

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 ความสำคัญและที่มา	9
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	9
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย	9
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	10
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	11
2.1 ความขรุขระของพื้นผิว (Surface roughness)	11
2.2 การวัดค่าความขรุขระพื้นผิว	12
2.3 หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ใบมีด	16
2.4 ใบมีดเซรามิก	19
2.5 เกณฑ์ในการตัดสินว่าคมมีดหมดอายุ	20
2.6 ประเภทของการตัด	21
2.7 การออกแบบการทดลอง	22
2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร	40
2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรกรณีหลายแฟคเตอร์	43
3 วิธีการวิจัย	49
3.1 ชิ้นงานและใบมีดตัด	49
3.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3.3 วิธีการทดลอง	54
4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง	59
4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 1	59
	(6)

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่า $R_a$	9
4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่าความคลาดเคลื่อนขนาด	64
4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	66
4.2.1 การ วิเคราะห์ผล ด้วยเทคนิค MANOVA	66
4.2.2 การ วิเคราะห์ผลวัดค่า $R_a$ ด้วยเทคนิค ANOVA	68
4.2.3 การ วิเคราะห์ผลความคลาดเคลื่อนขนาดด้วยเทคนิค ANOVA	69
4.2.4 การวิเคราะห์การสีกหรือของไบมีดเซรามิก	72
4.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	75
4.3.1 การวิเคราะห์ผล ด้วยเทคนิค MANOVA	๗
4.3.2 การวิเคราะห์ผลวัดค่า $R_a$ ด้วยเทคนิค ANOVA	77
4.3.3 การวิเคราะห์ผลความคลาดเคลื่อนขนาดด้วยเทคนิค ANOVA	78
4.3.4 การวิเคราะห์ผลความสัมพันธ์จากการทดลองตอนที่ 2	81
4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผล	๘
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผลการวิจัย	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	8
บรรณานุกรม	๘
ภาคผนวก	91
ก ตารางบันทึกผลการทดลอง	92
ข การวิเคราะห์ผลการทดลอง (กราฟจากการวิเคราะห์ข้อมูล)	128
ค การวิเคราะห์ผลภาพไบมีด	170
ง ใบรายงานผลการวิเคราะห์ต่างๆ	179
จ การนำเสนอผลงานในการประชุมทางวิชาการ	188
ฉ ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ	194
ประวัติผู้เขียน	205

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว	27
2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Fix Effect Model ตัวแปรเดียว	29
2.3 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Matrix)	3
2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ $2^K$	32
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบ Fixed Effect	36
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย	39
2.7 รูปแบบข้อมูลการวิเคราะห์แบบ MCRF-IJ	44
2.8 MANOVA Table สำหรับแบบแผน MCRF-IJ	46
3.1 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลองเบื้องต้น	54
3.2 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	55
3.3 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	56
3.4 แสดงการสุ่มเลือกสภาวะการตัด	57
4.1 สรุปผลการทดลองตอนที่ 1 วัดค่า $R_a$	59
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $R_a$	61
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Dimensional error	64
4.4 การวิเคราะห์ MANOVA for speed	66
4.5 แสดงตาราง MANOVA for feed	67
4.6 การวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่า $R_a$	68
4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนขนาด	69
4.8 การวิเคราะห์ค่า Means ของ $R_a$ และ Dimensional error	71
4.9 แสดงตาราง MANOVA for feed	75
4.10 การวิเคราะห์ MANOVA for speed	76
4.11 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA for $R_a$	7
4.12 การวิเคราะห์ ANOVA for Dimensional error	8
4.13 แสดง Least squares Means for $R_a$	80
4.14 แสดง Least squares Means for Dimensional error	80

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R_a$	82
4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด	83
ผก.1 ผลการทดลองตอนที่ 1	9
ผก.2 ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	95
ผก.3 ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	114
ผก.4 ผลการทดลองยืนยันผล	126
ผข. 1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $R_a$	134
ผข. 1.2 การวิเคราะห์ Regression Analysis $R_a$	134
ผข. 1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $R_q$	135
ผข. 1.4 Regression Analysis $R_q$	135
ผข. 2.1 การวิเคราะห์ MANOVA for Speed	143
ผข. 2.2 SSCP Matrix (adjusted) for speed	143
ผข. 2.3 Eigen Analysis for speed	144
ผข. 2.4 แสดงตาราง MANOVA for feed	144
ผข. 2.5 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for feed	145
ผข. 2.6 แสดง Eigen Analysis for feed	145
ผข. 2.7 แสดง Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Interval for $R_a$	146
ผข. 2.8 แสดง Tukey Simultaneous Test for $R_a$	146
ผข. 2.9 แสดง Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Interval for Dim. error	147
ผข. 2.10 แสดง Tukey Simultaneous Tests for Dimensional error	147
ผข. 2.11 การวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่า $R_a$	148
ผข. 2.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนขนาด	148
ผข. 2.13 การวิเคราะห์ค่า Means ของ $R_a$ และ Dimensional error	149
ผข. 2.14 การวิเคราะห์ Regression Analysis : $R_a$ versus feed , speed	149
ผข. 2.15 การวิเคราะห์ Regression Analysis : Dim. error versus feed , speed	150
ผข. 2.16 แสดงการพยากรณ์สมการ Regression	151
ผข. 3.1 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for feed	159

