



รายงานฉบับสมบูรณ์

งานวิจัยเรื่อง

“การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรหลักต่อสถานะของพื้นผิวที่ผ่านการตัดในการกลึงไม้ยางพารา โดยใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด”

(A Preliminary Investigation of the Influence of Variables on Machined Surface Condition in Para Wood Turning by High Speed Steel Tools)

คณะผู้วิจัย

ผศ. สมชาย ชูโฉม

ผศ. พิจิตร พิศสุวรรณ

อ. พิเชฐ ตระการชัยศิริ

อ. วณิดา รัตนมณี

เลขหมู่	TT 201 344 445
Bib Key	JJ 1092

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เบื้องต้นเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรหลักต่อสภาวะของพื้นผิวที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วยการกลึงไม้ยางพารา โดยใช้ใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถระบุปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งจะต้องตัดสินใจเลือกกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการกลึงไม้ยางพารา ขณะแปรรูปเป็นชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ โดยได้เน้นศึกษาเฉพาะกระบวนการกลึงละเอียดเท่านั้น สำหรับวิธีการศึกษาในครั้งนี้ทำโดยการจำลองสภาวะการตัดมากระทำบนเครื่องกลึงที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยพิจารณาถ่วงน้ำหนักปัจจัยหลักๆ ไว้ศึกษา 5 ปัจจัย คือ ความเร็วในการตัด อัตราการเดินใบมีด (อัตราป้อน) ความลึกในการตัด ความชื้นในเนื้อไม้ และมุมเงยใบมีด ทั้งนี้ดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลตามเทคนิคการออกแบบแบบทากูชิ (Taguchi Method) และผลเบื้องต้นไปใช้ทดลองและวิเคราะห์เลือกการตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เทคนิค Evolutionary Operation

ผลจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าในเบื้องต้นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพื้นผิวการกลึง คือ มุมเงยของมีด กลึง อัตราการเดินใบมีด และปัจจัยร่วมของทั้งมุมเงยและอัตราการเดินใบมีด ภายหลังจากการศึกษานิรายละเอียดพบว่า ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกลึงละเอียดไม้ยางพารา เพื่อให้ได้ผิวเรียบคือ ตั้งค่ามุมเงยใบมีดประมาณ 70 องศา และค่าอัตราการเดินใบมีดที่ 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ โดยมีแนวโน้มคือควรใช้มุมเงยค่าสูงๆ ควบคู่กับอัตราการเดินใบมีดต่ำๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของเครื่องกลึงด้วย

Abstract

To study the influence of prominent variables on machined surface conditions in Para Wood fine turning is the main purpose of this article. The study was carried out into two stages, selecting the major affected variables and setting their most appropriate parameter values. Five control variables taken into consideration were cutting speed, feed rate, depth of cut, rake angle of the tool, and the moisture content of the wood. In addition, three noise variables were also involved, tool material, cutting operations and wood form category. The tests were designed and conducted according to Taguchi method with all variables at two levels; low and high. Based on the results obtained in the first phase, the Evolutionary Operation technique was then applied to fine tune the most appropriate parameter settings.

The preliminary results revealed that the most affected factors to the finished surface of Para Wood cutting were the rake angle of the tool and the feed rate applied. However, the interactions of the rake angle and the feed rate, interactions of the cutting speed and feed rate, and the interactions of depth of cut and the moisture contents have contributed to some small effects respectively. The most appropriate setting values for each affected parameter has been concluded according to the capability limits of the machine being used. However, the rake angle of 70 degrees or higher together with the feed rate of 0.06 mm/rev or lower can be applied as the near optimal condition for general case.

สารบัญ

	หน้าที่	
คำนำ	ii	
บทคัดย่อ	iii	
Abstract	iv	
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	หลักการและเหตุผล	1-1
1.2	วัตถุประสงค์	1-2
1.3	ประโยชน์ที่ได้รับ	1-3
1.4	วิธีการวิจัย	1-4
1.5	ขอบเขตการวิจัย	1-5
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1	ใบมีดตัด	2-1
2.2	ความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จในการตัดวัสดุ	2-6
2.3	เครื่องกลึงไม้	2-14
2.4	วิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ	2-17
2.5	การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี Evolutionary Operation	2-22
บทที่ 3	การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลเบื้องต้น	3-1
บทที่ 4	การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ผลระยะที่ 2	4-1
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	5-1
ภาคผนวก		ก-1

บทที่ 1

บทนำงานวิจัยเรื่อง

“การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรหลักต่อสภาวะของพื้นผิวที่ผ่านการ
ตัดในการกลึงไม้ยางพารา โดยใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด”

(A Preliminary Investigation of the Influence of Prominent Variables on Machined
Surface Conditions in Para Wood Turning by High Speed Steel Tools)

1.1 หลักการและเหตุผล

การแปรรูปไม้ยางพาราเป็นสินค้าเช่น เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันกันสูง เนื่องจาก
ไม้เนื้อแข็ง หนา ไม้สัก ไม้ประดู่ และไม้ชิงชัน ที่นำมาใช้ผลิตไม้เฟอร์นิเจอร์มีปริมาณน้อยลง ไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้ค่อนข้าง
แข็ง มีความหนาปานกลาง น้ำหนักเบา เนื้อไม้สีขาว และมีสลายสลายงามสามารถย้อมสีและตกแต่งให้สวย
เหมือนไม้เนื้อแข็งชนิดอื่น อีกทั้งเป็นไม้ปลูกจึงสามารถปลูกทดแทนได้และไม่เป็นที่ต่อต้านต่อกระแสการอนุรักษ์ธรรมชาติ
นอกจากนี้คือผลิตภัณฑ์จากไม้ยางสามารถขายได้ทั้งในตลาดในประเทศและต่างประเทศ และสามารถขายได้ราคาดี
มาก เป็นอุตสาหกรรมที่สมควรมีการพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการผลิตเป็นอย่างดี เนื่องจากการทำอุตสาหกรรม
ดังกล่าวเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรสวนยางพาราให้สามารถขายต้นยางซึ่งหมดอายุการเก็บเกี่ยวน้ำยางแล้ว ในราคาที่สูง
กว่าการนำต้นยางดังกล่าวไปทำเชื้อเพลิง นอกจากนี้แล้วการนำไม้ยางพารามาใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งเป็นพืชที่สามารถปลูก
ทดแทนได้ เป็นการช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำไม้ไปใช้ในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเป็นผลให้ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

แม้ว่าอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา จะเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยย่นเวลารวม
สินค้าออกเพื่อนำรายได้เข้าประเทศปีละมาก ๆ เป็นอุตสาหกรรมที่ช่วยสร้างงานให้คนในพื้นที่เป็นจำนวนมากและเป็นงาน
ที่มั่นคง แต่การค้นคว้าวิจัยในศาสตร์ของการแปรรูปไม้ยางพาราในประเทศไทยและในระดับนานาชาติยังมีอยู่ค่อนข้าง
จำกัด ซึ่งอาจจะเป็นเพราะนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร หรือนักวิจัยสาขาอื่น ๆ มีความเข้าใจว่า การแปรรูปไม้ เช่น การตัด
ขึ้นรูป การตัดให้ขนาด เช่น การเลื่อยหรือการลับ การตัดขึ้นรูป เช่น การกลึง การเจาะ การไสให้เรียบ การไสขึ้นรูป เหล่านี้
เป็นกรรมวิธีที่มีมาตั้งแต่สมัยก่อนๆ เป็นสิ่งที่น่าจะดีอยู่แล้วหรือเป็นสิ่งที่รู้ดีอยู่แล้ว โดยส่วนใหญ่จะเป็นการช่วยประ
การณในการทำเป็นตัวอย่าง ไม่ต้องวิจัยกันอีก หรือมองอีกแง่หนึ่ง ไม้เป็นวัสดุราคาถูก ไม้จึงวัสดุระดับสูงที่จะใช้ในงาน
วิทยาศาสตร์หรือวิศวกรรมระดับสูง ที่จะนำผลงานไปเผยแพร่ในลักษณะของงานที่ทันสมัยหรือนำหน้ายุคสมัยได้

เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีการดูดซับความชื้นในอากาศได้ดี รวมทั้งภายในเนื้อไม้มีโปรตีนซึ่งเป็นอาหาร
และก่อให้เกิดราและแบคทีเรียตามมา ดังนั้นจึงพบปัญหาก่อนการแปรรูปไม้ยางพารา คือ การอบไม้ให้เนื้อไม้แห้ง การ
ยัดสารเคมีเพื่อป้องกันเชื้อรา ซึ่งพบว่าเริ่มมีการวิจัยในส่วนนี้บ้างแล้ว ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ฐานันตร์ศิริ
2541) แต่ในการตัดไม้ยางพาราโดยกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆยังไม่พบการวิจัยในด้านนี้เลย

การศึกษาเรื่องการแปรรูปไม้ที่ปรากฏอยู่เป็นเอกสารอ้างอิงระดับสากล หรือระดับประเทศมีน้อยมาก ที่มีอยู่มี
น้อยจะละเอียดหรือทันสมัยเท่าที่ควร ได้มีการศึกษาเรื่องการแปรรูปไม้ในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่เป็นการศึกษาไม้

เศรษฐกิจของประเทศเอง สำหรับในประเทศไทยพบว่าเคยมีการศึกษาในกรณีของไม้ยางพารา ซึ่งเป็นไม้เชิงวัตถุประสงค์อุตสาหกรรมที่สำคัญที่สุดในภาคใต้ ซึ่งเป็นการศึกษาในเรื่องของคุณสมบัติของไม้ยางพารา และขั้นตอนในการผลิตโดยทั่วไป แต่ยังไม่ปรากฏว่ามีการหยิบยกสมบัติในการแปรรูปไม้ยางพารามาศึกษาอย่างเป็นทางการเลย

ปัญหาในการแปรรูปไม้ยางพารามีเป็นจำนวนมากเช่น ปัญหาเกี่ยวกับการอบแห้งไม้ยางพารา การอัดน้ำยาเข้าไปในเนื้อไม้ยางพารา เพื่อเป็นการป้องกันเนื้อไม้ขึ้นราหรือเปลี่ยนคุณสมบัติ และการจัดไม้ยางพารา ในที่นี้จะจำกัดการพิจารณาเฉพาะการตัดขึ้นรูป โดยมีการหยิบยกกรรมวิธีกรกลึงขึ้นรูปทรงกระบอกซึ่งเป็นงานพื้นฐานอย่างหนึ่งที่ทำกันในโรงงานแปรรูปไม้ยางพารามาศึกษา โดยคาดหมายว่าความรู้ที่ได้จากการกลึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการตัดแบบอื่นๆ ปัญหาหนึ่งที่ประสบในอุตสาหกรรมคือการที่พื้นผิวของชิ้นงานไม้เมื่อผ่านการตัดขึ้นรูปเช่น การไสเรียบ การไสขึ้นรูป การกลึง เป็นต้น ผู้ผลิตต้องการให้พื้นผิวขรุขระน้อยที่สุด เพื่อให้ทำให้ขนาดที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำสูง พื้นผิวไม่เสียหายมากจนต้องถือว่าชิ้นงานเป็นของเสียที่ต้องกำจัดทิ้ง และสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการขัดผิวที่เรียบในกระบวนการผลิตชิ้นถัดไปน้อยที่สุด ลักษณะความบกพร่องของพื้นผิวภายหลังการตัดหาที่มีการรายงานในกรณีของไม้เมืองหนาวมีดังนี้ [Clark et al., 1987]

1. การฉีกของเกรนพื้นผิว (Torn surface grain) ผิวหน้าบางส่วนของไม้จะถูกฉีกออกไป เกิดเป็นรอยหลุมลึกรูปยาวรี ทำให้ชิ้นงานกลายเป็นของเสีย ต้องกำจัดทิ้ง
2. การเกิดขุยหรือเส้นขนบนพื้นผิว (Raised hair) เส้นใยของเนื้อไม้บนผิวหน้าบางส่วน จะมีลักษณะเป็นเส้นๆ คล้ายขน ถ้ามีมากหรือขนาดใหญ่จะทำให้ชิ้นงานกลายเป็นของเสียต้องกำจัดทิ้ง ถ้ามีน้อยก็ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขัดผิวเพิ่มขึ้น
3. การเกิดลายลูกคลื่นบนผิว (Surface pattern) บนพื้นผิวเกิดมีลายที่มีรูปแบบต่างๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากการผสมผสานของรอยคมมีด การสั่นสะเทือน และธรรมชาติของเนื้อไม้ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขัดผิวเพิ่มขึ้นเช่นกัน

นอกจากความบกพร่องทั้ง 3 อย่างแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงความขรุขระของพื้นผิว ที่สามารถวัดได้เป็นตัวเลขโดยใช้วิธีวัดแบบต่างๆ เช่น R_a , R_{ms} และ R เป็นต้น [คู่มือ วิจัยโกศล, 2543] สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความขรุขระของพื้นผิวหาที่มีการค้นคว้าจากเอกสารการแปรรูปไม้เศรษฐกิจของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนี้

1. ร่มมีด
2. ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้
3. การหันเหของเกรนไม้ เป็นที่กล่าวกันว่าการหันเหของเกรนไม้จากแนวตั้งฉากกับคมมีดจะทำให้พื้นผิวขรุขระมากขึ้น แต่ก็ไม่มีหลักฐานเรื่องดังกล่าวปรากฏอยู่เช่นกัน
4. ชนิดของเนื้อไม้
5. ความลึกในการตัด
6. ความหนาของฟอยล์
7. ความไม่คมของใบมีด
8. ลักษณะการติดตั้งตัวหักเศษ

ทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นของไม้จากประเทศสหรัฐ ยังไม่เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวของไม้ยางพารา ในกรรมวิธีการตัดขึ้นรูป เพียงแต่มีการคาดคะเนว่าคงจะมีปัญหาในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน วัตถุประสงค์ของการแปรรูป เพื่อให้ประหยัดต้นทุนในการผลิต ต้องมีการเลือกสภาวะการตัด ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วของเครื่อง อัตราการป้อน ความลึก ในค่าที่เหมาะสม และการเลือกใช้ใบมีดที่มีความเหมาะสม โดยดูจากคุณภาพชิ้นงานที่เกิดขึ้นและอายุการใช้งานของใบมีด นอกจากนี้แล้วยังต้องรู้ถึงอิทธิพลของความชื้นในเนื้อไม้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีอยู่บ้างแล้วสำหรับไม้เมืองหนาว แต่ไม่ปรากฏว่ามีข้อมูลของไม้ยางพารา จึงจำเป็นที่จะต้องลงมือทำการทดลองและวิเคราะห์ เพื่อหาข้อมูล ขาดสาร และข้อสรุปที่สามารถนำไปใช้งานได้

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีความพร้อมและมีประสบการณ์ในการศึกษาเรื่องการตัดโลหะ จึงเป็นการเหมาะสมที่จะเริ่มทำการศึกษา โดยข้อจำกัดของทรัพยากร และเป็นงานริเริ่มมีลักษณะของงานบุกเบิก

คณะผู้วิจัยจึงต้องจำกัดขอบเขตของงานวิจัยไว้เพียงการใช้กระบวนการกลึงผิวทรงกระบอกโดยใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีดสตีล ซึ่งเป็นกรรมวิธีอย่างง่าย ที่ใช้ในการผลิตงานบางส่วนในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลและความรู้ที่ได้จากโครงการนี้ จะเป็นประโยชน์กับอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในแง่ของการเลือกใช้สภาวะการตัดที่เหมาะสม เพื่อเป็นประโยชน์ในการประหยัดเวลาและต้นทุนในการผลิต และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากขึ้น นอกจากนี้ก็เพื่อที่จะเป็นการเปิดทางไปสู่งานวิจัยที่ละเอียดและกว้างขวางยิ่งขึ้นในภายหลังก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อกำหนดปัจจัยหลักๆ ที่ต้องควบคุมในงานกลึงไม้ยางพารา
2. เพื่อตัดสินใจกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกลึงไม้ยางพารา

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถประหยัดเวลาในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ในขั้นตอนของการกลึงได้
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยการใช้ประโยชน์จากเครื่องจักรหรือเครื่องมือที่มีอยู่ได้เต็มประสิทธิภาพ
3. สามารถเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราได้
4. สามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราได้
5. สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของใบมีดได้
6. สามารถสร้างองค์ความรู้เพื่อเปิดทางไปสู่การวิจัยระดับลึกครอบคลุมกระบวนการผลิตอื่นๆ กว้างขวางขึ้น

1.4 วิธีการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องกลึงเปลี่ยนค่าความเร็วได้อย่างต่อเนื่อง
2. อุปกรณ์วัดแรงติดตั้งกับเครื่องกลึง (lathe dynamometer)
3. อุปกรณ์วัดค่าความขรุขระของพื้นผิว
4. กล้องจุลทรรศน์วัดค่าละเอียดได้ (Measuring Microscope)
5. เครื่องมือวัดความชื้นในเนื้อไม้
6. ไบโอมิตเหล็กกล้าไฮสปีด
7. ไม้ยางพารา

วิธีดำเนินการ

1. สุ่มตัวอย่างไม้ยางพาราที่ผ่านการอบแห้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน (มักเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าการทำงานจริง) เพื่อที่จะปรับสภาวะการกลึงในห้องทดลอง ของภาควิศวกรรมอุตสาหการ ให้มีความใกล้เคียงกับการทำงานจริงในโรงงาน เพราะว่าในโรงงานจะมีการใช้ความเร็วของเครื่องกลึงสูง และชิ้นงานมีขนาดเล็ก แต่เครื่องกลึงในภาควิชา มีข้อจำกัดเรื่องความเร็วที่สามารถใช้ค่าได้น้อยกว่า จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ความยาวชิ้นงานประมาณ 100 ซม. จากโรงงานแปรรูปจำนวนประมาณ 100 ท่อน แต่ละท่อนนำมาเลื่อยเป็นชิ้นงานยาวประมาณ 30 ซม. ระบุอัตราหมายเลขรหัส และตัดเนื้อไม้ตัวอย่างไปหาค่าความแข็งและความชื้นเฉลี่ย
2. นำไบโอมิตเหล็กกล้าไฮสปีด เป็นวัสดุไบโอมิตที่ใช้ในงานไม้ทั่วๆไป มาเจียรไนให้มีมุม Rake angle ตามที่ต้องการ โดยครอบคลุมค่าจริงที่ใช้กันอยู่ภายในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่ามุมดังกล่าวอย่างน้อย 5 ค่า ซึ่งการศึกษาอิทธิพลของลักษณะทางเรขาคณิตของไบโอมิตจะมีการศึกษาเพียงมุม Rake angle และมุมอื่นๆ เนื่องจากว่าเป็นมุมที่มีผลกระทบกับพื้นผิวของเนื้อไม้มากที่สุดในการทำงานจริง
3. ทำการคำนวณอายุการใช้งานของไบโอมิตโดยศึกษาจากการสึกหรอของไบโอมิตซึ่งใช้วัดค่าโดยกล้องจุลทรรศน์วัดความลึกและความกว้าง ของการสึกหรอเพื่อคำนวณหาอายุการใช้งานของไบโอมิต จากการรู้มุมมิตค่ามุมต่างๆกัน ในการศึกษาระบวนการผลิตเบื้องต้นในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ถ้าพบว่าความลัมพันธ์ของตัวแปรมีความซับซ้อน ก็จะมีการวางแผนการทดลองเพิ่มเติมเท่าที่จำเป็น
4. ทำการเลือกสภาวะการตัด ซึ่งประกอบด้วยความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด เฉพาะของการกลึงละเอียดซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับผิวเนื้อไม้ยางพาราในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการกลึง ซึ่งการเลือกค่าต่างๆจำเป็นต้องให้ใกล้เคียงกับสภาวะการกลึงที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในห้องถิ่น เช่น ความเร็วในช่วงประมาณ 300-400 เมตรต่อนาที อัตราการป้อน 0.1 มม.ต่อรอบ ความลึกประมาณ 1.0 มม. เป็นต้น จากนั้นสุ่มใช้ไบโอมิตที่มีมุม Rake angle

ต่างๆมาตัด เพื่อวัดค่าความขรุขระเฉลี่ยของพื้นผิว (R_a , R_{pm} , และ R) บันทึกประเภทของความเสียหายบนพื้นผิวที่เกิดขึ้น เช่น การฉีก การเกิดขุย การเกิดรอย

5. วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่ได้มีการบันทึกไว้โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติมาแปลความหมายจากข้อมูล ทำการพยากรณ์ค่าความขรุขระต่ำสุดเท่าที่เครื่องจักรและใบมีดจะผลิตขึ้นมาได้ และสามารถการตัดและลักษณะใบมีดที่จะทำให้เกิดความขรุขระต่ำสุด
6. ทำการเจียรใบมีดให้ได้ลักษณะใบมีดที่ดีที่สุด นำใบมีดที่ลับขึ้นมาใช้ทำการทดลองกลึง และวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน เพื่อยืนยันค่าความแม่นยำในการพยากรณ์
7. ทำการสรุปผลงานวิจัยทั้งหมดที่เกิดขึ้นเพื่อเสนอต่อทางโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อทดสอบและรับฟังข้อคิดเห็นต่อไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. เครื่องกลึงที่จะใช้ในกรกลึงไม้ยางพาราใช้เครื่องกลึงในห้องปฏิบัติการตัดวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมีการปรับปรุงเครื่องให้มีเงื่อนไขของการทดลองมีสภาพใกล้เคียงกับการทำงานจริงในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา
2. ไม้ยางพาราที่จะนำมาเป็นชิ้นงานในการทดลองเป็นชิ้นงานที่ได้มาจากการซื้อจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราซึ่งผ่านการอบแห้งมาแล้ว แต่มีความเข้าใจกันในปัจจุบันว่าไม้ยางที่มีความชื้นสูง เมื่อนำมากลึงแล้วจะทำให้เกิดขุยบนชิ้นงานที่ผ่านการกลึง ซึ่งเรื่องดังกล่าวยังไม่มียังข้อมูลการศึกษาอย่างจริงจังปรากฏอยู่ ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้จึงเป็นปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่ต้องนำมาศึกษาในครั้งนี้
3. ใบมีดที่ใช้ในการกลึงเป็นใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด ขนาด $\frac{5}{16} \times \frac{5}{16} \times 4$ นิ้ว โดยประมาณ
4. สภาวะการตัดที่จะทำการศึกษาในการทำโครงการครั้งนี้คือ
 - 4.1 ค่ามุม Rake angle ของใบมีด มุมมีดที่มีผลมากที่สุดคือมุมเฉย (Rake angle) ซึ่งจะนำมาศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อผิวไม้หลังการกลึงสำเร็จ ส่วนมุมอื่น ๆ เช่น มุมหลบ (Clearance angle) และมุมเฉียง (Angle of Obliquity) จะยังไม่นำมาศึกษาในครั้งนี้เนื่องจากมีความเชื่อกันว่าเป็นมุมที่มีอิทธิพลต่อการตัดน้อย
 - 4.2 ความเร็วรอบในการกลึง ซึ่งจะมีการกำหนดความเร็วรอบของเครื่องไว้ไม่เกิน 3,000 รอบต่อนาที เพื่อความปลอดภัยในการทำงานภายในห้องทดลอง ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตจริงใช้ความเร็วรอบอาจจะคลุมตั้งแต่ 100-8,000 รอบต่อนาที
 - 4.3 อัตราการป้อนใบมีด
 - 4.4 ความลึกในการกลึงละเอียด

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยการตัดวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ประมาณ 1 ปี (ก.ย. 43 - ส.ค. 44)

1.8 ขั้นตอนของแผนการทำงาน

- 1.8.1 ภายใน 1 เดือน สามารถจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ประกอบการศึกษาทดลอง และการติดตั้งให้เป็นทีเรียบร้อย
- 1.8.2 ภายใน 3 เดือน วางแผนการทดลอง และเริ่มทดลองเบื้องต้น เพื่อกำหนดตัวแปร และการปรับเปลี่ยนค่าที่ต้องศึกษาจริงๆ
- 1.8.3 ปรับเปลี่ยนปัจจัยการทดลองให้สอดคล้อง และเตรียมการทดลองขั้นสุดท้าย ภายใน 4 เดือนแรก
- 1.8.4 ภายใน 9 เดือน สามารถทดสอบสภาวะต่างๆในการกลึงได้ตามแผนที่วางไว้
- 1.8.5 เมื่อสิ้นเดือนที่ 11 สามารถวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เพื่อยืนยันแนวทางการสรุปผล
- 1.8.6 สรุปผล และจัดทำรายงาน พร้อมทั้งรับฟังข้อคิดเห็นจากภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทํารีวิวในครั้งนี้ได้มีการนำทฤษฎีต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองซึ่งทฤษฎีต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ได้มี การอธิบายดังต่อไปนี้

2.1 ไบมีดตัด (Cutting Tool)

ไบมีดตัด (cutting tool) เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง ที่จะเป็นตัวกำหนดว่า การตัดวัสดุชิ้นงานชนิดหนึ่งนั้นจะ ปฏิบัติไปได้หรือไม่ จะสามารถตัดได้อย่างเร็วที่สุดเพียงใด ราคาและอายุการใช้งานของไบมีดมีส่วนกำหนดราคาต้นทุนใน การผลิตต่อชิ้นจะเป็นเท่าใด ไบมีดมีผลต่อความราบเรียบของพื้นผิว ข้อความแม่นยำของชิ้นส่วนที่ผลิต เครื่องจักรที่มี ราคาแพงและขีดความสามารถสูงจะไม่สามารถทำงานได้เต็มขีดความสามารถ ถ้าผู้วางแผนหรือผู้ใช้เครื่องจักรไม่มีความ รู้เพียงพอเกี่ยวกับไบมีด ในบทนี้จะได้หยิบยกเรื่องไบมีดขึ้นมาพิจารณา

2.1.1 หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ไบมีด

ในการตัดโลหะแบบธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปนั้น อาศัยหลักการขั้นพื้นฐานที่ว่า ใช้ไบมีดที่มีความแข็งสูงกดลงบน ชิ้นงานที่มีความแข็งน้อยกว่า เนื้อชิ้นงานจะเกิดสนามของความเค้น (stress field) เมื่อลากคมมีดผ่านเนื้อชิ้นงาน ค่า ความเค้นในระนาบหนึ่งบนเนื้อชิ้นงาน จะสูงเท่ากันหรือมากกว่าความต้านทานเฉือน (shear strength) ของเนื้อวัสดุชิ้น งาน เป็นผลให้เกิดการเฉือนของเนื้อชิ้นงาน ชิ้นงานจึงแยกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ ชิ้นส่วนที่จะนำไปใช้ ส่วนที่สอง คือส่วนซึ่งแยกออกมา มีลักษณะเป็นเส้นยาว ๆ หรือเป็นท่อนสั้น ๆ เรียกว่าผอย

ไบมีดตัด (cutting tool) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการตัดวัสดุ ทั้งนี้เพราะการตัดวัสดุเกิดขึ้น ที่บริเวณใกล้คมมีด ความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกหรอ และขีดความสามารถอื่น ๆ ของไบมีด จะเป็นปัจจัย สำคัญยิ่งต่อประสิทธิภาพของการตัด ต่อประสิทธิภาพของการใช้เครื่องจักรกลตัดวัสดุ และต่อค่าใช้จ่ายในการตัดวัสดุ

