



๖๕๐๗๗

## รายงานการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบสารหล่อเย็นของกระบวนการกลึง

A Comparative Study the Coolant of the Turning Process

จตุพร ใจดำรงค์

Jatuporn Jaidumrong

๖๗.๐๑

ปิยวิทย์ สุวรรณ

Piyavit Suwan

๖๒

บรรเลง คำเกตุ

Bunleng Kumket

๒๕๕๖

การกลึงโลหะ -- ภาควิชา

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณ (เงินรายได้) ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๖

## การศึกษาเปรียบเทียบสารหล่อเย็นของกระบวนการกลึง

จตุพร ใจดำรงค์ ปิยวิทย์ สุวรรณ และ บรรณ เลง คำเกตุ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพผิวชิ้นงานกลึงที่ใช้น้ำมันพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง เพื่อเปรียบเทียบค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานกลึงที่ใช้ น้ำมันพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงปกเกล้าเหล็กกล้า ST 37 โดยมีปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง คืออัตราป้อน 0.10, 0.14, 0.18 และ 0.25 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วตัด 195, 215, 235 และ 255 เมตรต่อนาที และความลึก 0.4, 0.6 และ 1 มิลลิเมตร สุ่มตัวอย่างการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อให้ข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน การกลึงปกชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี และวัดค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความขรุขระผิวโดยใช้การทดสอบสถิติ T-test และวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 15 ผลการทดลองพบว่าการทดสอบสถิติ T-test เมื่อค่า T ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า T ที่ได้จากรายการแจกแจง T ( $T < T_{0.025, 28}$ ) ( $1.77 < 1.99$ ) และค่า P-Value มากกว่า  $\alpha$  ( $0.082 > 0.05$ ) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0 = \mu_1 = \mu_2$ ) คือน้ำมันพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงให้ค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คำสำคัญ : น้ำมันพร้าว น้ำมันหล่อเย็น สารหล่อเย็น ความขรุขระผิว กระบวนการกลึง

## THE STUDY OF COCONUT WATER FOR COOLING IN TURNING PROCESS

Jatuporn Jaidumrong Piyavit Suwan and Bunleng Kumket

### Abstract

This thesis purposed to compare the quality of lathed work piece surface using coconut water with semi lathed oil and water based product. The 2 kinds of cooling liquid were used in the lathe process. Then the author decided to choose the coconut water for this experiment. To compare the surface roughness of lathed work piece using coconut water with semi lathed oil and water based product. The mild steel shaft (ST37) was lathed under the factors and levels feed rate 0.10, 0.14, 0.18 and 0.25 mm/rev, cutting rate 195, 215, 235 and 255 mm/min and depth rate 0.4, 0.6, 1 mm. The experiment was the used of sampling; the computer would diagnose the data to choose independent samples. The CNC machine was used to lathe the work pieces. T-test statistic was used to analysis the surface roughness of work piece and the different mean of surface roughness. 'Minitab version 15' was the computer program, used to diagnose the data with T-test statistic. In the T-test statistic, when 'T' form the calculation was less than 'T' form the T-table ( $T < T_{0.025,28}$ ), then it could not deny the hypothesis ( $H_0 = \mu_1 = \mu_2$ ). The coconut water and semi lathed oil and water based product were used in the cooling process, valued as the same significantly. ( $P \leq 0.05$ )

**Keywords :** Coconut Juice Cooling Water Liquid Coolant Surface Roughness Lathe Process

---

<sup>1,2</sup> Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology  
Srivijaya, Mueang Songkhla, Songkhla Province.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ งบรายจ่ายอื่น ๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปีงบประมาณ 2556 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ขอขอบคุณนักศึกษา นายสมศักดิ์ แก้วหนองเสม็ด และนายธีระยุทธ ช่อสม ที่ช่วยเหลือดำเนินการโครงการวิจัย คณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านและเจ้าหน้าที่ประจำโครงการยุทธศาสตร์แม่พิมพ์และชิ้นส่วนอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ  
5 สิงหาคม 2556



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 น้ำมันพรัว	5
2.3 น้ำมันหล่อเย็น	5
2.4 ค่า พีไอช	6
2.5 ความเร็วตัดในงานกลึง	9
2.6 ความขรุขระผิว	9
2.7 การสึกหรอของคมตัดมีดกลึง	15
2.8 การทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย กรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวน	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	22
3.1 แผนการดำเนินงาน	22
3.2 การออกแบบการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	29
4.1 ผลการทดลอง	29
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	31
4.3 การวิเคราะห์การสึกหรอของคมตัด	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	42
5.3 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก ก	44
ตารางบันทึกผลการทดลอง	45
ภาคผนวก ข	49
ข้อมูลเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทดลอง	50
ภาคผนวก ค	55
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน	56
ภาคผนวก ง	61
ตารางของการแจกแจงแบบที	62



## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ตัวอย่างค่าพีเอชของสารต่าง ๆ ค่าพีเอชของสารที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน	8
3.1	แผนการดำเนินของโครงการ	22
4.1	ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำและน้ำมันมะพร้าวในการหล่อเย็น	29
4.2	ผลการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 15	36
4.3	ผลการทดสอบ T-test ด้วยโปรแกรม Minitab 15	37



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระดาศลิติมัส	7
2.2	กระดาศยูนีเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์	7
2.3	พีเอชมิเตอร์	8
2.4	ความเร็วตัดงานกลึง	9
2.5	ลักษณะของความขรุขระผิว	9
2.6	ความขรุขระผิวเฉลี่ยเลขคณิต $R_a$	10
2.7	ความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง $R_q$	10
2.8	ความขรุขระผิวเฉลี่ยปริมาณ $R_{sk}$	11
2.9	ความขรุขระผิวเฉลี่ยรูปร่าง $R_{ku}$	11
2.10	ความขรุขระผิวขนาดโดยรวม $R_t$ , $R_y$	12
2.11	ความขรุขระผิวขนาดหลุมลึกสุด $R_v$	12
2.12	ความขรุขระผิวขนาดยอดสูงสุด $R_p$	12
2.13	ความขรุขระผิวขนาดโดยเฉลี่ย $R_z$	13
2.14	ลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการรวมวิธีการผลิต	14
2.15	ตัวอย่างพื้นผิวสำเร็จ	15
2.16	ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ	15
2.17	ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย	16
2.18	การสึกหรอที่ปลายมีด	16
2.19	การแจกแจงปกติ	17
2.20	ผังมโนทัศน์สถิติอ้างอิง	18
2.21	การแจกแจง T (T-Distribution)	21
3.1	สารหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2	วัสดุชิ้นงานและวัสดุคมตัด	24
3.3	เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.4	ขั้นตอนการปรับค่า PH ของน้ำมะพร้าว	26
3.5	ลักษณะการจับชิ้นงาน	26
3.6	ลักษณะการกลึงชิ้นงาน	27
3.7	การวัดค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน	27
3.8	การวัดค่าการสึกหล่อของคมตัด	27



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ	32
4.2	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลน้ำมันมะพร้าว	32
4.3	การแจกแจง F-Distribution เมื่อ $F_{(0.05,47,47)} = 1.68$	34
4.4	การแจกแจง T-Distribution ที่ $T_{0.025,94} = 1.99$	36
4.5	ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น	38
4.6	ความแตกต่างค่ากลางของสารหล่อเย็น	38
4.7	ลักษณะการสึกหรอของคมตัดที่ใช้น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ	39
4.8	ลักษณะการสึกหรอของคมตัดที่ใช้น้ำมันมะพร้าว	39



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการใช้ทรัพยากรเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แนวทางแก้ไขอันหนึ่งก็คือ ความพยายามใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่มีอยู่ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรนับเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีมูลค่า ประโยชน์จากของเหลือทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรไม่ค้อยแพร์หลายนักคือ การใช้ประโยชน์จากน้ำมะพร้าวแก่ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำกะทิ น้ำมะพร้าวแก่ไม่ได้รับความนิยมในการนำไปบริโภคเหมือนน้ำมะพร้าวอ่อน เนื่องจากไม่ค้อยมีกลิ่นหอม และรสชาติก็ไม่หวานอร่อย [1] จากการศึกษาถึงกระบวนการการผลิตน้ำกะทิของร้านค้าเจ้าหนึ่งในตลาดรางรถไฟ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา พบว่ามีน้ำมะพร้าวแก่ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำกะทิ ซึ่งมีปริมาณวันละ 200 ลิตรต่อวันโดยประมาณ ซึ่งเหลือทิ้งไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์

กระบวนการกลึงโลหะมีความจำเป็นจะต้องใช้สารหล่อเย็น เพื่อลดความเสียหายระหว่างเครื่องมือกับชิ้นงาน ช่วยลดความร้อนและช่วยไล่เศษวัสดุ ซึ่งจะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้ดีขึ้น นอกจากนั้นสารหล่อเย็นยังช่วยป้องกันโลหะเป็นสนิมด้วย ลักษณะงานดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานจะต้องสัมผัสกับสารหล่อเย็น และได้รับอันตรายจากสารเคมี เนื่องจากการหยิบจับวัสดุอุปกรณ์ที่เปราะเปื้อน หรือมีวิธีการทำงานที่ทำให้เกิดการกระเด็นของสาร โดยผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ใช้เครื่องป้องกัน รวมทั้งการขาดความเอาใจใส่ในการรักษาความสะอาดผิวหนัง ทำให้สารเกาะผิวหนังและก่อให้เกิดการอุดตันของต่อมต่างๆ สารบางชนิดทำให้ผิวหนังแห้งแตก และประสบปัญหาโรคผิวหนังได้ [2]

จากเนื้อหาข้างต้นที่กล่าวมานี้ จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง โดยใช้น้ำมะพร้าว น้ำมันพืช น้ำมันปาล์ม และน้ำมันตัดผสมน้ำ โดยทำการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบหาคุณภาพด้านความเรียบผิวและการสึกหรอของคมตัด เพื่อให้ได้มาซึ่งแทนสารหล่อเย็นในอุตสาหกรรมกระบวนการกลึงได้ ซึ่งเป็นผลให้ผู้ปฏิบัติงานมีความปลอดภัยจากการสัมผัส หรือสูดดมสารเคมีจากสารหล่อเย็นในขณะที่ปฏิบัติงานนอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อมจากการทิ้งของสารหล่อเย็น และยังสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพความขรุขระพื้นผิวของชิ้นงานกลึงโดยใช้สารหล่อเย็น 2 ชนิด คือ น้ำมะพร้าว และน้ำมันตัดผสมน้ำ

### 1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาคุณภาพของผิวชิ้นงาน และลักษณะการสึกหรอของคมตัด

1.3.2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ ความเร็วตัด 195, 215, 235 และ 255 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.10, 0.14, 0.18 และ 0.25 มิลลิเมตร/รอบ และความลึก 0.4, 0.6 และ 1 มิลลิเมตร

1.3.3 วัสดุที่ใช้ในการศึกษาคือ เหล็กกล้า ST 37 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1½ นิ้ว

- 1.3.4 เม็ดมีดกลึง Insert ยี่ห้อ KENNAMETAL รุ่น KC9110
- 1.3.5 เครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ HASS CNC รุ่น SL-20
- 1.3.6 เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น Surftest 301
- 1.3.7 เปรียบเทียบค่าความขรุขระผิวชิ้นงาน โดยสารหล่อเย็น 2 ชนิด คือน้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันตัดผสมน้ำ

#### 1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

กระบวนการกลึงโลหะมีความจำเป็นจะต้องใช้สารหล่อเย็น เพื่อลดความเสียหายระหว่างเครื่องมือกับชิ้นงาน ช่วยลดความร้อนและช่วยไล่เศษวัสดุ ซึ่งจะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้ดีขึ้น นอกจากนี้สารหล่อเย็นยังช่วยป้องกันโลหะเป็นสนิมด้วย ลักษณะงานดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานจะต้องสัมผัสกับสารหล่อเย็น และได้รับอันตรายจากสารเคมี เนื่องจากการหยิบจับวัสดุอุปกรณ์ที่เปราะเปื้อน หรือมีวิธีการทำงานที่ทำให้เกิดการกระเด็นของสาร โดยผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ใช้เครื่องป้องกัน รวมทั้งการขาดความเอาใจใส่ในการรักษาความสะอาดผิวหนัง ทำให้สารเกาะผิวหนังและก่อให้เกิดการอุดตันของต่อมต่างๆ สารบางชนิดทำให้ผิวหนังแห้งแตก และปัญหาโรคผิวหนังได้ [2]

ดังข้างต้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาสารทางธรรมชาติที่นำมาทดแทนสารหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการกลึงโลหะ โดยใช้วิธีการศึกษาเปรียบเทียบสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงปอกชิ้นงานด้วยน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันตัดผสมน้ำ โดยการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบหาคุณภาพในด้านความเรียบผิวและด้านการสึกหรอของคมตัด เพื่อให้ได้มาซึ่งแทนสารหล่อเย็นในอุตสาหกรรมกระบวนการกลึงได้ ซึ่งเป็นผลให้ผู้ปฏิบัติงานมีความปลอดภัยจากการสัมผัส หรือสูดดมสารเคมีจากสารหล่อเย็นในขณะที่ปฏิบัติงานนอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อมจากการทิ้งของสารหล่อเย็น และยังสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 สามารถนำวัสดุจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมได้
- 1.5.2 ช่วยลดมลภาวะจากการทิ้งของสารหล่อเย็นได้
- 1.5.3 ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความปลอดภัยจากการสัมผัสกับสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง
- 1.5.4 เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์คุ้มค่ามากที่สุด
- 1.5.5 การผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green Machining)

## บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาถึงการนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้ทดแทนสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง ขั้นตอนแรกต้องทราบถึงที่มาของน้ำมันมะพร้าวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำกะทิซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้กับงานด้านอุตสาหกรรม และได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความขรุขระผิวชิ้นงานกลึง สิ่งที่สำคัญของการศึกษาในครั้งนี้คือค่าพีเอสของน้ำมันมะพร้าวซึ่งจะส่งผลให้เครื่องจักรเกิดการเป็นสนิมจึงได้มีการเติมสารเพื่อปรับค่าพีเอสให้เป็นกลางก่อนการทดลอง เพื่อให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการมีดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยยะ ประณีตพลกรัง และคณะ [3] ทำการทดลองวิธีการหล่อเย็นแบบใหม่ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมโดยการใช้ น้ำมันพืชผสมละอองน้ำเพื่อใช้เป็นสารหล่อเย็น น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม ในงานวิจัยนี้ใช้การกลึงแบบไม่ใช้น้ำเย็น น้ำมันหล่อเย็นล้วน และน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมกับน้ำเป็นสารที่ใช้เปรียบเทียบผลการหล่อเย็นกับน้ำมันพืชทั้งสามชนิด และใช้ในการเปรียบเทียบคือ การสึกหรอของเล็บบิดกลึงแรงที่ใช้ในการตัดเฉือน อุณหภูมิขณะทำการตัดเฉือน และความขรุขระผิวของชิ้นงาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันสามารถที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันหล่อเย็นได้ แต่ควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นกว่าเดิม เพื่อประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้นในการหล่อเย็น

กิตติชัย หล่อบุญสม และศิริชัย ต่อสกุล [4] ทำการตรวจหาลักษณะการสึกหรอของเม็ดมิดตัดและความขรุขระผิวจากการกลึงเหล็กหล่อ FCD 400 ซึ่งชิ้นงานถูกกลึงปลอกด้วยความเร็วสูงโดยใช้สารหล่อเย็นชนิดน้ำมัน BIOBAN 2000 EP ชนิดกึ่งสังเคราะห์ BIOBAN CS และชนิดสังเคราะห์ BIO CUT No.4 ขณะตัดเฉือน จากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์คุณภาพผิวและการสึกหรอของเม็ดมิดตัด ระหว่างการใช้สารหล่อเย็นชนิดต่าง ๆ โดยการคงที่ตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ ระยะกินลึก และอัตราป้อน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้สารหล่อเย็นสามารถเพิ่มคุณภาพผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารหล่อเย็น BIOBAN 2000 EP ให้คุณภาพผิวดีที่สุด  $R_a$  7.98 เมื่อเปรียบเทียบกับสารหล่อเย็นชนิดอื่นๆ และสารหล่อเย็นแต่ละชนิดยังมีผลต่อลักษณะการสึกหรอของเม็ดมิดตัดแตกต่างกัน

กัมพล เพชรคง [5] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โดยเทียบกับคุณภาพผิวของงานเจียรนัยเป็นเกณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเหล็กกล้าไร้สนิม (AISI/SUS 304) และใช้มิดกลึงอินเสิร์ตคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยกระบวนการซีวีดี (CA 6525) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และสารหล่อเย็น จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวคือความเร็วตัด ซึ่งมีคุณภาพผิวของงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่ความเร็วตัดต่ำจะทำให้

ค่าคุณภาพผิวของงานที่ดีแต่เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นทำให้ค่าคุณภาพผิวของงานต่ำลงจากการวิเคราะห์สมการถดถอยเป็นตัวระบุถึงอิทธิพลของความเร็วตัดที่มีต่อค่าความขรุขระผิว

ชาญชัย ศิวิไล และ สรรดิชัย ชิวสุทธิศิลป์ [6] การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในงานกลึงปอกเพลลาเหล็กกล้าชนิด ST 37 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระของผิวงานกลึงคือ อัตราป้อนความเร็วตัด และระยะป้อนลึก และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญคือ อัตราป้อน ความเร็วตัด และระยะป้อนลึก ซึ่งมีความเพียงพอในการนำปัจจัยดังกล่าวไปออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกลึงปอกผิวชิ้นงาน โดยทำการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่สามารถกลึงให้ได้ความขรุขระผิวกำหนด ผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขการตัดเฉือนที่เหมาะสมในงานกลึงปอกเพลลาเหล็กกล้าชนิด 37 ที่สามารถกลึงให้ได้ความขรุขระผิวกำหนด คืออัตราป้อนที่ 0.09 มม./รอบ ความเร็วตัดที่ 137 ม./นาที และระยะป้อนลึกที่ 0.10 มม. เมื่อตรวจสอบความขรุขระผิวชิ้นงาน จากการทดลองยืนยันผลพบว่าผิวของชิ้นงานมีความขรุขระผิวใกล้เคียงกับความขรุขระผิวกำหนดจากการตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย

Safian, S., Hisyam, M.A. and Aman, S. [7] การประเมินผลของน้ำมันพืชเป็น สารหล่อลื่นงานกัดสแตนเลส ด้วยเครื่องมือคาร์ไบด์เคลือบผิว โดยได้ทำการทดลองใช้น้ำมันพืช ที่ผ่าน MQL เป็นสารหล่อลื่นอีกทางเลือกหนึ่งในการกัดเหล็ก AISI 420 โดยใช้เครื่องมือคาร์ไบด์เคลือบผิว ผลการทดลองพบว่า อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารหล่อเย็นแบบแห้ง และแบบผสมน้ำ ได้ทำการทดลองโดยการใช้ ความเร็วในการตัดคงที่ 60 ม./นาที และอัตราป้อน 0.03 มม. ที่ระดับความลึกกริม และแนวแกนการตัดคงที่ 12 มม. และ 0.6 มม. ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า การหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชมีประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองแบบ อื่น ๆ ในแง่ของเครื่องมือกัด การกัดแบบแห้งอายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นที่สุด การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้เทคนิคการหล่อเย็น และชนิดของสารหล่อลื่นที่ใช้ ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดอย่างมีนัยสำคัญ

Swarup Paul and Pradip Kumar Pal [8] การศึกษาคุณภาพผิวชิ้นงานที่ผลิตด้วยเครื่องความเร็วสูง โดยใช้น้ำมันตัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม น้ำมันตัดที่ใช้อยู่หลายทางชีวภาพได้ไม่สิ้น และทำให้เกิดมลพิษในระยะยาวต่อสภาพแวดล้อม และส่งผลด้านสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน การใช้น้ำมันพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันตัด ในการศึกษาครั้งนี้ลักษณะของกระบวนการกลึงเหล็กโดยใช้เครื่องมือตัด 18-4-1 HSS อัตราความเร็วในการป้อนชิ้นงาน และความลึกของการตัดมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อลื่นแบบเดิม และน้ำมันพืช เพื่อเปรียบเทียบกับสภาพผิวชิ้นงานตัดแห้ง มีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของการหล่อลื่นที่ใช้น้ำมันพืช นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความเรียบผิวภายใต้การควบคุมอัตราป้อนในการตัดที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพารามิเตอร์ที่คงที่เครื่องมือวัดอุณหภูมิ รุ่นอินเตอร์เฟซ ที่ยังได้รับการวัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดที่มีผลต่ออุณหภูมิคุณภาพผิวงาน นำกราฟที่ได้รับวางแผนเพื่อศึกษาหาผลของเหลวตัดแบบเดียวกับน้ำมันตัดประเภทอื่น ผลที่ได้บ่งชี้ว่า

การใช้ น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดมีคุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการตัดแบบแห้ง และแบบใช้น้ำ นอกจากนี้ยังมีการใช้เครื่องจักรที่ใช้น้ำมันตัดแบบทั่วไป

## 2.2 น้ำมะพร้าว

น้ำมะพร้าว [1] เป็นเครื่องดื่มเกลือแร่จากธรรมชาติเพราะต้นมะพร้าวมีลำต้นสูงต้องผ่านการกลั่นกรองตามชั้นต่าง ๆ ของลำต้นกว่าจะถึงลูกมะพร้าวที่อยู่ข้างบนน้ำมะพร้าวที่ได้มาจึงบริสุทธิ์และอุดมไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม เหล็ก โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส ทองแดง กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และวิตามินบี แถมยังมีน้ำตาลกลูโคส น้ำมะพร้าวแก่ไม่ได้รับความนิยมในการนำไปบริโภคเหมือนน้ำมะพร้าวอ่อนเนื่องจากไม่ค่อยมีกลิ่นหอม และรสชาติก็ไม่หวานอร่อย เนื่องจากองค์ประกอบในน้ำมะพร้าวทั้งสองชนิดต่างกัน แต่ทั้งน้ำมะพร้าวอ่อน และน้ำมะพร้าวแก่ต่างก็มีคุณค่าทางอาหารสูงเพราะประกอบไปด้วยน้ำตาล และแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีไขมัน และสารประกอบไนโตรเจนหลายชนิด ในกรณีของน้ำตาลนั้นน้ำมะพร้าวอ่อนประกอบด้วยกลูโคส และฟรุคโตสเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่น้ำมะพร้าวแก่ประกอบด้วยซูโครส และฟรุคโตสเป็นส่วนใหญ่ และประเทศไทยผลิตน้ำมะพร้าวแก่นับแสนตันต่อปี ส่วนประกอบของน้ำมะพร้าวแก่มีดังนี้ของแข็งทั้งหมด 5.4 % น้ำตาล 0.2 % แร่ 0.5 % โปรตีน 0.1 % ไขมัน 0.1 % ความเป็นกรด 60.0 %mg ค่าความเป็นกรด 5.2 โพแทสเซียม 247.0 % mg โซเดียม 48.0 % mg แคลเซียม 40 % mg แมกนีเซียม 15.0 % mg ฟอสฟอรัส 6.3 % mg เหล็ก 79.0 % mg และทองแดง 26.0 % mg

## 2.3 น้ำมันหล่อเย็น (Cutting Fluid)

น้ำมันหล่อเย็นหรือน้ำมันตัดกลึงโลหะ [9] มีหน้าที่หลักสองอย่างคือ ระบายความร้อน และหล่อลื่นระหว่างมีดตัด (Cutting Tool) กับชิ้นงานนอกจากนี้ น้ำมันหล่อเย็นที่ดีต้องมีคุณสมบัติป้องกันการเกิดสนิม และไม่มีการเหม็น

### 2.3.1 การระบายความร้อน

การศึกษาในห้องทดลองได้ผลยืนยันว่าความร้อนที่เกิดจากการตัดขึ้นรูปชิ้นงานมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดตัดเป็นอย่างมาก การลดอุณหภูมิลงจะทำให้มีดตัดมีการสึกหรอน้อย แม้แต่การลดอุณหภูมิลงเล็กน้อย ก็ทำให้อายุของมีดตัดยาวขึ้นเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ถ้ามีดตัดมีอุณหภูมิลดลง 50 องศาฟาเรนไฮต์ จาก 950 องศาฟาเรนไฮต์ เหลือ 900 องศาฟาเรนไฮต์ อายุการใช้งานของมีดตัดจะยาวนานขึ้น 5 เท่า จากเดิม 19.5 ชั่วโมง เป็น 99 ชั่วโมง น้ำเป็นสารที่ดีที่สุดในการระบายความร้อนออกจากมีดตัด และชิ้นงานขณะที่ทำการขึ้นรูป

### 2.3.2 การหล่อลื่น

หน้าที่ในการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อเย็นมีความสำคัญพอๆ กับหน้าที่ในการระบายความร้อน อายุของน้ำมันหล่อเย็นจะนานขึ้นมากหากความร้อน และความฝืดจากการปาดผิวชิ้นงานลดลงเมื่อใช้น้ำมันหล่อเย็นเข้าช่วยจะทำให้สามารถเพิ่มความเร็วตัดได้มากขึ้น จึงทำให้มีผลผลิตมากขึ้น และลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลงได้

### 2.3.3 ป้องกันการเกิดสนิม

น้ำมันหล่อเย็นควรมีคุณสมบัติป้องกันการเกิดสนิมไม่เช่นนั้นแล้วชิ้นงาน หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะเสียหายได้ น้ำมันตัดสามารถป้องกันการเกิดสนิมได้แต่ไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีเท่ากับน้ำ และเป็นสารหล่อเย็นที่ดีที่สุด และมีราคาถูกที่สุดแต่ก็เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดสนิมยกเว้นว่าได้เติมสารป้องกันการเกิดสนิมเข้าไป ในปัจจุบันของเหลวที่ใช้ในการหล่อเย็นทุกตัวมีสารป้องกันการเกิดสนิมเป็นส่วนประกอบ

### 2.3.4 น้ำมันหล่อเย็นที่ดีควรมีคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- 1) มีอัตราการระบายความร้อนที่ดี
- 2) มีคุณภาพการหล่อลื่นที่ดี
- 3) ป้องกันการเกิดสนิม
- 4) มีความเสถียรมาก เพื่อให้ใช้งานได้นาน
- 5) ป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็น
- 6) ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้
- 7) ไม่ข้นจนเกินไป ทำให้ผู้ใช้งานมองเห็นชิ้นงานได้ง่ายในขณะที่ปฏิบัติงาน
- 8) ความหนืดน้อย เพื่อให้ชะล้างเศษผงโลหะออกไปได้ง่าย
- 9) ไม่ติดไฟ

### 2.3.5 อันตรายจากสารหล่อลื่น และสารหล่อเย็น

อันตรายจากสารหล่อลื่น และสารหล่อเย็นในงานที่มีการใช้เครื่องจักร หรืองานอุตสาหกรรมโลหะ เช่น งานเจียร ไส กัด ตัดโลหะ เป็นต้น ลักษณะงานดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานจะต้องสัมผัสกับสารหล่อเย็นตลอดเวลา จึงทำให้มีคนงานเป็นจำนวนมากที่ขาดการป้องกันที่ดี ส่งผลให้ประสบปัญหาโรคผิวหนัง จะทำให้โรคลุกลามก่อให้เกิดความทุกข์ทรมาน

## 2.4 ค่า พีเอช (Potential of Hydrogen Ion)

คือค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นด่างของสารเคมีจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) โดยใช้สัญลักษณ์ pH [10] สามารถทดสอบได้หลายวิธีโดยวิธีที่นิยม และง่ายที่สุดคือ ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจากการเปลี่ยนสีสำหรับตัวเลขที่แสดงค่าพีเอชถ้าพิจารณาอย่างง่ายที่อุณหภูมิห้อง ค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลางไม่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือ เบส เช่นน้ำบริสุทธิ์ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส การตรวจสอบความเป็นกรดหรือเบสของสารละลายแตกต่างกันอินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้กันมาก มีดังนี้

### 2.4.1 กระดาษลิตมัส

เป็นอินดิเคเตอร์ที่เรารู้จักกันดี กระดาษลิตมัสมี 2 สี ได้แก่ กระดาษลิตมัสสีแดง และกระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน เมื่อใช้กระดาษลิตมัสสามารถจำแนกสารได้ เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- 1) สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด จะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินไปเป็นสีแดง
- 2) สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส จะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงไปเป็นสีน้ำเงิน
- 3) สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลาง จะไม่ทำปฏิกิริยากับกระดาษ จึงไม่มีการเปลี่ยนสี



รูปที่ 2.1 กระดาษลิทมาส์ [10]

#### 2.4.2 ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

เป็นอินดิเคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนสีทุกค่าพีเอชจึงใช้ทดสอบหาค่าพีเอชได้ดี อินดิเคเตอร์ชนิดนี้มีทั้งแบบที่เป็นกระดาษ และแบบสารละลาย



รูปที่ 2.2 กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ [10]

การใช้อินดิเคเตอร์ในการทดสอบหาค่าพีเอชของสารละลายนั้นจะทราบค่าพีเอชโดยประมาณเท่านั้น ถ้าต้องการทราบค่าพีเอชที่แท้จริงจะต้องใช้เครื่องมือวัดค่าพีเอชที่เรียกว่า "พีเอชมิเตอร์ (pH Meter)" ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดค่าพีเอชของสารละลายได้เป็นเวลานานติดต่อกัน ทำให้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - เบส ของสารละลายได้ และค่าพีเอชที่อ่านได้จะมีความละเอียดมากกว่าการใช้อินดิเคเตอร์

#### 2.4.3 เครื่องวัดค่า พีเอช (pH Meter)

เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ใช้วัดค่าพีเอชหรือค่าความเป็นกรด และต่างของสารละลายโดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ Probe หรือ อิเล็กโทรด และ เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (Meter) อิเล็กโทรดที่พบได้ในห้องปฏิบัติการส่วนมากแล้วจะเป็นชนิด (Glass Electrode) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนการแสดงผลเป็นค่าพีเอช อิเล็กโทรดจะใช้วัดค่าแอกติวิตีของไอออนไฮโดรเจน (Activity of Hydrogen Ions) ที่อยู่รอบผนังบาง ๆ ของกระเปาะแก้วซึ่งอิเล็กโทรดจะให้ค่าความต่างศักย์เล็กน้อยประมาณ 0.06 โวลต์ ต่อหน่วยพีเอช ส่วนเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้เป็นค่าพีเอช



โดยค่าความต้านทานในการวัดมีค่าสูงมากประมาณ 20 ถึง 1000 M $\Omega$  การใช้งานจะต้องปรับเทียบมาตรฐานก่อนการใช้โดยการปรับเทียบกับสารละลาย บัฟเฟอร์มาตรฐาน พีเอช 4, 7 หรือ 10 อย่างน้อย 2 ค่า ที่มีค่าครอบคลุมในช่วงที่เราต้องการวัด วิธีการวัดทำได้โดยล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water) หรือน้ำกลั่น (Distilled Water) และซับด้วยกระดาษทิชชูแล้วรีบจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายที่ต้องการวัดอย่างรวดเร็ว การเก็บอิเล็กโทรดห้ามเก็บแห้งโดยทั่วไปเก็บในสารละลายกรดที่มีพีเอชประมาณ 3 และไม่เก็บหรือแช่ในน้ำกลั่น เพราะว่าไอออนที่อยู่ในอิเล็กโทรดจะแพร่ออกมาทำให้ความเข้มข้นของไอออนภายในอิเล็กโทรดลดลงโดยปกติแล้วควรทำความสะอาดอิเล็กโทรดประมาณเดือนละครั้งโดยการแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (M)



รูปที่ 2.3 pH มิเตอร์ [10]

ตาราง 2.1 ตัวอย่างค่า pH ของสารต่าง ๆ ที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน [10]

สาร	pH	สาร	pH
กรดสารพิษจากเหมืองร้าง	-3.6 - 1.0	ชา	5.5
กรดจากแบตเตอรี่	-0.5	นม	6.5
กรดในกระเพาะอาหาร	1.5 - 2.0	น้ำบริสุทธิ์	7.0
เลม่อน	2.4	น้ำลายมนุษย์	6.5 - 7.4
Coke	2.5	เลือด	7.34 - 7.45
น้ำส้มสายชู	2.9	น้ำทะเล	8.0
ส้ม หรือ แอปเปิ้ล	3.5	สบู่ล้างมือ	9.0 - 10.0
เบียร์	4.5	แอมโมเนีย	11.5
ฝนกรด	< 5.0	น้ำยาปรับผ้านุ่ม	12.5
กาแฟ	5.0	โซดาไฟ	13.5

## 2.5 ความเร็วตัดในงานกลึง

ความเร็วตัดในงานกลึง [11] คือความยาวของเศษโลหะที่ถูกมีดกลึงตัดเฉือนออกมาในขณะที่กลึงว่ามีความยาวกี่เมตรในเวลา 1 นาที ความเร็วตัดจึงมีหน่วยเป็น ม./นาที ซึ่งในการคำนวณก็ใช้หลักการหาเส้นรอบวงของชิ้นงานกลึงคูณด้วยความเร็วรอบของชิ้นงานจึงมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (\text{ม./นาที}) \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนด

V	คือ	ความเร็วตัดงานกลึง (เมตร/นาที)
n	คือ	ความเร็วรอบชิ้นงานกลึง (รอบ/นาที)
d	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของงานกลึง (มม.)

