

## บทที่ 4

### ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 1

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น โดยใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab Release 14 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง Factorial Design แบบ  $2^3$  โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-ratio และค่าระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5 % ( $\alpha = 0.05$ ) กำหนดค่าความเร็วตัด (A) มี 2 ระดับ คือ 150 และ 300 m/min อัตราการป้อน (B) มี 2 ระดับคือ 0.1 และ 0.4 mm/rev ความลึกในการตัด (C) มี 2 ระดับคือ 0.5 และ 1 mm ผลตอบสนองเป็นค่าความขรุขระพื้นผิวไม่ ยางพารา และความคลาดเคลื่อนขนาด ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง วัดค่า $R_a$

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองตอนที่ 1 วัดค่า  $R_a$

A	B	C	Treatment	Replicate			Total $y_i$	Average $\bar{y}_i$
				1	2	3		
-	-	-	(1)	3.84	3.37	3.70	10.91	3.64
+	-	-	a	3.50	3.46	3.98	10.94	3.65
-	+	-	b	4.63	4.73	5.12	14.48	4.83
+	+	-	ab	3.72	4.20	4.17	12.09	4.03
-	-	+	c	3.82	4.25	3.88	11.95	3.98
+	-	+	ac	3.25	2.98	3.10	9.33	3.11
-	+	+	bc	3.90	4.01	4.51	12.42	4.14
+	+	+	abc	4.14	4.21	3.95	12.30	4.10
$y_{..} = 94.42$ $\bar{y}_{..} = 31.48$								

แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับการออกแบบ Three – factor factorial คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

โดยที่

$\tau_i$  : Treatment Effect ของค่า Speed

$\beta_j$  : Treatment Effect ของค่า Feed

$\gamma_k$  : Treatment Effect ของค่า Depth

$(\tau\beta)_{ij}$  : Treatment Effect ของค่า Interaction ระหว่าง Speed และค่า Feed

$(\tau\gamma)_{ik}$  : Treatment Effect ของค่า Interaction ระหว่าง Speed และ Depth

$(\beta\gamma)_{jk}$  : Treatment Effect ของค่า Interaction ระหว่าง Feed และค่า Depth

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$  : Treatment Effect ของค่า Interaction ระหว่าง Speed, Feed, และค่า Depth

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ

1.  $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$

$H_1 : \text{At least one } \tau_i \neq 0$

2.  $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$

$H_1 : \text{At least one } \beta_j \neq 0$

3.  $H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = 0$

$H_1 : \text{At least one } \gamma_k \neq 0$

4.  $H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$  ทุกค่าของ  $i, j$

$H_1 : \text{At least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$

5.  $H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$  ทุกค่าของ  $i, k$

$H_1 : \text{At least one } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

6.  $H_0 : (\beta\eta)_{jk} = 0$  ทุกค่าของ  $j, k$   
 $H_1 : \text{At least one } (\beta\eta)_{jk} \neq 0$
7.  $H_0 : (\tau\beta\eta)_{ijk} = 0$  ทุกค่าของ  $i, j, k$   
 $H_1 : \text{At least one } (\tau\beta\eta)_{ijk} \neq 0$

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $R_a$

**Analysis of Variance for  $R_a$ , using Adjusted SS for Tests**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	1	1.12234	1.12234	1.12234	17.72	0.001
feed	1	2.83594	2.83594	2.83594	44.77	0.000
depth	1	0.26250	0.26250	0.26250	4.14	0.059
speed*feed	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.994
speed*depth	1	0.00350	0.00350	0.00350	0.06	0.817
feed*depth	1	0.07820	0.07820	0.07820	1.23	0.283
speed*feed*depth	1	1.04584	1.04584	1.04584	16.51	0.001
Error	16	1.01347	1.01347	0.06334		
Total	23	6.36180				

**S = 0.251678    R-Sq = 84.07%    R-Sq(adj) = 77.10%**

ผลจากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.2 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ซึ่งค่า  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  จากตาราง F - ratio (ภาคผนวก ตารางที่ ๓ 4) ที่  $\alpha = 0.05$  จะได้ค่า  $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$  มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F - ratio มีค่ามากกว่า  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  จะปฏิเสธ  $H_0$  ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้

การวิเคราะห์ค่า Speed

จากตารางที่ 4.2 ค่า F - ratio = 17.72 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๓ 4) และค่า P-value = 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Speed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้อย่างพารา

#### การวิเคราะห์ค่า Feed

จากตารางที่ 4.2 ค่า F – ratio = 44.77 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $F_{0.05,1,16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๔) และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Feed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้ยางพารา

#### การวิเคราะห์ค่า Depth

จากตารางที่ 4.2 ค่า F – ratio = 4.14 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $F_{0.05,1,16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๔) และค่า P-value = 0.059 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Depth ไม่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้ยางพารา

#### การวิเคราะห์ค่า Interaction ระหว่าง Speed กับค่า Feed

จากตารางที่ 4.2 ค่า F – ratio = 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $F_{0.05,1,16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๔) และค่า P-value = 0.994 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Speed กับค่า Feed ไม่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้ยางพารา

#### การวิเคราะห์ค่า Interaction ระหว่าง Speed กับค่า Depth

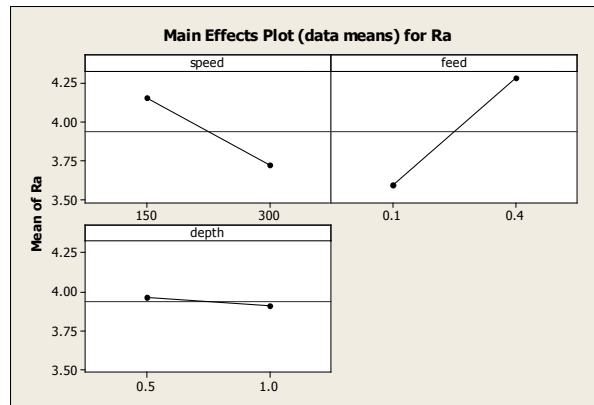
จากตารางที่ 4.2 ค่า F – ratio = 0.06 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $F_{0.05,1,16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๔) และค่า P-value = 0.817 มีค่ามากกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Speed กับค่า Depth ไม่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้ยางพารา