อิทธิพลของไบมีดต่อการพัฒนาเครื่องจักรกลตัดวัสดุ

การพัฒนาของไบมีดสามารถมีผลให้เครื่องจักรกลตัดโลหะล้ำสมัยได้ (1) ดังตัวอย่างที่เกิดขึ้นมาแล้วต่อไปนี้

ในสมัยแรกเริ่มของอุตสาหกรรมตัดวัสดุ คือ ก่อน พ.ศ. 2440 ไบมีดที่นิยมใช้กันมาก คือไบมีดที่ทำจากเหล็ก กล้าไฮคาร์บอน (high carbon steel, HCS) ซึ่งมีค่าความแข็งสูงเพียงพอต่อการกลึงเหล็กกล้าแต่ต้องใช้งานที่ ความเร็วในการตัดต่ำ ทั้งนี้เพราะเหล็กกล้าไฮคาร์บอนจะอ่อนตัวและสึกหรออย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิและความเร็วสูง ใน ปี พ.ศ. 2443 ในการแสดงสินค้าที่กรุงปารีส Frederick W. Taylor ได้นำไบมีดที่ทำจากสารชนิดใหม่ คือ เหล็กกล้า ไร้สนิม ที่เป็นเหล็กกล้าที่เจือสารบางชนิด มีความสามารถที่คงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง ได้แสดงการตัดชิ้นงานเหล็ก กล้าที่ผ่านการตีขึ้นรูป (mild steel forging) หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ไบมีดที่มีความเร็วสูง และอัตราการผลิต ชิ้นสูง จนทำให้ผอยกลายเป็นสีน้ำเงิน และไบมีดร้อนจนเป็นสีแดง โดยใช้ความเร็ว 40 m/min อัตราไบมีด 1.6

mm/rev ความลึกในการตัด 4.8 mm การสาธิตครั้งนั้น ได้สร้างความประทับใจแก่ผู้ชมมาก และมีผลทำให้มีเหล็กกล้าไฮสปีดได้รับความนิยมมากจนถึงปัจจุบัน และทำให้ใบมีดเหล็กกล้าไฮคาร์บอนล้าสมัยและเลิกใช้ไป นอกจากนี้แล้ว ต่อมาเมื่อมีผู้นำเอาใบมีดไฮสปีดไปใช้งานที่ในระเทศเยอรมัน ที่สภาวะที่ขีดความสามารถ คือ ความเร็วสูง อัตราการป้อนสูง และเครื่องจักรกลชำรุดจนหมดสภาพการใช้งานในหนึ่งเดือน เครื่องจักรกลตัดวัสดุที่มีอยู่ในโลกในขณะนั้นจึงล้าสมัยไปทันที คือไม่สามารถทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงเพิ่มที่อีกต่อไป

จากตัวอย่างที่ยกมาข้างต้นนี้ จึงเป็นที่เข้าใจกันว่าในการจะใช้งานของใบมีด ให้เต็มขีดความสามารถของใบมีดนั้น จำเป็นจะต้องพัฒนาเครื่องจักรกล ให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นตามขีดความสามารถของใบมีดไปด้วย และในทำนองกลับกัน เมื่อมีการเครื่องจักรกลที่มีขีดความสามารถสูง และราคาแพงก็จำเป็นจะต้องพัฒนาใบมีดที่มีขีดความสามารถสูง มาใช้ประกอบกันด้วย หลังจากการนำเหล็กกล้าไฮสปีดมาใช้ตั้งหักเวลาแล้ว ในสมัยต่อ ๆ มาได้มีการพัฒนาใบมีดต่ออย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน และใบมีดทำจากสารมากมายหลายชนิดให้เลือกใช้ได้เหมาะสมกับงาน เช่น ใบมีดคาร์ไบด์ จิวบิกโบรอน ไนไตรด์ เพชรเซรามิก เป็นต้น ในบพนี้ จึงจะได้หยิบยกเรื่องของใบมีดมาพิจารณาในแง่มุมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจ ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่การเลือกใช้ใบมีดให้ถูกต้องและเหมาะสมแก่งานต่อไป

2.1.2 สิ่งที่ควรรู้เกี่ยวกับใบมีด

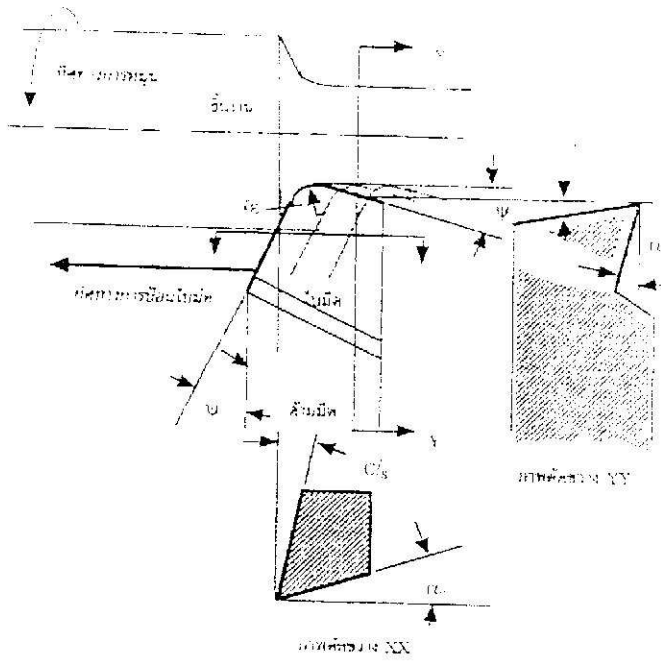
ใบมีด (cutting tool) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ฆ่าลงไปในงาน เพื่อแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่ง เป็นผอมโลหะ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปที่ต้องการ สิ่งที่จะต้องศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับใบมีด มี 3 สิ่ง คือ

1. วัสดุใบมีด (cutting tool material) รวมทั้งโครงสร้างของใบมีด เช่น โครงสร้างจุลภาคและการเคลือบผิว
2. ลักษณะทางเรขาคณิตของใบมีด (cutting tool geometry) หมายถึง มุมมีด และขนาดของลักษณะต่าง ๆ
3. สมรรถนะของใบมีด หรือ ขีดความสามารถในการใช้งานของใบมีด (cutting tool performance) เช่น ความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกหรอ ค่าความเร็วสูงสุดที่สามารถใช้งานได้ ซึ่งครอบคลุมค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เกี่ยวข้องกับใบมีดด้วย

เพื่อที่จะเรียนรู้ เพื่อที่จะนำความรู้ไปใช้ผลิตชิ้นส่วนอย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพสูง เราจะหยิบยกเรื่องใบมีดตัดมาศึกษาในบพนี้

2.1.3 ลักษณะเรขาคณิตของใบมีด

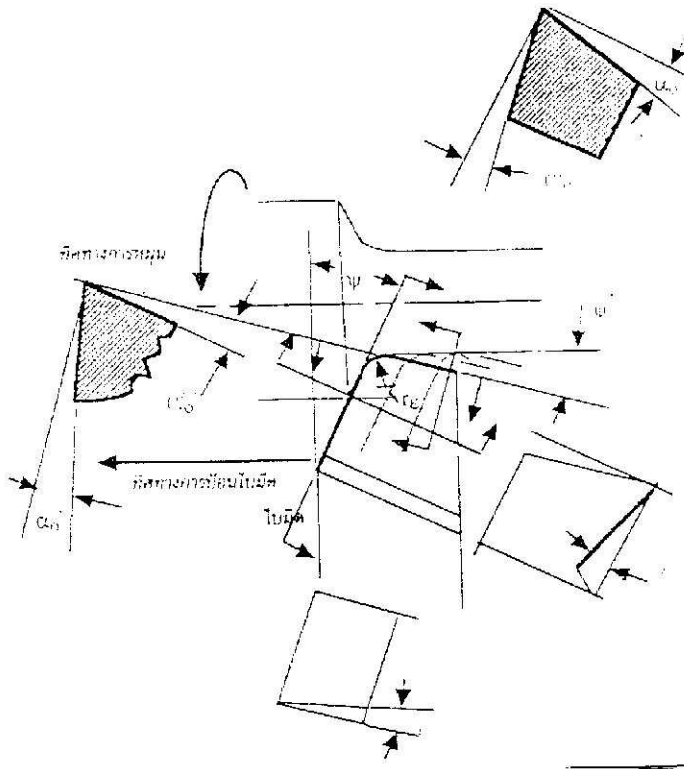
เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตมีมากมาย และหลายหลาก มีตัวแปรเรขาคณิตหลายต่อหลายตัวมาเกี่ยวข้องกับ ใบมีด จัดมีหลากหลาย เช่น ใบมีดกลึง (lathe tool) ใบมีดไส (shaping tool) ใบมีดกัด (milling cutter) ดอกสว่าน (drill) แต่ละชนิดยังแบ่งย่อยตามลักษณะการใช้งานต่อไปอีก ไม่สามารถที่จะศึกษาได้ทั้งหมดในเวลาอันจำกัด จึงจำเป็นต้องหยิบยกเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้กันมากที่สุด และรู้จักกันดีที่สุด คือการกลึง (turning) มาศึกษาก่อน เพื่อให้มีความเข้าใจ และนำแนวคิดนี้ไปตัดแปลงใช้กับกรรมวิธีอื่น ๆ เช่น การตัด การไสให้เรียบ การเจาะ เป็นต้น ต่อไปนี้



เมื่อ

- ψ = มุมเข้าหา (approach angle) หรือ มุมนำ (lead angle)
 α_s = มุมเวงด้านข้าง (side rake angle)
 C/s = มุมหลบด้านข้าง (side clearance angle)
 ψ' = มุมหลบตัดด้านหลัง (back cutting edge angle)
 α'_s = มุมเวงด้านหลัง (back rake angle)
 C/s' = มุมหลบด้านหลัง (back relief angle)
 r_n = รัศมีมุมมีด (Connor radius) หรือรัศมีจมูกมีด (nose radius)

รูปที่ 2-1 วิธีระบุลักษณะของใบมีดกลึงตามแบบอเมริกันดั้งเดิม



ψ = มุมคมตัดหลัก (major cutting edge angle)

α = มุมงอฉากหลัก (major orthogonal rake angle)

$C/$ = มุมหลบฉากหลัก (major orthogonal clearance angle)

ψ' = มุมคมตัดรอง (minor cutting edge angle)

รูปที่ 2-2 วิธีระบุลักษณะของใบมีดกลึงตามแบบระนาบตั้งฉาก

การระบุลักษณะของใบมีดมีหลายแบบในการใช้งานจึงอาจจะมีการใช้หลายวิธีการปะปนกันไป แต่ควรจะพยายามระบุลักษณะใบมีดให้ชัดเจน เพื่อให้สามารถเทียบเคียงข้อมูลและข่าวสารระหว่างใบมีดที่ระบุลักษณะโดยที่แตกต่าง การเรียกชื่อมุมต่าง ๆ ในแต่ละประเทศจะมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน ทำให้เกิดความสับสน ISO 31 จะพยายามจัดระบบให้เป็นมาตรฐาน ในงานวิจัยเล่มนี้พยายามเรียกชื่อมุมตามแนวทางของ ISO ดังเช่นในรูปที่ 2-1 และ 2-2 แต่ก็ยังเรียกโดยชื่อดั้งเดิมเป็นครั้งคราว เพื่อให้เกิดความเข้าใจกว้างขวางขึ้นกว่าที่ระบุใน ISO เพราะโดยความเป็นจริงแล้วยังมีผู้นิยมเรียกชื่อเดิมอยู่มาก และแนวทางของ ISO

2.1.4 วัสดุใบมีด (Tool Material)

การค้นคว้าหาวัสดุใบมีดใหม่ ๆ ที่มีสมบัติดีกว่าวัสดุที่เคยใช้ เป็นงานที่การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะมีวัสดุชิ้นงานใหม่ ๆ ที่มีสมบัติแตกต่างจากวัสดุชิ้นงานเดิมเกิดขึ้นตลอดเวลา นอกจากนี้เครื่องจักรกลที่ตัดด้วยวัสดุก็มีการพัฒนาให้มีความเร็วสูงขึ้น ทำงานด้วยความเร็วสูงขึ้น ทำงานที่ซับซ้อนได้มากขึ้น จึงจำเป็นต้องค้นคว้าหาวัสดุใบมีดใหม่ ๆ มาใช้ เพื่อให้สามารถตัดวัสดุชิ้นงานใหม่และใช้งานเครื่องจักรกลใหม่ ๆ ให้เต็มขีดความสามารถ สมบัติของวัสดุใบมีดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะต้องมีการค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหมู่ผู้ผลิตใบมีด ส่วนผู้ใช้ใบมีดก็ต้องติดตามข่าวสาร ทำความเข้าใจเกี่ยวกับใบมีดรุ่นใหม่ ๆ เพื่อจะเลือกนำมาใช้เหมาะสม เพราะบริษัทผู้ผลิตใบมีดก็ได้มีการผลิตใบมีดรุ่นใหม่ ๆ ออกมาจำหน่ายอยู่ตลอดเวลา โดยที่ใบมีดรุ่นใหม่ ๆ จะมีขีดความสามารถสูงขึ้นกว่าใบมีดรุ่นก่อน ๆ

สมบัติของวัสดุใบมีด

หลักการขั้นพื้นฐานของการตัดวัสดุโดยใช้ใบมีด มีอยู่ว่า "วัสดุที่แข็งกว่าย่อมจะตัดวัสดุที่อ่อนกว่าให้เป็นรอยได้" ดังนั้น ใบมีดจะต้องทำจากวัสดุที่มีความแข็งสูงกว่าชิ้นงานเสมอ

วัสดุที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้ทำใบมีด ควรจะมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความแข็งสูง (high hardness) คือ ในอุณหภูมิปกติของห้อง ความแข็งของวัสดุใบมีดต้องสูงกว่าความแข็งของวัสดุชิ้นงานมาก จึงจะสามารถผ่าเนื้อสารชิ้นงานออกเป็นสองส่วนได้ โดยทั่วไปการวัดค่าของความแข็งของใบมีดและชิ้นงานในการตัดโลหะ นิยมระบุเป็นค่าความแข็งในระบบร็อคเวลล์ (Rockwell) สเกล (HRB) และในสเกล C (HRC) บางครั้งก็ระบุในสเกล A (HRA) วัดความแข็งที่อุณหภูมิห้อง
2. คงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (hot hardness) กล่าวคือ ขณะที่ใช้ใบมีดกำลังทำหน้าที่ตัดวัสดุชิ้นงานอยู่นั้น ทั้งชิ้นงานและใบมีดจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไป สารทุก ๆ ชนิดจะอ่อนตัวลง คือ ค่าความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าค่าความแข็งของสารใบมีดลดลงกว่าความแข็งของชิ้นงานเพียงเล็กน้อย ใบมีดจะสึกหรออย่างรวดเร็ว หรือไม่ก็แตกหักลงไป ไม่สามารถตัดชิ้นงานได้ วัสดุใบมีดที่คงความแข็งได้ดี คือ มีความแข็งลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิมมาก
3. ต้านทานการสึกหรอได้ดี (high wear resistance) ที่ผิวหน้ามีดจะมีการเสียดสีกับเนื้อผอยโลหะ และที่ผิวหลังมีดใกล้บริเวณคมมีดจะมีการเสียดสีระหว่างมีดกับเนื้อชิ้นงานที่เพิ่งถูกตัด การเสียดสีที่อุณหภูมิสูง ทำให้ใบมีดสึกหรอ การแพร่กระจายของอะตอมสารใบมีดเข้าสู่เนื้อสารชิ้นงาน ก็จะทำให้สารใบมีดสึกหรอเร็วขึ้น เช่นกัน สารใบมีดที่ดีควรจะสึกหรอช้า และโดยมากสารที่มีความแข็งสูงมักจะต้านทานการสึกหรอได้ดี แต่ก็ไม่เสมอไป
4. มีความแข็งแรงสูง (high strength) คือ ควรจะมีความต้านการดึง (tensile strength) สูงและมีความต้านการกด (compressive strength) สูงด้วย เพื่อให้ทนทาน ไม่แตกหักง่าย
5. ไม่เปราะ หรือร้าวง่าย เมื่อถูกกระแทกกระทั้น (shock resistance) ทั้งนี้เพราะสารที่มีความแข็งสูง มักจะเปราะ
6. ไม่ไวต่อการบรลัยโดยการล้า (fatigue resistance) คือ แตกหักหรือบรลัยโดยการล้าได้ง่าย

7. ไม่ไวปฏิกิริยาเคมี ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้สึกหรออย่างรวดเร็ว ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอากาศจนเป็นสนิมได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำหล่อเย็นจนอาจทำให้เกิดการสึกกร่อน (corrosion) อย่างรวดเร็ว
8. ขึ้นรูปง่าย วัสดุใบมีดที่แข็งมักจะยากแก่การหล่อหลอม ยากแก่การตัด เจียระไน หรืออัดหลอมขึ้นรูป (sintering) เพื่อให้มีรูปและขนาดตรงตามความต้องการ
9. ราคาถูก เพื่อให้สามารถนำมาผลิตเป็นใบมีด และจำหน่ายให้ได้รับความนิยมนำไปใช้งาน
10. หาซื้อได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการจัดหามาใช้ ไม่มีการขาดแคลน การเลือกใช้วัสดุมีดตามที่ปฏิบัติจริงจะถูกจำกัดโดยความเป็นจริงที่ว่า ไม่มีวัสดุใดมีสมบัติเพียบพร้อมไปทุกอย่างวัสดุที่มีสมบัติเด่นในบางอย่างก็มักจะด้อยในบางอย่าง ยกตัวอย่างเช่น คาร์ไบด์ของโลหะ ซึ่งนิยมนำมาทำใบมีด เป็นสารที่มีความแข็งสูง และสึกหรอช้า แต่มักจะเปราะและไม่ทนทานต่อการกระทบกระแทกส่วนสารที่เหนียว เช่น เหล็กกล้าไฮสปีด ซึ่งนิยมนำมาทำใบมีดเช่นกัน จะกะเทาะยาก ทนการกระทบกระแทกได้ดี แต่มีความแข็งต่ำและสึกหรอง่าย ดังนั้น จึงจะต้องเลือกใช้สารใบมีดให้มีสมบัติเหมาะสมแก่งานที่จะทำ และไม่มีสารใดที่ใช้ได้ดีที่สุดในทุกสภาวะ การรู้จักเลือกใช้ใบมีดให้เหมาะสมแก่งานและสภาวะการตัด จึงเป็นความรู้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ และจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้วัสดุใบมีด

ชนิดของวัสดุใบมีด

วัสดุใบมีดที่รู้จักกันในปัจจุบัน มีไม่ต่ำกว่า 10 ชนิด

1. เหล็กกล้าไฮคาร์บอน (high carbon steels, HCS)
2. เหล็กกล้าไฮสปีด (high speed steels, HSS)
3. โลหะอัลลอยหล่อนอกกลุ่มเหล็ก (cast nonferrous alloys, CAN)
4. คาร์ไบด์ (carbides, C)
5. เซอร์เมท (cermets, CT)
6. เซรามิก (ceramics, CC)
7. เพชร (diamond, D)
8. คิวบิก โบรอน ไนเตรด หรือ ซิบีเอ็น (cubic boron nitride, CBN)
9. โครไนท์ (coronite, CR) หรือ เหล็กกล้าไฮสปีดเคลือบผิว
10. เหล็กกล้าไฮสปีดที่อัดหลอมขึ้นมาจากผงโลหะ (sintered high speed steels, SHSS)

2.2 ความซุรชะของพื้นที่ผิวสำเร็จในการตัดวัสดุ

ในการตัดวัสดุ ไม่เพียงแต่จะต้องดูแลควบคุมให้แรงตัด แรงบิด กำลัง การสึกหรอและอายุการใช้งานของใบมีด เป็นไปในสภาวะที่เหมาะสมแล้ว ในหลาย ๆ กรณี โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการผลิตชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำสูง

จะต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษในเรื่องของค่าความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ เพื่อให้ได้พื้นผิวที่ราบเรียบ แม่นยำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของความขรุขระของพื้นผิวในการตัดวัสดุ

2.2.1 ประเภทของการตัดจำแนกตามความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จ

การตัดวัสดุ เมื่อมองในแง่ของความประณีต ความละเอียดแม่นยำ หรือความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จ (surface finish) นั้นคือพื้นผิวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิต พอจะแบ่งการตัดวัสดุเป็น 4 ประเภท คือ

1. การตัดหยาบ (rough cutting) หมายถึงการตัดที่ต้องการให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ไม่เน้นเรื่องความทำให้ค่าความขรุขระต่ำ ไม่เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงานส่วนมากจะทำการตัดโดยใช้ใบมีดตัดมักจะเป็นการตัดหยาบ ใช้ความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง และอาจจะต้องฉีดน้ำหล่อเย็นที่มีสมบัติของการหล่อลื่นหรือการลดแรงตัดได้ดี ทั้งนี้เพราะต้องการให้งานเสร็จเร็ว หลังจากตัดหยาบแล้ว อาจจะต้องมีการตัดละเอียด หรือการเจียรระไน อีกครั้งหนึ่ง
2. การตัดปานกลาง (medium cutting) หรือการตัดทั่ว ๆ ไป เป็นการตัดที่ประนีประนอมระหว่างการตัดหยาบและการตัดละเอียด คือ ต้องการให้งานเสร็จเร็ว โดยที่ต้องการให้พื้นผิวขรุขระน้อยด้วย ซึ่งอาจจะทำได้ในบางกรณี โดยการเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราป้อน และความลึกของการตัด ที่เหมาะสม
3. การตัดละเอียด (fine cutting) หมายถึงการตัดที่ต้องการให้ค่าความขรุขระต่ำ เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน ไม่เน้นให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเสร็จรวดเร็วก็เป็นการดี งานในลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นงานในขั้นตอนต่อเนื่องจากการตัดหยาบ หรือเป็นการตัดครั้งสุดท้าย ใช้ความเร็วในการตัดสูงหรือต่ำได้ แล้วแต่ความเหมาะสม อัตราป้อนต่ำ และความลึกในการตัดต่ำหรือปานกลาง แรงกำลังที่ใช้ตัดมักจะมีค่าน้อย จนไม่ก่อให้เกิดปัญหา มักจะต้องฉีดน้ำหล่อเย็นเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของบริเวณของการตัดอย่างรวดเร็ว เพื่อลดความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ
4. การตัดละเอียดยิ่ง (ultra-fine machining) ในการตัดชิ้นงานบางอย่าง เช่น การกลึงเลนส์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ให้พื้นผิวสำเร็จเป็นมันวาวคล้ายกระจก ค่าความขรุขระจะน้อยมากเป็นพิเศษ

การจำแนกประเภทของการตัด อาจจำแนกโดยค่าความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ ดังนี้

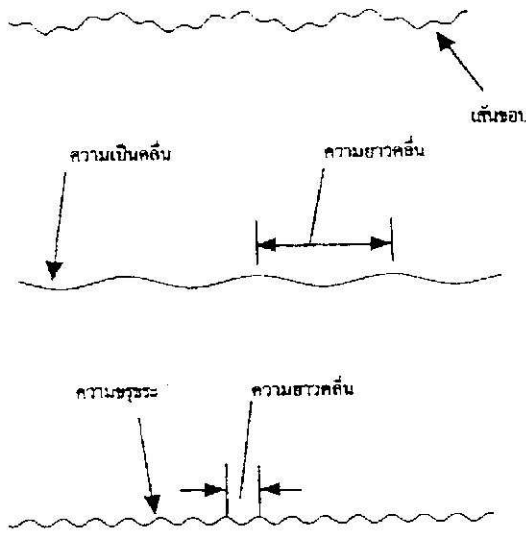
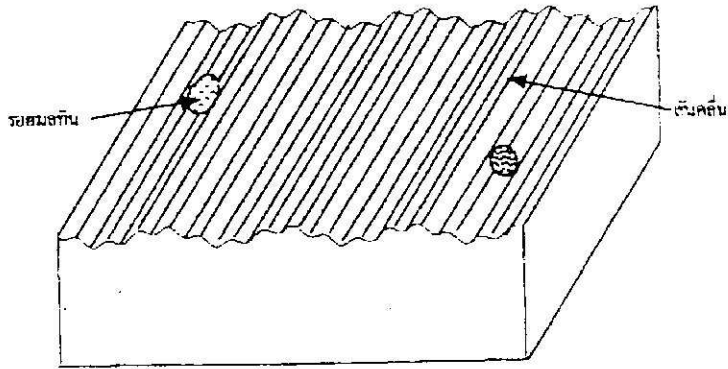
การตัดหยาบ ค่าความขรุขระแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต R_a ตั้งแต่ $10 \mu_m$ หรือ 0.010 mm ขึ้นไป

การตัดปานกลาง R_a ระหว่าง $1-10 \mu_m$ หรือ $0.001-0.010 \text{ mm}$

การตัดละเอียด R_a ระหว่าง $0.1-1 \mu_m$ หรือ $0.0001-0.001 \text{ mm}$

การตัดละเอียดยิ่ง R_a ตั้งแต่ $0.1 \mu_m$ (0.0001 mm) ลงไป

เมื่อใช้ใบมีดเพชรและเครื่องจักรกลที่สร้างมาเป็นพิเศษสามารถลดค่าความขรุขระซึ่งวัดเป็น R_a ได้ถึงประมาณ $0.01 \mu_m$ (0.00001 mm) นั่นคือค่า R_a ประมาณ $0.0025 \mu_m$



รูปที่ 2-3 องค์ประกอบของพื้นผิวสำเร็จ

2.2.2 ความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness)

รูปแบบโดยทั่วไปของพื้นผิว มีคำศัพท์ทางเทคนิคหลายคำที่เกี่ยวกับพื้นผิวที่ควรระวังไว้ เช่น

พื้นผิว (surface) หมายถึง ส่วนนอกสุดของเทหวัตถุ (body) ที่จะสัมผัสกับอวกาศ (space) หรือสัมผัสเกี่ยวข้องกับเทหวัตถุอื่นๆ พื้นผิวของของวัตถุอื่นๆ พื้นผิวของวัตถุส่วนมากจะมีลักษณะเป็นเหมือนเกลียวคลื่น ซึ่งมีความยาวคลื่น (wavelength) ยาว สอดคล้องกับระยะคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น

พื้นผิวสำเร็จ (finish surface) หมายถึง พื้นผิวที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต เช่น พื้นผิวขึ้นงานหรือขึ้นเสาเหล็ก ได้จากการกลึง ไส กัด เจาะ หรือแม้กระทั่งจากกรรมวิธีที่ไม่ใช่การตัด เช่น การหล่อ การฉีด การอัดหลอม เป็นต้น

ความเป็นคลื่น (waviness) หมายถึง การเกิดคลื่นที่มีช่วงคลื่นยาว ความเป็นคลื่นส่วนมากจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (sine wave) จึงอาจจะแสดงได้โดยขนาด (amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่น

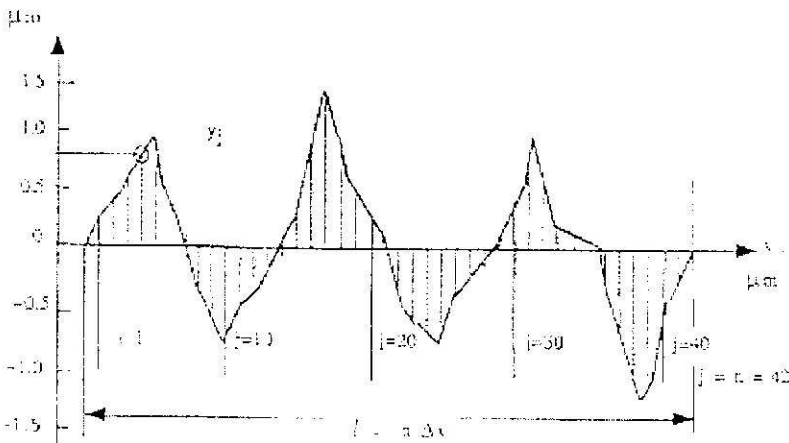
ความขรุขระ (waviness) หมายถึง ละเอียดคลื่นที่มีช่วงคลื่นสั้น ความขรุขระอาจแสดงได้โดยขนาด (amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่น

