



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

### การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรซีเอ็นซี ในงานหัตถกรรมไม้ยางพารา

โดย

รศ.ดร. พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และคณะ

พฤษภาคม 2549

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

### โครงการ

## การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรซีเอ็นซี ในงานหัตถกรรมไม้ยางพารา

### คณะผู้วิจัย

1. รศ. ดร. ชิต เหล่าวัฒนา
2. รศ.ดร. พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์
3. ดร. กุศล พร้อมมูล
4. อ.สุรพันธ์ สุวรรณบุญ

### สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และเยื่อ”

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปผู้บริหาร

### (Executive Summary)

นับตั้งแต่ ปี พ.ศ.2532 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง ได้ถูกนำมาพัฒนาให้มีความแข็งแรงและทนทานพอที่สามารถนำมาทำเครื่องเรือนได้ ทำให้ไม้ยางพารามีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะปี 2544 ที่ผ่านมา เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 55,757 ล้านบาท ปัญหาและอุปสรรคของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เกิดจากการแข่งขันค่อนข้างรุนแรงโดยในส่วนของตลาดล่างและระดับกลาง เช่น ตลาดในสหรัฐอเมริกาซึ่งเน้นราคาที่เหมาะสมผลกับสินค้า โดยมีประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย จีน และเวียดนาม เป็นคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญของไทย ซึ่งใช้กลยุทธ์การตัดราคา ส่วนตลาดระดับบน เช่น ประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกา จะเน้นคุณภาพมากกว่าราคา ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสขยายตัวและแข่งขันได้มากกว่า โดยเฉพาะตลาดใหม่ได้แก่สแกนดิเนเวีย ออสเตรเลีย และตะวันออกกลาง

การพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพสูงต้องมีการควบคุมการผลิตทุกขั้นตอน การรักษาคุณภาพของสินค้าให้สม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญ และจะเป็นหลักประกันคุณภาพในตัวสินค้า ปัจจุบันได้มีการนำเอาเครื่องจักรซีเอ็นซีเข้ามาใช้ในการผลิตสินค้าเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา เพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนมากขึ้น โดยที่ใช้เวลาสั้นลงจากเดิม และเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ แต่จากที่โรงงานแต่ละแห่งยังไม่สามารถเร่งปริมาณการผลิตของตนเองให้อยู่ในระดับที่ควรจะเป็น ซึ่งเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ในความเป็นจริงสามารถใช้ได้ถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเห็นว่ามีส่วนที่สูญเสียจากการใช้งานไม่คุ้มค่าของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นควรมุ่งพัฒนาเพื่อขยายอัตราการผลิต หรืออีกนัยหนึ่งคือหาวิธีการที่ทำให้สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีอย่างคุ้มค่าและเหมาะสม

ข้อได้เปรียบของการนำเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมาใช้งานอุตสาหกรรมเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา คือ ประการแรกสามารถโปรแกรมให้เครื่องจักรผลิตสินค้าได้หลายรูปแบบภายในระยะเวลาอันสั้น ประการที่สองเครื่องจักรกลสามารถผลิตงานที่ซ้ำได้ตลอด โดยที่มีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน อย่างไรก็ตามเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีข้อเสียเปรียบในเรื่องของราคา การบำรุงรักษา ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ราคาของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ ความแม่นยำ และความเที่ยงตรง แต่การลงทุนดังกล่าวถือว่าเป็นการลงทุนที่มาก จึงจำเป็นที่ต้องทราบถึงการใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องมือ

อย่างถูกต้องเพื่อให้คุ้มทุน และสร้างกำไรในการดำเนินการอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปไม้ยางพารา เช่น อัตราการป้อน ความเร็วการกัดของใบมีด และความลึกในการกัด ซึ่งในปัจจุบันเงื่อนไขเหล่านี้อาศัยความชำนาญของพนักงานเป็นหลัก เนื่องจากไม่มีตารางการผลิตสำหรับไม้ยางพาราที่ได้รับการศึกษาค้นคว้าตามหลัก วิชาการดังเช่นในงานโลหะ ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปไม้ยางพารา จึงจำเป็นต้องศึกษาวิจัย การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีในหัตถกรรมไม้ ยางพารา อย่างจริงจังเพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานวิจัยที่มี ผลประโยชน์ทางวิชาการและเชิงปฏิบัติ สามารถ นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

ในการกัดไม้ยางพาราเพื่อที่จะทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะเครื่องเรือน กระบวนการที่ สำคัญ และใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือ กระบวนการกัด โดยการใช้น้ำกัดที่เรียกกันว่า เราเตอร์ (Router) เพราะผิวที่ได้จากกระบวนการกัดดังกล่าว จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้า กำหนดเงื่อนไขของการกัดไม่ดีพอ ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาอันเปล่าประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ในการที่จะทำ ให้ผิวที่ผ่านการกัดนั้นไปทำการขัดตกแต่งผิวเพื่อให้ได้ผิวเรียบและสวยงาม ช้ำยังทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ด้วย ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลต่อราคาค่าต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์สูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น และในบาง กรณียังทำให้ชิ้นงานเสียไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการฉีกขาดที่ผิวทำให้เกิดรอยลึกเข้าไป ในเนื้อไม้หรือชิ้นงาน ส่งผลทำให้สูญเสียทรัพยากรอย่างไร้คุณค่า ซึ่งทรัพยากรไม้ยางพารานั้นวันมี ปริมาณน้อยลงไปทุกที ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์กระบวนการกัดเป็นหลัก โดยมี วัตถุประสงค์ คือ เพื่อหาเงื่อนไขในการแปรรูปไม้ยางพาราที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดดุลยภาพระหว่าง คุณภาพผิวของชิ้นงาน อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด และอัตราการผลิต รวมทั้งจัดสร้างตารางเกี่ยวกับ ค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของคุณภาพผิวชิ้นงานที่ทำจาก ไม้ยางพารา อัตราการผลิต และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดกับเงื่อนไขต่างๆ

ในงานวิจัยนี้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้แบ่งการทดลองไว้ทั้งหมด 209 ชุดการทดลอง โดย แบ่งเป็นการทดลองโดยใช้มีดกัดทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide: TC) ทั้งหมด 188 ชุดการทดลอง แยกเป็นคมตัดแบบเชื่อมติดและคมตัดแบบถอดเปลี่ยนได้ และ มีดกัดเพชรหลายผลึก (Polycrystal diamond: PCD) 9 ชุดการทดลอง และอิทธิพลของมุมตัดเฉือน และเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ชุดการทดลอง โดยจะทำการกัดไม้จริง (Solid wood) ที่ได้จากการนำไม้ท่อนมาต่อกันเป็นแผ่น (Finger joint) ในการ ทดลองข้างต้น นอกจากจะกำหนดพารามิเตอร์ในการกัด ซึ่งก็คือความเร็วรอบของใบมีดและอัตราการ ป้อนกัดแตกต่างกันแล้ว จะทำการตรวจสอบคุณภาพผิวไม้ ทั้งการกัดแบบขวางเส้นและขนานเส้นไม้

และทั้งในกรณีการคัดแบบตามทิศทางกรป้อนกัด (Downcut) และสวนทิศทางกรป้อนกัด (Upcut) และ จะทำการตรวจสอบการสึกหรอของใบมีดที่ได้จากการกัดทั้งการทดลองจริงและการหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อ เป็นการเปรียบเทียบ

ในการวิจัยได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก 3 หน่วยงาน คือ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) เป็นหน่วยงานหลัก และมีศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ร่วมสนับสนุนในรูปแบบ In cash โดยมีบริษัท เอสดีพี อินเตอร์เทรด จำกัด ร่วมให้การสนับสนุนในรูปแบบ In kind เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม 2544 ใช้ระยะเวลาในการวิจัยตลอดโครงการ 4 ปี 8 เดือน (เกินจากแผนงานเดิมที่กำหนดไว้ 18 เดือน เป็นเวลา 3 ปี 2 เดือน ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจาก ความเข้าใจในการแก้ไขปัญหาที่ไม่สมบูรณ์ใน เวลาที่กำหนด เพราะเป็นเครื่องรุ่นใหม่ และซอฟต์แวร์ควบคุมที่ผู้ผลิตปรับปรุงพัฒนาใหม่ ระหว่าง ตัวแทนจำหน่ายและผู้ผลิต ( อิตาลี ) ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องต่อการดำเนินงาน)

จากผลการดำเนินงานวิจัย ทำให้ได้ข้อมูลที่จะใช้กำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดไม้ ยางพาราด้วยใบมีดชนิดต่างๆ โดยสร้างเป็นตารางการกำหนดเงื่อนไขให้กับภาคอุตสาหกรรมสามารถ นำไปใช้ได้ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในการดำเนินงานวิจัยในส่วนของ การสึกหรอของใบมีด พบว่าการตรวจสอบการสึกหรอในห้องปฏิบัติการเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องทำการกัด ไม้เป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลจากผลการทดลองบางส่วน ร่วมกับข้อมูลที่ค้นคว้าเพิ่มเติม รวมทั้ง เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกัน เป็นข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตารางการกำหนดเงื่อนไขในการใช้ งานขึ้น นอกจากนั้น ผลประโยชน์ทางอ้อมที่ได้จากการทำงานวิจัยชิ้นนี้ คือ สามารถผลิตนักวิจัยระดับ ปริญญาโทจำนวน 1 คน และระดับปริญญาตรีอีกจำนวน 7 คน

ผลการวิจัยส่วนใหญ่ได้ถูกเผยแพร่ในรูปแบบของบทความวิจัยในประเทศจำนวน 3 เรื่อง และ บทความวิจัยในที่ประชุมวิชาการนานาชาติจำนวน 1 เรื่อง นอกจากนั้นได้เผยแพร่ในรูปแบบของการจัดอบรม จำนวน 2 ครั้ง

## **Executive Summary**

Thailand has long been exporting furniture made from rubber wood to a number of countries. Since 1992, rubber wood has been developed so that it can be used for making furniture. In 2001, Thailand had exported furniture, made from rubber wood, approximately 55,757 million Baths in value. There exists strong competition in the exporting especially to America. The competitors may include Malaysia, Indonesia, China, and Vietnam. On the other hand, exporting to such countries as Japan and some European countries is still open for Thai exporters to expand their business because products exported to these countries require high qualities with almost no limit of the price.

To improve the quality of the products, Computer Numerical Control machines (CNC machines) have been used for producing parts of furniture. This will provide the increase in productivity and the consistence in quality. However, most of furniture manufacturers have utilized their machines about 30 percentage. So, there should be researches targeting to increase machine utilization.

Advantages of using CNC machines in furniture manufacturing are that a number of different designs can be produced in a timely fashion and that the same part can be repeatedly produced with the same quality. Nevertheless, cost of a CNC machine and maintenance cost are very high. Optimal conditions for manufacturing furniture parts become necessary in order to optimize machines utilization. The three main conditions include federate, cutting speed, and depth of cut. Currently, these conditions are determined accordingly to operator expertise because the optimized conditions for rubber wood cutting are not well provided as in metal working.

In wood cutting for making furniture, the most extensively used process is milling process, so called “router” in wood machining. Machined surface is a key factor in determining finish product quality. This is because more extra time will be needed for hand finishing process if rougher surface is produced from the machining operation. This will lead to more production cost. In some cases, the parts may have to be scraped because there are tear that is so deep that the part cannot be reworked. The aim of this research is to investigate the optimized conditions in rubber wood cutting which lead to good surface finish, tool life, and production rate. In addition, table illustrated the recommended cutting conditions for each tool type will be provided.

In this research, experiments are divided into 209 sets, 188 sets for Tungsten Carbide (TC) cutting tools (both blazing and insert tools), 9 sets for Polycrystal Diamond (PCD) cutting tools, and 12 sets for effects of shear angle and tool diameter. Workpiece used in the experiments is made from solid wood by finger jointing small strips. Spindle speeds and federates are varied in order to examine machined surface. Furthermore, experiments are designed to vary cutting conditions as along grain, across grain, upcut, and downcut.

This research has been sponsored by three sources, TRF (a major source) and MTEC in terms of in-cash funding, and SDP Intertrade Co., Ltd. in terms of in-kind funding. The research has started since May 2001 and taken for a period of 4 years and 8 months. Reasons for being a delay of 3 years and 2 months are mainly because it is being not-entirely understanding of problem solving caused by the first-time used machine and the modified software by the manufacturer of the new machine.

Result of this research is data for determining optimal conditions that will be used for rubber wood machining with different types of cutting tools. Because lots of wood workpieces will be used in wear study, this research has investigated wear on cutting tools on some conditions. Also literature review on wear has done for supporting the research finding. In addition, one Master student and 7 undergraduate students have graduated from this research.

Three conference papers and one international conference paper have been published from this research. And two seminars, intended for furniture manufacturers, were held.

## การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรซีเอ็นซีในงานหัตถกรรมจากไม้ยางพารา

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการกัดไม้ยางพาราด้วยใบมีดชนิดเพชรหลายผลึกและชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติดและแบบถอดเปลี่ยนได้ ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วในการกัด อัตราการป้อนกัด ทิศทางการป้อนกัดเทียบกับทิศทางเสี้ยนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และมุมตัดเฉือนและเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด ผลการทดลองพบว่า การเกิดขุยส่วนใหญ่ของใบมีดเพชรหลายผลึกเกิดขึ้นในการกัดขวางเสี้ยนไม้ แต่การเกิดขุยส่วนใหญ่ของใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์เกิดขึ้นในการกัดขนานเสี้ยนไม้ และการเกิดขุยส่วนใหญ่จะเกิดในกรณีการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด การฉีกของไม้จะเกิดขึ้นง่ายกว่าเมื่อตัดแบบสวนทิศทางการป้อน แต่การฉีกขาดของเนื้อไม้จะลดลงเมื่อใช้ใบมีดที่มีมุมตัดเฉือน ส่วนการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดขึ้นมากในกรณีตัดขวางเสี้ยนไม้แบบตามทิศทางการป้อน แต่จะไม่พบการฉีกและการหลุดเมื่อใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึก ส่วนความเรียบผิวกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนหรือตามทิศทางการป้อนมีลักษณะไปในทางเดียวกันคือ เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงค่าความเรียบผิวที่ได้แย่ง และค่าความเรียบผิวจะแตกต่างกันชัดเจนระหว่างการกัดตามเสี้ยนไม้และกัดขนานเสี้ยนไม้ โดยที่การกัดขวางเสี้ยนไม้ให้ผิวชิ้นงานหยาบกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวจากการตัดโดยใช้ใบมีดชนิดต่างๆพบว่า ใบมีดแบบเพชรหลายผลึกจะให้ชิ้นงานที่มีความเรียบผิวดีที่สุด รองลงมาคือใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้ และแบบเชื่อมติดตามลำดับ และที่ความเร็วรอบในการกัดที่สูงจะใช้กระแสไฟฟ้าในการกัดที่ต่ำ การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดระหว่าง 18-22 มิลลิเมตร ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของคุณภาพผิวไม้และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นสามารถทำนายคุณภาพผิวไม้ที่ได้จากการกัดด้วยเงื่อนไขต่างๆ ได้ความแม่นยำในช่วงที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : การกัดไม้ยางพารา/มีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ / มีดเพชรหลายผลึก/เครื่องซีเอ็นซี / คุณภาพผิวชิ้นงาน

# **Investigation of Optimum Working Conditions in Using CNC Machine to Produce Rubber-Wood Furniture**

## **Abstract**

The objective of this research is to study parameters that affect the efficiencies of the CNC routing process for manufacturing rubber-wood furniture using PCD (Polycrystal Diamond) and TC (Tungsten Carbide) cutting tools. There are two types of TC Cutting tools used, including a blazing type and a turnover type. In this research, the cutting conditions that affect surface roughness, flake, wood tearing and split, and power consumption were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, cutting directions (relative to wood-grain orientations), and inclination angle and diameter of cutting tools. The results show that, if using PCD tools, wood flake occurs when cutting across wood grain. But, if using TC tools, the flake normally occurs when cutting along grain. Down cutting was likely to produce flake than using up cutting. Compared to down cutting, up cutting has more tendency to produce wood tearing. However, this will diminish if cutters having inclination angle were used. Wood split will occur more frequently when cutting across grain using down cutting. However, wood tearing and splitting were not found if PCD tools were used. The results of roughness measurement have shown that the higher the feed rate used, the higher the surface roughness (Ra) will be detected on wood surface, regardless of cutting directions (up cutting or down cutting). Cutting along grain will produce much better surface finish than cutting across grain. Compared among three types of the tools used, it is obvious that PCD tools have produced the best surface finish, following by turnover-TC tools and blazing-TC tools. When power consumption is measured in terms of electric current, the result has shown that cutting at lower speed will consume more power than higher speed. As tool diameters have changed from 18 mm to 22 mm, the changes in surface quality and power consumption are not apparent. In addition, the neural network model, developed from the experimental results in order to predict the quality of the wood cutting, can predict the result within an acceptable range of errors.

**Keywords:** Cutting Rubber-Wood / Tungsten Carbide Cutting Tool / Polycrystal Diamond Cutting Tool / Surface Quality

## สารบัญ

|                                                | หน้า       |
|------------------------------------------------|------------|
| บทสรุปผู้บริหาร                                | i          |
| Executive summary (English)                    | iv         |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                | vi         |
| Abstract (English)                             | vii        |
| สารบัญ                                         | viii       |
| <br>                                           |            |
| <b>บทที่</b>                                   |            |
| <b>1. บทนำ</b>                                 | <b>1-1</b> |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ                          | 1-1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์                               | 1-3        |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย                             | 1-3        |
| <br>                                           |            |
| <b>2. ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> | <b>2-1</b> |
| 2.1 สมบัติของเนื้อไม้                          | 2-1        |
| 2.2 พื้นฐานงานระบบซีเอ็นซี                     | 2-5        |
| 2.3 วัสดุแข็งมากสำหรับทำไบมิด                  | 2-8        |
| 2.4 การวัดความเรียบผิว                         | 2-10       |
| 2.5 ทฤษฎีการตัดเนื้อไม้                        | 2-12       |
| 2.6 ระบบโครงข่ายประสาทเทียม                    | 2-20       |
| 2.7 การสึกหรอของไบมิด                          | 2-23       |
| 2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง              | 2-28       |
| <br>                                           |            |
| <b>3. การดำเนินการวิจัย</b>                    | <b>3-1</b> |
| 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา                   | 3-2        |
| 3.2 ลักษณะการกัดไม้                            | 3-5        |

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผล                                               | 3-6        |
| 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย                                                       | 3-6        |
| 3.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคุณภาพผิว                                  | 3-9        |
| <b>4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล</b>                                             | <b>4-1</b> |
| 4.1 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึก                                         | 4-1        |
| 4.2 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด                            | 4-7        |
| 4.2.1 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดตรง                                                     | 4-7        |
| 4.2.2 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดรูปร่าง                                                 | 4-13       |
| 4.3 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้                        | 4-20       |
| 4.3.1 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดตรง                                                     | 4-20       |
| 4.3.2 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดรูปร่าง                                                 | 4-26       |
| 4.4 อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือน                            | 4-32       |
| 4.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคุณภาพผิวของไม้ที่ตัดด้วยใบมีดแบบเชื่อมติด | 4-38       |
| 4.6 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดกัด                                                  | 4-39       |
| <b>5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>                                              | <b>5-1</b> |
| 5.1 สรุปผลงานวิจัย                                                                | 5-1        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                                                    | 5-5        |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>                                                              | <b>อ-1</b> |
| <b>ภาคผนวก</b>                                                                    |            |
| ก ความเสียหายของไม้ที่เกิดขึ้น                                                    | ก-1        |
| ข โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม                                                      | ข-1        |
| ค การเผยแพร่และถ่ายทอดข้อมูล                                                      | ค-1        |

## สารบัญภาพ

|                                                                                                                                                           | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไม้                                                                                                                               | 2-2  |
| รูปที่ 2.2 การทำไม้อัด                                                                                                                                    | 2-4  |
| รูปที่ 2.3 แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง                                                                                                                 | 2-4  |
| รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความทนต่อการสึกหรอของมิดและความแข็งของวัสดุ                                                                          | 2-9  |
| รูปที่ 2.5 รูปร่างความเรียบผิว                                                                                                                            | 2-11 |
| รูปที่ 2.6 รูปทรงเรขาคณิตของมิดกัด                                                                                                                        | 2-13 |
| รูปที่ 2.7 มุมมิดมาตรฐานทั่วไปที่นำมาตัดเฉือนเนื้อไม้                                                                                                     | 2-14 |
| รูปที่ 2.8 เมื่อมุมหน้ามิดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกเป็นแนวจนกระทั่งเนื้อไม้เกิดการแตกหักเหนือคมตัด                                                        | 2-14 |
| รูปที่ 2.9 เมื่อมุมคมมิด มีค่าพอดีจะให้ผิวงานที่มีคุณภาพดี และลักษณะเศษไม้ที่เกิดขึ้นจะมีความต่อเนื่อง                                                    | 2-15 |
| รูปที่ 2.10 เมื่อมุมคมมิดมีค่ามากเกินไป ลักษณะผิวงานที่เกิดจะมีลักษณะเป็นขุย                                                                              | 2-15 |
| รูปที่ 2.11 การกัดไม้แบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut)                                                                                                       | 2-16 |
| รูปที่ 2.12 การกัดไม้แบบกัดตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut)                                                                                                  | 2-16 |
| รูปที่ 2.13 เศษไม้ที่เกิดขึ้นจากรากัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนที่ระยะการกินลึก $\frac{1}{2}$ นิ้ว (A และ C) และ $\frac{1}{4}$ นิ้ว (B และ D) | 2-17 |
| รูปที่ 2.14 การกัดไม้ตามทิศทางเส้นไม้                                                                                                                     | 2-17 |
| รูปที่ 2.15 การกัดไม้ขนานเส้นไม้                                                                                                                          | 2-18 |
| รูปที่ 2.16 การกัดไม้ขวางเส้นไม้                                                                                                                          | 2-18 |
| รูปที่ 2.17 การกัดไม้สวนเส้นไม้                                                                                                                           | 2-18 |
| รูปที่ 2.18 การกัดไม้ตามรอยต่อไม้                                                                                                                         | 2-18 |
| รูปที่ 2.19 แสดงการตัดเฉือนไม้ของใบมิดกัด                                                                                                                 | 2-19 |
| รูปที่ 2.20 ผลกระทบของมุมตัดเฉือนต่อแรงในการกัดชิ้นงาน                                                                                                    | 2-20 |
| รูปที่ 2.21 เซลล์ประสาท (Neuron)                                                                                                                          | 2-21 |
| รูปที่ 2.22 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม                                                                                                                   | 2-22 |

|             |                                                                                                          |      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.23 | แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model)                                                            | 2-23 |
| รูปที่ 2.24 | ชนิดการลืกรอบนมีดคมดัด                                                                                   | 2-25 |
| รูปที่ 2.25 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการพัฒนาของการลืกรอด้านข้าง<br>กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด                   | 2-27 |
| รูปที่ 2.26 | การลืกรอบนผิวใบมีดด้านข้าง                                                                               | 2-28 |
| รูปที่ 3.1  | แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย                                                                          | 3-1  |
| รูปที่ 3.2  | ทิศทางการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน                                                                          | 3-5  |
| รูปที่ 3.3  | ทิศทางการกัดแบบตามทิศทางการป้อน                                                                          | 3-5  |
| รูปที่ 3.4  | เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง                                                                    | 3-7  |
| รูปที่ 3.5  | ไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลอง                                                                               | 3-7  |
| รูปที่ 3.6  | แสดงใบมีดทั้งสเดนคาร์ไบด์ที่ใช้ทดลอง                                                                     | 3-8  |
| รูปที่ 3.7  | เครื่องวัดความเรียบผิวเทอร์-ฮอปสัน                                                                       | 3-8  |
| รูปที่ 3.8  | เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบแคลมป์ออนมิเตอร์                                                            | 3-9  |
| รูปที่ 3.9  | แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกหัด                                                             | 3-10 |
| รูปที่ 3.10 | ข้อมูลในชุดฝึกหัดของโครงข่ายประสาทเทียม                                                                  | 3-11 |
| รูปที่ 4.1  | ลักษณะการเกิดขุขไม้ทั่วไปเปรียบเทียบกับขุขไม้ที่เกิดที่ขอบชิ้นงาน                                        | 4-2  |
| รูปที่ 4.2  | การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด                                                                             | 4-2  |
| รูปที่ 4.3  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขนานเลี่ยนไม้<br>แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)   | 4-3  |
| รูปที่ 4.4  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขนานเลี่ยนไม้<br>แบบตามทิศทางการป้อน (Downcut) | 4-4  |
| รูปที่ 4.5  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขวางเลี่ยนไม้<br>แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)   | 4-4  |
| รูปที่ 4.6  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขวางเลี่ยนไม้<br>แบบตามทิศทางการป้อน (Downcut) | 4-5  |
| รูปที่ 4.7  | การกัดกรณีขวางเลี่ยนไม้                                                                                  | 4-5  |
| รูปที่ 4.8  | ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)                                               | 4-6  |
| รูปที่ 4.9  | ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)                                             | 4-6  |

|             |                                                                                      |      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 4.10 | การกักตุนตามเส้นไม้                                                                  | 4-8  |
| รูปที่ 4.11 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>8,000 รอบต่อนาที  | 4-9  |
| รูปที่ 4.12 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>10,000 รอบต่อนาที | 4-9  |
| รูปที่ 4.13 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>12,000 รอบต่อนาที | 4-10 |
| รูปที่ 4.14 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>14,000 รอบต่อนาที | 4-10 |
| รูปที่ 4.15 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>16,000 รอบต่อนาที | 4-11 |
| รูปที่ 4.16 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>18,000 รอบต่อนาที | 4-11 |
| รูปที่ 4.17 | แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน                               | 4-12 |
| รูปที่ 4.18 | แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน                               | 4-13 |
| รูปที่ 4.19 | การกัดชิ้นงานโดยใช้ใบมีดคมตัดแบบรูปร่าง                                              | 4-14 |
| รูปที่ 4.20 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>8,000 รอบต่อนาที  | 4-15 |
| รูปที่ 4.21 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>10,000 รอบต่อนาที | 4-16 |
| รูปที่ 4.22 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>12,000 รอบต่อนาที | 4-16 |
| รูปที่ 4.23 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>14,000 รอบต่อนาที | 4-17 |
| รูปที่ 4.24 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>16,000 รอบต่อนาที | 4-17 |
| รูปที่ 4.25 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ<br>18,000 รอบต่อนาที | 4-18 |



|                                                                                                                                                                     |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| รูปที่ 4.42 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน                                                                                                      | 4-31             |
| รูปที่ 4.43 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน                                                                                                      | 4-31             |
| รูปที่ 4.44 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย<br>ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขนานเส้นเอ็นไม้แบบสวนทิศทางการป้อน | กำหนดค่า<br>4-34 |
| รูปที่ 4.45 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย<br>ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขนานเส้นเอ็นไม้แบบตามทิศทางการป้อน | กำหนดค่า<br>4-34 |
| รูปที่ 4.46 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย<br>ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขวางเส้นเอ็นไม้แบบสวนทิศทางการป้อน | กำหนดค่า<br>4-35 |
| รูปที่ 4.47 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย<br>ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขวางเส้นเอ็นไม้แบบตามทิศทางการป้อน | กำหนดค่า<br>4-35 |
| รูปที่ 4.48 อิทธิพลเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิว<br>โดยใช้ใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน                                                          | 4-36             |
| รูปที่ 4.49 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิว<br>โดยใช้ใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน                                                   | 4-36             |
| รูปที่ 4.50 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน                                                                             | 4-37             |
| รูปที่ 4.51 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน                                                                          | 4-37             |
| รูปที่ 4.52 แสดงทิศทางการมองเห็นการสึกหรอด้านข้างของใบมีด                                                                                                           | 4-40             |
| รูปที่ 4.53 ภาพถ่ายเพื่อแสดงการสึกหรอของใบมีดตัดด้านที่ 1                                                                                                           | 4-41             |
| รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายเพื่อแสดงการสึกหรอของใบมีดตัด ด้านที่ 2                                                                                                          | 4-42             |
| รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและระยะทางการกัดไม้                                                                                              | 4-43             |
| รูปที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับระยะทางการกัด                                                                                                 | 4-43             |
| รูปที่ ก.1 การฉีกขาดของเนื้อไม้                                                                                                                                     | ก-1              |
| รูปที่ ก.2 การหลุดของเนื้อไม้                                                                                                                                       | ก-1              |
| รูปที่ ก.3 รอยไหม้ของเนื้อไม้                                                                                                                                       | ก-2              |
| รูปที่ ก.4 ไม้มีขุยเกิดขึ้น                                                                                                                                         | ก-2              |
| รูปที่ ก.5 มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย (1-15 เปอร์เซ็นต์)                                                                                                                 | ก-3              |
| รูปที่ ก.6 มีขุยเกิดปานกลาง (16-30 เปอร์เซ็นต์)                                                                                                                     | ก-3              |
| รูปที่ ก.7 มีขุยเกิดมาก (30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป)                                                                                                                     | ก-4              |
| รูปที่ ก.8 ลักษณะขุยที่เกิดขึ้นบนขอบชิ้นงาน                                                                                                                         | ก-4              |

|             |                                                                 |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ ก.9  | การกั้ดไม้แบบขนานเสี้ยนไม้                                      | ก-5 |
| รูปที่ ก.10 | การกั้ดไม้แบบขวางเสี้ยนไม้                                      | ก-5 |
| รูปที่ ข.1  | หน้าต่างโปรแกรม แม็ทแล็บ (Matlab) ในการเขียนโครงข่ายประสาทเทียม | ข-1 |

## สารบัญตาราง

|                                                                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.1 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานกรณีใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก                                                   | 4-1  |
| ตารางที่ 4.2 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์<br>คมตัดตรงแบบเชื่อมติด         | 4-7  |
| ตารางที่ 4.3 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์<br>คมตัดรูปร่างแบบเชื่อมติด     | 4-14 |
| ตารางที่ 4.4 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์<br>คมตัดตรงแบบถอดเปลี่ยนได้     | 4-21 |
| ตารางที่ 4.5 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์<br>คมตัดรูปร่างแบบถอดเปลี่ยนได้ | 4-26 |
| ตารางที่ 4.6 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานของใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน                                                | 4-32 |
| ตารางที่ 4.7 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานของใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน (5 องศา)                                          | 4-33 |
| ตารางที่ 4.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม<br>เทียบกับผลการทดลอง                             | 4-39 |
| ตารางที่ 5.1 การกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสมของใบมีดแบบเพชรหลายผลึก<br>และใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์               | 5-3  |
| ตารางที่ ข.1 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้                                                    | ข-7  |
| ตารางที่ ข.2 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้                                                    | ข-8  |
| ตารางที่ ข.3 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้                                                          | ข-9  |
| ตารางที่ ข.4 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้                                                          | ข-10 |
| ตารางที่ ข.5 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้                                                      | ข-11 |
| ตารางที่ ข.6 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้                                                      | ข-12 |
| ตารางที่ ข.7 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้                                                    | ข-13 |
| ตารางที่ ข.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้                                                    | ข-14 |
| ตารางที่ ข.9 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้                                                          | ข-15 |
| ตารางที่ ข.10 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้                                                         | ข-16 |

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ ข.11 ความผิดพลาดจากการทำนายผลลึกและหลุดของการกัดไม้ | ข-17 |
| ตารางที่ ข.12 ความผิดพลาดจากการทำนายผลลึกและหลุดของการกัดไม้ | ข-18 |

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

นับตั้งแต่ ปี พ.ศ.2532 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง ได้ถูกนำมาพัฒนาให้มีความแข็งแรงพอที่สามารถนำมาทำเครื่องเรือนได้ ทำให้ไม้ยางพารามีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะปี 2544 ที่ผ่านมามีเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 55,757 ล้านบาท [10]

ไม้ยางพาราที่นำมาใช้ในการแปรรูปควรมีอายุ 20 ปีขึ้นไป แต่ในปัจจุบันพบว่ามีการนำไม้ยางพาราที่อายุเพียง 15-16 ปี มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ไม้ยางพารานี้มีมูลค่าต่ำเนื่องจากมีแรงเค้น (Growth Stress) ตกค้างสูง เมื่อนำมาแปรรูปจะเกิดการโค้งงอหรือรอยแตกได้ง่าย โดยปกติไม้ยางพาราที่นำมาใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 6 นิ้ว โดยเริ่มต้นจะถูกเข้ามาในโรงเลื่อยแปรรูป ผ่านโรงอาบน้ำยาเพื่อป้องกัน และทำลายเชื้อรา แล้วอบเพื่อลดความชื้นให้อยู่ในระดับ 12% สำหรับไม้ที่ใช้ในประเทศ และ 8% สำหรับส่งออก จากนั้นตอนดังกล่าวจะได้ไม้ท่อนขนาดความหนา 1/2 – 1 3/4 นิ้ว หน้ากว้าง 2-4 นิ้ว ยาว 1 เมตร กับ 1.3 เมตร และพบว่าท่อนไม้ปริมาณ 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) หรือเทียบเท่า 1.3 ลูกบาศก์เมตร ให้ไม้แปรรูปเกรด A ร้อยละ 17.6% เกรด B ร้อยละ 27% และที่เหลือเป็นเกรด C [3]

ปัญหาและอุปสรรคของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เกิดจากการแข่งขันค่อนข้างรุนแรงในตลาดล่างและระดับกลาง เช่นตลาดในสหรัฐอเมริกาซึ่งเน้นราคาที่เหมาะสมผลกับสินค้า โดยมีประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย จีน และเวียดนาม เป็นคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญ ซึ่งใช้กลยุทธ์การตัดราคา ส่วนตลาดระดับบน เช่นประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกา จะเน้นคุณภาพมากกว่าราคา ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสขยายตัวและแข่งขันได้มากกว่า โดยเฉพาะตลาดใหม่ ได้แก่กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย ออสเตรเลีย และตะวันออกกลาง

การพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพสูงต้องมีการควบคุมการผลิตทุกขั้นตอน ตั้งแต่คุณภาพของวัตถุดิบ การทดสอบคุณภาพสินค้าระหว่างการผลิตจนกระทั่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ ทุกขั้นตอนต้องพิถีพิถัน โดยเฉพาะสินค้าที่มีชื่อเสียงที่ได้รับความนิยมสูง ดังนั้นการรักษาชื่อเสียงจึงจำเป็นอย่างยิ่งซึ่งสามารถทำได้โดยรักษาคุณภาพให้สม่ำเสมอ การรักษาสินค้าให้มีคุณภาพสูงสม่ำเสมอ ต้องมีมาตรฐานการผลิตที่เขียนบ่งชี้ได้อย่างชัดเจน และต้องนำไปปฏิบัติอย่างจริงจังเพื่อเป็นหลักประกันคุณภาพในตัวสินค้า

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเครื่องจักรกลซีเอ็นซีเข้ามาใช้ในการผลิตสินค้าเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา เพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนมากขึ้น โดยที่ใช้เวลาสั้นลงจากเดิม เพราะเนื่องจากจุดที่น่าสนใจของกระบวนการผลิตเครื่องเรือนจากไม้ยางพารานั้น มีราคาต้นทุนต่อชิ้นที่ต่ำเมื่อเทียบกับไม้จริง (solid wood) ชนิดอื่น เช่น ไม้สัก ไม้เบญจพรรณ เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถทำมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น นั้นหมายถึง กำไรที่เพิ่มขึ้นอย่างมากด้วย แต่จากที่โรงงานแต่ละแห่งยังไม่สามารถที่เร่งปริมาณการผลิตของตนเองให้อยู่ในระดับที่ควรจะเป็น ซึ่งเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ [3] ในขณะที่ในความเป็นจริงของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถใช้งานได้ถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีสูญเสียไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งโรงงานต้องปฏิเสธรายการสั่งทำเครื่องเรือนที่คิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท เพราะไม่สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของผู้ซื้อ ดังนั้นควรมุ่งพัฒนาเพื่อขยายอัตราการผลิต หรืออีกนัยหนึ่งคือหาวิธีการที่ทำให้สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีอย่างคุ้มค่า และเหมาะสม

ข้อได้เปรียบของการนำเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมาใช้งานอุตสาหกรรมเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา คือ ประการแรกสามารถตั้งโปรแกรมให้เครื่องจักรผลิตสินค้าได้หลายรูปแบบภายในระยะเวลาอันสั้น ประการที่สองเครื่องจักรกลสามารถผลิตงานที่ซ้ำได้ตลอด โดยที่มีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน อย่างไรก็ตามเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีข้อเสียเปรียบในเรื่องของราคา การบำรุงรักษาซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ราคาของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ ความแม่นยำและความเที่ยงตรง แต่การลงทุนดังกล่าวถือว่าเป็นการลงทุนที่สูงมาก จึงจำเป็นต้องทราบถึงการใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างถูกต้องเพื่อให้คุ้มค่า และสร้างกำไรในการดำเนินการอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปไม้ยางพารา เช่น อัตราการป้อน ความเร็วการกัดของใบมีด และความลึกในการกัด ซึ่งในปัจจุบันเงื่อนไขเหล่านี้มีความชำนาญของพนักงานเป็นหลัก เนื่องจากไม่มีตารางการผลิตสำหรับไม้ยางพาราที่ได้รับการศึกษาค้นคว้าตามหลักวิชาการดังเช่นในงานโลหะ ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปไม้ยางพารา จึงจำเป็นต้องที่จะต้องศึกษาวิจัย การหาตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีในหัตถกรรมไม้ยางพาราอย่างจริงจัง เพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานวิจัยที่มีผลประโยชน์ทางวิชาการและเชิงปฏิบัติ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

ในการกัดไม้ยางพาราเพื่อที่จะทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะเครื่องเรือน กระบวนการที่สำคัญ และใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือ กระบวนการกัด โดยการใช้มีดกัดที่เรียกกันว่า เราเตอร์ (Router) ผิวที่ได้จากกระบวนการกัดดังกล่าว จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้า

กำหนดเงื่อนไขของการกัดไม่ดีพอ จะทำให้สูญเสียเวลาอันเปล่าประโยชน์เพิ่มมากขึ้นในการที่จะทำ  
ให้ผิวที่ผ่านการกัดนั้นไปทำการขัดตกแต่งผิวเพื่อให้ได้ผิวเรียบและสวยงาม ซึ่งยังทำให้ค่าใช้จ่าย  
เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อราคาค่าต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์สูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น  
และในบางกรณียังทำให้ชิ้นงานเสียไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการฉีกขาดที่ผิวทำให้เกิด  
รอยลึกเข้าไปในเนื้อไม้หรือชิ้นงาน ส่งผลทำให้สูญเสียทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า ซึ่งทรัพยากรไม้  
ยางพารานับวันมีปริมาณน้อยลงไปทุกที ดังนั้นในงานวิจัยชุดนี้จะทำการวิเคราะห์กระบวนการกัดเป็น  
หลัก ซึ่งจะศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการกัดไม้ยางพารา ด้วยใบมีด  
ชนิดเพชรหลายผลึกและชนิดทังสเตนคาร์ไบด์ ทั้งแบบเชื่อมติดและแบบถอดเปลี่ยนได้ ในการผลิต  
เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วในการกัด  
อัตราการป้อนกัด ทิศทางการป้อนกัดเทียบกับทิศทางการเคลื่อนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และมุมตัด  
เฉือนและเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาเงื่อนไขในการแปรรูปไม้ยางพาราที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดดุลยภาพระหว่าง คุณภาพผิวของ  
ชิ้นงาน อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด และอัตราการผลิต
2. เพื่อจัดสร้างตารางเกี่ยวกับค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ที่บ่งบอกถึงความสัม  
พันธ์ของคุณภาพผิวชิ้นงานที่ทำจากไม้ยางพารา อัตราการผลิต และอายุการใช้งานของเครื่องมือ  
ตัดกับเงื่อนไขต่างๆ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองไว้ทั้งหมด 189 ชุดการทดลอง (ไม่รวมการทดลองเรื่อง  
การศึกษาการสึกหรอ) โดยแบ่งเป็นการทดลองโดยใช้มีดกัดทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide:  
TC) ทั้งหมด 180 ชุดการทดลอง และ มีดกัดเพชรหลายผลึก (Polycrystal Diamond: PCD) 9 ชุดการ  
ทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 1.3.1 ลักษณะของการกัด

- กัดขนานเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Downcut)
- กัดขนานเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Upcut)
- กัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Across Grain, Downcut)
- กัดขวางเส้นไม้ และทิศทางการสวนการป้อนกัด (Across Grain, Upcut)

### 1.3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

#### 1.3.2.1 กรณีใบมีดกัดชนิดเพชรหลายผลึก (PCD)

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 15,000 18,000 และ 21,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 8 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร และระยะการกินลึก 10 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

#### 1.3.2.2 กรณีใบมีดกัดชนิดทั้งเสตนคาร์ไบด์ (TC) แบบเชื่อมติด

##### ก) คมตัดแบบตรง (Straight)

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

##### ข) คมตัดแบบรูปร่าง (Profile)

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

#### 1.3.2.3 มุมตัดเฉือน (Inclination Angle) และ เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter of Tools: D)

- ศึกษากรณีใช้ใบมีดมีมุมตัดเฉือน และไม่มีมุมตัดเฉือน
- ศึกษากรณีเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 22 และ 26 มิลลิเมตร
- โดยกำหนด ความเร็วตัด 1020 เมตรต่อนาที (Cutting Speed) และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

#### 1.3.2.4 กรณีใบมีดกัดชนิดทั้งเสตนคาร์ไบด์ แบบถอดเปลี่ยนได้

##### ก) คมตัดแบบตรง

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

ข) คมตัดแบบรูปร่าง

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 13,100 14,000 และ 14,700 รอบต่อนาที ที่ อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 22 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกิน ลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

1.3.2.5 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดตัด

- ศึกษาระยะการตัด 200, 400, 700 และ 1000 เมตร (แล้วจะนำไปวัดขนาดการสึกหรอ ด้านข้างของคมตัด วัดความเรียบผิวที่เป็นผลมาจากการสึกหรอของใบมีด และวัดกระแสไฟฟ้าขณะ ทำการตัด
- โดยกำหนด อัตราการป้อนตัดเท่ากับ 9 เมตรต่อนาที และความเร็วรอบเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที ในการตัดโดยใช้ใบมีดคมตัดตรงแบบเชื่อมติด และทำการตัดตัดตามทิศทางการป้อน

## บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สมบัติของเนื้อไม้ [2]

คุณสมบัติของไม้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการแปรรูปไม้ไม่ว่าจะเป็นแรงที่ใช้ในการกัดไม้ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ การสึกหรอของใบมีด ความเรียบผิวของไม้หลังการแปรรูป และอื่นๆ แต่ไม้มีคุณสมบัติที่ซับซ้อนเนื่องจากการเจริญเติบโตของไม้เป็นไปตามสภาวะอากาศ สภาพภูมิประเทศ และสภาพดิน ที่ไม้ชนิดนั้นเจริญเติบโตมา ชนิดของไม้ก็ทำให้ไม้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ดังนั้นสมบัติของเนื้อไม้สามารถแยกได้เป็น

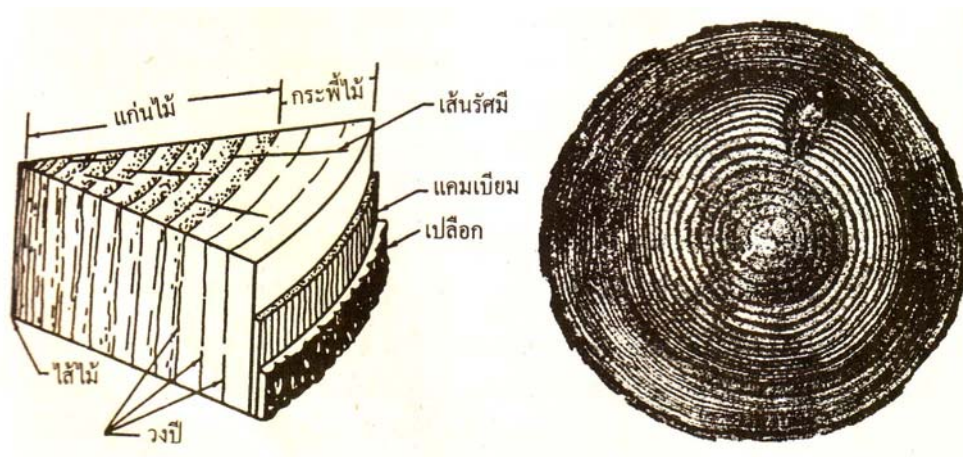
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ความถ่วงจำเพาะของไม้สูง ทำให้พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปมากกว่าไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ
- ความชื้นในไม้ (Moisture content) ไม้ที่มีความชื้นสูงจะมีความแข็งแรงต่ำกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำ โดยผลจากแรงดันของน้ำในไม้ ทำให้แรงในการกัดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ และส่งผลต่อคุณภาพผิวที่ได้หลังการกัด
- อายุ เนื้อไม้อายุมาก จะมีความแข็งแรงมากกว่าไม้อายุน้อย
- สภาพการเจริญเติบโต เนื้อไม้ที่มีการเจริญเติบโตเร็วจะแข็งแรงกว่าเนื้อไม้ที่มีการเจริญเติบโตช้า
- ตำแหน่งเนื้อไม้ ส่วนโคนลำต้นมีความแข็งแรงสูง เนื้อไม้บริเวณตาไม้มีรูปแบบของเส้นไม้ไม่แน่นอน

#### 2.1.1 ผลกระทบของเนื้อไม้ที่มีต่อใบมีดกัด

เนื้อไม้มีความซับซ้อนซึ่งมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอน น้ำ และต่อลำเลียงอาหาร ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้เป็นส่วนที่นำสารอาหารจากดินเข้าสู่เนื้อเยื่อของต้นไม้ และถูกส่งผ่านไปยังเซลล์ ซึ่งความแตกต่างของการดูดซับสารอาหารของไม้ที่ต่างชนิดกันก็จะต่างกันออกไป ทำให้สมบัติทางกายภาพของไม้แต่ละชนิดต่างกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ยังส่งผลต่อการสึกหรอของใบมีดกัดที่แตกต่างกันออกไปในของไม้แต่ละชนิด

#### 2.1.2 โครงสร้างไม้ [15]

การศึกษาเรื่องการกัดไม้จำเป็นต้องรู้โครงสร้างและสภาพการเจริญเติบโตของไม้ เพื่อให้สามารถเลือกสภาวะการกัดไม้ได้อย่างเหมาะสม ต้นไม้ต้นหนึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไม้ [15]

**2.1.2.1 ใส้ไม้ (Pith)** ได้แก่ ส่วนที่เป็นศูนย์กลางลำต้น เกิดจากหน่อแขนงหรือลำต้นอ่อน เป็นระยะที่ต้นไม้เจริญเติบโตในระยะแรกๆ เมื่อเติบโตขึ้น เนื้อไม้ส่วนที่เกิดขึ้นภายหลังได้ห่อหุ้มทำให้ส่วนนี้อยู่ภายในลำต้น

**2.1.2.2 แก่นไม้ (Heartwood)** เป็นเนื้อเยื่อซึ่งเกิดจากกลุ่มเซลล์ต่างๆ เป็นส่วนที่อยู่ถัดออกมาจากใส้ไม้ เป็นส่วนที่เกิดจากกลุ่มเซลล์ที่ตายแล้ว (Prosenchyma) หลังจากกลุ่มเซลล์เจริญเติบโตเต็มที่

**2.1.2.3 กระจังไม้ (Sapwood)** เป็นส่วนที่อยู่ถัดมาจากแก่นไม้ กระจังไม้จะกลายเป็นแก่นไม้หรือเนื้อไม้เมื่อกลุ่มเซลล์ที่อยู่ในส่วนที่เป็นกระจังนี้ตายลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการเจริญเติบโตของไม้แต่ละต้น หรือแต่ละชนิดของไม้

**2.1.2.4 เปลือกไม้ (Bark)** เป็นส่วนที่อยู่ภายนอกลำต้นหุ้มส่วนต่างๆ ภายในลำต้น-กิ่งไม้ และเป็นส่วนที่ทำให้ต้นไม้เจริญเติบโตอยู่ได้ เป็นส่วนหุ้มท่อเซลล์ที่เรียกว่า โฟลเอ็ม (Phloem) ซึ่งเป็นท่อส่งอาหารไปเลี้ยงต้นไม้ ซึ่งอยู่ด้านในเปลือกไม้

**2.1.2.5 วงเติบโตหรือวงรอบปี (Growth Ring)** แสดงถึงการเจริญเติบโตของต้นไม้ ซึ่งลักษณะของเนื้อไม้แตกต่างกันในแต่ละฤดู ในฤดูร้อนความแข็งของเนื้อไม้มีมากกว่าในฤดูฝน ซึ่งความแข็งในส่วนนี้จะมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปตกแต่งและคุณภาพผิวไม้ที่ได้หลังการแปรรูป

**2.1.2.6** ท่อลำเลียงอาหาร (Vessel) มีลักษณะเป็นท่อส่งอาหารขนาดเล็กในบริเวณรอบนอกของเนื้อไม้ ซึ่งเมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นส่วนของท่อส่งอาหารนี้จะเปลี่ยนเป็นส่วนของเนื้อไม้ต่อไป ซึ่งถ้าท่อส่งอาหารมีขนาดใหญ่ลักษณะเกรนของเนื้อไม้จะหยาบ

**2.1.2.7** ผนังเซลล์ไม้ (Fiber) เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ที่จะบ่งบอกถึงตำแหน่งเส้น

**2.1.2.8** เส้นรัศมีเนื้อไม้ (Wood Ray) เป็นเส้นเล็กๆ วิ่งผ่านใจกลางหรือบริเวณไส้ไม้ไปยังเปลือกไม้ เส้นรัศมีเกิดจากกลุ่มเซลล์ที่ทอดตัวตามแนวขวางลำต้น เป็นช่องทางสำหรับลำเลียงและสะสมอาหาร และเป็นส่วนช่วยยึดโครงสร้างไม้ มักจะทำให้เกิดปัญหาการแตกบริเวณในแนวรัศมีได้เมื่อมีการขึ้นรูปไม้

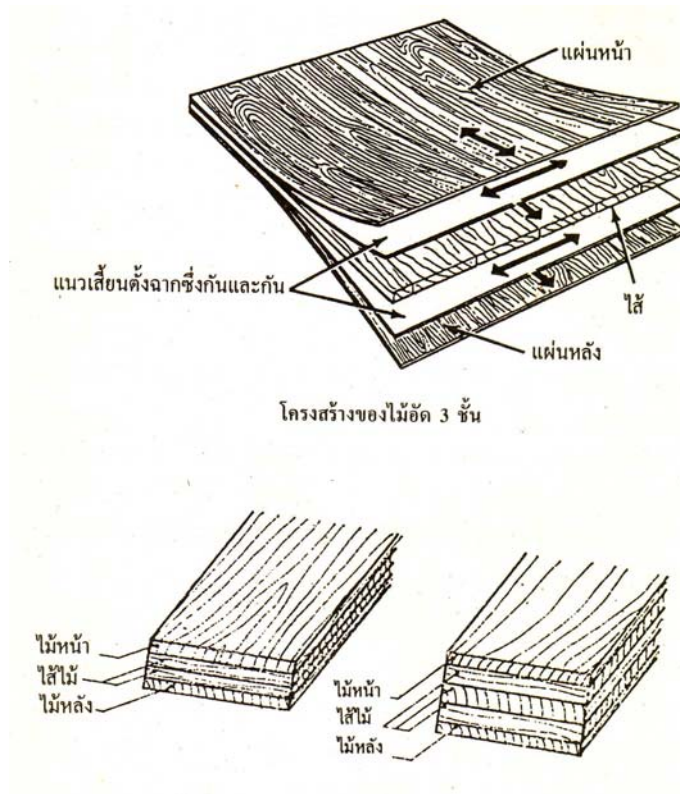
**2.1.2.9** สารเคมีในไม้ เช่น ยาง , น้ำมันและ ซิลิกา มีผลต่อการสีกร่อนที่คมมีด

ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นไม้จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของภูมิประเทศ และเป็นไปตามกฎธรรมชาติ ต้นไม้ทุกต้นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันบางส่วนเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วต้นไม้จะไม่มีส่วนที่เหมือนกันหมดทั้งต้น การที่ต้นไม้มีความแตกต่างกันนี้ทำให้ต้นไม้เป็นวัสดุที่มีความซับซ้อน

### **2.1.3 ชนิดของไม้ [15]**

**2.1.3.1** ไม้จริง (Solid Wood) เป็นไม้ที่มาจากการแปรรูปจากต้นไม้

**2.1.3.2** ไม้อัด (Plywood) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาไม้แผ่นบางๆ ซึ่งได้จากการปอกหรือฝานด้วยเครื่องจักรมาทับซ้อนกันตามหลักและวิธีการผลิต โดยนำแผ่นไม้บางมาอัดให้ติดกันโดยใช้กาวเป็นวัตถุดิบ โดยมีไม้วีเนียร์ (Veneer) มาอัดโดยการวางวางเสี้ยนวางตัดกัน ไม้ไม่ดีมีคุณภาพต่ำแตกสลายวางเสี้ยนไว้ภายใน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำไม้อัด [15]

**2.1.3.3** แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard; MDF) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเศษไม้มาทำการย่อยให้เป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใยโดยใช้เครื่อง นำเศษไม้ที่ย่อยแล้วมาผสมกัน โดยใช้ตัวเชื่อมประสานและทำการกดอัดด้วยความร้อนให้เป็นแผ่นไม้ โดยมีไม้อัดปิดด้านหน้าและด้านหลัง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง [20]

## 2.2 พื้นฐานงานระบบซีเอ็นซี [16]

แนวโน้มการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม และการแข่งขันในกันในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องการกระบวนการผลิตอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เป็นผลทำให้ต้องการด้านระบบการผลิต ระบบซีเอ็นซีเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีการพัฒนาและมีความก้าวหน้าไปมาก ทั้งในทางด้านความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูล การแสดงผลกราฟฟิค และความยืดหยุ่นในการผลิตชิ้นงานตลอดจนการเลือกใช้เครื่องมือ ในระยะยาวความสำเร็จของกระบวนการผลิตที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่นี้จะได้ผลดี และมีประสิทธิภาพสูงสุด

### 2.2.1 ความหมายของเครื่องเอ็นซีและซีเอ็นซี

เอ็นซี (NC) ย่อมาจาก Numerical Control หมายถึง การควบคุมเครื่องจักรด้วยระบบตัวเลข และตัวอักษร ซึ่งจำกัดความนี้ได้มาจากประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่างๆตลอดจนการทำงานอื่นๆของเครื่องจักรจะถูกควบคุมด้วยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์อื่นๆ ซึ่งถูกแปลงเป็นคลื่นสัญญาณ (Pulse) ของกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณออกอื่น ที่จะกระตุ้นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆเพื่อให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ

ซีเอ็นซี (CNC) ย่อมาจากคำว่า (Computerized Numerical Control) ระบบควบคุมเอ็นซีแบบนี้จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงเพิ่มเข้าไปในระบบ ทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเอ็นซี และประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล ในปัจจุบันเครื่องจักรกลเอ็นซีส่วนมากจะหมายถึง เครื่องซีเอ็นซีทั้งนี้เพราะว่า ระบบซีเอ็นซีที่ไม่มีคอมพิวเตอร์เป็นส่วนประกอบมักไม่นิยมสร้างไว้ใช้แล้ว เนื่องจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างถูก ดังนั้นราคาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ที่เพิ่มมาเกือบจะไม่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อเทียบกับราคาเครื่องจักรทั้งเครื่อง

### 2.2.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกลซีเอ็นซีกับเครื่องจักรกลทั่วไป

เครื่องจักรกลทั่วไปแทนเลื่อนทำหน้าที่นำชิ้นงานหรือเครื่องมือตัดให้เคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน โดยการหมุนด้วยมือ หรือโดยกลไกป้อนอัตโนมัติ เช่นถูกเบี่ยงในเครื่องกลึงอัตโนมัติ ซึ่งในขณะเดียวกันช่วงควบคุมเครื่องจะต้องปฏิบัติหน้าที่อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดสินใจชิ้นงานนั้นๆ ด้วย เช่น เปิดและปิดสวิตช์ควบคุมการหมุนของเพลาควเครื่อง เปลี่ยนอัตราการป้อนและความเร็วรอบ เปิดและปิดสวิตช์สารหล่อเย็น เป็นต้น ในการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆเหล่านี้ ช่วงควบคุมเครื่องจะต้องใช้ทั้งวิจารณญาณและการตัดสินใจร่วมกัน การตัดสินใจเหล่านี้จะต้องทำซ้ำๆกันตลอดเวลาที่ทำการผลิตชิ้นงานนั้น ถึงแม้ว่าผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างแบบเดียวกันก็ตาม ส่วนเครื่องจักรกลเอ็นซีการ

เคลื่อนที่ต่างๆที่จำเป็นในการผลิตชิ้นงานจะทำงานโดยอัตโนมัติ ด้วยตัวเครื่องเองตามข้อมูลตัวเลข (Numerical Information) ที่ป้อนให้กับระบบควบคุมเครื่องจักรกลเอ็นซีในรูปแบบของรหัส (Code) ที่ระบบควบคุมเครื่องสามารถเข้าใจได้ ความแตกต่างในการใช้เครื่องกลเอ็นซี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลทั่วไปคือ การตัดสินใจในการกำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกระทำเพียงครั้งเดียว กล่าวคือจะกระทำในขั้นตอนการวางแผนและสร้างโปรแกรม สำหรับควบคุมเครื่องจักรกลเท่านั้น ต่อจากนั้นโปรแกรมก็จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล สำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการ โดยทำการผลิตซ้ำๆกันก็ครั้งก็ได้ตามความต้องการ นอกเหนือจากการทำงานซึ่งเปรียบเสมือนการวางแผนการทำงานที่ได้จัดเตรียมขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอน การป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ ตลอดจนการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้แล้วนั้น การผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องเอ็นซียังช่วยลดเวลาในการทำงานอื่นๆที่จะเป็นด้วย เช่นลดเวลาการตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน ลดเวลาการปรับตำแหน่งของชิ้นงาน ลดเวลาในการปรับเปลี่ยนความเร็วในการทำงานเป็นต้น

### 2.2.3 ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี

ระบบซีเอ็นซีเป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบเอ็นซี ดังนั้นความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี ก็จะอยู่ที่ความสามารถของระบบควบคุมนั้นคือคอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบซีเอ็นซีไปควบคุมเครื่องกล ความสามารถในการทำงานต่างๆจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลเอ็นซีดังนี้

1. การแสดงภาพจำลอง (Simulation) การทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าในระบบทางจอภาพ
2. ความจุของหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้นสามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก
3. การแก้ไขและลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ที่เครื่องจักรโดยตรง
4. สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้
5. ระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น
6. มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดและการส่งกำลัง
7. มีโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการคำนวณต่างๆเช่น ความเร็วรอบ อัตราการป้อน เป็นต้น

### 2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี เป็นเครื่องจักรกลสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง แต่ในขณะเดียวกันราคาก็สูงตามไปด้วย ดังนั้นก่อนที่จะพิจารณาจัดซื้อเครื่องจักรกลประเภทนี้มาใช้ในกระบวนการผลิต จำเป็นต้องศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องจักรกลประเภทนี้ก่อน

ข้อดีของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

1. มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือการเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น
2. ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ในระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบและอัตราการป้อนที่ใช้ในการผลิต
3. ใช้เวลาในการผลิต (Production Time) สั้นกว่า
4. สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่าย
5. การปรับตั้งเครื่องจักรกลทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ
6. หลีกเลี่ยงความจำเป็นที่ต้องใช้ช่างควบคุมที่มีทักษะ และประสบการณ์ที่สูง
7. ช่างควบคุมมีเวลาว่างจากการควบคุมเครื่อง สามารถที่จะจัดเตรียมงานอื่นๆไว้ล่วงหน้าได้
8. การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้นงาน

ข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

1. ราคาของเครื่องจักรค่อนข้างสูง
2. การบำรุงรักษามีความซับซ้อนมาก
3. จำเป็นต้องใช้ช่างเขียนโปรแกรม (Part Programmer) ที่มีทักษะสูงและฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
4. ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ใช้ซ่อมบำรุง ไม่สามารถผลิตได้ในประเทศจำเป็นต้องสั่งซื้อหรือนำเข้าจากต่างประเทศ
5. การซ่อมบำรุงจะต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์สูงและผ่านการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
6. ราคาของเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในกระบวนการตัดเฉือน เช่น แกนเพลายึดมีดกัดมีราคาสูง
7. พื้นที่ติดตั้งเครื่องจักรจะต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละออง

## 2.2.5 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

หลักการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป กล่าวคือ โดยพื้นฐานเบื้องต้นแล้วเครื่องจักรกลเอ็นซีก็จะทำงานผลิตชิ้นงานเหมือนเครื่องจักรกลทั่วไป ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลเอ็นซีก็จะทำงานเหมือนเครื่องกัดทั่วไปเพียงแต่ว่า ระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆแทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตามก่อนที่เครื่องจักรเอ็นซีสามารถทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่าจะทำอะไร และจะต้องบอกกล่าวเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้ นั่นคือจะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) หรือแถบแม่เหล็ก (Magnetic tape) ก็ได้ เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน แต่เนื่องจากเครื่องเอ็นซีไม่มีมือสำหรับหมุนมือหมุนให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ ดังนั้นแท่นเลื่อนต่างๆจะต้องมีมอเตอร์ป้อน

(Feed motor) ประกอบอยู่ด้วยเช่น เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกนก็จะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว เมื่อระบบควบคุมอ่าน โปรแกรมแล้วก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อยไม่สามารถไปหมุนขับเคลื่อนมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive amplifier) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ กรณีเครื่องจักรปกติความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนของเครื่องจักรกลทั่วไป จะต้องกำหนดด้วยสายตาของผู้ควบคุมเครื่องจักร แต่ในเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีการออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมรู้ได้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า ระบบวัดขนาด (Measuring system) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Linear scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าวทำให้เครื่องจักรเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างและขนาดที่ต้องการได้ จากลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรทั่วไปทำให้เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ งานวัดและตรวจสอบขนาดจัดเป็นงานที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิต และโดยทั่วไปจัดเป็นงานที่ต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างมาก กล่าวคือประมาณ 30-100 % ของเวลาตัดเฉือน การวัดและการตรวจสอบมักกระทำทั้ง 3 มิติ (3D) ดังนั้นเครื่องวัดขนาดเอ็นซีส่วนใหญ่จึงมีการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพและราคาถูก สามารถที่จะแข่งขันกันในตลาดผู้บริโภคได้นั้น จำเป็นต้องมีระดับเทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสม การใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบเอ็นซีและซีเอ็นซีเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถกระทำได้ ปัญหาที่จะอยู่ที่ว่าจะเลือกใช้เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซีได้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำอยู่ได้อย่างไรและทำอย่างไร จึงสามารถควบคุมเครื่องจักรกลนั้นให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง

## 2.3 วัสดุแข็งมากสำหรับทำใบมีด [16]

วัสดุแข็งมากพอจะแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้เป็น กลุ่มโลหะ และกลุ่มอโลหะ กลุ่มโลหะได้แก่พวกโลหะผสมแข็ง (Hard alloy) และพวกซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented carbides) กลุ่มอโลหะได้แก่พวกเซรามิก (Ceramics) ซึ่งอาจจะเป็นพวกออกไซด์หรือไนไตรด์ของโลหะ ในบางครั้งการแยกกลุ่มของวัสดุอาจมีปัญหาบ้างจึงมีผู้นิยามไว้เป็นวัสดุเซอเมต (Cermets) ซึ่งอยู่ระหว่างโลหะและเซรามิก การใช้มีดที่ทำด้วยวัสดุแข็งมากย่อมหมายความว่า สามารถปอก หรือไสเนื้องานได้หนาและเร็วขึ้น และอายุการใช้งานของใบมีดที่มีความแข็งที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.4 ทำให้ต้องมีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องจักรกล (Machine tools) และป้อมมีด (Tool holders) ขึ้นใหม่ ให้มีกำลังและ

ความแข็งแรงมากขึ้นด้วย มีดที่ทำด้วยวัสดุแข็งมากนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องจักรกลแบบเก่าที่ยังไม่ได้พัฒนา

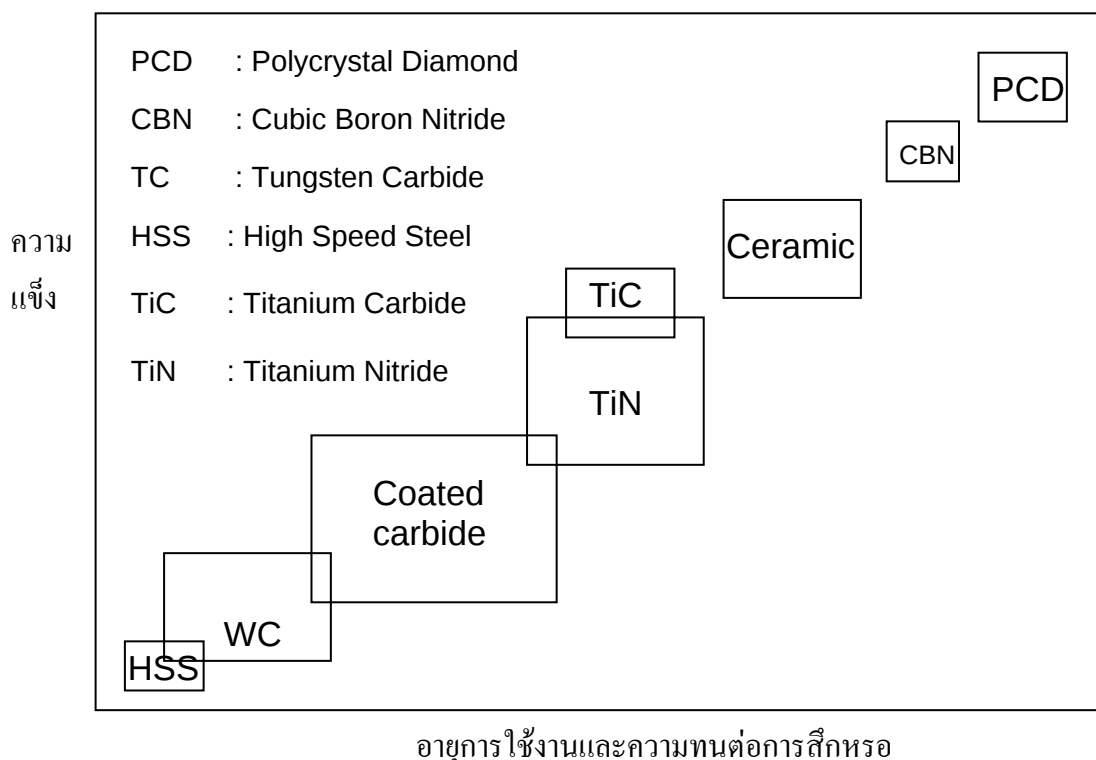
### 2.3.1 การแบ่งกลุ่มวัสดุแข็งมาก

ในขณะนี้ยังไม่มีมาตรฐานสากล ที่กำหนดกลุ่มวัสดุแข็งมาก เพราะยังเป็นวัสดุใหม่ ระบบการแบ่งกลุ่มวัสดุแข็งมากที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตและผู้ใช้ ใช้อ้างอิงกันเสมอๆ แต่ละระบบมีข้อดีและข้อบกพร่องแตกต่างกันไป

**2.3.1.1** การแบ่งกลุ่มตาม SAE J 1072 เป็นรหัสกำหนดด้วยอักษรและตัวเลข บอกวัสดุที่ใช้ทำใบมีด ซึ่งประกอบด้วย

- ก. ตัวเลขระบุมาตรฐาน SAE
- ข. การกำหนดชนิดวัสดุ
- ค. ตัวอักษรกำกับท้ายคุณสมบัติเฉพาะ

**2.3.1.2** ระบบ C-Grade เป็นการแบ่งกลุ่มมีด จำพวกซีเมนต์เตี๋ยคาร์ไบด์ตามลักษณะการใช้งาน การระบุชนิดของใบมีดตามระบบ C-Grade เป็นการระบุแบบหยาบๆ และไม่ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุทำใบมีด จึงดูไม่ค่อยจะให้ข้อมูลที่พอเพียงสำหรับผู้เลือกใช้ใบมีดเท่าไรนัก วิธีนี้ไม่ใช้กับมีดที่ทำด้วยวัสดุเซรามิก



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความทนต่อการสึกหรอของมีดและความแข็งของวัสดุ[16]

**2.3.1.3** การกำหนดวัสดุชนิดวัสดุแข็งมากตามแบบ ISO R513 เป็นการกำหนดตามลักษณะการใช้งานแบบเดียวกับแบบ C-grade แต่แบ่งย่อยให้ละเอียดกว่า

### 2.3.2 วัสดุที่นำมาทำไบมีด [20]

ซีเมนต์คาร์ไบด์ ผลิตโดยกรรมวิธีโลหะผง (Powder metallurgy) ซึ่งได้แก่การนำผงโลหะทนไฟผสมกับผงคาร์บอนแล้วอัดแน่นเป็นก้อน เม็ดมีความแข็งแรงพอประมาณ เมื่อนำก้อนเม็ดยัดขึ้นไพออบที่อุณหภูมิสูง (Sintering) ก็จะได้ก้อนเม็ดของแข็งที่มีความแข็งแรงมากในรูปซีเมนต์คาร์ไบด์ไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) เป็นคาร์ไบด์ที่แข็งที่สุด แต่มีโอกาสแตกที่ปลายมีดได้ง่ายกว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์และเซรามิก

คาร์ไบด์เคลือบ (Coated Carbide) มีดที่ทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์จะมีสมบัติทนสึกได้มากขึ้นเมื่อเคลือบด้วยสารประกอบทนสึก ซึ่งได้แก่ ไททาเนียมคาร์ไบด์ ไททาเนียมไนไตรด์ แสป์เนียมไนไตรด์หรืออะลูมินา

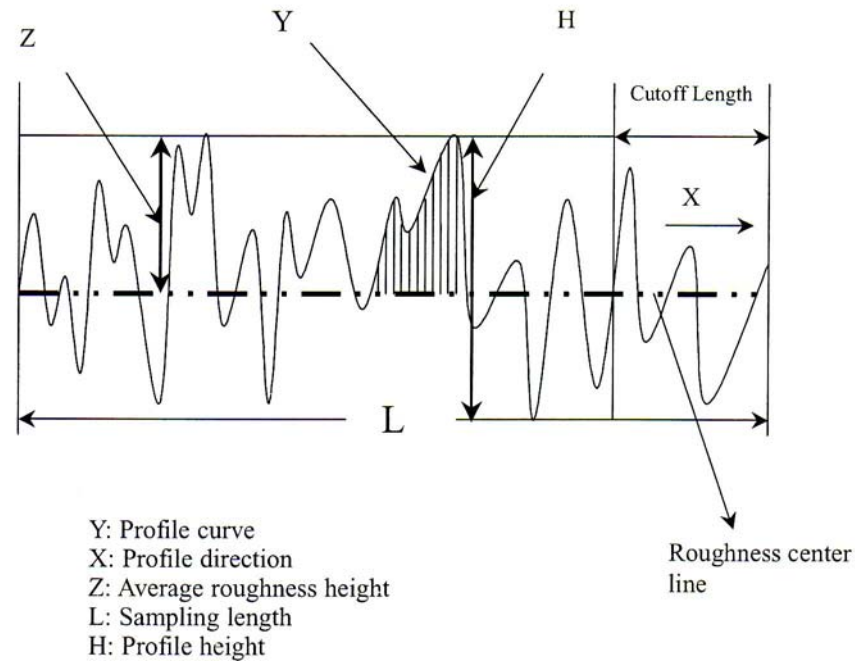
เซรามิก ไบมีดมีความแข็งแรงสูงแม้จะโดนความร้อน มีสมบัติแข็งแรงเสียดทานต่ำ ทนต่อการสึกหรอ และการนำความร้อนต่ำ แต่วัสดุเซรามิกมีสมบัติที่ค่อนข้างเปราะ จึงต้องระวังการให้ความร้อนหรือการกระแทกทันทีทันใด

เพชรแบบหลายผลึก (Polycrystal Diamond) เป็นวัสดุแข็งมากกลุ่มโลหะอีกประเภทหนึ่ง ไบมีดไม่เหมาะสมกับงานกัดวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูง แต่มีอายุการใช้งานนาน

## 2.4 การวัดความเรียบผิว

วัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้ผ่านการตกแต่งมาอาจจะใช้วิธีการเปรียบเทียบหรือใช้วิธีการวัดโดยตรง วิธีการเปรียบเทียบนี้เป็นวิธีที่จะตรวจสอบความเรียบผิว โดยการสังเกตหรือใช้ความรู้สึกบนผิวหนังที่ทำการตรวจสอบนั้น และการเปรียบเทียบนี้ก็อาจทำให้เกิดการอ่านที่ผิดพลาดขึ้นมาได้ ถ้าการเปรียบเทียบไม่ได้ใช้ชิ้นงานที่ทำหรือผลิตด้วยเทคนิคเดียวกัน รอยที่ปรากฏขึ้นบนผิวหนังจะขึ้นอยู่กับแบบของเครื่องมือที่ใช้ในทิศทางของการขีดข่วนหรือการตกแต่งผิวหน้า และขึ้นอยู่กับความลึกของรอยที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งรอยที่ปรากฏเหล่านี้ สามารถที่จะตรวจสอบได้โดยใช้กล้องส่องขยายดู การแตะสัมผัสเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดี ในการกำหนดความเรียบผิวของผิวชิ้นงานมากกว่าการสังเกตด้วยตาซึ่งอาจทำให้การอ่านค่าผิดพลาดได้ และการเปรียบเทียบควรใช้กับผิวหน้าที่มีการผลิตเท่านั้น

ซึ่งก็มีหลายบริษัทที่ได้สร้างชิ้นส่วนมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบความเรียบผิว ในแต่ละวิธีการผลิตหลายอย่างซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้ทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวก



รูปที่ 2.5 รูปร่างความเรียบผิว [17]

วิธีการตรวจสอบโดยตรงนั้นได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมากเพื่อให้สามารถอ่านค่าตัวเลขออกมาได้เมื่อวางบนผิวหน้าที่จะตรวจสอบความเรียบผิว ซึ่งส่วนมากจะเลือกใช้เครื่องวัดแบบใช้หัวลาก แม้ว่าวิธีการแทรกสอดจะเหมาะสมสำหรับผิวหน้าที่สะท้อนแสง

การวิเคราะห์ความเรียบผิวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีด้วยกันหลายวิธี เช่น

- ความสูงเฉลี่ย ( $R_a$ ) มีค่าเท่ากับความสูงของสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งจะต้องมีพื้นที่รวมของความเรียบผิว และได้เส้นศูนย์กลาง และสามารถอธิบายในรูปสมการ

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (2.1)$$

โดยที่  $Y(x)$  คือ พื้นที่ใต้กราฟ และ  $L$  คือ ระยะทางที่ทำการวัด ดังรูปที่ 2.5

- รากที่สองเฉลี่ย ( $R_q$ ) มีค่าเท่ากับรากที่สองของความสูงสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งจะต้องมีพื้นที่ยกกำลังสองรวมของความเรียบผิว และได้เส้นศูนย์กลาง และสามารถอธิบายในรูปสมการ

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (Y(x))^2 dx} \quad (2.2)$$

โดยที่  $Y(x)$  คือ พื้นที่ใต้กราฟ และ  $L$  คือ ระยะทางที่ทำการวัด ดังรูปที่ 2.5

- ความสูงจากจุดยอดถึงปลายสุด ( $R_{\max}$ ) เท่ากับระยะของความเรียบผิวสูงสุด

## 2.5 ทฤษฎีการตัดเนื้องานไม้

คุณภาพของผิวจากการตัดเนื้องานขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ 1. คุณภาพของเนื้อไม้ 2. รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และ 3. เทคโนโลยีในการตัดเนื้องาน ซึ่งคุณภาพของเนื้อไม้เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ โดยธรรมชาติของเนื้อไม้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดความยาวของไม้ เช่น ตำแหน่งของตาไม้ นอกจากนี้ยังมีแนวการเรียงของแนวเส้นไม้ยังมีผลต่อคุณภาพผิวของงานไม้อีกด้วย ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือ รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และเทคโนโลยีในการตัดเนื้องาน ซึ่งจะมึบทบาทสำคัญที่ทำให้ผิวชิ้นงานไม้คุณภาพดี และยังส่งผลถึงอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้

### 2.5.1 ชนิดของใบมีดกัด [2]

อุตสาหกรรมใบมีดกัดในยุโรป อเมริกา และเอเชีย มีการแข่งขันกันค่อนข้างสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ ซึ่งสามารถแยกตลาดออกได้เป็น 3 ตลาดหลักๆคือ

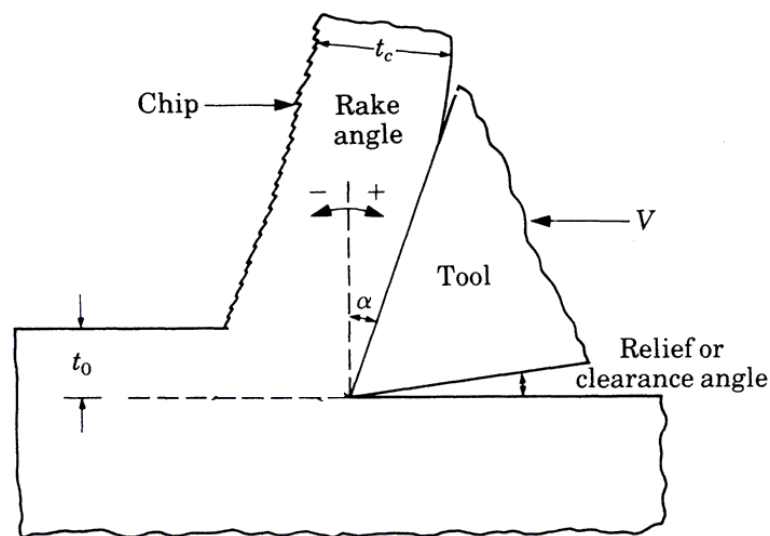
1. งานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งออกแบบเป็นรูปร่างพื้นฐานให้เหมาะสมกับงานและลักษณะงานที่ใช้เวลาอันสั้น วัสดุที่นำมาใช้ในการทำใบมีดนั้นจะเป็นแบบที่ใช้ในการผลิตไม้ธรรมชาติเท่านั้น
2. งานอุตสาหกรรมขนาดกลาง ซึ่งเป็นลักษณะงานของช่างไม้เพื่อออกแบบในการใช้เครื่องจักรขนาดกลาง ใบมีดที่ใช้ราคาไม่สูงมากนัก รูปร่างของใบมีดต้องได้รับการออกแบบอย่างดี
3. งานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เครื่องจักรที่ใช้ขนาดใหญ่และกลาง ลักษณะของใบมีดได้ออกแบบด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่และมีประสิทธิภาพในการทำกรัดที่สูง ลักษณะงานส่วนใหญ่ที่ทำเป็นแบบสายการผลิต

ใบมีดกัดในแต่ละลักษณะต้องมีการออกแบบที่เหมาะสมกับช่วงการผลิตที่เหมาะสมซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก

- ชิ้นงานต่อชั่วโมงในการผลิต
- ระยะเวลาในการลับคมมีด
- พลังงานที่ใช้ในการผลิต

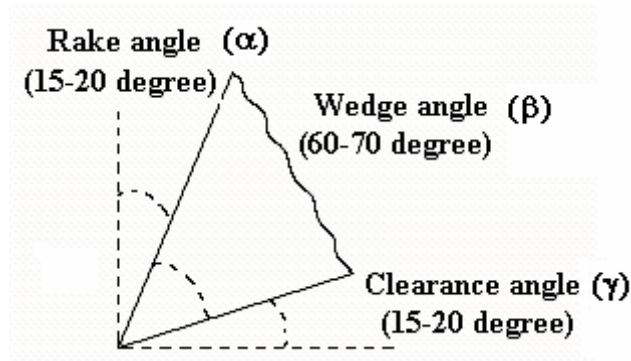
- การออกแบบวัสดุจำเพาะที่ใช้ในการกัด
- ราคาต่อหน่วยการผลิต
- ระยะความแม่นยำในการผลิต
- ราคาและชนิดของวัสดุ
- รูปร่างตามมาตรฐานและรายละเอียดของใบมีดกัด

### 2.5.2 รูปร่างของใบมีด



รูปที่ 2.6 รูปทรงเรขาคณิตของใบมีดกัด [11]

- มุมหน้ามีด (Rake Angle:  $\alpha$ ) คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของใบมีดกับแนวเส้นตั้งฉากของทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีด มีผลกระทบโดยตรงกับแรงที่ใช้ และคุณภาพของผิวงานที่ผ่านการกัด
- มุมคมตัด (Wedge Angle:  $\beta$ ) คือมุมระหว่างผิวด้านหน้าและด้านหลังของคมมีดซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการกัดของชิ้นไม้
- มุมหลบ (Clearance Angle:  $\gamma$ ) คือมุมระหว่างผิวด้านหลังของคมมีดกับผิวหน้าชิ้นงานบริเวณด้านหลังของมีด



รูปที่ 2.7 มุมมาตรฐานทั่วไปที่นำมาตัดเลื่อยเนื้อไม้ [11]

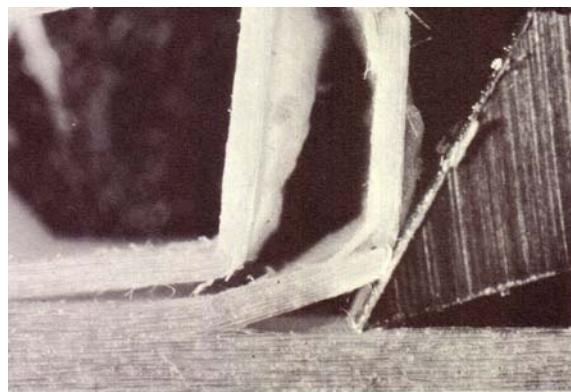
### 2.5.3 อิทธิพลของมุมของใบมีดในการกัดไม้

มุมมาตรฐานทั่วไปที่นำมาตัดเลื่อยเนื้อไม้จะถูกกำหนดให้มีขนาดดังนี้ [11]

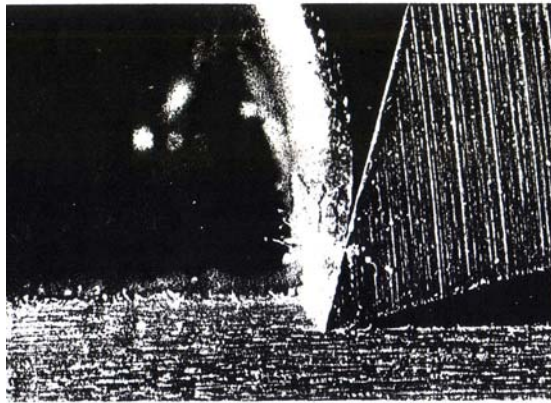
- มุมหน้ามีด (Rake Angle)  $15-20^{\circ}$
- มุมคมตัด (Wedge Angle)  $60-70^{\circ}$
- มุมหลบ (Clearance Angle)  $15-20^{\circ}$

ก. ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง โดยผลกระทบของการเพิ่มมุมต่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8-2.10 (ไม้ที่แสดงในรูปคือ ไม้สน)

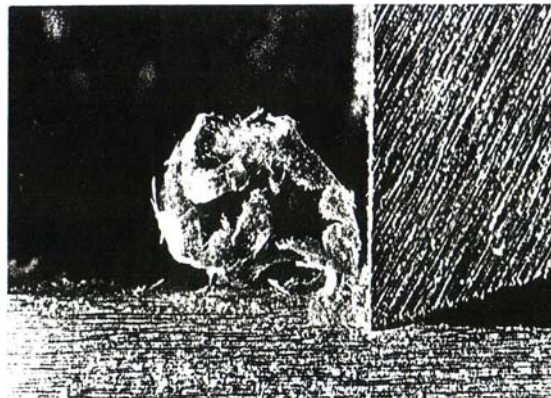
- เมื่อมุมหลบเพิ่มขึ้นทำให้แรงในการกัดลดลง แต่การฉีกของเนื้อไม้เพิ่มขึ้นและอายุของใบมีดสั้นลง
- เมื่อหน้ามีดเพิ่มขึ้นทำให้แรงในการกัด อายุใบมีด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดลดลง แต่คุณภาพผิวที่ได้จะดี
- เมื่อมุมคมตัดเพิ่มขึ้นทำให้คุณภาพผิวของชิ้นงานแย่ลง แต่อายุการใช้งานของใบมีดสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 เมื่อมุมหน้ามีดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกเป็นแนวจนกระทั่งเนื้อไม้เกิดการแตกหักเหนื่อคมตัด [1]



**รูปที่ 2.9** เมื่อมุมคมมีด มีค่าพอดีจะให้ผิวงานที่มีคุณภาพดี และลักษณะเศษไม้ที่เกิดขึ้นจะมีความต่อเนื่อง [1]

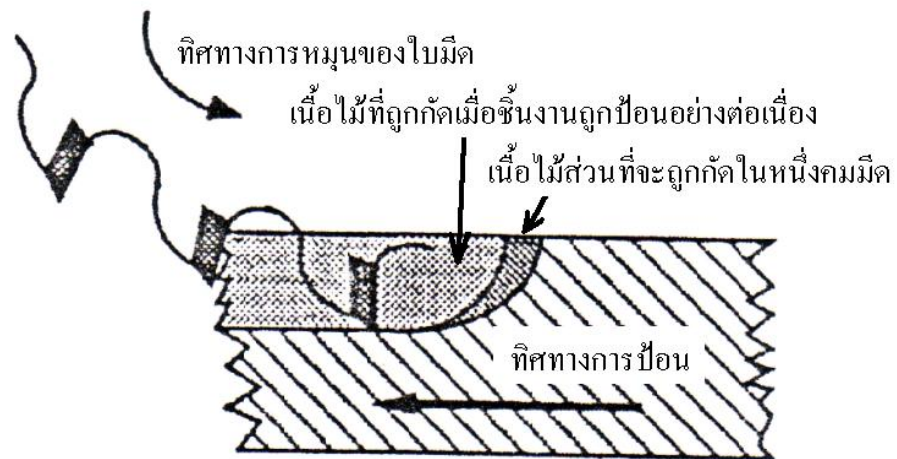


**รูปที่ 2.10** เมื่อมุมคมมีดมีค่ามากเกินไป ลักษณะผิวงานที่เกิดจะมีลักษณะเป็นขุย [1]

#### 2.5.4 รูปแบบของกระบวนการกัด

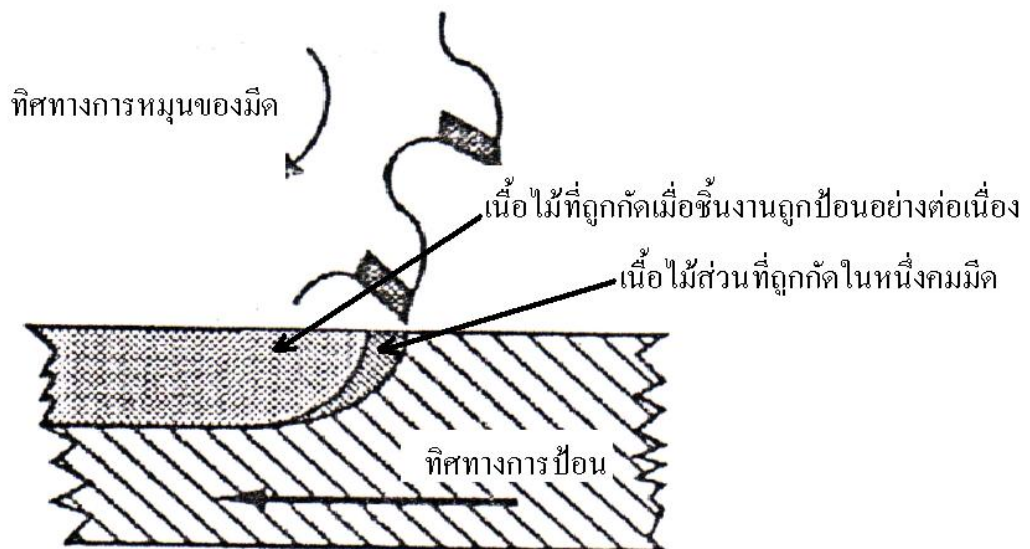
ก) การกัดไม้แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)

1. การเกิดเศษไม้หลังการกัด เริ่มต้นให้เศษที่บางหลังจากนั้นเศษไม้จะมีความหนามากขึ้น
2. มีการใช้กำลังงานที่ใช้ในการกัดคงที่
3. การสั่นสะเทือนมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน (Downcut) เพราะว่าในแต่ล่ะฟันของใบมีดไม่มีการกระแทกแบบทันทีทันใด
4. ในการป้อนชิ้นงานสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องจักรหรือคนป้อน



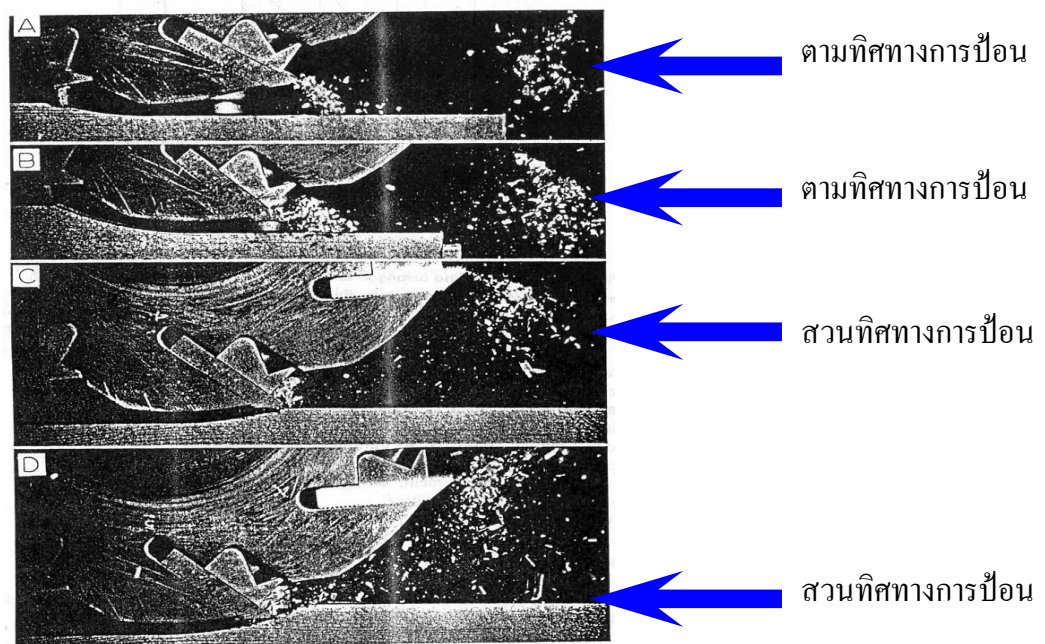
รูปที่ 2.11 การกัดไม้แบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) [2]

ข) การกัดแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)



รูปที่ 2.12 การกัดไม้แบบกัดตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) [2]

1. เศษไม้หลังการกัดที่ได้มีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอ
2. มีการสั่นสะเทือนเวลาทำการกัดเนื่องจากมีการกระทบของใบมีดกับเนื้อไม้
3. ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีเพราะจุดปลายของใบมีดเป็นส่วนใช้ในการตัดเฉือน
4. มีการสึกหรออย่างรวดเร็วเนื่องจากการเสียดสีของใบมีดเป็นเวลานาน
5. ในการป้อนกัดต้องใช้เครื่องจักรในการทำงานเท่านั้น

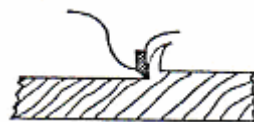


รูปที่ 2.13 เศษไม้ที่เกิดขึ้นจากการกีดแบบส่วนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนที่ระยะการกิน  
ลึก  $\frac{1}{2}$  นิ้ว (A และ C) และ  $\frac{1}{4}$  นิ้ว (B และ D) [1]

การกีดแบบตามทิศทางการป้อนกีด เศษของวัสดุที่ได้จะมีขนาดที่สม่ำเสมอเนื่องจากการ  
กีดแบบตามทิศทางการป้อนเป็นการกีดที่ก่อให้เกิดการตัดเฉือนอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่การกีดแบบ  
ส่วนทิศทางการป้อนไม่เกิดการตัดเฉือนที่สมบูรณ์ เนื่องมาจากว่าลักษณะของการกีดแบบส่วนทิศทาง  
การป้อนนั้น จะเกิดการรั้งของเนื้อไม้บริเวณผิวดังรูปที่ 2.13

### 2.5.5 ลักษณะการกีดที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน [2]

1. กีดตามแนวเส้นไม้ทำให้ใช้กำลังงานในการกีดน้อยที่สุดและให้คุณภาพผิวดีที่สุด



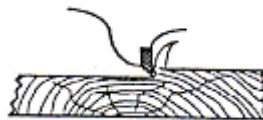
รูปที่ 2.14 การกีดไม้ตามทิศทางเส้นไม้ [2]

2. กีดแนวขนานเส้นไม้ทำให้ใช้กำลังงานในการกีดที่น้อยและให้ความเรียบผิวที่ดี



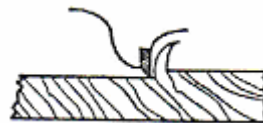
รูปที่ 2.15 การกีดไม้ขนานเส้นไม้ [2]

3. กีดขวางเส้นไม้สามารถกีดได้ง่าย แต่ความเรียบผิวจากการกีดหยาบมาก



รูปที่ 2.16 การกีดไม้ขวางเส้นไม้ [2]

4. กีดสวนทิศทางแนวเส้นไม้ต้องใช้กำลังงานที่มากและการกีดยาก เนื่องจากแนวโน้มนำมีการยกตัวของเส้นไม้และมีการบิดของเนื้อไม้และให้ความเรียบผิวที่ไม่ดี



รูปที่ 2.17 การกีดไม้สวนเส้นไม้ [2]

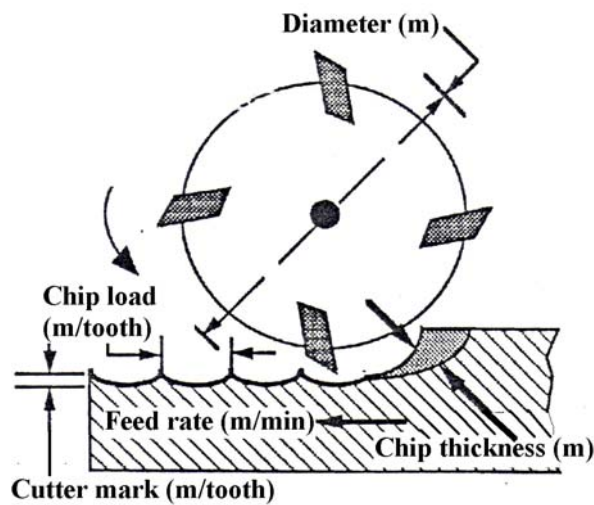
5. กัดที่แนวต่อของเส้นไม้ ก่อให้เกิดผิวที่หยาบและต้องการกำลังงานที่มากที่สุด



รูปที่ 2.18 การกีดไม้ตามรอยต่อไม้ [2]

## 2.5.6 ความเรียบผิวของไม้ตามทฤษฎี

1. ชิปโหลดหรือปริมาณการป้อนต่อฟัน (Chip load ( $F_z$ ) or Feed per tooth) เป็นตัวบ่งบอกถึงการเคลื่อนที่ของฟันในแต่ละฟันที่นำเนื้อไม้ออกจากชิ้นงาน ซึ่งแสดงถึงความเรียบผิวจากการกีดไม้ หรือรอยใบมีดต่อความยาว (Cutter mark) แสดงในสมการที่ 2.1 และรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงการตัดเนื้อไม้ของใบมีดกัด [2]

2. รอยลึกของคมตัด (Cutter mark;  $t$ ) คือระยะสูงสุดของรอยคมตัดหลังจากผ่านการกัดแล้วที่ชิ้นงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับชิปโหลด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็น สัดส่วนผกผันกับขนาดความโตของมีด แสดงในสมการที่ 2.3 และรูปที่ 2.18

3. ความเร็วในการป้อน บ่งบอกถึงความเรียบผิวเป็นส่วนสำคัญในการผลิต ซึ่งความเร็วในการป้อนกัด ต้องมีความเหมาะสมกับจำนวนฟันต่อใบมีด ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพผิวที่ได้

4. ความเร็วตัด โดยความเร็วตัดนี้อยู่ในรูปของความเร็วรอบของการหมุน และสามารถที่บอกได้ถึง ประสิทธิภาพในการกัด ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็วรอบ และอยู่ในรูป ของระยะทางของการเคลื่อนที่กับเวลา

โดยกำหนด 1. ความคลาดเคลื่อนของใบมีดระหว่างการกัดและชิ้นส่วนเครื่องจักรมีน้อยมาก

2. มีการสั่นสะเทือนน้อยมาก

$$F_z = \frac{F}{NZ} \quad (2.3)$$

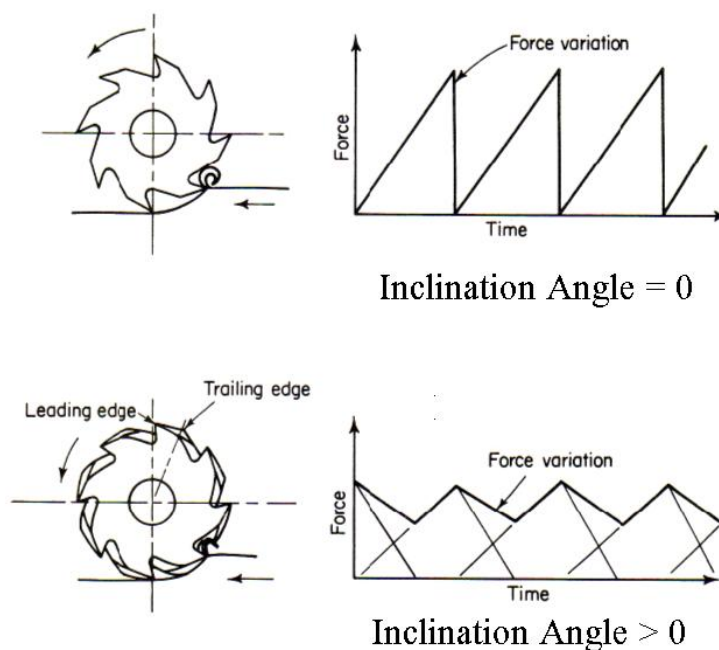
$$V = \frac{\pi DN}{1000} \rightarrow N = \frac{1000V}{\pi D} \quad (2.4)$$

$$t = \frac{F_z^2}{4D} = \frac{F^2 \pi^2 D}{(2000VZ)^2} \quad (2.5)$$

โดยที่  $F$  = อัตราการป้อน (เมตรต่อนาที)  
 $N$  = ความเร็วรอบของใบมีด  
 $V$  = ความเร็วตัด  
 $Z$  = จำนวนคมตัดของมีด  
 $F_z$  = ชิปโหลด (เมตรต่อฟัน)  
 $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)  
 $t$  = รอยลึกของคมตัด (เมตรต่อฟัน)

### 2.5.7 มุมตัดเฉือน

มุมตัดเฉือนเป็นมุมที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการกัดชิ้นงาน กล่าวคือใบมีดที่มีมุมตัดเฉือน แรงที่ใช้ในการกัดจะสม่ำเสมอทำให้มีการสั่นสะเทือนที่น้อยเวลาทำการกัดชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.20 [19]



รูปที่ 2.20 ผลกระทบของมุมตัดเฉือนต่อแรงในการกัดชิ้นงาน [19]

## 2.6 ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [17]

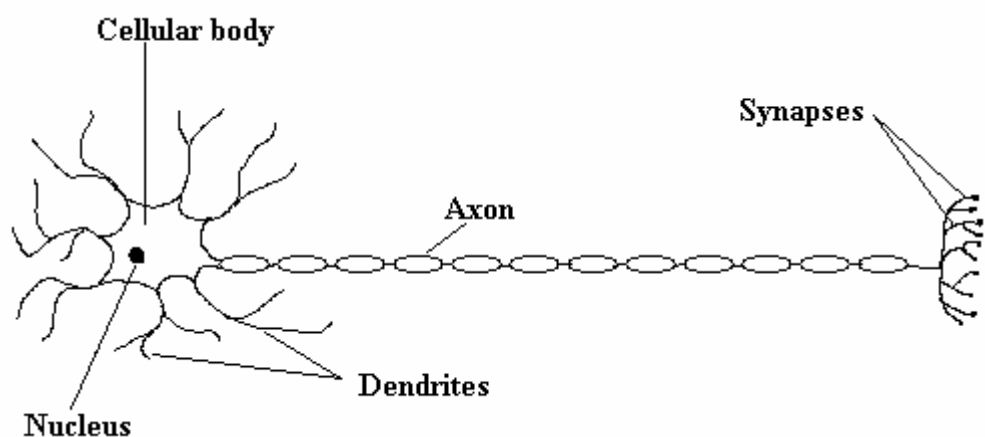
กระบวนการในการคิดคำนวณทางคอมพิวเตอร์แบบใหม่ด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent: AI) ที่กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างมากในปัจจุบันคือ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ซึ่งเป็นกระบวนการและวิธีการคำนวณที่พยายามสร้างแบบจำลองโครงสร้าง และหน้าที่การทำงานของสมองและระบบประสาทมนุษย์ เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำงานในสิ่งที่ไม่ได้

หรือทำยังไม่ได้พอ เช่นการอ่านหนังสือ การจัดหมวดหมู่สิ่งของ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทางสาขาชีววิทยา และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ ก็ยังไม่สามารถบรรยายละเอียดทั้งหมดของกลไกการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ได้ ส่งผลให้นักวิชาการทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์เสนอรูปแบบและวิธีการจำลองการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์มากมาย โดยเป้าหมายที่จะทำให้สามารถของแบบจำลองเหมือนการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ โดยมีเป้าหมายที่จะทำให้ความสามารถของแบบจำลองเหมือนการทำงานโดยใช้มนุษย์มากที่สุด

### 2.6.1 ระบบประสาทมนุษย์

ในสมองและระบบประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของระบบประสาททุกส่วนในร่างกายของมนุษย์จำนวนมากมาย แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์ (Cellular body or Soma) ซึ่งภายในมีนิวเคลียสอยู่ (Nucleus) ตัวเซลล์มีเส้นใยยื่นออกมาจำนวนหนึ่งเรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) กระจายอยู่รอบเซลล์ และมีเส้นใยเส้นหนึ่งที่ยาวที่สุดเรียกว่า แอกซอน (Axon) โดยที่ปลายของแอกซอนเชื่อมต่อกับเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทตัวอื่นที่อยู่ข้างเคียง เรียกจุดที่เชื่อมต่อนี้ว่า ไซแนปส์ (Synapse) ซึ่งเป็นช่องเล็กๆ

การทำงานของเซลล์ประสาทรุนั้น เกิดจากการกระตุ้นโดยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่ซับซ้อน โดยมีการสร้างสารเคมีซึ่งเหมือนเป็นสัญญาณแพร่จากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังอีกเซลล์ประสาทหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง สารเคมีที่ถูกสร้างขึ้นจะปล่อยจากแอกซอนเป็นศักย์ไฟฟ้าสูงไปต่ำ เมื่อศักย์ไฟฟ้ามีค่าที่ระดับหนึ่ง (ระดับ Threshold ค่าหนึ่ง) ศักย์ไฟฟ้ากระตุ้น (Action potential) จะถูกส่งผ่านไซแนปส์ไปยังเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทตัวถัดไปที่อยู่ข้างเคียง ไซแนปส์ที่มีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรียกว่า สถานะกระตุ้น (Excitatory) และไซแนปส์ที่มีศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า สถานะพักฟื้น (Inhibitory) กลไกที่กล่าวมานี้เป็นกลไกการทำงานพื้นฐานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์



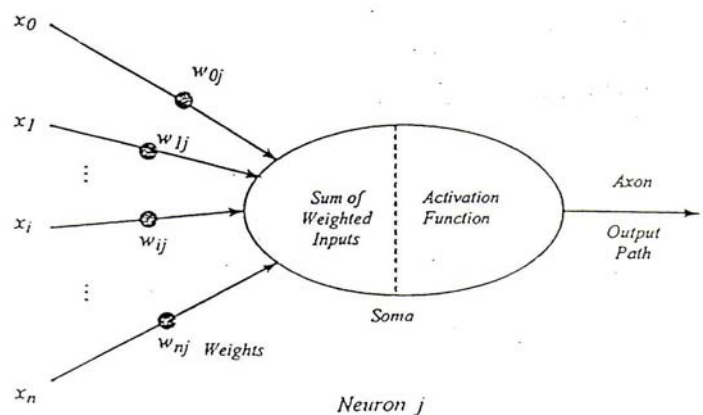
รูปที่ 2.21 เซลล์ประสาท (Neuron) [17]

สามารถสรุปการทำงานของระบบประสาทโดยมีสาระสำคัญดังนี้

1. เซลล์ประสาท เป็นหน่วยความจำพื้นฐานและเป็นอิสระ
2. อินพุตของระบบ คือ การกระตุ้นจากเซลล์ประสาทอื่นที่อยู่ข้างเคียง
3. เอาท์พุตของระบบ คือ การกระตุ้นการทำงานไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ
4. การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุต โดยการกระตุ้นของอินพุตที่เพียงพอ (ระดับ Threshold)
5. การติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาท ผ่านไปทางไซแนปส์

### 2.6.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model)

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นประกอบด้วยโนด (Node) หรือหน่วย (Unit) จำนวนหนึ่งเปรียบเทียบได้กับตัวเซลล์แต่ละหน่วยจะมีการเชื่อมโยงต่อกัน (Link) ทำหน้าที่เหมือนเป็นไซแนปส์ (Synapse) ในเซลล์ประสาท และแต่ละการเชื่อมต้อมีจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยมูลฐานในการเก็บข้อมูลของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และจะต้องมีการเรียนรู้เพื่อจะปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ บางหน่วยจะมีการเชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก (External environment) ซึ่งเป็นส่วนกำหนดข้อมูลในหน่วยของอินพุต หรือหน่วยของเอาต์พุต ค่าถ่วงน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยพยายามที่จะนำค่าอินพุตและค่าเอาต์พุตแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมปรับเข้าสู่ทิศทางเดียวกับสภาพแวดล้อมของอินพุต



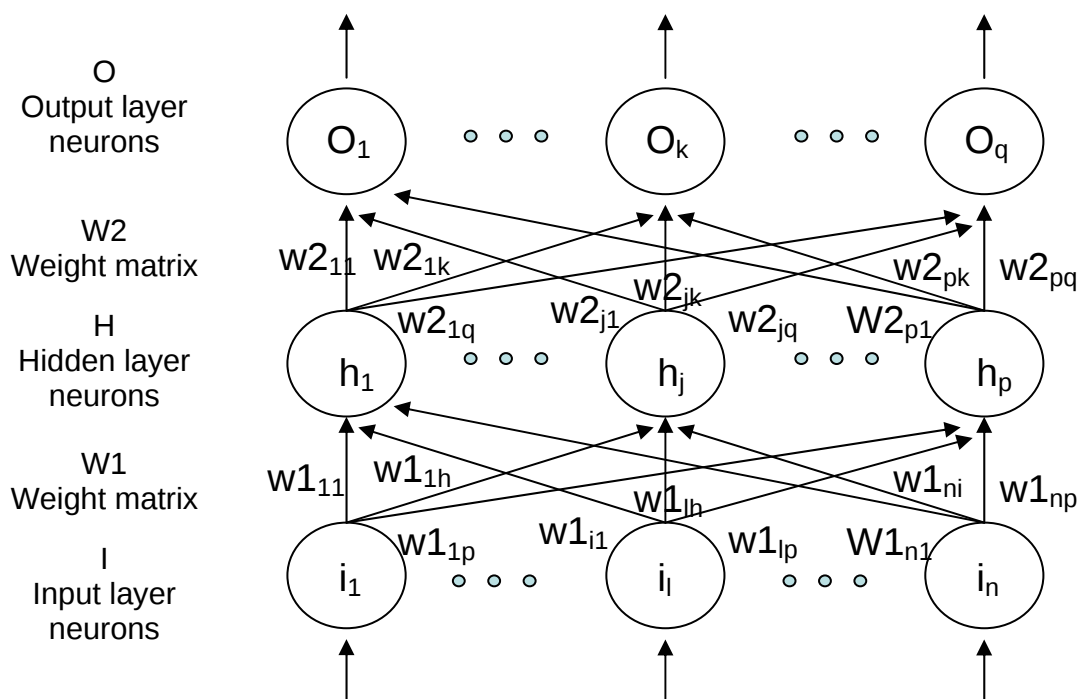
รูปที่ 2.22 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม [17]

แต่ละหน่วยของประสาทของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย อินพุตชุดหนึ่งที่จะเชื่อมต่อไปยังหน่วยอื่น เอาต์พุตชุดหนึ่งที่เชื่อมโยงมาจากหน่วยประสาทอื่น ระดับการกระตุ้น ณ สภาวะปัจจุบัน และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณระดับกระตุ้นที่ช่วงเวลาถัดไปจากค่า

อินพุต และค่าถ่วงน้ำหนัก แนวคิดในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ที่ว่าในแต่ละหน่วยประสาท จะทำการคำนวณโดยอาศัยค่าอินพุตจากหน่วยที่ข้างเคียง ในทางปฏิบัติแบบจำลองโครงข่ายประสาท เทียมส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นมาโดยซอฟต์แวร์ และการควบคุมตามเวลาในการปรับเปลี่ยนทุกหน่วยให้ เป็นลำดับที่แน่นอนการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมประยุกต์ใช้ในงานอย่างหนึ่งอย่างใด ชั้นแรก จะต้องตัดสินใจให้ได้ว่าจะต้องมีหน่วยประสาททั้งหมดเท่าไร หน่วยประสาทที่เหมาะสมนั้นเป็น อย่างไร และทำอะไรหน่วยประสาททั้งหมดจึงสามารถเชื่อมต่อกันในรูปของโครงข่ายได้ ชุด ตัวอย่างในการฝึกหัดเหล่านั้น ใช้อัลกอริธึมในการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักให้กับงาน นั้นๆ แล้วจึงใช้ชุดตัวอย่างนำมาตัดสินใจว่าจะเข้ารหัสในชุดของอินพุตและเอาต์พุตของแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมอย่างไร

### 2.6.3 แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model)

เป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างกว้างขวาง เป็น แบบจำลองที่ใช้หลักการเรียนรู้แบบมีการสอนเป็นสำคัญ โดยต้องมีชุดข้อมูลที่ดีพอและเหมาะสมใน การนำไปใช้ในการฝึกหัดให้กับแบบจำลอง แบบจำลองเป็นไปดังรูปที่ 2.23 แบ่งออกเป็น 3 ชั้น (Layer) ได้แก่ ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นที่ซ่อนไว้ (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer)



รูปที่ 2.23 แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model) [17]

แต่ละชั้นจะรับอินพุตจากเอาต์พุตของชั้นที่อยู่ก่อนหน้าชั้นที่ถูกซ่อนไว้ โดยจะไม่สามารถสังเกตเห็นอินพุตและเอาต์พุตได้โดยตรง เนื่องจากอินพุตของชั้นนี้ไม่ได้รับมาจากภายนอก แต่ได้มาจากเอาต์พุตของชั้นที่อยู่ก่อนหน้า และเอาต์พุตของชั้นนี้ก็ไม่ได้เป็นเอาต์พุตจริงๆที่ต้องการ แต่จะเป็นเอาต์พุตที่จะส่งอินพุตให้กับชั้นถัดไป ชั้นที่ถูกซ่อนไว้นี้จะมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา

## 2.7 การสึกหรอของใบมีด (Tool wear)

เนื่องจากงานไม้ไม่สามารถใช้สารหล่อลื่น หรือ สารหล่อเย็นขณะทำการกัดได้เหมือนกับในงานโลหะได้ ดังนั้นการสึกหรอของใบมีดค่อนข้างรวดเร็ว และเป็นปัญหาสำหรับกลุ่ม ผู้ประกอบการ ประสบอยู่มาก เพราะเมื่อใบมีดสึกหรอจะต้องนำไปทำการลับคมใหม่ ทำให้ต้องทำการหยุดการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ และทำการเปลี่ยนใส่ใหม่แทนที่อันเดิม เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนใบมีดกัดดังกล่าวอาจนานถึง 20 นาที ซึ่งหมายความว่า การลดลงของอัตราการผลิตนั่นเอง นอกจากนี้ การนำใบมีดที่สึกหรอไปทำการลับคมใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของใบมีดที่มีรูปร่าง (Profile) ซับซ้อน หลังจากการลับคมใหม่แล้ว ปัญหาต่างๆ เช่น รูปร่างของใบมีดที่เปลี่ยน และขนาดของใบมีดที่คลาดเคลื่อนไปจากเดิม หรือ ความแม่นยำไม่ได้ดังเดิม สามารถพบได้บ่อย ดังนั้นการหาเงื่อนไขในการตัดที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสึกหรอมากเกินไป ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในกระบวนการตัด

### 2.7.1 ชนิดของการสึกหรอของมีดตัด

การสึกหรอสามารถแบ่งได้ตามตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอขึ้นได้ดังนี้

#### 2.7.1.1 การสึกหรอด้านข้าง (Flank wear)

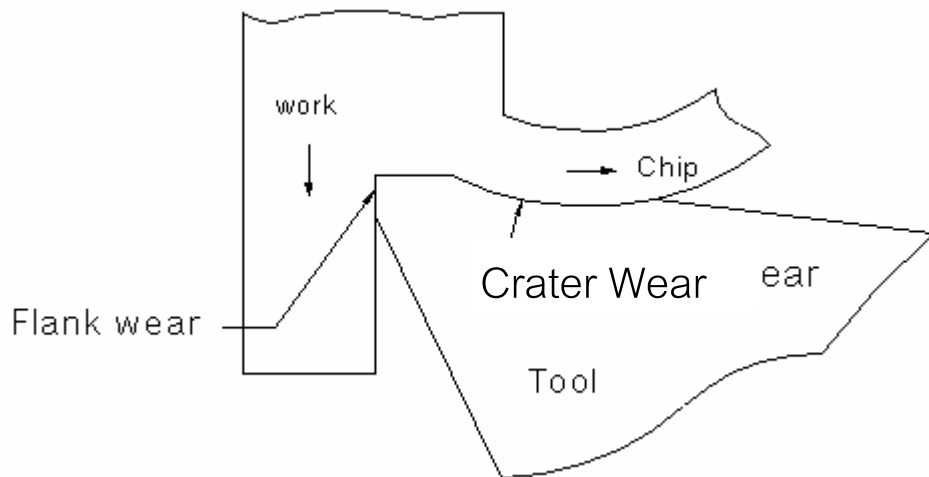
การสึกหรอด้านข้างจะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดดังแสดงในรูปที่ 2.24 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกับวัสดุที่กำลังทำการตัดเฉือน เมื่อการสึกหรอเกิดขึ้นมากก็จะมี การขัดสีเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย

#### 2.7.1.2 การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear)

การสึกหรอบนผิวคาย จะมีคุณลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึก เกิดใกล้ๆกับคมตัด การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไหลของเศษชิ้นงานไปบนผิวคายของมีด เมื่อการสึกหรอบนผิวคาย เกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้

### 2.7.1.3 การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear)

การสึกหรอที่ปลายมีดหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกับวัสดุที่กำลังตัดเฉือน การสึกหรอที่ปลายมีดบนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน



รูปที่ 2.24 ชนิดการสึกหรอบนมีดคมตัด [21]

### 2.7.2 อายุการใช้งานของใบมีด (Tool Life)

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่าอายุการใช้งานของใบมีดมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อต้นทุนการผลิต การวัดอายุการใช้งานของใบมีดนั้นอาจจะเริ่มนับอายุจากเวลาที่ใบมีดเพิ่งลับใหม่ จนกระทั่งถึงเวลาที่ใบมีดเสื่อมสภาพจนไม่สามารถทำการตัดโลหะให้ได้ดีตามที่ต้องการ ซึ่งใบมีดอาจจะกะเทาะหรือร้าวลงจริงๆ หรือเพียงแค่สึกหรอก็ได้ เวลาของอายุการใช้งานมักเป็นเวลาของการใช้งานจริงๆ คือเวลาของการตัดโลหะจริงๆ นอกจากจะวัดอายุการใช้งานของใบมีดในหน่วยเวลาแล้ว ยังอาจวัดเป็นหน่วยอื่นๆ เช่น จำนวนปริมาตรของวัสดุงานที่ถูกตัดออกไปก่อนใบมีดจะสิ้นสภาพ เป็นต้น

### 2.7.3 การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุของใบมีด (Tool life criterion)

ปัญหาข้อหนึ่งในเรื่องเกี่ยวกับอายุการใช้งานของใบมีดก็คือ ปัญหาที่ว่าเราจะเอาอะไรมาเป็นข้อบ่งบอกว่าใบมีดนั้นหมดสภาพการใช้งานแล้ว ซึ่งข้อบ่งบอกเหล่านี้จำเป็นต้องแตกต่างกันออกไปตามสภาวะของการตัด ลักษณะของการเสื่อมสภาพ และขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลผลิตที่ผู้ผลิตได้ตั้งไว้อีกด้วย หากจะกล่าวอย่างกว้างๆ แล้ว ข้อบ่งบอกว่าใบมีดหมดสภาพแล้วนั้นแม้จะมีอยู่มากมายก็อาจจะรวมอยู่ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือตัวใบมีดเป็นหลัก ซึ่งได้แก่ การพิจารณาสภาพของใบมีดโดยอาจถือว่าใบมีดสิ้นสภาพเมื่อ

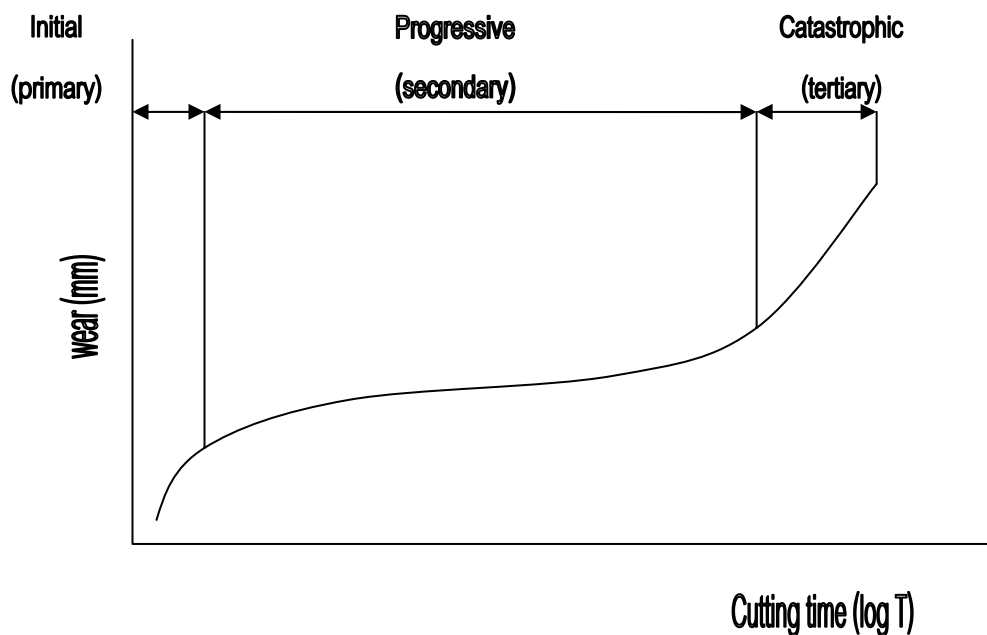
- คมมีดกะเทาะหรือร้าว
- ขนาดของการสึกหรอด้านข้างใหญ่เกินไป
- ขนาดการสึกหรอบนผิวคายสึกเกินไปหรือใหญ่เกินไป หรือกว้างเกินไป
- พิจารณาทั้งการสึกหรอด้านข้างและการสึกหรอบนผิวคายประกอบเข้าด้วยกัน
- ปริมาตรหรือน้ำหนักของเนื้อสารที่สึกออกจากใบมีดมีค่ามากเกินไป
- ใบมีดแตกหักลงจริงๆ

2. การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือเอาชิ้นงานเป็นหลัก เป็นต้นว่า

- ความขรุขระของพื้นผิวของชิ้นงานมีค่าสูงเกินไป
- ขนาดของชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีขนาดไม่ถูกต้องตามที่กำหนด
- แรงหรือกำลังในการตัดโลหะมีค่าสูงเกินไป

ในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการใช้ขนาดของการสึกหรอเป็นเครื่องมือในการบ่งบอก การเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพของใบมีด

เวลาในการตัดเฉือนที่มีประโยชน์แท้จริง (Effective cutting time) หรืออายุการใช้งานของ ใบมีดเป็นเวลาก่อนที่การสึกหรอของคมตัดจะมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของ คมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของใบมีด นั้นอาจจะประมาณจากขนาดของ การสึกหรอบนผิวคายหรือขนาดของการสึกหรอด้านข้างก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการ ประมาณอายุการใช้งานของใบมีดจะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่าง รวดเร็วและส่งผลให้ใบมีดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอด้านข้างในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่ามี 3 ขั้นตอนดังแสดงใน รูปที่ 2.25 คือ การสึกหรอขั้นแรก (Primary wear or Initial wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary wear or Progressive wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary wear or Catastrophic wear)



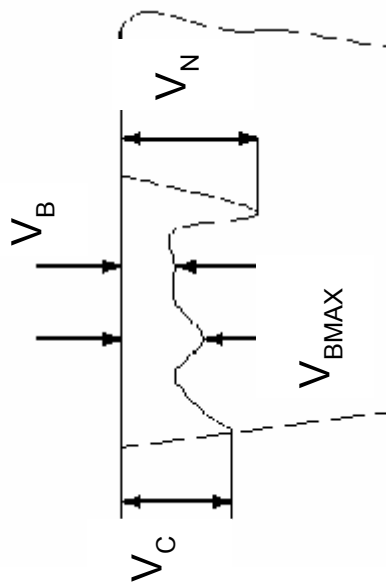
รูปที่ 2.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการพัฒนาการสึกหรอด้านข้างกับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด [21]

การสึกหรอขั้นแรก เมื่อนำมีดกลึงที่เพิ่งลับใหม่ หรือใบมีดอินเสิร์ตใหม่มาใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว จากกราฟแสดงขนาดการสึกหรอเทียบกับเวลา แสดงให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในขั้นแรกสูงมาก ซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือน และวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

การสึกหรอขั้นที่สอง การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในขั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ คือ อัตราการสึกหรอน้อยกว่าในช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่าจุดวิกฤติของการสึกหรอด้านข้างซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของใบมีด ในกรณีนี้จะสิ้นสุดเมื่อการสึกหรอด้านข้างมีขนาดมากกว่า 8 mm.