#### การวิเคราะห์ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

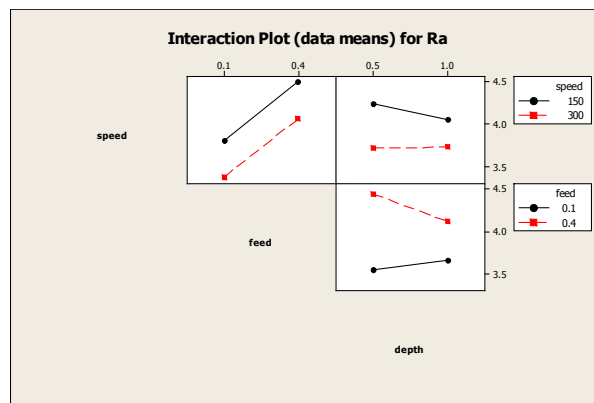
จากตารางที่ 4.2 ค่า F – ratio = 1.23 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $F_{0.05,1,16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๔) และค่า P-value = 0.283 มีค่ามากกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Feed กับค่า Depth ไม่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้ยางพารา

#### การวิเคราะห์ค่า Interaction ระหว่าง Speed, Feed, และ Depth

จากตารางที่ 4.2 ค่า F – ratio = 16.51 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $F_{0.05,1,16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ๔) และค่า P-value = 0.001 มีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Speed, Feed, และ Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม้ยางพารา



ภาพประกอบที่ 4.1 แสดง Main Effects Plot for  $R_a$



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดง Interaction Plot for  $R_a$

จากภาพประกอบที่ 4.1 พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม่ยงพารา คือ อัตราป้อน โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 0.1 เป็น 0.4 mm/rev ความขรุขระจะเพิ่มขึ้น และจากภาพประกอบที่ 4.2 พบว่าปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อความขรุขระคือ ความเร็วตัดและอัตราป้อน โดยเมื่อปรับค่าทั้ง 2 เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความขรุขระเพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่า ความคลาดเคลื่อนขนาด

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Dimensional error

##### Analysis of Variance for dim error, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	1	0.087604	0.087604	0.087604	47.89	0.000
feed	1	0.026004	0.026004	0.026004	14.22	0.002
depth	1	0.000204	0.000204	0.000204	0.11	0.743
speed*feed	1	0.013538	0.013538	0.013538	7.40	0.015
speed*depth	1	0.001504	0.001504	0.001504	0.82	0.378
feed*depth	1	0.000704	0.000704	0.000704	0.38	0.544
speed*feed*depth	1	0.001838	0.001838	0.001838	1.00	0.331
Error	16	0.029267	0.029267	0.001829		
Total	23	0.160663				

S = 0.0427688 R-Sq = 81.78% R-Sq(adj) = 73.81%

วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาด

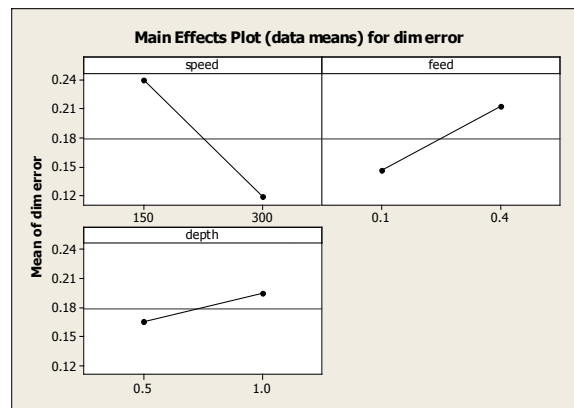
จากตารางที่ 4.3 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ซึ่งค่า  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  จากตาราง F - ratio ที่  $\alpha = 0.05$  จะได้ค่า  $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ฉ 4) มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F - ratio มีค่ามากกว่า  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  จะปฏิเสธ  $H_0$  ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาด

ค่า Speed จากตารางที่ 4.3 ค่า F - ratio = 47.89 ซึ่งมีความมากกว่าค่า  $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ฉ 4) และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Speed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาด

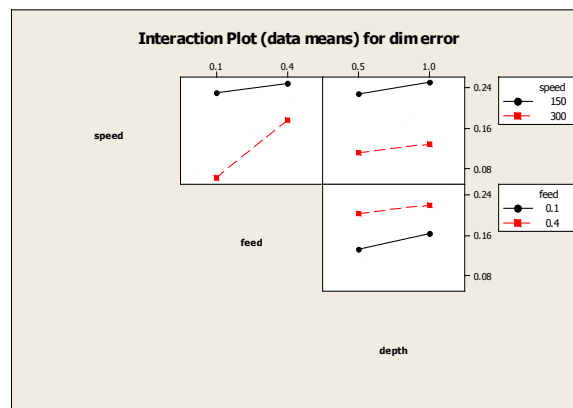
ค่า Feed จากตารางที่ 4.3 ค่า F - ratio = 14.22 ซึ่งมีความมากกว่าค่า  $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ฉ 4) และค่า P-value = 0.002 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Feed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาด

ค่า Interaction ระหว่าง Speed กับค่า Feed

จากตารางที่ 4.3 ค่า F - ratio = 7.40 ซึ่งมีความมากกว่าค่า  $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$  (ภาคผนวก ตารางที่ ฉ 4) และค่า P-value = 0.015 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Speed กับค่า Feed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาด



ภาพประกอบที่ 4.3 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error



ภาพประกอบที่ 4.4 แสดง Interaction Plot for Dimensional error

จากภาพประกอบที่ 4.3 พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาดคือ ความเร็วตัด และ อัตราป้อน โดยมีแนวโน้มเมื่อเพิ่มความเร็วตัดจาก 150 เป็น 300 m/min ทำให้ความคลาดเคลื่อนขนาดลดลงอย่างเห็นได้ชัด และจากภาพประกอบที่ 4.4 พบว่าปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อความขรุขระคือ ความเร็วตัดและอัตราป้อน

## 4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1

จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความขรุขระพื้นผิวคือ อัตราป้อน และ ปัจจัยร่วมที่ส่งผลคือ ความเร็วตัดกับอัตราป้อน ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดค่าคงที่ของความลึกในการตัดเนื่องจากไม่ส่งผลต่อการทดลอง โดยในการทดลองขั้นที่ 2 ครั้งที่ 1 นี้ได้ใช้การออกแบบ Generals factorial design วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Release 14 และในการทดลองครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ MANOVA (Multivariate Analysis of Variance) เนื่องจากมีตัวแปรตาม 2 ตัวแปรคือ ความขรุขระพื้นผิว และ ความคลาดเคลื่อนขนาด นอกจากนี้ในการทดลองครั้งนี้ยังได้ศึกษาดูว่าใบมีดเซรามิกมีการสึกหรอหรือไม่ภายใต้เวลาและสภาวะการตัดที่กำหนด