เส้นขอบ (profile) เป็นเส้นแสดงพื้นผิวเมื่อถูกตัดตามแนวขวาง

รอยมลทิน (saw) หมายถึง รอยรอยที่เกิดขึ้นอย่างไม่ทิศทางแน่นอน มีจำนวนน้อย และจะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณ และในการวัดค่าความขรุขระ

2.2.3 การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว

การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว โดยปกติแล้วจะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายเข็ม ลากอย่างช้า ๆ ผ่านบนแกนนอน (แกน X) ของพื้นผิวที่จะวัดค่าความขรุขระ การเคลื่อนที่ของปลายเข็มในแนวตั้งคือ ตามแกน Y จะป็นไปตามลักษณะเส้นขอบของพื้นผิว (surface profile) ดังแสดงในรูปที่ 2-3 จากนั้นจะมีระบบบันทึกค่า x และ Y ไว้ในหน่วยความจำ และระบบคำนวณค่าอิทธิพลของความเป็นคลื่น (waviness) ที่มีขนาด Y_w ในแนวตั้ง จากนั้นวงจรคำนวณก็จะลบค่าของอิทธิพลของความเป็นคลื่นออกก็จะเหลือเฉพาะในแกนตั้งอันเนื่องมาจากความขรุขระ (y) ซึ่งจะนำไปคำนวณค่าความขรุขระต่อไป



รูปที่ 2-4 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลิเมนต์ย่อย ๆ

นั่นคือ $y = Y - Y_w$ การคำนวณหาค่า Y จะทำโดยอัตโนมัติบนเครื่องมือวัด ค่า x และ y ที่บันทึกไว้ในขั้นนี้ เป็นแต่เพียงค่าของพื้นผิวจำลองที่เก็บผลมาจากความขรุขระ ยังไม่ใช่ค่าความขรุขระจะต้องนำไปคำนวณต่อไปอีก เพื่อหา ค่าของความขรุขระ

ค่าความขรุขระ แสดงได้โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ หลายตัวแปร ดังจะได้นำมาพิจารณาต่อไป

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Average, R_a)

ถ้าลากเส้นในแนวนอนผ่านกึ่งกลางของเส้นขอบรูปที่ตัดค่าความเป็นคลื่นออก จนเหลือคัมและซุขระ ดังแสดงในรูปที่ 2-4 เส้นนี้เรียกว่าเส้นกึ่งกลาง (central line) โดยแบ่งพื้นที่ระหว่างเส้นขอบรูปกับเส้นกึ่งกลางเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ค่าในแกนตั้งวัดจากเส้นกึ่งกลางจะเรียกว่าค่า y และค่าความสูงเฉลี่ยเลขคณิต R จะนำมาใช้เป็นค่าความซุขระ นั่นคือ $R =$ ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของพื้นที่ใต้เส้นขอบรูป/ระยะทางในการวัดตามแนวนอน หรือ

$$R = \frac{1}{n} \sum |y| \quad \dots 2.1$$

ในทางปฏิบัติที่ใช้ในการคำนวณโดยเครื่องมือวัดค่าความซุขระ ซึ่งคำนวณได้อย่างรวดเร็วจะตั้งค่า n ให้สูงกว่านี้ เป็นต้นว่าอาจตั้งค่า $n=100, 200, 500$ หรือ มากกว่านี้ เพราะถ้า n ยังมีค่ามาก ความคลาดเคลื่อนจากการที่มีจำนวนอีลีเมนต์น้อยเกินไป ยิ่งน้อยลง แต่ถ้า n มีค่ามาก การคำนวณจะยิ่งต้องใช้เวลามาก โดยที่ความแม่นยำที่ได้มาเพิ่มขึ้น อาจจะน้อยจนไม่มีความหมาย

ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต R_a เป็นค่าที่นิยมใช้ระบุความซุขระของพื้นผิวมาแต่ดั้งเดิมก่อนค่าอื่น ๆ และเป็นที่ยอมรับกันดีมานาน แต่ต่อมามีการนำเอาตัวแปรอื่น ๆ มาใช้ระบุค่าความซุขระเพิ่มเติมอีก เพื่อให้การพิจารณาความซุขระมีหลายมุมมองยิ่งขึ้น

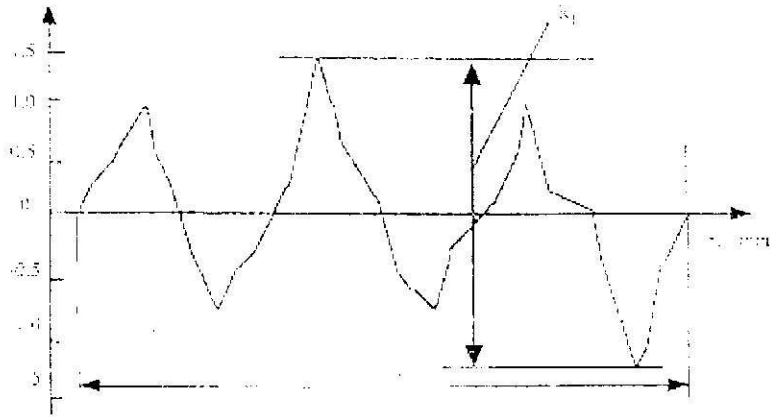
ค่าเฉลี่ยรูทมีนสแควร์ (Root Mean Square Average, R_q หรือ R_{rms})

การคำนวณหาค่าความซุขระตามวิธีรูทมีนสแควร์ เป็นความพยายามที่จะนำเอาหลักการทางสถิติมาใช้ในการวัดค่าความซุขระ โดยใช้สูตรการคำนวณโดยอาศัยหลักการยกกำลังสองของ y เพื่อให้ค่า y ที่มีค่าลบ กลายเป็นค่าบวกของ y จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของ y^2 แล้วจึงถอดกรณฑ์ หรือ รูท (root) ฐานสองเพื่อให้หน่วยของวัดเป็นหน่วยยกกำลังหนึ่ง ซึ่งเป็นหน่วยตามปกติที่คุ้นเคยกัน ค่าความซุขระตามวิธีรูทมีนสแควร์ R หรือ R_q หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum y^2} \quad \dots 2.2$$

ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด (Maximum Distance Between Peak to Valley, R_v)

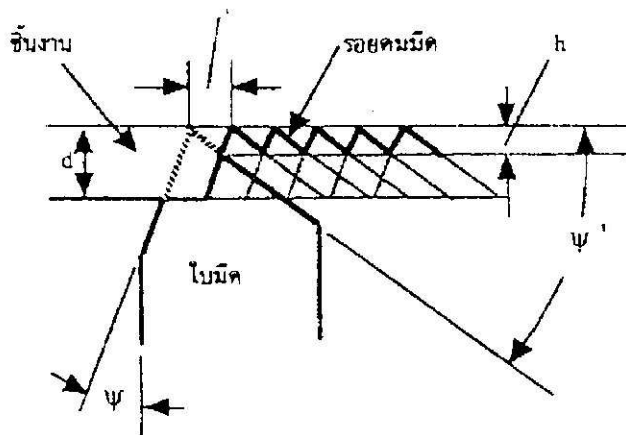
ค่า R_v ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด เท่าที่วัดได้จากความยาว โดยได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-6 ค่า R_v มีความหมายในการปฏิบัติดังนี้ คือ เป็นค่าที่จะบอกได้ว่า ในการจะขจัดเนื้อผิวตัวอย่างนี้ จะต้องจัดเนื้อผิวออกเป็นความลึกไม่น้อยกว่าค่าของ R_v จึงจะทำลายผิวเต็มทั้งหมด แต่เนื่องจากค่า R_v จัดไม่เข้าแนวนอนเพราะเป็นค่าสูงสุดเดียวซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นที่ผิวที่วัด จึงนิยมวัดค่าเฉลี่ย R_v แทนค่า R โดยให้ R_v เป็นค่าเฉลี่ยของค่าความสูงระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องที่ต่ำสุด ยังมีวิธีวัดค่าความซุขระวิธีอื่นอีกหลายวิธี แต่ไม่มีผู้จะเป็นที่ยอมรับทางมากนักจึงจะไม่นำมาพิจารณา



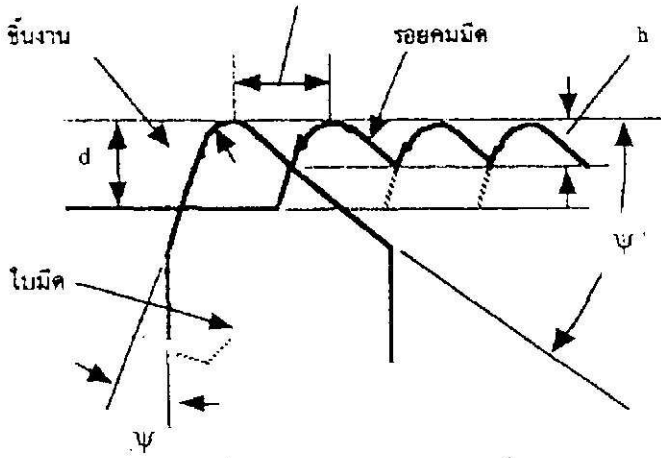
รูปที่ 2-6 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด R

2.2.4 รอยคมมีด (Feed Mark)

ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน มีความเข้าใจกันว่า พื้นผิวสำเร็จในการตัดวัสดุ ก็คือพื้นผิวที่คมมีดฝากรอยเอาไว้ และค่าความขรุขระก็วัดคำนวณหาได้จากพื้นผิวที่คมมีดฝากรอยเอาไว้นั้น แต่เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีความตระหนักว่าแนวคิดนี้อาจจะไม่ถูกต้อง แต่ยังมีอิทธิพลของตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจจะมีความสำคัญ และต้องนำเข้ามาพิจารณาด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ในความเข้าใจโดยทั่วไป ยังมีความเชื่อกันว่า ความขรุขระของพื้นผิวมีสาเหตุสำคัญที่สุดมาจากการที่คมมีดฝากรอยเอาไว้บนชิ้นงานในระหว่างการตัด



รูปที่ 2-7 รอยคมมีดในการกลึงเมื่อใช้ใบมีดปลายแหลม



รูปที่ 2-8 รอยคมมืดในการกลึงเมื่อใช้ใบมีดปลายมน

รูปที่ 2-7 เป็นกรณีของการกลึงโดยใช้ใบมีดปลายแหลมที่ไม่มีมุมมืด ซึ่งมักจะเป็นใบมีดทำจากวัสดุเหนียว ที่ยากที่จะกระเทาะหรือร้าว เช่น เหล็กกล้าไฮสปีด และใบมีดลับคมมาใหม่ ๆ ยังไม่มีการสึกหรือหักมุมมืด ความสูงระหว่างยอดและร่อง (h) ทุกค่ามีค่าเท่ากัน และรูปที่ 2-8 เป็นการแสดงรอยคมมืดที่มีปลายมุมมืด

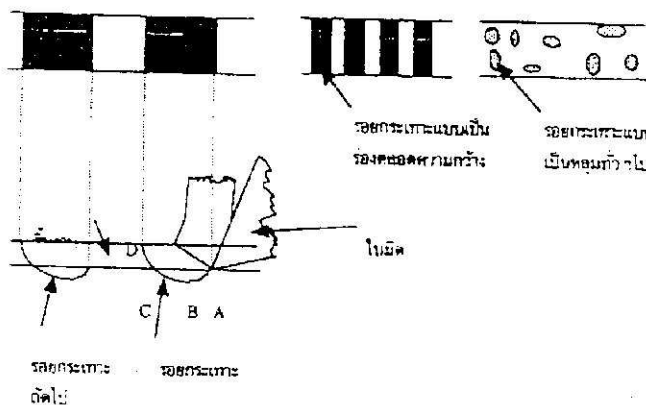
ค่าความขรุขระที่คำนวณได้จากรอยคมมืด บางครั้งเรียกว่า ค่าความขรุขระตามทฤษฎี (theoretical roughness value) หรือบางทีก็เข้าใจกันว่าเป็นค่าความขรุขระต่ำสุดที่เป็นไปได้ จึงบางครั้งเรียกว่า ค่าความขรุขระในอุดมคติ (ideal surface roughness value) คือเป็นค่าความขรุขระเมื่อไม่มีอิทธิพลของการกระเทาะหรือการฉีกขาดของพื้นผิวอยู่เลย อย่างไรก็ตามค่าความขรุขระในอุดมคติ ก็เป็นค่าที่มีประโยชน์ เพราะเป็นแนวความคิดที่รู้จักกันมานาน และเป็นเป้าหมายที่พยายามจะพัฒนาการตัดวัสดุให้สามารถบรรลุถึงได้ และมีผู้เชื่อว่าถ้าได้คัดเลือกใบมีด ชี้นงาน เครื่องจักร ให้ดีที่สุดในแล้ว ก็จะสามารถตัดชิ้นงานให้ได้ค่าความขรุขระเท่ากับค่าที่คำนวณได้จากรอยคมมืด

ความขรุขระจากรอยคมมืด กับ ความขรุขระที่วัดได้จริง

ถ้าความขรุขระบนพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจริง ก็คือพื้นผิวความขรุขระที่เกิดจากรอยใบมีดและไม่มีอิทธิพลอื่น ๆ เช่นการกระเทาะหรือการฉีกขาดของพื้นผิวมาเกี่ยวข้อง เมื่อนำเครื่องมือวัดค่าความขรุขระวัดค่าความขรุขระจริง ค่าความขรุขระจริงที่ได้วัดก็ควรจะเท่ากับค่าความขรุขระจากรอยใบมีด

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จของการตัดวัสดุที่สำคัญมี 2 ปัจจัย คือ รอยใบมีด และรอยกระเทาะหรือรอยฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 2-9 รอยใบมีด (feed mark) เป็นปัจจัยดั้งเดิมที่ติดกันมานาน รอยใบมีดยังมีความสำคัญอยู่ ไม่อาจจะละเลย แม้ว่าในหลาย ๆ กรณีอิทธิพลของรอยใบมีดอาจจะถูกบดบังด้วยอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ อิทธิพลของรอยใบมีดได้กล่าวไว้ข้างต้น

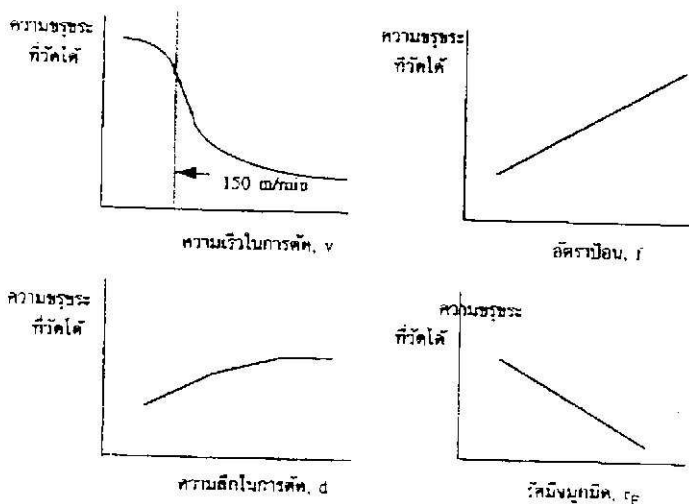


รูปที่ 2-9 รอยร้าวที่เกิดจากการแตกตัวของพื้นชิ้นงาน

รอยร้าวบนผิว (surface fracture) เป็นรอยที่เกิดขึ้นจากการที่บางส่วนของพื้นเกิดรอยร้าวจนเริ่มหลุดพื้นผิวหลุดออกไปเป็นก้อน ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-9 ในระหว่างการตัด จะเกิดรอยร้าวตามแนวเส้นโค้ง ABCD รอยร้าวนี้จะมีแนวตรงกันหรือใกล้เคียงกับแนวของพื้นผิวของความเค้นเฉือนสูงสุด (plane of maximum shear strain) ในเนื้อชิ้นงาน เริ่มมาจากคมมีดและโค้งขึ้นไปสู่พื้นผิวอิสระของชิ้นงาน และในท้ายที่สุดรอยร้าวจะแตกออกกลายเป็นร่องหรือหลุม ซึ่งจะปรากฏบนพื้นสำเร็จ โดยพื้นผิวสำเร็จจะมีสองส่วนสลับกัน ส่วนหนึ่งเป็นผิวเรียบเป็นมันที่เกิดจากการฟากรอยของใบมีด อีกส่วนหนึ่งเป็นร่องหรือหลุมที่มีคมซึ่งเกิดจากรอยร้าวและกะเทาะ ถ้าการกะเทาะมีน้อยก็จะเป็นหลุมเล็ก ๆ ถ้าการกะเทาะรุนแรงก็จะเป็นร่องยาวตลอดความกว้างของรอยตัด

แนวโน้มของอิทธิพลของความเร็ว อัตราป้อน และความลึกในการตัด

ความเร็วในการตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ควบคุมการตัดวัสดุในทีนี้ จะหยิบยกมาพิจารณาเฉพาะการกลึง มีผู้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัด ในการกลึงชิ้นงานหลายชนิด ดังตัวอย่างของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2-10



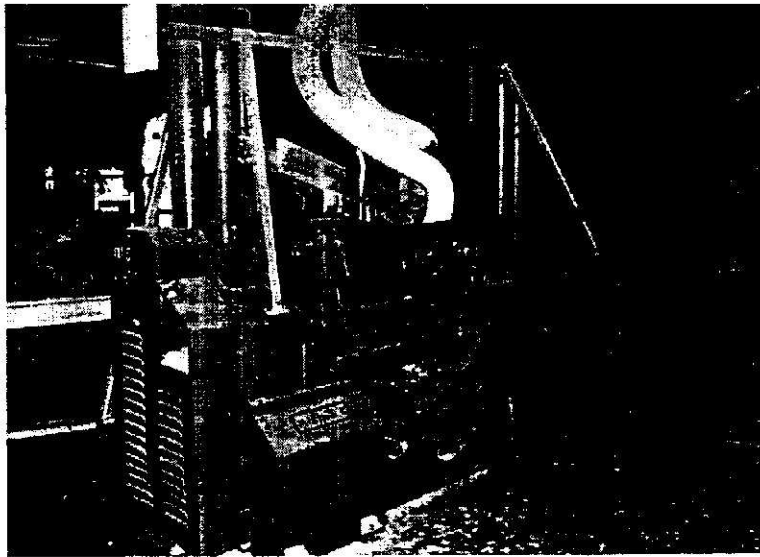
รูปที่ 2-10 แนวโน้มของความสัมพันธ์ที่แท้จริงในการกลึงอัลลอยของอะลูมิเนียมโดยใช้ใบมีดเหล็กกล้า AISI 11

2.3 เครื่องกลึงไม้แบบแบ็คไknife (Back-knife Lathe)

เป็นเครื่องกลึงไม้ที่นำมาใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมผลิตเก้าอี้ไม้ในเขตนิวอิงแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงในรูป 2-11 เครื่องกลึงชนิดนี้สามารถกลึงไม้ได้ทั้งที่เป็นแบบไม้ทรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมและทรงหน้าตัดกลมที่มีหน้าตัดกว้างถึง 3 นิ้ว ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกลึงที่ใช้ แต่ที่ใช้เป็นมาตรฐานจะอยู่ที่ขนาดความยาว 30 , 40 , 50 นิ้ว

วิธีการปฏิบัติการ คือ ท่อนไม้ที่ถูกนำมากลึงจะถูกจับยึดระหว่างหัวจับกับตัวจับยึดท้ายชิ้นงาน (Tail stock) ในการเลือกความเร็วรอบ (Spindle speed) สำหรับการกลึงจะอยู่ระหว่าง 2250-5500 RPM โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน ความลึกในการตัด และขนาดความยาวในการกลึง โดยหัวจับจะตั้งค่าความเร็วรอบระหว่าง 2000 ถึง 3000 RPM สำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 3 นิ้ว ที่ตั้งค่าความลึกในการตัดสูง และมีระยะการกลึงยาว ส่วนค่าความเร็วรอบสูงจะตั้งค่าความเร็วรอบระหว่าง 4000 ถึง 5000 รอบ เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจนถึงกลาง และตั้งค่าความลึกในการตัดต่ำ

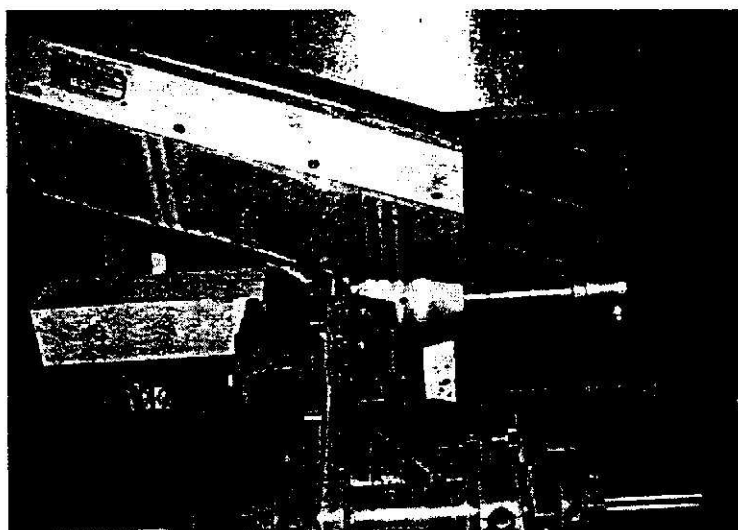
จำนวนใบมีดที่ใช้ในเครื่องกลึงแบบแบ็คไknife มีทั้งหมด 3 ชิ้น โดยใบมีดแรกและใบมีดที่สองเรียกว่า กอจด์ไknife (Gouge knife) เป็นใบมีดกลึงหยาบที่ถูกจัดยึดแน่นในแนวนอน เริ่มตัดท่อนไม้จะถูกกลึงด้วยใบมีดแรกและใบมีดที่สองก่อน เพื่อทำการปรับรูปร่างชิ้นงานเป็นทรงกระบอกและปรับขนาดชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับขนาดชิ้นงานจริงที่ต้องการ ส่วนใบมีดที่สามเรียกว่าใบมีดแบ็คไknife (Back-knife) แสดงในรูป 2-12 เป็นใบมีดกลึงละเอียดทำหน้าที่กลึงชิ้นงานให้ได้ผิวเรียบตามต้องการและมีขนาดรูปร่างตามกำหนด หลังจากท่อนไม้ผ่านการกลึงปรับรูปร่างและขนาดแล้ว ใบมีดแบ็คไknife ซึ่งมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งระหว่างการกลึง จะเคลื่อนที่ลงมากลึงละเอียดท่อนไม้นั้น โดยเริ่มจากปลายด้านที่ยึดกับตัวจับยึดท้ายชิ้นงานจนถึงส่วนปลายอีกด้านหนึ่ง จนได้เป็นชิ้นงานผิวละเอียดที่มีขนาดและรูปร่างถูกต้องตามต้องการ แล้วจึงเคลื่อนที่ขึ้นกับไปสู่ตำแหน่งเดิม สุดท้ายชิ้นงานที่ถูกจับยึดก็จะถูกปล่อยออกไป ดังรูป 2-13



รูปที่ 2-11 แสดงลักษณะเครื่องกลึงแบบแบ็คไknife ที่ใช้งานทั่วไปในโรงงานผลิตชิ้นงานเฟอร์นิเจอร์ไม้



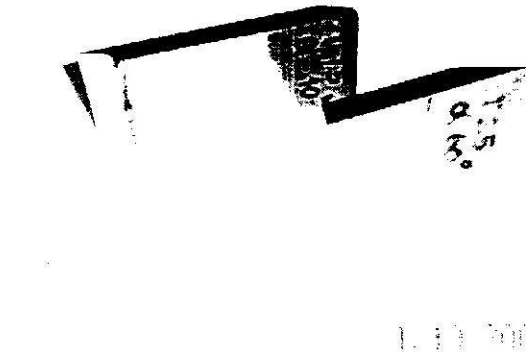
รูปที่ 2-12 แสดงลักษณะของใบมีดแบ็คไคน์ (Back-knife) ที่ติดตั้งบนเครื่องกลึงไม้ชนิดแบ็คไคน์



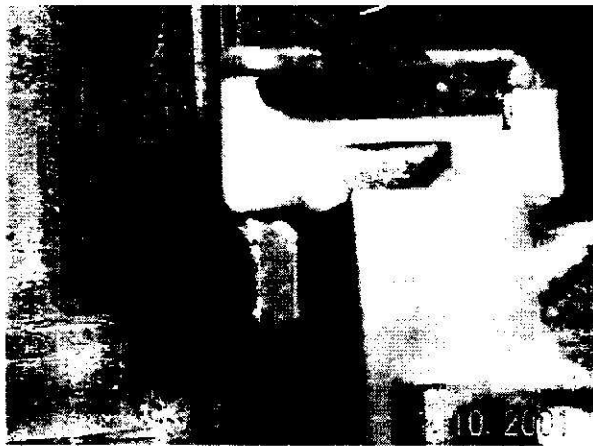
รูปที่ 2-13 แสดงลักษณะการติดตั้งใบมีดทั้งสาม บนเครื่องกลึงไม้ชนิดแบ็คไคน์

สำหรับการเคลื่อนที่เข้ากึ่งขึ้นงานของใบมีดทั้งสามจะนิยมใช้ระบบไฮดรอลิก เนื่องจากสามารถปรับค่าอัตราป้อนได้ไม่จำกัด โดยสามารถปรับค่าอัตราป้อนให้ต่ำ เมื่อต้องการกึ่งขึ้นงานรูปร่างซับซ้อนที่ต้องการความละเอียด และสามารถปรับค่าอัตราป้อนสูงขึ้นได้ เมื่อต้องการกึ่งขึ้นงานหยาบเรียบในแนวระนาบ

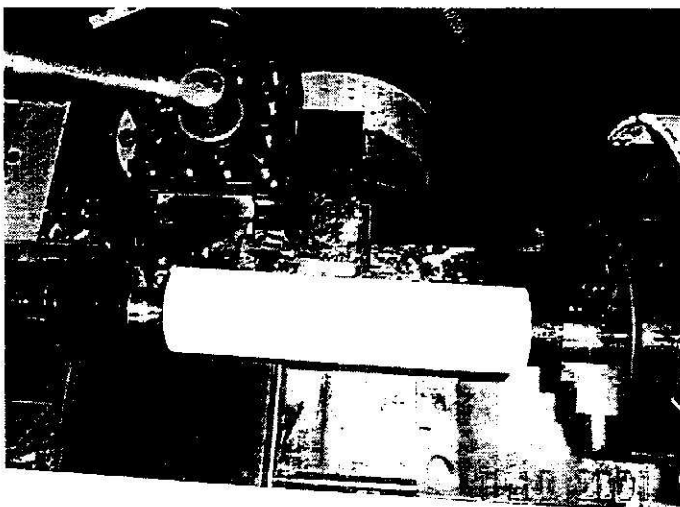
แต่เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ ทีมงานผู้วิจัยไม่มีเครื่องกลึงไม้แบบแบ็คไคน์ จึงประยุกต์โดยนำเครื่องกลึงที่ใช้ในการกลึงโลหะทั่วไปมาประยุกต์ใหม่ โดยสร้างแท่นจับใบมีดและออกแบบลักษณะใบมีดที่ใช้จับยึดใหม่สำหรับแท่นจับใบมีดใบที่สามหรือใบมีดแบ็คไคน์ในเครื่องกลึงแบ็คไคน์ เพื่อทดลองหาปัจจัยที่ดีที่สุดในการกึ่งให้ได้ผิวชิ้นงานละเอียดของท่อนไม้ยาวพากรา ดังรูป 2-14, 2-15 และ 2-16



