charge Weight) และ C (Ceramic Oscillate speed) ซึ่งปัจจัย C นี้จะมีอิทธิพลร่วมกับปัจจัย B

โดยที่สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองนี้ก็คือ

$$\%MRR \text{ Loss} = -3.040 - 0.398*B - 0.214*E - 0.038*B*C \dots\dots\dots(4.1)$$

4.3.1.3 การวิเคราะห์ขั้นที่ 3

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อค่า %MRR Loss นั้นสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์หาผล Response Optimizer ออกมาได้ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10

แสดงผลของ Response Optimizer ของ %MRR Loss

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
MRR Loss	Minimum	0	0	1.5	1	1

Global Solution

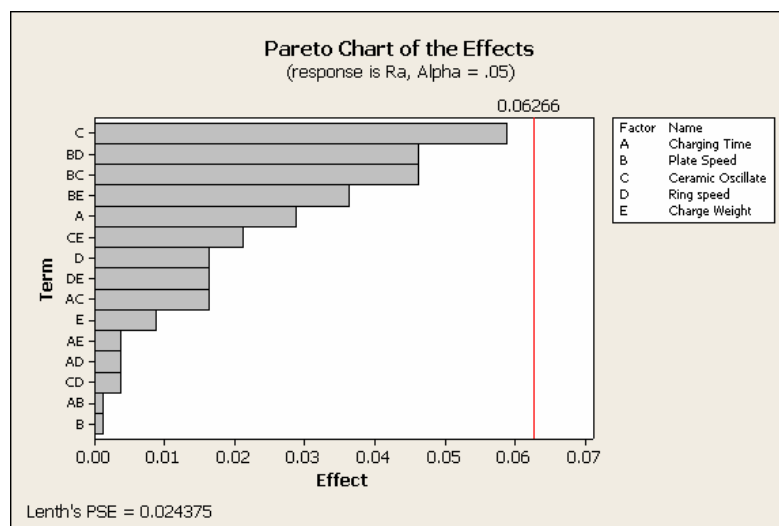
Charging Time =	75	min
Plate Speed =	35	rpm
Ceramic Oscillation =	15	rpm
Charge Weight =	18	Kgs

Predicted Responses

MRR Loss	=	0.17625	, desirability =	0.8825
Composite Desirability	=	0.88250		

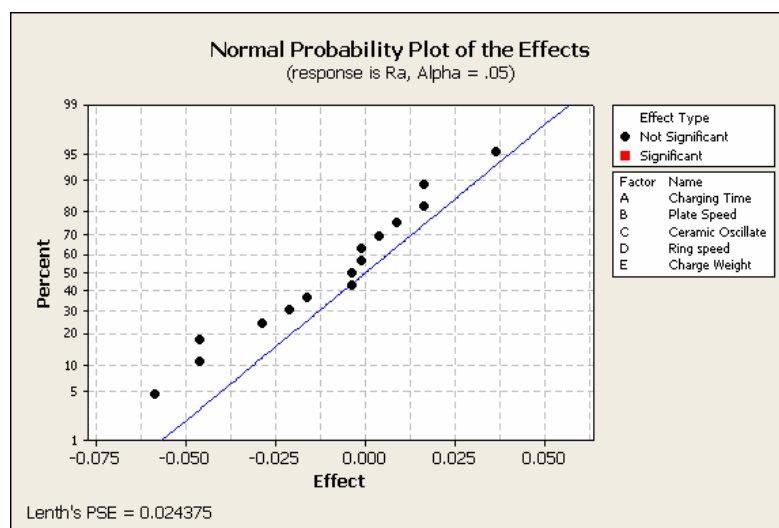
4.3.2 ค่าความหยาบของผิวหัวอ่าน (Ra) จากการออกแบบการทดลอง