### 4.2.1 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค MANOVA

ในการวิเคราะห์ได้กำหนดตัวแปรอิสระคือ Speed กับ Feed และกำหนดตัวแปรตามคือ  $R_a$  และ Dimensional error ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for Speed

MANOVA for speed					
s = 2      m = -0.5      n = 86.0					
Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.94525	2.484	4	348	0.043
Lawley-Hotelling	0.05790	2.504	4	346	0.042
Pillai's	0.05477	2.464	4	350	0.045
Roy's	0.05749				

จากตารางที่ 4.4 พบว่าผลของ Speed มีนัยสำคัญ (ค่า  $\Lambda = 0.945$  และ  $F = 2.484$  ซึ่ง  $p = 0.043$ ) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลที่มีนัยสำคัญเช่นกัน



ตารางที่ 4.5 แสดงตาราง MANOVA for feed

**MANOVA for feed**

**s = 2      m = -0.5      n = 86.0**

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.93638	2.907	4	348	0.022
Lawley-Hotelling	0.06793	2.938	4	346	0.021
Pillai's	0.06363	2.875	4	350	0.023
Roy's	0.06774				

จากตารางที่ 4.5 พบว่าผลของ Feed มีนัยสำคัญ (ค่า  $\Lambda = 0.936$  และ  $F = 2.907$  ซึ่ง  $p = 0.022$ ) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลที่มีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสมมติฐานหลัก  $H_{0(\text{Speed})}$  ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ  $H_{0(\text{Speed})}$  นั้น ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งคู่ (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ Dimensional error เนื่องจาก Speed มี 3 ระดับดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ  $\alpha = 0.05$  พบว่าที่ Speed = 300 กับ 500 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจาก P-value = 0.0052 (ดูภาคผนวกตารางที่ ข 2.9 และ ข 2.10)

จากการวิเคราะห์ MANOVA ผลของปฏิสัมพันธ์ (Interaction)  $H_{0(\text{Speed Feed})}$  ไม่มีนัยสำคัญ จากตารางที่ 4.5 พบว่าสมมติฐานหลัก  $H_{0(\text{Feed})}$  ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ  $H_{0(\text{Feed})}$  นั้น ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งคู่ (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ Feed เนื่องจาก Feed มี 3 ระดับดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ  $\alpha = 0.05$  พบว่าที่ Feed = 0.08 กับ 0.12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.004 (ดูภาคผนวกตารางที่ ข 2.7 และ ข 2.8)

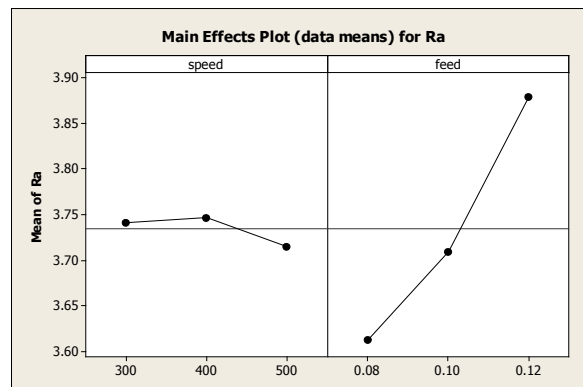
#### 4.2.2 การวิเคราะห์ผลค่า $R_a$ ด้วยเทคนิค ANOVA

ตารางที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่า  $R_a$

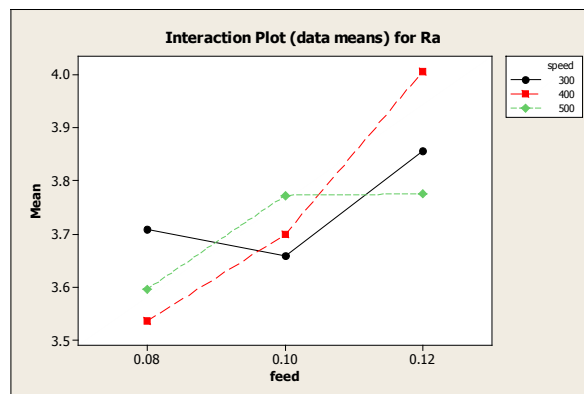
##### Analysis of Variance for $R_a$ , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	2	0.0351	0.0351	0.0176	0.09	0.916
feed	2	2.1707	2.1707	1.0853	5.42	0.005
speed*feed	4	0.9498	0.9498	0.2375	1.19	0.318
Error	171	34.2207	34.2207	0.2001		
Total	179	37.3764				

จากตารางที่ 4.6 วิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า  $R_a$  มากที่สุดคือ อัตราป้อนมีด (Feed) ส่วนความเร็วตัดและ Interaction ระหว่างตัวแปรไม่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวไม่อย่างพวลา



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดง Main effect plot for  $R_a$



ภาพประกอบที่ 4.6 แสดง Interaction plot for  $R_a$

จากภาพประกอบที่ 4.5 พบว่ามีแนวโน้มเมื่อใช้ค่าอัตราป้อนน้อย จะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวมีค่าต่ำและที่อัตราป้อน 0.8 mm/rev ให้ค่าความขรุขระพื้นผิวต่ำสุด สำหรับภาพประกอบที่ 4.6 พบว่า ค่า Interaction ระหว่างตัวแปรไม่มีผลต่อค่า  $R_a$

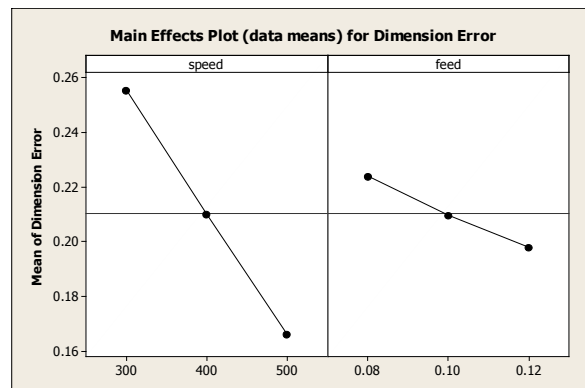
#### 4.2.3 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนขนาดด้วยเทคนิค ANOVA