รูปที่ 2-14 แสดงลักษณะใบมีดที่ออกแบบใหม่เพื่อเลียนแบบการกลึงด้วยใบมีดเบ็ดไนต์



รูปที่ 2-15 แสดงลักษณะแทนจับยึดใบมีดที่ออกแบบใหม่เพื่อใช้กับเครื่องกลึงโลหะทั่วไป



รูปที่ 2-16 แสดงกระบวนการกลึงไม้ยางพาราด้วยใบมีดและแทนจับยึดใบมีดที่ออกแบบในการทดลอง เพื่อเลียนแบบในคล้ายกับเครื่องกลึงไม้แบบเบ็ดไนต์

2.4 วิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

ในกระบวนการผลิตต่างๆ จำเป็นต้องมีการมุ่งเน้นให้มีการพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้น เป้าหมายของวิศวกรรมคุณภาพคือการออกแบบคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ และทุกกระบวนการผลิตที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านั้น การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการเชิงสถิติเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพ

ประมาณต้นทศวรรษ 1980 ศาสตราจารย์ Genichi Taguchi ได้แนะนำวิธีการที่ใช้ในการออกแบบการทดลองสำหรับ

1. ออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเพื่อให้ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ
2. ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ความทนทานต่อความหลากหลายของส่วนประกอบ
3. ทำให้ความแปรปรวนรอบๆ ค่าเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด

ความทนทานหมายถึงว่าผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการทำให้เกิดผลตามเป้าหมายเหมือนกัน และไม่มีความไวต่อปัจจัยที่ยากในการควบคุม ทากูชิกล่าวถึงการปฏิบัติทั้ง 3 อย่างที่กล่าวข้างต้นเป็นการออกแบบพารามิเตอร์ (parameter design)

2.4.1 แนวความคิดของวิธีการทากูชิ

แนวความคิดของศาสตราจารย์ทากูชิที่เกี่ยวกับวิศวกรรมคุณภาพคือ การที่ผลิตภัณฑ์สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง เขาได้พิจารณาการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการไว้ 3 ขั้นตอนคือ การออกแบบระบบ การออกแบบพารามิเตอร์ และการออกแบบส่วนเนื้อ ในระบบการออกแบบวิศวกรได้ใช้หลักการเชิงวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ในการคำนวณลักษณะพื้นฐาน ตัวอย่างเช่น ถ้าเราต้องการวัดค่าความต้านทานที่ไม่รู้ค่า เราอาจจะใช้ความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าในการคำนวณว่าระบบพื้นฐานควรจะเป็นลักษณะ Wheatstone bridge ถ้าเราออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อประกอบแผงวงจร ผู้ออกแบบกระบวนการจะคำนวณความต้องการสำหรับเครื่องจักรที่มีการสอดคล้องกันตามแกน เครื่องจักรประกอบติดบนแผงวงจร เครื่องจักรสำหรับแจกจ่ายโลหะบัดกรี เป็นต้น

ในขั้นตอนการออกแบบพารามิเตอร์ ค่าต่างๆที่กำหนดไว้สำหรับพารามิเตอร์ของระบบจะถูกคำนวณขึ้นมา สิ่งนี้จะเกี่ยวข้องกับการเลือกค่าตัวต้านทาน และค่าตัวจ่ายพลังงานสำหรับ Wheatstone bridge จำนวนและชนิดของเครื่องจักรต่างๆ สำหรับกระบวนการประกอบแผงวงจร เป็นต้น โดยปกติวัตถุประสงค์ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เพื่อที่จะทำให้ความแปรปรวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อมีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้มาเกี่ยวข้อง

การออกแบบส่วนเนื้อมีการใช้เพื่อการคำนวณส่วนเนื้อที่ดีที่สุดสำหรับพารามิเตอร์ ตัวอย่างเช่น วงจร Wheatstone bridge วิธีการออกแบบส่วนเนื้อชี้ให้เห็นว่าส่วนประกอบใดเป็นส่วนที่อ่อนไหวมากที่สุด และเป็นส่วนที่จะต้องกำหนดค่าส่วนเนื้อขึ้นมา ถ้าส่วนประกอบใดที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของวงจร ตรงส่วนนั้นก็จะสามารถกำหนดค่าส่วนเนื้อกว้างๆได้

ทากูชิให้ความเห็นว่าวิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติมีการใช้เพื่อการพัฒนาคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรออกแบบพารามิเตอร์และการออกแบบส่วนเนื้อ ในส่วนของการทำวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นตรงส่วนของการออกแบบพารามิเตอร์ วิธีการออกแบบการทดลองสามารถใช้ในการหาการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุด

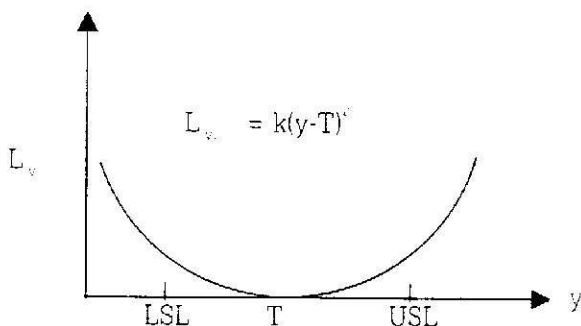
ค่าที่ดีที่สุดในที่นี้หมายถึงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตที่ไม่อ่อนไหวต่อปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่มีอยู่เป็นประจำในการปฏิบัติงาน

ข้อสังเกตของการออกแบบเพื่อไม่ให้อ่อนไหวต่อปัจจัยควบคุมไม่ได้ ไม่ใช่เป็นสิ่งที่วิศวกรพยายามออกแบบผลิตภัณฑ์เสมอ เพื่อจะได้ทำงานได้ดีภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมไม่ได้ ตัวอย่างเช่นเครื่องบินพาณิชย์ต้องสามารถบินในสภาวะที่มีลมพายุให้ดีเทียบเท่ากับในขณะที่มีลมฟ้าอากาศปลอดโปร่ง หากผู้เข้าใจความเป็นจริงว่าการทดลองสามารถทำได้อย่างเป็นทางการในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อช่วยให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ได้มากขึ้น

ส่วนประกอบที่สำคัญของหลักการทากูซึคือ การลดความแปรปรวน บ่อยครั้งที่มีความต้องการให้คุณลักษณะคุณภาพแต่ละอย่างมีเป้าหมายหรือมีค่าที่สามารถวัดค่าได้ วัตถุประสงค์คือการลดความแปรปรวนจากเป้าหมายที่ตั้งไว้ ทากูซึได้กำหนดไว้ว่าส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายได้ด้วยฟังก์ชันการสูญเสีย (loss function) การสูญเสียหมายถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยสังคมเมื่อลูกค้าใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพแตกต่างจากระดับเป้าหมายที่วางไว้ แนวความคิดของการสูญเสียทางสังคมคือการสูญเสียความเชื่อมั่นจากรลูกค้า หากผู้เสนอสมการการสูญเสียดังนี้

$$L_y = k(y-T)^2 \quad \dots 2.3$$

สมการที่ 2.3 สามารถเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2-17 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากในกราฟว่ายังมีค่าที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมากๆ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นก็จะยิ่งมีมากขึ้นเช่นกัน ในทางปฏิบัติจะมีขอบเขตการยอมรับได้อยู่ช่วงหนึ่งคือระหว่างค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้คือ ค่า LSL และค่าสูงสุดที่ยอมรับได้คือ ค่า USL ถ้าเลยขอบเขตนี้ไปจะถือว่าผลิตภัณฑ์ใช้ไม่ได้



รูปที่ 2-17 กราฟสมการการสูญเสีย

แนวความคิดของทากูซึสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ควรมีการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการเพื่อให้มีความคงทนต่อความเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายนอก
2. วิธีการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือตัวหนึ่งที่สามารถทำให้ข้อ 1 สำเร็จได้
3. การปฏิบัติงานนี้ให้ได้ตามเป้าหมายเป็นสิ่งสำคัญมากกว่าการทำให้ตรงกับข้อกำหนด (specifications)

2.4.2 การออกแบบพารามิเตอร์ (The parameter design)

ในการออกแบบพารามิเตอร์ขอธิบายเป็นการยกตัวอย่างปัญหาที่จำเป็นต้องมีการออกแบบการทดลองคือการทดลองสำหรับปัญหาตัวอย่างคือการวิธีประกอบ an elastometric connector เข้ากับ nylon tube เพื่อให้มีการใช้งานในเครื่องยนต์อัตโนมัติได้อย่างเหมาะสม วัตถุประสงค์ของการทดลองคือการทำให้ผลิตรถยนต์เกิดแรง pull-off ให้มีค่ามากที่สุด ตัวแปรควบคุมได้และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้สำหรับการทดลองมี 4 ตัวและ 3 ตัวตามลำดับ ซึ่งจำแนกต่างๆดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 สิ่งที่ต้องการต่อไปคือการหาระดับค่าของพารามิเตอร์ หรือปัจจัยที่ควบคุมได้ในการทดลองที่ได้รับผลกระทบจากตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้น้อยที่สุดและทำให้เกิดค่าแรง pull-off มากที่สุด อย่างไรก็ตามขณะที่ปัจจัยควบคุมเป็นสิ่งที่ควบคุมไม่ได้ในระหว่างการปฏิบัติงานจริง แต่ในการทดลองจำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การทดลอง

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยต่างๆและระดับปัจจัยในการออกแบบพารามิเตอร์ปัญหาตัวอย่าง

ปัจจัยที่ควบคุมได้	ระดับ		
A : สิ่งรบกวน (interference)	ต่ำ	กลาง	สูง
B : ความหนาของผนังตัวประกอบ	บาง	กลาง	หนา
C : ความลึกในการตัด	ตื้น	กลาง	ลึก
D : เปอร์เซนต์ตัวประสานให้ติดกัน	ต่ำ	กลาง	สูง
ปัจจัยควบคุมไม่ได้	ระดับ		
E : เวลา	24 ชม.	120 ชม.	
F : อุณหภูมิ	72°F	150°F	
G : ความชื้น	25%	75%	

การออกแบบการทดลอง

จากวิธีการออกแบบพารามิเตอร์แบบทากูชิ การออกแบบการทดลองซึ่งใช้ในการทดลองสำหรับตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ การออกแบบการทดลองเหล่านี้แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วน a และส่วน b ส่วน a เป็นการออกแบบการทดลองแบบ L_9 orthogonal array ตัวเลข 1 2 3 ภายในตารางแสดงถึงระดับค่าของตัวแปรที่จะใช้ในการทดลองตั้งแต่ระดับต่ำ กลาง และสูงตามลำดับ และในแต่ละแถวของส่วน a แสดงหมายเลข 1-9 หมายถึงการทดลองแต่ละครั้งประกอบด้วยค่าต่างๆอย่างไรบ้าง สำหรับ L_9 orthogonal array เป็นวิธีการออกแบบการทดลอง 9 ครั้ง โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ตัว และปัจจัยแต่ละตัวมีค่า 3 ระดับในการทดลอง ซึ่งรายละเอียดของการทดลองแต่ละครั้งต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.2 ส่วน a ในขณะที่เดียวกันตารางส่วน b แสดง L_8 orthogonal array เป็นวิธีการออกแบบสำหรับตัวแปร 8 ตัว และแต่ละตัวมีค่าที่สนใจอยู่ 2 ระดับ จำนวนการทดลองทั้งหมดมี 9 ครั้ง ซึ่งในปัญหาตัวอย่างพบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยคือตัวแปร E, F, G ดังนั้นส่วนที่เหลือก็สามารถออกแบบเป็นปัจจัยที่มีความเสี่ยง

ข้อกำหนดระหว่างตัวแปรก็ได้ วัตถุประสงค์สำหรับ L_9 array สำหรับปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ คือการสร้างปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่สามารถระบุได้ว่าระดับใดของปัจจัยเหล่านั้นที่จะมีผลกับการทดลองน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.2 การออกแบบการทดลองสำหรับปัจจัยที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้

ส่วน a					ส่วน b			
L_9 Orthogonal Array สำหรับตัวแปรควบคุมได้					L_8 Orthogonal Array สำหรับตัวแปรควบคุมไม่ได้			
Run	A	B	C	D	Run	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	1	1	2
3	1	3	3	3	3	1	2	1
4	2	1	2	3	4	1	2	2
5	2	2	3	1	5	2	1	1
6	2	3	1	2	6	2	1	2
7	3	1	3	2	7	2	2	1
8	3	2	1	3	8	2	2	2
9	3	3	2	1				

นอกจากนี้ยังมี orthogonal array หลายประเภทสำหรับตัวแปร 2 ระดับ หรือ 3 ระดับ ที่สามารถใช้ในการออกแบบการทดลองได้ ซึ่งรายละเอียดในแต่ละประเภทจะกล่าวถึงในภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลองจากตาราง 2.2 สามารถนำมาสร้างตารางรวมได้เป็นตารางที่ 2.3 เหมาะสำหรับการทดลองจริงและการบันทึกผลการทดลองในตาราง เพราะเป็นตารางที่รวมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทุกตัวเข้าด้วยกันโดยมี L_9 array สำหรับปัจจัยหรือตัวแปรที่ควบคุมได้ เรียกว่า inner array และ L_8 array สำหรับปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เรียกว่า outer array จากการทดลอง 9 ครั้งสำหรับตัวแปรควบคุมได้ และ 8 ครั้งสำหรับตัวแปรควบคุมไม่ได้ ทำให้จำนวนการทดลองที่เกิดขึ้นทั้งหมดคือ 72 ครั้ง (9*8) และค่าจากการทดลองทั้งหมดบันทึกลงในตารางที่ 2.3 เช่นเดียวกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุป

เมื่อได้ผลจากการทดลองทั้ง 72 ครั้งของปัญหาตัวอย่างแล้ว ต่อไปก็เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทดลอง หากผู้ได้ให้ความเห็นว่าควรวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองแถวที่ 1 ในตารางที่ 2.3 และวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนของข้อมูลโดยใช้อัตราส่วน signal-to-noise ratio (S/N) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการสำหรับเงื่อนไขข้างต้นต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 การออกแบบพารามิเตอร์ทั้ง inner array และ outer array

Outer E					1	1	1	1	2	2	2	2	Responses	
Array (L ₈) F					1	1	2	2	1	1	2	2	#	S/N _L
G					1	2	1	2	1	2	1	2		
Inner Array (L ₉)														
Run	A	B	C	D									#	S/N _L
1	1	1	1	1	15.6	9.5	16.9	19.9	19.6	19.6	20.0	19.1	17.525	24.021
2	1	2	2	2	15.0	16.2	19.4	19.2	19.7	19.8	24.2	21.9	19.475	25.522
3	1	3	3	3	16.3	16.7	19.1	15.6	22.6	18.2	23.3	20.2	19.025	25.351
4	2	1	2	3	19.3	17.4	18.9	18.6	21.0	18.9	23.2	24.7	20.125	25.604
5	2	2	3	1	19.7	18.6	19.4	25.1	25.6	21.4	27.5	25.3	22.325	26.908
6	2	3	1	2	16.2	16.3	20.2	19.8	14.7	19.6	22.5	24.7	19.225	25.325
7	3	1	3	2	16.4	19.1	18.4	23.6	16.8	18.6	24.3	21.6	19.350	25.711
8	3	2	1	3	14.2	15.6	15.1	16.8	17.8	19.6	23.2	24.2	18.338	24.952
9	3	3	2	1	16.1	19.9	19.3	17.3	23.1	22.7	22.6	23.6	21.200	25.152

1. กรณีค่าเป้าหมายของผลการทดลองเป็นค่าที่ดีที่สุด ให้คำนวณค่า S/N โดย

$$S/N_L = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad \dots 2.4$$

2. กรณีค่าที่มากที่สุดของผลการทดลองเป็นค่าที่ดีที่สุดให้คำนวณค่า S/N โดย

$$S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad \dots 2.5$$

3. กรณีค่าที่น้อยที่สุดของผลการทดลองเป็นค่าที่ดีที่สุดให้คำนวณค่า S/N โดย

$$S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad \dots 2.6$$

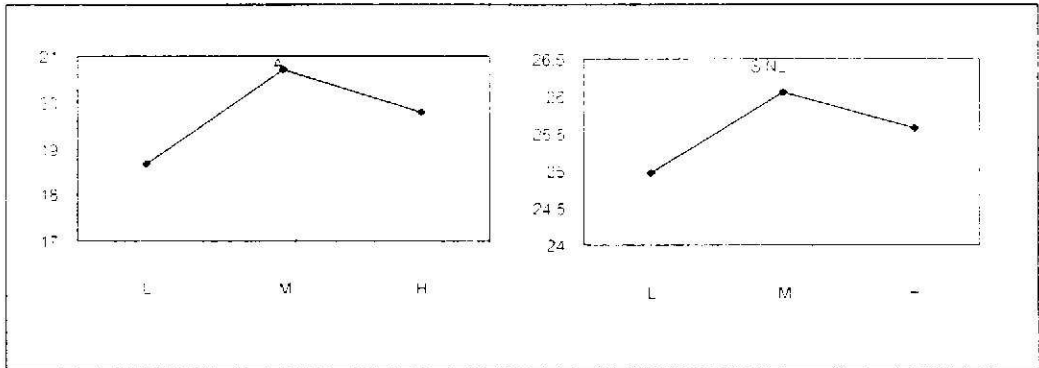
เมื่อ n คือจำนวนครั้งการทดลองจาก outer array

สังเกตว่าค่า S/N เหล่านี้แสดงเป็นค่าของเลขฐานสิบ สองค่าสัมพันธ์สุดท้ายในตารางที่ 2.3 แสดงค่า 1 และ 2

S/N สำหรับผลการทดลอง 9 การทดลองของ inner array ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าสุ่มมีเพียงหนึ่งตัว

ปัจจัยตัวใดมีผลกระทบกับค่า \bar{y} และปัจจัยตัวไหนมีผลกระทบกับ signal-to-noise ratio วิธีการใช้โดยทั่วไปคือ การเขียนกราฟค่าที่วัดได้จากการทดลองกับระดับค่าของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งแสดงในรูปที่ 2-18 ประโยชน์ในการใช้กราฟดังกล่าวคือ การตรวจสอบแต่ละกราฟและเลือกค่าที่สูงที่สุดสำหรับปัญหาตัวอย่าง ซึ่งจากการเขียนกราฟทั้งหมดพบว่า ปัจจัย A และ C มีผลกระทบมากกว่าปัจจัย B และ D และในการพิจารณาค่าของแรง pull-off โดยเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุด ควรเลือก A, C, B, และ D, ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ 5 ของ inner array ในตารางที่ 2.3 ในการพิจารณาของค่า SN ที่มีค่ามากที่สุดพบว่า การทดลองที่ 5 ให้ผลลัพธ์ที่มากที่สุดเช่นเดียวกัน จากการวิเคราะห์ที่ตั้งกลุ่มของระดับค่าการทดลองของแต่ละตัวแปรที่เลือกจะทำให้ค่าแรง pull-off โดยเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด และความแปรปรวนของค่าแรง pull-off มีค่าน้อยที่สุด การทดลองเพิ่มเติมอีก 5 การทดลอง จำเป็นต้องทำในระดับปัจจัยที่เลือกเพื่อยืนยันผลจากการทดลองที่เกิดขึ้น

จากการทดลองดูเหมือนว่าค่าเฉลี่ยสูงสุด และค่า S/N สูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นจากปัจจัยควบคุมได้ที่ระดับเดียวกัน ภายใต้สิ่งแวดล้อม การตัดสินใจเชิงวิศวกรรม และความแตกต่างจะต้องนำมาใช้ในการตัดสินใจ ต้นทุนและปัจจัยอื่นๆ ก็อาจจะนำมาใช้ร่วมในการตัดสินใจพิจารณาเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2-18 ตัวอย่างกราฟแสดงผลกระทบจากปัจจัย A ต่อค่า mean response และค่า S/N.

หากเราสามารถทำการทดลองที่มีการวิเคราะห์โดยใช้ S/N กับ การทดลองรอบที่ 2 เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในการทดลองระดับปัจจัยร่วมกัน ซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทำให้เกิดค่าน้อยที่สุดและค่าเฉลี่ยได้ผลตามที่ต้องการมากที่สุด ขั้นตอนในการทำให้เกิดผลที่ดีที่สุดประกอบด้วย

1. หาชุดของปัจจัยที่ควบคุมได้ และผลที่จะกระทบกับค่า S/N เรียกว่า control factors และหาชุดของปัจจัยต่างๆที่มีผลให้เกิดค่า S/N สูงสุด
2. หาชุดของปัจจัยที่มีผลกระทบที่สำคัญกับค่าเฉลี่ย แต่ไม่มีผลกระทบกับค่า S/N ratio เรียกว่า signal factors และใช้ค่าปัจจัยเหล่านี้ เพื่อหาค่าปัจจัยที่ดีที่สุดสำหรับการทดลอง

2.5 การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี Evolutionary Operation

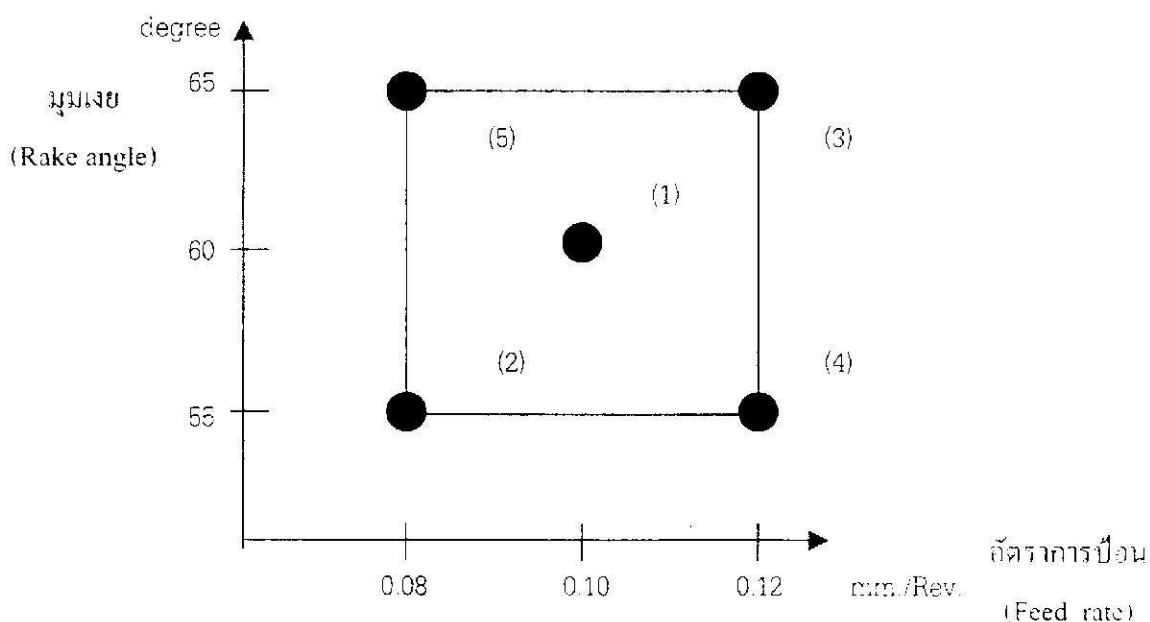
Evolutionary Operation หรือ EVOP เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทดลองที่ข้อมูลจากการทดลองมีเพียงเล็กน้อย และไม่มีกรเปลี่ยนแปลงค่าอย่างทันทีทันใด ถูกนำเสนอโดย Box ในปี 1957

วิธีการ EVOP จะมีกรอบการทดลอง ในลักษณะเดียวกับ 2^2 factorial design โดยทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากตัวแปรหรือปัจจัยเพียง 2 หรือ 3 ชนิดเท่านั้น [7]

โดยมีวิธีการดำเนินการเป็นดังนี้

1. เริ่มต้นกำหนดค่าของตัวแปรที่สนใจที่จะตรวจสอบไว้ที่จุดศูนย์กลาง แล้วกำหนดค่าระยะห่างของตัวแปรแต่ละตัวที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่าๆ กัน เพื่อสร้างตำแหน่งจุดตรวจสอบที่อยู่รอบจุดศูนย์กลางในกรอบสี่เหลี่ยม สำหรับระยะห่างนี้เป็นระยะคาดการณ์ว่ามีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่ต้องการ จากการทดลอง ได้แก่ ค่ากำลังครากของวัสดุ (Yield) ค่าความขรุขระของผิวชิ้นงาน เป็นต้น หลังจากนั้นจึงเริ่มต้นทำการทดลองค่าตามค่าตัวแปรหรือปัจจัยที่กำหนด โดยกำหนดตำแหน่งรอบจุดศูนย์กลางทั้งหมด

2-19



รูปที่ 2-19 แสดงผังการออกแบบการทดลอง 2^2 โดยใช้วิธี Evolutionary Operation หรือ EVOP

โดย (1) เป็นค่าผลการทดลองที่ต้องการ เช่น ความเรียบ ค่า Yield ของชิ้นงาน เมื่อกำหนดค่าตัวแปรที่สนใจอยู่ที่จุดศูนย์กลางกรอบสี่เหลี่ยม

(2) (3) (4) (5) เป็นค่าผลการทดลองที่ต้องการ เช่น ความขรุขระของผิว ค่ากำลังครากของชิ้นงาน เมื่อกำหนดค่าตัวแปรที่สนใจอยู่ที่มุมรอบจุดศูนย์กลางของกรอบสี่เหลี่ยม

โดยในการบันทึกข้อมูลที่ได้แต่ละรอบ (cycle) หรือ n จะบันทึกลงในตารางดังกำหนดในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2.4 ตารางบันทึกผลการทดลองด้วยวิธี Evolutionary Operation หรือ EVOP

EVOP Calculation Sheet						
Cycle: n –					Phase:	
Calculation of Averages					Calculation of Standard Deviation	
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	
(i) Previous cycle sum						Previous sum S –
(ii) Previous cycle average						Previous average S
(iii) New observations						New S = range x 1/5.n
(iv) Differences (iii)-(ii)						Range of (iv) –
(v) New sums (i) –(iii)						New Sum S –
(vi) New average (v)/n						New average S = (New sum S) / n
Calculation of Effects					Calculation of Error Limits	
Feedrate effect = 1/2(y3-y4-y2-y5) =					For new average = $2S\sqrt{\frac{1}{n}}$ =	
Rake Angle effect = 1/2(y3+y5-y2-y4) =					For new effects = $2S\sqrt{\frac{1}{n}}$ =	
feed x angle interaction effect = 1/2(y2-y3-y4-y5) =						
Change-in-mean effect = 1/5(y2-y3-y4+y5-4y1) =					For change-in-mean = $1.78 S\sqrt{\frac{1}{n}}$ =	