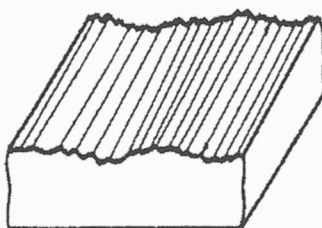
หมายเหตุ : ในสูตรที่หารด้วย 1000 เพราะต้องการเปลี่ยนหน่วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากมิลลิเมตรมาเป็นเมตร



รูปที่ 2.4 ความเร็วตัดงานกลึง [11]

## 2.6 ความขรุขระผิว (Surface Roughness)

ความขรุขระผิวแปลมาจากคำภาษาอังกฤษ “Surface Roughness” [12] หมายถึงขนาดความขรุขระของผิวหากมีความขรุขระมากแสดงว่ามีความหยาบมากหากมีความขรุขระน้อยก็แสดงว่ามีความหยาบน้อยความขรุขระหรือความหยาบจะใช้กับผิวของสแตนเลสแต่บางครั้งอาจใช้คำว่าความเรียบ (Flat) ซึ่งเป็นคำที่อาจทำให้สับสนเพราะความเรียบมักใช้กับแผ่นสแตนเลสแผ่นเรียบหมายถึงแผ่นไม่ค่อยเป็นคลื่น (Wave)



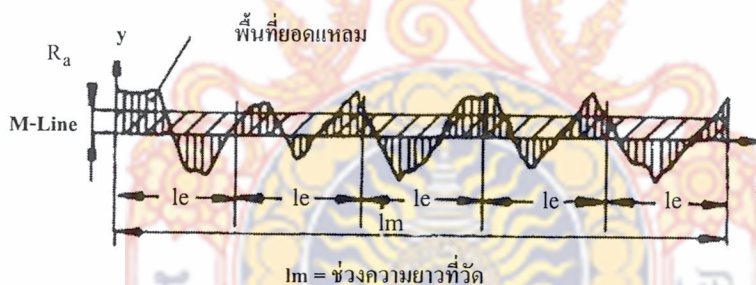
รูปที่ 2.5 ลักษณะของความขรุขระผิว [12]

ด้วยเหตุผลดังกล่าวความขรุขระผิวจึงจัดเป็นสมบัติทางโลหะวิทยาอย่างหนึ่ง ในการวัดความขรุขระผิวจะใช้เครื่องวัดความขรุขระผิวซึ่งปัจจุบันมีหลายแบบหลายยี่ห้อ การวัดค่าความขรุขระผิวอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การวัดความขรุขระผิวโดยเฉลี่ย และการวัดความขรุขระผิวโดยขนาด

### 2.6.1 ประเภทการวัดความขรุขระผิวเฉลี่ย (Average Parameter)

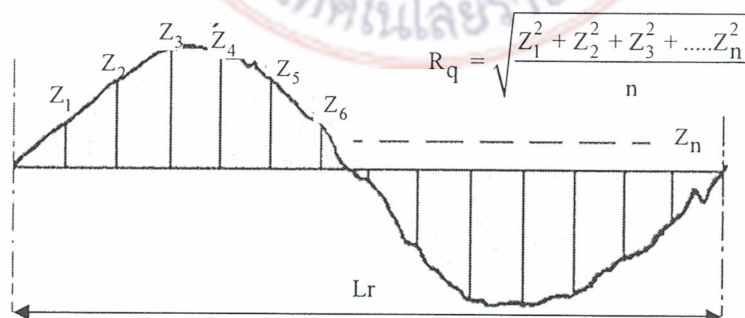
การวัดความขรุขระผิวเฉลี่ยคือ การอาศัยการวัดแล้วคำนวณค่าความขรุขระผิวออกมาเป็นค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยซึ่งจะทำให้เรารู้ระดับความขรุขระโดยรวม แต่ไม่สามารถรู้ลักษณะความคลาดเคลื่อนสูงต่ำของความขรุขระวิธีวัดความขรุขระผิวเฉลี่ย มีดังนี้

1) ความขรุขระผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness Average :  $R_a$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวด้วยค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักอ้างอิงค่านี้ในการกำหนดมาตรฐานความขรุขระผิวการหาค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (lm) โดยที่ค่าของ  $R_a$  มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )



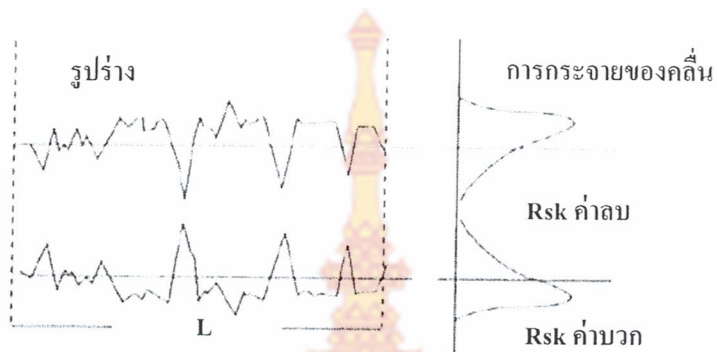
รูปที่ 2.6 ความขรุขระผิวเฉลี่ยเลขคณิต  $R_a$  [12]

2) ความขรุขระผิวเฉลี่ยกำลังสอง (Roughness Root Mean Square :  $R_q$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวด้วยรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของผิวที่วัด



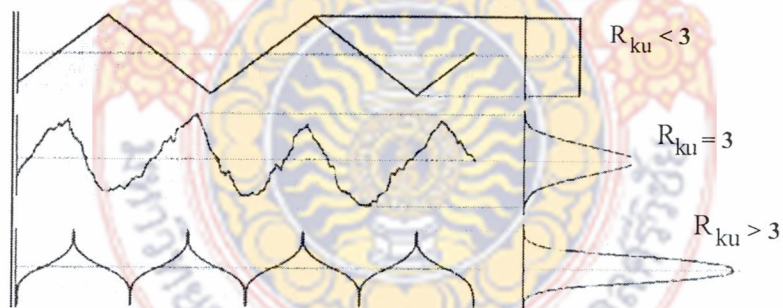
รูปที่ 2.7 ความขรุขระผิวเฉลี่ยกำลังสอง  $R_q$  [12]

3) ความขรุขระผิวเฉลี่ยปริมาณ (Roughness Skewness :  $R_{sk}$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวโดยการวัดปริมาณของยอด และหลุม โดยปริมาณของยอดให้เป็นค่าบวกส่วนปริมาณของหลุมให้เป็นค่าลบหากค่าใดมีมากก็แสดงให้เห็นถึงการมียอดหรือหลุมมากนั่นเอง



รูปที่ 2.8 ความขรุขระผิวเฉลี่ยปริมาณ  $R_{sk}$  [12]

4) ความขรุขระผิวเฉลี่ยรูปร่าง (Roughness Kurtosis :  $R_{ku}$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวโดยแสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างของยอดผิวว่ามีลักษณะยอดโค้งยอดแหลม หรือยอดเรียบ

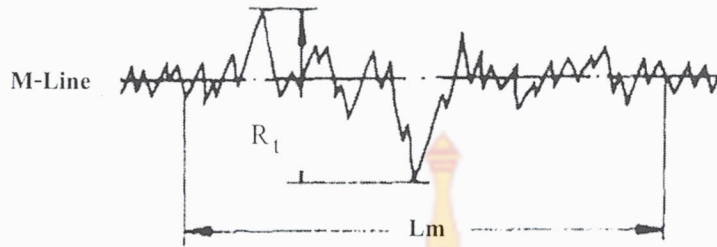


รูปที่ 2.9 ความขรุขระผิวเฉลี่ยรูปร่าง  $R_{ku}$  [12]

2.6.2 ประเภทการวัดความขรุขระผิวโดยขนาด (Amplitude Parameter)

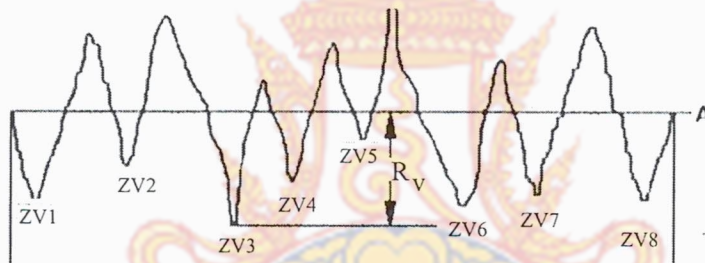
การวัดความขรุขระผิวโดยขนาดคือ การอาศัยการวัดหาค่าสูงต่ำของขนาดความขรุขระของพื้นผิวซึ่งจะทำให้เรารู้รูปลักษณะของความขรุขระได้ชัดเจนกว่าวิธีการวัดความขรุขระผิวโดยขนาด มีดังนี้

1) ความขรุขระผิวขนาดโดยรวม (Roughness Total Height :  $R_t, R_y$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวโดยวัดขนาดความห่างระหว่างยอดสูงสุดถึงหลุมลึกสุดของผิว ค่านี้มีประโยชน์มากตรงที่หากเราต้องการขัดผิวเพื่อขจัดความขรุขระออกให้หมด เราจะรู้ได้ว่าจะต้องขัดผิวลงไปลึกกี่ไมครอน



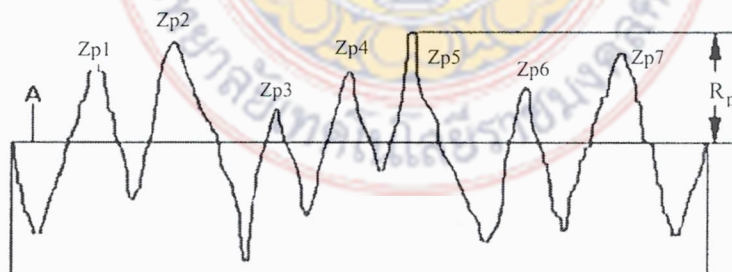
รูปที่ 2.10 ความขรุขระผิวขนาดโดยรวม  $R_t, R_y$  [12]

2) ความขรุขระผิวขนาดหลุมลึกสุด (Roughness Valley :  $R_v$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวโดยวัดขนาดความลึกของหลุมโดยแสดงความลึกหลุมที่มีขนาดลึกที่สุด



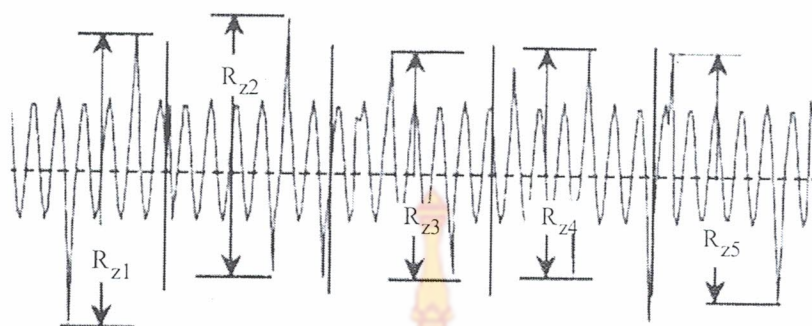
รูปที่ 2.11 ความขรุขระผิวขนาดหลุมลึกสุด  $R_v$  [12]

3) ความขรุขระผิวขนาดยอดสูงสุด (Roughness Peak :  $R_p$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอดโดยแสดงความสูงของยอดที่มีขนาดสูงที่สุด



รูปที่ 2.12 ความขรุขระผิวขนาดยอดสูงสุด  $R_p$  [12]

4) ความขรุขระผิวขนาดโดยเฉลี่ย (Roughness Ten-Point Mean :  $R_z$ ) เป็นการแสดงความขรุขระพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอดกับความลึกของหลุมโดยแสดงขนาดเฉลี่ยของระยะระหว่างความสูงของยอดกับความลึกของหลุมทั้งหมด 5 ชุด การวัดทดสอบเป็นช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ  $R_z$  มีหน่วยเป็นไมโครเมตร



รูปที่ 2.13 ความขรุขระผิวขนาดโดยเฉลี่ย  $R_z$  [12]

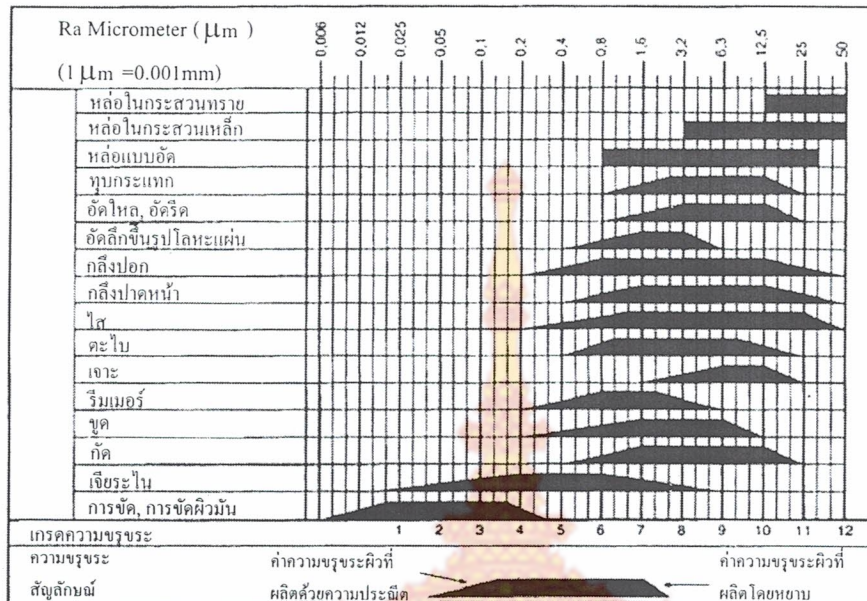
### 2.6.3 พื้นผิวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ [13]

1) การตัดหยาบ (Rough Cutting) หมายถึง การตัดงานที่ต้องการให้งานเสร็จอย่างรวดเร็วแต่ไม่เน้นเรื่องการทำให้อายุการใช้งานต่ำ ไม่เน้นความแม่นยำ หรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน งานส่วนมากในการตัดโดยใช้ใบมีดตัดมักจะเป็นการตัดหยาบใช้ความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง อัตราป้อนสูง และความลึกในการตัดสูง เป็นผลให้ใช้แรงตัดสูงใช้กำลังในการตัดสูง และอาจจะต้องฉีบน้ำยาหล่อเย็นที่มีสมบัติของการหล่อลื่น หรือการลดแรงตัดได้ดี ทั้งนี้เพราะต้องการให้งานเสร็จเร็ว หลังจากงานตัดหยาบแล้วอาจจะต้องมีการตัดละเอียด หรือการเจียรในอีกครั้งหนึ่ง

2) การตัดปานกลาง (Medium Cutting) เป็นการตัดที่ประนีประนอมระหว่างการตัดหยาบ และการตัดละเอียดคือ ต้องการให้งานเสร็จเร็วโดยที่ต้องการให้ความขรุขระผิวน้อยด้วย ซึ่งอาจจะทำได้ในบางกรณีโดยการเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราป้อน และความลึกของการตัดที่เหมาะสม

3) การตัดละเอียด (Fine Cutting) หมายถึง การตัดที่ต้องการให้ค่าความขรุขระที่ต่ำ เน้นความแม่นยำ หรือความละเอียดของผิวสำเร็จของชิ้นงานไม่เน้นให้งานเสร็จอย่างรวดเร็วแต่ถ้าเสร็จรวดเร็วก็เป็นการดีงานในลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นงานในขั้นตอนต่อเนื่องจากการตัดหยาบ หรือเป็นการตัดครั้งสุดท้าย ใช้ความเร็วในการตัดสูง หรือต่ำ ก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม อัตราป้อนต่ำ และความลึกในการตัด

4) การตัดละเอียดยิ่ง (Ultra-Fine Machining) ในการตัดชิ้นงานบางอย่าง เช่น การกลึงเลนส์ การกลึงอะลูมิเนียมให้พื้นผิวสำเร็จเป็นมันวาวคล้ายกระจก ค่าความขรุขระจะน้อยมากเป็นพิเศษ การจำแนกประเภทของการตัดอาจจำแนกโดยค่าความขรุขระของผิวสำเร็จดังนี้



รูปที่ 2.14 ลักษณะพื้นผิวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิต [13]

- การตัดหยาบ  $R_a$  ตั้งแต่ 12.5 ไมโครเมตร ขึ้นไป
- การตัดปานกลาง  $R_a$  ระหว่าง 0.8-12.5 ไมโครเมตร
- การตัดละเอียด  $R_a$  ระหว่าง 0.2-0.8 ไมโครเมตร
- การตัดละเอียดยิ่ง  $R_a$  ตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร ลงไป

#### 2.6.4 ลักษณะทั่วไปของพื้นผิว

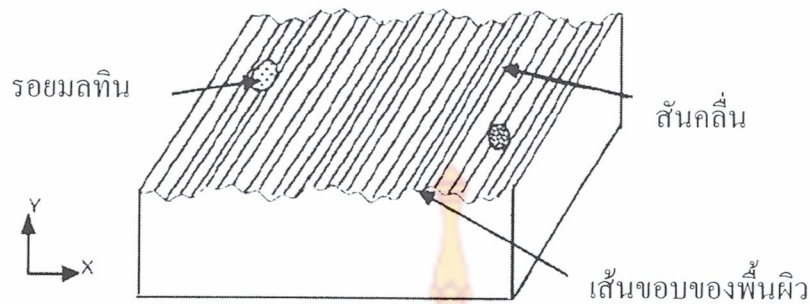
1) พื้นผิว (Surface) หมายถึง ส่วนนอกสุดของวัตถุที่จะต้องสัมผัสกับอากาศ (Space) หรือสัมผัสเกี่ยวข้องกับวัตถุอื่นพื้นผิวของวัตถุส่วนมากจะมีลักษณะเป็นเหมือนเกลียวคลื่นที่มีความยาวคลื่นยาวผสมกับละลอกคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น

2) พื้นผิวสำเร็จ (Finish Surface) หมายถึง พื้นผิวที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต เช่น พื้นผิวชิ้นงาน หรือชิ้นส่วนที่ได้จากการกลึง ไส กัด เจาะ หรือแม้กระทั่งกรรมวิธีที่ไม่ใช่การตัด เช่น การหล่อ การรีด การอัด เป็นต้น

3) ความเป็นคลื่น (Waviness) หมายถึง การเกิดคลื่นที่มีช่วงความยาวคลื่น ส่วนมากจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) จึงอาจแสดงได้โดยขนาดแอมพิจูด (Amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่นความขรุขระหมายถึง ละลอกคลื่นสั้นความขรุขระอาจแสดงได้โดยขนาดของคลื่น และโดยความยาวของคลื่นขอบเส้น เป็นแสดงพื้นผิวเมื่อถูกตัดตามขวาง

4) ความขรุขระผิว หมายถึง ละลอกคลื่นที่มีช่วงคลื่นสั้นความขรุขระผิวอาจแสดงได้โดยขนาดของคลื่น และโดยความยาวคลื่น

5) เส้นขอบ (Profile) เป็นเส้นแสดงพื้นผิวเมื่อถูกตัดตามขวาง



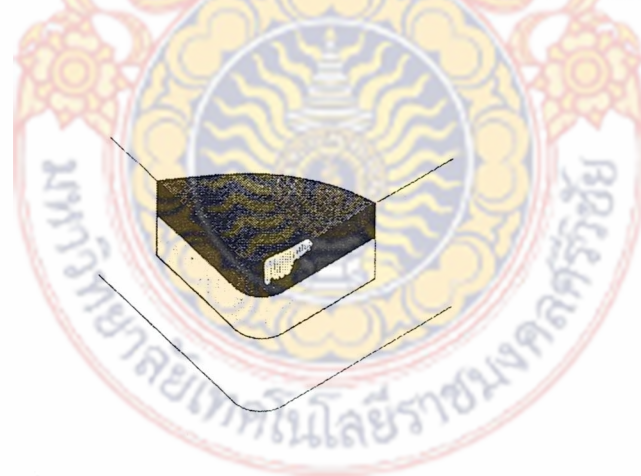
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างพื้นผิวสำเร็จ [13]