ตารางที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนขนาด

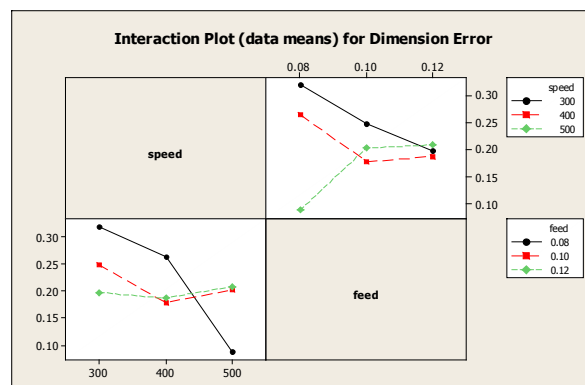
##### Analysis of Variance for Dimension Error, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	2	0.23677	0.23677	0.11839	5.43	0.005
feed	2	0.02033	0.02033	0.01017	0.47	0.628
speed*feed	4	0.41091	0.41091	0.10273	4.71	0.001
Error	171	3.72575	3.72575	0.02179		
Total	179	4.39376				

จากตารางที่ 4.7 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบที่สุดต่อความคลาดเคลื่อนขนาดคือ ความเร็วตัด (Speed) นอกจากนี้ยังพบว่า Interaction ระหว่างปัจจัยก็ส่งผลกระทบต่อค่าความคลาดเคลื่อนขนาดด้วย



ภาพประกอบที่ 4.7 แสดง Main effect plot for Dimensional error



ภาพประกอบที่ 4.8 แสดง Interaction plot for dimensional error

จากภาพประกอบที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วตัดสูงขึ้นจะมีผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนขนาดลดลงและที่ค่า Speed = 500 m/min จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนขนาดน้อยสุด และจากภาพประกอบที่ 4.8 พบว่า Interaction ระหว่าง Feed กับ Speed ก็มีผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาดด้วย

ตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ  $R_a$  และ Dimensional error

### Least Squares Means

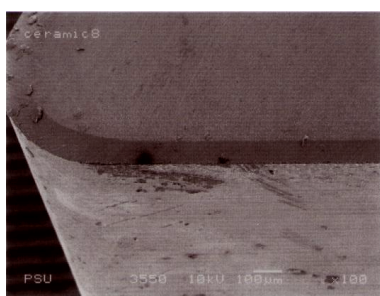
	-----Ra-----		-Dimension Error	
	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean
<b>speed</b>				
<b>300</b>	3.74117	0.05775	0.25517	0.01906
<b>400</b>	3.74667	0.05775	0.20983	0.01906
<b>500</b>	3.71467	0.05775	0.16633	0.01906
<b>feed</b>				
<b>0.08</b>	3.61350	0.05775	0.22383	0.01906
<b>0.10</b>	3.70983	0.05775	0.20967	0.01906
<b>0.12</b>	3.87917	0.05775	0.19783	0.01906
<b>speed*feed</b>				
<b>300 0.08</b>	3.70850	0.10003	0.32000	0.03301
<b>300 0.10</b>	3.65850	0.10003	0.24800	0.03301
<b>300 0.12</b>	3.85650	0.10003	0.19750	0.03301
<b>400 0.08</b>	3.53600	0.10003	0.26450	0.03301
<b>400 0.10</b>	3.69850	0.10003	0.17800	0.03301
<b>400 0.12</b>	4.00550	0.10003	0.18700	0.03301
<b>500 0.08</b>	3.59600	0.10003	0.08700	0.03301
<b>500 0.10</b>	3.77250	0.10003	0.20300	0.03301
<b>500 0.12</b>	3.77550	0.10003	0.20900	0.03301

จากตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ  $R_a$  พบว่า ที่ Speed = 300 ค่า  $R_a$  = 3.741 ที่ 400 ค่า  $R_a$  = 3.746 ที่ 500 ค่า  $R_a$  = 3.714 ซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกัน และผลของ Feed พบว่า ที่ Feed = 0.08 ค่า  $R_a$  = 3.613 ที่ 0.10 ค่า  $R_a$  = 3.709 ที่ 0.12 ค่า  $R_a$  = 3.879 ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Speed\*Feed พบว่าที่ Speed = 400 และ Feed = 0.08 ค่า  $R_a$  = 3.536 ซึ่งต่ำสุด

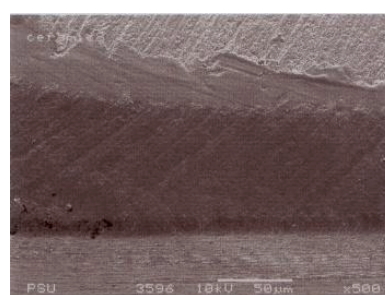
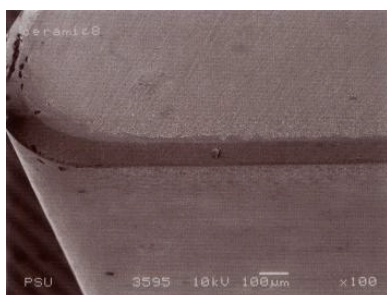
จากตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ Dimensional error พบว่า ที่ Speed = 300 ค่า Dimensional error = 0.25 ที่ 400 ค่า Dimensional error = 0.20 ที่ 500 ค่า Dimensional error = 0.16 ซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกัน และผลของ Feed พบว่า ที่ Feed = 0.08 ค่า Dimensional error = 0.22 ที่ 0.10 ค่า Dimensional error = 0.20 ที่ 0.12 ค่า Dimensional error = 0.19 ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Speed\*Feed พบว่าที่ Speed = 500 และ Feed = 0.08 ค่า Dimensional error = 0.08 ซึ่งต่ำสุด

#### 4.2.4 การวิเคราะห์การสึกหรอของใบมีดเซรามิก

ในขั้นตอนนี้ได้มีการกำหนดการทดลอง 9 สภาวะการตัดโดยในแต่ละสภาวะใช้ใบมีดตัด 1 คมตัดโดยในแต่ละสภาวะทำการกลึง คิดเป็นระยะทาง 4000 มม. และนำใบมีดไปส่องกล้อง SEM ก่อนและหลังการกลึงเพื่อเปรียบเทียบสภาพของคมตัด ดังภาพประกอบที่ 4.9 และ 4.10