- ในการบันทึกค่าจะเริ่มตั้งหน้าผลการทดสอบจากแต่ละตำแหน่ง ลงในช่อง (iii) New observation โดยถือว่า ช่อง (i) Previous cycle sum และ (ii) Previous cycle average เมื่อ cycle แรก n = 1 ยังไม่มีค่าหรือมีค่าเป็นศูนย์นั่นเอง หลังจากนั้นคำนวณหา (v) New average แล้วนำมาคำนวณหาผลกระทบ (Calculation of Effect) คือ ดูผลกระทบจากตัวแปรหรือปัจจัยแต่ละตัว ดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยร่วม และ Change in mean effect (CIM)
- การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จากช่วงค่าความแตกต่างสูงสุดและค่าสุดของผลความแตกต่างที่ได้จากช่อง (iv) (Ranges) ที่ได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่า (iii) Previous observation cycle และ (iii) New observation สำหรับนำมาใช้ในการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใหม่ของรอบการทดลองนั้น (New standard deviation) ที่เกิดจากการคูณระหว่างค่า Ranges กับค่าที่ได้จากตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 ตาราง f_{k,n}

n =	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k = 8	0.30	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40
k = 9	0.24	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32
k = 10	0.23	0.26	0.28	0.29	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31

4. คำนวณค่าผลรวม New Sum S จาก Previous sum + New standard deviation (New S) แล้ว นำมาคำนวณหาค่า New average S จาก New average S = New Sum S / (n-1) สำหรับขั้นนี้ใช้ ค่าแนวทางข้อจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error limits) ที่เกิดสำหรับค่าเฉลี่ยใหม่ (New average) สำหรับผลกระทบใหม่ (New effects) และ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย (Change in mean)
5. เปรียบเทียบค่าผลกระทบ (Calculation of Effect) ทั้งหมด คือ ผลกระทบจากตัวแปรหรือปัจจัยแต่ละตัว ผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยร่วม และ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย (Change in mean effect)(CIM) กับข้อจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error limits) จากค่าเฉลี่ยใหม่ (New average) จากผลกระทบใหม่ (New effects) และ จากการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย (Change in mean) ถ้าไม่มีค่าได้ในค่าผลกระทบสูงกว่าค่าข้อจำกัดความผิดพลาด แสดงว่าการทดสอบค่าของตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดในรอบนั้นยังไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการทดสอบ ให้นำค่าใน (vi) new averages ไปใช้ใน (ii) Previous average cycle (n) ในรอบถัดไป แต่ถ้ามีค่าได้ในค่าผลกระทบสูงกว่าค่าข้อจำกัดความผิดพลาด แสดงว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่มีค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการทดลองนั้น ใน New averages ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนให้เกิดผลกระทบต่อการทดสอบนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนเฟส (Phase) ใหม่ โดยย้ายตำแหน่งที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลทดสอบเกิน ข้อจำกัดความผิดพลาดนั้นมาเป็นจุดศูนย์กลางของเฟสใหม่ถัดไป แล้วย้อนกลับมาทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง ทำเช่นนั้นจนกว่าจะได้ค่าเฉลี่ยของผลทดสอบ ในช่อง (vi) ที่ดีที่สุด จึงจะได้ค่าของตัวแปรแต่ละตัวที่เหมาะสม

บทที่ 3

การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ผลเบื้องต้น

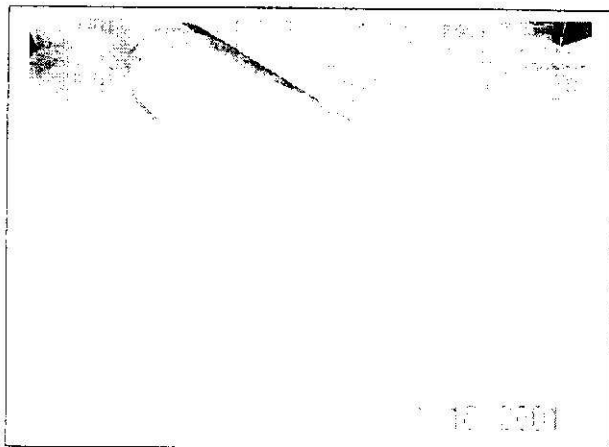
ทีมงานผู้วิจัยได้เลือกวางแผนการทดลองตามเทคนิควิธีของทากูชิ (Taguchi Method) โดยมีวัตถุประสงค์ในการทดลองคือ เลือกสภาวะการกลึงที่ให้ได้ค่าความขรุขระซึ่งวัดแบบ L R มีค่าต่ำสุด โดยจำแนกที่เลือกศึกษาและพิจารณาปัจจัยที่มีต่อผลลัพธ์สำหรับตัวแปรต่างๆในการศึกษา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรและการตั้งค่าตัวแปรในการทดลอง

Y = ค่าความขรุขระของพื้นผิวจากการกลึงแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต (R _a) มีหน่วยเป็น μm		
ปัจจัยควบคุม(Control Factor)	ระดับ 1	ระดับ 2
A : ความเร็วในการตัด	75 เมตรต่อนาที	200 เมตรต่อนาที
B : อัตราการป้อน	0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ	1 มิลลิเมตรต่อรอบ
C : ความลึกในการตัด	0.2 มิลลิเมตร	1 มิลลิเมตร
D : มุมแงะ	10 องศา	60 องศา
E : ความชื้นในเนื้อไม้	≤ 12 เปอร์เซ็นต์	> 12 เปอร์เซ็นต์
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Interactions)		
A&B	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดและอัตราการป้อน	
A&C	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดและความลึกในการตัด	
A&D	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดและค่ามุมแงะ	
A&E	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดและค่าความชื้นในเนื้อไม้	
B&C	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนและความลึกในการตัด	
B&D	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนและค่ามุมแงะ	
B&E	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนและความชื้นในเนื้อไม้	
C&D	ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกในการตัดและค่ามุมแงะ	
C&E	ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกในการตัดและความชื้นในเนื้อไม้	
D&E	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมแงะและความชื้นในเนื้อไม้	
ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factor)	ระดับ 1	ระดับ 2
M : วัสดุป้อน	เหล็กกล้าเครื่องมือ	เหล็กกล้าความเร็วรอบสูง
N : ปฏิบัติการตัด	กลึงขึ้นรูป	กลึงนอก
O : วัสดุชิ้นงาน	ไม้อัดประสาน	ไม้ต้น

ตั้งในทางทีมงานผู้วิจัยจึงจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองเบื้องต้นดังนี้

1. ไม้ยางพาราชนิดไม้ตันและไม้อัดประสาน



3.1 ก

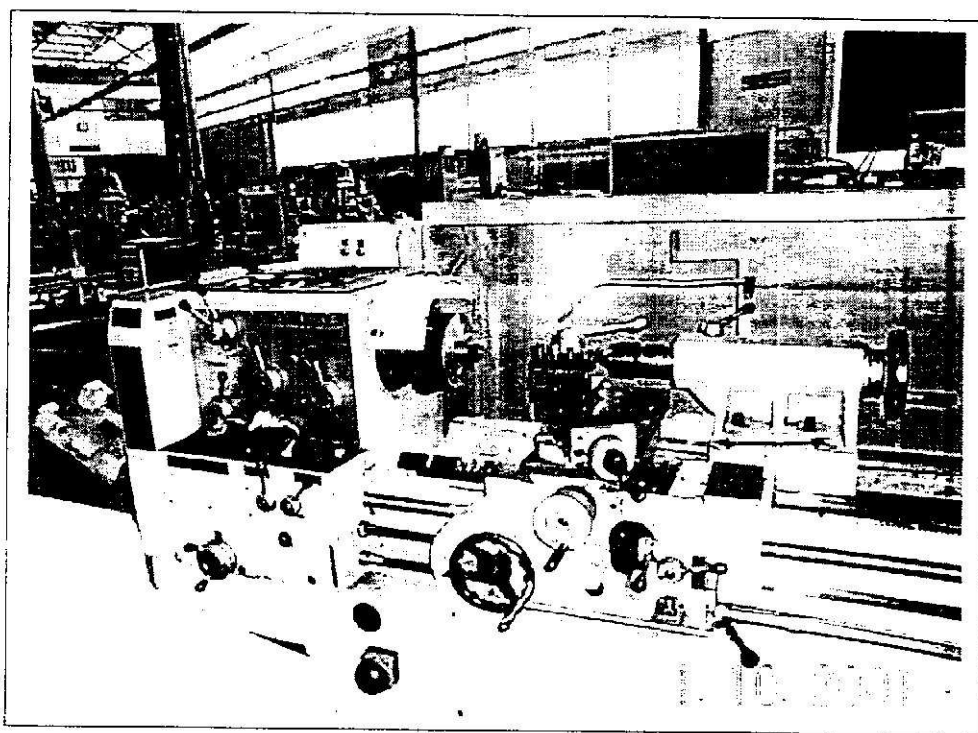


3.1 ข

รูปที่ 3-1 แสดงลักษณะท่อนไม้ยางพาราที่นำมาใช้ในการทดลอง

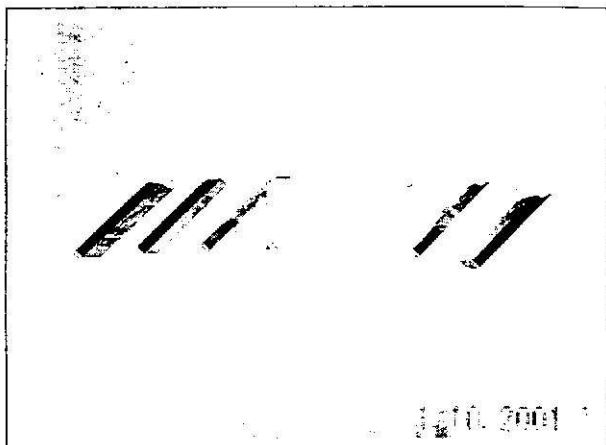
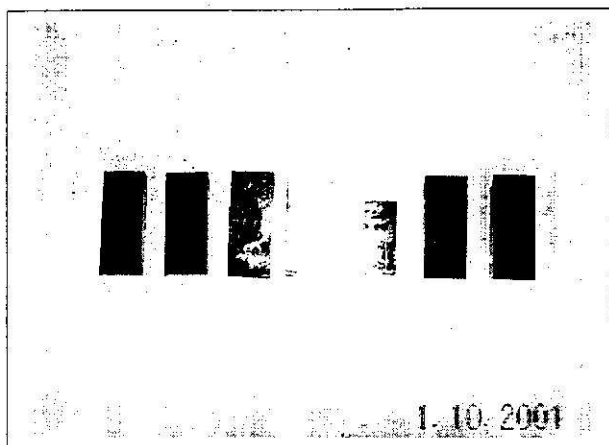
โดย 3.1 ก. เป็นไม้ยางพาราแบบตัน 3.1 ข. เป็นไม้ยางพาราแบบอัดประสาน

2. เครื่องกลึงโลหะที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานกลึงไม้ยางพารา ที่ค่าความเร็วรอบสูงสุด 10000 รอบ/นาที สามารถดูรายละเอียดข้อมูลเครื่องจักรได้ในภาคผนวก ก. หน้า ก-1

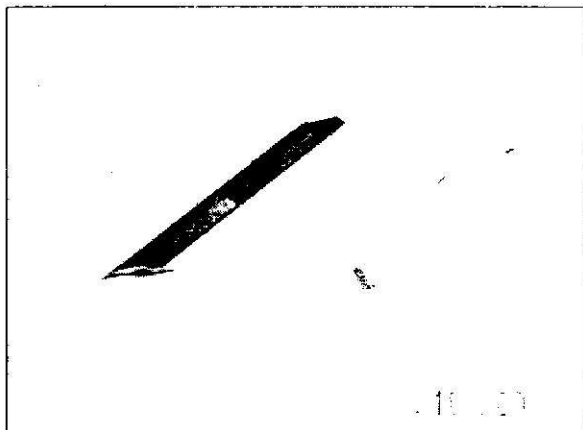
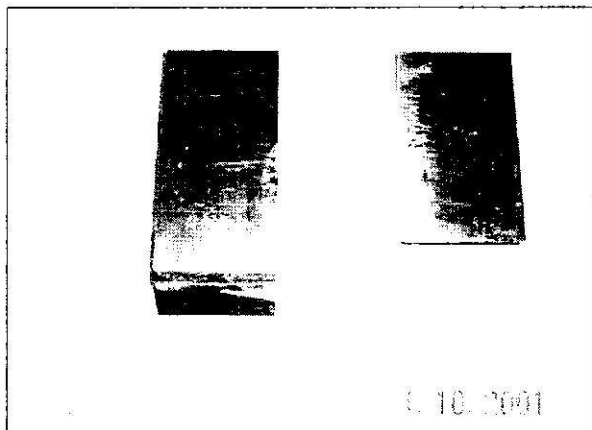


รูปที่ 3-2 แสดงลักษณะเครื่องกลึงโลหะที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทดลอง

3 ไบมีตเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงและไบมีตเหล็กกล้าเครื่องมือที่ลับมุมเฉย ไว้ที่ค่าต่างๆ



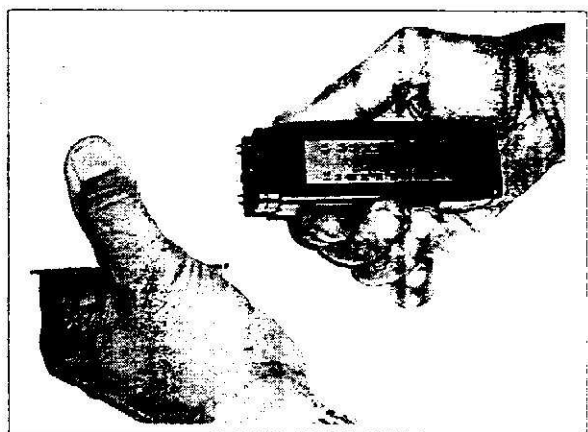
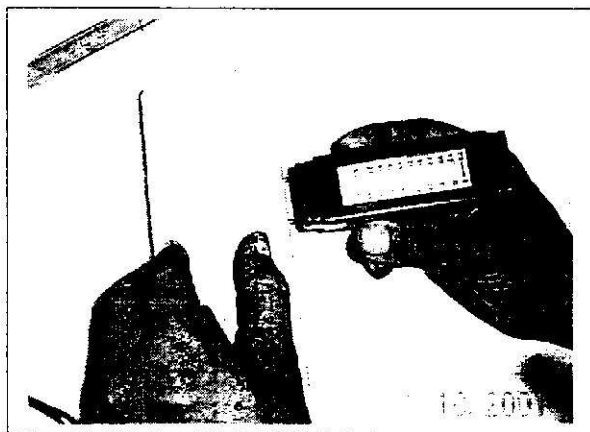
รูปที่ 3-3 แสดงลักษณะไบมีตเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงและเหล็กกล้าเครื่องมือที่มุมเฉย 30°, 40°, 45°, 55°, 60°, 65° และ 70° ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-4 แสดงลักษณะไบมีตเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงและเหล็กกล้าเครื่องมือที่มุมเฉย 10° และ 60° ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองขั้นต้น

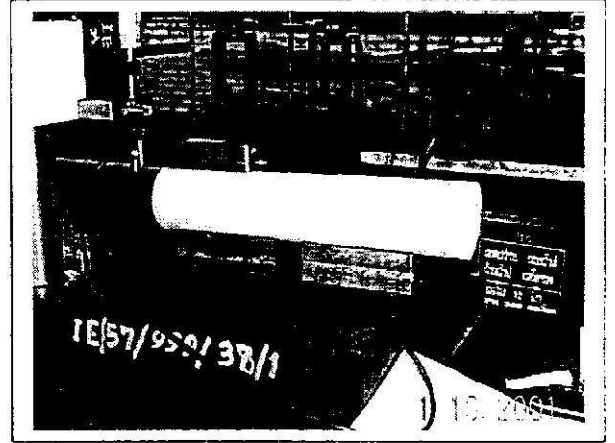
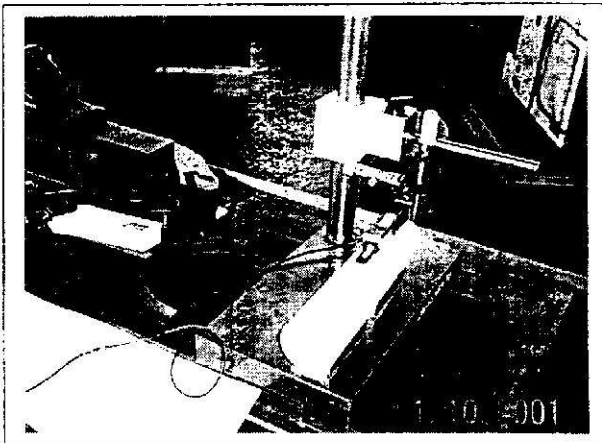
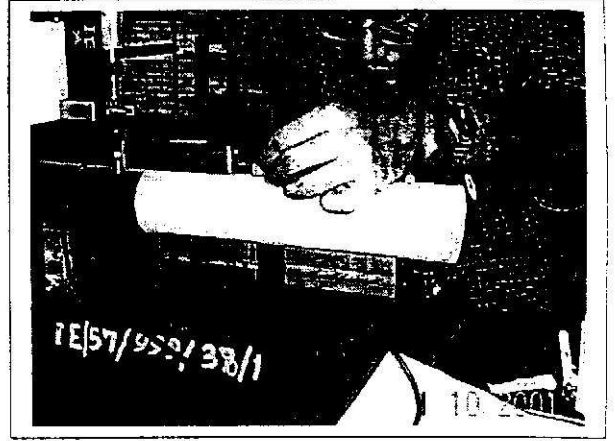
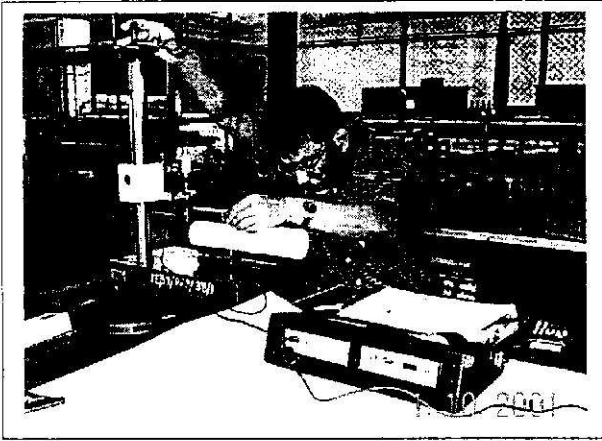
4 เครื่องมือวัดความชื้นในเนื้อไม้ยางพารา

สามารถดูรายละเอียดข้อมูลเครื่องมือได้ในภาคผนวก ก. หน้า ก-4



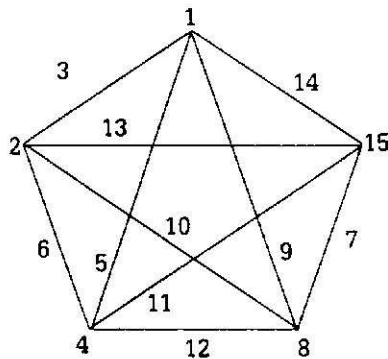
รูปที่ 3-5 แสดงลักษณะเครื่องมือวัดความชื้นในเนื้อไม้ยางพารา

5 อุปกรณ์วัดความขรุขระพื้นผิวภายหลังการกลึงท่อนไม้ยางพารา
สามารถดูรายละเอียดข้อมูลเครื่องจักรได้ในภาคผนวก ก. หน้า ก-5



รูปที่ 3-6 แสดงลักษณะของเครื่องมือวัดความเรียบผิวและวิธีการวัดความขรุขระพื้นผิวในท่อนไม้
ยางพาราภายหลังการกลึงปอกและกลึงขึ้นรูป

ทีมผู้วิจัยได้พิจารณาเลือก Orthogonal Array $L_{15}(2^{11})$ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแปรที่จะทำการศึกษาทั้งหมด และเลือก Linear Graph สำหรับ $L_{15}(2^{11})$ ดังแสดงในรูปที่ 3-7 ซึ่งหมายเลขที่แสดงในรูปหมายถึงหมายเลขคอลัมน์ในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3-7 Linear Graph สำหรับ $L_{15}(2^{11})$

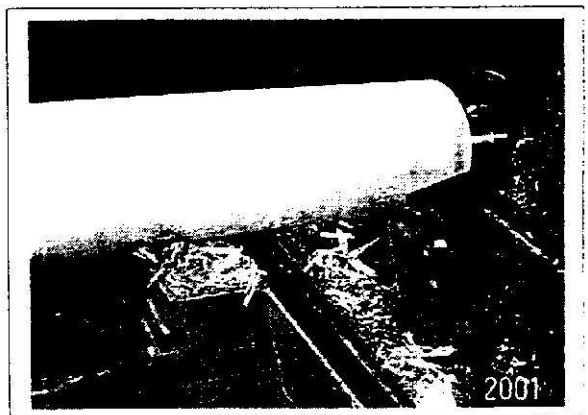
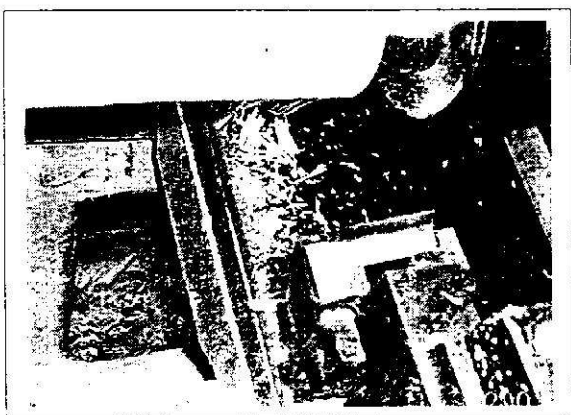
ในการกำหนดให้ตัวแปรอยู่ในคอลัมน์ใดนั้น จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่าง Orthogonal array และ Linear graph ที่เลือก โดยแนะนำให้ภาคนวตามวิธีการของทากูชิ ซึ่งในที่นี้สามารถกำหนดตามที่แสดงในตาราง 3-2 สำหรับการวางแผนการทดลองจะแยกทำซ้ำ 2 ครั้งสำหรับแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา และเลือกกำหนดการทดลองแบบสุ่ม ผลจากการสุ่มตัวเลขซึ่งแสดงเป็นลำดับที่ในการทดลองเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยต่างๆที่ทำการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งตัวเลขเรียงแสดงถึงตัวเลขสุ่ม

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง และลำดับการทดลองแบบสุ่ม

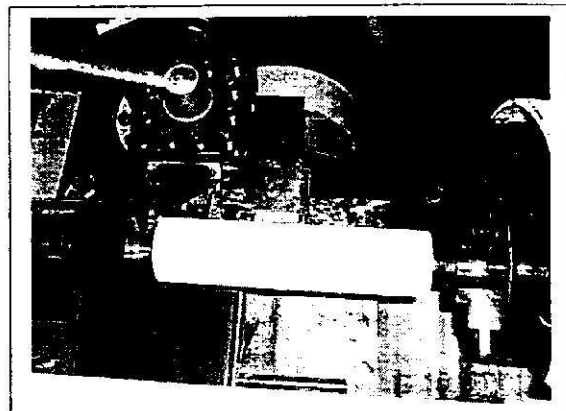
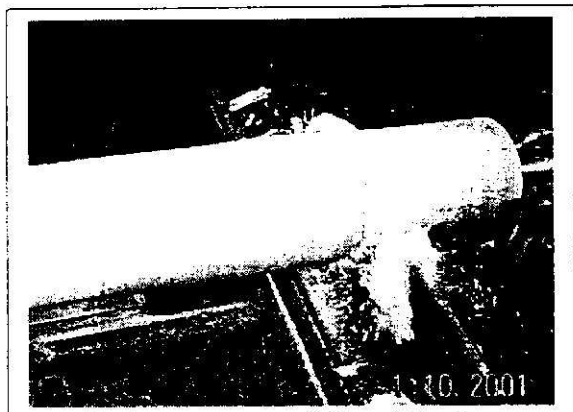
Run	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	O		1+		2-		1+	
	A	E	A&E	C	A&C	C&E	B&D	B	A&B	B&E	C&D	B&C	D&E	A&D	D	N	1+	2-	1+	2-	1+	2-	
																	M	1+	1+	2-	2-	2-	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32	75	1	91	126	49	117	23
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	15	44	114	73	4	74	90	58
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	59	83	9	16	116	60	12	21
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	5	72	31	98	21	84	39	50
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	30	62	2	69	40	75	35	45
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	20	68	56	77	101	70	77	67
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	38	61	43	122	10	105	53	17
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	76	37	125	63	121	67	89
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	24	97	3	105	71	27	81	41
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	55	45	103	61	110	100	112	64
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	19	92	127	19	109	35	60	13
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	36	63	111	37	79	123	104	28
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	6	93	62	47	96	34	120	66
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	26	102	65	66	115	62	110	60
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	107	116	14	108	42	124	5	119
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	29	48	94	54	95	126	69	63

ลักษณะการดำเนินการทดลอง

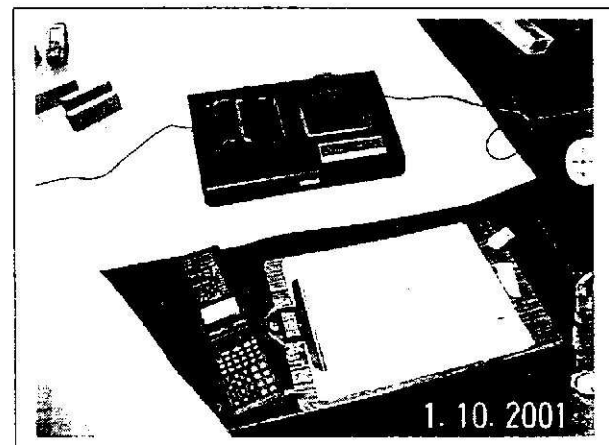
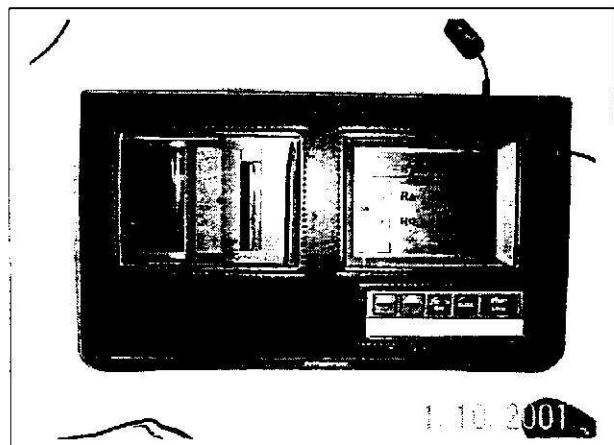
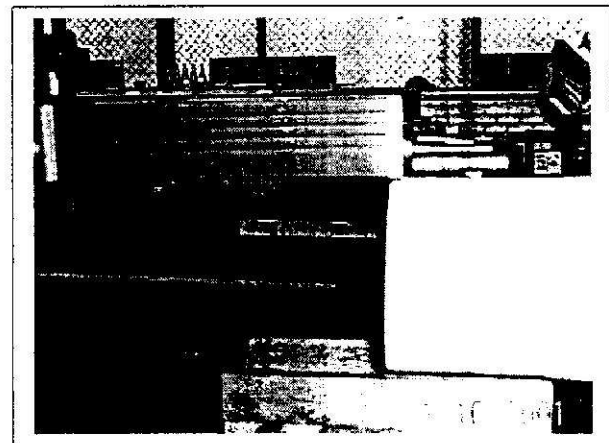
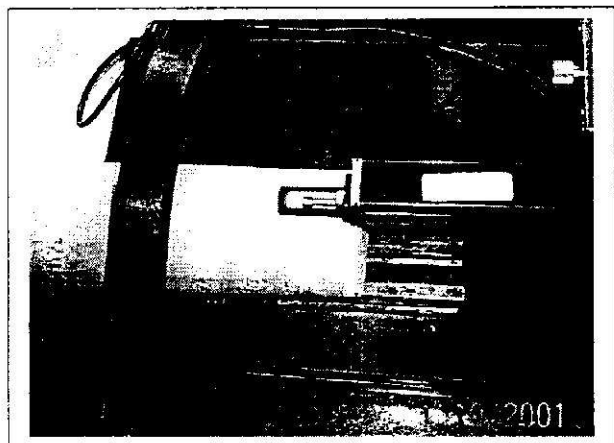
1. จับยึดท่อนไม้ยางพาราและติดตั้งมีดกลึงที่มีมุมเฉยตามที่กำหนดในแผนการทดลองบนป้อมมีดของเครื่องกลึง