## 2.7 การสึกหรอของคมตัดมีดกลึง

การสึกหรอบนคมตัดของมีดกลึง [14] สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอ คือ การสึกหรอบนผิวหลบ การสึกหรอบนผิวคาย และการสึกหรอที่ปลายมีด

### 2.7.1 การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear)

การสึกหรอบนผิวหลบจะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดการสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนเมื่อการสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นมากก็จะมี การขัดสีเพิ่มขึ้นทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย

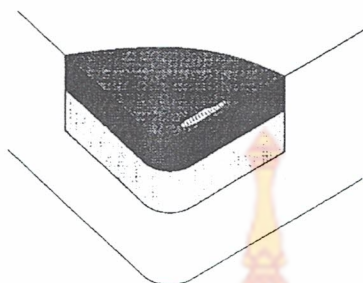


รูปที่ 2.16 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ [14]

### 2.7.2 การสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear)

การสึกหรอบนผิวคาย จะมีลักษณะเป็นหลุม หรือเป็นร่องลึกเกิดใกล้ ๆ กับคมตัด การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการขัดสีของเศษโลหะบนผิวคายของมีดกลึงเมื่อการสึกหรอบนผิวคายที่เกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้





รูปที่ 2.17 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย [14]

### 2.7.3 การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose Wear)

การสึกหรอที่ปลายมีดเป็นการสึกหรอที่ปลายมีดกึ่งหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกึ่งกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนการสึกหรอที่ปลายมีดบนคมตัดจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผิวชิ้นงาน



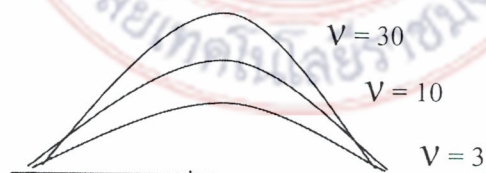
รูปที่ 2.18 การสึกหรอที่ปลายมีด [14]

### 2.7.4 ลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนคมตัดแบบต่าง ๆ

- 1) การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear)
- 2) การสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear)
- 3) การสึกหรอเนื่องจากการเปลี่ยนรูป (Plastic Deformation)
- 4) การสึกหรอลักษณะแหว่ง (Notch Wear)
- 5) การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking)
- 6) การแตกเนื่องจากการล้าตัว (Fatigue)
- 7) การกะเทาะ (Chipping)
- 8) การแตกหัก (Fracture)
- 9) การพอกเศษ (Built - Up Edge)

2.8 การทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย กรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวน ปัจจุบันได้มีการทำวิจัยกันอย่างแพร่หลายในด้านวิทยาศาสตร์ การเกษตร การแพทย์ ธุรกิจ เศรษฐศาสตร์ สังคม และการศึกษาซึ่งการวิจัยเป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ข้อเท็จจริงหรือคำตอบของปัญหาในด้านต่าง ๆ โดยการค้นคว้ารวบรวมข้อมูลหรือทดลองวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายจากผลวิเคราะห์ T- test ซึ่งเป็นที่รู้จักโดยทั่วไปในกลุ่มนักวิจัยว่าเป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคำตอบของปัญหาวิจัยวิธีหนึ่ง ตัวอย่างปัญหาวิจัยที่ใช้ T- test ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนสอนกันเองผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้โดยใช้แบบฝึกทักษะการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ และความคงทนการเรียนรู้คำศัพท์วิชาภาษาอังกฤษจากการสอนโดยใช้แบบฝึกทักษะที่มีเกมส์ และไม่มีเกมส์ประกอบการโฆษณาสินค้าเพิ่มยอดขายสินค้านั้นเปรียบเทียบการลดน้ำหนักโดยใช้วิธีการออกกำลังกายกับวิธีควบคุมอาหาร เป็นต้น

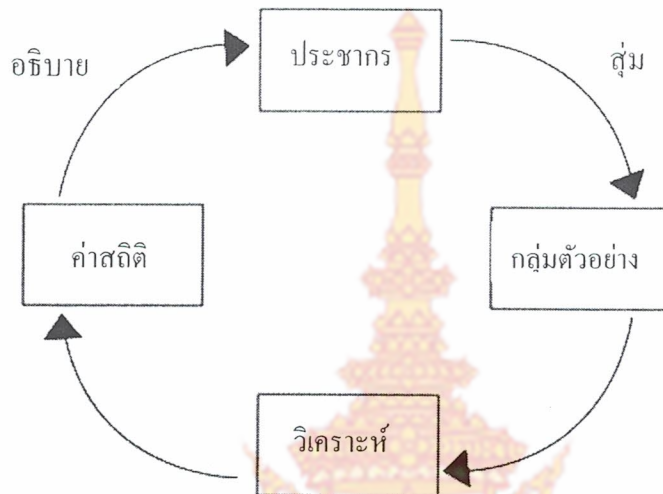
T- test เป็นวิธีการทดสอบทางสถิติที่ให้ค่า T [15] หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ (Test Statistic Value) ค่าหนึ่งที่ใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ตัวแปร (Variable) ของค่า T มีการแจกแจง T (T Distribution) ค้นพบโดยนักสถิติชื่อ วิลเลียม กอสเสต (William Gosset) ในปี ค.ศ. 1908 ขณะที่เข้าทำงานในบริษัทพิมพ์หนังสือซึ่งบริษัทแห่งนี้ไม่อนุญาตให้พิมพ์ผลงานที่วิลเลียมค้นพบเพื่อหลีกเลี่ยงข้อห้ามดังกล่าว วิลเลียมจึงนำผลงานนี้ไปพิมพ์ในนามสตีวเดนท์ (Student) ดังนั้นการแจกแจง T จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจง T ของสตีวเดนท์ (Student' S T Distribution) ลักษณะโค้งการแจกแจง T เป็นรูประฆังคว่ำคล้ายกับการแจกแจงปกติแต่โค้งลาดต่ำกว่าความสูงของโค้งขึ้นอยู่กับระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) สัญลักษณ์เขียนแทนด้วย  $V$  เมื่อ  $V$  มีค่าเพิ่มขึ้นการแจกแจง T ประมาณได้ดีด้วยการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ตัวแปรของค่า T มีความสัมพันธ์กับตัวแปรสองตัวที่ตัวหนึ่งมีการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ และอีกหนึ่งตัวแปรมีการแจกแจงไคสแควร์ (Chi Square Distribution)



รูปที่ 2.19 การแจกแจงปกติ [15]

Test ในที่นี้หมายถึง การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ [15] (Test of a Statistical Hypothesis) เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาวิชาสถิติจัดอยู่ในประเภทสถิติอ้างว่า (Inferential Statistic) โดยอาศัยแนวคิดของทฤษฎีความน่าจะเป็น (Theory of Probability) ซึ่งเป็นการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง (Sample) ที่สุ่มมาจากกลุ่มประชากร (Population) นำข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

มาวิเคราะห์ค่าที่วิเคราะห์ได้จากกลุ่มตัวอย่างนี้เรียกว่า ค่าสถิติ (Statistic) และนำค่าสถิตินี้ไปสรุปอ้างอิงคุณลักษณะของประชากร หรือ ค่าพารามิเตอร์ (Parameter)



รูปที่ 2.20 ผังมโนทัศน์สถิติอ้างอิง [15]

สมมติฐาน หมายความว่า ข้อคิดเห็นหรือถ้อยแถลงที่ใช้เป็นมูลฐานแห่งการหาเหตุผล การทดลองหรือการวิจัย สมมติฐานเป็นคำตอบที่ผู้วิจัยคาดการณ์หรือพยากรณ์ว่าจะเกิดขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้แล้วใช้กระบวนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติตรวจสอบคำตอบว่าเป็นไปตามที่คาดการณ์หรือไม่ การตั้งสมมติฐานมี 2 ข้อ ซึ่งเรียกว่าสมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) เขียนแทนด้วย  $H_0$  และสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) เขียนแทนด้วย  $H_a$  มีหลักการเขียนสมมติฐานดังนี้ เป็นข้อความกะทัดรัดชัดเจนสอดคล้องกับจุดประสงค์ของงานวิจัยหรือเขียนในรูปของสมการ และสมการที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ของประชากร (Parameter) ซึ่งข้อความใน  $H_0$  และ  $H_a$  มีความขัดแย้งกันการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาเหตุผลสนับสนุน  $H_0$  หรือ  $H_a$  อย่างไม่อย่างหนึ่ง

#### 2.8.1 วัตถุประสงค์ในการใช้ค่าสถิติ T-test

การเลือกใช้ค่าสถิติ T ในการทดสอบ เมื่อมีจุดประสงค์ดังนี้

##### 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้ค่าสถิติ T มี 3 วิธีดังนี้

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับเกณฑ์ที่กำหนดโดยสุ่มเก็บข้อมูลหนึ่งชุด (Single Sample)
- การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ชุดที่มีความสัมพันธ์กัน (Related Samples)
- การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูล 2 ชุดที่อิสระกัน (Independent Samples)

2) เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

### 2.8.2 ข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้สถิติ T- test

- 1) ข้อมูลมีลักษณะเป็นปริมาณ มีมาตราวัดอัตราส่วน (Ratio Scale) หรือ อินตรภาค (Interval Scale)
- 2) ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ
- 3) ไม่ทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

### 2.8.3 ในกรณีที่ไม่มีข้อตกลงกับข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

1) ถ้าประชากรมีการแจกแจงใด ๆ และมีจำนวนตัวอย่างมากพอ (Large Sample Size) สามารถเลือกใช้ค่าสถิติ T หรือค่าสถิติ Z ทดสอบได้เมื่อตัวแปรของค่าสถิติ Z มีการแจกแจงปกติค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีขีดจำกัดกลาง (Central Limit Theorem) ที่กล่าวว่า ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง X ไม่ว่าจะสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงใด ๆ เมื่อจำนวนตัวอย่างมากพอการแจกแจงของตัวแปรของ X ประมาณ (Approximate) ได้ดีด้วยการแจกแจงปกติ

2) ถ้าประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ และจำนวนตัวอย่างน้อย หรือ ข้อมูลมีลักษณะเป็นคุณภาพมีมาตราวัดนามบัญญัติ (Nominal Scale) หรือเรียงลำดับ (Ordinal Scale) ควรใช้กระบวนการที่เรียกว่าการแจกแจงอิสระ (Distribution Free) หรือไม่มีพารามิเตอร์ (Nonparametric) ได้แก่ Sign Test , Wilcoxon Rank-Sum Test , Mann Whitney Test , Wilcoxon Signed – Rank Test

### 2.8.4 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน T- test

#### ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติมีดังนี้

1. เริ่มแรกต้องทำการทดสอบข้อมูลทั้งสองกลุ่มเสียก่อนว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ จากข้อมูลทั้งสองกลุ่มผลการทดสอบได้จากโปรแกรม Microsoft Excel, Spss หรือ โปรแกรม Minitab

2) การทดสอบความแปรปรวนของประชากรว่าเท่ากันหรือไม่  
เมื่อทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติแล้วต้องทราบด้วยว่าความแปรปรวนของข้อมูล 2 กลุ่ม ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel, Spss, Minitab หรือโดยการใช้การทดสอบสถิติทดสอบ F- test จากสูตร

- คำนวณหาค่าสถิติ F จากสมการ

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.2)$$

และ

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.3)$$

โดยที่  $S_1^2 > S_2^2$   $df_1 = n_1 - 1$  ,  $df_2 = n_2 - 1$   
ให้  $n_1$  คือ จำนวนตัวอย่าง กลุ่มที่ 1

$n_2$	คือ	จำนวนตัวอย่าง กลุ่มที่ 2
$X_1$	คือ	ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง กลุ่มที่ 1
$X_2$	คือ	ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง กลุ่มที่ 2
$S_1^2$	คือ	ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง กลุ่มที่ 1
$S_2^2$	คือ	ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง กลุ่มที่ 2
$\mu_1$	คือ	ค่าเฉลี่ยของประชากร กลุ่มที่ 1
$\mu_2$	คือ	ค่าเฉลี่ยของประชากร กลุ่มที่ 2

### 3. กำหนดสมมติฐาน

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

### 4. คำนวณค่า T จากสมการ การทดสอบ T- test

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\text{Sp} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.4)$$

และ

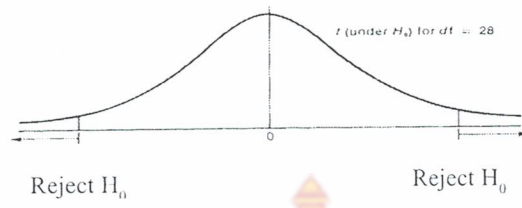
$$\text{Sp}^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.5)$$

5. คำนวณหา df กรณีที่ใช้ (T-Distribution) ในการทดสอบสมมติฐาน จำเป็นต้องรู้ค่า (Degree of freedom)

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (2.6)$$

### 6. สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานที่จะใช้สำหรับทดสอบนี้ก็คือ ผลต่าง ( $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ) ซึ่งจริงๆ ควรจะเท่ากับ 0 เราถึงจะยอมรับสมมติฐานหลัก แต่เราใช้หลักซึ่งจริงๆ ควรจะเท่ากับ 0 เราถึงจะยอมรับสมมติฐานหลักแต่เราใช้หลัก (Confidence Interval) ก็จะได้ว่า ผลต่างที่ไม่เท่ากับ 0 แต่น้อย หรือมากกว่าในระดับหนึ่งภายใน (Interval) นั้นเราจะยังยอมรับสมมติฐานหลัก



รูปที่ 2.21 การแจกแจง T (T-Distribution) [15]



### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาการนำน้ำมะพร้าวมาใช้ในการหล่อเย็นของกระบวนการกลึงเป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบหาคุณภาพด้านความขรุขระผิว และการสึกหรอของคมตัดที่ใช้ น้ำมะพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงชิ้นงาน

#### 3.1 แผนการดำเนินงาน

ใช้เวลา 8 เดือน ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2554 ถึงเดือน พฤษภาคม 2555

ตาราง 3.1 แผนการดำเนินงานของโครงการ

ขั้นตอนดำเนินงาน	พ.ศ. 2554			พ.ศ. 2555					
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	P	← - - - - - →							
	A	← - - - - - →							
2. ออกแบบการทดลอง	P	← - - - - - →							
	A	← - - - - - →							
3. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์	P	← - - - - - →							
	A	← - - - - - →							
4. ทำการทดลอง	P	← - - - - - →							
	A	← - - - - - →							
5. วิเคราะห์และสรุปผล	P					← - - - - - →			
	A					← - - - - - →			
6. จัดทำรายงานของโครงการ	P					← - - - - - →			
	A					← - - - - - →			
7. จัดพิมพ์เอกสารรายงาน	P							← - - - - - →	
	A							← - - - - - →	
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	P								← - - - - - →
	A								← - - - - - →

P ← - - - - - → แสดงแผนการดำเนินงาน

A ← - - - - - → แสดงการดำเนินงานจริง

#### 3.2 การออกแบบการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การออกแบบการทดลองนำน้ำมะพร้าวมาใช้ในการหล่อเย็นของกระบวนการกลึง ผู้ทดลองได้ให้ความสำคัญกับการกำหนดปัจจัย และระดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพโดยสามารถกำหนดได้จากข้อมูลทางเทคนิคของเม็ดมีด

### 3.2.1 การออกแบบการทดลอง

การทดลองเปรียบเทียบสารหล่อเย็นสองชนิด คือ น้ำมันพรัว และน้ำมันตัดกลึง ชนิดผสมน้ำใช้เป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงชิ้นงาน โดยมีการกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวของชิ้นงานซึ่งได้แก่ อัตราป้อน ความเร็วตัด ความลึก และสารที่นำมาใช้หล่อเย็น จากนั้นกำหนดระดับ และตัวแปรที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีตัวแปรผัน คือ สารหล่อเย็น ในกระบวนการทดลองผู้ทดลองได้ออกแบบกระบวนการทดลองดังนี้ ระดับปัจจัยที่กำหนด คือ อัตราป้อน 0.10, 0.14, 0.18 และ 0.25 มม./รอบ ความเร็วตัด 195, 215, 235 และ 255 ม./นาที และความลึก 0.4, 0.6 และ 1 มม. โดยทำการสุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 15 เพื่อให้ข้อมูลเป็นอิสระต่อกันกลึงชิ้นงานด้วยปัจจัย และระดับที่กำหนดตามลำดับที่ได้จากการสุ่ม วัดค่าความขรุขระผิวชิ้นงานกลึง วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความขรุขระผิว และลักษณะการสึกหรอของคมตัดโดยมีเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

### 3.2.2 สารหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลอง

น้ำมันพรัว ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำกะทิ ดังรูปที่ 3.1 (ก) น้ำมันพรัว ในสภาวะปกติมีค่าพีเอสประมาณ 5.2 ซึ่งมีค่าเป็นกรดส่งผลให้โลหะเกิดการเป็นสนิมได้ จึงได้มีการปรับค่าพีเอสของน้ำมันพรัวก่อนนำมาใช้โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 10 % โดยผสมน้ำมันพรัว และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 1 ล. : 4 มล. น้ำมันพรัวที่ผ่านการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าพีเอสประมาณ 7.48 ซึ่งมีสภาวะเป็นกลางช่วยป้องกันการเกิดสนิมได้ และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำยี่ห้อ Shell Dromus Oil B ดังรูปที่ 3.1 (ข) เป็นสารหล่อเย็นประเภทน้ำมันสบู่มผสมน้ำเป็นสีขาว คล้ายน้ำมันมีคุณสมบัติการหล่อลื่น การระบายความร้อน และการป้องกันสนิม การใช้งานเอนกประสงค์เบาถึงปานกลางเหมาะสำหรับงาน เจาะ กลึง กัด หรือเลื่อย ใช้กับโลหะอ่อนถึงแข็งปานกลางทุกชนิดเช่น เหล็ก ทองเหลือง บรอนซ์ และอลูมิเนียม รวมทั้งการใช้งานในอุตสาหกรรมขึ้นรูปท่อ อัตราส่วนผสมน้ำใช้งาน 3-5 % หรือ น้ำมัน 1.2 ลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร [17]