4.3.2.1 การวิเคราะห์ขั้นที่ 1



ภาพที่ 4.11

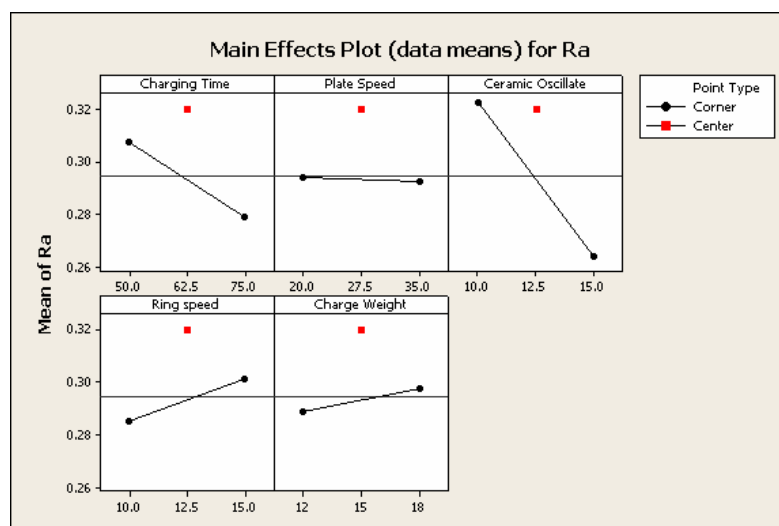
แสดง Pareto Chart of the Effects ของ Ra



ภาพที่ 4.12

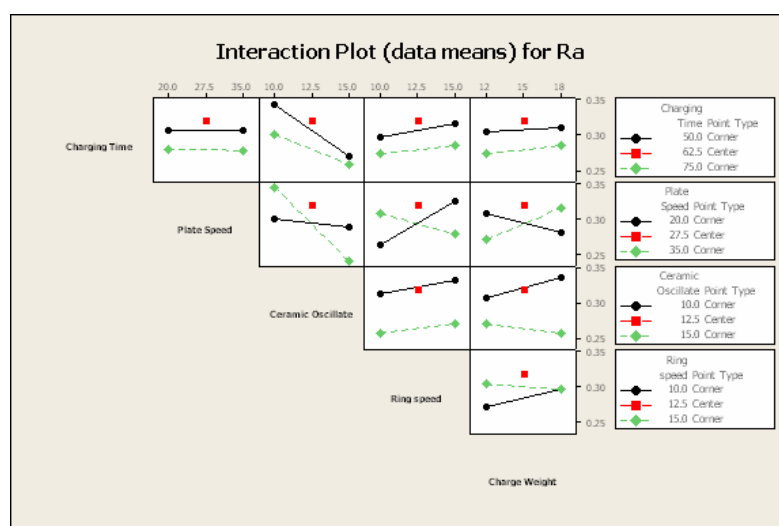
แสดง Normal Probability Plot of the Effects ของ Ra

พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่ามียุณหภูมิของข้อมูลบางชุดมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Ra นั่นคือ C, BD, BC, BE และ A ตามลำดับ ซึ่งสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้จากกราฟ Main Effect Plot ดังต่อไปนี้