2. ตั้งค่าความเร็วรอบและอัตราป้อนของเครื่องกลึง แล้วทำการกลึงปอกหรือกลึงขึ้นรูป ตามที่กำหนดในแผนการทดลอง เป็นระยะสั้นน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรจากปลายด้านหนึ่งของท่อนไม้ยางพารา



3. นำท่อนไม้ยางพาราที่ผ่านการกลึงปอกหรือกลึงขึ้นรูปแล้วมาทำการวัดความเรียบของผิวด้วยอุปกรณ์วัดความเรียบที่แสดงค่า R_a , R_z และ R_q อัตโนมัติ แล้วบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง



ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ได้จากภาคทดลองช่วงแรก และผลจากการคำนวณค่า S/N

Run																O:	1	2	2	1	S/N	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	N:	1	2	1	2		
	A	E	A&E	C	A&C	C&E	B&D	B	A&B	B&E	C&D	B&C	D&E	A&D	D	M:	1	1	2	2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		7.37	2.17	9.23	2.40		
																	7.74	2.86	6.96	3.23	-15.112	
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2		5.22	3.91	4.26	2.91		
																	5.42	4.00	7.06	3.38	13.416	
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2		3.51	2.49	5.13	2.68		
																	3.98	2.75	4.88	2.92	11.265	
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1		12.67	4.64	11.37	3.60		
																	8.62	3.25	8.87	5.68	-18.130	
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2		3.71	1.92	4.70	3.02		
																	3.53	2.91	4.62	2.65	10.881	
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1		18.43	3.64	13.76	5.11		
																	13.98	3.44	9.72	3.74	-20.435	
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1		8.60	2.88	5.99	3.14		
																	6.40	2.20	7.96	4.24	15.036	
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2		11.38	4.35	5.52	3.56		
																	7.43	4.03	5.26	3.33	15.772	
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		5.94	2.35	5.33	3.30		
																	5.13	4.02	4.21	4.24	13.982	
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1		12.83	3.46	12.39	3.70		
																	7.36	4.62	8.00	3.78	-17.937	
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1		5.12	3.68	7.64	2.99		
																	9.86	2.73	4.29	2.75	-14.727	
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2		5.11	3.48	5.01	3.60		
																	5.68	3.02	4.35	2.43	-12.506	
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1		7.29	2.76	8.64	2.78		
																	7.07	2.94	6.70	3.66	15.120	
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2		3.57	3.52	4.61	2.21		
																	6.14	2.46	5.63	2.79	12.257	
15	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2			5.20	2.74	4.47	2.01		
																	5.14	3.23	4.27	4.01	14.543	
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1		13.48	5.27	12.36	3.67		
																	18.04	3.25	9.44	4.69	-20.123	
																	รวม	293.96	104.97	222.72	105.94	293.943
																	เฉลี่ย	7.33	3.28	6.36	4.09	14.590

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองสิ่งไม่มีในสภาวะต่างๆ เรียบร้อยแล้วได้มีการดำเนินการต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เมื่อทำการทดลองตามแผนการทดลองจนครบทั้ง 128 ครั้งแล้ว จึงได้วิเคราะห์ค่า signal to noise ratio (S/N) โดยตัวอย่างการคำนวณค่า S/N สำหรับแถวที่ 1 คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} S/N_1 &= -10 \log \left(\frac{7.37^2 + 2.17^2 + 8.23^2 + 2.40^2 + 7.74^2 + 2.86^2 - 6.96^2 + 3.23^2}{8} \right) \\ &= -15.11 \text{ db} \end{aligned}$$

สำหรับผลการทดลอง และค่า S/N ทั้งหมดที่คำนวณได้จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3

2. ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า S/N สำหรับแต่ละปัจจัยที่ทำการทดลอง และปัจจัยรวม เพื่อสร้างเป็น Response Table ดังตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

กรณีพิจารณาปัจจัย A ซึ่งเป็นปัจจัยเกี่ยวกับความเร็วในการตัด วิธีการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยจะมีการหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ระดับที่พิจารณาคือ ระดับ 1 และระดับ 2 ซึ่งมีการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า S/N ของผลการทดลองที่มีค่าปัจจัยอยู่ในระดับ 1 และ S/N ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่มีค่าปัจจัยอยู่ในระดับ 2 ดังตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 &= \left(\frac{(-15.112) + (-13.416) + (-11.265) + (-18.130) + (-10.881) + (-20.435) + (-15.036) + (-15.772)}{8} \right) \\ &= -15.006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{A}_2 &= \left(\frac{(-13.082) + (-17.397) + (-14.727) + (-12.506) + (-15.120) + (-12.257) + (-13.543) + (-20.123)}{8} \right) \\ &= -14.912 \end{aligned}$$

ดังนั้นอิทธิพลของปัจจัย A คือ $|\bar{A}_1 - \bar{A}_2| = 0.094$

ในทำนองเดียวกันในการคำนวณค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับของปัจจัย E มีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \bar{E}_1 &= \left(\frac{(-15.112) + (-13.416) + (-11.265) + (-18.130) + (-13.082) + (-17.397) + (-14.727) + (-12.506)}{8} \right) \\ &= -14.522 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_2 &= \left(\frac{(-10.881) + (-20.435) + (-15.036) + (-15.772) + (-15.120) + (-12.257) + (-13.543) + (-20.123)}{8} \right) \\ &= -15.396 \end{aligned}$$

ดังนั้นอิทธิพลของปัจจัย E คือ $|\bar{E}_1 - \bar{E}_2| = 0.874$

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย S/N ทั้ง 2 ระดับของทั้งตัวแปรหลักหรือตัวแปรควบคุมได้ และอิทธิพลปัจจัยร่วมซึ่ง

กล่าวมาสร้างเป็น Response Table ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 S/N Response Table

		S/N Response Table														
		A	E	A&E	C	A&C	C&E	B&D	B	A&B	B&E	C&D	B&C	D&E	A&D	D
Level 1		15.006	14.522	14.871	14.780	15.093	15.503	14.243	13.596	14.390	15.347	15.211	15.091	14.795	15.013	17.077
Level 2		14.912	15.396	15.047	15.138	14.825	14.415	15.675	16.322	15.528	14.571	14.707	14.827	15.123	14.905	12.340
Delta		0.094	0.874	0.176	0.358	0.268	1.088	1.431	2.726	1.138	0.775	0.505	0.264	0.328	0.108	4.237

- จากตารางที่ 3.4 นำข้อมูลที่ได้คือค่า S/N เฉลี่ย สำหรับแต่ละปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมมาสร้างเป็นกราฟ S/N Response graphs ดังแสดงในรูปที่ 3-2 เป็นกราฟแสดงเส้นระหว่างค่าเฉลี่ย S/N ระดับที่ 1 และค่าเฉลี่ย S/N ระดับที่ 2 ของแต่ละปัจจัย ซึ่งการเขียนกราฟดังกล่าวเพื่อต้องการนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง
- วิเคราะห์ลำดับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ จาก Response Table หรือพิจารณาจากความชันของกราฟต่างๆ จาก S/N Response Graphs สามารถจัดลำดับได้ว่าตัวแปร D คือค่ามุมงยของใบมีด มีอิทธิพลสูงสุด (Delta = 4.237) ตัวแปร B คืออัตราการป้อน มีอิทธิพลรองลงมา (Delta = 2.726) และตามมาด้วยอิทธิพลร่วมระหว่าง B&D (Delta = 1.431) อิทธิพลร่วมระหว่าง A&B (Delta = 1.138) และอิทธิพลร่วมระหว่าง C&E (Delta = 1.088) ส่วนตัวแปรที่เหลือถือว่ามีอิทธิพลค่อนข้างน้อย ซึ่งจะไม่นำมาพิจารณาในการทดลองครั้งต่อไป

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงต่อความขรุขระของพื้นผิวซึ่งนำจากการกลึงคือ ปัจจัย D (มุมงย) ปัจจัย B (อัตราการป้อน) ปัจจัยร่วมระหว่าง B&D ปัจจัยร่วมระหว่าง A&B และปัจจัยร่วมระหว่าง C&E และพบว่าระดับการตั้งค่าตัวแปรหลักแต่ละตัวที่มีผลต่อความขรุขระของผิวงานกลึงคือ D, และ B. แต่เนื่องจาก A&B และ C&E รวมอยู่ในกลุ่มที่มีอิทธิพลสูงด้วย จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ S/N interaction matrix และ S/N interaction graph ของตัวแปรรวมทั้งสองด้วยเพื่อใช้เป็นตัวช่วยตัดสินใจในการเลือกระดับของปัจจัยร่วมดังกล่าวในการทดลองครั้งต่อไป

จากตาราง 3.3 สามารถคำนวณหาอิทธิพลของปัจจัยร่วม A&B ได้ดังนี้

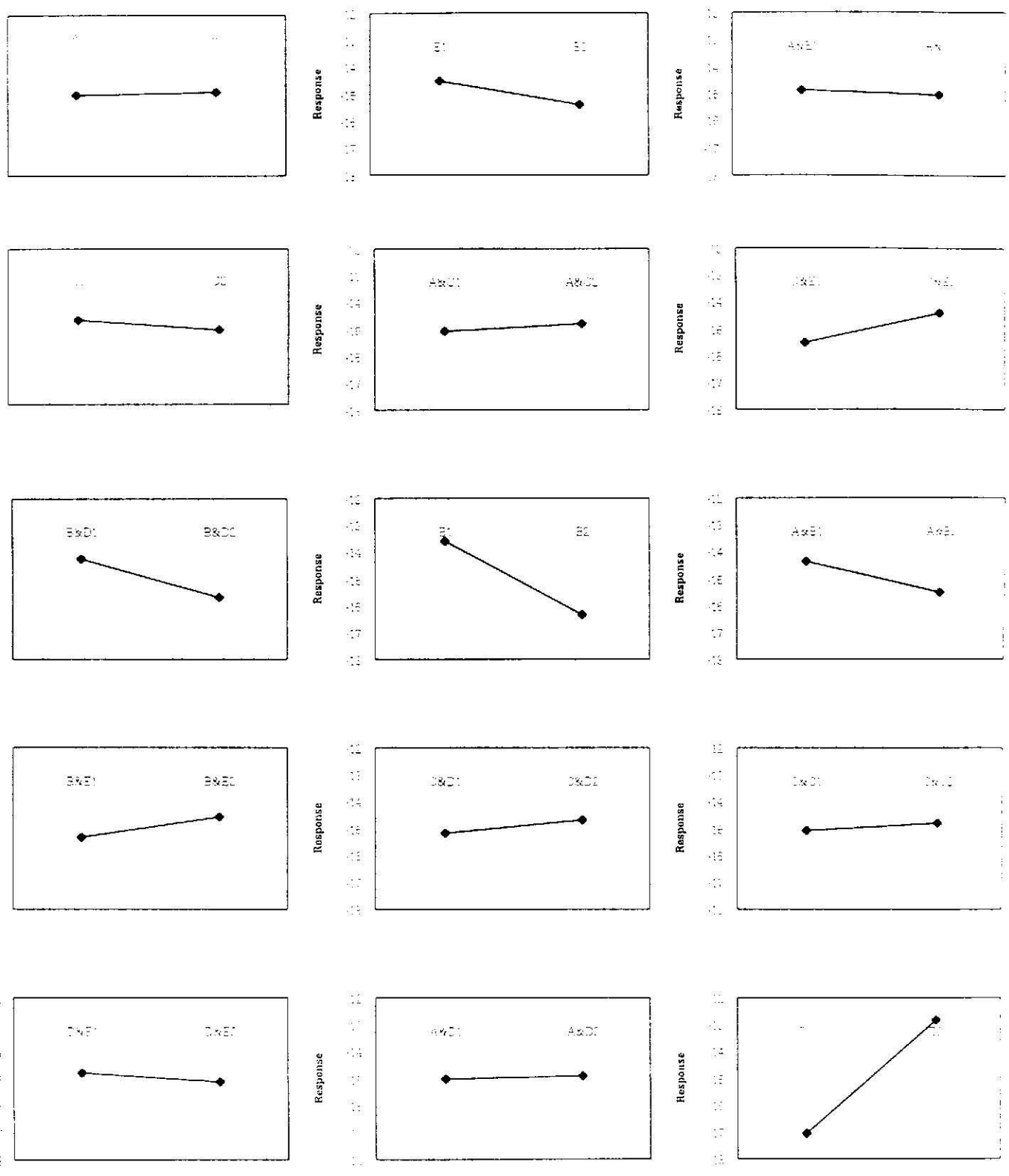
$$\bar{A}_1 \bar{B}_1 = \left(\frac{(-15.112) + (-11.265) + (-10.881) + (-15.036)}{4} \right) = -13.073$$

$$\bar{A}_1 \bar{B}_2 = \left(\frac{(-13.416) + (-18.130) + (-20.435) + (-15.772)}{4} \right) = -16.938$$

$$\bar{A}_2 \bar{B}_1 = \left(\frac{(-13.082) + (-14.727) + (-15.120) + (-13.543)}{4} \right) = -14.118$$

$$\bar{A}_2 \bar{B}_2 = \left(\frac{(-17.937) + (-12.506) + (-12.257) + (-20.123)}{4} \right) = -15.706$$

จากค่าที่คำนวณได้สามารถนำมาสร้างตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยในแต่ละระดับได้ดังตารางที่ 3.6

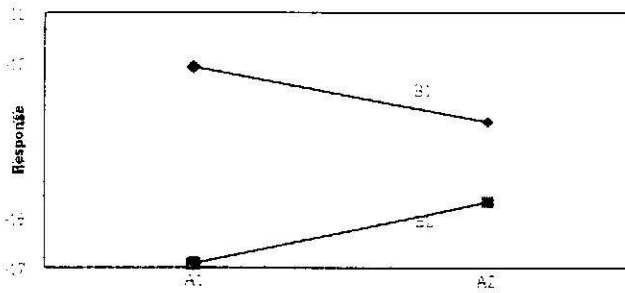


รูปที่ 3-8 S/N Response Graphs

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการคำนวณจากการ Interaction ระหว่าง A&B

	B ₁	B ₂
A ₁	-13.073	-16.938
A ₂	-14.118	-15.706

จากตารางแสดงผลการทดลองสามารถสร้าง Interaction Graphs ได้ดังรูปที่ 3-3



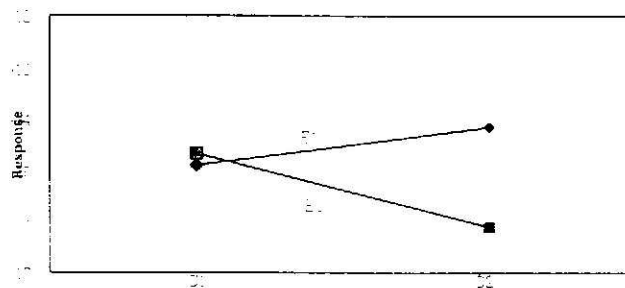
รูปที่ 3-9 แสดงกราฟแสดงการ interaction ระหว่างปัจจัยร่วม A&B

จาก Interaction Matrix และ Interaction Graph ของปัจจัยร่วม A&B แสดงให้เห็นว่า A₁, B₁ เป็นการตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุด

ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณหาค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม C&E ได้เช่นเดียวกันซึ่งสรุปเป็น Interaction Matrix ได้ดังตารางที่ 3.6 และ Interaction Graph ของ C&E ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการคำนวณจากการ interaction ระหว่าง C&E

	E ₁	E ₂
C ₁	-14.897	-14.673
C ₂	-14.157	-16.118



รูปที่ 3-10 แสดงกราฟแสดงการ interaction ระหว่างปัจจัยร่วม E&C

จากกราฟสรุปได้ว่า C₁, E₁ เป็นการตั้งค่าที่ให้ผลดีที่สุด

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรหลัก และตัวแปรรวมที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงต่อคุณภาพผิวชิ้นงานกลึงคือ D, B, B&D, A&B, และ C&E และแนะนำให้ปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ คือ D, B, A, C, และ E เพื่อให้ได้ผลเบื้องต้นที่ดีที่สุด ดังสรุปในตาราง 3.6

ตาราง 3.6 แสดงผลการวิเคราะห์เบื้องต้น เพื่อเลือกปรับตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสม

ปัจจัยควบคุม(Control Factor)	ผลการเลือกปัจจัยที่เหมาะสม
A : ความเร็วในการตัด	ระดับที่ 1 : 75 เมตรต่อนาที
B : อัตราการป้อน	ระดับที่ 1 : 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ
C : ความลึกในการตัด	ระดับที่ 2 : 1 มิลลิเมตร
D : มุมงอ	ระดับที่ 2 : 60 องศา
E : ความชื้นในเนื้อไม้	ระดับที่ 1 : ≤ 12 เปอร์เซ็นต์

5. วิเคราะห์ผลกระทบของ Noise factors ต่อคุณภาพผิวงานกลึงละเอียด โดยนำผลการทดลองจากตารางที่ 3.3 มาคำนวณค่า average response สำหรับแต่ละคอลัมน์ของ outer array ดังแสดงใน ตารางที่ 3.3 หลังจากนั้น สามารถคำนวณ average response สำหรับแต่ละ noise factor setting ดังนี้

$$\bar{M}_1 = \frac{7.93 + 3.28}{2} = 5.605$$

$$\bar{M}_2 = \frac{6.96 + 3.40}{2} = 5.180$$

$$\bar{N}_1 = \frac{7.93 + 6.96}{2} = 7.445$$

$$\bar{N}_2 = \frac{3.28 + 3.40}{2} = 3.340$$

$$\bar{O}_1 = \frac{7.93 + 3.40}{2} = 5.665$$

$$\bar{O}_2 = \frac{3.28 + 6.96}{2} = 5.120$$

จากการคำนวณสามารถนำผลที่ได้มาแสดงในรูปตารางได้ดังตารางที่ 3.7 ซึ่งเป็นค่า Response Table ของ ปัจจัยควบคุมไม่ได้ (Noise Factor)

ตารางที่ 3.7 Response Table of Noise Factors

ระดับ	M	N	O
1	5.605	7.445	5.665
2	5.180	3.340	5.120
Delta	0.425	4.105	0.545

จากผลที่แสดงใน Response Table สำหรับ Noise factors จะเห็นได้ชัดว่าอิทธิพลของ M หรือ การปฏิบัติการตัด (Cutting Operation) ที่จะต้องเลือกในขณะปฏิบัติการกลึงละเอียดนั้น มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน หากจะศึกษาต่อๆ ไปก็จำเป็นต้องให้ความสนใจกับค่าดังกล่าวด้วย

6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์จากผลการทดลองในเบื้องต้น อาจนำไปคำนวณการพยากรณ์ S/N ratio เป็น สมการพยากรณ์ค่าของ Signal-to-noise ration โดยครอบคลุมปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงไว้คือ D, B, B&D, A&B, และ C&E

สมการเพื่อพยากรณ์ควรจะเป็น

$$\begin{aligned}\eta &= \bar{T} + (\bar{D}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_1 - \bar{T}) + [(\bar{D}_2 \bar{B}_1 - \bar{T}) - (\bar{D}_2 - \bar{T}) - (\bar{B}_1 - \bar{T})] + [(\bar{A}_1 \bar{B}_1 - \bar{T}) - (\bar{A}_1 - \bar{T}) - (\bar{B}_1 - \bar{T})] - \\ &[(\bar{C}_2 \bar{E}_1 - \bar{T}) - (\bar{C}_2 - \bar{T}) - (\bar{E}_1 - \bar{T})] \\ &= \bar{D}_2 \bar{B}_1 + \bar{A}_1 \bar{B}_1 - \bar{B}_1 - \bar{A}_1 + \bar{C}_2 \bar{E}_2 - \bar{C}_2 - \bar{E}_1 + 2\bar{T}\end{aligned}$$

โดย $\bar{T} = -14.959$ (จากตาราง 3.3)

แทนค่าผลจาก response table และ interaction matrix จะได้

$$\begin{aligned}\eta &= -12.192 - 13.072 - (-13.596) - (-15.005) + (-16.12) - (-15.138) - (-14.522) + 2(-14.959) \\ &= -13.042 \text{ db}\end{aligned}$$

ผลจากการคำนวณดังกล่าวข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า ปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมที่มีอิทธิพลสูงต่อความชรุขระของผิวไม้ยางพาราภายหลังการกลึง คือ ลักษณะการกลึงซึ่งงานแบบกลึงปอก ส่วนปัจจัยควบคุมที่มีอิทธิพลสูงต่อความชรุขระของผิวไม้ยางพารา คือค่ามุมเงยของมีดและอัตราป้อนจะเป็นปัจจัยเดี่ยวที่มีอิทธิพลสูงต่อการเกิดความชรุขระบนผิวไม้ยางพาราโดยตรงและมีปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อความชรุขระบนผิวไม้ยางพาราด้วยคือ การตั้งมุมเงยร่วมกับอัตราป้อน ความเร็วในการตัดร่วมกับอัตราป้อน และ ความลึกในการตัดร่วมกับค่าความชื้นในเนื้อไม้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนดหาช่วงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนี้ในการทดลองระยะที่สองต่อไป โดยเริ่มต้นจากการตั้งค่ามุมเงยที่ค่าประมาณ 60 องศา และอัตราป้อนที่ค่าประมาณ 0.1 มม.ตอรอบ

บทที่ 4

การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ผลระยะที่ 2

จากข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลขั้นต้น ทีมผู้วิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลสูง ในการกลึงให้ได้ผิวชิ้นงานเรียบที่สุด คือ

1. มุมเฉยของใบมีด ซึ่งมีค่า D (ระดับ 60°)
2. อัตราการป้อนใบมีด ซึ่งมีค่า B (ระดับ 0.1 มม./รอบ)

ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีผลไม่มากนัก จึงสามารถนำออกไปจากการควบคุมได้ โดยจะตั้งค่าเอาไว้ที่ระดับที่ส่งผลดีที่สุดตามทีสรุปไว้ในบทที่ 3 คือ

ปัจจัย A ความเร็วตัด ตั้งที่ค่า A คือ 75 เมตร/นาที

ปัจจัย C ความลึกในการตัด ตั้งที่ค่า C คือ 1 มิลลิเมตร

ปัจจัย E ความชื้นในเนื้อไม้ ตั้งที่ค่า E คือ น้อยกว่า 12 %

สำหรับปัจจัยที่ไม่ควบคุม (Noise factor) จะเลือกศึกษาระดับที่ให้ผลที่ดีกว่า คือ

วัสดุใบมีด ศึกษา M_2 : วัสดุใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด

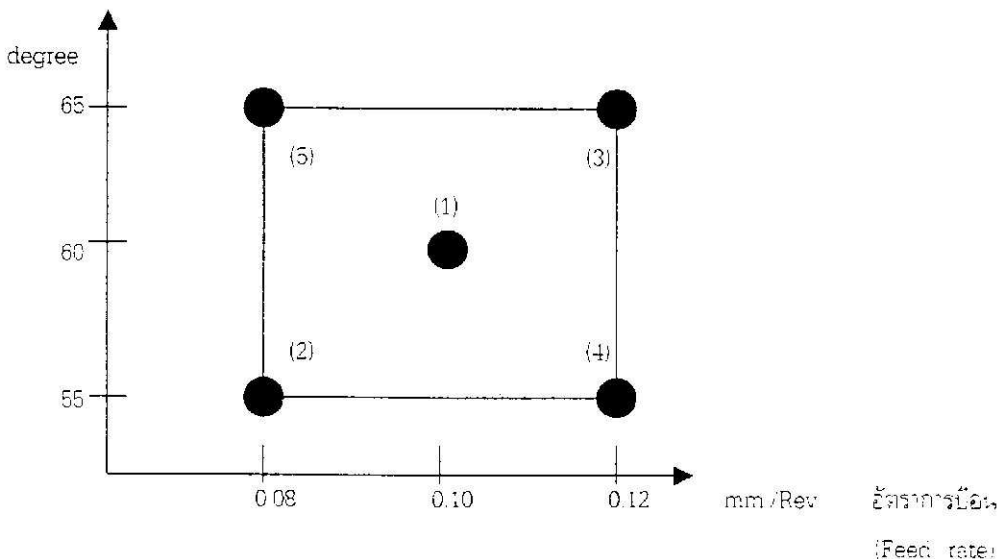
การปฏิบัติการตัด N_1 : การกลึงปอก

ลักษณะวัสดุชิ้นงาน O_2 : ชิ้นงานไม้ต้น

ดังนั้นจึงมีปัจจัยที่ต้องปรับเปลี่ยนค่า เพื่อศึกษาผลกระทบต่อผิวงานที่ได้จากการกลึงเหลือเพียง 2

ปัจจัย คือ มุมเฉย (Rake angle) และ อัตราการป้อน (feed)

ทีมผู้วิจัยเลือกใช้วิธี Evolutionary Operation (EVOP) เพื่อนำใช้ในกระบวนการหาค่าที่ดีที่สุด โดยเริ่มต้น 2° โดยกำหนดให้ค่าของมุมเฉย (Rake angle) และอัตราป้อน (Feed rate) ที่ 60° และ 0.10 มม./รอบ เป็นจุดศูนย์กลางที่ตำแหน่งที่ (1) และกำหนดให้ตำแหน่ง (2) , (3) , (4) และ (5) มีค่าของมุมเฉย (Rake angle) และอัตราป้อน (Feed rate) ที่ $(55^\circ, 0.08)$ $(65^\circ, 0.12)$ $(55^\circ, 0.12)$ และ $(65^\circ, 0.08)$ ตามลำดับ



รูป 4-1 ผังการออกแบบ 2° สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

การบันทึกผลจะกระทำลงใน ตารางที่ 4-2 ตารางบันทึกผล EVOP สำหรับบันทึกผล และใช้ค่า f_{α} ในตาราง 4-1 มาใช้อ้างอิง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่า f_{α}

n =	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k = 5	0.30	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.41
k = 10	0.23	0.26	0.28	0.29	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผล EVOP

EVOP Calculation Sheet											
Cycle: n =						Phase					
Calculation of Averages						Calculation of Standard Deviation					
Operating Conditions		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)					
(i) Previous cycle sum							Previous sum S =				
(ii) Previous cycle average							Previous average S =				
(iii) New observations							New S = range x f_{α} =				
(iv) Differences (ii)-(iii)							Range of (ii) =				
(v) New sums (i)+(iii)							New Sum S =				
(vi) New average (v)/n							New average S = (New sum S)/n				
Calculation of Effects						Calculation of Error Limits					
Feedrate effect = $1/2(y_3 - y_4 - y_2 - y_5) =$						For new average = $2 S / \sqrt{n} =$					
Rake Angle effect = $1/2(y_3 + y_5 - y_2 - y_4) =$						For new effects = $2 S / \sqrt{n} =$					
feed x angle interaction effect = $1/2(y_2 - y_3 - y_4 - y_5) =$											
Change-in-mean effect = $1/5(y_2 + y_3 + y_4 - y_5 - 4y_1) =$						For change-in-mean = $1.73 S / \sqrt{n} =$					