(ก) น้ำมันพรัว



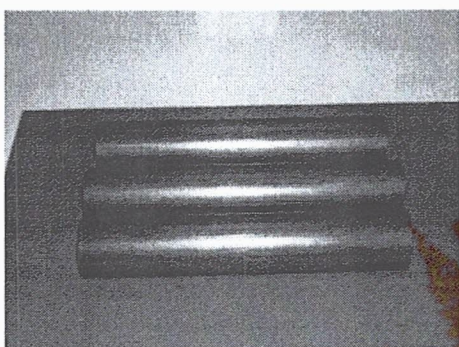
(ข) ชนิดของน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ

รูปที่ 3.1 สารหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลอง



### 3.2.3 ชิ้นงานทดลอง และวัสดุคมตัด

ชิ้นงานทดลองเพลากลึงเหล็กกล้า ST 37 ดังรูปที่ 3.2 (ก) เหล็กกล้าคาร์บอนที่สามารถทนแรงดึงได้สูงสุด 37 กก./มม. เป็นเหล็กเพลากลึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. เม็ดมีดกลึง Insert ยี่ห้อ Kennametal รุ่น KC9110 ดังรูปที่ 3.2 (ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดมีด 12.70 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูใน 5.16 มม. รัศมีของมุมเม็ดมีด 0.80 มม. ความยาวของหน้าคมตัด 8.69 มม. ความหนาของเม็ดมีด 4.76 มม. ค่าความเร็วตัดของเม็ดมีด 400 ม./นาที ค่าของอัตราป้อน 0.10 - 0.40 มม. ค่าความลึก 0.25 - 1.60 มม. [18]



(ก) ลักษณะของชิ้นงานกลึงทดลอง



(ข) เม็ดมีดกลึง INSERT

### รูปที่ 3.2 วัสดุชิ้นงานและวัสดุคมตัด

### 3.2.4 เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

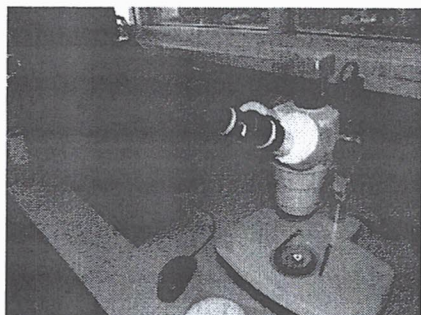
การทดลองนำน้ำมะพร้าวมาใช้ในการหล่อเย็นของกระบวนการกลึงผู้ทดลองต้องให้ความสำคัญกับเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้ผลที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือผู้ทดลองจึงได้เลือกใช้เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่มีความทันสมัยโดยมีเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้



(ก) เครื่องกลึงอัตโนมัติ



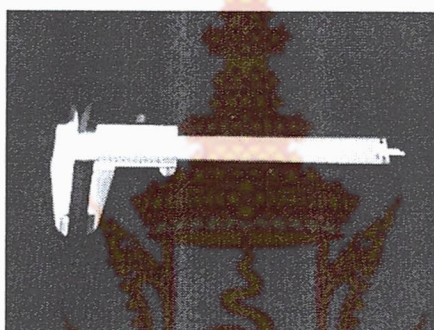
(ข) เครื่องวัดความขรุขระผิว



(ค) กล้องจุลทรรศน์



(ง) เครื่องวัดค่า pH



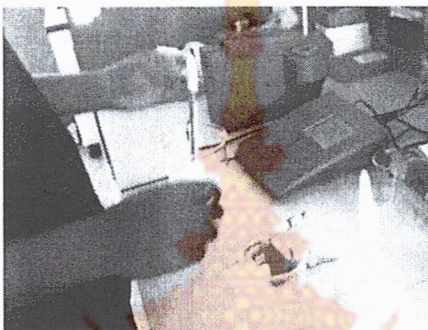
(จ) เวอร์เนียคาลิปเปอร์

### รูปที่ 3.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ HASS CNC รุ่น SL – 20 ดังรูปที่ 3.3 (ก) ปีที่เริ่มใช้งาน 2552 เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SurfTest 301 ดังรูปที่ 3.3 (ข) ใช้วัดค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานระยะสูงสุดในการวัด 12.5 มม. ความละเอียดที่วัดได้ 350 ไมโครเมตร ลักษณะของการวัดเป็นแบบหัวกดเคลื่อนที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกด 0.25 และ 0.5 มม./วินาที กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereoscopic Microscope) ยี่ห้อ Motic Microscopes รุ่น Moticam 2000 ดังรูปที่ 3.3 (ค) ความละเอียด 2 ล้านพิกเซล ใช้ส่องดูการสึกหรอของคมตัดเป็นกล้องชนิดเลนส์ประกอบที่ทำให้เกิดภาพ 3 มิติ ใช้ศึกษาวัตถุที่ไม่สามารถแยกรายละเอียดด้วยตาเปล่า เครื่องวัดค่าความเป็นกรด (PH Meter) ยี่ห้อ PH – WTW รุ่น Inolap PH 720 ดังรูปที่ 3.3 (ง) เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ใช้วัดค่าพีเอช หรือค่าความเป็นกรด และต่างของสารละลาย มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนได้แก่ Probe หรือ อิเล็กโทรดและเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (Meter) อิเล็กโทรดที่พบได้ในห้องปฏิบัติการส่วนมากแล้วจะเป็นชนิด(Glass Electrode) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนการแสดงผลเป็นค่าพีเอช เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 530-104 ดังรูปที่ 3.3 (จ) สเกลแบบ 0.05 มม. มีสเกลชุดบนและชุดล่าง สามารถใช้วัดได้ทั้งขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และภายใน ความลึกของชิ้นงาน และขนาดของวัตถุที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได ระยะที่วัดได้ 0 - 150 มม.

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง

3.3.1 เมื่อได้น้ำมะพร้าวมาแล้ว จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมะพร้าวให้มีค่าเป็นกลางโดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปทดลองเพราะอาจจะส่งผลให้เครื่องจักรเกิดการเป็นสนิมได้ และทำการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH Meter) ยี่ห้อ PH – WTW รุ่น Inolap PH 720 ดังรูปที่ 3.4



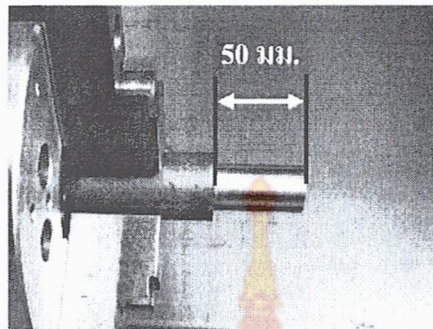
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการปรับค่า pH ของน้ำมะพร้าว

3.3.2 ทำการกรึงด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์โดยการนำชิ้นงานที่เตรียมไว้จับชิ้นงานด้วยปากจับชิ้นงานยาว 80 มม. ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการจับชิ้นงานกลึง

3.3.3 การกรึงปกชิ้นงานด้วยปัจจัยที่กำหนดความยาว 50 มม. ที่ใช้สารหล่อเย็นทั้งสองชนิดในการกรึงโดยกำหนดความเร็วรอบของเครื่องจักรไม่ให้เกินค่าความเร็วรอบสูงสุดที่เครื่องจักรจะทำงานได้ คือไม่เกิน 3500 รอบ/นาที ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการกลึงชิ้นงานชิ้นแรก

3.3.4 วัดค่าความขรุขระผิว  $R_a$  ด้วยเครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SurfTest 301 ดังรูปที่ 3.7 (ก) วัดค่าความขรุขระผิวจำนวน 3 ตำแหน่ง คำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อลดค่าความแปรปรวนของการวัดชิ้นงาน และตำแหน่งของการวัดบนพื้นผิวชิ้นงานทำมุมกัน 120 องศา ดังรูปที่ 3.7 (ข) ทำจนครบทุกลำดับของการทดลอง



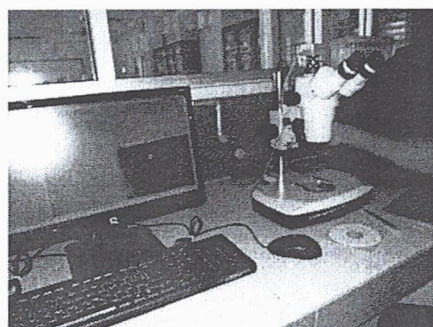
(ก) ลักษณะการวัดค่าความขรุขระผิว



(ข) ตำแหน่งการวัดความขรุขระผิว

รูปที่ 3.7 การวัดค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน

3.3.5 วัดค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การตรวจสอบลักษณะการสึกหล่อของคมตัด

3.3.6 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดโดยใช้การทดสอบทางสถิติ T-test กรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ทราบว่าค่าความแปรปรวนเท่ากัน เปรียบเทียบการสึกหรอของคมตัด และสรุปผลการทดลอง



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

การทดลองเพื่อเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยการทดสอบสถิติ T- test และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 15

#### 4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการกลึงชิ้นงานของสารหล่อเย็นสองชนิดโดยผ่านกระบวนการกลึงในระดับปัจจัยที่กำหนดแบบเดียวกันทั้งสองกลุ่ม ทำการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างโดยการวัดความขรุขระผิวของชิ้นงานจำนวน 3 ตำแหน่ง คำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล ตัวอย่างของการกลึงด้วยสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด มีจำนวน 48 ครั้ง

ตาราง 4.1 ผลการทดลองที่ใช้ น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ และน้ำมันพรัวในการหล่อเย็น

ครั้งที่	ค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็น	
	น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ( $\mu\text{m}$ )	น้ำมันพรัว ( $\mu\text{m}$ )
1	2.447	2.663
2	2.073	2.920
3	1.820	2.790
4	2.237	3.383
5	2.500	2.967
6	0.807	2.370
7	2.957	3.177
8	1.357	2.847
9	2.357	2.323
10	1.500	2.600
11	2.457	3.020
12	1.733	3.100
13	3.110	2.103

ตาราง 4.1 ผลการทดลองที่ใช้ไขมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ และน้ำมะพร้าวในการหล่อเย็น (ต่อ)

ครั้งที่	ค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็น	
	น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ( $\mu\text{m}$ )	น้ำมะพร้าว ( $\mu\text{m}$ )
14	3.210	2.310
15	2.723	2.683
16	2.360	3.177
17	2.230	2.167
18	1.723	2.720
19	1.807	2.793
20	2.553	3.097
21	3.137	1.927
22	2.963	2.697
23	1.707	2.290
24	2.897	1.840
25	3.450	2.077
26	2.093	2.017
27	3.567	2.423
28	2.153	2.220
29	2.893	2.607
30	1.967	2.230
31	2.230	1.630
32	1.717	3.257
33	2.280	3.570
34	2.933	2.443
35	2.070	2.077
36	2.930	2.147
37	1.937	3.820
38	3.527	3.003
39	3.357	2.883

ตาราง 4.1 ผลการทดลองที่ใช้น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ และน้ำมะพร้าวในการหล่อเย็น (ต่อ)

ครั้งที่	ค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็น	
	น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ( $\mu\text{m}$ )	น้ำมะพร้าว ( $\mu\text{m}$ )
40	3.613	2.757
41	2.583	4.053
42	3.207	2.397
43	2.323	2.760
44	2.177	3.610
45	2.723	3.447
46	3.250	2.473
47	3.447	2.313
48	2.247	3.507

#### 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยความขรุขระผิวจากการทดลองที่ใช้ น้ำมะพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ เป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงชิ้นงาน ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลโดยใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้ T-test สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณา คือ ความเป็นปกติของข้อมูลว่ามีการแจกแจงที่เป็นปกติหรือไม่ และต้องทราบว่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองกลุ่มเท่ากัน หรือไม่ และในการทดสอบว่าความแปรปรวนของประชากรจะแตกต่างกันหรือไม่นั้นจะต้องใช้การทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติทดสอบ F-test เมื่อทราบว่าค่าความแปรปรวนของประชากรเท่ากันจึงเลือกใช้สถิติทดสอบ T-test กรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวน แต่ทราบว่าค่าความแปรปรวนเท่ากันในการทดสอบสมมติฐานของการทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยคำนวณจากสูตรสถิติ และจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 15

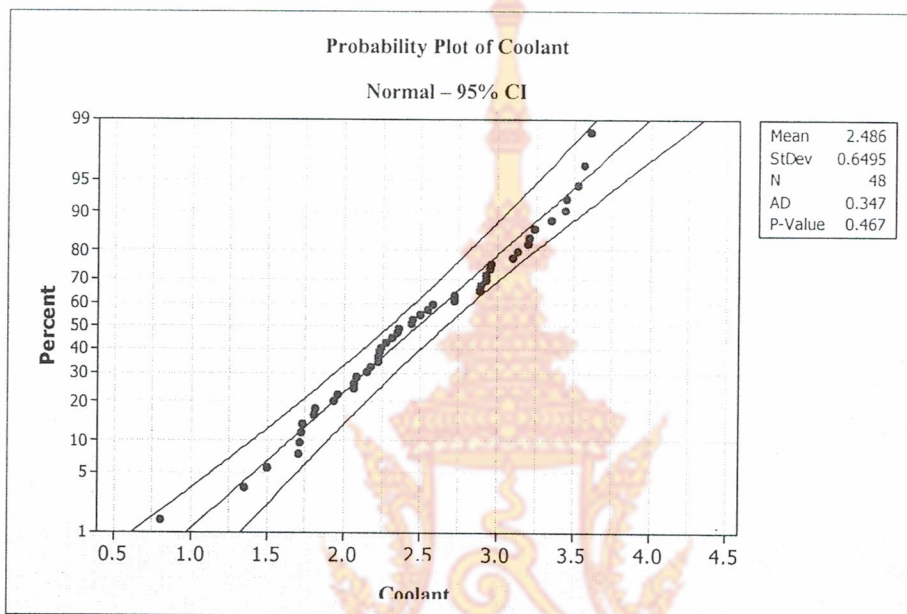
##### 4.2.1 การวิเคราะห์โดยคำนวณจากสูตรสถิติ

###### 1) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

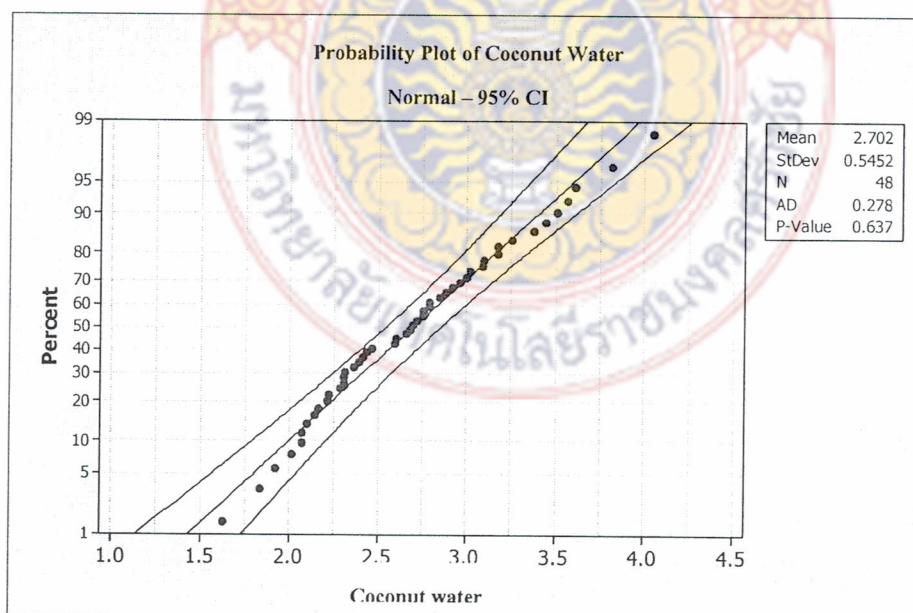
การสุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่งออกมาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) โดยปกติกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวก็จะมีกระจายแบบปกติ แต่ก็มีโอกาสที่จะเป็นไปได้ว่าตัวอย่างที่สุ่มมาจะมีการกระจายตัวไม่เป็นแบบปกติ (Non-Normal Distribution) เมื่อใดก็ตามที่ต้องการนำข้อมูลของสิ่งตัวอย่างไปทำการอนุมานถึงประชากรแม่ เราจะต้องแน่ใจว่าข้อมูลดังกล่าวมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติเสมอหากไม่เช่นนั้นการทดสอบสมมติฐานก็จะให้ผลคลาดเคลื่อนตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงไม่อาจยอมรับได้ การทดสอบว่าข้อมูลของสิ่งตัวอย่างที่ได้มานั้นมีการกระจายแบบปกติ หรือไม่ จึงเป็นสิ่งที่สำคัญดังนั้นจึงนำข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดว่ามีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ หรือไม่ จากการ



ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 15 สรุปได้ว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดมีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal Distribution)



รูปที่ 4.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ



รูปที่ 4.2 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลน้ำมะพร้าว

จากกราฟ Probability Plot ของทั้งสองกลุ่มดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะสรุปได้ว่า ข้อมูลค่าความขรุขระผิวของน้ำหล่อเย็นทั้งสองชนิดที่สุ่มตัวอย่างมานั้นมีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) ข้อมูลมีการเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และข้อมูลไม่ออกนอกเส้นควบคุม

## 2) การทดสอบความแปรปรวนของประชากรว่าเท่ากันหรือไม่

เมื่อทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติแล้วต้องทราบด้วยว่า ความแปรปรวนของสารหล่อเย็น 2 กลุ่ม ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ จะทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ F-Test ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ F-test  
กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน  
ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ  
ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