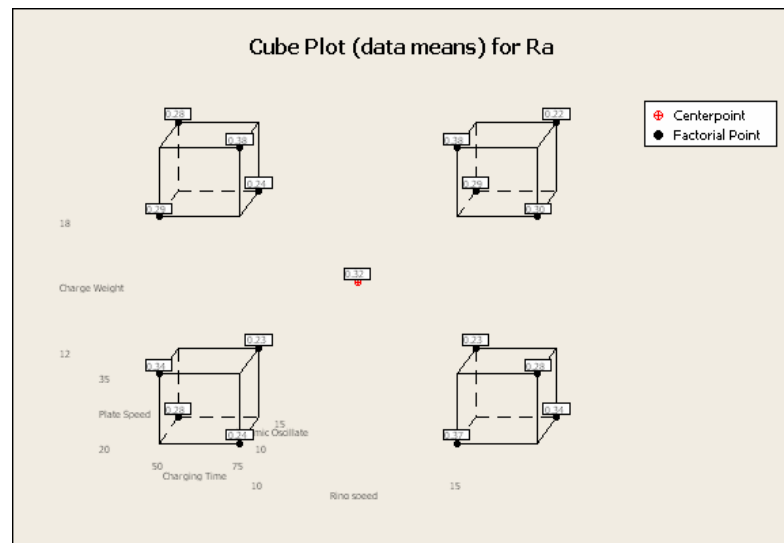
ภาพที่ 4.13

แสดง Main Effect Plot for Ra



ภาพที่ 4.14

แสดง Interaction Plot for Ra



ภาพที่ 4.15

แสดง Cube Plot for Ra

Factorial Fit: Ra versus All Factor

Estimated Effects and Coefficients for Ra (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		0.29313
Charging Time	-0.02875	-0.01437
Plate Speed	-0.00125	-0.00062
Ceramic Oscillate	-0.05875	-0.02938
Ring speed	0.01625	0.00813
Charge Weight	0.00875	0.00437
Charging Time*Plate Speed	-0.00125	-0.00063
Charging Time*Ceramic Oscillate	0.01625	0.00812
Charging Time*Ring speed	-0.00375	-0.00187
Charging Time*Charge Weight	0.00375	0.00188
Plate Speed*Ceramic Oscillate	-0.04625	-0.02313
Plate Speed*Ring speed	-0.04625	-0.02313
Plate Speed*Charge Weight	0.03625	0.01813
Ceramic Oscillate*Ring speed	-0.00375	-0.00187
Ceramic Oscillate*Charge Weight	-0.02125	-0.01062
Ring speed*Charge Weight	-0.01625	-0.00813
Ct Pt		0.02688

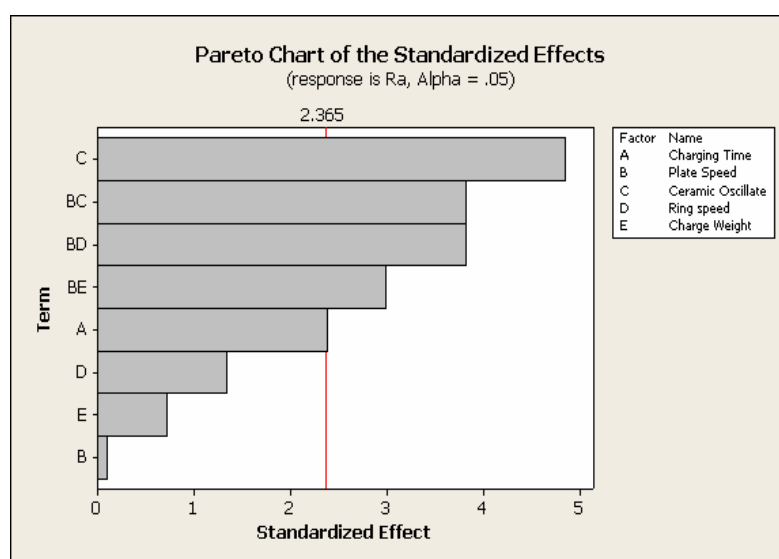
S = *

Analysis of Variance for Ra (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	0.0184812	0.0184812	0.0036962	*	*
2-Way Interactions	10	0.0264625	0.0264625	0.0026463	*	*
Curvature	1	0.0006798	0.0006798	0.0006798	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	16	0.0456235				

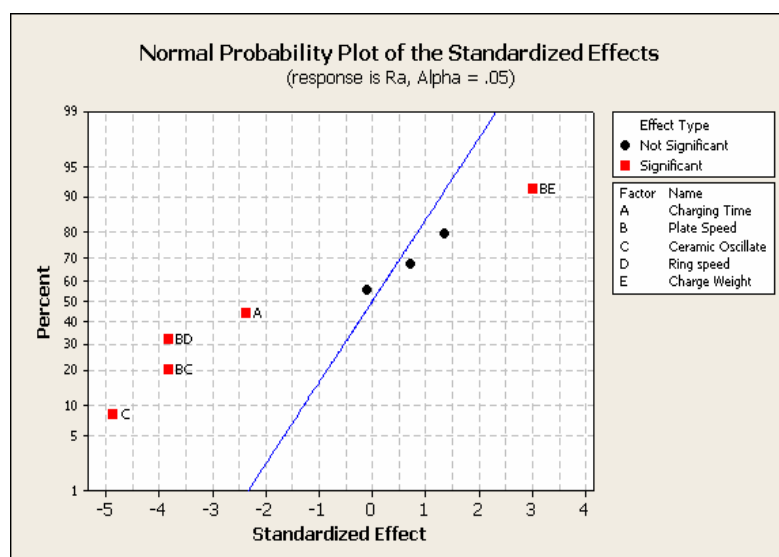
จากขั้นตอนที่ 1 นี้ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลต่อ Ra อย่างมีนัยสำคัญได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการเลือกปัจจัยที่มีความเป็นไปได้สูงสุดแปดลำดับแรกจากภาพที่ 4.11 มาเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนข้อที่ 4.3.2.2 ต่อไป