โดยในค่าปัจจัยที่กำหนดในแต่ละตำแหน่ง จะทำการตรวจสอบความเรียบของผิวไม้ยางพาราต้นที่กลึงได้จำนวน 3 ตำแหน่งในแต่ละท่อน โดยค่าความเรียบที่ตรวจวัด คือ R_1 , R_2 และ R_3 แต่ค่าที่เลือกนำมาใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต \bar{R}_i ปรากฏว่าในการทดลองได้ข้อมูล R_1 , R_2 และ R_3 ตามตาราง 4-3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองรอบ(cycle) ที่ 1 หรือ n=1 ตามค่าปัจจัยที่กำหนดในแต่ละตำแหน่งบน ฝั่งที่ออกแบบ 2 สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
R_1	2.76	1.78	2.52	\bar{y}_1	2.25	2.86	2.25	\bar{y}_2	2.42	2.89	1.85	\bar{y}_3
R_2	3.79	2.30	3.30	3.13	2.85	3.66	2.94	3.15	3.32	3.82	2.41	3.18
R_3	35.21	17.00	21.51	24.57	19.61	22.07	32.12	24.60	31.28	31.37	18.98	27.21

ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย
ผิวพื้นที่	1	2	3	\bar{y}_i	1	2	3	\bar{y}_j
R ₁	2.33	1.97	3.29	2.53	1.77	3.37	2.32	2.49
R ₂	3.02	2.63	4.18	3.28	2.31	4.19	3.03	3.18
R ₃	23.31	23.02	27.57	24.63	14.87	26.99	20.44	20.77

เริ่มต้นจาก เฟส (Phase) 1 และ รอบ(cycle) n = 1 นำค่าเฉลี่ยเลขคณิต R_i ของ \bar{y}_1 , \bar{y}_2 , \bar{y}_3 , \bar{y}_4 , \bar{y}_5 ที่
ได้ส่งในตารางบันทึกผล EVOP ในช่อง New observation โดยเริ่มต้นไม่มีค่าในช่อง Previous cycle sum
และ Previous cycle average โดยปรากฏค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ในตาราง 4-4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผล EVOP เมื่อ Phase = 1 . n = 1

EVOP Calculation Sheet

Cycle: n = 1					Phase = 1					
Calculation of Averages					Calculation of Standard Deviation					
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]					
(i) Previous cycle sum						Previous sum S =				
(ii) Previous cycle average						Previous average S =				
(iii) New observations	2.35	2.45	2.39	2.53	2.49	New S = range x $\sqrt{5}$.n =				
(iv) Differences (ii)-(iii)						Range of (iv) =				
(v) New sums (i) +(iii)	2.35	2.45	2.39	2.53	2.49	New Sum S =				
(vi) New average (v)/n.	2.35	2.45	2.39	2.53	2.49	New average S = (New sum S/n-1) =				
Calculation of Effects					Calculation of Error Limits					
Feed rate effect = $1/2(y_3+y_4-y_2-y_5) = -0.005$					For new average = $2 S/\sqrt{n} =$					
Rake Angle effect = $1/2(y_3+y_5-y_2-y_4) = -0.055$					For new effects = $2 S/\sqrt{n} =$					
feed x angle interaction effect = $1/2(y_2+y_3-y_4-y_5) = -0.085$										
Change-in-mean effect = $1/5(y_2-y_3+y_4+y_5-4y_1) = 0.09$					For change-in-mean = $1.78 S/\sqrt{n} =$					

เนื่องจากที่ n = 1 จึงยังไม่มีค่าในช่อง Previous cycle average ดังนั้นจึงไม่สามารถหาค่า Ranges ได้ ซึ่งเป็น
ผลให้ไม่สามารถคำนวณหาค่าจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error Limits) ได้ ที่เฟส 1 รอบ n = 1 จึงยัง
ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าผลกระทบต่างๆ ที่คำนวณได้

เริ่มต้นตอนถัดไปที่ Phase 1 และ n = 2 ทำการทดลองใหม่ที่ค่าตัวแปรและตำแหน่งเดิม ปรากฏว่าได้ผลการ
ทดลองเป็นข้อมูล R₁, R₂ และ R₃ ตามตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองรอบ(cycle) ที่ 2 หรือ $n=2$ ตามค่าปัจจัยที่กำหนดใน แต่ละตำแหน่งบน ผังท้ออกแบบ 2 สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
	ผิวไม้ที่	1	2		3	\bar{y}_1	1		2	3	\bar{y}_2	
R	1.81	2.38	2.12	2.10	2.04	1.95	2.1	2.03	2.52	3.12	3.43	3.02
R	2.34	3.02	3.03	2.80	2.70	2.46	2.75	2.64	3.12	4.06	4.42	3.57
R	17.20	21.53	41.92	26.88	18.20	18.15	17.16	17.84	19.06	28.77	48.55	32.13
ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย				เฉลี่ย
ผิวไม้ที่	1	2	3		\bar{y}_4	1	2		3	\bar{y}_5		
R	2.32	2.67	2.55	2.51	2.34	2.13	2.36	2.28				
R	2.94	3.50	3.46	3.30	2.99	2.87	2.88	2.91				
R	20.35	25.36	37.64	27.78	19.61	19.54	20.14	19.76				

นำค่าเฉลี่ยลดชนิด R_i ของ $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3, \bar{y}_4, \bar{y}_5$ ที่ได้ใส่ลงในตารางบันทึกผล EVOP ในช่อง New observation โดยนำค่าเฉลี่ยใหม่ (New average) ในตาราง EVOP ที่ $n = 1$ มาใส่ลงในช่อง Previous cycle average และ Previous cycle sum เป็นผลรวมสะสมจากค่า Previous cycle average โดยปรากฏค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผล EVOP เมื่อ Phase = 1, $n = 2$

EVOP Calculation Sheet

Cycle: $n = 2$						Phase: 1	
Calculation of Averages						Calculation of Standard Deviation	
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]		
(i) Previous cycle sum	2.35	2.45	2.39	2.53	2.49	Previous sum $S =$	
(ii) Previous cycle average	2.35	2.45	2.39	2.53	2.49	Previous average $S =$	
(iii) New observations	2.10	2.03	3.02	2.51	2.28	New $S = \text{range} \times f_{5,n} = 0.285$	
(iv) Differences (ii)-(iii)	0.25	0.42	-0.63	0.02	0.21	Range of (iv) = 0.95	
(v) New sums (i)+(iii)	4.45	4.48	5.41	5.04	4.77	New Sum $S = 0.285$	
(vi) New average (v)/n	2.23	2.24	2.71	2.52	2.39	New average $S = (\text{New sum } S)/n = 0.285$	
Calculation of Effects						Calculation of Error Limits	
Feed rate effect = $1/2(y_3+y_4-y_2-y_5) = 0.305$						For new average = $2 S / \sqrt{n} = 0.403$	
Bake Angle effect = $1/2(y_3+y_5-y_2-y_4) = 0.165$						For new effects = $2 S / \sqrt{n} = 0.403$	
Feed x angle interaction effect = $1/2(y_2+y_3-y_4-y_5) = 0.025$							
Change-in-mean effect = $1/5(y_2+y_3+y_4+y_5-4y_1) = 0.186$						For change-in-mean = $1.78 S / \sqrt{n} = 0.359$	

จากการเปรียบเทียบค่าจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error Limits) ที่เฟส 1 รอบ $n = 2$ ค่าผลกระทบต่างๆ ที่คำนวณได้ ปรากฏว่า ค่าผลกระทบที่เกิดจากอัตราป้อน (Feed rate) ที่มีค่าสูงสุดเป็น 0.305 ยังมีค่าน้อยกว่าค่าจำกัดความผิดพลาดสูงสุดที่ค่าเฉลี่ยใหม่ และค่าผลกระทบใหม่ คือ 0.403 ดังนั้นจึงไม่มีตัวแปรใดออกนอกขอบเขต เป็นผลให้ต้องทดลองในรอบ $n = 3$ ต่อไป

เริ่มขั้นตอนถัดไปที่ Phase 1 และ $n = 3$ ทำการทดลองใหม่ที่ค่าตัวแปรและตำแหน่งเดิม ปรากฏว่าได้ผลการทดลองเป็นข้อมูล R_1 , R_2 และ R_3 ตามตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองรอบ(cycle) ที่ 3 หรือ $n = 3$ ตามค่าปัจจัยที่กำหนดใน แต่ละตำแหน่งบน ผังที่ออกแบบ 2' สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
ตัวแปรที่	1	2	3	\bar{y}_1	1	2	3	\bar{y}_2	1	2	3	\bar{y}_3
R_1	3.80	2.55	2.26	2.87	3.71	2.67	3.12	3.17	2.33	2.47	3.97	2.92
R_2	4.80	3.41	3.15	3.79	4.58	3.31	4.04	3.98	3.05	3.09	5.07	3.74
R_3	29.93	33.69	24.14	29.25	30.76	21.80	40.45	31.00	21.99	19.13	56.92	32.68
ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย				
ตัวแปรที่	1	2	3	\bar{y}_4	1	2	3	\bar{y}_5				
R_1	2.62	2.30	2.10	2.34	1.80	2.28	2.23	2.10				
R_2	3.30	3.80	2.78	3.29	2.40	3.10	2.83	2.78				
R_3	23.99	21.49	20.00	21.83	22.75	26.87	22.23	23.95				

นำค่าเฉลี่ยเลขคณิต R_1 ของ \bar{y}_1 , \bar{y}_2 , \bar{y}_3 , \bar{y}_4 , \bar{y}_5 ที่ได้ใส่ลงในตารางบันทึกผล EVOP ในช่อง New observation โดยนำค่าเฉลี่ยใหม่ (New average) ในตาราง EVOP ที่ $n = 2$ มาใส่ลงในช่อง Previous cycle average และ Previous cycle sum เป็นผลรวมสะสมจากค่า Previous cycle average ซึ่งเพิ่มขึ้นจากตาราง EVOP ที่ $n = 2$ โดยปรากฏค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผล EVOP เมื่อ Phase = 1 , n = 3

EVOP Calculation Sheet

Cycle: n = 3						Phase : 1
Calculation of Averages						Calculation of Standard Deviation
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	
(i) Previous cycle sum	4.45	4.48	5.41	5.04	4.77	Previous sum: S = 0.285
(ii) Previous cycle average	2.23	2.24	2.71	2.52	2.38	Previous average S = 0.285
(iii) New observations	2.87	3.17	2.92	2.34	2.10	New S = range x .5, n = 0.55
(iv) Differences (ii)-(iii)	-0.64	-0.93	-0.21	0.18	0.28	Range of (iv) = 1.57
(v) New sums (i) +(iii)	7.32	7.65	8.33	7.38	6.87	New Sum S = 0.835
(vi) New average (v)/n	2.44	2.55	2.78	2.46	2.29	New average S = (New sum S)/(n-1) = 0.418
Calculation of Effects						Calculation of Error Limits
Feed rate effect = $1/2(y_3+y_4-y_2-y_5) = 0.20$						For new average = $2 S / \sqrt{n} = 0.635$
rake Angle effect = $1/2(y_3+y_5-y_2-y_4) = 0.03$						For new effects = $2 S / \sqrt{n} = 0.635$
Feed x angle interaction effect = $1/2(y_2+y_3-y_4-y_5) = 0.29$						
Change-in-mean effect = $1/5(y_2+y_3-y_4+y_5-4y_1) = 0.064$						For change-in-mean = $1.78 S / \sqrt{n} = 0.565$

จากการเปรียบเทียบค่าจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error Limits) ที่เฟส 1 รอบ n = 3 ค่าผลกระทบบางอย่าง ที่คำนวณได้ ปรากฏว่า ค่าผลกระทบบางอย่าง ยังมีค่าน้อยกว่าค่าจำกัดความผิดพลาดทั้งหมดที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงไม่มีตัวแปรใดออกนอกขอบเขต เป็นผลให้ต้องทดลองในรอบ n = 4 ต่อไป

เริ่มขั้นตอนถัดไปที่ Phase 1 และ n = 4 ทำการทดลองใหม่ที่มีค่าตัวแปรและตำแหน่งเดิม ปรากฏว่าได้ผลการทดลองเป็นข้อมูล R_1 , R_2 และ R_3 ตามตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองรอบ(cycle) ที่ 4 หรือ n = 4 ตามค่าปัจจัยที่กำหนดในแต่ละตำแหน่งบน ผังที่ออกแบบ 2³ สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
R_1	3.02	2.21	2.00	2.41	2.09	3.01	2.92	2.67	3.15	2.07	2.85	2.69
R_2	3.79	2.98	2.58	3.12	2.60	3.89	3.96	3.48	4.17	2.75	3.65	3.62
R_3	24.75	26.66	22.30	24.57	17.73	28.23	36.93	27.63	29.70	32.13	23.22	28.35

ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย
ผิวไม้ที่	1	2	3	\bar{y}_4	1	2	3	\bar{y}_5
R ₁	2.52	2.53	2.42	2.49	2.38	2.48	3.06	2.64
R ₂	3.29	3.24	3.09	3.21	3.03	3.18	4.01	3.41
R ₃	21.83	23.62	21.09	22.18	24.25	33.92	27.44	28.54

นำค่าเฉลี่ยเลขคณิต R ของ $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3, \bar{y}_4, \bar{y}_5$ ที่ได้ใส่ลงในตารางบันทึกผล EVOP ในช่อง New observation โดยนำค่าเฉลี่ยใหม่ (New average) ในตาราง EVOP ที่ $n = 3$ มาใส่ลงในช่อง Previous cycle average และ Previous cycle sum เป็นผลรวมสะสมจากค่า Previous cycle average ซึ่งเพิ่มขึ้นจากตาราง EVOP ที่ $n = 3$ โดยปรากฏค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.10 ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผล EVOP เมื่อ Phase = 1, $n = 4$

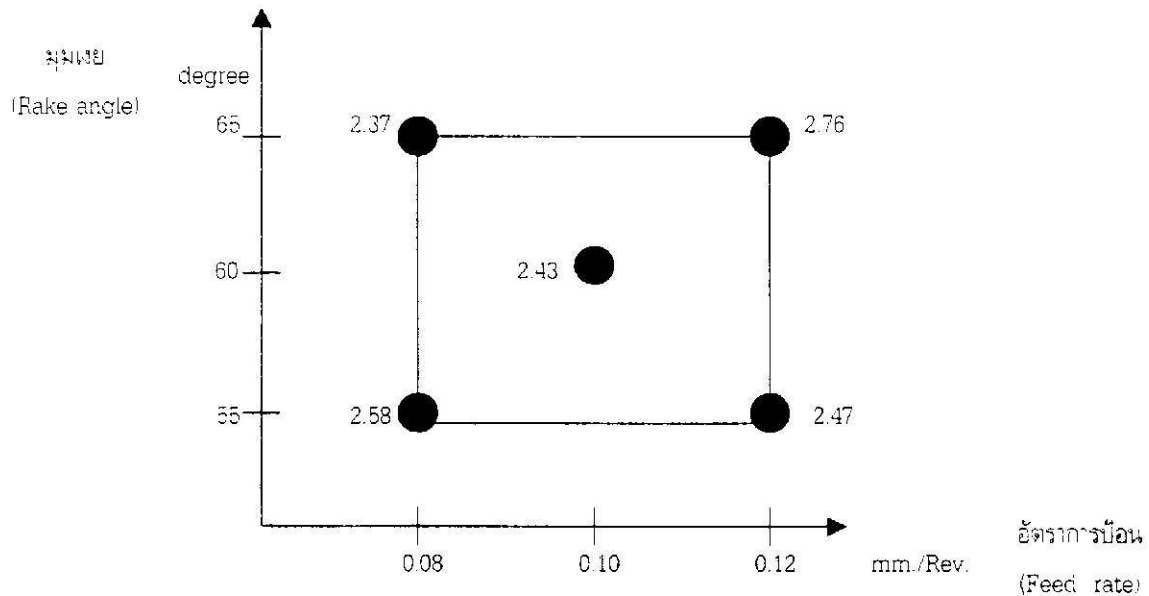
EVOP Calculation Sheet						
Cycle: $n = 4$				Phase : 1		
Calculation of Averages				Calculation of Standard Deviation		
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	
(i) Previous cycle sum	7.32	7.65	8.33	7.38	6.86	Previous sum $S = 0.835$
(ii) Previous cycle average	2.44	2.55	2.78	2.46	2.29	Previous average $S = 0.418$
(iii) New observations	2.41	2.67	2.69	2.49	2.64	New $S = \text{range} \times f_{5,n} = 0.163$
(iv) Differences (ii)-(iii)	0.03	-0.12	0.09	-0.03	-0.35	Range of (iv) = 0.44
(v) New sums (i)+(iii)	9.73	10.32	11.02	9.87	9.50	New Sum $S = 0.998$
(vi) New average (v)/ n	2.43	2.58	2.76	2.47	2.38	New average $S = (\text{New sum } S)/(n-1) = 0.333$
Calculation of Effects				Calculation of Error Limits		
Feed rate effect = $1/2(y_3+y_4-y_2-y_5) = 0.14$				For new average = $2 S / \sqrt{n} = 0.188$		
Bake Angle effect = $1/2(y_3-y_5-y_2-y_4) = 0.04$				For new effects = $2 S / \sqrt{n} = 0.188$		
Feed x angle interaction effect = $1/2(y_2+y_3-y_4-y_5) = 0.25$						
Change-in-mean effect = $1/5(y_2+y_3+y_4+y_5-4y_1) = 0.092$				For change-in-mean = $1.78 S / \sqrt{n} = 0.169$		

จากการเปรียบเทียบค่าจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error Limits) ได้ ที่เฟส 1 รอบ $n = 4$ ค่าผลกระทบบางๆ ที่คำนวณได้ ปรากฏว่า ค่าผลกระทบรวมระหว่างมุมเขย (Bake angle) และค่าอัตราไหล (Feed rate) มีค่าเท่ากับ 0.25 มากกว่าค่าจำกัดความผิดพลาดสูงสุดทั้งหมดที่คำนวณได้ คือ 0.188 ดังนั้นจึงเป็นผลให้การทดลองในเฟส 1 นี้สิ้นสุด ต้องเริ่มการทดลองที่เฟส 2 ในรอบ $n = 1$ ใหม่ โดยสามารถที่จะสรุปค่าต่างๆ ที่คำนวณได้จากการทดลอง เมื่อสิ้นสุดเฟส 1 ในรูปที่ 4-2

EVOP Information Board , Cycle 4

Response : R (μm)

Requirement : Minimize



Error Limits สำหรับ Averages :		± 0.188
Effect with 95% error limits :	Feed rate	0.140 ± 0.188
	Rake Angle	0.040 ± 0.188
	F x A	0.250 ± 0.188
	Change in mean	0.092 ± 0.188
Standard deviation :		0.163

รูปที่ 4-2 ผังการออกแบบ 2^2 และตารางสรุปค่าจำกัดความผิดพลาดที่คำนวณได้ สำหรับ EVOP เมื่อสิ้นสุดเฟส 1 ของการทดลองนี้

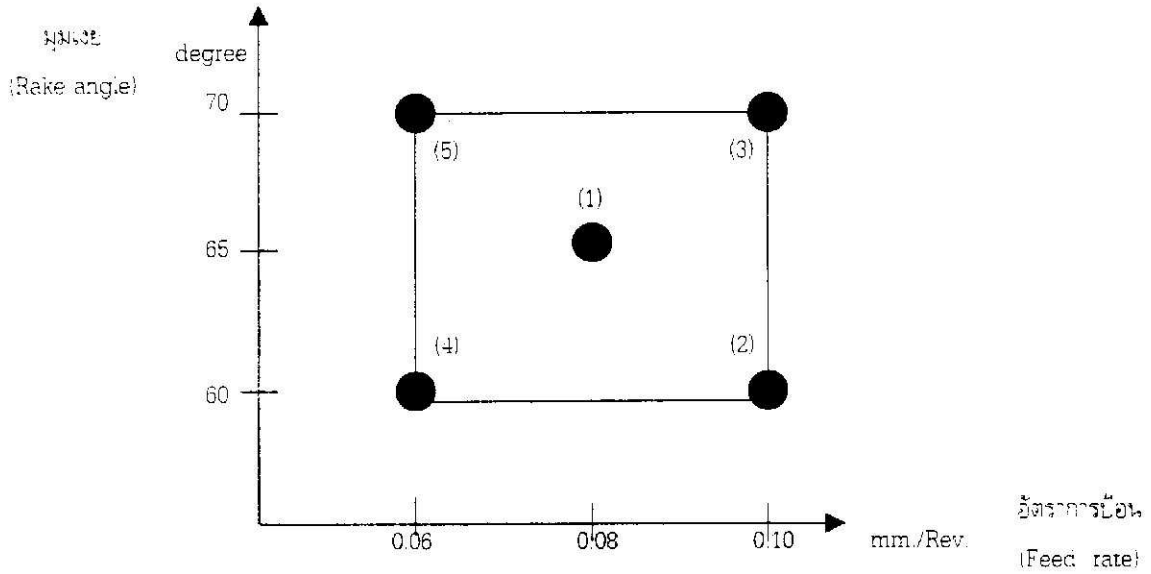
พิจารณาจากรูปที่ 4-2 พบว่าค่าความเรียบ R, ในตำแหน่งที่ 5 จะมีผลให้ ค่าผลกระทบบรรวมระหว่างมุมเฉย (Rake angle) และค่าอัตราการป้อน (Feed rate) มีค่าเท่ากับ 0.25 มากกว่าค่าจำกัดความผิดพลาดสูงสุด คือ 0.188 จึงนำค่าตัวแปรในตำแหน่งที่ 5 คือ Feed rate เป็น 0.08 mm/rev และ Rake angle เป็น 65.0 degree มาทดลองในเฟส (Phase) 2 ต่อไป โดย ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของ EVOP ใหม่

โดยสามารถแสดงผังการออกแบบการทดลอง 2^2 ที่เฟส 2 ดังรูปที่ 4-3 ดังนี้

EVOP Information Board , Phase 2 Cycle 1

Response : R (μm)

Requirement : Minimize



รูปที่ 4-3 ผังการออกแบบ 2^๕ สำหรับ EVOP เมื่อเริ่มต้นเฟส 2 ของการทดลองนี้

ทำการตรวจสอบความเรียบของผิวไม้ยางพาราต้นที่กลึงได้ในลักษณะเดียวกับก่อนหน้า คือ วัดความเรียบเป็นจำนวน 3 ตำแหน่งในแต่ละท่อน โดยค่าความเรียบที่ตรวจวัด คือ R_1 , R_2 และ R_3 ปรากฏว่าในการทดลองที่รอบที่ 1 ของเฟส 2 ได้ข้อมูล R_1 , R_2 และ R_3 ตามตารางที่ 4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.11 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองรอบ(cycle) ที่ 1 หรือ $n=1$ ของเฟส 2 ตามค่าปัจจัยที่กำหนดในแต่ละตำแหน่งบน ผังที่ออกแบบ 2^๕ สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย	
	ผิวไม้ที่	1	2		3	\bar{y}_1	1		2	3	\bar{y}_2		1
R_1		2.65	2.67	2.37	2.56	2.42	2.52	1.95	2.30	2.61	2.83	2.25	2.56
R_2		3.30	3.43	2.97	3.23	3.01	3.30	2.51	2.94	3.36	3.6	2.92	3.29
R_3		23.00	21.70	18.39	21.03	20.05	22.7	17.29	20.01	32.67	43.04	20.82	32.18
ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย				เฉลี่ย	
ผิวไม้ที่	1	2	3		\bar{y}_4	1	2		3	\bar{y}_5			
R_1		2.34	2.9	2.67	2.64	2.32	1.75	1.82	1.96				
R_2		2.87	3.62	3.35	3.28	2.89	2.18	2.27	2.45				
R_3		16.90	21.12	21.35	19.79	19.58	13.62	15.1	16.10				

เริ่มต้นจาก เฟส (Phase) 2 และ รอบ(cycle) $n = 1$ นำค่าเฉลี่ยเลขคณิต R_i ของ \bar{y}_1 , \bar{y}_2 , \bar{y}_3 , \bar{y}_4 , \bar{y}_5 ที่ได้ใส่ลงในตารางบันทึกผล EVOP ในช่อง New observation โดยเริ่มต้นไม่มีค่าในช่อง Previous cycle sum และ Previous cycle average โดยปรากฏค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.12 ดังนี้

ตารางที่ 4.12 ตารางบันทึกผล EVOP เมื่อ Phase = 2 , n = 1

EVOP Calculation Sheet						
Cycle: n = 1			Phase : 2			
Calculation of Averages			Calculation of Standard Deviation			
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	
(i) Previous cycle sum	0.00	0	0	0	0	Previous sum S =
(ii) Previous cycle average						Previous average S =
(iii) New observations	2.56	2.3	2.56	2.64	1.96	New S = range x 0.5.n =
(iv) Differences (ii)-(iii)						Range of (iv) =
(v) New sums (i) +(iii)	2.56	2.30	2.56	2.64	1.96	New Sum S =
(vi) New average (v)/n	2.56	2.30	2.56	2.64	1.96	New average S = (New sum S)/(n-1) =
Calculation of Effects			Calculation of Error Limits			
Feedrate effect = $1/2(y_3+y_4-y_2-y_5) = 0.47$			For new average = $2 S / \sqrt{n} =$			
Rake Angle effect = $1/2(y_3+y_5-y_2-y_4) = -0.21$			For new effects = $2 S / \sqrt{n} =$			
feed x angle interaction effect = $1/2(y_2+y_3-y_4-y_5) = 0.13$						
Change-in-mean effect = $1/5(y_2+y_3+y_4+y_5-4y_1) = -0.156$			For change-in-mean = $1.78 S / \sqrt{n} =$			

ค่า Ranges ได้ ซึ่งเป็นผลให้ไม่สามารถคำนวณหาค่าจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error Limits) ได้ ที่ เฟส 2 รอบ n =1 จึงยังไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าผลกระทบบางๆ ที่คำนวณได้ เริ่มขั้นตอนถัดไปที่ Phase 2 และ n = 2 ทำการทดลองใหม่ที่ค่าตัวแปรและตำแหน่งเดิม ปรากฏว่าได้ผลการทดลองเป็นข้อมูล R_1 , R_2 และ R_3 ตามตารางที่ 4.13 ดังนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองรอบ(cycle) ที่ 2 หรือ n=2 ตามค่าปัจจัยที่กำหนด ในแต่ละตำแหน่งบน ผังที่ออกแบบ 2^3 สำหรับ EVOP ของการทดลองนี้

ตำแหน่งที่	1				เฉลี่ย				2				เฉลี่ย				3				เฉลี่ย			
	1	2	3	\bar{y}_1	1	2	3	\bar{y}_2	1	2	3	\bar{y}_3	1	2	3	\bar{y}_4								
R_1	1.51	2.86	2.84	2.40	2.82	1.91	2.72	2.48	2.13	2.78	3.22	2.71												
R_2	1.88	3.65	3.74	3.09	3.51	32.39	3.63	13.18	2.66	3.67	4.04	3.46												
R_3	13.79	24.81	25.59	21.40	22.78	15.87	45.70	28.12	21.19	24.4	27.79	24.48												
ตำแหน่งที่	4				เฉลี่ย				5				เฉลี่ย											
ผิวไม้	1	2	3	\bar{y}_4	1	2	3	\bar{y}_5																
R_4	2.24	2.82	2.45	2.50	2.15	2.07	2.72	2.31																
R_5	2.93	3.53	3.11	3.19	2.87	2.61	3.41	2.96																