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 3.2 การวิเคราะห์ Eigen Analysis for feed	159
ผข. 3.3 การวิเคราะห์ SSCP Matrix (adjusted) for feed	160
ผข. 3.4 Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_a$ All Pairwise of feed	160
ผข. 3.5 การวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_a$ All Pairwise of Feed	161
ผข. 3.6 การวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of Feed	161
ผข. 3.7 Tukey Simultaneous Response Dim. error All Pairwise of feed	162
ผข. 3.8 การวิเคราะห์ MANOVA for speed	162
ผข. 3.9 แสดง SSCP Matrix(adjusted) for speed	163
ผข. 3.10 แสดง Eigen Analysis for speed	163
ผข. 3.11 Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_a$ All Pairwise of speed	164
ผข. 3.12 การวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_a$ All Pairwise of speed	164
ผข. 3.13 การวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of speed	165
ผข. 3.14 การวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of speed	165
ผข. 3.15 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA for $R_a$	166
ผข. 3.16 การวิเคราะห์ ANOVA for Dimensional error	166
ผข. 3.17 แสดง Least squares Means for $R_a$	167
ผข. 3.18 แสดง Least squares Means for Dimensional error	167
ผข. 3.19 การวิเคราะห์ Regression Analysis : $R_a$ versus feed , speed	168
ผข. 3.20 การวิเคราะห์ Regression Analysis :Dimensional error versus feed , speed	168
ผข. 3.21 แสดงการพยากรณ์สมการ Regression	169
ผง. ไปรายงานผลการวิเคราะห์ต่างๆ	179
ผฉ. ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ	194

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 โครงสร้างทางแมคโครของไม้	3
1.2 ความแข็งของไม้	5
1.3 แสดงการตัดไม้ในระนาบ TR-plan และการเกิดเศษ	5
1.4 แสดงการตัดตามขวางเกรน ในระนาบ LT-plane หรือ LR-plane และการเกิดเศษ	6
1.5 แสดงการตัดขนานเกรน ในระนาบ LT-plane หรือ LR-plane และการเกิดเศษ	6
2.1 ตัวอย่างพื้นผิวสำเร็จ	11
2.2 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนต์ย่อยๆ	13
2.3 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด $R_{max}$	14
2.4 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดหาค่าแรก $R_z$	15
2.5 แสดงความขรุขระพื้นผิวแบบ 3 มิติ	15
2.6 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของใบมีดกลึง	16
2.7 แสดงใบมีดที่ทำมาจากวัสดุต่างชนิดกัน	17
2.8 การออกแบบเชิงแพททอเรียล 2 ปัจจัย	30
2.9 แสดงการออกแบบเชิงแพททอเรียล	30
2.10 แสดง Normal Q-Q plot	42
2.11 แสดง Histogram plot	42
3.1 แสดงไม้ยางพาราแบบต่อประสาน	49
3.2 แสดงชิ้นงานไม้ยางพาราที่ผ่านการกลึง	49
3.3 แสดงเม็ดมีดเซรามิก	50
3.4 แสดงด้ามมีด SANDVIK	50
3.5 แสดงเครื่องกลึงที่ใช้ทดลอง Mashstroy Troyan	51
3.6 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM.	51
3.7 แสดงเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว Mitutoyo	52
3.8 แสดงเครื่องวัดความขึ้น Testo	52
3.9 แสดงไมโครมิเตอร์ Mitutoyo	53
3.10 แสดงเครื่องกลึง Harrison M350	53