4.3.2.2 การวิเคราะห์ขั้นที่ 2



ภาพที่ 4.16

แสดง Pareto Chart of the Effects ของ Ra



ภาพที่ 4.17

แสดง Normal Probability Plot of the Effects ของ Ra

Factorial Fit: Ra versus All Factor

Estimated Effects and Coefficients for Ra (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.29313	0.006046	48.48	0.000
Charging Time	-0.02875	-0.01437	0.006046	-2.38	0.049
Plate Speed	-0.00125	-0.00062	0.006046	-0.10	0.921
Ceramic Oscillate	-0.05875	-0.02938	0.006046	-4.86	0.002
Ring speed	0.01625	0.00813	0.006046	1.34	0.221
Charge Weight	0.00875	0.00437	0.006046	0.72	0.493
Plate Speed*Ceramic Oscillate	-0.04625	-0.02313	0.006046	-3.82	0.006
Plate Speed*Ring speed	-0.04625	-0.02312	0.006046	-3.82	0.006
Plate Speed*Charge Weight	0.03625	0.01813	0.006046	3.00	0.020
Ct Pt		0.02688	0.024927	1.08	0.317

S = 0.0241831 R-Sq = 91.03% R-Sq(adj) = 79.49%

Analysis of Variance for Ra (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	0.0184812	0.0184812	0.0036962	6.32	0.016
2-Way Interactions	3	0.0223688	0.0223688	0.0074563	12.75	0.003
Curvature	1	0.0006798	0.0006798	0.0006798	1.16	0.317
Residual Error	7	0.0040938	0.0040938	0.0005848		
Total	16	0.0456235				

Estimated Coefficients for Ra using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.063958
Charging Time	-0.00115000.
Plate Speed	0.0186667
Ceramic Oscillate	0.0221667.
Ring speed	0.0371667
Charge Weight	-0.0206944
Plate Speed*Ceramic Oscillate	-0.00123333.
Plate Speed*Ring speed	-0.00123333.
Plate Speed*Charge Weight	0.000805556.
Ct Pt	0.0268750

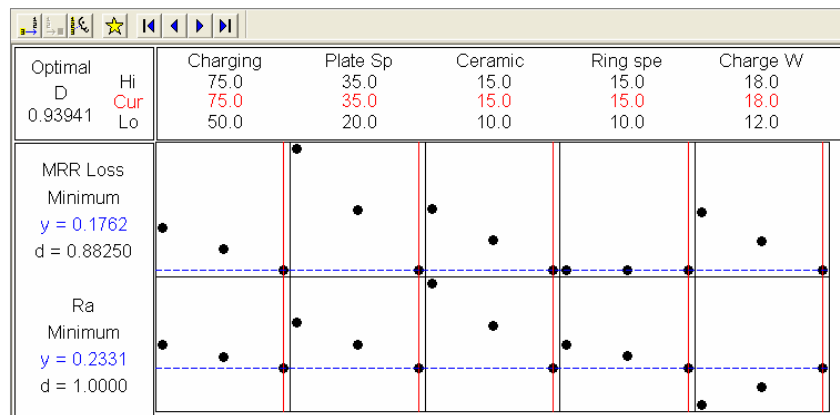
จากผลการวิเคราะห์ พบว่ามีทั้งหมด 3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่า %MRR loss แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือ ปัจจัย A (Charging Time), C (Ceramic Oscillate), BC (Plate Speed *Ceramic Oscillate), BD (Plate Speed*Ring Speed) และ BE (Plate Speed*Charging Weight) ตามลำดับ

โดยที่สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองนี้ก็คือ

$$Ra = -0.064 - 0.001A + 0.221C - 0.0012B^2C - 0.0012B^2D + 0.0008B^2E \dots (4.2)$$

4.3.2.3 การวิเคราะห์ขั้นที่ 3

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อค่า Ra นั้นสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์หาผล Response Optimizer ออกมาได้ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18

แสดงผลของ Response Optimizer ของ Ra และ %MRR Loss

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
MRR Loss	Minimum	0.00	0.00	1.5	1	1
Ra	Minimum	0.25	0.25	0.3	1	1