การสึกหรอขั้นที่สาม การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอขั้นสุดท้าย การสึกหรอจะเกิดขึ้นมากและรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) ของใบมีดหรืออินเสิร์ต การสูญเสียสภาพการใช้งาน นี้เกิดจากการประกอบกันของการสึกหรอด้านข้างที่มีค่าสูงกับการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่

การใช้ขนาดของการสึกหรอด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 2.26 เป็นเครื่องมือในการบ่งบอกการเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพของใบมีด โดยทั่วไปจะกำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพเมื่อใบมีดมีขนาดของการสึกหรอด้านข้างเฉลี่ย  $V_B$  มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 mm.



รูปที่ 2.26 การสีกหอบนผิวใบมีดด้านข้าง [21]

## 2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

เทคโนโลยีการตัดไม้เริ่มต้นในการพัฒนาอย่างจริงจังเมื่อราวปลายปี ค.ศ. 1979 โดยมี นิตยสารทางด้านเทคโนโลยีไม้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านไม้ตั้งแต่ปี 1979-1989 ไว้ดังนี้ [24] งานวิจัยที่สำคัญ เริ่มปี ค.ศ. 1979 โดย Hiram Hallock ได้ทำการศึกษาผลกระทบของรอยตัดบนไม้โดยอาศัยการพัฒนาโปรแกรมพื้นฐานของ Best opening face computer sawing program เพื่อให้ได้ปริมาณในการแปรรูปไม้ให้ได้มากที่สุด โดยโปรแกรมนี้อูกบั่นทึงเป็นโปรแกรมพื้นฐานของการหาจุดที่เหมาะสมในเทคโนโลยีการแปรรูปไม้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 Phil Quelch ได้ทำการศึกษาการแปรรูปไม้โดยศึกษาอัตราการป้อนตัด ความเร็วของใบเลื่อย ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ระยะการกินลึก เพื่อหาจุดที่ทำให้ประสิทธิภาพการแปรรูปไม้ดีที่สุด ต่อมาปี ค.ศ. 1981 E.W. Al Thrasher Lumber Co. ศึกษาวิธีการเพิ่มจำนวนไม้ที่แปรรูปจากไม้ซุง โดยการพัฒนาการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในการตัดไม้โดยอาศัยการควบคุมระยะเพื่อใช้ในการควบคุมสถานะการตัดไม้ให้เป็นไปตามการศึกษาของ Phil Quelch ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 Brown, Oregon State University ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมในการควบคุมคุณภาพในการแปรรูป ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 James D'A.Clark ได้ทำการคิดค้นการทำแผ่นไม้ชนิดบาง (Waferboard) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมไม้ประกอบโครงสร้าง ต่อมาในปี ค.ศ. 1988 Thomas Malony, Washington State University ได้ทำการพัฒนานำเศษไม้มาทำการขึ้นรูปในรูปของวัสดุผสมหรือเรียกอีกอย่างว่า Particleboard ต่อมาในปี ค.ศ. 1989 Forintek Canada Corporation ได้ทำการศึกษาการควบคุมความชื้นในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดไม้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1999 Palmqvist และ Gustafsson [6] ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นที่เกิดจากการตัดไม้ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง โดยใช้ไม้สามชนิด คือ ไม้สน บีช (Beech) และ แผ่นใยไม้

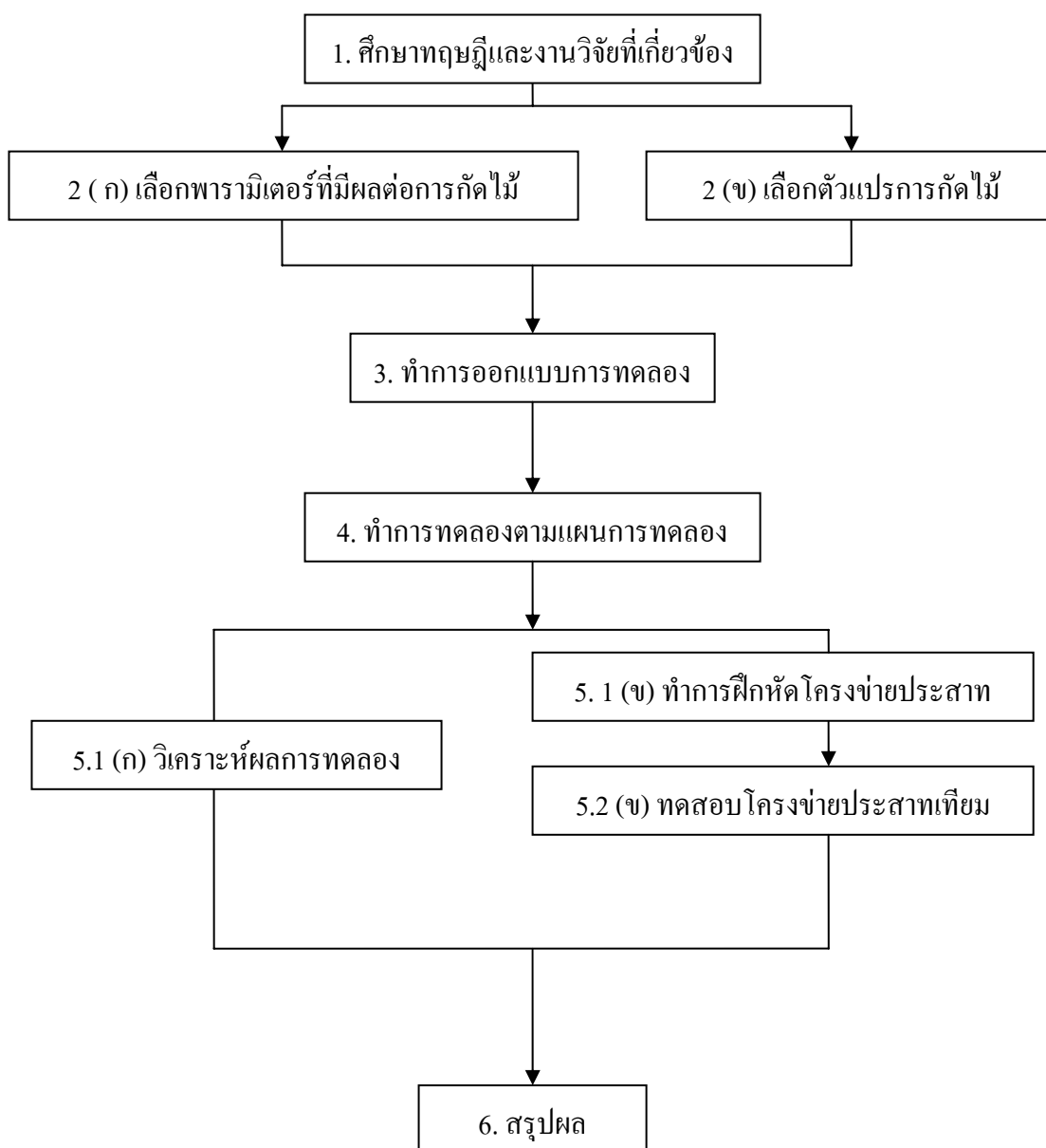
อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) โดยพารามิเตอร์คือ ความชื้น มุมคายเศษ ค่าเฉลี่ยของเศษไม้ ความเร็วตัด และทำการเก็บและวัดขนาดของเศษที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของเศษและความชื้นของเนื้อไม้ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นมากที่สุด ในส่วนของความเร็วตัดและมุมคายเศษมีผลเล็กน้อย และชนิดของไม้ที่ทำให้เกิดฝุ่นมากที่สุดคือ แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ซึ่งมากกว่าไม้บีช ถึง 1.5 เท่าและไม้สนถึง 6 เท่า และในปีเดียวกัน Ratnasinggam และ Perkins [8] ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ในรูปของสมการที่เกี่ยวข้องในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ในส่วนต่างๆคือ วัตถุดิบ ความชำนาญของแรงงาน ใบมีดและเครื่องจักรในการทำงาน ซึ่งมีผลโดยตรงกับต้นทุนการผลิต แต่งานวิจัยที่รวบรวมมาไม่มีงานวิจัยที่ระบุถึงการหาสภาวะการกัดจากซีเอ็นซี ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 Cyra และคณะ [14] ทำการศึกษาเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมของการกัดเทียบกับแนวเส้นไม้ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อมุมตัดเฉือนมีค่าลดลงปริมาณเสียงที่เกิดขึ้นสูงขึ้นตามไปด้วย ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 Aguilera และ Martin [7] ได้ทำการศึกษารองในการกัด พลังงานที่ใช้ในการกัด ความเรียบผิวโดยใช้ไม้บีช และไม้ตระกูลสนโดยพารามิเตอร์คือ ระยะการกินลึก 2 ค่า อัตราการป้อนกัด 6 ค่า และความเร็วรอบ 3 ค่า โดยให้ความหนาและความกว้าง ในการกัดคงที่ ผลที่ได้คือที่ระยะการกินลึกมีผลต่อแรงในการกัดไม่มากนัก แต่ลักษณะการกัดแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut) ที่ระยะการกินลึก 5 มิลลิเมตรให้ค่าแรงในการกัดต่างกับที่ 3 มิลลิเมตรอยู่ 8.3 % และอัตราการป้อนกัดที่ 17 เมตรต่อนาที ทำให้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการกัดของไม้ตระกูลสนมากกว่าไม้บีชอยู่ 53 % และความเรียบผิวที่ได้ขึ้นกับอัตราการป้อนกัดและระยะการกินลึก ในปีเดียวกัน Chang Xue [25] ได้ทำแบบจำลองในการทำนายความเรียบผิวในการกัดพวกโลหะ โดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับการวิเคราะห์เชิงถดถอย โดยตัวแปรที่ใช้ในการทำนายคือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนกัด ระยะการกินลึก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินใช้เพียง 2 ระดับเท่านั้นคือสูงและต่ำ ผลการทดลองค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ในปี ค.ศ. 2002 Heisel และ Kronendorfer [26] ได้ทำการศึกษากำหนดทำนายความเรียบผิวจากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการกัดโดยใช้ใบมีดกัด (Milling) ในการกัดไม้ จากการทดลองความเรียบผิวที่ได้ขึ้นอยู่กับสั่นสะเทือนของใบมีด คือที่ใบมีดมีการสั่นสะเทือนมากความเรียบผิวที่ได้ไม่ดี ในทางกลับกันที่ใบมีดมีการสั่นสะเทือนน้อยให้ค่าความเรียบผิวที่ดี

จากงานวิจัยข้างต้นที่กล่าวมาเห็นได้ว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาตัวแปรโดยทั่วไป โดยไม่มีการระบุชนิดของไม้ที่แน่นอน ซึ่งไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงเนื่องจากว่าคุณสมบัติของไม้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศที่ใช้ในการปลูกไม้ ชนิดของไม้ ซึ่งงานวิจัยที่ทำนี้มีการระบุชนิดไม้ที่ใช้ในการทดลองคือ ไม้ยางพารา ซึ่งไม้ยางพารายังไม่มีงานวิจัยออกมาเนื่องจากว่าไม้

ยางพาราเพิ่งมาเป็นที่ยอมรับในการทำเฟอร์นิเจอร์กันอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบัน และยังเป็นไม้ที่เนื้อไม้ไม่แข็งแรงมาก ทำให้มีตัวแปรต่างๆตามธรรมชาติของไม้ยางพารามีความซับซ้อนมากกว่าไม้เนื้อแข็ง และจากการสำรวจเอกสารสามารถนำมาเป็นแนวทางในการวิจัยได้ จากส่วนของแรงในการกัดที่มีผลต่อระยะกินลึกคือ ถ้าระยะการกินลึกไม่แตกต่างกันมาก ค่าแรงในการกัดไม่แตกต่างกัน ส่วนรูปแบบการกัด (Upcut/Downcut) นั้นมีผลต่างกันเล็กน้อย แต่ในงานวิจัยที่จะทำการศึกษามีการเก็บข้อมูลความเร็วในการกัดและอัตราการป้อนที่ละเอียดกว่างานวิจัยทั่วไป และในส่วนของการทำงาน ความเรียบผิวจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้น มีการใช้ข้อมูลในการฝึกหัดค่อนข้างมากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา โดยสรุปงานวิจัยนี้มุ่งเน้นทางด้านความเรียบผิว อัตราการผลิต โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วรอบในการผลิต อัตราการป้อน ระยะการกินลึก ชนิดของใบมีด รูปร่างของใบมีด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด ให้มีการครอบคลุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกว้างมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยทั่วไปที่มีการเก็บข้อมูลค่อนข้างน้อย

### บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาได้ใช้เครื่องมือต่างๆ สำหรับการเตรียมชิ้นงาน และทดลองในโรงปฏิบัติงานของ  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ และเครื่องมือวัดความเรียบผิวในห้องปฏิบัติการวัดละเอียดของ  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าธนบุรี โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการงานการวิจัย

### 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

#### 3.1.1 กรณีใบมีดเพชรหลายผลึก

##### 3.1.1.1 ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 15,000 18,000 และ 21,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 8 12 และ 15 เมตรต่อนาที

##### 3.1.1.2 เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ระยะการกินลึก 10 มิลลิเมตร
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

#### 3.1.2 กรณีใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด

##### 3.1.2.1 แบบคมตัดตรง (Straight)

###### ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

###### ข) เงื่อนไขที่กำหนดให้คงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

##### 3.1.2.2 แบบคมตัดรูปร่าง (Profile)

###### ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

###### ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร

- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

### 3.1.3 กรณีใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้

#### 3.1.3.1 แบบคมตัดตรง (Straight)

##### ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

##### ข) เงื่อนไขที่กำหนดให้คงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

#### 3.1.3.2 แบบคมตัดรูปร่าง (Profile)

##### ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 13,100 14,000 และ 14,700 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

##### ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 22 มิลลิเมตร

### 3.1.4 การศึกษาอิทธิพลของมุมตัดเฉือนและอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด

##### ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- มุมตัดเฉือน 0 และ 5 องศา
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 22 และ 26 มิลลิเมตร
- อัตราการป้อนกััด 3 และ 9 เมตรต่อนาที

##### ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- มีดแบบคมตัดรูปร่าง

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ความเร็วรอบ 18,000 14,800 และ 12,000 รอบต่อนาที โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 22 และ 26 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ความเร็วตัดคงที่เท่ากับ 1,020 เมตรต่อนาที)

### 3.1.5 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดตัด

#### ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ระยะการตัด 200, 400, 700 และ 1000 เมตร (แล้วจะนำไปวัดขนาดการสึกหรอด้านข้างของคมตัด วัดความเรียบผิวที่เป็นผลมาจากการสึกหรอของใบมีด และวัดกระแสไฟฟ้าขณะทำการตัด

#### ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ใบมีดคมตัดตรงแบบเชื่อมติด
- การตัดตามทิศทางการป้อน
- อัตราการป้อนกัดเท่ากับ 9 เมตรต่อนาที และความเร็วรอบเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที

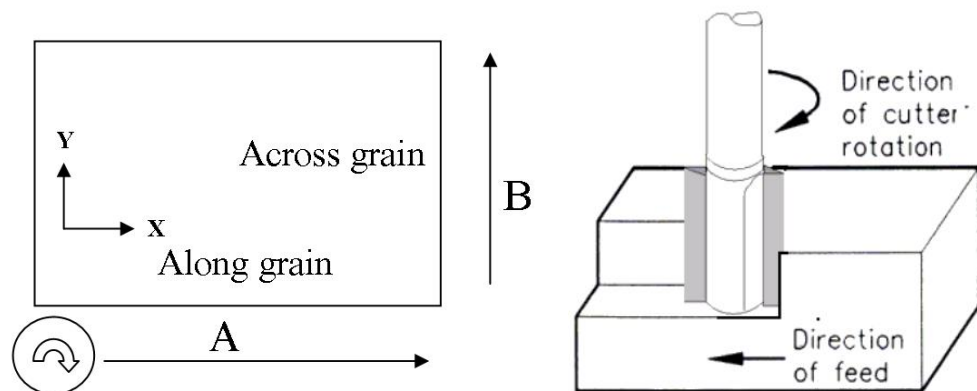
การทดลองทั้งหมดหากไม่รวมการศึกษการสึกหรอของใบมีดตัดมีทั้งสิ้น 189 สภาวะการกัด ในแต่ละสภาวะการกัดยังแยกการกัดเป็นแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อน และการกัดแบบตามเส้นไหมและขวางเส้นไหม ซึ่งแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยสามารถแยกสภาวะการกัดได้เป็น

1. ใบมีดเพชรหลายผลึก 9 สภาวะการกัด
2. ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด 84 สภาวะการกัด
  - คมตัดตรง 42 สภาวะการกัด
  - คมตัดรูปร่าง 42 สภาวะการกัด
3. ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้ 84 สภาวะการกัด
4. อิทธิพลของมุมตัดเฉือนและอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 12 สภาวะการกัด

หมายเหตุ การทดลองของใบมีดเพชรหลายผลึกที่ไม่ทำในสภาวะการกัดเดียวกับใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ เนื่องจากว่าสภาวะการทำงานของใบมีดทั้งสองแบบแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง คือ ใบมีดเพชรหลายผลึกต้องใช้งานที่สภาวะการกัดที่มีความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์

### 3.2 ลักษณะการกัดไม้

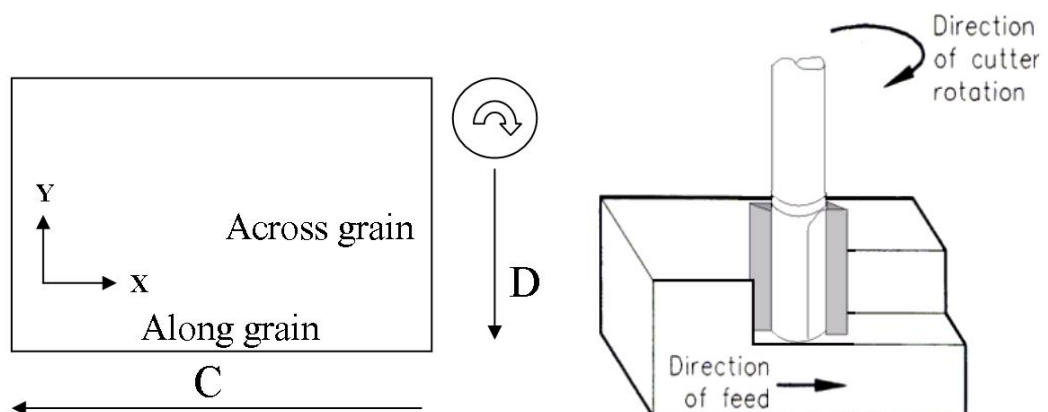
ไม้ 1 แผ่นจะทำการกัดทั้งหมด 2 ครั้ง โดยเป็นการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน 1 ครั้ง (ดังรูป 3.2) และตามทิศทางการป้อนกัดอีก 1 ครั้ง (ดังรูป 3.3) และแต่ละครั้งจะมีการกัดสองลักษณะคือ เป็นการกัดแบบขนานเส้นไม้และขวางเส้นไม้ (A B C และ D ในรูปที่ 3.2 และ 3.3)



A กรณีกัดขนานเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Upcut)

B กรณีกัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนกัด (Across Grain, Upcut)

รูปที่ 3.2 ทิศทางการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน



C กรณีกัดขนานเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Downcut)

D กรณีกัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Across Grain, Downcut)

รูปที่ 3.3 ทิศทางการกัดแบบตามทิศทางการป้อน

### 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผล

#### 3.3.1 คุณภาพผิว (Surface Integrity)

ก) ความเรียบผิว (Surface finish) สามารถวัดได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว ซึ่งอาศัยหลักการลากหัววัดความเรียบผิวบนผิวไม้ที่ต้องการทำการวัด แล้วส่งข้อมูลไปที่โปรแกรมเฉพาะของเครื่องวัด (Taylor-Hobson instrument) เพื่อประเมินผลเป็นค่าความเรียบผิวและแสดงผลในรูปกราฟกำลังสองสมบูรณ์ (Root Mean Square; Rq) และยังสามารถคำนวณโดยทฤษฎีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการวัดเครื่องวัดความเรียบผิว ซึ่งค่าจากการคำนวณอยู่ในรูปเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพผิวเพราะรอยลึกของคมตัดที่ลึกและรูปของรอยลึกของคมตัด ซึ่งบางครั้งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหรือสัมผัสด้วยมือได้

การวัดความเรียบผิวจะวัดในแนวตามยาวของชิ้นงานซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของใบมีดกัด โดยตำแหน่งที่ทำการวัดต้องไม่เป็นร่องของเลื่อยไม้ ไม่มีขุย ไม่มีกรรณิก หรือพื้นผิวที่มีการหลุดของเนื้อไม้เพื่อไม่ให้หัวเข็มของเครื่องวัดความเรียบผิวเสียหาย (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.)

ข) ขุยไม้ (Flake) คือ เศษของเนื้อไม้ที่ไม่สามารถกัดออกได้หมด และยึดติดอยู่บนผิวชิ้นงาน ซึ่งขุยของเนื้อไม้นั้นยังแยกออกเป็นขุยที่ไม่ทำให้เนื้อไม้เกิดความเสียหาย และขุยที่ทำให้เนื้อไม้เสียหาย การเกิดขุยบ่งบอกถึงขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต (ตัวอย่างการกัดที่มีขุยเกิดขึ้นสามารถดูภาพจากภาคผนวก ก.)

ค) ความเสียหายของไม้ (Surface defect) แยกออกเป็นความเสียหายจากการฉีกของเนื้อไม้และความเสียหายจากการหลุดของเนื้อไม้ ซึ่งความเสียหายทั้งสองแบบถือว่าเป็นความเสียหายที่ร้ายแรงไม่สามารถทำการแก้ไขได้โดยการขัด (สามารถดูภาพจากภาคผนวก ก.)

ง) รอยไหม้ของไม้ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มขึ้น และแนวโน้มการสึกหรอที่รวดเร็วของใบมีด

### 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

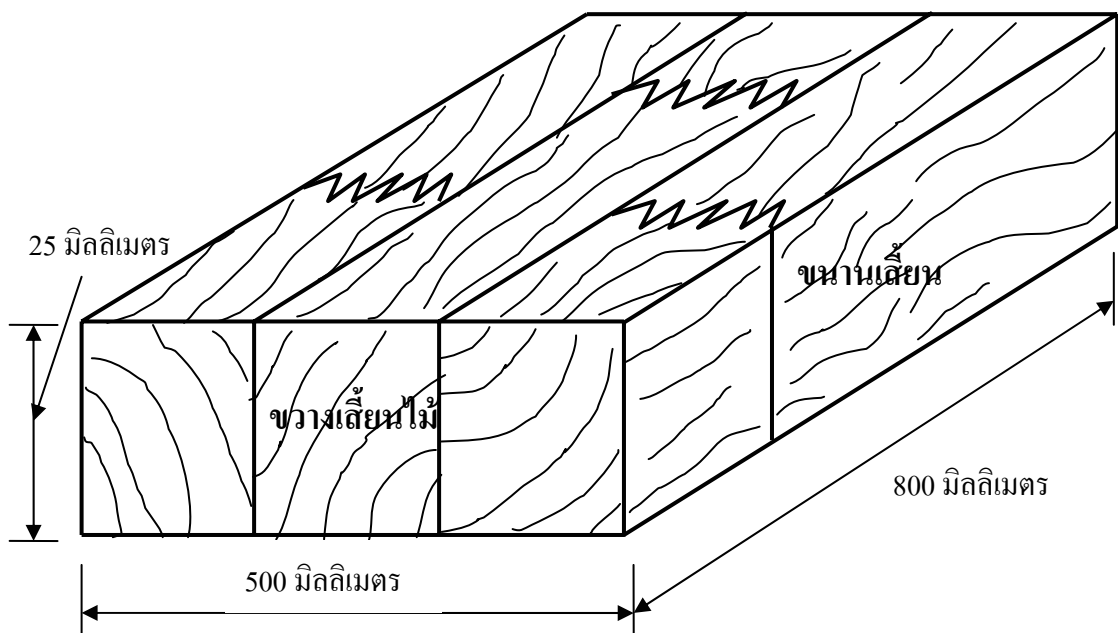
- เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (รูปที่ 3.4) สำหรับงานไม้ รุ่น Winner 2.45 K ของ Masterwood โดยความเร็วรอบสูงสุด 24,000 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนกัดสูงสุด 24 เมตรต่อนาที



รูปที่ 3.4 เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง

-ไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองได้จากการต่อของไม้เข้าด้วยกันโดยยึดแบบพื้นปลา โดยขนาดและลักษณะของไม้ที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลอง

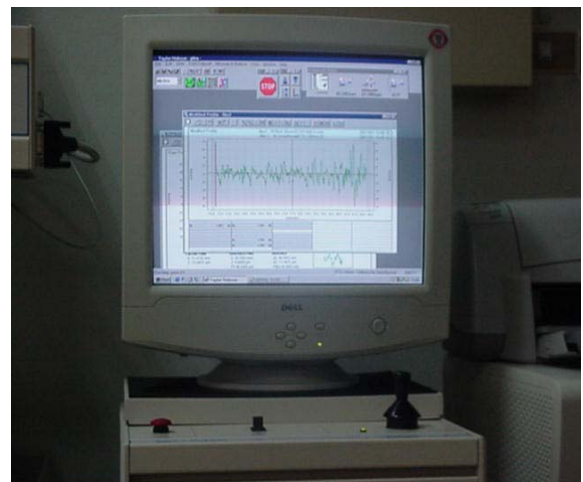
- ไบมีดกัดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด (Blazing Tool) แสดงในรูปที่ 3.6 โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18, 22 และ 26 มิลลิเมตร และไบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้



รูปที่ 3.6 แสดงไบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ใช้ทดลอง

- เครื่องวัดความเรียบผิวเทเลอร์-ฮอบสัน (Taylor Hobson Instrument) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

เครื่องวัดความเรียบผิวชนิดเข็มลาก เป็นเครื่องมือวัดผิวหน้าชิ้นงานแบบสัมผัส ความสูงของเครื่องสามารถปรับได้ เพื่อให้เข็มลากหัวเพชรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด เข็มลากนี้ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ทั้งหมดยกเว้นในแนวตั้ง การขยายสัญญาณของเครื่องมือวัดผิวหน้าชนิดนี้จะเร็วและมีความละเอียดเที่ยงตรงสูง ที่เครื่องจะมีตัวบันทึกสัญญาณซึ่งจะทำหน้าที่บันทึกสัญญาณที่รับจากเข็มลากที่กระทำบนผิวหน้าชิ้นงาน และส่งผลที่ได้แปลงเป็นค่าความเรียบผิวในรูปของการวัดแบบต่างๆ



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความเรียบผิวเทเลอร์-ฮอบสัน

- เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบแคลมป์ออนมิเตอร์ (Clamp-On Meter) แสดงในรูปที่ 3.8

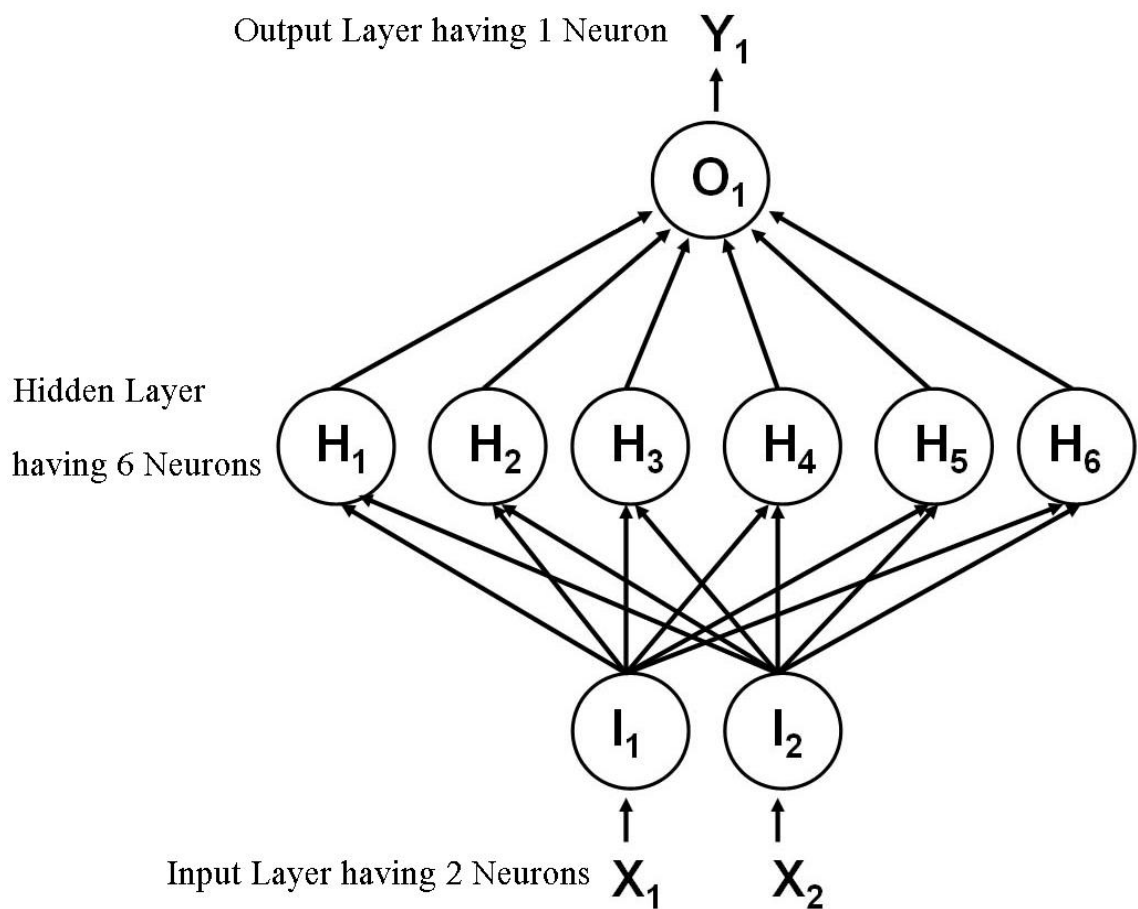


รูปที่ 3.8 เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบแคลมป์ออนมิเตอร์

แคลมป์ออนมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกักไม้ โดยใช้วิธีการคล้องสายไฟที่ทำการจ่ายไฟไปที่มอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วของใบมีด

### 3.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ในการทำนายคุณภาพผิว

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีด้วยกันหลายแบบจำลอง และแบบจำลองที่ดีที่สุดเหมาะสมและได้รับความนิยมมากที่สุดคือ แบบจำลองแบบแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation model) เนื่องจากว่าแบบจำลองแบคโพรพาเกชันไม่มีการเชื่อมโยงกันแบบย้อนกลับ (Feedback connection) แต่อาศัยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่าความผิดพลาดนั้นคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุด (Least mean squared error) ค่าความผิดพลาดเกิดจากการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการปรับค่าจนกว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Tolerable) โดยโครงข่ายประสาทที่ใช้ในการฝึกหัดดูได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกหัด

### 3.5.1 การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม

การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มต้นจากการเตรียมข้อมูลจะทำการฝึกหัดดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองซึ่งมีพารามิเตอร์อยู่ 2 ชุดคือ ความเร็วรอบมีอยู่ 4 ระดับ คือ 8,000 10,000 14,000 และ 18,000 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนกักมีอยู่ 5 ระดับ คือ 1 3 6 12 และ 15 เมตรต่อนาที ในงานวิจัยนี้ใช้การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งออกเป็นอินพุตคือ ความเร็วรอบ และ อัตราการป้อนกัก ส่วนเอาต์พุตคือ ความเรียบผิว การเกิดขุยไม้ และความเสียหายของไม้

ในงานวิจัยได้กำหนดอินพุตและเอาต์พุตที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

- ส่วนของอินพุตซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกักงานด้วยเครื่องซีเอ็นซี

$X_1$  = ความเร็วรอบ ที่ระดับ 8,000 10,000 14,000 และ 18,000 รอบต่อนาที

$X_2$  = อัตราการป้อนกัก ที่ระดับ 1 3 6 12 และ 15 เมตรต่อนาที

- ส่วนของเอาต์พุตซึ่งเป็นผลกระทบของค่าตัวแปรในการกักงานด้วยเครื่องซีเอ็นซี โดยค่าของเอาต์พุตมีทั้งหมด 3 ค่า ซึ่งทั้งสามเอาต์พุตนี้จะมีโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละเอาต์พุต แต่มีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเหมือนกัน เอาต์พุตทั้งสามแยกเป็น

$Y_1$  = ความเรียบผิว

$Y_2$  = การเกิดขุยไม้

$Y_3$  = ความเสียหายของไม้

เมื่อเตรียมข้อมูลแล้วทำการป้อนข้อมูลลงไปในส่วน of แบบจำลองแบคโพรพาเกชันและทำการกำหนดหน่วยประสาทในแต่ละชั้น โดยมีชั้นที่ซ่อนไว้ 1 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต (Input layer) 2 หน่วย ชั้นที่ซ่อนไว้ชั้นแรก (Hidden Layer) 6 หน่วย และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) 1 หน่วย และทำการตั้งค่าความผิดพลาด (Goal Error) ไว้ที่ 0.1 และค่าการเรียนรู้ (Learning Rate) ไว้ที่ 0.25 ของแบบจำลองให้เหมาะสม ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้นั้นหมายถึง ค่าความผิดพลาดจากการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์

```
Untitled*
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
[Icons] Stack: Base

1  clc;
2  clear;
3  % train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
4  p=[905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14
5     1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43
6     1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71
7     1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584
8     1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29
9     2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 ;
10
11  1 2 3 6 9 12 15
12  1 2 3 6 9 12 15
13  1 2 3 6 9 12 15
14  1 2 3 6 9 12 15
15  1 2 3 6 9 12 15
16  1 2 3 6 9 12 15 ];
17
18  % straight
19  t =
20  [1.6116 1.8242 2.2105 2.4815 2.5713 2.6231 2.3305
21   1.4340 2.1376 1.8409 2.2237 2.5704 2.4012 2.3246
22   1.6421 1.7963 1.8324 1.9140 2.4308 3.4041 3.4663
23   1.5767 1.6414 1.5488 2.3864 3.1689 2.5485 2.5183
24   1.6141 1.6468 1.5728 2.0026 2.2380 2.5622 2.2415
25   1.7217 1.7426 1.5995 1.5550 2.0237 2.4294 2.2635] ;
26
27  net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
28  net.trainParam.show=100;
29  net.trainParam.lr=0.6;
30  net.trainParam.mc=0.8;
31  net.trainParam.epochs=50000;
32  net.trainParam.goal=0.001;
33  net=train(net,p,t);
34
35  % weight of network
36  input_weight = net.iw{1,1}
37  output_weight = net.lw{2,1}
38  bias_hidden = net.b{1,1}
39  bias_output = net.b{2,1}
```

รูปที่ 3.10 ข้อมูลในชุดฝึกหัดของโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อป้อนข้อมูลลงไปในส่วน of แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน กำหนดหน่วยประสาทแต่ละชั้น กำหนดค่าความผิดพลาด และค่าการเรียนรู้ จากนั้นแบบจำลองแบคโพรพาเกชันจะทำการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและถูกต้อง และแสดงผลของเอาต์พุตที่ได้รับการฝึกหัด ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและถูกต้องที่สุดนั้นเมื่อเสร็จสิ้นการฝึกหัดโปรแกรมจะทำการเก็บค่าถ่วงน้ำหนักไว้ใช้ต่อไป ส่วนระยะเวลาในการฝึกหัดจะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาด ค่าการเรียนรู้ และขึ้นอยู่กับปริมาณของข้อมูลที่ใช้ทำการฝึกหัด

## บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

### 4.1 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึก (Polycrystal Diamond; PCD)

#### 4.1.1 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อคุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

##### 4.1.1.1 ลักษณะผิวกัดที่ได้

ตารางที่ 4.1 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานกรณีใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก

| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (m/min) |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |
|-------------------|-------------|--------------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|
|                   |             | 8            |     |         |     | 12    |     |         |     | 15    |     |         |     |
|                   |             | Upcut        |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     |
|                   |             | ขุย          | ฉีก | ขุย     | ฉีก | ขุย   | ฉีก | ขุย     | ฉีก | ขุย   | ฉีก | ขุย     | ฉีก |
| Along grain       | 15,000      | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ○       | ✓   |
|                   | 18,000      | ⊙            | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | △     | ✓   | ○       | ✓   |
|                   | 21,000      | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ⊙     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊙       | ✓   |
| Across grain      | 15,000      | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✓   | △       | ✓   |
|                   | 18,000      | ✱            | ✓   | ○       | ✓   | ⊙     | ✓   | △       | ✓   | ✱     | ✓   | ○       | ✓   |
|                   | 21,000      | ⊙            | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✓   | ○       | ✓   | ⊙     | ✓   | ○       | ✓   |

✱ = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย

⊙ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย

○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง

△ = มีขุยเกิดขึ้นมาก

✓ = ไม่มีการฉีก

✕ = มีรอยฉีกตามแนวยาว

⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.