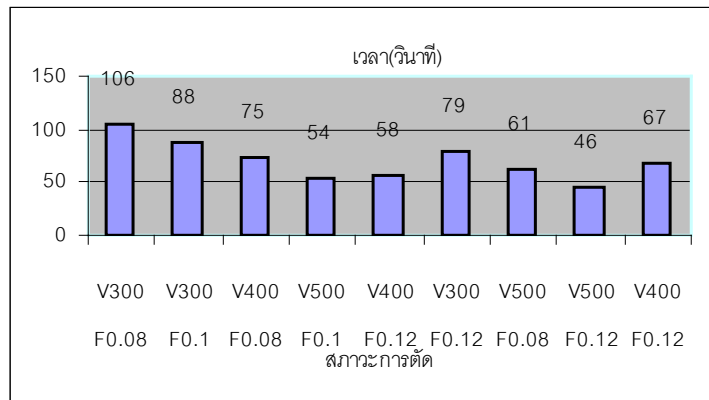


ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงใบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่าของสภาวะการตัดที่ 7 ที่  $V = 500$  m/min ,  $Feed = 0.08$  mm/rev และ  $Depth\ of\ cut = 1$  mm

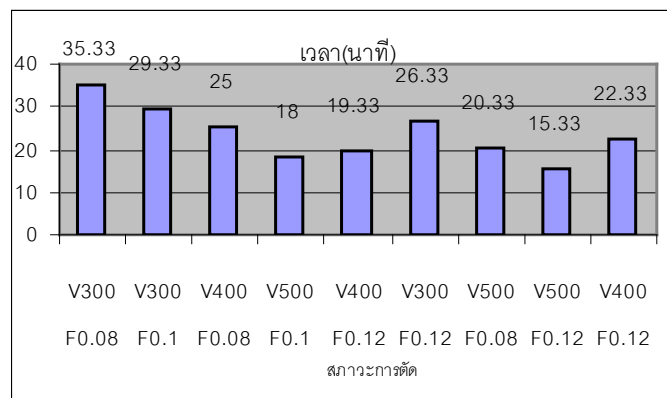


ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงใบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 7 ที่  $V = 500$  m/min ,  $Feed = 0.08$  mm/rev และ  $Depth\ of\ cut = 1$  mm โดยทำการกลึงไม่ยาวพาราที่ระยะทาง 4000 mm

จากภาพประกอบที่ 4.9 และ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบใบมีดก่อนตัดและหลังตัดที่  $V = 500$  m/min ,  $Feed = 0.08$  mm/rev และ  $Depth\ of\ cut = 1$  mm ซึ่งพบว่าใบมีดไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตที่ชัดเจน แต่จะปรากฏคราบขี้ผึ้งและขี้ผึ้งไม่ทำปฏิกิริยากับใบมีด และจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การสึกหรอของใบมีดเซรามิกจะเป็นการสึกหรอแบบแตกหัก และโดยมากจะเกิดจากการกระทบกับชิ้นงานหรือ เกิดจาก Thermal shock เนื่องจากใบมีดเซรามิกมีความแข็งมากเมื่อเทียบกับไม่ยาวพาราดังนั้นภายในสภาวะที่กำหนดจึงไม่อาจตรวจพบการสึกหรอ



ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงเวลางานกลึงต่อ 1 ชิ้น ใน 9 สภาวะการตัด



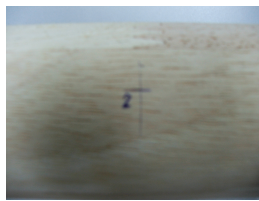
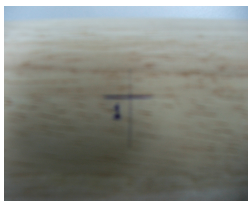
ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงเวลางานกลึงต่อ 20 ชิ้น ใน 9 สภาวะการตัด

จากการศึกษาเวลาในการทำงาน ซึ่งในการกลึงแต่ละครั้งเป็นระยะทาง 200 mm พบว่าที่ความเร็วตัด 500 m/min และอัตราป้อน 0.12 mm/rev ใช้เวลาน้อยสุดที่ 46 วินาที และจากการศึกษาเวลารวมงานกลึง 20 ชิ้นในแต่ละสภาวะพบว่า ที่ความเร็วตัด 300 m/min และอัตราป้อน 0.08 mm/rev ใช้เวลามากที่สุด 35 นาที 33 วินาที

แสดงภาพถ่ายของเนื้อไม้ยางพาราหลังการกลึง



ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงการกำหนดจุดวัด 3 จุด



ภาพประกอบที่ 4.14 แสดงจุดที่ทำการวัดทั้ง 3 จุด

จากการกำหนดจุดวัด 3 จุด (ดูภาพประกอบที่ 4.13 และ 4.14) พบว่าเนื้อไม้มีความผันแปร  
มากเนื่องจากเป็นไม้แบบต่อประสานทำให้เนื้อไม้ไม่มีความสม่ำเสมอ



ภาพประกอบที่ 4.15 แสดงการเกิดตำหนิของเนื้อไม้

จากการกลึงชิ้นงานพบว่าเนื้อไม้บางชิ้นจะมีตำหนิเกิดขึ้น เช่น เกิดขุยหรือเสี้ยนไม้ มีตาไม้  
และนอกจากนั้น อาจมีตำหนิตรงรอยต่อ ซึ่ง ณ จุดดังกล่าวจะไม่สามารถทำการวัดได้ ดังนั้นจึง  
หลีกเลี่ยงการวัดจุดดังกล่าว (ดูภาพประกอบที่ 4.15)



### 74.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2

หลังจากการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1 แล้วเสร็จก็ได้เตรียมการเพื่อทดลองครั้งที่ 2 โดยได้ปรับค่าอัตราป้อนเป็น 0.6 , 0.8 และ 1.0 mm. และความเร็วตัด 256 , 363 และ 534 m/min โดยเปลี่ยนมาใช้เครื่องกลึง Harrison M350 และได้เลือกค่าปรับตั้งสูงสุดที่เครื่องจักรสามารถทำได้ การทดลองครั้งนี้ได้ใช้การออกแบบ Generals factorial randomized block design วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Release 14 และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผล MANOVA เนื่องจากมีตัวแปรตาม 2 ตัวอย่างไรก็ตามก็ได้มีการใช้เทคนิควิเคราะห์ผลแบบ ANOVA เพื่อเปรียบเทียบด้วย