Global Solution

Charging Time =	75 min
Plate Speed =	35 rpm
Ceramic Oscillate =	15 rpm
Ring speed =	15 rpm
Charge Weight =	18 Kgs

Predicted Responses

MRR Loss	=	0.17625,	desirability =	0.8825
Ra	=	0.23312,	desirability =	1.0000

Composite Desirability = 0.93941

สรุปผลค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดจากการออกแบบทดลองได้ ดังต่อไปนี้

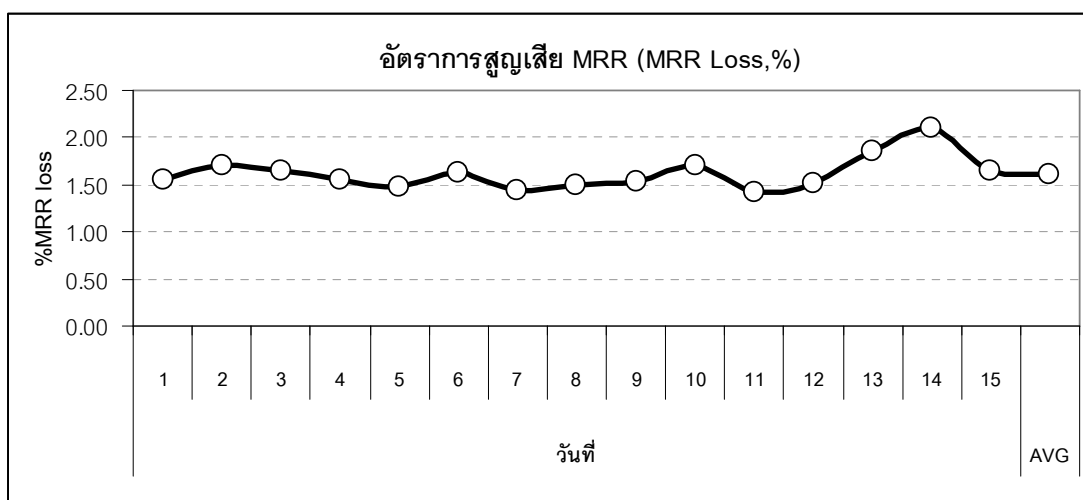
- A - ระยะเวลาในการฝังอัดไดมอนด์ คือ 75 นาที
- B - ความเร็วรอบของแผ่นเพลทขณะทำการบดอัด คือ 35 รอบต่อนาที
- C - ความเร็วรอบในการส่ายไปมาของวงแหวนเซรามิค คือ 15 รอบต่อนาที
- D - ความเร็วรอบของวงแหวนเซรามิคที่ช่วยในการบดอัด คือ 15 รอบต่อนาที
- E - น้ำหนักที่ใช้ในการบดอัด คือ 18 กิโลกรัม

4.3.3 ผลการทดลองซ้ำ

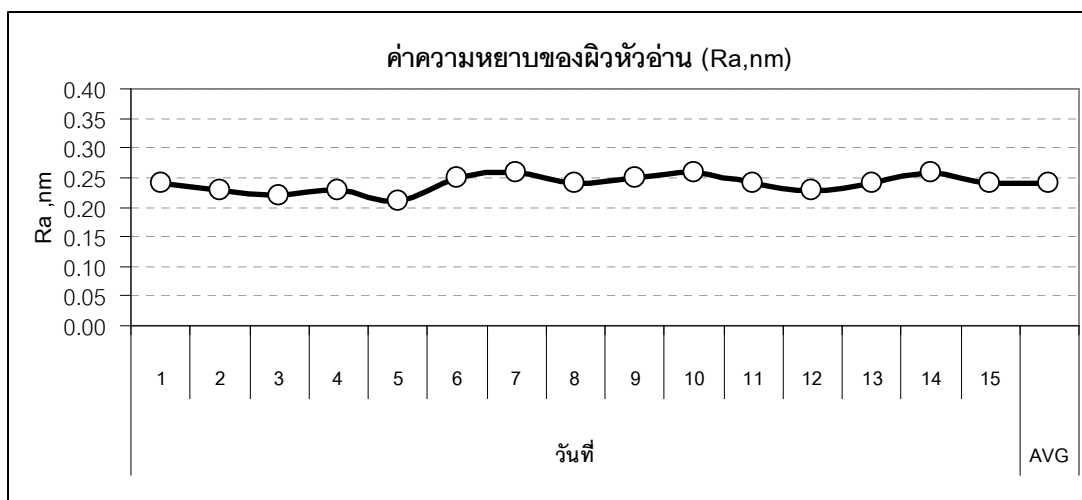
หลังจากที่ได้พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการฝังอัดเม็ดไดมอนด์ลงบนแผ่นเพลททำงานจากข้อที่ 4.2.3.2 แล้วนั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลองซ้ำจากพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดดังกล่าวเพื่อหาค่า %MRR loss, Ra, และอายุการใช้งานของแผ่นเพลทในแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยที่ในแต่ละวัน จะทำการทดลองเพียงวันละ 1 แผ่นเพลท ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6
สรุปผลการทดลองซ้ำ