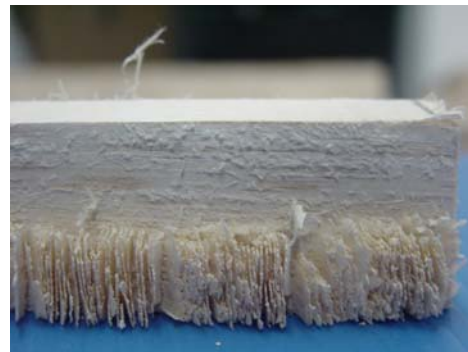
#### - ขุยของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การกัดแบบขวางเส้นไม้มาก่อนให้เกิดขุยมากกว่าการกัดแบบขนานเส้นไม้ เนื่องจากว่าขุยที่เกิดขึ้นในส่วนของการกัดแบบขวางเส้นไม้นั้น จะเกิดที่ขอบของผิวหน้าชิ้นงานซึ่งจะแตกต่างจากขุยที่ได้กำหนดจากเบื้องต้นดังรูปที่ 4.1 สาเหตุของการเกิดขุยชนิดนี้เนื่อง จากว่าการกัดโดยใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก ทำการกัดที่อัตราการป้อนกัดที่ค่อนข้างสูง ทำให้ใบมีดที่ทำการกัดไม้

สามารถกัดเสี้ยนไม้ได้หมด ทำให้เกิดขุยลักษณะนี้เกิดขึ้น และมาดูในส่วนของการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) ก่อให้เกิดขุยที่มากกว่าการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) เนื่องจากว่า การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนนั้น คมมีดแรกที่ทำกรกัดเนื้อชิ้นงานออกไปแล้วจะมีใบมีดถัดไปกัดหน้าผิวชิ้นงานซ้ำ ในขณะที่การกัดแบบตามทิศทางการป้อนไม่เกิดการกัดซ้ำที่หน้าผิวชิ้นงานเดิมดังรูปที่ 4.2 และที่อัตราการป้อนกัดสูงก่อให้เกิดขุยที่มาก เนื่องจากการเคลื่อนที่ใบมีดที่เร็วทำให้ใบมีดมีโอกาสตัดเนื้อขุยที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานออกได้น้อยลง

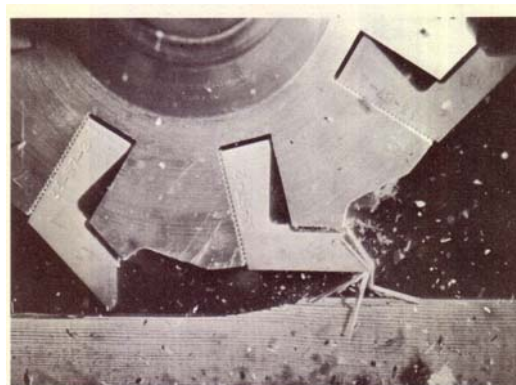


ก) การเกิดขุยไม้ด้านขอบชิ้นงาน



ข) การเกิดขุยไม้ด้านหน้าชิ้นงาน

รูปที่ 4.1 ลักษณะการเกิดขุยไม้ทั่วไปเปรียบเทียบกับขุยไม้ที่เกิดที่ขอบชิ้นงาน



รูปที่ 4.2 การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด [1]

#### - ความเสียหายของไม้

จากผลการทดลองใบมีดเพชรหลายผลึกไม่ก่อให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อไม้หรือการหลุดของเนื้อไม้

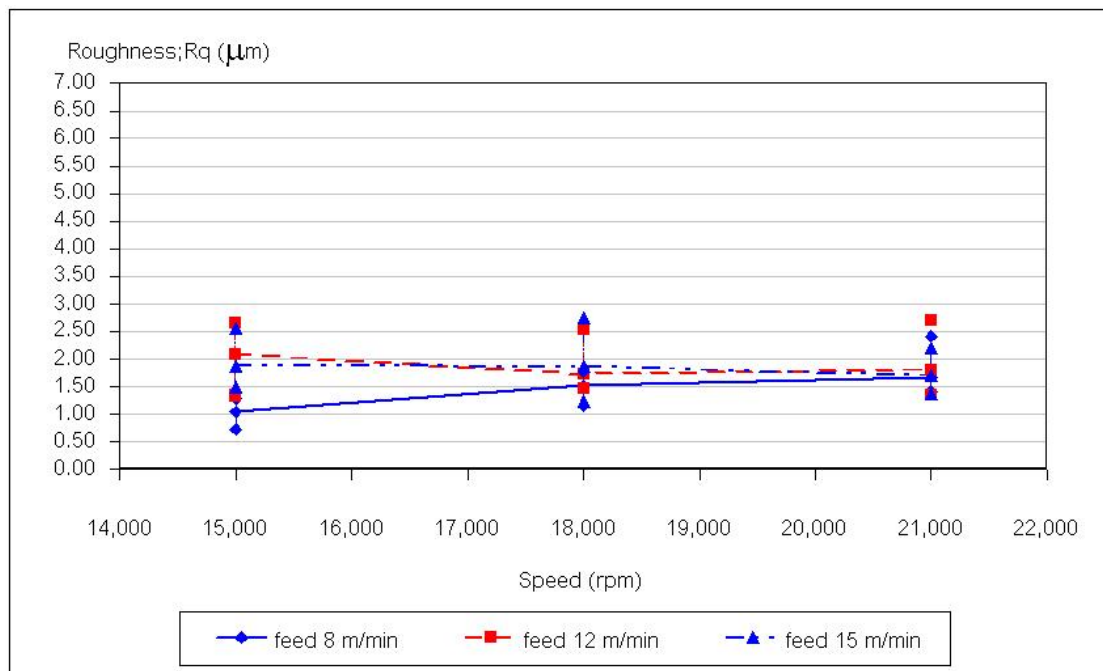
#### - รอยไหม้บนผิวไม้

จากผลการทดลองในทุกๆเงื่อนไขของการกัดพบว่าไม่มีรอยไหม้เกิดขึ้น

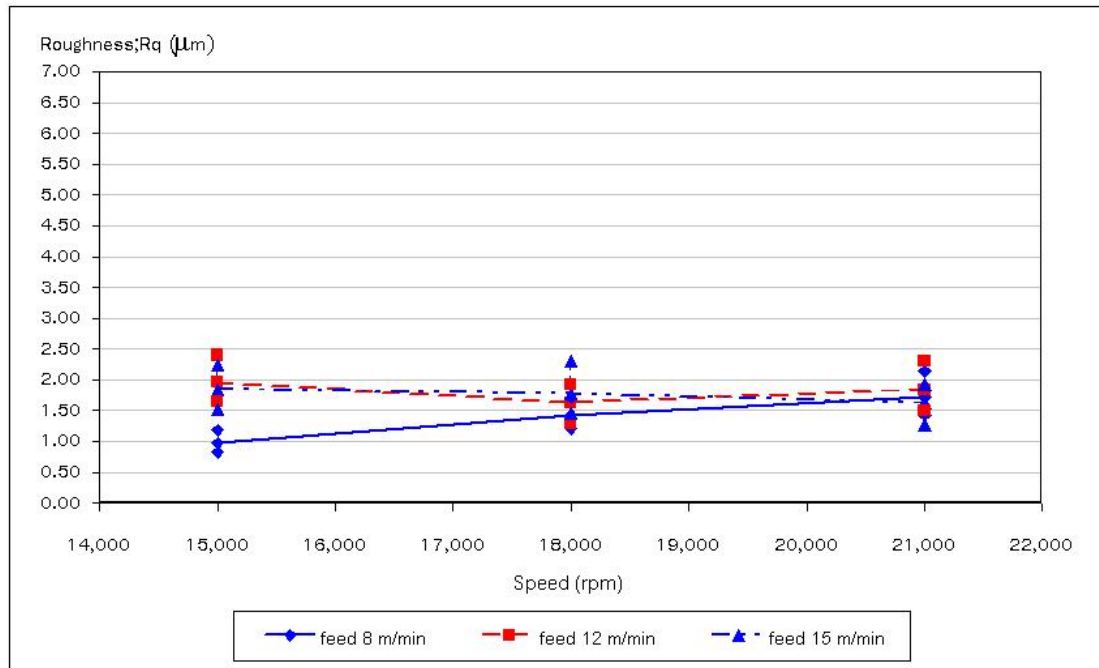
#### 4.1.1.2 ความเรียบผิวชิ้นงาน

จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานแบบการกัดขนานเส้นไม้ กรณีกัดสวนทิศทางการป้อน และตามทิศทางการป้อนแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

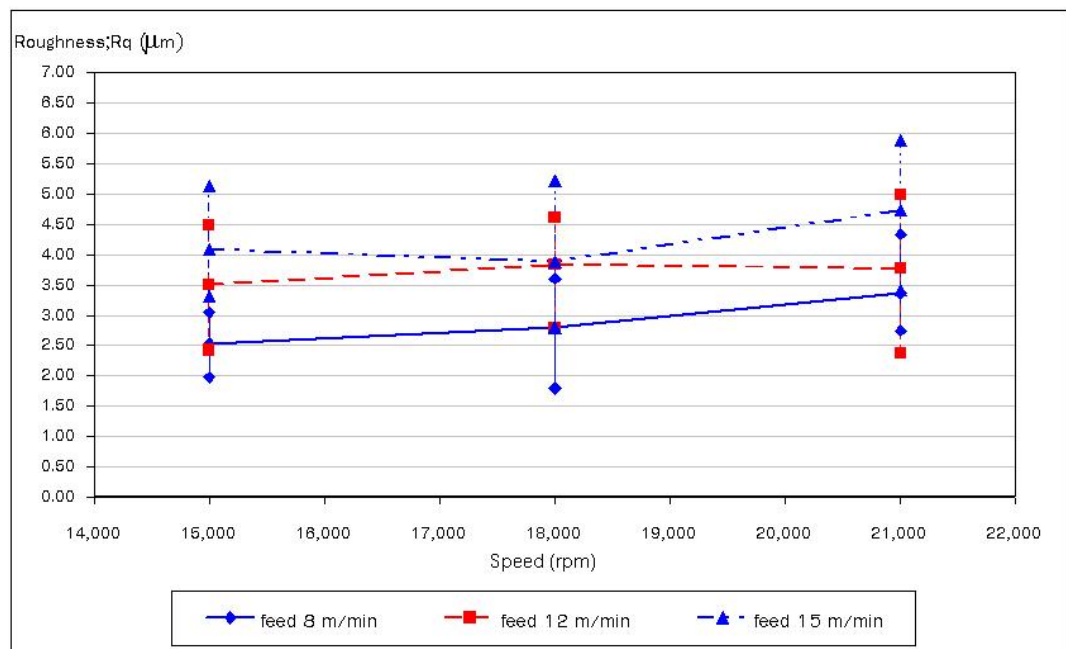
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงขึ้นความเรียบผิวที่ได้มีแนวโน้มจะแย่ลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี [1] ทำให้ที่อัตราการป้อนกัด 8 เมตรต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราการป้อนกัดต่ำที่สุด และเมื่อความเร็วรอบมีค่าเพิ่มมากขึ้นความเรียบผิวที่ได้จะแย่ลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี [1] และการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและการกัดตามทิศทางการป้อนจะให้ผลที่คล้ายคลึงกัน และที่อัตราการป้อนกัด 12 และ 15 เมตรต่อนาที แนวโน้มที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก



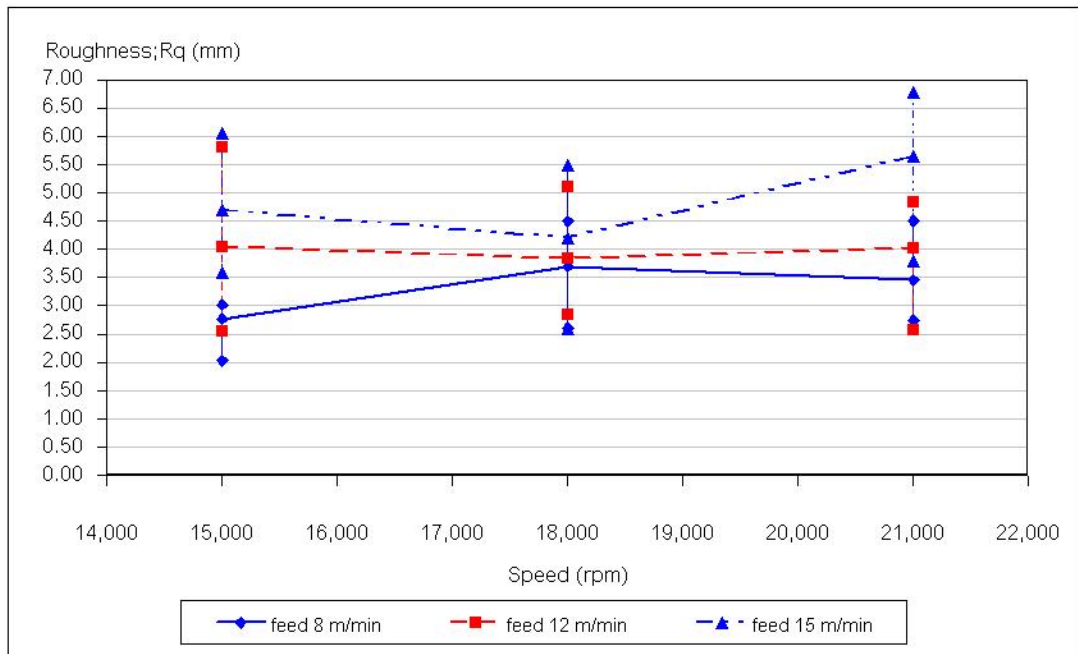
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางการป้อนแบบสวนทิศทางการป้อน (Up-cut)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขนานเส้นไม้แบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)

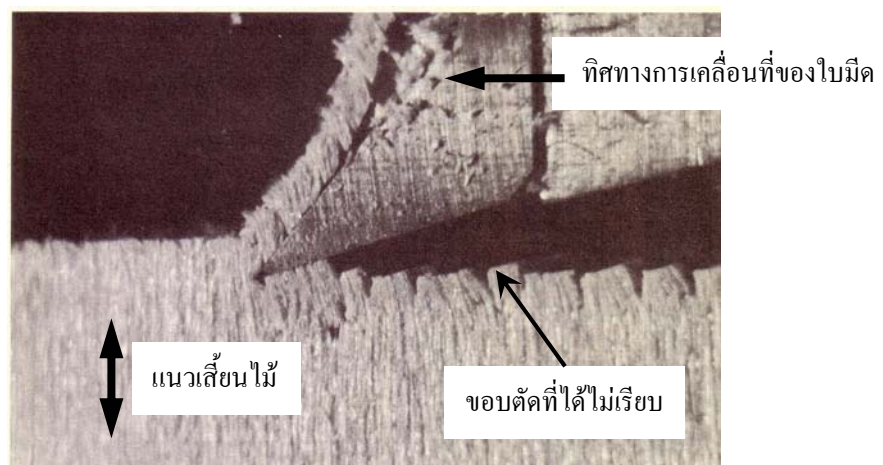


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขวางเส้นไม้แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)



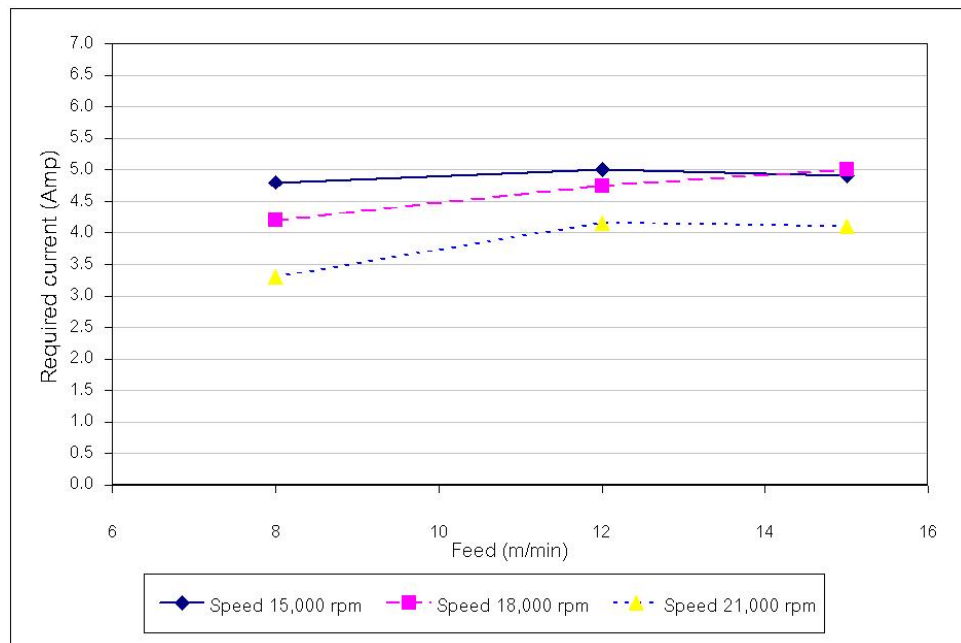
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขวางเส้นไม้แบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)

จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานสำหรับการกัดขวางเส้นไม้ ในกรณีกัดสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าค่าแนวโน้มที่ได้มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.3 และ 4.4 แต่แตกต่างกันที่ค่าความเรียบผิวที่ได้มีค่าสูงกว่ากรณีการกัดขนานเส้นไม้ เนื่องมาจากการกัดขวางเส้นไม้ จะทำการกัดมีการหลบของเส้นไม้บางส่วนที่มีกัดไม่หมด เวลาใบมีดผ่านไปแล้วเส้นที่หลบเหล่านี้อาจจะดีดตัวออกมา ทำให้ความเรียบผิวที่ได้ไม่ดี ดังรูปที่ 4.7

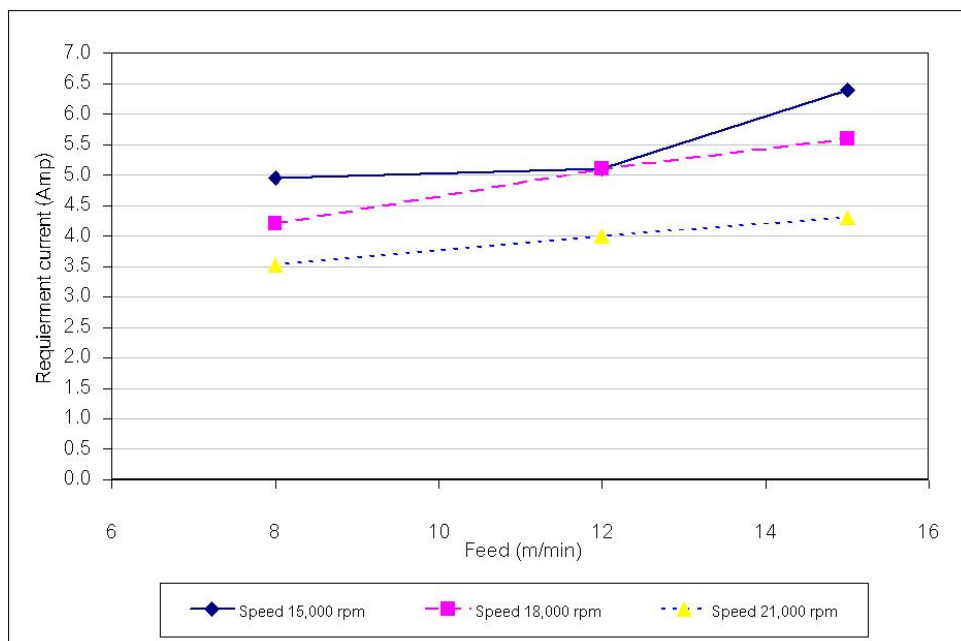


รูปที่ 4.7 การกัดกรณีขวางเส้นไม้ [1]

#### 4.1.2 อิทธิพลของความเร็รรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 4.8 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)



รูปที่ 4.9 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนมีแนวโน้มเดียวกันคือ ที่ความเร็วรอบของใบมีด 21,000 รอบต่อนาทีใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าในการกัดไม่น้อยที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์หลักของซีเอ็นซีอยู่ใกล้ความเร็วรอบดังกล่าว และเมื่ออัตราการป้อนกัด (อัตราการผลิต) เพิ่มขึ้นปริมาณกระแสที่ใช้จะเพิ่มขึ้น

## 4.2 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด (Brazing Knives)

### 4.2.1 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดตรง (Straight)

#### 4.2.1.1 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อคุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

##### - ขุยของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การกัดแบบตามเส้นไม้ก่อให้เกิดขุยมากกว่าการกัดแบบขวาง เส้นไม้ เนื่องจากว่าการกัดในลักษณะขนานเส้นไม้นั้น เป็นลักษณะของการจับของเนื้อไม้ขึ้นก่อนที่จะมีการกัดเฉือน (ดังรูปที่ 4.10) ทำให้มีเนื้อไม้บางส่วนติดกับผิวหน้าของชิ้นงาน แต่การกัดขวางเส้นไม้จะ

ตารางที่ 4.2 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์คมตัดตรงแบบเชื่อมติด

| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (m/min) |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |
|-------------------|-------------|--------------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|
|                   |             | 1            |     | 2       |     | 3     |     | 6       |     | 9     |     | 12      |     | 15    |     |         |     |
|                   |             | Upcut        |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     |
|                   |             | ขุย          | ฉีก | ขุย     | ฉีก | ขุย   | ฉีก | ขุย     | ฉีก | ขุย   | ฉีก | ขุย     | ฉีก | ขุย   | ฉีก | ขุย     | ฉีก |
| Along grain       | 8000        | ⊗            | ×   | ○       | ✓   | ⊗     | ✓   | ○       | ✓   | ⊗     | ×   | ⊗       | ×   | ✱     | ×   | ○       | ✓   |
|                   | 10000       | ✱            | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   |
|                   | 12000       | ✱            | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ×   | ○       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   |
|                   | 14000       | ✱            | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ×   | ○       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   |
|                   | 16000       | ⊗            | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ×   | ○       | ✓   | ✱     | ×   | ⊗       | ✓   |
|                   | 18000       | ⊗            | ✓   | ⊗       | ✓   | ⊗     | ×   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ○       | ✓   | ⊗     | ✓   | ⊗       | ✓   |
| Across grain      | 8000        | ✱            | ✓   | ⊗       | ✓   | ⊗     | ✓   | ⊗       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊗       | ✱   | ✱     | ✱   | ✱       | ✱   |
|                   | 10000       | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✱   |
|                   | 12000       | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✱   |
|                   | 14000       | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✱   |
|                   | 16000       | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✱   |
|                   | 18000       | ✱            | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   |

✱ = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย

⊗ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย

○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง

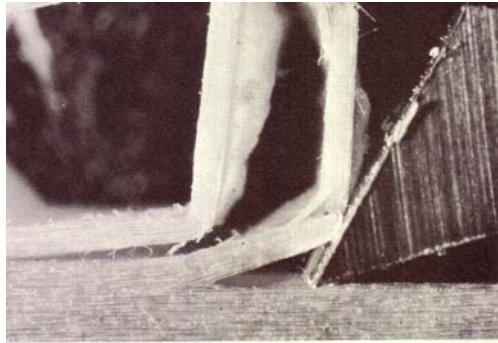
△ = มีขุยเกิดขึ้นมาก

✓ = ไม่มีการฉีก

✱ = มีรอยฉีกตามแนวยาว

⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

ไม่เกิด และมาดูในส่วนของการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) ก่อให้เกิดขุยที่มากกว่าการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) และที่อัตราการป้อนกัดสูงก่อให้เกิดขุยในปริมาณที่มาก ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับกรณีใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก



รูปที่ 4.10 การกัดกรณีตามเส้นไม้ [1]

#### - รอยไหม้บนผิวไม้

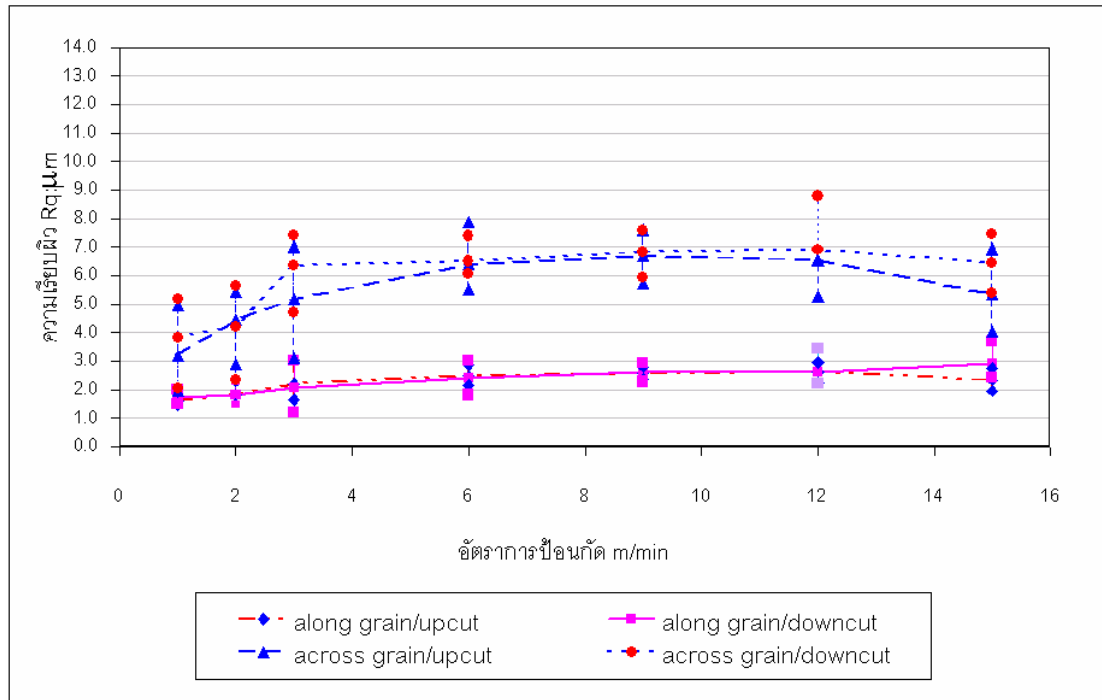
จากการทดลอง พบว่ามีรอยไหม้เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อนกัด 1 เมตรต่อนาที เป็นผลมาจากอัตราการป้อนที่ต่ำเกินไป ไม่สัมพันธ์กับความเร็วรอบของใบมีด ทำให้เกิดการหมุนช้าๆอยู่ที่เดิม จนเกิดรอยไหม้ขึ้น

#### - ความเสียหายของเนื้อไม้

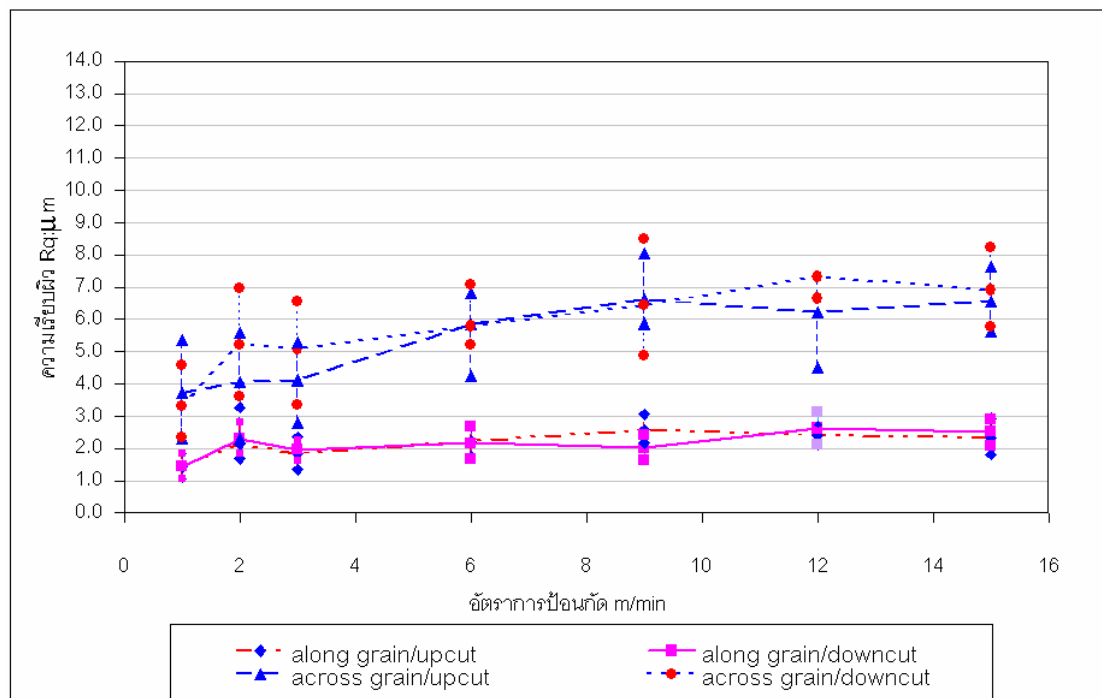
การฉีกขาดของไม้จะเกิดที่การกัดขนานเส้นไม้ ในกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนกัด เนื่องจากการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนเป็นลักษณะการกัดขึ้นของเนื้อไม้ ซึ่งก่อให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.10 ที่อัตราการป้อนกัดสูงจะมีโอกาสในการฉีกของเนื้อไม้ที่สูงเนื่องจากการกัดของเนื้อไม้ที่รุนแรงมากกว่าที่อัตราการป้อนกัดต่ำ และการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดที่การกัดขวางเส้นไม้กรณีการกัดตามทิศทางการป้อนกัด เนื่องจากการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัดมีการสั่นมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด [2] ทำให้เมื่อเวลาทำการกัดใบมีดบางส่วนได้กดลึกลงไปเนื้อชิ้นงาน และที่อัตราการป้อนกัดสูงทำให้มีการสั่นมาก ส่งผลให้มีการหลุดของเนื้อไม้มากขึ้น

#### - ความเรียบผิวชิ้นงาน

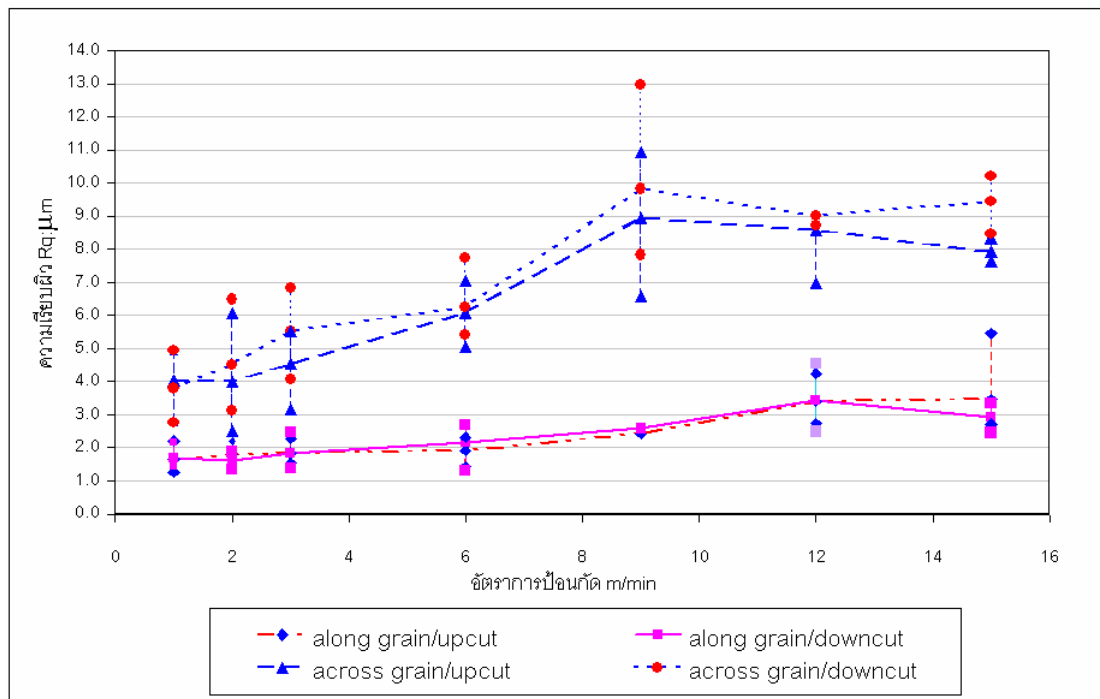
ชิ้นงานที่ผ่านการกัดจากทุกเงื่อนไขจะนำมาวัดความเรียบผิวเพื่อเปรียบเทียบลักษณะผิวที่ได้ โดยถ้าหากชิ้นงานที่ได้มีขุยหรือความเสียหายของเนื้อไม้เกิดขึ้น จะพยายามวัดความเรียบผิวตรงตำแหน่งที่ไม่มีขุยและไม่มี ความเสียหาย ผลการวัดความเรียบผิวแสดงในรูปที่ 4.11-4.15



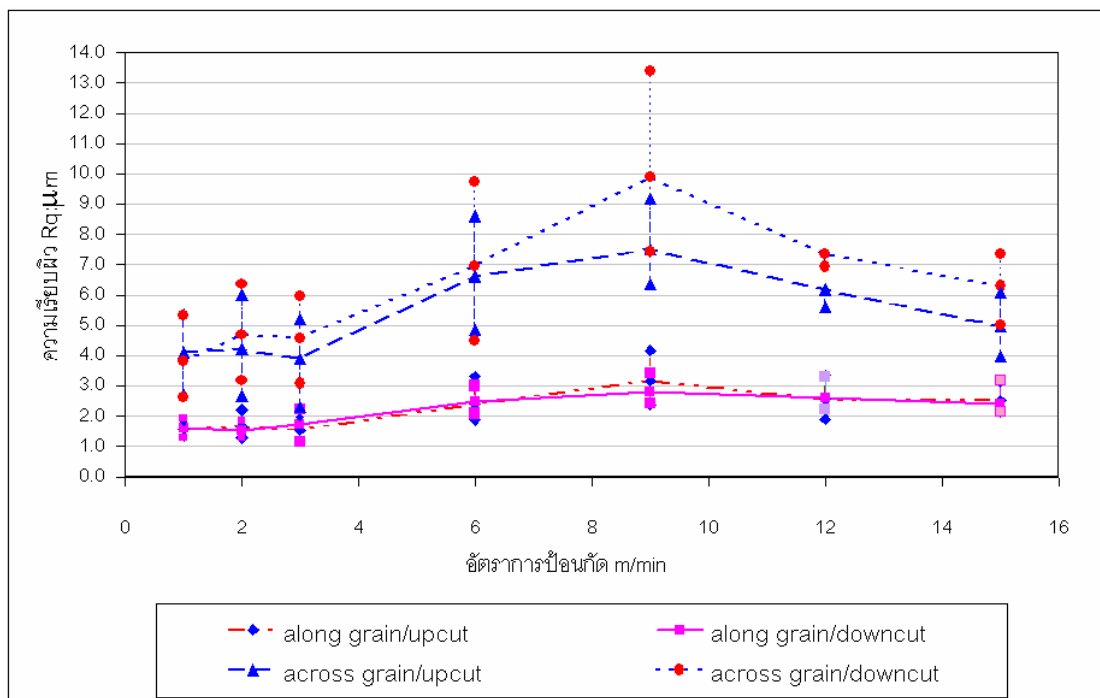
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที



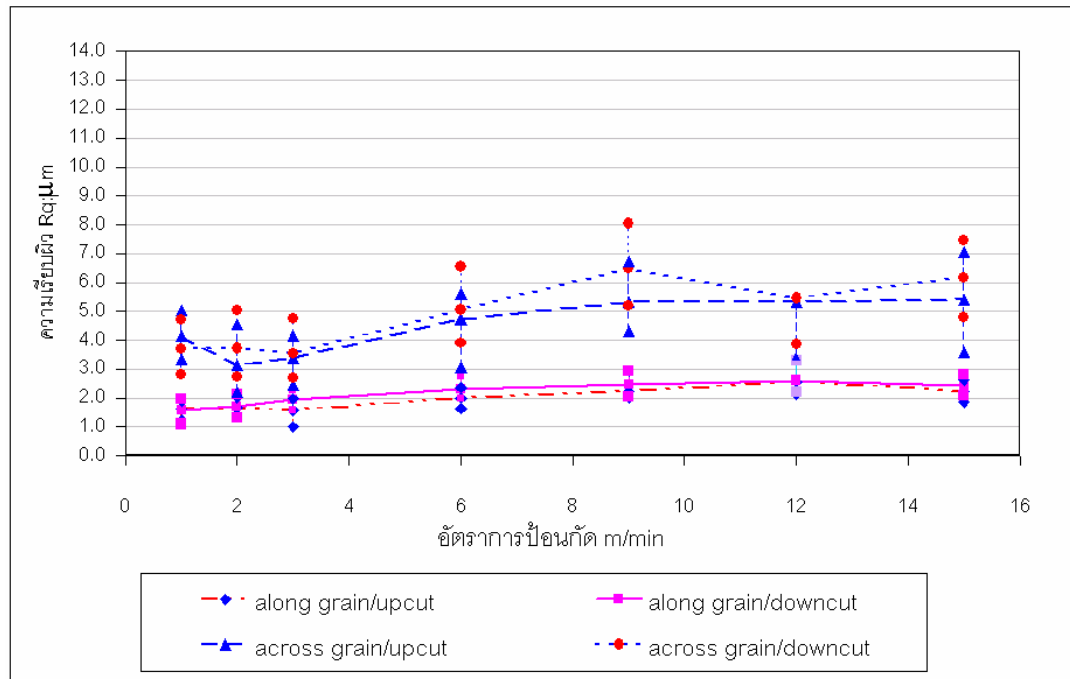
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที



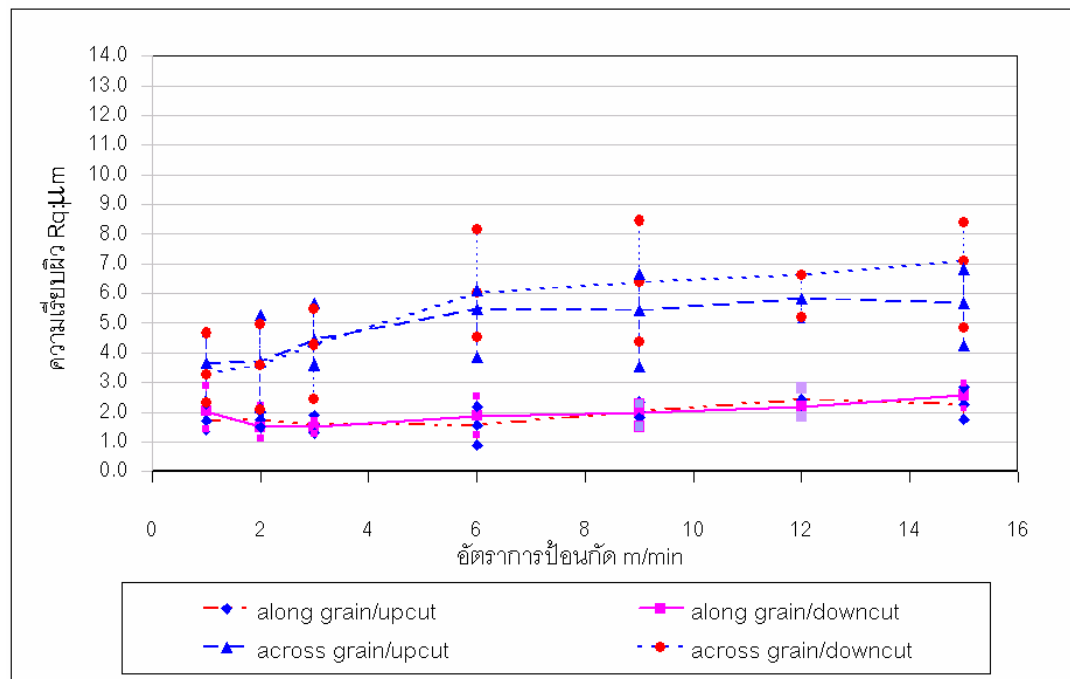
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัตที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัตที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัตที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที

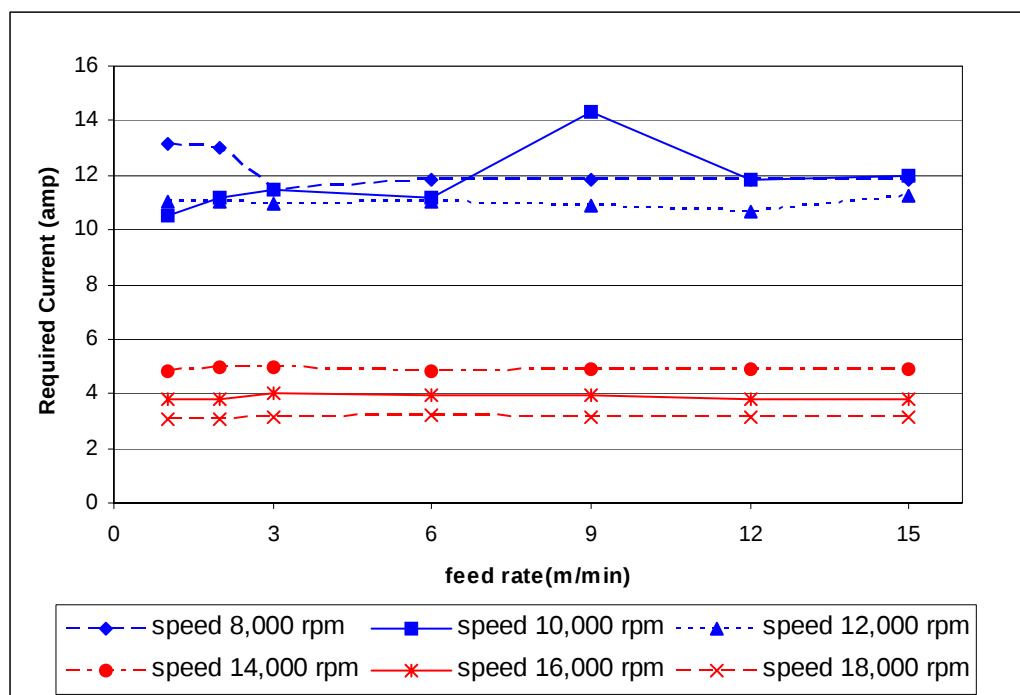


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัตที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที

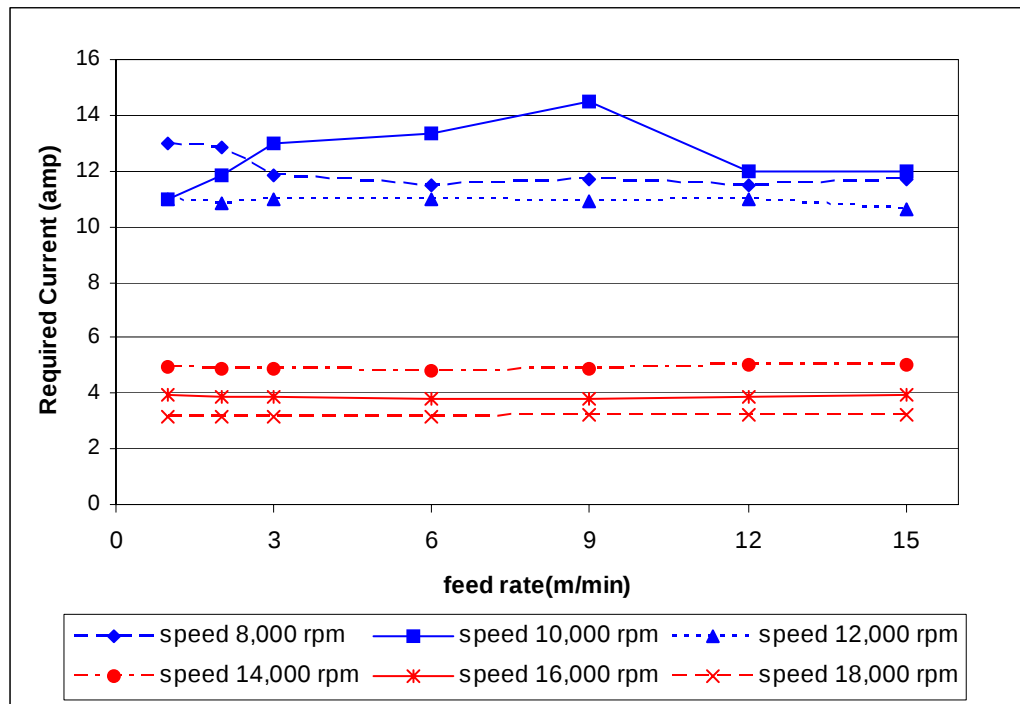
จากรูปที่ 4.11-4.16 กรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนของการกัดขนานเส้นไหมมีแนวโน้มของความเรียบผิวที่ใกล้เคียงกันมาก คือ เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงความเรียบผิวที่ได้แย่ง และเมื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวระหว่างการกัดขนานเส้นไหมกับขวางเส้นไหม การกัดขนานเส้นไหมให้ค่าความเรียบผิวทุกสภาวะการกัดดีกว่าการกัดขวางเส้นไหม เหมือนกับเหตุผลของใบมีดเพชรหลายผลึก

#### 4.2.1.2 อิทธิพลของความเร็รรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนตามลำดับ จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดทั้งสองแบบมีแนวโน้มเหมือนกันคือ ที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาทีใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด รองลงมาคือ 16,000 14,000 รอบต่อนาทีตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วรอบ 8,000 10,000 และ 12,000 รอบต่อนาทีใช้ปริมาณไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์ของแกนหมุนหลัก (Main spindle) อยู่ที่ความเร็วรอบสูง ซึ่งปริมาณไฟฟ้าจะลดลงเมื่อความเร็วรอบมอเตอร์สูงขึ้น และจากรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะเห็นว่าอัตราการป้อนกัดมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยมาก



รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน



รูปที่ 4.18 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน

#### 4.2.2 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดรูปร่าง (Profile)

##### 4.2.2.1 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อคุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

ผลของการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่างแสดงในตารางที่ 4.3 และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีตัดด้วยคมตัดตรงในตารางที่ 4.2 จะสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

##### - ขุยของเนื้อไม้

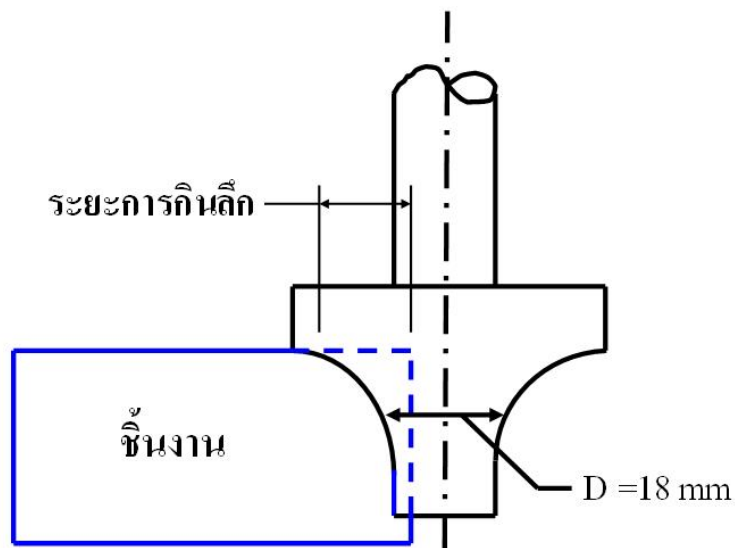
การสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ การเกิดขุยไม้ของใบมีดคมตัดรูปร่างเกิดน้อยกว่าการกัดโดยใช้ใบมีดคมตัดตรง เนื่องจากการเกิดขุยขึ้นกับระยะการกินลึกคือที่ระยะการกินลึกที่มากทำให้มีขุยเกิดขึ้นน้อย ซึ่งใบมีดคมตัดรูปร่างมีระยะการกินลึกเฉลี่ยตลอดหน้ามีดมากกว่าใบมีดคมตัดตรง (ดังรูปที่ 4.19) ทำให้ปริมาณของขุยที่เกิดขึ้นน้อย

ตารางที่ 4.3 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์คมตัดรูปร่างแบบเชื่อมติด

| Cutting<br>direction | Speed<br>(rpm) | feed (m/min) |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|----------------------|----------------|--------------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
|                      |                | 1            |     | 2       |     | 3     |     | 6       |     | 9     |     | 12      |     | 15    |     |         |     |       |     |         |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|                      |                | Upcut        |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|                      |                | ขุด          | ฉีก | ขุด     | ฉีก | ขุด   | ฉีก | ขุด     | ฉีก | ขุด   | ฉีก | ขุด     | ฉีก | ขุด   | ฉีก | ขุด     | ฉีก | ขุด   | ฉีก | ขุด     | ฉีก | ขุด | ฉีก | ขุด | ฉีก |   |   |   |   |
| Along<br>grain       | 8000           | *            | ✓   | ○       | ✓   | *     | ✗   | ○       | ✓   | *     | ✓   | ○       | ✓   | *     | ✗   | ①       | ✓   | *     | ✓   | ①       | ✓   | *   | ✗   |     | ✓   | * | ✗ | ① | ✓ |
|                      | 10000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✗   | ①       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✗   | ○       | ✓   | *   | ✗   | ①   | ✓   | * | ✓ | ○ | ✓ |
|                      | 12000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | ①     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | ①     | ✓   | *       | ✗   | *   | ✓   | *   | ✓   | * | ✓ | * | ✓ |
|                      | 14000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✗   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | ①     | ✓   | *       | ✗   | ①   | ✓   | *   | ✗   | ○ | ✓ | * | ✓ |
|                      | 16000          | *            | ✓   | *       | ✓   | ①     | ✓   | ○       | ✓   | *     | ✓   | ①       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✗   | ○       | ✓   | *   | ✗   | ○   | ✓   | * | ✗ | ○ | ✓ |
|                      | 18000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ①   | *     | ✗   | ○       | ✓   | *     | ✓   | ①       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *   | ✓   | ①   | ✓   | * | ✓ | ○ | ✓ |
| Across<br>grain      | 8000           | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ⊗   | *       | ⊗   | *     | ✓   | *       | ✓   | *   | ⊗   | *   | ⊗   | * | ✓ | * | ⊗ |
|                      | 10000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *   | ⊗   | *   | ⊗   | * | ✓ | * | ✓ |
|                      | 12000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *   | ✓   | *   | ✓   | * | ✓ | * | ⊗ |
|                      | 14000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ⊗   | *       | ⊗   | *   | ⊗   | *   | ⊗   | * | ⊗ | * | ⊗ |
|                      | 16000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *   | ✓   | *   | ✓   | * | ✓ | * | ✓ |
|                      | 18000          | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   | *   | ✓   | *   | ✓   | * | ✓ | * | ⊗ |

\* = ไม่มีรอยเกิดขึ้นเลย      ① = มีรอยเกิดขึ้นเล็กน้อย      ○ = มีรอยเกิดขึ้นปานกลาง      △ = มีรอยเกิดขึ้นมาก  
 ✓ = ไม่มีการฉีก      ✗ = มีรอยฉีกตามแนวยาว      ⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 4.19 การกัดชิ้นงานโดยใช้ใบมีดคมตัดแบบรูปร่าง

#### - ความเสียหายของไม้

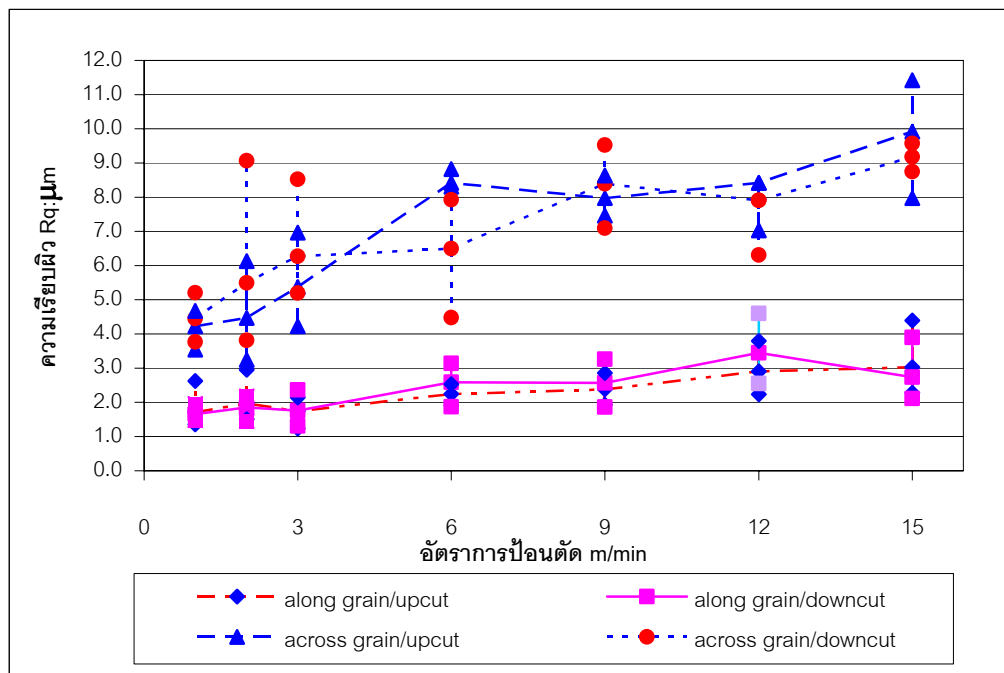
ความเสียหายของไม้กรณีการฉีกขาดของเนื้อไม้ใบมีดคมตัดตรงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าใบมีดคมตัดรูปร่าง เนื่องจากระยะของการกินลึกของคมตัดรูปร่างมีมากกว่าคมตัดตรง ทำให้การฉีกที่เกิดจาก

การจัดของเนื้อไม้เกิดขึ้นน้อย และในกรณีการหลุดออกของเนื้อไม้ใบมีดแบบคมตัดรูปร่างเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าใบมีดตัดตรง เนื่องจากว่าหน้าสัมผัสของใบมีดคมตัดรูปร่างมีมากทำให้ความเสียหายที่มีสาเหตุจากการสั่นสะเทือนของใบมีดมีมากขึ้นด้วย

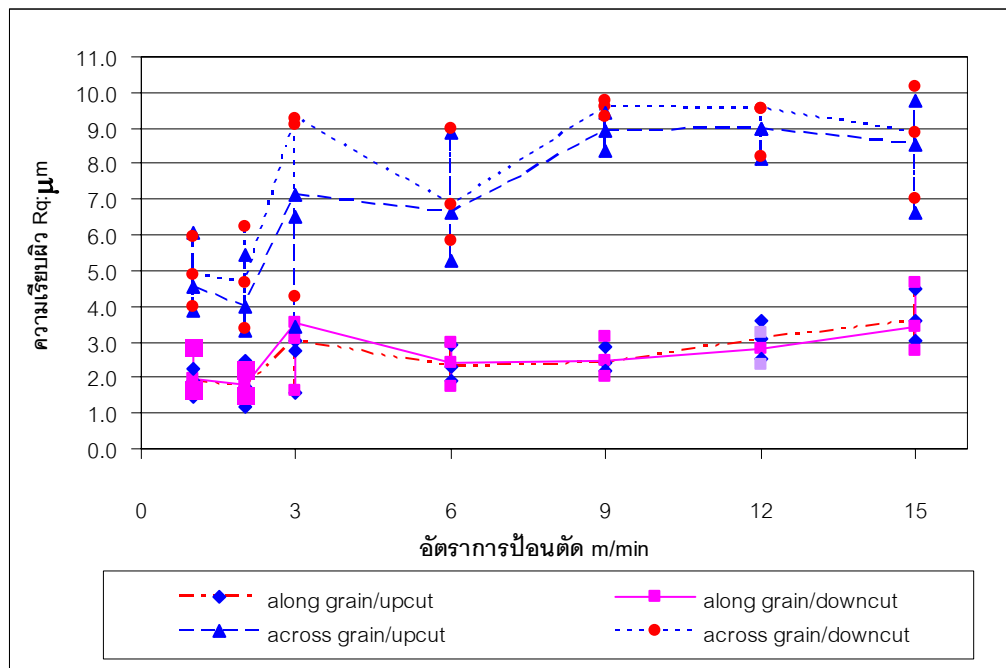
#### - รอยไหม้บนผิวไม้

ใบมีดคมตัดรูปร่างทำให้เกิดรอยไหม้ขึ้นมากกว่าที่ความเร็วรอบสูง ในขณะที่คมตัดตรงไม่เกิดรอยไหม้ เนื่องจากว่าหน้าสัมผัสของใบมีดคมตัดรูปร่างมีมากทำให้ที่อัตราการป้อนกัดที่ต่ำ ใบมีดมีการเสียดสีกับไม้เป็นเวลานานทำให้เกิดรอยไหม้เกิดขึ้น

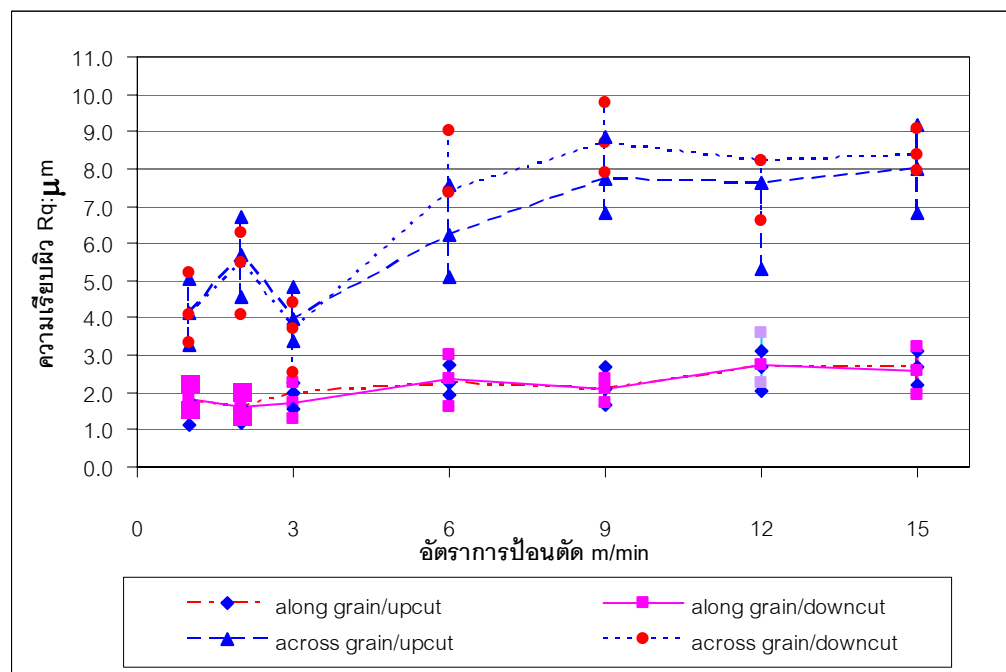
#### (ข) ความเรียบผิวชิ้นงาน



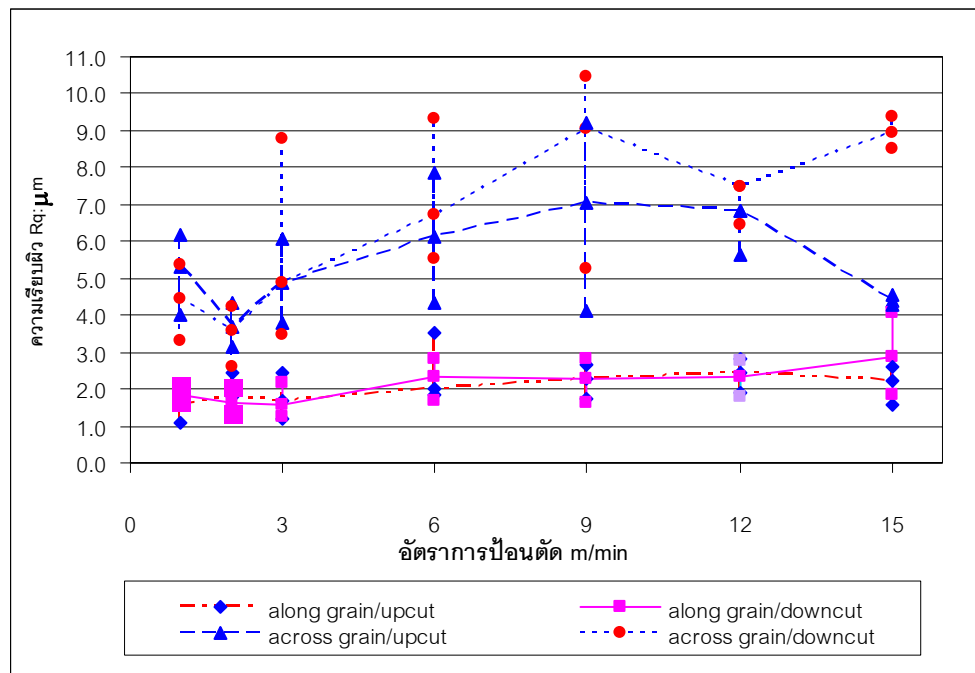
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที



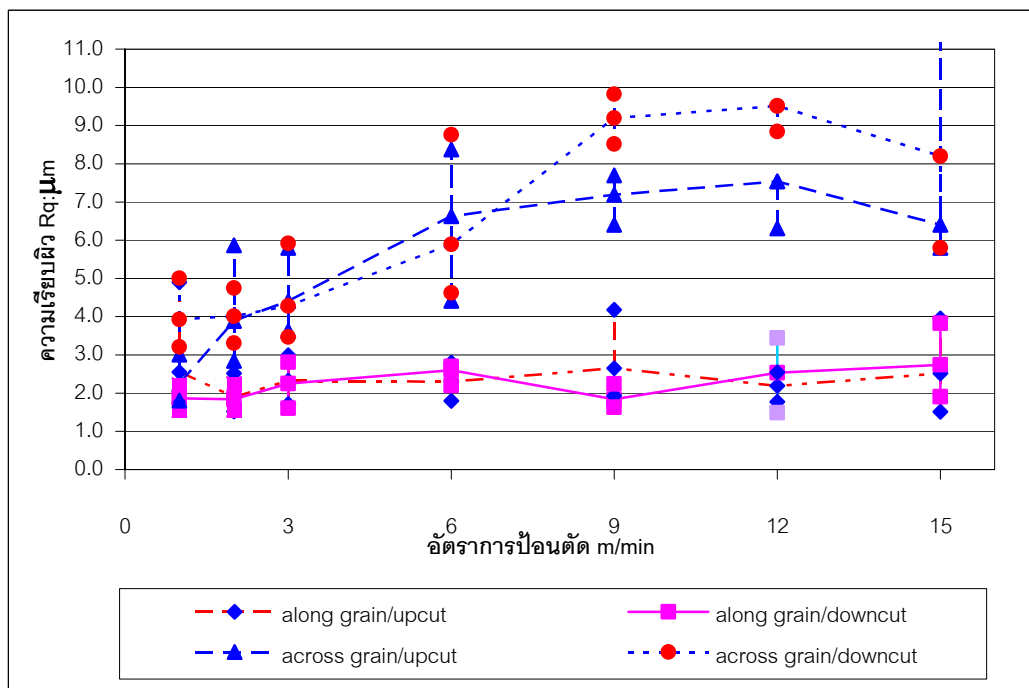
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที



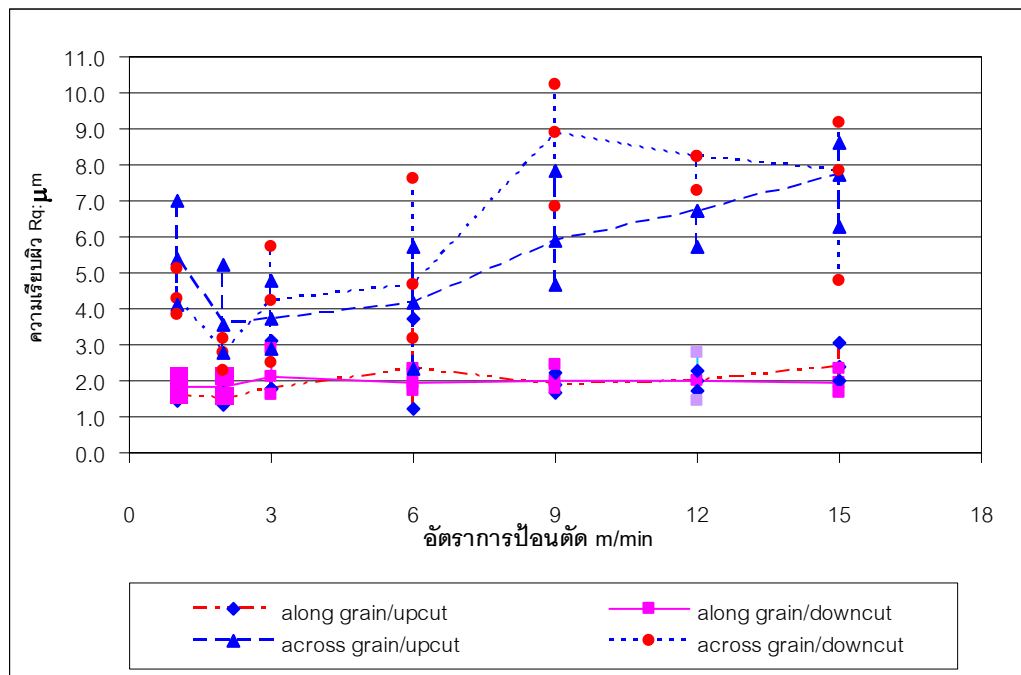
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที

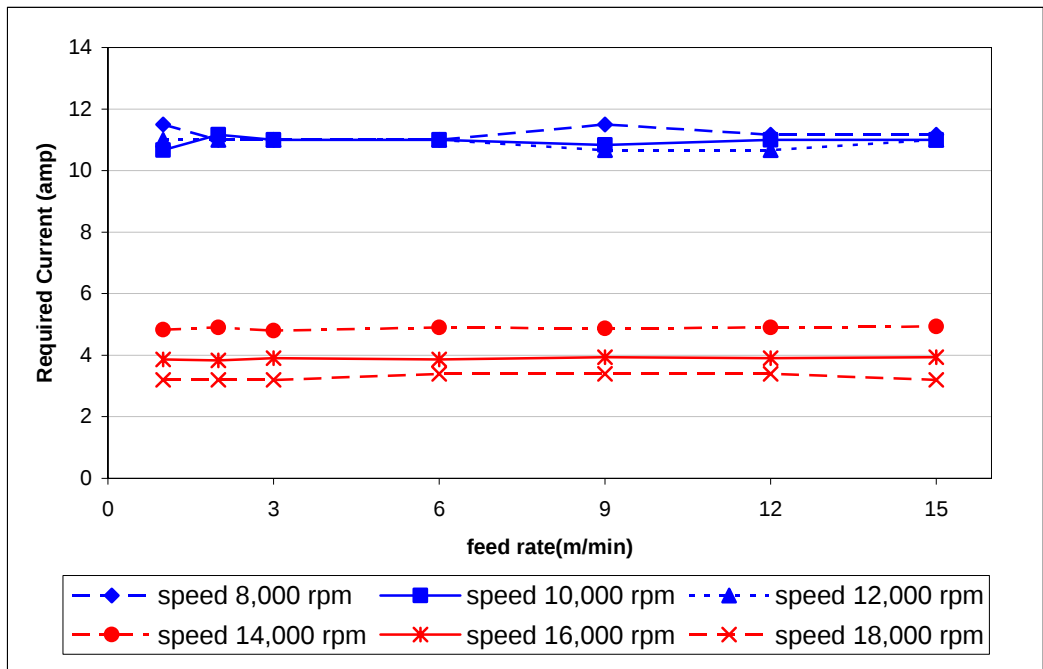


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการใช้รอบต่อนาทีที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที

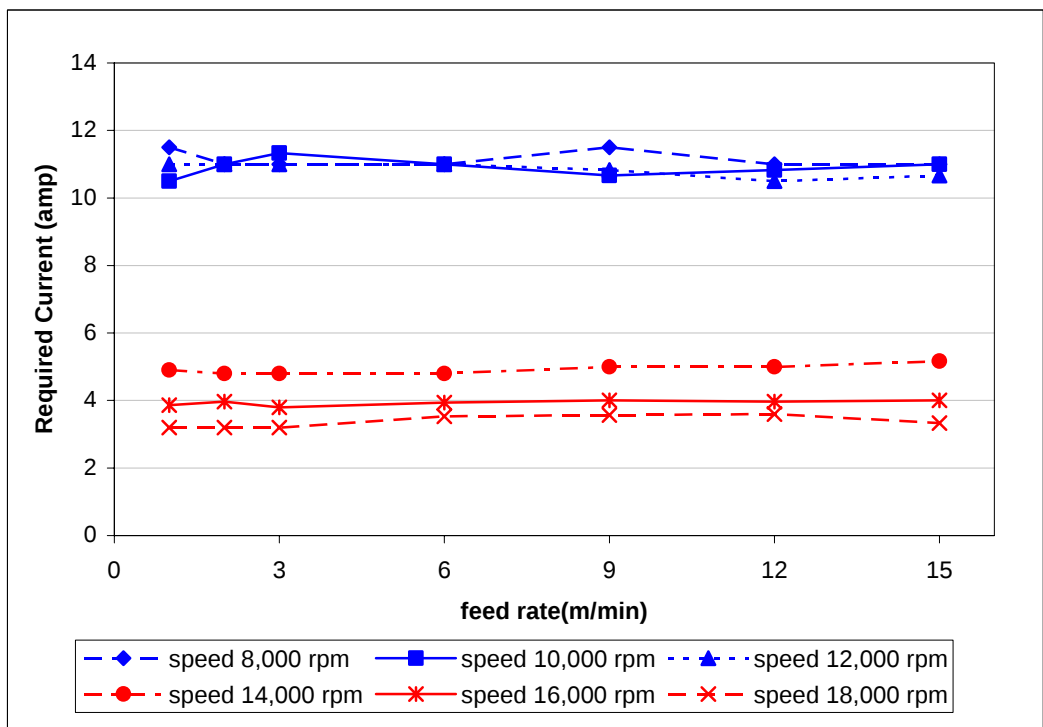
จากรูปที่ 4.20-4.25 กรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนของการกัดจนเส้นไม่มีแนวโน้มของความเรียบผิวที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับความเรียบผิวของใบมีดแบบคมตัดตรง พบว่าความเรียบผิวที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการกัดขวางเส้นไม่มีพบว่ามีอัตราการใช้รอบต่อนาทีเพิ่มมากขึ้นความเรียบผิวมีแนวโน้มแยลงเรื่อยๆ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวคล้ายกับใบมีดชนิดคมตัดตรง

#### 4.2.2.2 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการใช้รอบต่อนาทีที่มีต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดมีแนวโน้มเหมือนกันคือ ที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาทีใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด รองลงมาคือ 16,000 14,000 รอบต่อนาทีตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วรอบ 8,000 10,000 และ 12,000 รอบต่อนาทีใช้ปริมาณไฟฟ้าที่สูงใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราการใช้รอบต่อนาทีไม่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.16 และ 4.17 ของใบมีดคมตัดตรงพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 4.26 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน



รูปที่ 4.27 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน

### 4.3 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้ (Turnover Knives)

#### 4.3.1 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดตรง (Straight)

##### 4.3.1.1 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อคุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

###### - ขุยของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการกัดแบบตามเส้นไม้ก่อให้เกิดขุยมากกว่าการกัดแบบขวางเส้นไม้ เช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้ใบมีดเพชรหลายผลึกและใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด เนื่องจากการกัดในลักษณะขนานเส้นไม้นั้นเป็นลักษณะของการกัดของเนื้อไม้ขึ้นก่อนที่จะมีการกัดเฉือน (ดังรูปที่ 4.10) ทำให้มีเนื้อไม้บางส่วนติดกับผิวหน้าของชิ้นงาน แต่การกัดขวางเส้นไม้จะไม่เกิดลักษณะดังกล่าวขึ้น และมาดูในส่วนของการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) ก่อให้เกิดขุยที่มากกว่าการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) และที่อัตราการป้อนกัดสูงก่อให้เกิดขุยในปริมาณมาก ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับกรณีใช้ใบมีดเพชรหลายผลึกเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้ใบมีดแบบถอดเปลี่ยนได้ ซึ่งใบมีดจะถูกยึดกับ Tool holder ด้วยสกรูนั้น จะไม่สามารถทำการกัดไม้ที่อัตราการป้อนกัดสูงกว่า 9 m/min ได้ หรือในกรณีที่อัตราการป้อนกัดเท่ากับ 9 m/min ถ้าความเร็วรอบมีค่าตั้งแต่ 14,000 รอบต่อนาทีขึ้นไปก็จะไม่สามารถทำการกัดได้เช่นกัน เนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการยึดใบมีดด้วยสกรูในแบบถอดเปลี่ยนใบมีดได้นั้น จะทำให้เกิดการสั่นจากใบมีดเนื่องจากช่องว่างเล็กๆ (Gap) ระหว่างมีดกับตัว Tool holder ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะไม่เกิดขึ้นกับใบมีดแบบเชื่อมติด

###### - รอยไหม้บนผิวไม้

ไม่พบรอยไหม้เกิดขึ้นในช่วงความเร็วรอบที่สามารถทำการกัดได้

###### - ความเสียหายของเนื้อไม้

การฉีกขาดของไม้จะเกิดขึ้นเล็กน้อยในการกัดขนานเส้นไม้ สำหรับกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนกัด เช่นเดียวกันกับกรณีของใบมีดแบบเชื่อมติด และการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากในช่วงที่สามารถทำการกัดได้ จะอยู่ในช่วงที่มีอัตราการป้อนกัดต่ำ ทำให้การหลุดของเนื้อไม้เกิดขึ้นน้อย

ตารางที่ 4.4 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์คมตัดตรงแบบถอดเปลี่ยนได้

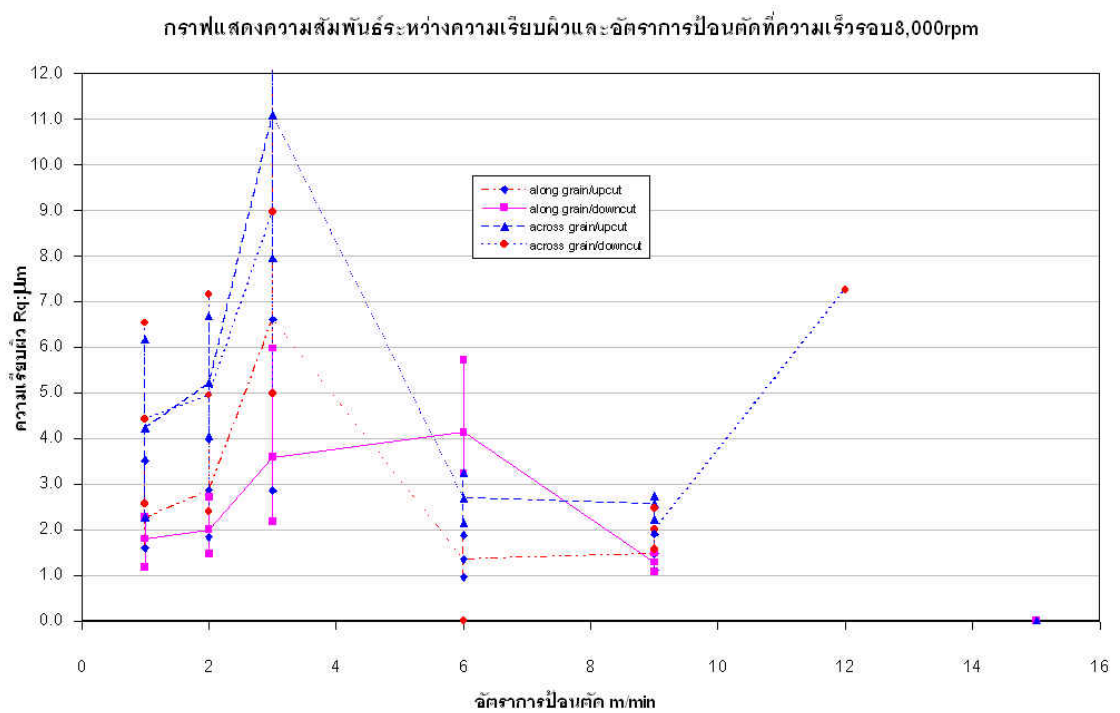
| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (mm/min) |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |       |     |         |     |    |   |  |  |
|-------------------|-------------|---------------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|----|---|--|--|
|                   |             | 1             |     |         |     | 2     |     |         |     | 3     |     |         |     | 6     |     |         |     | 9     |     |         |     | 12    |     |         |     | 15 |   |  |  |
|                   |             | Upcut         |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     |    |   |  |  |
|                   |             | ซุส           | อึก | ซุส     | อึก | ซุส   | อึก | ซุส     | อึก | ซุส   | อึก | ซุส     | อึก | ซุส   | อึก | ซุส     | อึก | ซุส   | อึก | ซุส     | อึก | ซุส   | อึก | ซุส     | อึก |    |   |  |  |
| Along grain       | 8000        | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✕   | △       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 10000       | ✱             | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 12000       | ⊙             | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✕   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ⊗   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 14000       | ✱             | ✓   | ⊙       | ✓   | ⊙     | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 16000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊙       | ✓   | △     | ✓   | ⊙       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 18000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ⊙       | ✕   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
| Across grain      | 8000        | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 10000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 12000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ⊗   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 14000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 16000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |
|                   | 18000       | ✱             | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱     | ✓   | ✱       | ✓   | ✱  | ✓ |  |  |

\* = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย      ⊙ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย      ○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง      △ = มีขุยเกิดขึ้นมาก  
 ✓ = ไม่มีการฉีก      ✗ = มีรอยฉีกตามแนวยาว      ⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้      - = เกิดการสั่นของเครื่องไม่สามารถตัดได้

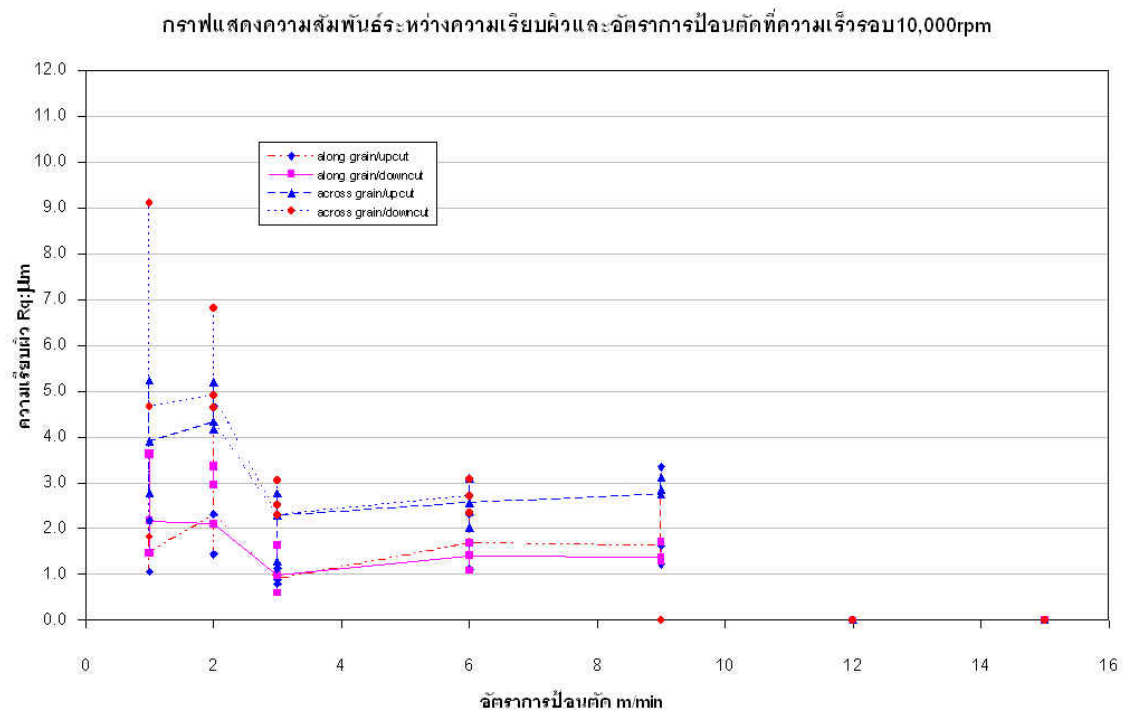
หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.