#### 4.3.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MANOVA

ตารางที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for feed

##### MANOVA for feed

s = 2      m = -0.5      n = 23.0

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.29648	20.077	4	96	0.000
Lawley-Hotelling	2.25129	26.453	4	94	0.000
Pillai's	0.73957	14.376	4	98	0.000
Roy's	2.19591				

จากตารางที่ 4.9 พบว่าผลของ Feed มีนัยสำคัญ (ค่า  $\Lambda = 0.29648$  และ  $F = 20.077$  ซึ่ง  $P = 0.000$ ) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลที่มีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.9 พบว่าสมมติฐานหลัก  $H_{0(Feed)}$  ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ  $H_{0(Feed)}$  นั้น ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ  $R_a$  เนื่องจาก Feed มี 3 ระดับดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ  $\alpha = 0.05$  (ดูภาคผนวกตารางที่ ข 3.4 และ ข 3.5)

ที่ Feed = 0.6 กับ 0.8 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.0000

ที่ Feed = 0.6 กับ 1.0 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.0000

ที่ Feed = 0.8 กับ 1.0 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.0003

นอกจากนี้ยัง พบว่า Dimensional error ไม่มีผลต่อการปฏิเสษสมมติฐาน  $H_{0(\text{Feed})}$  และผลการวิเคราะห์ MANOVA ผลของปฏิสัมพันธ์ (Interaction)  $H_{0(\text{Speed Feed})}$  ไม่มีนัยสำคัญ (ดูภาคผนวกตารางที่ ข 3.6 และ ข 3.7)

ตารางที่ 4.10 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for Speed

**MANOVA for speed**  
 $s = 2$      $m = -0.5$      $n = 23.0$

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.33260	17.615	4	96	0.000
Lawley-Hotelling	2.00491	23.558	4	94	0.000
Pillai's	0.66798	12.286	4	98	0.000
Roy's	2.00404				

จากตารางที่ 4.10 พบว่าผลของ Speed มีนัยสำคัญ (ค่า  $\Lambda = 0.33260$  และ  $F = 17.615$  ซึ่ง  $P = 0.000$ ) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลที่มีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.10 พบว่าสมมติฐานหลัก  $H_{0(\text{Speed})}$  ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ  $H_{0(\text{Speed})}$  นั้น ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ Dimensional error และ  $R_{\alpha}$  ซึ่งลำดับแรกทดสอบค่า  $R_{\alpha}$  ก่อนเนื่องจาก Speed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ  $\alpha = 0.05$  (ดูภาคผนวกตารางที่ ข 3.11 และ ข 3.12) พบว่า ที่ Speed = 256 กับ 534 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  $P\text{-value} = 0.0186$

ลำดับต่อมาทดสอบค่า Dimensional error ที่ ระดับ  $\alpha = 0.05$  (ดูภาคผนวกตารางที่ ข 3.13 และ ข 3.14)

ที่ Speed = 256 กับ 363 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก  $P\text{-value} = 0.0080$

ที่ Speed = 256 กับ 534 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก  $P\text{-value} = 0.0000$

ที่ Speed = 363 กับ 534 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก  $P\text{-value} = 0.0000$

ซึ่งสรุปได้ว่า ค่า Dimensional error มีผลต่อการปฏิเสธ  $H_{0(\text{Speed})}$  มากที่สุด

### 4.3.2 การวิเคราะห์ผล $R_a$ ด้วยเทคนิค ANOVA

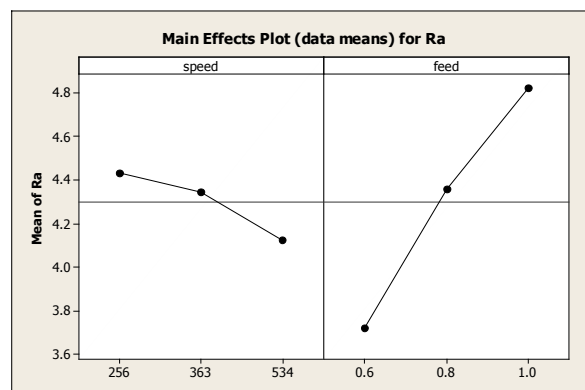
ตารางที่ 4.11 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA for  $R_a$

#### Analysis of Variance for $R_a$ , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	5	0.3490	0.3490	0.0698	0.61	0.690
speed	2	0.8997	0.8997	0.4499	3.96	0.027
feed	2	10.9836	10.9836	5.4918	48.32	0.000
speed*feed	4	0.3207	0.3207	0.0802	0.71	0.593
Error	40	4.5459	4.5459	0.1136		
Total	53	17.0989				

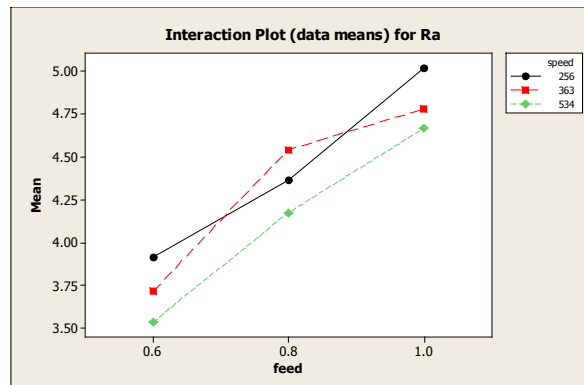
S = 0.337116    R-Sq = 73.41%    R-Sq(adj) = 64.77%

จากตารางที่ 4.11 วิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิว ( $R_a$ ) มากที่สุดคือ feed สังเกตได้จากค่า  $F = 48.32$  และ  $P = 0.000$  และปัจจัยหลักที่ส่งผลอีกค่าคือ speed แต่ส่งผลน้อยกว่าดูจากค่า  $F = 3.96$  และ  $P = 0.027$  และนอกจากนี้พบว่าปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ไม่ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิว ใม่อย่างพวรา



ภาพประกอบที่ 4.16 แสดง Main Effect plot for  $R_a$

จากภาพประกอบที่ 4.16 อธิบายได้ว่าปัจจัยหลักทั้งสองตัว (Speed, Feed) ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิว ( $R_a$ ) โดยที่ Feed ส่งผลมากที่สุด