และ

$n_1$	คือ	จำนวนตัวอย่าง กลุ่มที่ 1
$n_2$	คือ	จำนวนตัวอย่าง กลุ่มที่ 2
$X_1$	คือ	ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง กลุ่มที่ 1
$X_2$	คือ	ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง กลุ่มที่ 2
$S_1^2$	คือ	ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง กลุ่มที่ 1
$S_2^2$	คือ	ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง กลุ่มที่ 2
$\mu_1$	คือ	ค่าเฉลี่ยของประชากร กลุ่มที่ 1
$\mu_2$	คือ	ค่าเฉลี่ยของประชากร กลุ่มที่ 2

- กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

- กำหนดนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$
- คำนวณหาค่าสถิติ F จากสูตร การทดสอบความแปรปรวน F-Test

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.2)$$

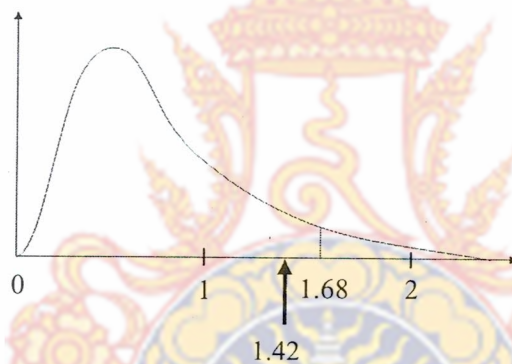
โดยที่  $S_1^2 > S_2^2$   $df_1 = n_1 - 1$  ,  $df_2 = n_2 - 1$   
และ

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (2.3)$$

$$= \frac{0.65^2}{0.545^2}$$

$$\therefore = 1.42$$

- ค่า F วิกฤต จากตารางการแจกแจง F-Distribution เมื่อ  $\alpha = 0.05$  และ  $v_1 = 48 - 1 = 47$ ,  $v_2 = 48 - 1 = 47$  จะได้  $F_{(0.05,47,47)} = 1.68$



รูปที่ 4.3 การแจกแจง F-Distribution เมื่อ  $F_{(0.05,47,47)} = 1.68$

- สรุปการทดสอบความแปรปรวน

เมื่อ  $F < F_{(0.05,47,47)}$  ( $1.42 < 1.68$ ) ดังรูปที่ 4.3 จึงไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่าความแปรปรวนของประชากรไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### 3) การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น

เมื่อทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและมีค่าความแปรปรวนที่เท่ากันโดยใช้การทดสอบสถิติ T-test กรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ทราบค่าความแปรปรวนเท่ากัน มีขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติดังนี้

- กำหนดสมมติฐาน

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

- กำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

- คำนวณค่าสถิติ T จากสมการ การทดสอบ T- test

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.4)$$

โดยที่

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.5)$$

แทนค่า

$$S_p^2 = \frac{(48 - 1)(0.65)^2 + (48 - 1)(0.545)^2}{48 + 48 - 2}$$

$$S_p^2 = \frac{19.8575 + 13.9601}{94}$$

$$S_p^2 = 0.36$$

$$S_p = \sqrt{0.36}$$

$$= 0.6$$

แทนค่า

$$T = \frac{2.486 - 2.702}{0.6 \sqrt{\frac{1}{48} + \frac{1}{48}}}$$

$$T = \frac{0.216}{0.122}$$

$$\therefore = 1.77$$

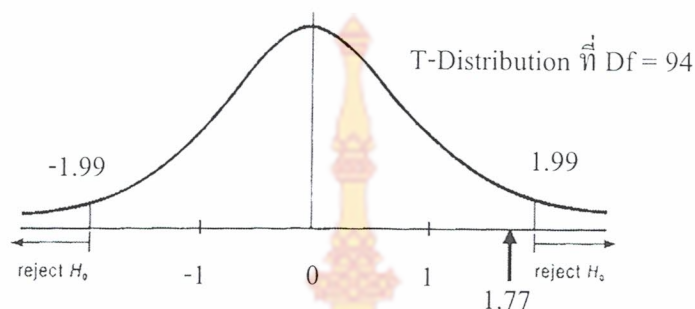
- คำนวณหาค่าองศาเสรี df

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (2.6)$$

$$= 48 + 48 - 2$$

$$= 94$$

จากตารางการแจกแจง T-Distribution ที่  $Df = 94$  และ  $\alpha = 0.025$  ( $0.05/2$ )  
จะได้  $T_{0.025,94} = 1.99$



รูปที่ 4.4 การแจกแจง T-Distribution ที่  $T_{0.025,94} = 1.99$

- สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

เมื่อ  $T_0 < T_{0.025,28}$  ( $1.77 < 1.99$ ) ดังรูปที่ 4.4 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) สรุปได้ว่าน้ำมะพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงให้ค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยคอมพิวเตอร์

##### 1) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 15 ข้อมูลค่าความขรุขระผิวของน้ำหล่อเย็นทั้งสองชนิดที่สุ่มตัวอย่างมาขึ้นมีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) ข้อมูลมีการเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และข้อมูลไม่ออกนอกเส้นควบคุม ดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2

2) การทดสอบความแปรปรวนของประชากรว่าเท่ากัน หรือไม่ โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 15 และการทดสอบความต่างของค่าความแปรปรวนของน้ำหล่อเย็น และน้ำมะพร้าว มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 15

สารหล่อเย็น	N	Lower	St Dev	Upper
น้ำหล่อเย็น	48	0.527161	0.649536	0.841673
น้ำมะพร้าว	48	0.442496	0.545218	0.706497

F-test (การแจกแจงแบบปกติ)

สถิติทดสอบ = 1.42, ค่า P-Value = 0.234

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมค่า P-Value มีค่ามากกว่าค่า ( $\alpha = 0.05$ ) ( $0.234 > 0.05$ ) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน

3) กำหนดสมมติฐาน

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ  $H_0$  คือ ค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด ไม่แตกต่างกัน

$H_1$  คือ ค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด แตกต่างกัน

4) เลือกการทดสอบสถิติโดยใช้การทดสอบ T-test

Two-Sample T for Coolant vs Coconut Water

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบ T-test ด้วยโปรแกรม Minitab 15

สารหล่อเย็น	N	Mean	St Dev	SE Mean
น้ำหล่อเย็น	48	2.486	0.650	0.094
น้ำมะพร้าว	48	2.702	0.545	0.079

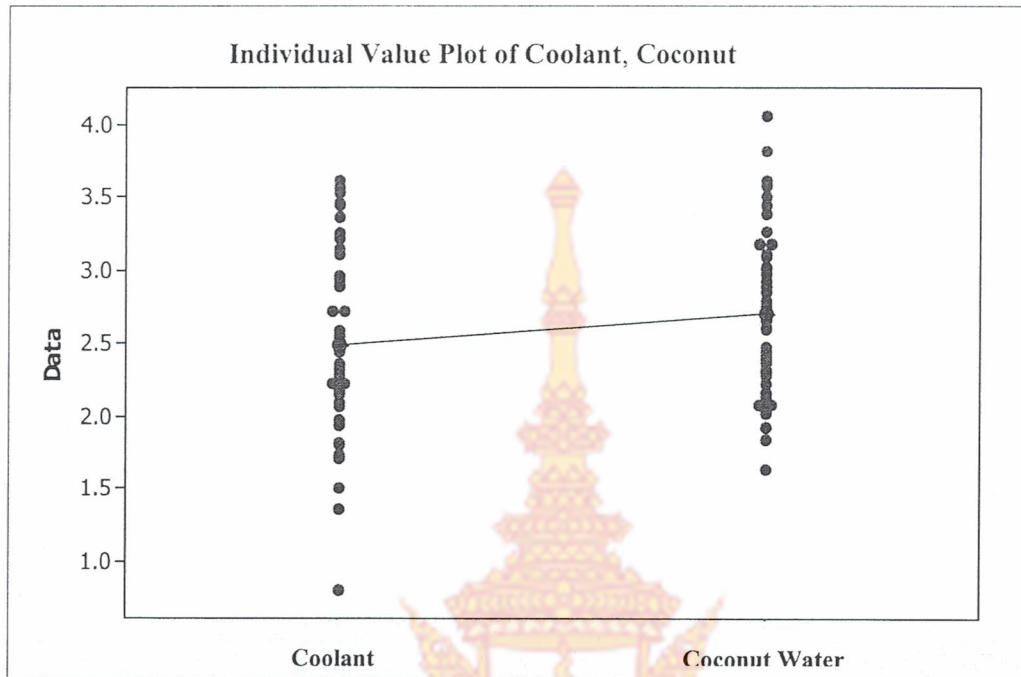
Difference =  $\mu$  (Coolant) –  $\mu$  (Coconut Water)

Estimate for Difference: -0.216

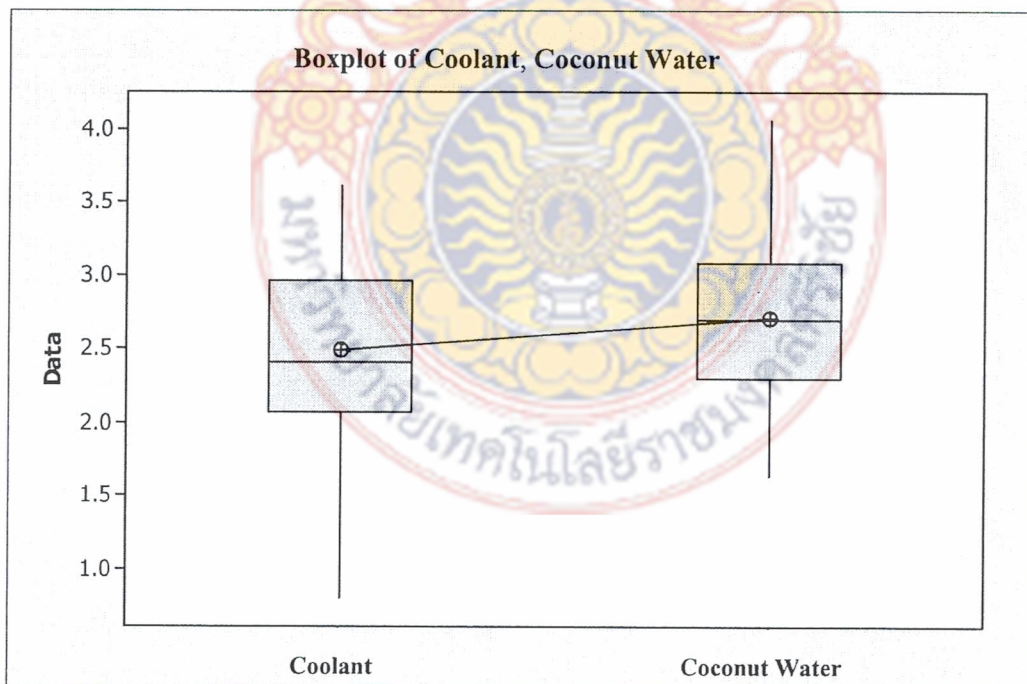
95% CI for Difference: (-0.459, 0.028)

T-test of Difference = 0 (Vs not =): T-Value = -1.76, P-Value = 0.082 DF = 94

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเมื่อค่า P-value มากกว่า  $\alpha$  (0.05) ( $0.082 > 0.05$ ) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปน้ำมะพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงมีค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด



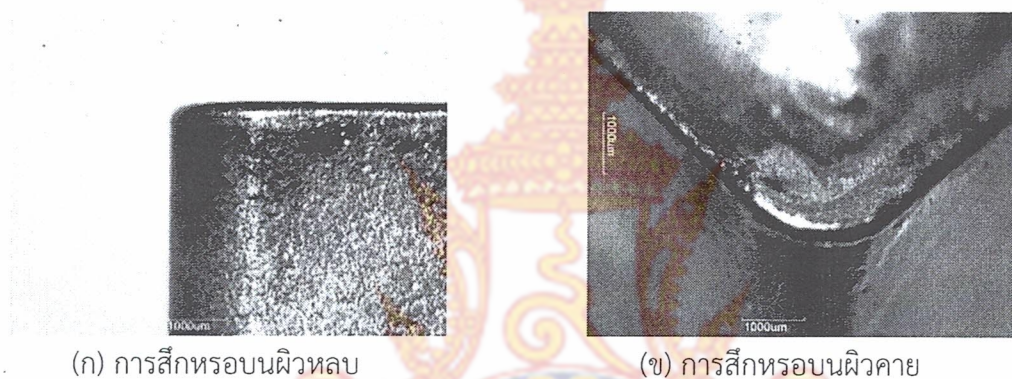
รูปที่ 4.6 ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 4.5 แล้วสามารถบอกได้ว่าค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานที่ใช้ น้ำมันพรวัวในการหล่อเย็นมีค่าสูงกว่าค่าความขรุขระผิวที่ใช้ น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ในการหล่อเย็น จากรูปที่ 4.6 ข้อมูลค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดอยู่ในบล็อก

และค่าเฉลี่ยของค่าความขรุขระผิวที่ใช้ น้ำมะพร้าว ในการหล่อเย็น  $R_a$  2.486  $\mu\text{m}$  มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของค่าความขรุขระผิวที่ใช้ น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ในการหล่อเย็น  $R_a$  2.702  $\mu\text{m}$

#### 4.3 การวิเคราะห์การสึกหรอของคมตัด

การสึกหรอของคมตัดที่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างวัสดุคมตัดกับชิ้นงาน จากการทดลองนำ น้ำมะพร้าว และ น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ เป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงชิ้นงาน ผู้ทดลองได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดกลึง Insert ยี่ห้อ KENNAMETAL รุ่น KC9110 ที่ใช้เป็นวัสดุคมตัดในการทดลอง

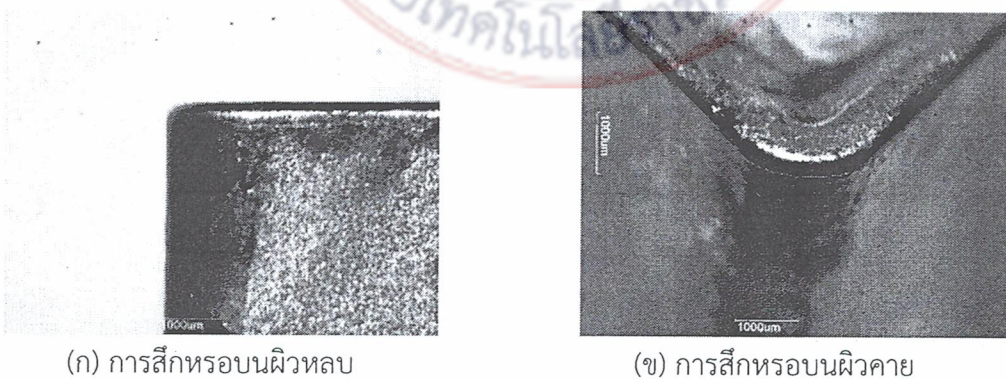


(ก) การสึกหรอบนผิวหยาบ

(ข) การสึกหรอบนผิวคาย

#### รูปที่ 4.7 ลักษณะการสึกหรอของคมตัดที่ใช้ น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ

การวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของคมตัดพบว่ากรณีที่ใช้ น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ยี่ห้อ Shell Dromus Oil B เป็นสารหล่อเย็นมีลักษณะการสึกหรอบนผิวหยาบมีการสึกหรอที่เกิดขึ้นมีเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.7 (ก) และลักษณะการสึกหรอบนผิวคายที่เกิดขึ้นสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนซึ่งเกิดจากการขัดสีของเศษโลหะบนผิวคายของมีดกลึงเมื่อการสึกหรอเกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้ ดังรูปที่ 4.7 (ข)



(ก) การสึกหรอบนผิวหยาบ

(ข) การสึกหรอบนผิวคาย

#### รูปที่ 4.8 ลักษณะการสึกหรอของคมตัดที่ใช้ น้ำมะพร้าว



การวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของคมตัดพบว่ากรณีที่ใช้น้ำมะพร้าวเป็นสารหล่อเย็น ในกระบวนการกลึงมีลักษณะการสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแนวยาว การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนดัง รูปที่ 4.8 (ก) และลักษณะการสึกหรอบนผิวคายการสึกหรอที่เกิดขึ้นมีเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.8 (ข)



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองโดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้ทดแทนสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง โดยทำการทดลอง และวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบด้านความขรุขระผิว และลักษณะการสึกหรอของ คมตัดที่ใช้น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง มีผลการทดลอง และข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปแก้ไขปรับปรุงการทดลองเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 15 พบว่า ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างค่าความขรุขระผิวของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดมีการเรียงตัวกัน เป็นแนวเส้นตรงข้อมูลไม่ออกนอกเส้นควบคุม และมีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ Normal distribution

5.1.2 การทดสอบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มตัวอย่าง การทดสอบโดยใช้ สถิติทดสอบ F-test ค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่เปิดได้จากตารางการแจกแจง  $F$  ( $F < F$  วิฤต (1.42 < 1.68) จึงไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 15 ค่า P-value มีค่ามากกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  (0.234 > 0.05) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.1.3 การทดสอบความแตกต่างของสารหล่อเย็นโดยใช้การทดสอบสถิติทดสอบ T-test เมื่อค่า T ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า T ที่เปิดได้จากตารางการแจกแจง T ( $T < T_{0.025, 28}$ ) (1.77 < 1.99) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงให้ค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 15 เมื่อค่า P-Value มากกว่า  $\alpha$  (0.05) (0.082 > 0.05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงมีค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 5.1.4 การวิเคราะห์การสึกหรอของคมตัด

น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำ ยี่ห้อ Shell Dromus Oil B เป็นสารหล่อเย็นมีลักษณะการสึกหรอของคมตัดแบบการสึกหรอบนผิวคายที่เกิดขึ้นสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน และน้ำมันมะพร้าวที่นำมาใช้เป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงมีลักษณะการสึกหรอของคมตัดแบบการสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแนวยาว และกว้าง