#### - ความเรียบผิวชิ้นงาน

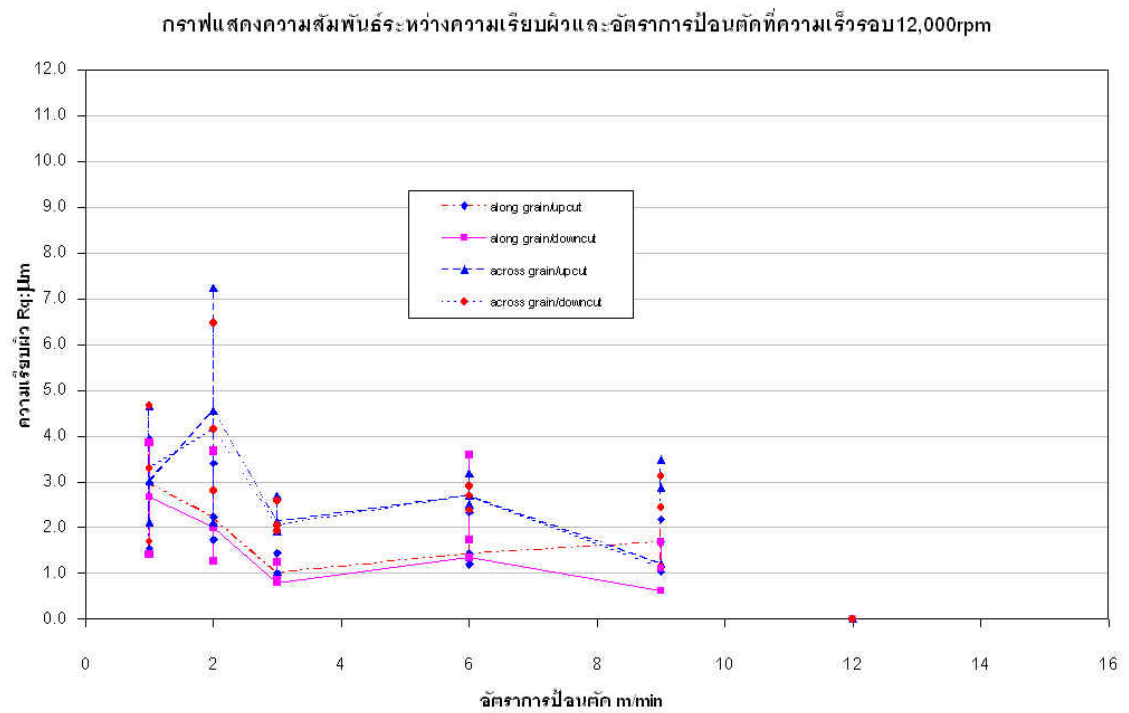
ชิ้นงานที่ผ่านการกัดจากทุกเงื่อนไขจะนำมาวัดความเรียบผิว เพื่อเปรียบเทียบลักษณะผิวที่ได้ โดยถ้าหากชิ้นงานที่ได้มีขุยหรือความเสียหายของเนื้อไม้เกิดขึ้น จะพยายามวัดความเรียบผิวตรงตำแหน่งที่ไม่มีขุยและไม่มี ความเสียหาย ผลการวัดความเรียบผิวแสดงในรูปที่ 4.28-4.33 จากผลดังกล่าวพบว่าค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที จะเกิดความแปรปรวนค่อนข้างสูง ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากผิวชิ้นงานที่ได้มีแนวโน้มที่จะเกิดขุยขึ้น ทำให้ค่าความเรียบผิวค่อนข้างสูง (ผิวหยาบ) ถึงแม้จะเลือกวัดตรงตำแหน่งที่ไม่มีขุยก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าความเร็วรอบสูงกว่า 10,000 รอบต่อนาที พบว่าผิวชิ้นงานที่ได้มีค่าความเรียบผิวดำหรือมีผิวเรียบมาก ใกล้เคียงกับการกัดด้วยใบมีดเพชรหลายผลึก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ใบมีดแบบถอดเปลี่ยนได้ ตัวใบมีดจะสามารถออกแบบมุมของใบมีดได้มุมที่ถูกต้องเที่ยงตรงกว่ากรณีใบมีดแบบเชื่อมติด นอกจากนี้ใบมีดแบบถอดเปลี่ยนได้นิยมใช้ทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีขนาดของเกรนละเอียดกว่าแบบเชื่อมติด ทำให้คมตัดของใบมีดมีความคมมากกว่า ส่งผลให้ความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้ดีกว่านั่นเอง



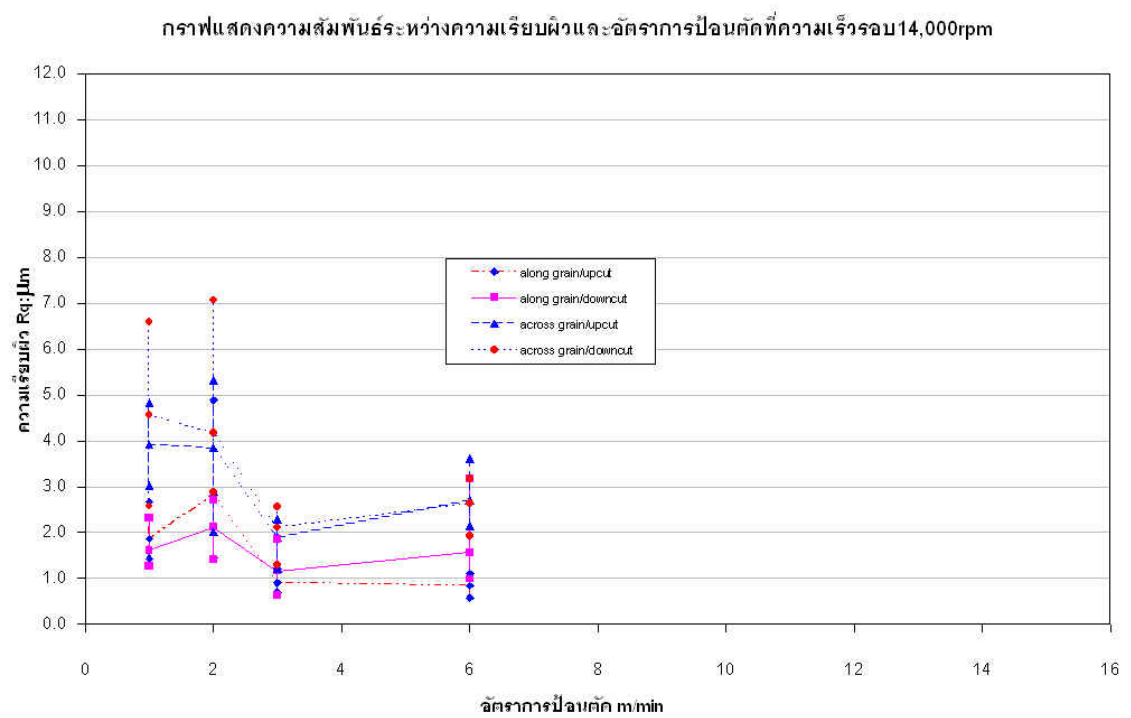
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที

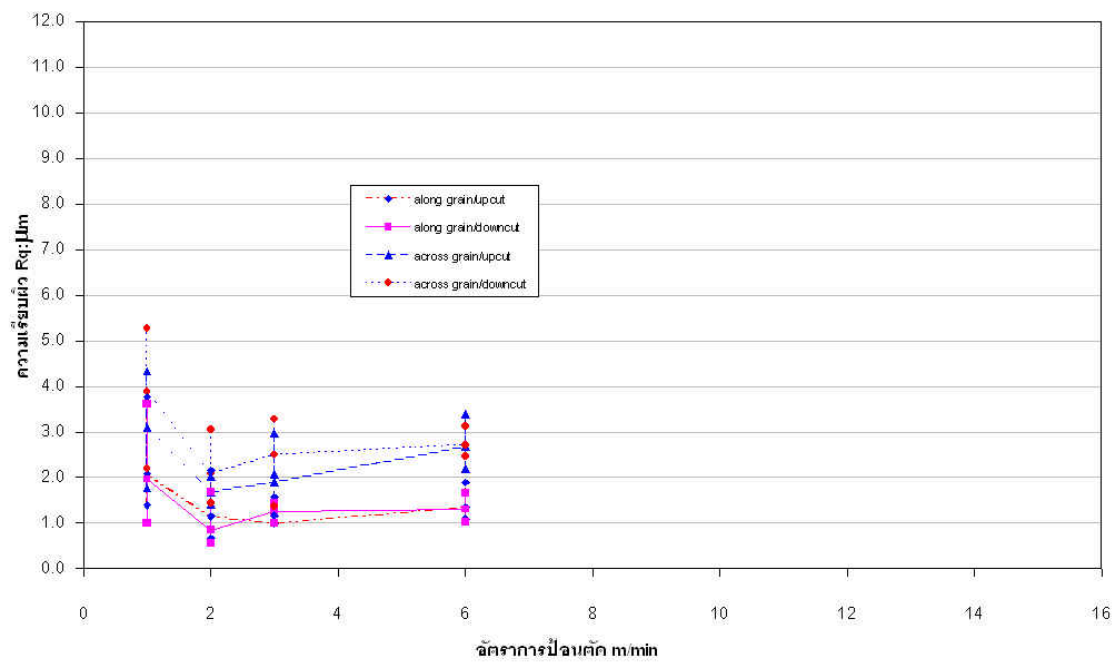


รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที



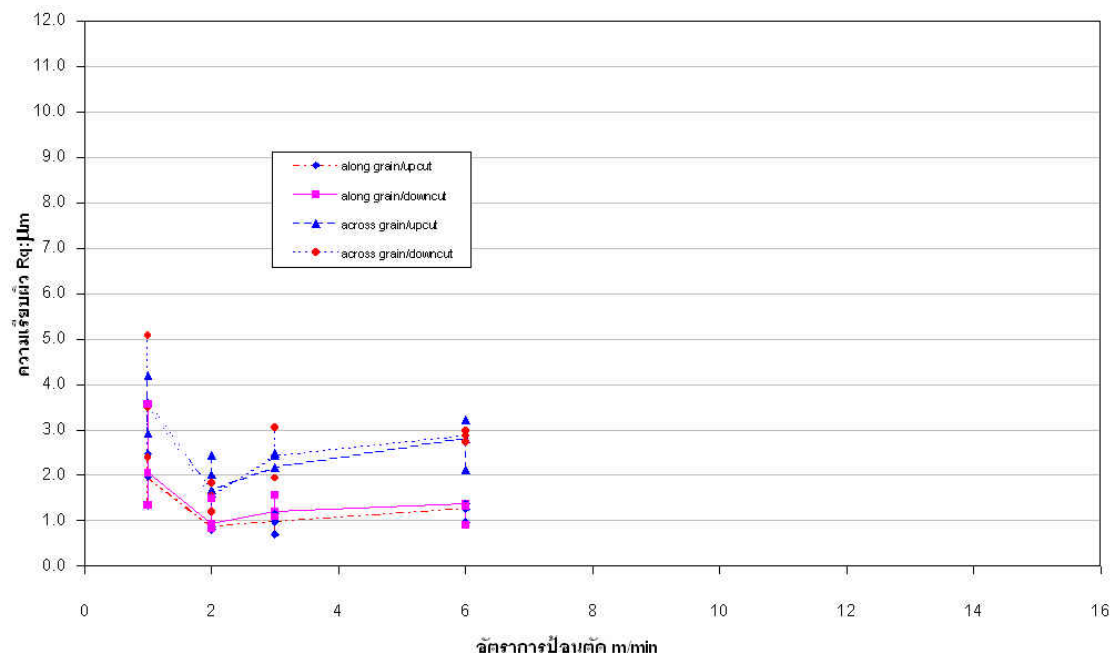
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 16,000rpm



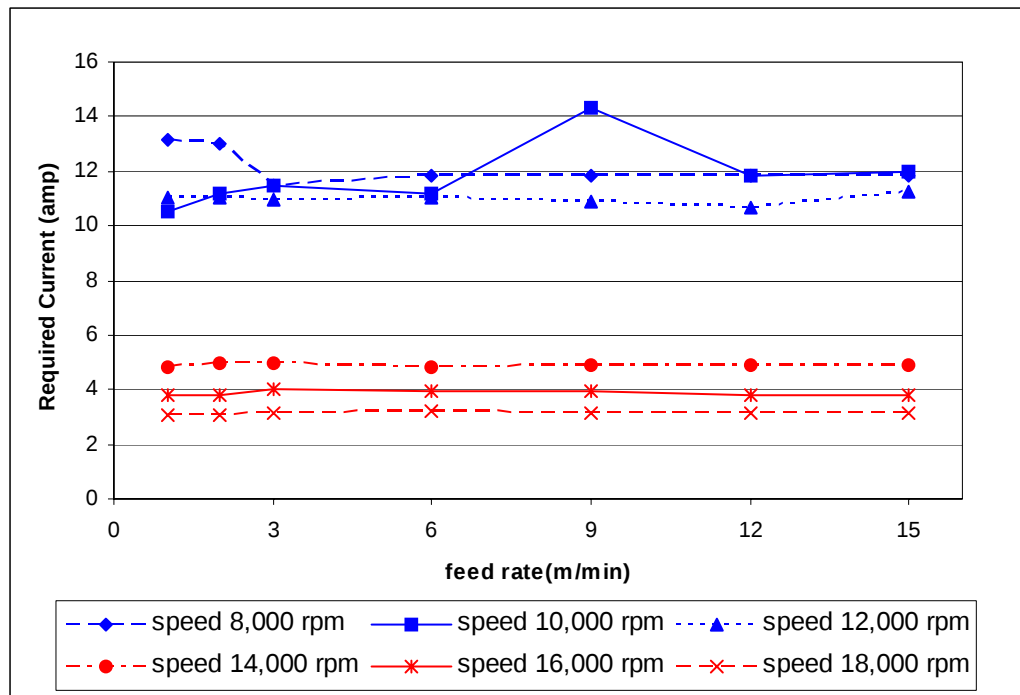
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 18,000rpm

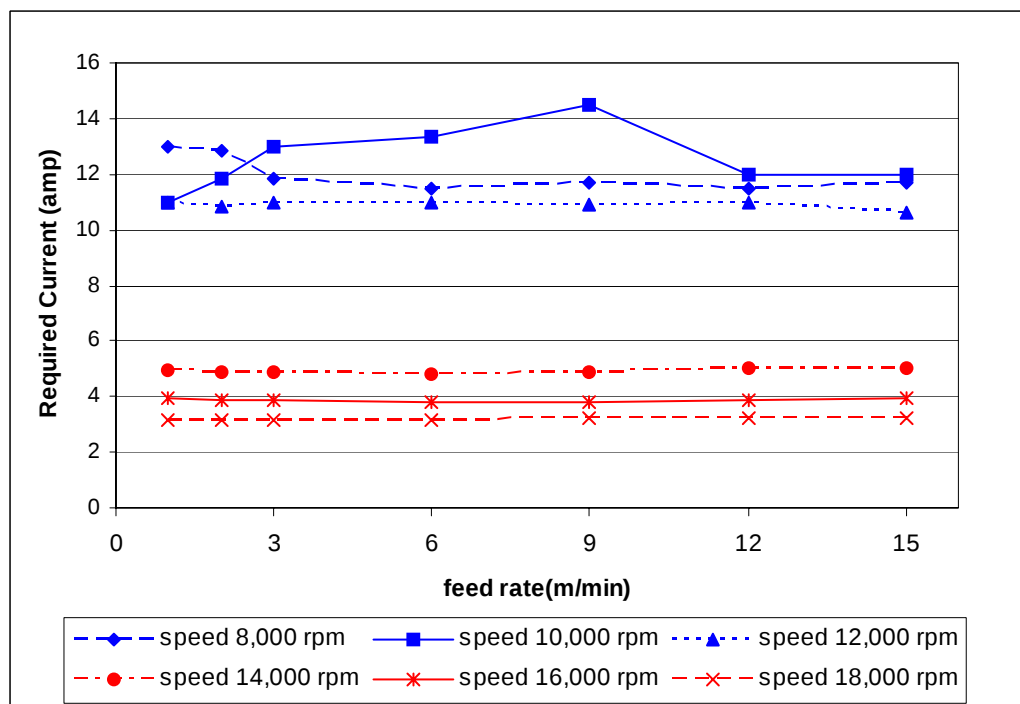


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที

#### 4.3.1.2 อิทธิพลของความเร็รรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 4.34 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทาง การป้อน



รูปที่ 4.35 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทาง การป้อน

จากรูปที่ 4.34 และ 4.35 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนตามลำดับ จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดมีแนวโน้มเหมือนกับที่ผ่านมา คือการกัดที่ความเร็วรอบสูงจะใช้กระแสไฟฟ้าน้อยเพราะปริมาณกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมอเตอร์มากกว่าภาระที่กระทำกับใบมีด

#### 4.3.2 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดรูปร่าง (Profile)

##### 4.3.2.1 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อคุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

สภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์คมตัดรูปร่างแบบถอดเปลี่ยนได้ แสดงในตารางที่ 4.5 จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าความเร็วรอบสูงสุดของใบมีดที่ใช้จะเท่ากับ 14,700 รอบต่อนาทีเท่านั้น ในขณะที่ใบมีดแบบอื่นจะทำการทดลองที่ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 18,000 รอบต่อนาที ทั้งนี้เพราะจากที่กล่าวในบทที่ 3 เนื่องจากข้อจำกัดในการหาใบมีดที่ใช้ในการทดลอง ใบมีดที่ใช้ในกรณีนี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 22 มิลลิเมตร ซึ่งใหญ่กว่ากรณีอื่นที่มีขนาดเพียง 18 มิลลิเมตร เพื่อให้ความเร็วตัด (ความเร็วเชิงเส้น) สูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง จึงกำหนดความเร็วรอบของใบมีดแตกต่างจากกรณีอื่นตามค่าที่แสดงในตาราง 4.5 จากการสังเกตผลที่ได้ในตาราง สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์คมตัดรูปร่างแบบถอดเปลี่ยนได้

| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (mm/min) |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |
|-------------------|-------------|---------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
|                   |             | 1             |         | 2     |         | 3     |         | 6     |         | 9     |         | 12    |         | 15    |         |       |         |
|                   |             | Upcut         | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut |
|                   |             | สูง           | ลึก     | สูง   | ลึก     | สูง   | ลึก     | สูง   | ลึก     | สูง   | ลึก     | สูง   | ลึก     | สูง   | ลึก     | สูง   | ลึก     |
| Along grain       | 8000        | *             | ✓       | ⊙     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✗       | ⊙     | ✓       | *     | ✗       | ⊙     | ✓       |
|                   | 10000       | *             | ✗       | *     | ✓       | *     | ✓       | ⊙     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✗       | *     | ✓       | *     | ✗       |
|                   | 12000       | ⊙             | ✓       | ⊙     | ✓       | ○     | ✓       | ⊙     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | ⊙     | ✓       | ⊙     | ✓       |
|                   | 13100       | *             | ✓       | *     | ✓       | ○     | ✓       | ⊙     | ✓       | ⊙     | ✓       | ⊙     | ✓       | *     | ○       | ✓     | ⊙       |
|                   | 14000       | *             | ✓       | ⊙     | ✓       | ○     | ✓       | ⊙     | ✓       | ⊙     | ✓       | ⊙     | ✓       | *     | ✓       | ⊙     | ✓       |
|                   | 14700       | *             | ✓       | ⊙     | ✓       | ○     | ✓       | *     | ✗       | ⊙     | ✓       | *     | ✗       | ⊙     | ✓       | ⊙     | ✗       |
| Across grain      | 8000        | *             | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ⊙       | *     | ⊙       |
|                   | 10000       | *             | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       |
|                   | 12000       | *             | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       |
|                   | 13100       | *             | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ⊙       | *     | ⊙       |
|                   | 14000       | *             | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | ○     | ✓       | *     | ✓       | ⊙     | ✓       | *     | ✓       |
|                   | 14700       | *             | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ✓       | *     | ⊙       | *     | ⊙       |

\* = ไม่มีการเกิดชิ้นเล็ก  
 ✓ = ไม่มีการฉีก  
 ⊙ = มี屑เกิดขึ้นเล็กน้อย  
 ✗ = มีรอยฉีกตามแนวยาว  
 ○ = มี屑เกิดขึ้นปานกลาง  
 ⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้  
 △ = มี屑เกิดขึ้นมาก

หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.

### - ขุยของเนื้อไม้

การสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ พบว่าการเกิดขุยไม้ของใบมีดคมตัดรูปร่างจะเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าคมตัดตรง แต่จะเป็นขุยปริมาณน้อยๆ ในขณะที่กรณีคมตัดตรงเมื่อเกิดขุยขึ้นจะเกิดขึ้นในปริมาณมาก เนื่องจากการเกิดขุยจะสัมพันธ์กับระยะกินลึกดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ นั่นคือ กรณีคมตัดแบบรูปร่างที่มีระยะการกินลึกของส่วนบนคมตัดมากทำให้มีขุยเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่านั่นเอง

### - ความเสียหายของไม้

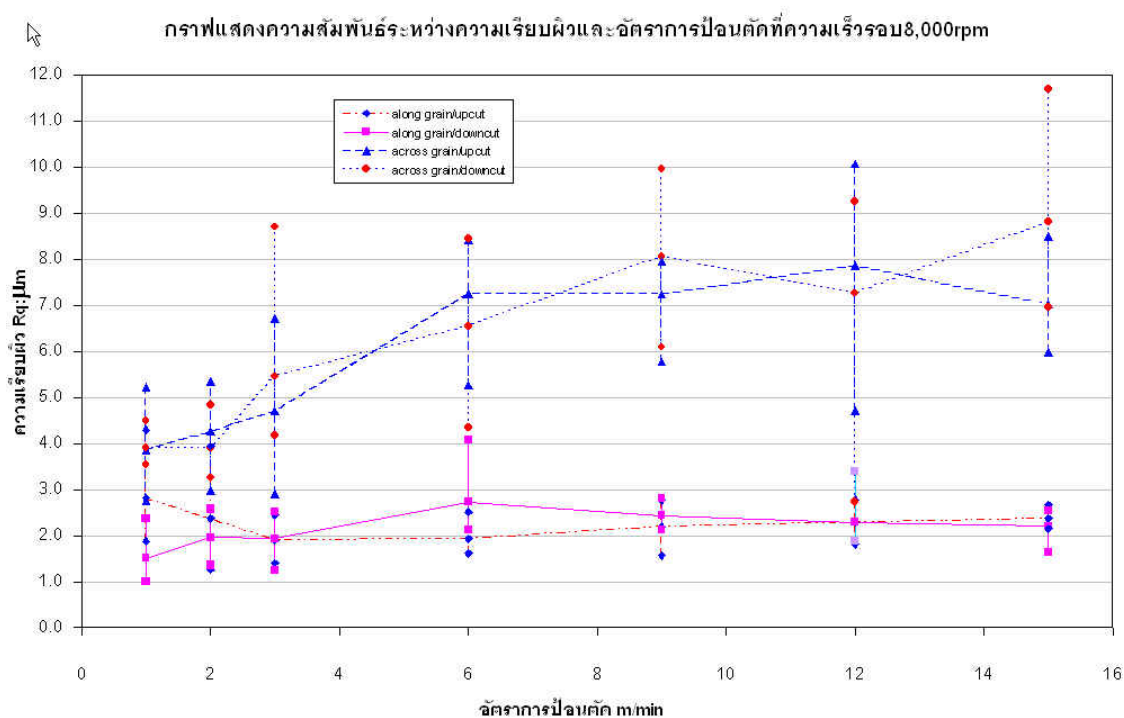
จากตารางที่ 4.5 พบว่ากรณีคมตัดรูปร่างจะสามารถกัดชิ้นงานโดยใช้อัตราการป้อนกัดสูงๆได้ ในขณะที่ในกรณีคมตัดตรงเมื่อกำหนดอัตราการป้อนกัดสูงกว่า 9 เมตรต่อนาทีจะไม่สามารถกัดชิ้นงานได้ เนื่องจากเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงของเครื่องซีเอ็นซี ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากช่องว่าง (Gap) ระหว่างใบมีดกับตัวจับยึด (Tool holder) ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ก่อนหน้านี้ ทั้งนี้ในกรณีของงานวิจัยนี้ การใช้ใบมีดที่มีคมตัดรูปร่างจะเกิดการสั่นสะเทือนน้อยกว่าเพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด ซึ่งหมายถึงขนาดของใบมีดที่ใช้ใหญ่กว่ากรณีคมตัดตรง ทำให้การยึดใบมีดสามารถใช้สกรูที่มีขนาดใหญ่กว่า และยึดได้มั่นคงกว่ากรณีคมตัดตรง ส่งผลให้การสั่นสะเทือนขณะทำการกัดลดลงนั่นเอง อย่างไรก็ตามเมื่อกำหนดอัตราการป้อนกัดสูงกว่า 9 เมตรต่อนาที แนวโน้มการหลุดของเนื้อไม้ก็เกิดได้มากขึ้นเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่มากขึ้นตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ก่อนหน้านี้

### - รอยไหม้บนผิวไม้

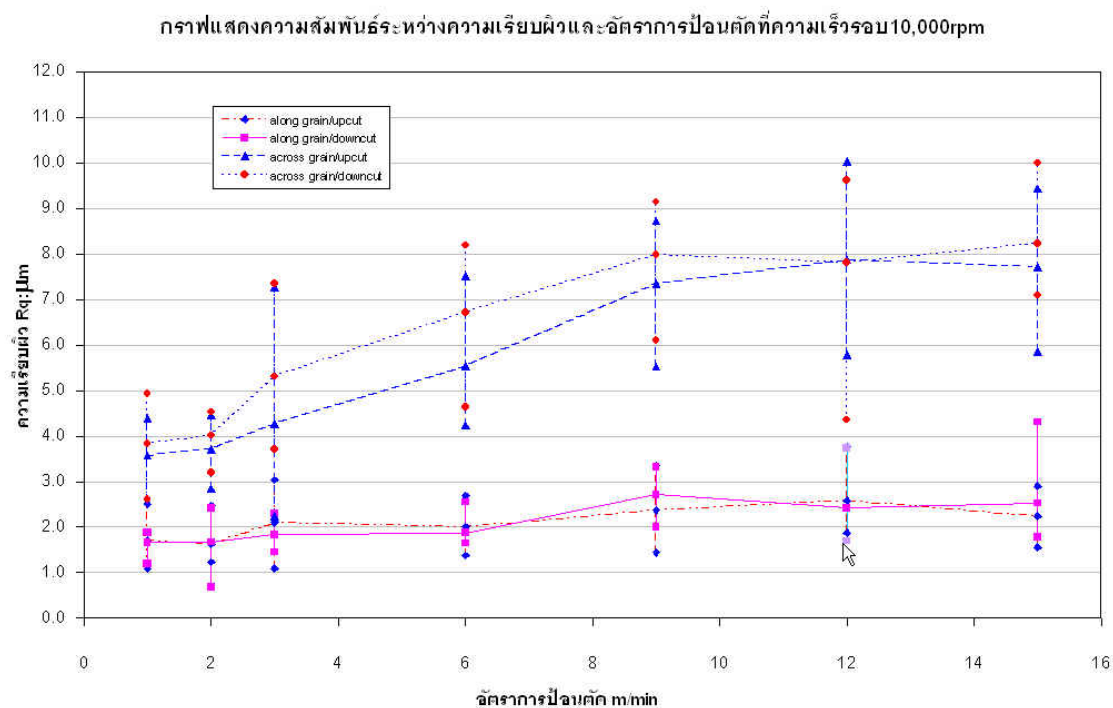
ไม่พบรอยไหม้เกิดขึ้นในช่วงความเร็วรอบที่สามารถทำการกัดได้

### (จ) ความเรียบผิวชิ้นงาน

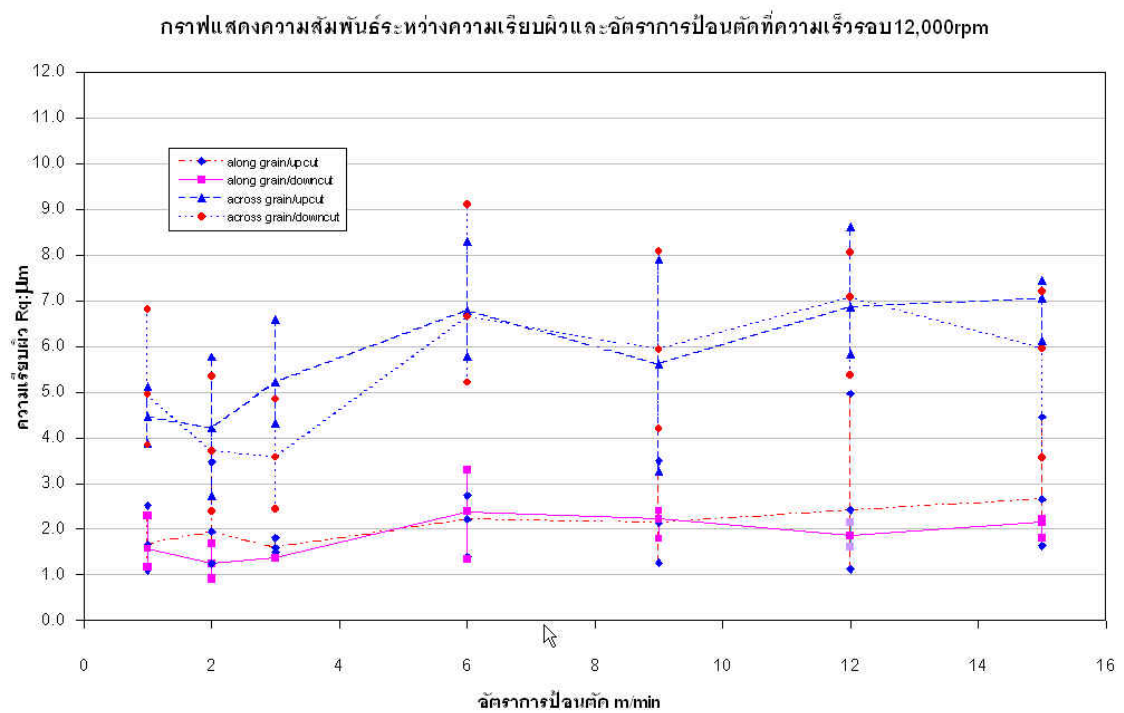
ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสเตนคาร์ไบด์คมตัดรูปร่างแบบเชื่อมติด แสดงในรูปที่ 4.36-4.41 จากรูป พบว่ากรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนมีแนวโน้มของความเรียบผิวที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับความเรียบผิวของใบมีดแบบคมตัดตรง ความเรียบผิวที่ได้มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยโดยเฉพาะในกรณีของการกัดขวางเสี้ยน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากกรณีของคมตัดรูปร่าง ระยะการกินลึกเฉลี่ยของใบมีดจะมีค่ามากกว่ากรณีคมตัดตรง ทำให้ผิวที่ได้หยาบกว่าเล็กน้อย และเมื่ออัตราการป้อนกัดสูงขึ้น ผิวที่ได้มีแนวโน้มหยาบขึ้นเหมือนกับกรณีที่ใช้ใบมีดแบบอื่นๆ



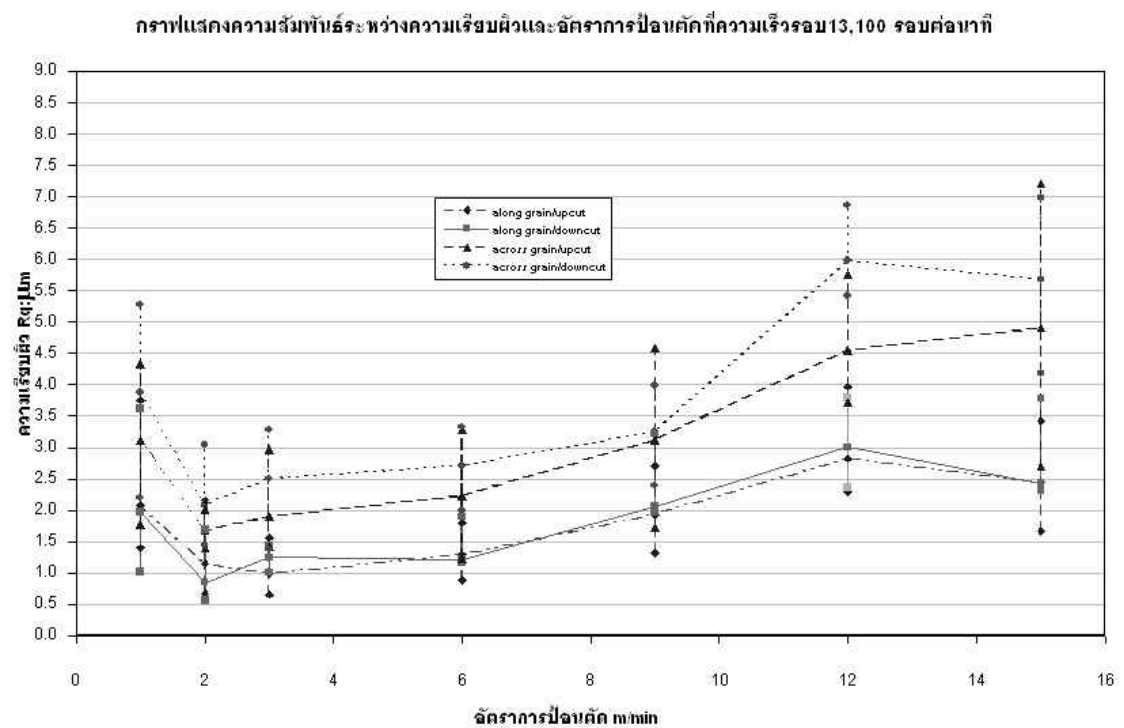
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที



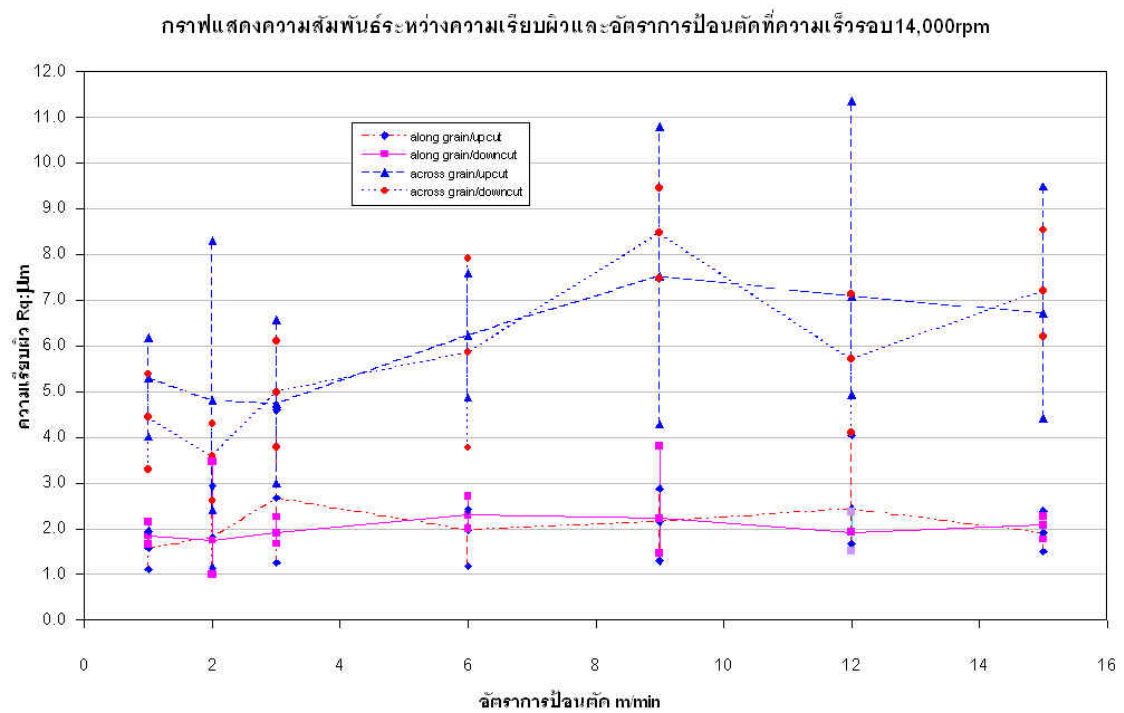
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัดที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที



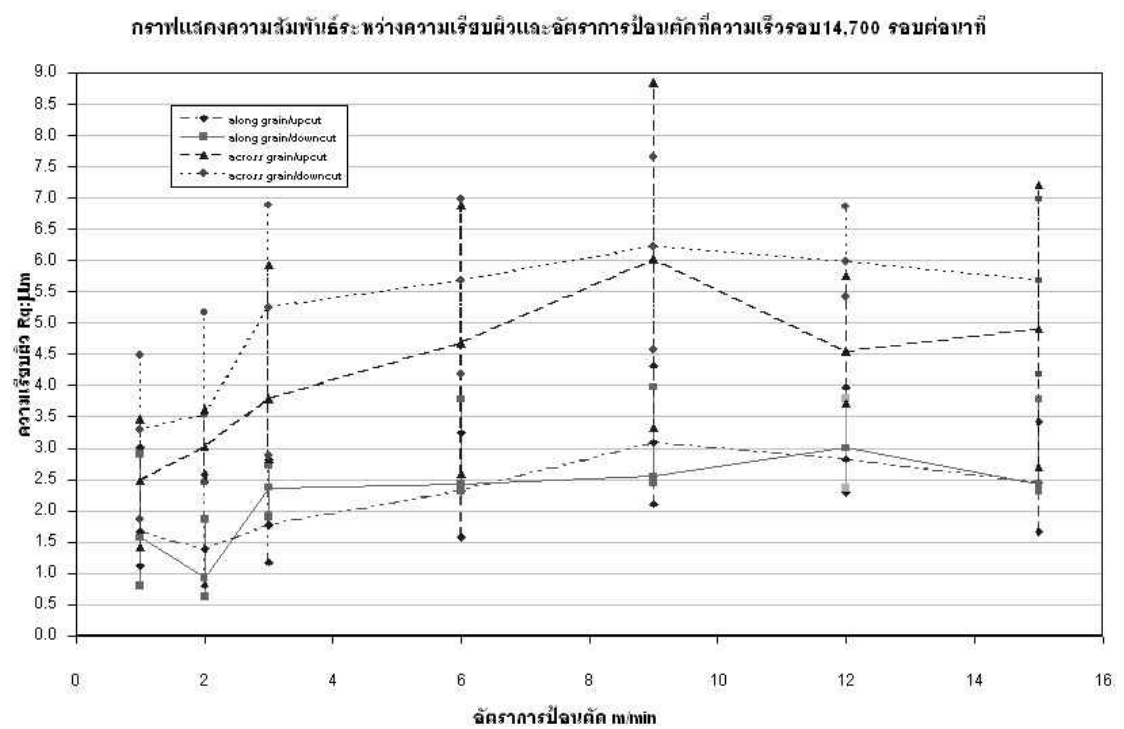
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 13,100 รอบต่อนาที