ภาพประกอบที่ 4.17 แสดง Interaction plot for  $R_a$

จากภาพประกอบที่ 4.17 อธิบายได้ว่า Interaction ไม่มีผลต่อค่า  $R_a$  ซึ่งสอดคล้องกับตาราง ANOVA ที่ 4.10

#### 4.3.3 การวิเคราะห์ผลความคลาดเคลื่อนขนาดด้วยเทคนิค ANOVA

ตารางที่ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA for Dimensional error

##### Analysis of Variance for Dim.error, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	5	0.012528	0.012528	0.002506	0.28	0.921
Speed	2	0.711678	0.711678	0.355839	39.89	0.000
Feed	2	0.028978	0.028978	0.014489	1.62	0.210
Speed*Feed	4	0.059644	0.059644	0.014911	1.67	0.176
Error	40	0.356856	0.356856	0.008921		
Total	53	1.169683				

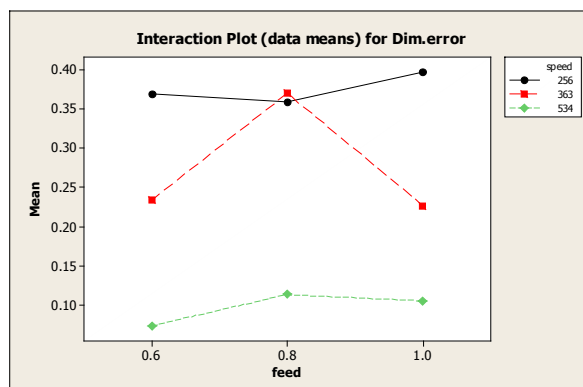
S = 0.0944531    R-Sq = 69.49%    R-Sq(adj) = 59.58%

จากตารางที่ 4.12 วิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนขนาด มากที่สุด คือ Speed สังเกตได้จากค่า F = 39.89 และ P = 0.000 นอกจากนี้พบว่าปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนขนาด



ภาพประกอบที่ 4.18 แสดง Main effect plot for dimensional error

จากภาพประกอบที่ 4.18 อธิบายได้ว่า speed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนขนาดมากที่สุด โดยมีแนวโน้มว่าค่า speed ยิ่งสูงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดจะต่ำ



ภาพประกอบที่ 4.19 แสดง Interaction plot for dimensional error

จากภาพประกอบที่ 4.19 อธิบายได้ว่า ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนขนาด ซึ่งสอดคล้องกับตาราง ANOVA ที่ 4.11

ตารางที่ 4.13 แสดง Least squares Means for  $R_a$

#### Least Squares Means for $R_a$

speed		Mean	SE Mean
256		4.432	0.07946
363		4.346	0.07946
534		4.126	0.07946
<b>feed</b>			
0.6		3.722	0.07946
0.8		4.360	0.07946
1.0		4.822	0.07946
<b>speed*feed</b>			
256	0.6	3.915	0.13763
256	0.8	4.365	0.13763
256	1.0	5.017	0.13763
363	0.6	3.715	0.13763
363	0.8	4.542	0.13763
363	1.0	4.780	0.13763
534	0.6	3.535	0.13763
534	0.8	4.173	0.13763
534	1.0	4.668	0.13763

จากตารางที่ 4.13 พบว่าที่ผลหลัก Feed = 0.6 ให้ค่า  $R_a = 3.72$  ซึ่งน้อยสุด และผลระหว่าง Speed\*Feed พบว่าที่ Speed = 534 และ Feed = 0.6 ให้ค่า  $R_a = 3.53$  ซึ่งต่ำสุด

ตารางที่ 4.14 แสดง Least squares Means for Dimensional error

#### Least Squares Means for Dim.error

Speed		Mean	SE Mean
256		0.37444	0.02226
363		0.27667	0.02226
534		0.09722	0.02226
<b>Feed</b>			
0.6		0.22500	0.02226
0.8		0.28056	0.02226
1.0		0.24278	0.02226
<b>Speed*Feed</b>			
256	0.6	0.36833	0.03856
256	0.8	0.35833	0.03856
256	1.0	0.39667	0.03856
363	0.6	0.23333	0.03856
363	0.8	0.37000	0.03856
363	1.0	0.22667	0.03856
534	0.6	0.07333	0.03856
534	0.8	0.11333	0.03856
534	1.0	0.10500	0.03856

จากตารางที่ 4.14 อธิบายได้ว่า ผลผลึก Speed = 534 ให้ค่า Dimensional error = 0.09 ซึ่งน้อยที่สุด และผลระหว่าง Speed\*Feed พบว่าที่ Speed = 534 และ Feed = 0.6 ให้ค่า Dimensional error = 0.07 ซึ่งต่ำสุด

#### 4.3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการทดลองตอนที่ 2

การทดลองตอนที่ 2 สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและตัวแปรตามในรูปสมการเชิงเส้นตรง ได้ดังนี้

การทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1

$$R_a = 3.12 - (1.33 \times 10^{-4} \text{ speed}) + (6.64 \times \text{feed}) \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Dimensional error} = & 1.68 - (3.5 \times 10^{-3} \text{ speed}) - (12.9 \times \text{feed}) \\ & + (0.0306 \times \text{speed} \times \text{feed}) \end{aligned} \quad (4-2)$$

การทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2

$$R_a = 2.53 + (2.75 \times \text{feed}) - (1.12 \times 10^{-3} \text{ speed}) \quad (4-3)$$

$$\text{Dimensional error} = 0.599 + (0.0444 \times \text{feed}) - (1.0 \times 10^{-3} \text{ speed}) \quad (4-4)$$

เมื่อ

$R_a$	คือ ความขรุขระพื้นผิว มีหน่วย ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )
Dimensional error	คือ ความคลาดเคลื่อนขนาด มีหน่วย มิลลิเมตร (mm)
Feed	คือ อัตราการป้อนตัด มีหน่วย มิลลิเมตรต่อรอบ (mm/rev)
Speed	คือ ความเร็วตัด มีหน่วย เมตรต่อนาที (m/min)