R	22.42	23.43	20.27	22.04	25.01	18.31	22.45	21.92
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

นำค่าเฉลี่ยเลขคณิต R_i ของ $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3, \bar{y}_4, \bar{y}_5$ ที่ได้ใส่ลงในตารางบันทึกผล EVOP ในช่อง New observation โดยนำค่าเฉลี่ยใหม่ (New average) ในตาราง EVOP ที่ $n = 1$ มาใส่ลงในช่อง Previous cycle average และ Previous cycle sum เป็นผลรวมสะสมจากค่า Previous cycle average โดยปรากฏค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.14 ดังนี้

ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกผล EVOP เมื่อ Phase = 2, $n = 2$

EVOP Calculation Sheet

Cycle: $n = 2$					Phase : 2	
Calculation of Averages					Calculation of Standard Deviation	
Operating Conditions	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	
(i) Previous cycle sum	2.56	2.30	2.56	2.64	1.96	Previous sum $S =$
(ii) Previous cycle average	2.56	2.3	2.56	2.64	1.96	Previous average $S =$
(iii) New observations	2.40	2.48	2.71	2.50	2.31	New $S = \text{range} \times t_{5,n} = 0.153$
(iv) Differences (iii)-(ii)	0.16	-0.18	-0.15	0.14	-0.35	Range of (iv) = 0.51
(v) New sums (i) +(iii)	4.96	4.78	5.27	5.14	4.27	New Sum $S = 0.153$
(vi) New average (v)/n	2.48	2.39	2.64	2.57	2.14	New average $S = (\text{New sum } S)/(n-1) = 0.153$
Calculation of Effects					Calculation of Error Limits	
Feedrate effect = $1/2(y_3+y_4-y_2-y_5) = 0.34$					For new average = $2 S / \sqrt{n} = 0.216$	
Rake Angle effect = $1/2(y_3+y_5-y_2-y_4) = -0.09$					For new effects = $2 S / \sqrt{n} = 0.216$	
feed x angle interaction effect = $1/2(y_2+y_3-y_4-y_5) = 0.14$						
Change-in-mean effect = $1/5(y_2+y_3+y_4+y_5-4y_1) = -0.036$					For change-in-mean = $1.78 S / \sqrt{n} = 0.193$	

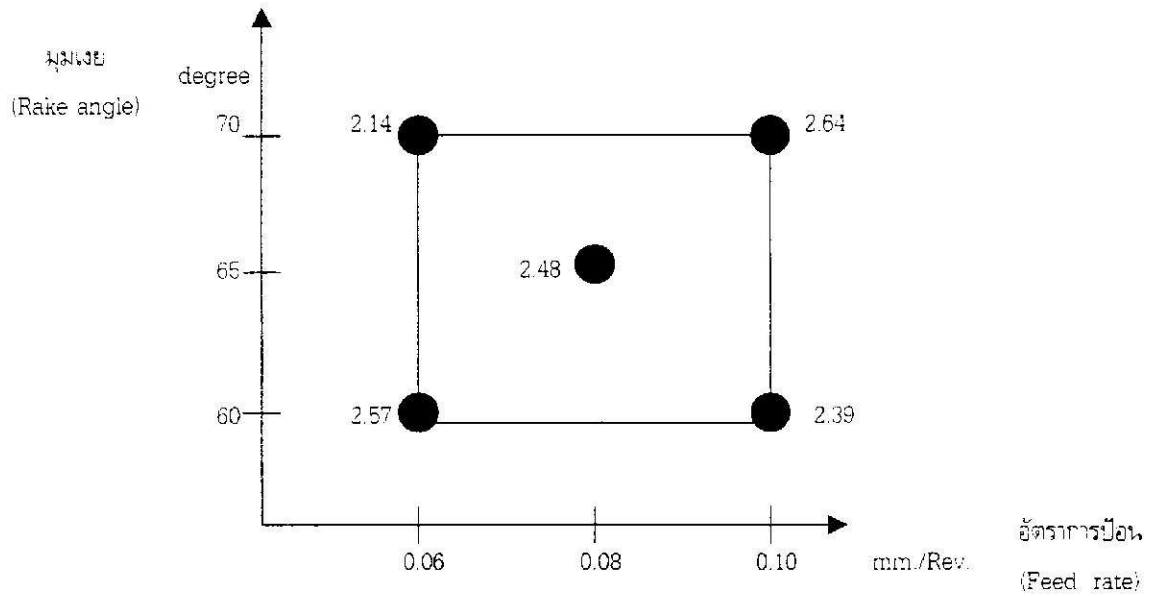
จากการเปรียบเทียบค่าจำกัดความผิดพลาด (Calculation of Error Limits) ได้ที่เฟส 2 รอบ $n = 2$ ค่าผลกระทบต่างๆ ที่คำนวณได้ ปรากฏว่า ค่าผลกระทบจากอัตราป้อน (Feed rate) มีค่าเท่ากับ 0.34 มากกว่าค่าจำกัดความผิดพลาดสูงสุดทั้งหมดที่คำนวณได้ คือ 0.216 ดังนั้นจึงเป็นผลให้ การทดลองในเฟส 2 นี้สิ้นสุด ต้องเริ่มการทดลองที่เฟส 3 ในรอบ $n = 1$ ใหม่

โดยสามารถที่จะสรุปค่าต่างๆ ที่คำนวณได้จากการทดลอง เมื่อสิ้นสุดเฟส 1 ในรูปที่ 4-4

EVOP Information Board, Cycle 2

Response : R (μm)

Requirement : Minimize



Error Limits สำหรับ Averages :		± 0.216
Effect with 95% error limits :	Feed rate	0.340 ± 0.216
	Rake Angle	-0.090 ± 0.216
	F x A	0.140 ± 0.216
	Change in mean	-0.036 ± 0.193
Standard deviation :		0.153

รูปที่ 4-4 ผังการออกแบบ 2² และตารางสรุปค่าจำกัดความผิดพลาดที่คำนวณได้ สำหรับ EVOP เมื่อสิ้นสุดเฟส 2 ของการทดลองนี้

พิจารณาจากรูป 4-4 พบว่าค่าความเรียบ R_a ในตำแหน่งที่ 5 จะมีผลให้ ค่าผลกระทบของอัตราป้อน (Feed rate) มีค่าเท่ากับ 0.34 มากกว่าค่าจำกัดความผิดพลาดสูงสุด คือ 0.216 จึงควรนำค่าตัวแปรในตำแหน่งที่ 5 คือ Feed rate เป็น 0.06 mm/rev. และ Rake angle เป็น 70.0 degree มาทดลองในเฟส (Phase) 3 ต่อไป โดยใช้เป็นจุดศูนย์กลางของ EVOP ใหม่ แต่ในทางปฏิบัติจริงพบข้อจำกัด คือ ความยากในการลับมุมมีดให้ เกิดมุมเฉย (Rake angle) ที่มากกว่า 70.0 องศา เป็นผลให้ทีมผู้วิจัยตัดสินใจหยุดการทดลองในเฟส (Phase) 3 แต่ทีมผู้วิจัยได้ลองทำการทดลองซ้ำที่ค่าตัวแปรที่เฟส (Phase) 2 ซ้ำอีก 2 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 พร้อมกับลองทดลองซ้ำที่ค่าตัวแปรที่เฟส (Phase) 1 ซ้ำอีก 1 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.15 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองเฟส (Phase) ที่ 2 ซ้ำครั้งที่ 1

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
R	2.06	2.99	2.88	2.64	2.84	2.10	1.97	2.30	1.96	2.07	2.74	2.26
R	2.59	3.72	3.75	3.35	3.67	2.65	2.67	3.00	2.41	2.73	3.44	2.86
R	17.11	30.05	23.37	23.51	24.99	18.03	27.62	23.55	19.63	24.42	20.6	21.55

ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตำแหน่ง
ผิวไม้ที่	1	2	3	\bar{y}_4	1	2	3	\bar{y}_5	\bar{y}
R ₁	3.98	3.27	3.24	3.50	1.65	1.95	2.30	1.97	2.53
R ₂	4.84	4.08	4.12	4.35	2.02	2.51	3.00	2.51	3.21
R ₃	29.16	27.15	32.05	29.45	12.00	19.19	23.7	18.30	23.27

ตารางที่ 4.16 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองเฟส(Phase) ที่ 2 ซ้ำครั้งที่ 2

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
ผิวไม้ที่	1	2	3	\bar{y}_1	1	2	3	\bar{y}_2	1	2	3	\bar{y}_3
R ₁	2.06	2.63	2.40	2.36	2.77	2.08	3.03	2.63	1.91	2.60	3.38	2.63
R ₂	2.62	3.24	3.09	2.98	3.50	2.63	3.81	3.31	2.55	3.34	4.26	3.38
R ₃	19.71	22.99	23.28	21.99	24.11	21.35	25.95	23.80	20.15	22.82	28.41	23.79
ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตำแหน่ง			
ผิวไม้ที่	1	2	3	\bar{y}_4	1	2	3	\bar{y}_5	\bar{y}			
R ₁	4.00	2.66	2.56	3.07	2.61	3.03	2.48	2.71	2.68			
R ₂	4.98	3.60	3.73	4.10	3.34	3.87	3.14	3.45	3.45			
R ₃	33.98	22.97	22.09	26.35	28.00	28.34	19.64	25.33	24.25			

ตารางที่ 4.17 แสดงผลค่าความเรียบที่วัดได้จากการทดลองเฟส(Phase) ที่ 1 ซ้ำครั้งที่ 1

ตำแหน่งที่	1			เฉลี่ย	2			เฉลี่ย	3			เฉลี่ย
ผิวไม้ที่	1	2	3	\bar{y}_1	1	2	3	\bar{y}_2	1	2	3	\bar{y}_3
R ₁	3.49	3.11	2.74	3.11	2.84	2.53	2.69	2.69	2.81	2.97	3.10	2.96
R ₂	4.33	4.06	3.56	3.98	3.59	3.20	3.37	3.39	3.46	3.73	3.96	3.72
R ₃	26.03	29.76	22.12	25.97	27.64	23.4	23.1	24.71	21.86	23.4	29.47	24.91
ตำแหน่งที่	4			เฉลี่ย	5			เฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตำแหน่ง			
ผิวไม้ที่	1	2	3	\bar{y}_4	1	2	3	\bar{y}_5	\bar{y}			
R ₁	3.45	3.08	1.88	2.80	3.45	1.85	2.85	2.72	2.86			
R ₂	4.26	3.87	2.48	3.54	4.36	2.49	3.71	3.52	3.63			
R ₃	28.03	24.15	17.86	23.35	28.91	20.39	27.43	25.58	24.90			

จากค่าเฉลี่ย \bar{y} ของ R₁, R₂ และ R₃ ในตาราง 14-15 และ 14-16 เทียบกับในตารางที่ 14-5 พบว่าค่าความเรียบทุกแบบในตาราง 14-14 และ 14-15 มีค่าน้อยกว่าในตาราง 14-5 ดังนั้นจึงเพิ่มความมั่นใจให้กับทิมวิชัยว่าค่าตั้งแปรที่เหมาะสมที่สุดในการกลึงบอกมีขนาดพาดในการวิจัยครั้งนี้อยู่ที่การตั้งค่ามุมเฉย (Bake angle) ที่ 7 องศา และค่าอัตราอิน (Feed rate) ที่ 0.06 มม./รอบ และข้อสรุปที่ควรใช้ในการกลึงให้ผิวไม้ขนาดพาดเรียบที่สุดคือ การใช้ความเฉยที่มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ และตั้งค่าอัตราการป้อนเม็ดให้ต่ำที่สุดเท่าที่เครื่องจักรจะทำงานได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเบื้องต้นได้ออกแบบแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลตามเทคนิควิธีทางสถิติ โดยศึกษาอิทธิพลปัจจัยหลัก 5 ปัจจัย แต่ละปัจจัยตั้งค่า 2 ระดับและมีปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมอีก 3 ปัจจัยที่นำมาพิจารณาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงต่อความเรียบของผิวในการกลึงไม้ยางพารา คือ มุมงะโยไบมิดกลึง และอัตราการเดินไบมิด ส่วนปัจจัยที่มีผลค่อนข้างสูง คือ อิทธิพลร่วมของมุมงะโยไบและอัตราการเดินมิด อิทธิพลร่วมของความเร็วในการตัดและอัตราการเดินมิด และอิทธิพลร่วมของความชื้นในเนื้อไม้และความลึกในการตัด ส่วนปัจจัยอื่นๆ ถือได้ว่ามีอิทธิพลต่ำ สำหรับปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุม พบว่าภาคปฏิบัติการตัดแบบกลึงปกกมีผลต่อความเรียบของผิวค่อนข้างมาก และเป็นแนวทางกำหนดรายละเอียดของการตั้งค่าตัวแปรที่จะศึกษาต่อไป

เมื่อวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลสำหรับการตั้งค่าที่ให้ผิวการกลึงละเอียดดีที่สุด โดยอาศัยวิธีการ Evolutionary Operation พบว่าสภาวะการตั้งมุมงะโยไบมิดประมาณ 70 องศา และใช้อัตราการเดินไบมิดต่ำๆ ที่ระดับ 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ ทั้งนี้ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ำได้เลือกกำหนดไว้ที่ค่าซึ่งยอมรับว่าเหมาะสมคือ ความเร็วตัด 75 เมตรต่อนาที ความลึกในการตัด 1 มิลลิเมตร และความชื้นในเนื้อไม้ต่ำกว่า 12% ถ้าหากปรับเปลี่ยนค่าปัจจัย 3 ปัจจัยหลังเป็นอย่างมาก ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและค่าใช้จ่ายของการผลิตด้วยนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1 เนื่องจากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้จำกัดอยู่เฉพาะการกลึงละเอียด ซึ่งมีช่วงของปัจจัยบางอย่างอยู่ในช่วงแคบๆ เช่น ค่าความลึกของการตัด ดังนั้นผลสรุปจึงอาจเป็นจริงสำหรับการกลึงละเอียด หากเป็นการกลึงหยาบผลอาจต่างจากข้อสรุปนี้ได้
- 2 การศึกษารุ่นนี้ไม่ได้นำปัจจัยอายุใช้งานของคมมิดมาศึกษา ทั้งนี้อยู่บนสมมุติฐานว่าเป็นการกลึงในระยะเวลานั้นๆ และใช้วิธีสุ่มจึงเป็นการกระจายอิทธิพลของอายุคมมิดอย่างสม่ำเสมอ
- 3 ข้อสรุปสำหรับอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ในการกลึงละเอียดไม้ยางพารา นี้ เป็นจริงสำหรับผลที่ต้องให้ผิวสำเร็จราบเรียบ แต่ในการผลิตจริง นอกจากความเรียบของผิวแล้วผู้ผลิตอาจมีเป้าหมายอย่างอื่น เช่น ความเร็วในการตัดต่อชิ้นงาน อายุการใช้งานไบมิดนานๆ หรือค่าใช้จ่ายต่อชิ้นงานต่ำสุด เป็นต้น จึงต้องตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ต่อเป้าหมายของการผลิตอื่นๆ ด้วย

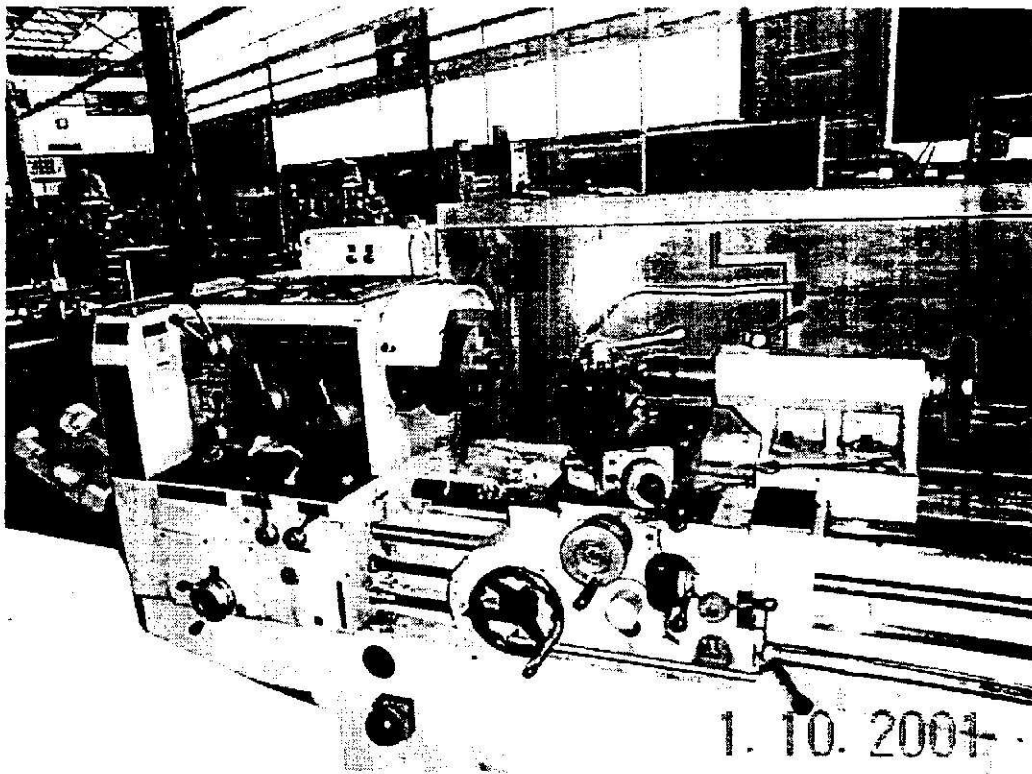
- 4 เนื่องจากในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ นอกจากจะผ่านกรรมวิธีการกลึงละเอียดแล้ว ส่วนใหญ่อาจต้องผ่านกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น การไส การเจาะ และการตัดแบบต่างๆ จึงน่าสนใจที่จะมีผู้ศึกษาวิจัยอิทธิพลของการแปรรูปในกระบวนการอื่นๆ สำหรับไม้ยางพาราด้วย

บรรณานุกรม

1. ชูฉันทน์ศรีศักดิ์ เทพญา, “ข้อกำหนดเทคนิคที่ดีในการอบไม้ยางพาราแบบรูป”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2541.
2. ศุภโชค วิริยโกศล, “การตัดวัสดุ(Machining)”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์, หาดใหญ่, 2543.
3. Clark, L. Edward, Ekwall, A. John, Culbreth, C. Thomas, and Eillard, Rudolph, “*Furniture Manufacturing Equipment*”, Department of Industrial Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, 1987.
4. Degarmo, E. Paul, Black J T., and Kohser, A. Ronald, “*Materials and Processes in Manufacturing*”, eighth edition, Prentice hall, New Jersey, 1997.
5. Glen Sturart Peace, “*Taguchi Methods*”, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1993.
6. Groover, P. Mikell, “*Fundamentals of Modern manufacturing*”. Prentice Hall, New Jersey, 1996.
7. Hicks, R. Charles, “*Fundamental Concepts in the Design of Experiments*”, 3rd Ed, CBS Colledge Publishing, New York, 1982.
8. Tlusty, George, “*Manufacturing Processes and Equipment*”, Prentice Hall, New Jersey, 2000.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย



ข้อมูลทั่วไป	
ชื่อเครื่องจักร	High Speed Precision Lathe CMZ
รุ่น	T-500 X 1500
ปีที่ซื้อ	2539
ประเทศผู้ผลิต	สเปน

รายละเอียดทางเทคนิค

Capacity	Height of centers	:	240	mm.
	Swing over carriage		290	mm.
	Swing over bed		500	mm.
	Swing over gap		640	mm.
	Length of gap from nose end	:	220	mm.
	Distance between centres	:	1000,1500,2000.3000	mm.

Headstock	Hole diameter	62 mm.
	Spindle nose DIN 55022	Size 6
	Taper of Spindlebore	1,20 Ø 67 mm.
	Center taper	Morse 5
	Inside diameter of a front bearing	95 mm.
	Inside diameter of a central bearing	90 mm
Speed	Number of speeds	13
	Range of standard speeds	28 - 1700 r.p.m.

Feed and Threads (with metric Box)

	Lead screw diameter	40 mm.
	Lead screw thread	6 mm.
	Hexagonal feed bar	25 mm.
	48 Metric thread selection	0,25 to 14 mm.
	30 Whitworth thread selection	1½ to 100 h"
	48 Longitudinal feeds of	0,042 to 2,382
	48 Cross feeds of	0,021 to 1,191

Feed And Threads (with Whitworth Box)

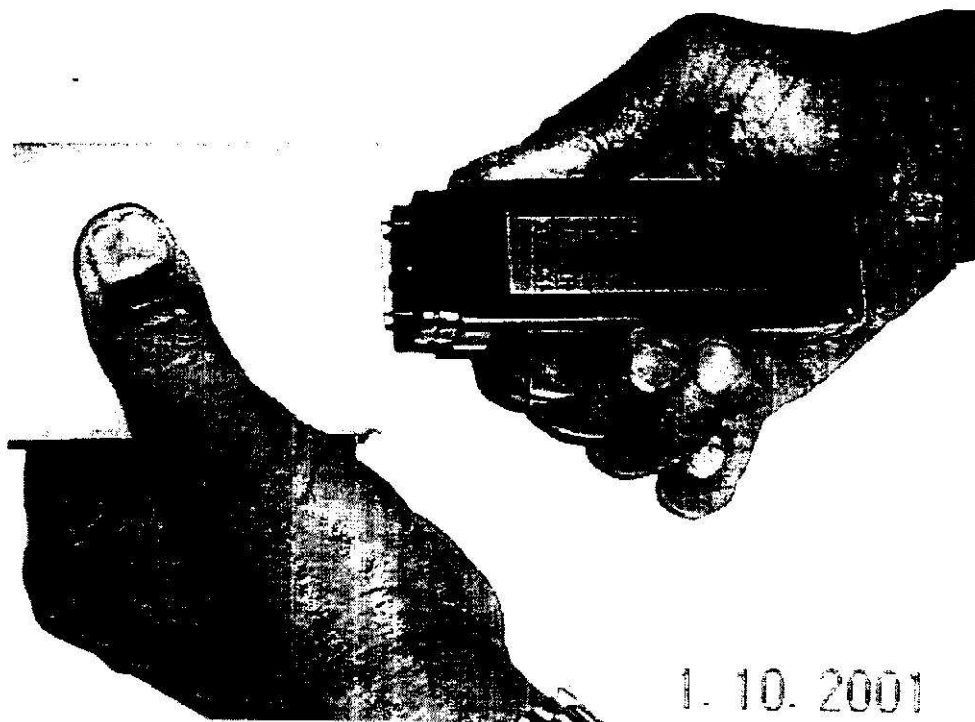
	Lead screw diameter	40 mm.
	Lead screw threads	4 h"
	Hexagonal feed bar	25 mm.
	48 selections	2 to 112 h"
	30 Metric thread selections	0,25 to 15 mm.
	48 Longitudinal feeds of	0,036 to 2,042
	48 Cross feeds of	0,018 to 1,021

Carriages	Width of longitudinal carriage	475 mm.
	Width of cross carriage	210 mm.
	Travel of cross carriage	295 mm.
	Travel of tool carriage	135 mm.
	Range of tool	20 X 20 mm.

Tailstock	Diameter of rod :	75 mm.
	Center taper :	Morse No. 5
	Maximum travel of rod :	162 mm.
	Length of guide :	300 mm.
Bed	Width :	370 mm.
	Height of center :	315 mm.
Weights	Approx. Weight of lathe 1000 mm. b/c :	2.260 Kg.
	Approx. Weight of lathe 1500 mm. b/c :	2.420 Kg.
	Approx. Weight of lathe 2000 mm. b/c :	2.760 Kg.
	Approx. Weight of lathe 3000 mm. b/c :	3.000 Kg.
Rests	Diameter of thread in the steady rest minimum/maximum :	16 to 160 mm.
	Diameter of thread in the follow rest minimum/maximum :	15 to 82 mm.

Main motor to 50 Hz.

Normal range	7.5 HP.
Theoretical speed	1500 r.p.m.



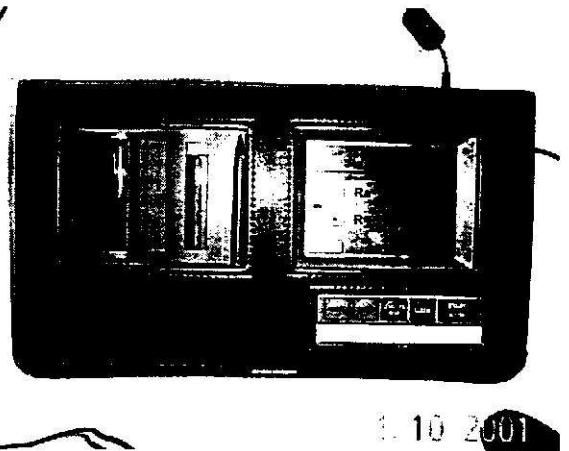
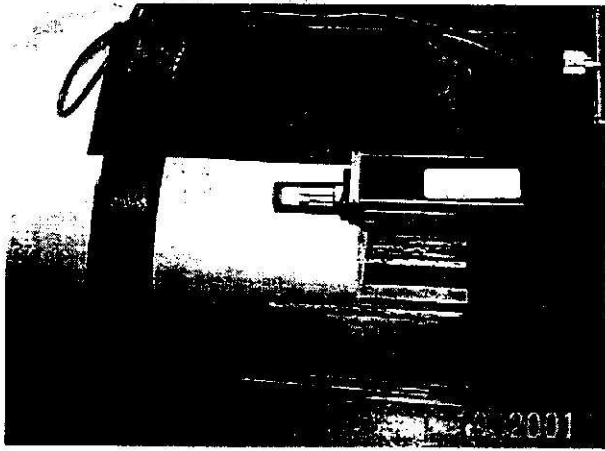
1. 10. 2001

ข้อมูลทั่วไป

ชื่อเครื่องจักร	เครื่องวัดความชื้น (moisture meter for wood and building material)
ยี่ห้อ/รุ่น	Testo 606
ปีที่ซื้อ	2544
ประเทศผู้ผลิต	เยอรมัน

รายละเอียดทางเทคนิค

Measuring principle	: Electrical resistance
Electrode length	: 8 mm.
Measuring range	: Wood 6-44%
Display accuracy	: Wood $\pm 1\%$
Battery	: 3 X Cr.2032 , replaceable
Housing material	: Impact - proof plastic housing
Ambient temp.	: 0-40 °C
Ambient moisture	: 0-85 %



ข้อมูลทั่วไป

ชื่อเครื่องจักร	เครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิว
ยี่ห้อ/รุ่น	Mitutoyo SJ - 301
ปีที่ซื้อ	2542
ประเทศผู้ผลิต	ญี่ปุ่น

รายละเอียดทางเทคนิค

1. ช่วงวัด 300 μm .
2. หัววัดชนิดหัวเพชร
3. ความเร็ววัด 0.25 - 0.50 mm/s
4. แบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้
5. ใช้ AC Adapter 12 V 3.5 A
6. พิมพ์ผลการวัดได้
7. ต่อใช้งานกับระบบคอมพิวเตอร์ได้
8. มีอุปกรณ์ประกอบคือ
 - 8.1 ชิ้นงานมาตรฐานขนาดความขรุขระ Ra 3.10 μm . 1 ชิ้น
 - 8.2 กระดาษพิมพ์ผล 10 ม้วน
 - 8.3 คู่มือการใช้งาน 1 เล่ม