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.11 ลักษณะการกลิ้งชิ้นงาน	55
3.12 แสดงการหาค่า Sample size (n) การทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	56
3.13 แสดงการหา Sample size (n) การทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	57
3.14 แสดงการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว	58
3.15 แสดงการกำหนดจุดวัดชิ้นงาน	58
4.1 แสดง Main Effects Plot for $R_a$	63
4.2 แสดง Interaction Plot for $R_a$	63
4.3 แสดง Main effect plot for Dimensional error	65
4.4 แสดง Interaction plot for Dimensional error	65
4.5 แสดง Main effect plot for $R_a$	68
4.6 แสดง Interaction plot for $R_a$	69
4.7 แสดง Main effect plot for Dimensional error	70
4.8 แสดง Interaction plot for Dimensional error	70
4.9 ใบบีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 1	72
4.10 ใบบีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 1	72
4.11 แสดงเวลางานกลิ้งต่อ 1 ชิ้น ใน 9 สภาวะการตัด	73
4.12 แสดงเวลางานกลิ้งต่อ 20 ชิ้น ใน 9 สภาวะการตัด	73
4.13 แสดงการกำหนดจุดวัด 3 จุด	74
4.14 แสดงจุดที่ทำการวัดทั้ง 3 จุด	74
4.15 แสดงการเกิดตำหนิของเนื้อไม้	74
4.16 แสดง Main Effect plot for $R_a$	77
4.17 แสดง Interaction plot for $R_a$	78
4.18 แสดง Main effect plot for Dimensional error	79
4.19 แสดง Interaction plot for Dimensional error	79
4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าความขรุขระพื้นผิว	84
4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด	84

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผข. 1.1 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า $R_a$	128
ผข. 1.2 แสดง Histogram plot ของค่า $R_a$	128
ผข. 1.3 แสดงความคงที่ของค่าความแปรปรวนของค่า $R_a$	129
ผข. 1.4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า $R_a$	129
ผข. 1.5 แสดง Main Effects Plot ของค่า $R_a$	130
ผข. 1.6 แสดง Interaction Plot ของค่า $R_a$	130
ผข. 1.7 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional Error	131
ผข. 1.8 แสดง Histogram plot ของข้อมูลของค่า Dimensional Error	131
ผข. 1.9 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า Dimensional Error	132
ผข. 1.10 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional Error	132
ผข. 1.11 แสดง Main Effect Plot ของค่า Dimensional Error	133
ผข. 1.12 แสดง Interaction Plot ของค่า Dimensional Error	133
ผข. 2.1 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า $R_a$	136
ผข. 2.2 แสดง Histogram plot ของข้อมูลของค่า $R_a$	136
ผข. 2.3 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า $R_a$	137
ผข. 2.4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า $R_a$	137
ผข. 2.5 แสดง Main Effects Plot ของค่า $R_a$	138
ผข. 2.6 แสดง Interaction Plot ของค่า $R_a$	138
ผข. 2.7 แสดง Test for Variances ของค่า $R_a$	139
ผข. 2.8 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional Error	139
ผข. 2.9 แสดง Histogram plot ของค่า Dimensional Error	140
ผข. 2.10 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า Dimensional Error	140
ผข. 2.11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional Error	141
ผข. 2.12 แสดง Main Effects Plot ของค่า Dimensional Error	141
ผข. 2.13 แสดง Interaction Plot ของค่า Dimensional Error	142
ผข. 2.14 แสดง Test for Equal Variances ของค่า Dimensional Error	142



## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผข. 3.1 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า $R_a$	152
ผข. 3.2 แสดง Histogram plot ของค่า $R_a$	152
ผข. 3.3 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า $R_a$	153
ผข. 3.4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า $R_a$	153
ผข. 3.5 แสดง Main Effects Plot ของค่า $R_a$	154
ผข. 3.6 แสดง Interaction Plot ของค่า $R_a$	154
ผข. 3.7 แสดง Test for Equal Variances ของค่า $R_a$	155
ผข. 3.8 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional Error	155
ผข. 3.9 แสดง Histogram plot ของค่า Dimensional Error	156
ผข. 3.10 แสดงความคงที่ของความแปรปรวน ของค่า Dimensional Error	156
ผข. 3.11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional Error	157
ผข. 3.12 แสดง Main Effects Plot ของค่า Dimensional Error	157
ผข. 3.13 แสดง Interaction Plot ของค่า Dimensional Error	158
ผข. 3.14 แสดง Test for Equal Variances ของค่า Dimensional Error	158
ผค. 1 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 1	170
ผค. 2 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 1	170
ผค. 3 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 2	171
ผค. 4 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 2	171
ผค. 5 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 3	172
ผค. 6 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 3	172
ผค. 7 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 4	173
ผค. 8 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 4	173
ผค. 9 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 5	174
ผค. 10 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 5	174
ผค. 11 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 6	175
ผค. 12 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 6	175

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผค.13 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 7	176
ผค.14 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 7	176
ผค.15 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 8	177
ผค.16 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 8	177
ผค.17 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 9	178
ผค.18 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 9	178
ผจ. 1 แสดงเกียรติบัตรในการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 4 และบทความที่นำเสนอ	188