#### 4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผล

เป็นการทดลองเพื่อยืนยันว่าผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา โดยการนำสมการเชิงเส้นตรงมาพยากรณ์ค่าความขรุขระพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนขนาด โดยทำการสุ่มสภาวะการตัดที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดแล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการทดลองและกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของค่าจากการทดลองไว้ไม่เกิน 10% (ดูตารางที่ 4.15 และ 4.16)

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R_a$ 

สภาวะ	speed	feed	depth	$R_a$	$R_a$ cal.	ei
1	320	0.11	1	2.53	2.34	0.19
2	430	0.1	1	2.55	2.40	0.15
3	475	0.09	1	2.67	2.46	0.21
4	270	1	1	4.60	4.97	-0.37
5	365	0.6	1	3.91	3.77	0.14
6	420	0.9	1	4.45	4.53	-0.08

การหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error)

$$\text{MAPE} = \frac{\left| \left( \frac{X_i - F_i}{X_i} \right) \times 100 \right|}{n}$$

$$= \frac{7.51 + 5.88 + 7.86 + 8.04 + 3.58 + 1.80}{6}$$

$$= 5.78$$

การหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Mean squared error)

$$\text{MSE} = \sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{n}$$

$$= \frac{0.19^2 + 0.15^2 + 0.21^2 + (-0.37)^2 + 0.14^2 + (-0.08)^2}{6}$$

$$= 0.44$$

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 5.78 ซึ่งน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้และค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และมีการแสดงกราฟเปรียบเทียบไว้ด้วย (ดูภาพประกอบที่ 4.20)



ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด

สภาวะ	speed	feed	depth	Dim.error	Dim. error cal.	ei
1	320	0.11	1	0.25	0.22	0.03
2	430	0.1	1	0.22	0.20	0.02
3	475	0.09	1	0.17	0.16	0.01
4	270	1	1	0.34	0.37	-0.03
5	365	0.6	1	0.26	0.26	0
6	420	0.9	1	0.26	0.22	0.04

$$\text{MAPE} = \frac{12 + 9.09 + 5.88 + 8.82 + 0.00 + 15.38}{6}$$

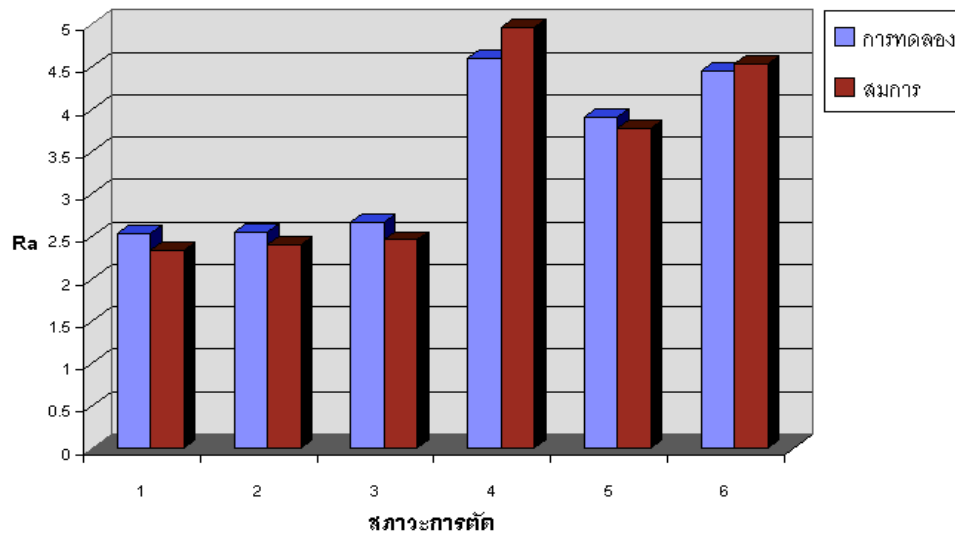
$$= 8.53$$

$$\text{MSE} = \frac{0.03^2 + 0.02^2 + 0.01^2 + (-0.03)^2 + 0.0^2 + 0.04^2}{6}$$

$$= 0.00065$$

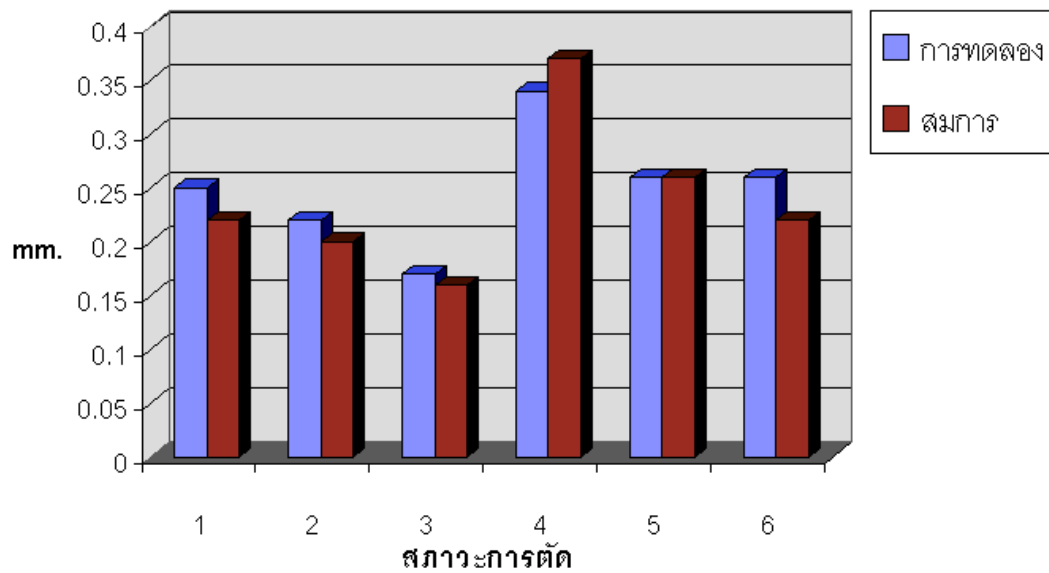
จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 8.53 ซึ่งน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ และค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นอกจากนี้ยังได้แสดงกราฟเปรียบเทียบไว้ด้วย (ดูภาพประกอบที่ 4.21)

### การเปรียบเทียบค่าความขรุขระพื้นผิว



ภาพประกอบที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าความขรุขระพื้นผิว (ดูตารางที่ 4.15)

### การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด



ภาพประกอบที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด (ดูตารางที่ 4.16)