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 น้ำมะพร้าวที่นำมาใช้ทดลองเป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึงมีอายุการใช้งานที่สั้นซึ่งต้องนำน้ำมะพร้าวมาเปลี่ยนใหม่ทุกวัน

5.2.2 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการกลึงที่ไม่เหมาะสมกับค่าการใช้งานของวัสดุคมตัด

5.2.3 การใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความสามารถในการใช้งาน มิเช่นนั้นจะส่งผลให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายได้

5.2.4 ขั้นตอนในการทดลองวัดค่าความขรุขระผิวต้องใช้เวลารอบคอบ และความระมัดระวังในการใช้เครื่องมือเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่เที่ยงเบนน้อยที่สุด

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การนำน้ำมะพร้าวมาทดลองเป็นสารหล่อเย็นควรจะให้ความสำคัญกับอายุของน้ำมะพร้าวควรมีการปรับปรุงคุณภาพไม่ให้เกิดการบูดในช่วงเวลาสั้นประมาณ 3 วัน

5.3.2 การกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการกลึงต้องมีความเหมาะสมกับค่าการใช้งานของวัสดุคมตัด

5.3.3 การใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ผู้ใช้งานจะต้องผ่านการอบรมการใช้งานของเครื่องจักร และต้องมีผู้ชำนาญงานควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

5.3.4 การใช้เครื่องมือวัดค่าความขรุขระผิวควรมีการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือก่อนนำเครื่องมือมาใช้ในการทดลอง

5.3.5 การนำน้ำมะพร้าวมาใช้ในการหล่อเย็นของกระบวนการกลึงผู้ทดลองควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเฉือน

## บรรณานุกรม

- [1] Ko SL, Dornfeld DA. 1998. Analysis and modeling of burr formation and break out in metal. In: Proceedings of the Symposium on Mechanics of deburring and surface finishing processes, ASME Winter Annual Meeting, 1989, pp. 79-92 (American Society of Mechanical Engineers, New York)
- [2] Hashimura M, Hassamontr J, Dornfeld DA. 1999. Effect of In-plane Exit Angle and Rake Angles on Burr Height and Thickness in Face Milling operation. Transactions of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering 121(1):13-19.
- [3] Gillespie LK. 1979. Depurring precision miniature parts. *Precis Eng* 1(4):189-198. Doi.10.1016/0141-6359(79)90099-0
- [4] Lee SH, Lee S. 2003. Optimization of Cutting parameters for burr minimization in face milling operations. *Int Prod Res* 41(3):495-511.
- [5] Chu C, Dornfeld DA. 2000. Prediction and simulation of milling burr formation for edge precision process planning. In: Proceedings of the Third International Conference on Integrated design and manufacturing in mechanical engineering, Montreal, Canada, 16-19 May 2000, paper JA27.4 (AIP-PRIMECA, France)
- [6] Hassamontr J. 1998. Edge finishing planning in milling. PhD Dissertation, University of California, Berkeley.
- [7] Sokolowski A, Narayanaswami R, Dornfeld DA. 1994. Prediction of burr size using neural network and fuzzy logic. In Proceedings of the Japan-USA Symposium on Flexible automation, Kobe, Japan, pp. 889-896 (Institute of Systems, Control and Information Engineers, Tokyo)
- [8] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2547. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. เล่ม 1 พิมพ์ครั้งที่ 4 สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ
- [9] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2545. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. เล่ม 2 พิมพ์ครั้งที่ 3 สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ
- [10] ประไพศรี สุทัศน์ ณ ออยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2549. สถิติวิศวกรรม. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด กรุงเทพฯ
- [11] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

ภาคผนวก ก  
ตารางบันทึกผลการทดลอง



ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตาราง ก-1 ผลการทดลองค่าความขรุขระผิวที่ใช้น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็น

ลำดับ ที่	ชนิดสาร หล่อเย็น	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ความลึก (มม.)	Ra1 ( $\mu\text{m}$ )	Ra2 ( $\mu\text{m}$ )	Ra3 ( $\mu\text{m}$ )	ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1	1	195	0.14	0.4	2.38	2.47	2.49	2.447
2	1	195	0.1	1	1.95	2	2.27	2.073
3	1	235	0.18	1	1.8	1.83	1.83	1.82
4	1	195	0.18	1	2.25	2.19	2.27	2.237
5	1	195	0.1	0.6	2.5	2.63	2.37	2.5
6	1	235	0.1	1	0.8	0.75	0.87	0.807
7	1	215	0.14	0.6	2.91	2.92	3.04	2.957
8	1	255	0.1	1	1.31	1.31	1.45	1.357
9	1	215	0.1	0.4	2.47	2.37	2.23	2.357
10	1	255	0.14	1	1.64	1.41	1.45	1.5
11	1	255	0.1	0.4	2.44	2.44	2.49	2.457
12	1	195	0.1	0.4	1.87	1.67	1.66	1.733
13	1	255	0.25	0.6	3.04	3.19	3.1	3.11
14	1	215	0.25	0.4	3.21	3.24	3.18	3.21
15	1	195	0.18	0.4	2.76	2.67	2.74	2.723
16	1	215	0.1	1	2.3	2.56	2.22	2.36
17	1	215	0.18	1	2.22	2.17	2.3	2.23
18	1	215	0.14	1	1.72	1.73	1.72	1.723
19	1	235	0.14	0.6	1.88	1.82	1.72	1.807
20	1	195	0.14	0.6	2.56	2.64	2.46	2.553
21	1	195	0.18	0.6	3.09	3.1	3.22	3.137
22	1	235	0.25	0.6	2.87	3.01	3.01	2.963
23	1	235	0.14	1	1.66	1.58	1.88	1.707
24	1	235	0.14	0.4	2.82	2.89	2.98	2.897

ตาราง ก-1 ผลการทดลองค่าความขรุขระผิวที่ใช้น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็น (ต่อ)

ลำดับ ที่	ชนิดสาร หล่อเย็น	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ความลึก (มม.)	Ra1 ( $\mu\text{m}$ )	Ra2 ( $\mu\text{m}$ )	Ra3 ( $\mu\text{m}$ )	ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
25	1	235	0.25	1	3.41	3.47	3.47	3.45
26	1	255	0.14	0.4	2.26	2.02	2	2.093
27	1	255	0.25	1	3.57	3.55	3.58	3.567
28	1	215	0.1	0.6	2.2	2.12	2.14	2.153
29	1	235	0.25	0.4	2.88	2.88	2.92	2.893
30	1	235	0.18	0.6	2.05	1.91	1.94	1.967
31	1	195	0.14	1	2.28	2.1	2.31	2.23
32	1	255	0.14	0.6	1.74	1.6	1.81	1.717
33	1	255	0.18	1	2.31	2.3	2.23	2.28
34	1	195	0.25	0.4	2.9	3.2	2.7	2.933
35	1	255	0.18	0.6	2.1	2.07	2.04	2.07
36	1	215	0.25	1	3	2.99	2.8	2.93
37	1	255	0.1	0.6	1.78	2.21	1.82	1.937
38	1	215	0.25	0.6	3.53	3.38	3.67	3.527
39	1	215	0.18	0.4	3.45	3.38	3.24	3.357
40	1	195	0.25	1	3.54	3.7	3.6	3.613
41	1	215	0.18	0.6	2.51	2.58	2.66	2.583
42	1	255	0.25	0.4	3.26	3.13	3.23	3.207
43	1	255	0.18	0.4	2.3	2.34	2.33	2.323
44	1	235	0.1	0.4	2.16	2.2	2.17	2.177
45	1	235	0.18	0.4	2.73	2.69	2.75	2.723
46	1	215	0.14	0.4	3.04	3.34	3.37	3.25
47	1	195	0.25	0.6	3.46	3.43	3.45	3.447
48	1	235	0.1	0.6	2.3	2.27	2.17	2.247

ตาราง ก-2 ผลการทดลองค่าความขรุขระผิวที่ใช้น้ำมะพร้าวเป็นสารหล่อเย็น

ลำดับ ที่	ชนิดสาร หล่อเย็น	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ความลึก (มม.)	Ra1 ( $\mu\text{m}$ )	Ra2 ( $\mu\text{m}$ )	Ra3 ( $\mu\text{m}$ )	ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
49	2	215	0.18	0.4	2.67	2.62	2.7	2.663
50	2	235	0.14	0.4	2.8	2.98	2.98	2.92
51	2	235	0.1	0.4	2.62	2.98	2.77	2.79
52	2	195	0.18	0.4	3.36	3.41	3.38	3.383
53	2	235	0.25	0.6	2.98	2.93	2.99	2.967
54	2	215	0.18	0.6	2.68	2.19	2.24	2.37
55	2	255	0.25	1	3	3.3	3.23	3.177
56	2	195	0.1	0.6	2.96	2.62	2.96	2.847
57	2	215	0.1	0.6	1.99	2.8	2.18	2.323
58	2	195	0.1	1	2.55	2.86	2.39	2.6
59	2	195	0.14	0.4	3.34	2.76	2.96	3.02
60	2	195	0.25	0.6	3.11	3.07	3.12	3.1
61	2	255	0.18	0.6	2.14	2.04	2.13	2.103
62	2	215	0.18	1	2.27	2.36	2.3	2.31
63	2	215	0.1	0.4	2.65	2.64	2.76	2.683
64	2	195	0.18	0.6	3.24	3.14	3.15	3.177
65	2	235	0.18	0.6	2.27	2.13	2.1	2.167
66	2	195	0.14	0.6	2.74	2.72	2.7	2.72
67	2	215	0.14	0.6	2.94	2.72	2.72	2.793
68	2	215	0.25	1	3.12	3.06	3.11	3.097
69	2	255	0.1	0.4	1.94	1.76	2.08	1.927
70	2	235	0.14	1	2.62	2.93	2.54	2.697
71	2	195	0.14	1	2.05	2.55	2.27	2.29
72	2	215	0.1	1	1.94	1.89	1.69	1.84



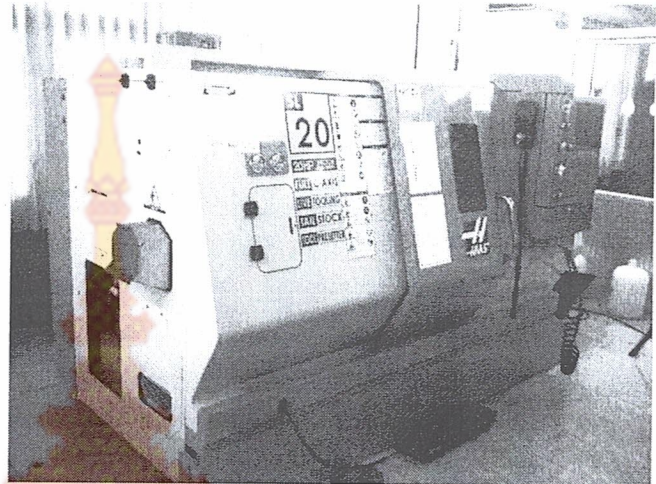
ตาราง ก-2 ผลการทดลองค่าความขรุขระผิวที่ใช้น้ำมะพร้าวเป็นสารหล่อเย็น (ต่อ)

ลำดับ ที่	ชนิดสาร หล่อเย็น	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ความลึก (มม.)	Ra1 ( $\mu\text{m}$ )	Ra2 ( $\mu\text{m}$ )	Ra3 ( $\mu\text{m}$ )	ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
73	2	235	0.1	1	2.09	2.07	2.07	2.077
74	2	255	0.14	0.4	1.82	2.06	2.17	2.017
75	2	235	0.18	0.4	2.36	2.44	2.47	2.423
76	2	235	0.1	0.6	2.56	1.98	2.12	2.22
77	2	235	0.18	1	2.6	2.58	2.64	2.607
78	2	255	0.18	0.4	2.27	2.21	2.21	2.23
79	2	255	0.1	0.6	1.66	1.59	1.64	1.63
80	2	255	0.25	0.4	3.23	3.26	3.28	3.257
81	2	255	0.25	0.6	3.59	3.57	3.55	3.57
82	2	215	0.14	1	2.48	2.49	2.36	2.443
83	2	235	0.14	0.6	2.02	2.03	2.18	2.077
84	2	255	0.14	1	2.21	2.09	2.14	2.147
85	2	215	0.25	0.6	3.9	3.82	3.74	3.82
86	2	255	0.14	0.6	2.98	2.95	3.08	3.003
87	2	215	0.14	0.4	2.92	2.96	2.77	2.883
88	2	195	0.1	0.4	2.84	2.51	2.92	2.757
89	2	195	0.25	0.4	3.98	4.02	4.16	4.053
90	2	255	0.18	1	2.4	2.4	2.39	2.397
91	2	195	0.18	1	2.72	2.88	2.68	2.76
92	2	235	0.25	1	3.63	3.6	3.6	3.61
93	2	195	0.25	1	3.46	3.47	3.41	3.447
94	2	235	0.25	0.4	2.58	2.46	2.38	2.473
95	2	255	0.1	1	2.12	2.77	2.05	2.313
96	2	215	0.25	0.4	3.46	3.54	3.52	3.507

ภาคผนวก ข  
ข้อมูลเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทดลอง



ภาคผนวก ข-1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกลึง CNC ยี่ห้อ Hass CNC รุ่น SL-20

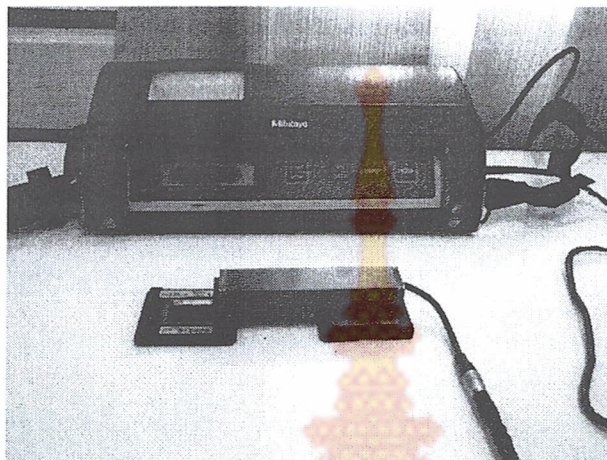


รูปที่ ข-1 เครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

#### ข้อมูลทั่วไป

ชื่อเครื่องจักร	เครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์
ยี่ห้อ/รุ่น	ยี่ห้อ Hass CNC รุ่น SL-20
ประเทศผู้ผลิต	สหรัฐอเมริกา
ปีที่ซื้อ	พ.ศ.2552
รายละเอียดของเครื่องจักร	
MAXSPEED	45-2000 รอบ/นาที
MAXFEED	14-900 มิลลิเมตร/นาที
SPINDLEMOTER	7.5 แรงม้า
FEEDMOTER	1.5 แรงม้า
กำลังลม	100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ภาคผนวก ข-2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ มิตูโตโย รุ่น เซฟเทส301

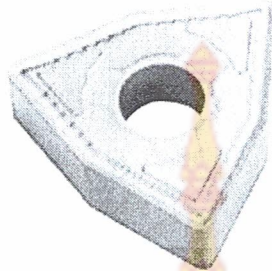


รูปที่ ข-2 เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ มิตูโตโย รุ่น เซฟเทส301

#### ข้อมูลทั่วไป

ชื่อเครื่องจักร	เครื่องวัดความขรุขระผิว
ยี่ห้อ/รุ่น	มิตูโตโย รุ่น เซฟเทส301
ประเทศผู้ผลิต	ญี่ปุ่น
รายละเอียดทางเทคนิค	
ระยะในการวัด	12.5 มิลลิเมตร
ความเร็วในการวัด	0.25, 0.5 มิลลิเมตร/วินาที
ทิศทางในการวัด	ถอยหลังกลับ
ความละเอียดในการวัด	350 ไมโครเมตร
ลักษณะการวัด	หัวกดเคลื่อนที่
แรงกดในการวัด	4 มิลลินิวตัน หรือ 0.75 มิลลินิวตัน
หัวกด	หัวเพชร 90 องศา (60 องศาสำหรับการใช้แรงกดต่ำ)
การเคลื่อนที่แนวโค้ง	40 มิลลิเมตร
แรงเคลื่อนที่ของหัวกด	น้อยกว่า 400 มิลลินิวตัน
การเคลื่อนที่หัววัด	หัวกดเคลื่อนที่โดยใช้แม่เหล็ก
แหล่งกระจายไฟฟ้า	หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง และแบตเตอรี่สำรอง
ขนาดและน้ำหนัก	307×165×94 มิลลิเมตร, 1.2 กิโลกรัม

ภาคผนวก ข-3 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องมือตัดใช้เม็ดมีด Insert