ผลตอบรับของกิจกรรม	วันที่															ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
อัตราการสูญเสีย MRR (MRR Loss,%)	1.56	1.71	1.65	1.55	1.47	1.62	1.44	1.49	1.53	1.7	1.42	1.51	1.86	2.1	1.64	1.62
ค่าความหยาบของผิวหัวอ่าน (Ra,nm)	0.24	0.23	0.22	0.23	0.21	0.25	0.26	0.24	0.25	0.26	0.24	0.23	0.24	0.26	0.24	0.24
อายุการใช้งานของแผ่นเพลท (บาร์แผ่นเพลท)	662	721	890	981	876	643	724	542	765	511	902	986	1002	712	870	786

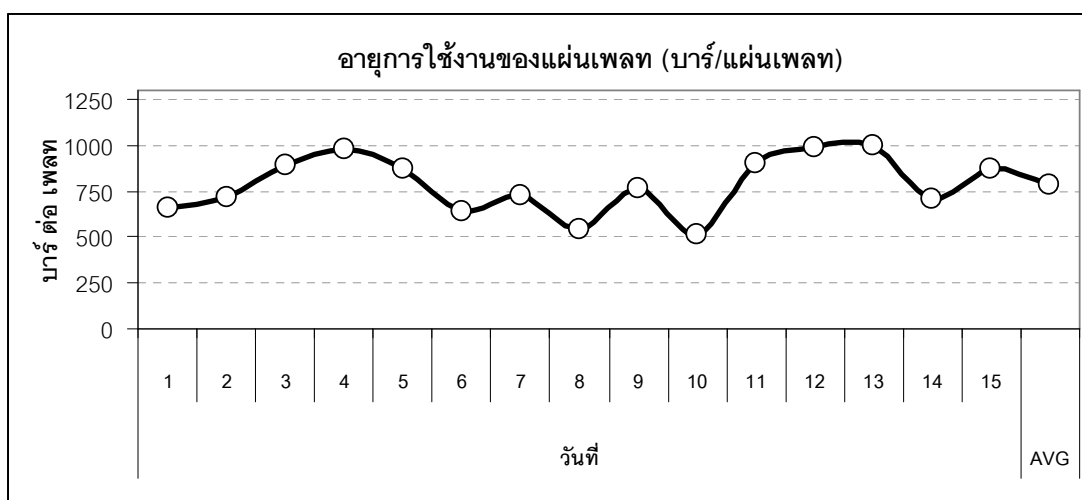


ภาพที่ 4.7
แสดงกราฟผลของอัตราการสูญเสีย MRR (%)



ภาพที่ 4.8

แสดงกราฟผลของค่าความหยาบของผิวหัวอ่าน (Ra ,nm)



ภาพที่ 4.9

แสดงกราฟผลของอายุการใช้งานของแผ่นเพลท (บาร์ ต่อ เพลท)

จากผลการทดลองซ้ำตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 15 พบว่าจากค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการฝังอัดไดมอนด์ลงบนแผ่นเพลทสามารถปรับปรุงผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

1. ลดอัตราการสูญเสีย MRR ได้จากเดิม 3.0% ไปเป็น 1.62%
2. ลดค่าความหยาบของผิวหัวอ่านจากเดิม 0.30 nm. ไปเป็น 0.24 nm.
3. เพิ่มอายุการใช้งานของแผ่นเพลทได้จากเดิม 600 บาร์ เป็น 786 บาร์ต่อเพลท