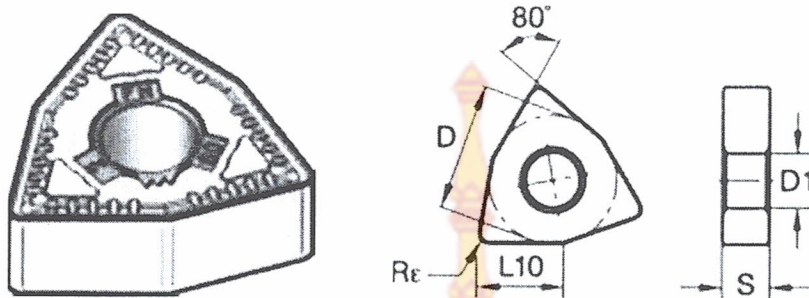


รูปที่ ข-3 เครื่องมือตัดใช้เม็ดมีด Insert

#### ข้อมูลทั่วไป

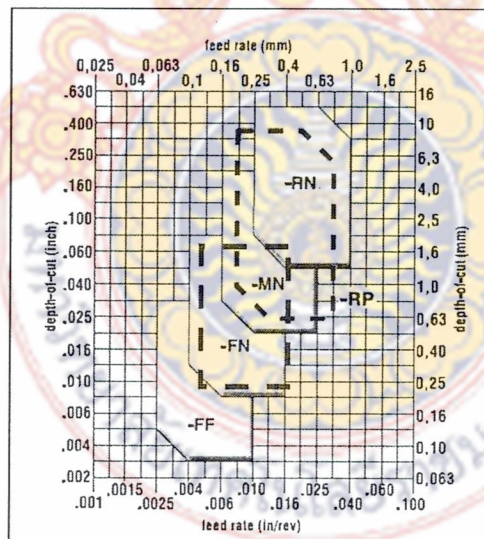
จำนวนมุมตัด	6 มุมตัด
ยี่ห้อ	Kennametal รุ่น KC9110
รัศมีของมุมมีด	0.80 มิลลิเมตร
ความหนาของเม็ดมีด	4.76 มิลลิเมตร
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดมีด	12.70 มิลลิเมตร
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูใน	5.16 มิลลิเมตร
ความยาวของหน้าคมตัด	8.69 มิลลิเมตร
ค่าความเร็วตัดสูงสุดของเม็ดมีด	400 เมตร/นาที
ค่าของอัตราป้อน	0.10 - 0.40 มิลลิเมตร
ค่าความลึก	0.25 - 1.60 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ข-3 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องมือตัดใช้เม็ดมีด Insert (ต่อ)



WNMG 080408 FN	WNMG 432FN	D		L10		S		R $\epsilon$		D1	
		มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว
		12,70	1/2	8,69	0.324	4,76	3/16	0,8	1/32	5,16	0.203

ภาคผนวก ข-3 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องมือตัดใช้เม็ดมีด Insert (ต่อ)



2nd Step – Select the Grade										
Cutting Condition	Negative Insert Geometry					Positive Insert Geometry				
	-FF	-FN	-MN	-RN	-RP	-11	-UF	-LF	-MF	
heavily interrupted cut	⚙️	KC9110	KC9125	KC9040*	KC9040*	KC9040*	-	KC5010	KC9125	KC9240
lightly interrupted cut	⚙️	KC9110	KC9125	KC9125	KC9125	KC9125	-	KC5010	KC9125	KC9125
varying depth of cut, casting or forging skin	⚙️	KT315	KC9110	KC9110	KC9110	KC9110	KT315	-	KC9110	KC9110
smooth cut, pre-turned surface	⚙️	KT315	KT315	KC9110	KC9110	KC9110	KT315	-	KT315	KC9110

\*Grade KC9140 available Spring 2005

ภาคผนวก ข-3 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องมือตัดใช้เม็ดมีด Insert (ต่อ)

Low-Carbon (< 0.3% C) and Free-Machining Steel

AISI: 1008, 1010, 1018, 1020, 1026, 10L18, 10L45, 10L50, 1108, 1117, 1141, 1151, 11L44, 1200 series, and 12L14

KENNA PERFECT Material Group	grade	Speed - sfm (m/min)								Starting Conditions	
		450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	sfm	m/min
		(135)	(180)	(225)	(275)	(320)	(360)	(410)	(455)		
P 1	KT315									1450	440
	KC9110/KC9315									1320	400
	KC9125/KC9225/KC5010									925	280
	KC9040*/KC9240/KC8050									700	215





ภาคผนวก ค

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน



ตาราง ค-1 วิเคราะห์ผลทางสถิติ ค่า F ภายใต้ความน่าจะเป็น  $\alpha = 0.25$ 

		$V_1$																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	60	
$V_2$	1	5.83	7.5	8.2	8.58	8.82	8.9	9.1	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58	9.63	9.67	9.71	9.76	
	2	2.57	3	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.44	3.44	3.45	3.46	
	3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.46	2.47	2.47	2.47	
	4	1.81	2	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
	5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.88	1.88	1.88	1.88	1.87
	6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76	1.75	1.75	1.75	1.74
	7	1.57	1.7	1.72	1.72	1.71	1.71	1.7	1.7	1.69	1.69	1.68	1.68	1.68	1.67	1.67	1.66	1.66	1.65
	8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.62	1.61	1.6	1.6	1.59	1.59
	9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.6	1.6	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.55	1.55	1.54	1.54	1.54
	10	1.49	1.6	1.6	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.50
	11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.5	1.49	1.49	1.48	1.47	1.47	1.47
	12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.5	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.45	1.45	1.44
	13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.5	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.42
	14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.5	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.41	1.40
	15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.4	1.4	1.39	1.38	1.38
	16	1.42	1.51	1.51	1.5	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.36
	17	1.42	1.51	1.5	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.35
	18	1.41	1.5	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.34
	19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.4	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.33
	20	1.4	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.4	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.32
	21	1.4	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.31
	22	1.4	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.4	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.30
	23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.30
	24	1.39	1.4	1.46	1.44	0.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.29
	25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.31	1.29	1.28	1.28
	26	1.38	1.46	1.45	1.4	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.3	1.29	1.28	1.28
	27	1.38	1.46	1.45	1.43	1.42	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.3	1.3	1.28	1.27	1.27
	28	1.38	1.46	1.45	1.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.3	1.29	1.28	1.27	1.27
	29	1.38	1.45	1.45	1.43	1.41	1.4	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.31	1.3	1.29	1.27	1.26	1.26
	30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.3	1.29	1.28	1.27	1.26	1.26
40	1.36	1.44	1.42	1.4	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.3	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.22	
50	1.35	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.3	1.28	1.26	1.25	1.23	1.21	1.19	1.19	
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.3	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.18	1.16	1.16	
120	1.34	1.4	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.3	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.2	1.19	1.14	1.12	1.12	

ตาราง ค-2 วิเคราะห์ผลทางสถิติ ค่า F ภายใต้ความน่าจะเป็น  $\alpha = 0.10$ 

		$v_1$																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	60
$v_2$	1	5.83	7.5	8.2	8.58	8.82	8.9	9.1	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58	9.63	9.67	62.53	62.8
	2	2.57	3	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.44	3.44	9.47	9.47
	3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.46	2.47	5.16	5.15
	4	1.81	2	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	3.80	3.79
	5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.88	1.88	3.16	3.14
	6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76	1.75	1.75	2.78	2.76
	7	1.57	1.7	1.72	1.72	1.71	1.71	1.7	1.7	1.69	1.69	1.68	1.68	1.67	1.67	1.66	2.54	2.51
	8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.61	1.6	1.6	2.36	2.34
	9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.6	1.6	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.55	1.55	2.23	2.21
	10	1.49	1.6	1.6	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.52	1.51	2.13	2.11
	11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.5	1.49	1.49	1.48	2.05	2.03
	12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.5	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.99	1.96
	13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.5	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.93	1.90
	14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.5	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.89	1.86
	15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.4	1.4	1.85	1.82
	16	1.42	1.51	1.51	1.5	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.81	1.78
	17	1.42	1.51	1.5	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.78	1.75
	18	1.41	1.5	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.75	1.72
	19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.4	1.38	1.37	1.36	1.35	1.73	1.70
	20	1.4	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.4	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.71	1.68
	21	1.4	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.69	1.66
	22	1.4	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.4	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.67	1.64
	23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.66	1.62
	24	1.39	1.4	1.46	1.44	0.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.64	1.61
	25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.31	1.63	1.59
	26	1.38	1.46	1.45	1.4	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.3	1.61	1.58
	27	1.38	1.46	1.45	1.43	1.42	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.3	1.3	1.60	1.57
	28	1.38	1.46	1.45	1.43	1.41	1.4	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.3	1.29	1.59	1.56
	29	1.38	1.45	1.45	1.43	1.41	1.4	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.31	1.3	1.29	1.58	1.55
	30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.3	1.29	1.28	1.57	1.54
40	1.36	1.44	1.42	1.4	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.3	1.28	1.26	1.25	1.51	1.47	
50	1.35	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.3	1.28	1.26	1.25	1.23	1.44	1.40	
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.3	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.37	1.32	
120	1.34	1.4	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.3	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.2	1.19	1.30	1.24	

ตาราง ค-3 วิเคราะห์ผลทางสถิติ ค่า F ภายใต้ความน่าจะเป็น  $\alpha = 0.05$ 

		$V_1$																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	60	
V 2	1	161. 5	199. 5	215. 7	224. 6	230. 2	234. 2	236. 8	238. 9	240. 5	241. 9	243. 9	246.	248.	249. 3	250. 1	251. 1	252. 2	
	2	185. 1	19.	19.1 6	19.2 5	19.3	19.3 3	19.3 5	19.3 7	19.3 8	19.4	19.4 1	19.4 3	19.4 5	19.4 6	19.4 6	19.4 7	19.4 8	
	3	10.1 5	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.7	8.66	8.63	8.62	8.59	8.57	
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.91	5.86	5.8	5.77	5.75	5.72	5.69	
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.52	4.5	4.46	4.43	
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	4	3.94	3.87	3.83	3.81	3.77	3.74	
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.4	3.38	3.34	3.30	
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.01	
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.95	2.89	2.86	2.83	2.79	
	10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.73	2.7	2.66	2.62	
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9	2.85	2.79	2.72	2.65	2.6	2.57	2.53	2.49	
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75	2.69	2.62	2.54	2.5	2.47	2.43	2.38	
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.6	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.30	
	14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.53	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.22	
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.4	2.33	2.28	2.25	2.20	2.16	
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.11	
	17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.06	
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.02	
	19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	
	20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.2	2.12	2.07	2.04	1.99	1.95	
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.1	2.05	2.01	1.96	1.92	
	22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.4	2.34	2.3	2.23	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.89	
	23	4.28	3.42	3.03	2.8	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.2	2.13	2.05	2	1.96	1.91	1.86	
	24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.3	2.25	2.18	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.84	
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	
	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.94	1.9	1.85	1.80	
	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.2	2.13	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.79	
	28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	
	29	4.18	3.33	2.93	2.27	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.1	0.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.75	
	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.74	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.64		
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.4	2.29	2.2	2.13	2.07	2.03	1.95	1.87	1.78	1.73	1.69	1.59	1.53		
60	161. 5	199. 5	215. 7	224. 6	230. 2	234.	236. 8	238. 9	240. 5	241. 9	243. 9	246.	248.	249. 3	250. 1	1.55	1.43		
12 0	18.5 1	19	19.1 6	19.2 5	19.3	19.3 3	19.3 5	19.3 7	19.3 8	19.4	19.4 1	19.4 3	19.4 5	19.4 6	19.4 6	1.39	1.32		

ตาราง ค-4 วิเคราะห์ผลทางสถิติ ค่า F ภายใต้ความน่าจะเป็น  $\alpha = 0.025$ 

		V <sub>1</sub>																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	60	
V <sub>2</sub>	1	647.8	799.8	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.6	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	998.1	1001	1006	1010	
	2	38.51	39	39.17	39.25	39.3	39.33	39.36	39.37	39.39	39.4	39.41	39.43	39.44	39.45	39.46	39.47	39.48	
	3	17.44	16.04	15.44	15.14	14.88	14.73	14.66	14.54	14.47	14.42	14.34	14.24	14.15	14.11	14.1	14.08	14.04	13.99
	4	12.22	10.65	9.98	9.6	9.36	9.2	9.07	8.98	8.9	8.84	8.75	8.66	8.56	8.5	8.46	8.41	8.36	
	5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.27	6.23	6.18	6.12	
	6	8.81	7.26	6.6	6.23	5.99	5.82	5.7	5.6	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.11	5.07	5.01	4.96	
	7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.9	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.4	4.36	4.31	4.25	
	8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.3	4.2	4.1	4	3.94	3.89	3.84	3.78	
	9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.2	4.1	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.6	3.56	3.51	3.45	
	10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.35	3.31	3.26	3.20	
	11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.16	3.12	3.06	3.00	
	12	6.55	5.1	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.01	2.96	2.91	2.85	
	13	6.41	4.97	4.35	4	3.77	3.6	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.88	2.84	2.78	2.72	
	14	6.3	4.86	4.24	3.89	3.66	3.5	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.78	2.73	2.67	2.61	
	15	6.2	4.77	4.15	3.8	3.58	3.41	3.29	3.2	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.69	2.64	2.59	2.52	
	16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.5	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.61	2.57	2.51	2.45	
	17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.55	2.5	2.44	2.38	
	18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.1	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.49	2.44	2.38	2.32	
	19	5.92	4.51	3.9	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.44	2.39	2.33	2.27	
	20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.4	2.35	2.29	2.22	
	21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.8	2.73	2.64	2.53	2.42	2.36	2.31	2.25	2.18	
	22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.7	2.6	2.5	2.39	2.32	2.27	2.21	2.14	
	23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.9	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.29	2.24	2.18	2.11	
	24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.7	2.64	2.54	2.44	2.33	2.26	2.21	2.15	2.08	
	25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.3	2.23	2.18	2.12	2.05	
	26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.1	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.21	2.16	2.09	2.03	
	27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.8	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.18	2.13	2.07	2.00	
	28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.9	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.16	2.11	2.05	1.98	
	29	5.59	4.2	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.14	2.09	2.03	1.96	
	30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.2	2.12	2.07	2.01	1.94	
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.9	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	1.99	1.94	1.88	1.80		
50	5.34	3.97	3.39	3.05	2.83	2.67	2.55	2.46	2.38	2.32	2.22	2.17	2.06	1.94	1.87	1.74	1.67		
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.87	1.82	1.61	1.53		
120	5.15	3.8	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.3	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.75	1.69	1.48	1.39		

ตาราง ค-5 วิเคราะห์ผลทางสถิติ ค่า F ภายใต้ความน่าจะเป็น  $\alpha = 0.01$ 

		V <sub>1</sub>																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	60
V <sub>2</sub>	1	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6017	6157	6209	6240	6260	6287	6313
	2	98.5	99	99.2	99.3	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.48	99.47
	3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.41	26.32
	4	21.2	18	16.7	16	15.5	15.2	15	14.8	14.7	14.6	14.4	14.2	14	13.9	13.8	13.75	13.65
	5	16.3	13.3	12.1	11.4	11	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.45	9.38	9.29	9.20
	6	13.8	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.1	7.98	7.87	7.72	7.56	7.4	7.3	7.23	7.14	7.06
	7	12.3	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.06	5.99	5.91	5.82
	8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.26	5.2	5.12	5.03
	9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.8	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.71	4.65	4.57	4.48
	10	10	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.2	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.31	4.25	4.17	4.08
	11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.4	4.25	4.1	4.01	3.94	3.86	3.78
	12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.5	4.39	4.3	4.16	4.01	3.86	3.76	3.7	3.62	3.54
	13	9.07	6.7	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.3	4.19	4.1	3.96	3.82	3.66	3.57	3.51	3.43	3.34
	14	8.86	6.541	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.8	3.66	3.51	3.41	3.35	3.27	3.18
	15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4	3.89	3.8	3.67	3.52	3.37	3.28	3.21	3.13	3.05
	16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.2	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.16	3.1	3.02	2.93
	17	8.4	6.11	5.19	4.67	4.34	4.1	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.07	3	2.92	2.83
	18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.6	3.51	3.37	3.23	3.08	2.98	2.92	2.84	2.75
	19	8.18	5.93	5.01	4.5	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.3	3.15	3	2.91	2.84	2.76	2.67
	20	8.1	5.85	4.94	4.43	4.1	3.87	3.7	3.56	3.46	3.37	3.23	3.03	2.94	2.84	2.78	2.69	2.61
	21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.4	3.31	3.17	3.03	2.88	2.79	2.72	2.64	2.55
	22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.73	2.67	2.58	2.50
	23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.3	3.21	3.07	2.93	2.78	2.69	2.62	2.54	2.45
	24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.9	3.67	3.5	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.64	2.58	2.49	2.40
	25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.7	2.6	2.54	2.45	2.36
	26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.57	2.5	2.42	2.33
	27	7.68	5.49	4.6	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.54	2.47	2.38	2.29
	28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.9	2.75	2.6	2.51	2.44	2.35	2.26
	29	7.6	5.42	4.54	4.04	3.73	3.5	3.33	3.2	3.09	3	2.87	2.73	2.57	2.48	2.41	2.33	2.23
	30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.7	3.47	3.3	3.17	3.07	2.98	2.84	2.7	2.55	2.45	2.39	2.30	2.21
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.8	2.66	2.52	2.37	2.27	2.2	2.11	2.02	
50	7.17	5.06	4.2	3.72	3.41	3.19	3.02	2.89	2.78	2.7	2.56	2.42	2.27	2.17	2.1	1.94	1.84	
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.5	2.35	2.2	2.1	2.03	1.76	1.66	

ภาคผนวก ง  
ตารางของการแจกแจงแบบที่



ตาราง ง-1 ตารางของการแจกแจงแบบที

		$\alpha$									
		0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
V	1	0.325	1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
	2	0.298	0.816	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
	3	0.277	0.756	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.435	10.213	12.924
	4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.61
	5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
	6	0.265	0.718	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
	7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
	8	0.262	0.706	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
	9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	3.69	4.297	4.871
	10	0.26	0.7	1.372	1.812	2.228	2.764	3.196	3.581	4.144	4.587
	11	0.26	0.697	1.363	1.769	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
	12	0.259	0.659	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.93	4.318
	13	0.259	0.694	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	3.372	3.852	4.221
	14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.14
	15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
	16	0.258	0.69	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
	17	0.257	0.698	1.333	1.74	2.11	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
	18	0.257	0.688	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.61	3.922
	19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
	20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.85
	21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
	22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
	23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807	3.104	3.485	3.767
	24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
	25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787	3.078	3.45	3.725
	26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
	27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.69
	28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
	29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
	30	0.256	0.683	1.31	1.697	2.042	2.457	2.75	3.03	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551	
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2	2.39	2.66	2.915	3.232	3.46	
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.98	2.358	2.617	2.86	3.16	3.373	
	$\alpha$	0.253	0.674	1.282	1.654	1.96	2.326	2.576	2.807	3.09	3.291