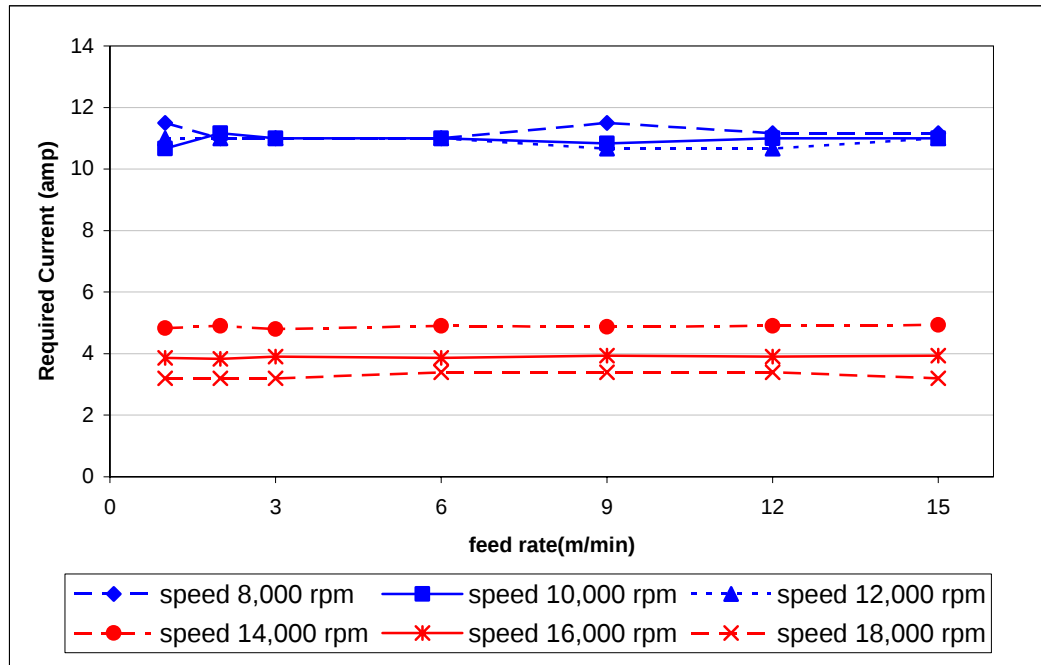
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที



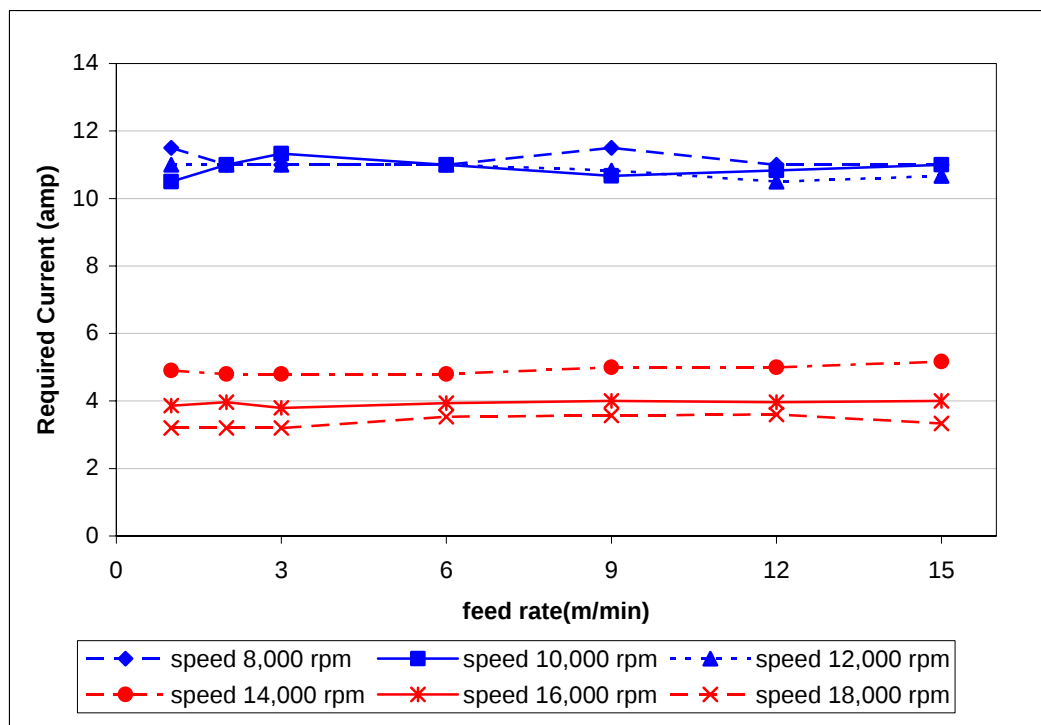
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วรอบ 14,700 รอบต่อนาที

#### 4.3.2.2 อิทธิพลของความเร็รรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

จากรูปที่ 4.42 และ 4.43 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดมีแนวโน้มเหมือนกับก่อนหน้าที่ผ่านมา



รูปที่ 4.42 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน



รูปที่ 4.43 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน

## 4.4 อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือน (Inclination Angle)

### 4.4.1 คุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

#### - ขุยของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งเป็นการกัดไม้โดยใช้ใบมีดที่ไม่มีมุมตัดเฉือนและใบมีดที่มีมุมตัดเฉือนเท่ากับ 5 องศา ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 และ 26 มิลลิเมตรของการกัดแบบขนานเส้นไม้และตามทิศทางการป้อนมีขุยขึ้นทุกอัตราการป้อน ทั้งนี้การทดลองนี้ได้กำหนดให้ความเร็วเชิงเส้นในการกัดของใบมีดทุกอันเท่ากัน (Linear cutting speed เท่ากัน แต่ความเร็วรอบแปรตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง) ดังนั้นการเพิ่มขนาดของใบมีดโดยใช้จำนวนคมตัดเท่าเดิม จะทำให้ระยะทางในการกัดต่อหนึ่งคมตัด (Feed per tooth) เพิ่มขึ้นดังนั้น โอกาสที่จะเกิดการกัดซ้ำที่จุดเดิมจะเกิดขึ้นน้อยลงทำให้เกิดขุยได้ง่ายขึ้น จากตารางพบว่า การมีมุมตัดเฉือนและไม่มีมุมตัดเฉือนไม่มีผลต่อการเกิดขุยอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.6 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานของใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน

| Cutting direction | Dia. (mm) | feed (m/min) |     |         |     |       |     |         |     |
|-------------------|-----------|--------------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|
|                   |           | 3            |     |         |     | 9     |     |         |     |
|                   |           | Upcut        |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     |
|                   |           | ขุย          | ฉีก | ขุย     | ฉีก | ขุย   | ฉีก | ขุย     | ฉีก |
| Along grain       | 18        | *            | ✗   | ○       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   |
|                   | 22        | *            | ✗   | ⊙       | ✓   | *     | ✓   | ○       | ✓   |
|                   | 26        | *            | ✗   | ○       | ✓   | *     | ✓   | ⊙       | ✓   |
| Across grain      | 18        | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ✓   |
|                   | 22        | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ⊗   |
|                   | 26        | *            | ✓   | *       | ✓   | *     | ⊗   | *       | ⊗   |

- \* = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย      ⊙ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย  
 ○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง      △ = มีขุยเกิดขึ้นมาก  
 ✓ = ไม่มีการฉีก      ✗ = มีรอยฉีกตามแนวยาว

หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.7 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานของใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน (5 องศา)

| Cutting direction | Dia. (mm) | feed (mm/min) |     |         |     |       |     |         |     |
|-------------------|-----------|---------------|-----|---------|-----|-------|-----|---------|-----|
|                   |           | 3             |     |         |     | 9     |     |         |     |
|                   |           | Upcut         |     | Downcut |     | Upcut |     | Downcut |     |
|                   |           | ขยุ           | ฉีก | ขยุ     | ฉีก | ขยุ   | ฉีก | ขยุ     | ฉีก |
| Along grain       | 18        | *             | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | ○       | ✓   |
|                   | 22        | *             | ✓   | ○       | ✓   | *     | ✓   | ⊙       | ✓   |
|                   | 26        | *             | ✓   | ⊙       | ✓   | *     | ✗   | ○       | ✓   |
| Across grain      | 18        | *             | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ⊗   |
|                   | 22        | *             | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ⊗   |
|                   | 26        | *             | ✓   | *       | ✓   | *     | ✓   | *       | ⊗   |

\* = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย      ⊙ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย  
 ○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง      △ = มีขุยเกิดขึ้นมาก  
 ✓ = ไม่มีการฉีก      ✗ = มีรอยฉีกตามแนวยาว

หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.

#### - ความเสียหายของไม้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดไม่มีผลต่อความเสียหายของเนื้อไม้ แต่การมีมุมตัดเฉือนนั้นจะไปช่วยลดการฉีกขาดของเนื้อไม้จากกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนตัด เนื่องจากว่าใบมีดที่มีมุมตัดเฉือนทำให้แรงในการกัดลดลงและสม่ำเสมอ ทำให้การฉีกขาดของชิ้นงานลดลงดังรูปที่ 2.20 แต่ที่กรณีตามทิศทางการป้อนการมีมุมตัดเฉือนทำให้เกิดการหลุดของเนื้อไม้มากขึ้น

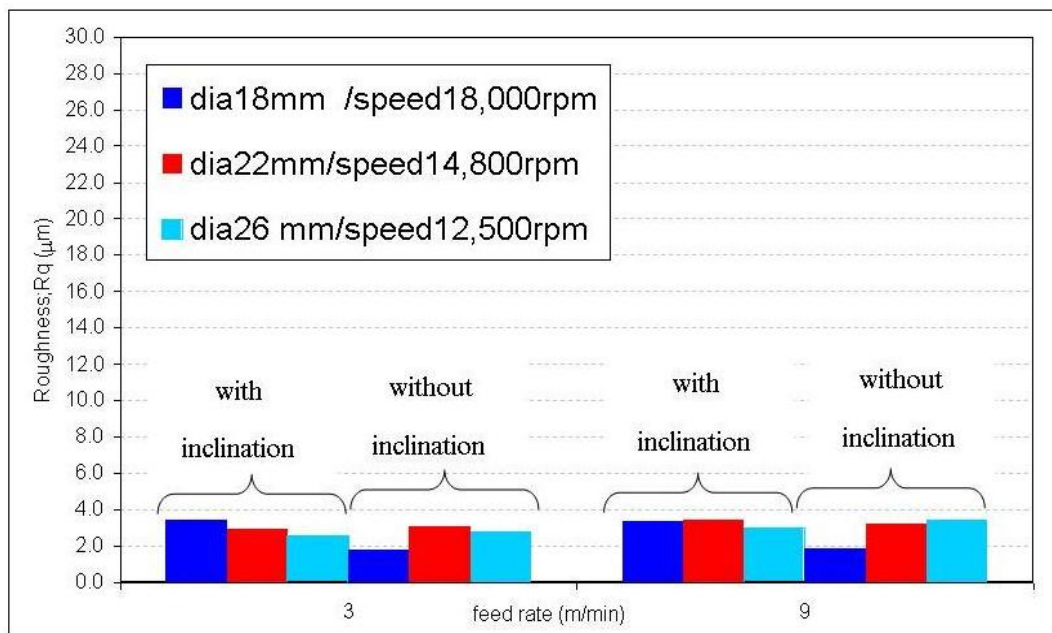
#### - รอยไหม้บนผิวไม้

จากผลที่พบว่าเมื่อมีรอยไหม้เกิดขึ้นที่ใบมีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 และ 26 มิลลิเมตร ที่อัตราการป้อน 3 เมตรต่อนาที ของการกัดแบบขวางเส้นไม้ ซึ่งเกิดทั้งแบบมีมุมตัดเฉือนและไม่มีมุมตัดเฉือน

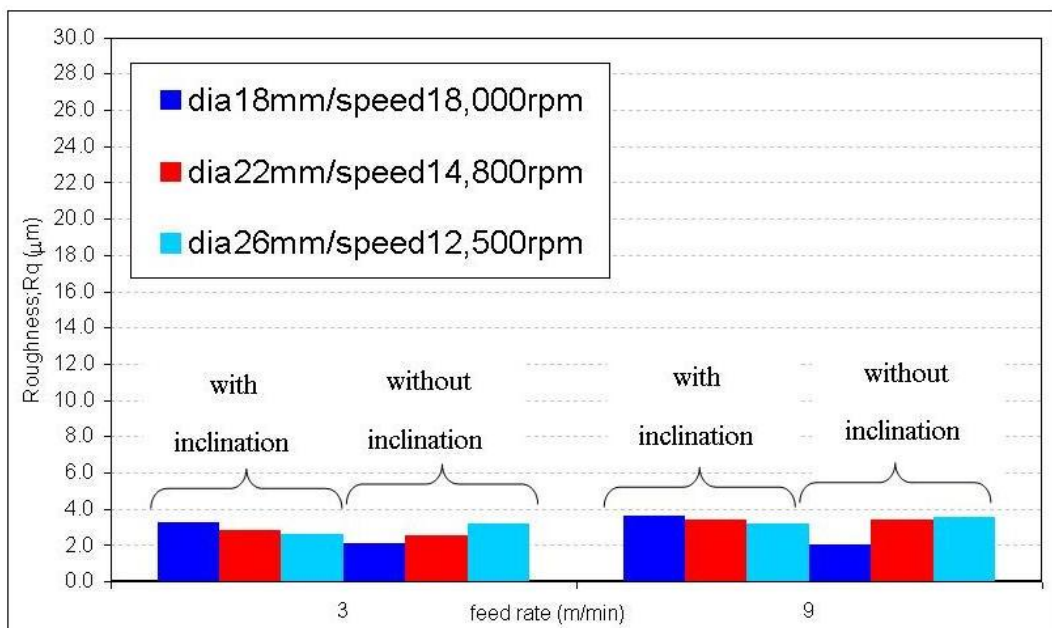
#### (ข) ความเรียบผิวชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.44 - 4.49 เมื่อพิจารณากรณีมีมุมตัดเฉือนและไม่มีมุมตัดเฉือนของการกัดแบบขวางเส้นไม้ทั้งกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนหรือตามทิศทางการป้อนพบว่า ใบมีดที่มีมุมตัดเฉือนเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดเพิ่มขึ้นทำให้ความเรียบผิวดีขึ้น แต่ในส่วนของใบมีดที่ไม่มีมุมตัดเฉือนเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดเพิ่มขึ้นทำให้ความเรียบผิวแย่ลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าแนวโน้มที่ได้มีความขัดแย้งกับทางทฤษฎี ทำให้ไม่สามารถที่จะสรุปผลของการทดลองในส่วนนี้ได้

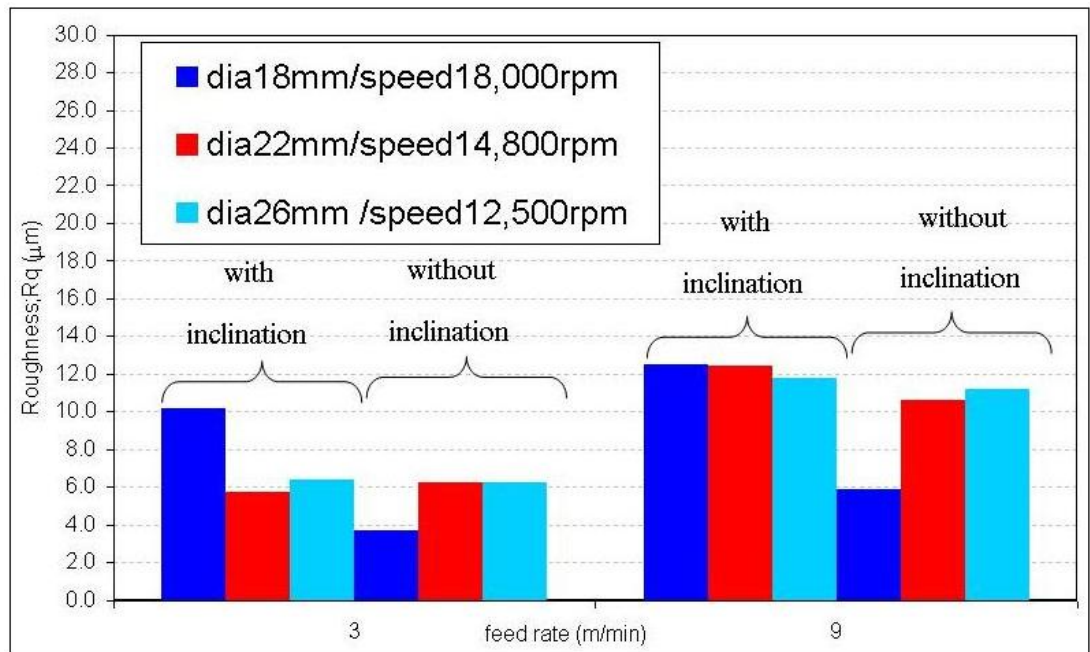
อย่างชัดเจน เนื่องจากตามทฤษฎี เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นค่าความเรียบผิวที่ได้ควรจะแยกลง (เพราะ Cutter mark มีค่าสูงขึ้น) แต่ผลของค่าความเรียบผิวที่ได้จากการทดลองนั้นมีค่าที่แข่งกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันน้อยเกินไป ส่งผลให้การทดลองไม่สามารถที่จะสรุปได้อย่างชัดเจน



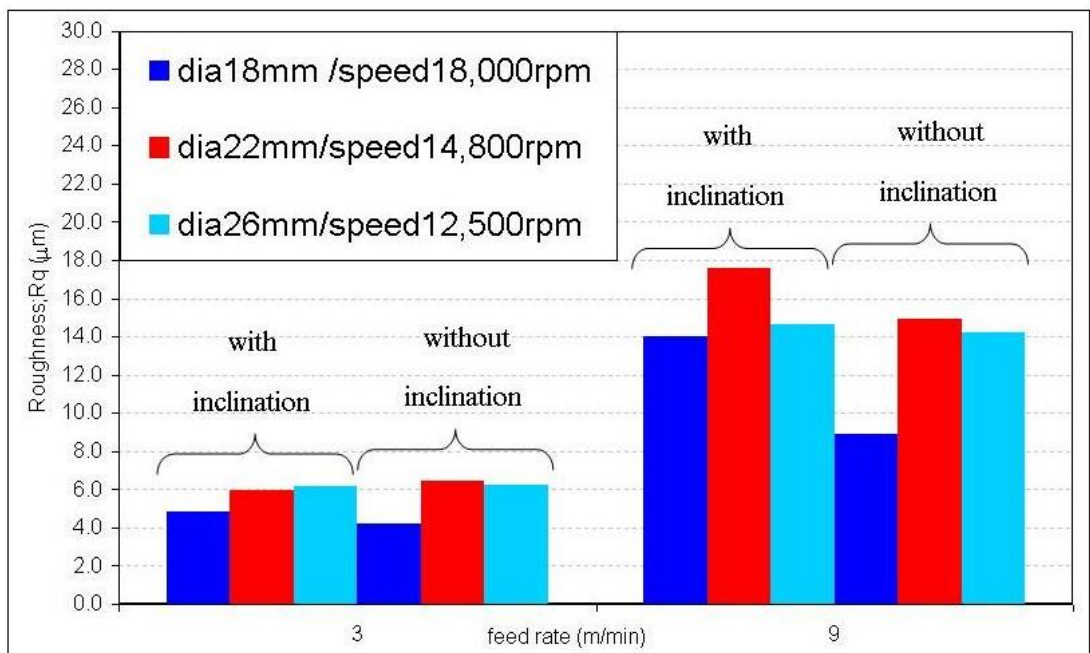
รูปที่ 4.44 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย กำหนดค่าความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขนานเส้นไม่แบบสวนทิศทางการป้อน



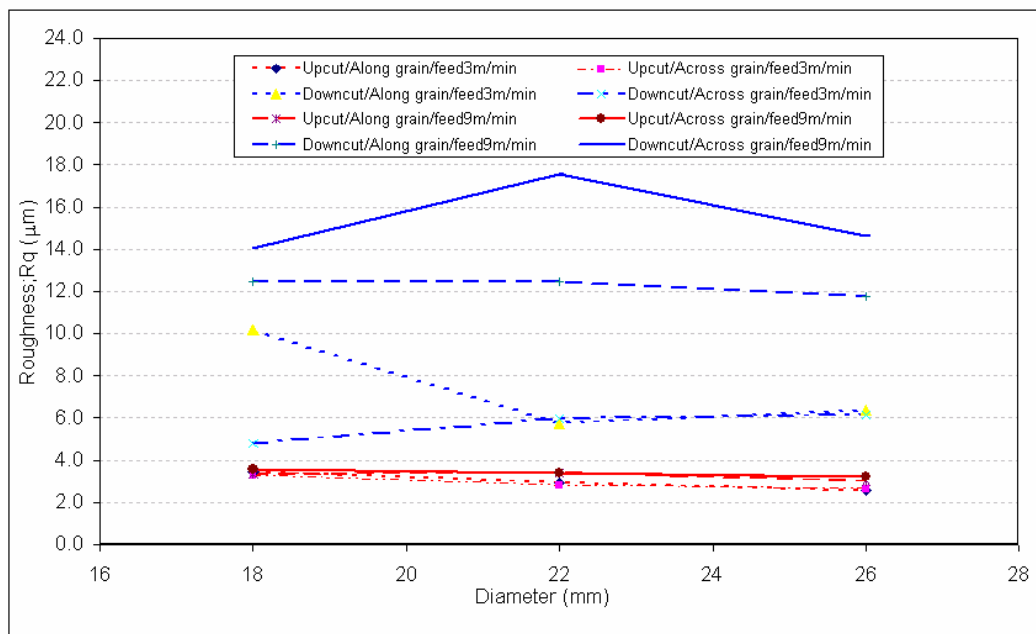
รูปที่ 4.45 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย กำหนดค่าความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขนานเส้นไม่แบบตามทิศทางการป้อน



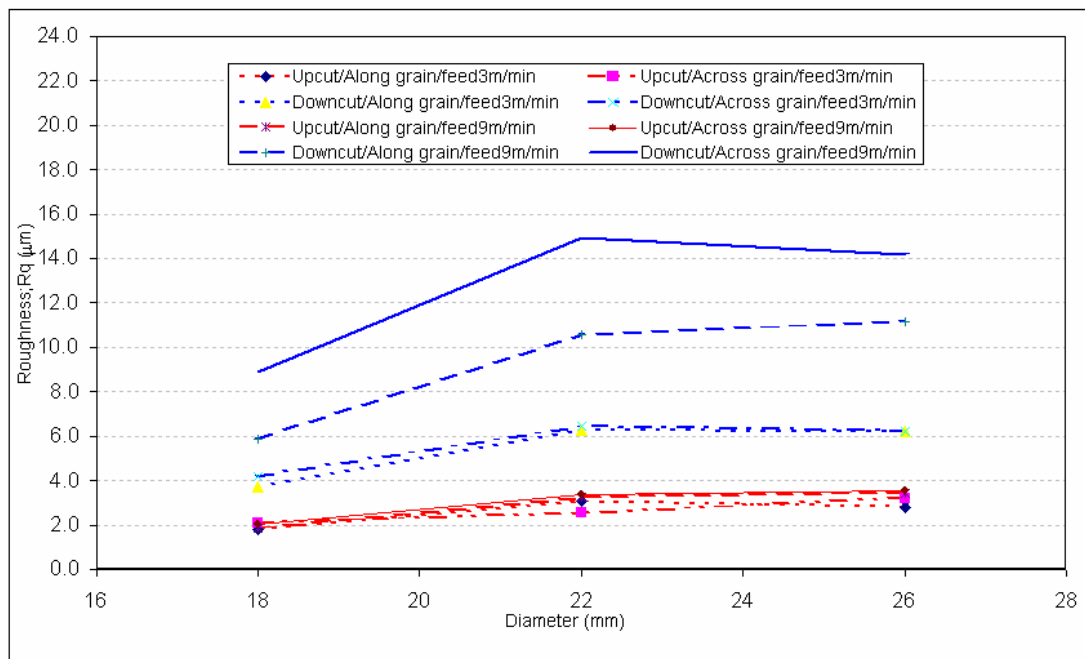
รูปที่ 4.46 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย กำหนดค่าความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขวางเส้นไม่แบบสวนทิศทางการป้อน



รูปที่ 4.47 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย กำหนดค่าความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขวางเส้นไม่แบบตามทิศทางการป้อน

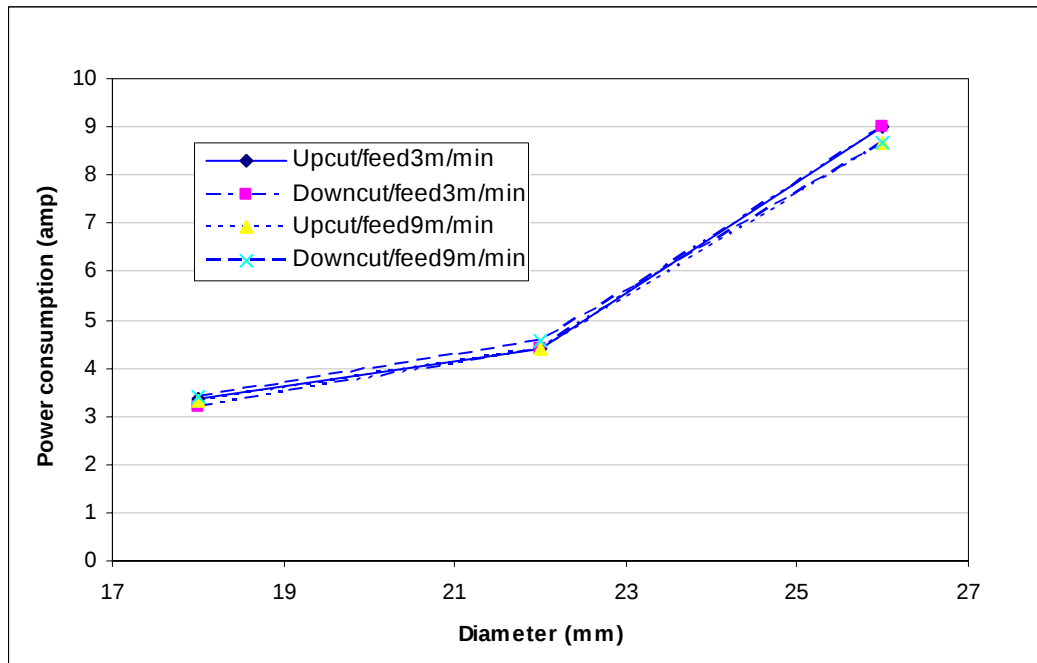


รูปที่ 4.48 อิทธิพลเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดยใช้ใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน

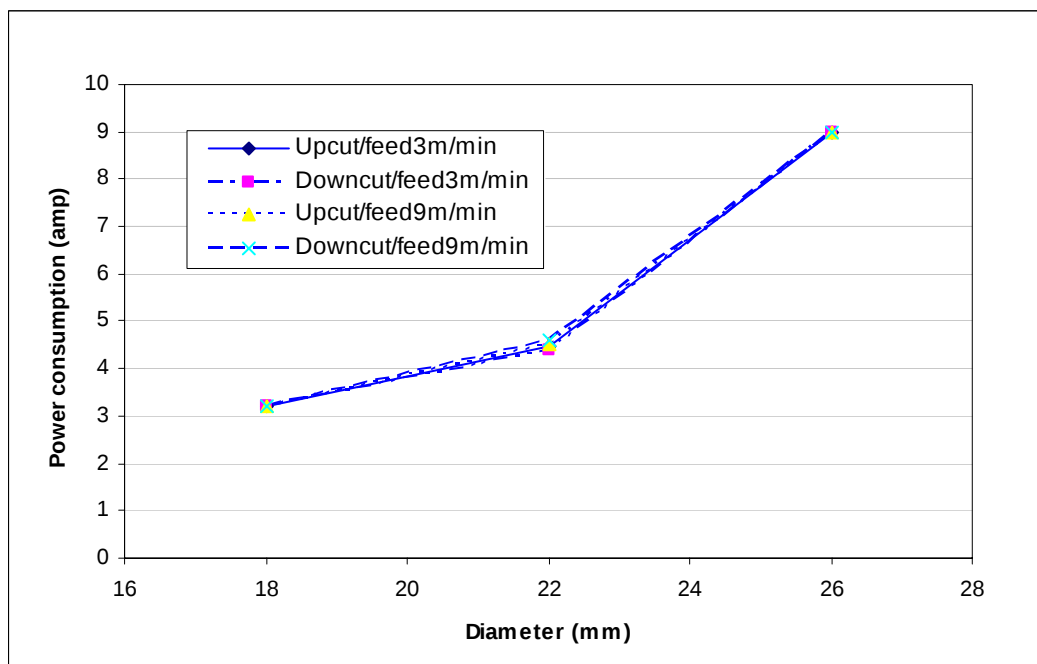


รูปที่ 4.49 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดยใช้ใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน

#### 4.4.2 อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อปริมาณกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.50 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน



รูปที่ 4.51 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน

รูปที่ 4.50 และ 4.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดชิ้นงานสำหรับกรณีที่ใช้ใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน และแบบที่มีมุมตัดเฉือนเท่ากับ 5 องศาตามลำดับ จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าเมื่อขนาดใบมีดเพิ่มขึ้นจะใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้จริงๆ แล้วไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดจากอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดเนื่องจากการทดลองเพื่อที่จะกำหนดให้ความเร็วเชิงเส้นในการกัดคงที่ จำเป็นต้องแปรค่าความเร็วรอบตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด กรณีใบมีดขนาดเล็กจะใช้ความเร็วรอบสูงกว่าทำให้ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่านั่นเอง เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลองขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นหลัก

#### 4.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ในการทำนายคุณภาพผิวของไม้ที่ตัดด้วยใบมีดแบบเชื่อมติด

เนื่องจากการกัดไม้ยางพาราจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้มีอยู่หลายอย่างด้วยกัน การกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพผิวที่ดีที่สุดจะสามารถทำได้ค่อนข้างยาก เพราะข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ชัดเจนว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในการทำงานและคุณภาพผิวที่ได้ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ของไม้ที่ใช้ในการทดลอง ทั้งในเรื่องของตาไม้ ทิศทางของเกรน และความแตกต่างของไม้แต่ละท่อนที่มาต่อเข้าด้วยกันเป็นแผ่น (Finger joint) ที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวที่ได้หลังจากการกัดค่อนข้างมาก ถึงแม้ว่าการทำการทดลองซ้ำหลายครั้งโดยใช้หลักการทางสถิติจะทำให้ลดความแปรปรวนของข้อมูลไปได้ที่ความเชื่อมั่นระดับหนึ่งแล้วก็ตาม แนวโน้มของผลที่ได้ก็ยังไม่แสดงรูปแบบที่ชัดเจน ดังนั้นในหัวข้อนี้ได้นำเสนอการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยในการสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในการกัดไม้ ได้แก่ความเร็วรอบของใบมีดและอัตราการป้อนกัดที่มีผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน และการเกิดความเสียหายของไม้ สำหรับการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนเลสและใบมีดแบบเชื่อมติดทั้งในกรณีคมตัดตรงและคมตัดรูปร่าง ทั้งในกรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด-ตามทิศทางการป้อนกัด และทั้งในกรณีของการกัดตามเส้นและการกัดขวางเส้นไม้

##### 4.5.1 การทำนายความเรียบผิว

ผลการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ทำนายคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากการกัดแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับผลการทดลอง

| กรณีใบมีดกัดแบบคมตัดตรง     |                         |                         |                         |                         |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ประเภท                      | กัดขนานเสี้ยนไม้        |                         | กัดขวางเสี้ยนไม้        |                         |
|                             | กัดสวนทิศทาง<br>การป้อน | กัดตามทิศทาง<br>การป้อน | กัดสวนทิศทาง<br>การป้อน | กัดตามทิศทาง<br>การป้อน |
| ความเรียบผิว                | 15.30%                  | 14.60%                  | 15.80%                  | 19.26%                  |
| ขุย                         | 7.14%                   | 28.57%                  | 0.00%                   | 0.00%                   |
| ฉีกและหลุด                  | 21.43%                  | 0.00%                   | 7.14%                   | 0.00%                   |
| กรณีใบมีดกัดแบบคมตัดรูปร่าง |                         |                         |                         |                         |
| ความเรียบผิว                | 11.35%                  | 13.19%                  | 18.30%                  | 15.20%                  |
| ขุย                         | 7.14%                   | 35.71%                  | 0.00%                   | 0.00%                   |
| ฉีกและหลุด                  | 21.43%                  | 0.00%                   | 28.57%                  | 21.43%                  |

#### 4.5.2 วิเคราะห์ผลการทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

1. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายความเรียบผิวของใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์แบบคมตัดตรงและแบบรูปร่าง ปรากฏว่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังอยู่ในช่วงความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการวัดสำหรับการกัดแต่ละเงื่อนไข ดังนั้นความผิดพลาดในช่วงดังกล่าวในที่นี้ถือว่าเป็นช่วงที่ยอมรับได้

2. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายขุยไม้ของใบมีดคมตัดตรงมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0- 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งที่มีความผิดพลาดที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากว่าในการคิดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น จะกำหนดค่าที่ไม่ตรงกับผลการทดลองจะให้ค่าความผิดพลาดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และถ้าตรงกับผลการทดลองก็จะให้ค่าความผิดพลาดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูง

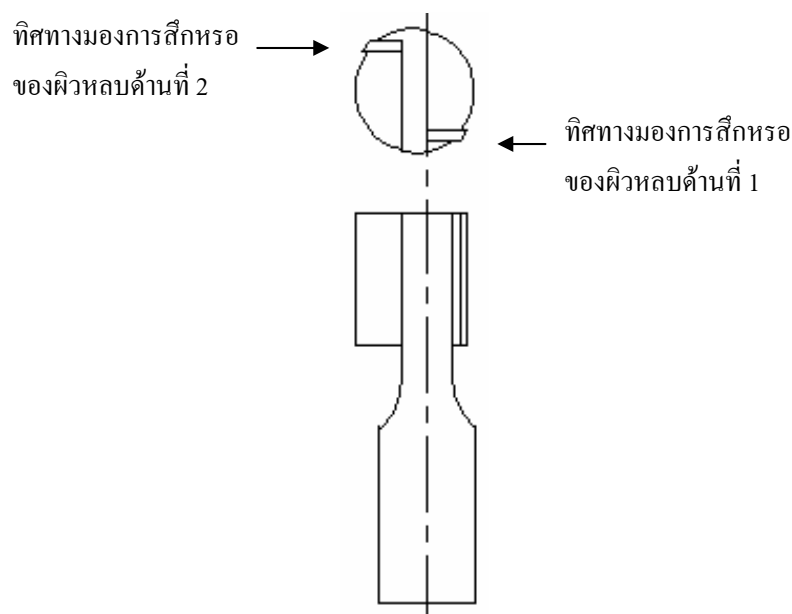
3. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมการทำนายการฉีกและการหลุดของเนื้อไม้ ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0-30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความผิดพลาดที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากเหตุผลเดียวกับการทำนายขุยไม้

#### 4.6 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดกัด

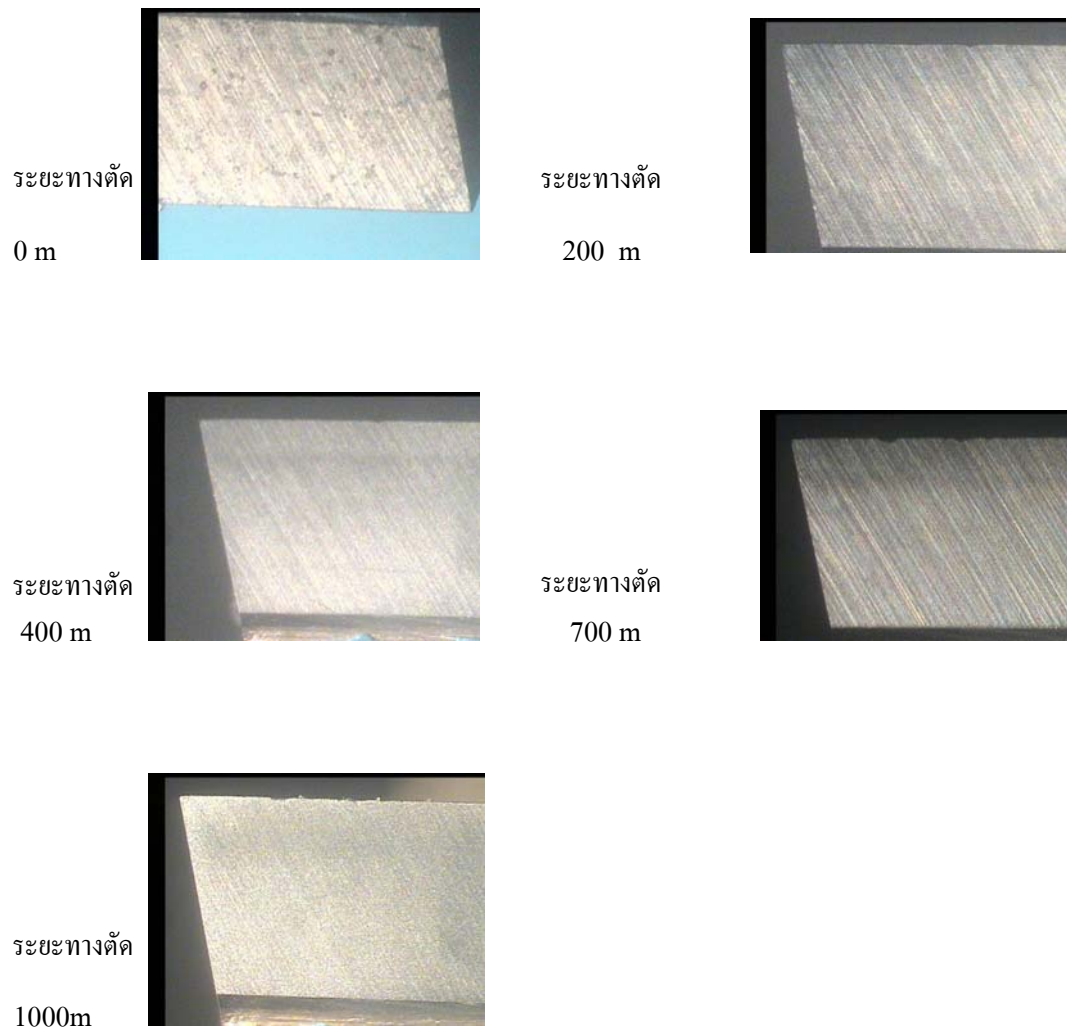
การกัดไม้ยางพารา ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือการสึกหรอของใบมีดกัด เนื่องจากในการกัดไม้ไม่สามารถใช้สารหล่อลื่นได้อย่างเช่นการกัดโลหะทั่วไป แต่เนื่องจากไม้มีความแข็งและความเหนียวน้อยกว่าโลหะมาก ดังนั้นการกัดโดยไม้ใช้สารหล่อลื่นก็จะเป็นไปได้สำหรับไม้ อย่างไรก็ตามในการกัดไม้ เนื่องจากความเร็วรอบของใบมีดและอัตราการป้อนกัดมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการกัดโลหะโดยทั่วไป ดังนั้นอายุการใช้งานของคมตัดจึงไม่ยาวมากนัก ในการกัดไม้ในภาคอุตสาหกรรมอายุของใบมีดอาจจะประมาณ 8~12 ชั่วโมงทำงาน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการกัด เมื่อการสึกหรอของใบมีดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้ ทำให้เกิดขุยมากขึ้น และเกิดความเสียหายของไม้ เช่น การฉีกหรือการหลุดของเนื้อไม้ได้ง่ายขึ้นเช่นกัน การสึกหรอของใบมีดกัดจะรุนแรงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนกัดสูงและความเร็วรอบของใบมีดต่ำ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการสึกหรอของใบมีดกัด ในที่นี้ได้เลือกใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์คมตัดตรงแบบเชื่อมติดมาทำการทดลอง และเพื่อให้เห็นการสึกหรอได้ชัดเจน จึงเลือกเงื่อนไขในการกัดที่ความเร็วรอบต่ำและอัตราการป้อนกัดสูงที่สามารถกัดชิ้นงานได้โดยไม่ก่อให้เกิดขุย คือใช้ความเร็วรอบที่ 8,000 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนกัดที่ 9 เมตรต่อนาที ทำการกัดไม้เป็นระยะทาง 1,000 เมตร โดยจะทำการวัดการสึกหรอด้านข้างของใบมีด (F flank wear) ที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้ และวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้ พร้อมทั้งอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (กระแสไฟฟ้าที่ใช้) ทุกๆระยะการกัด 200 เมตร

#### 4.6.1 การสึกหรอด้านข้างของใบมีด

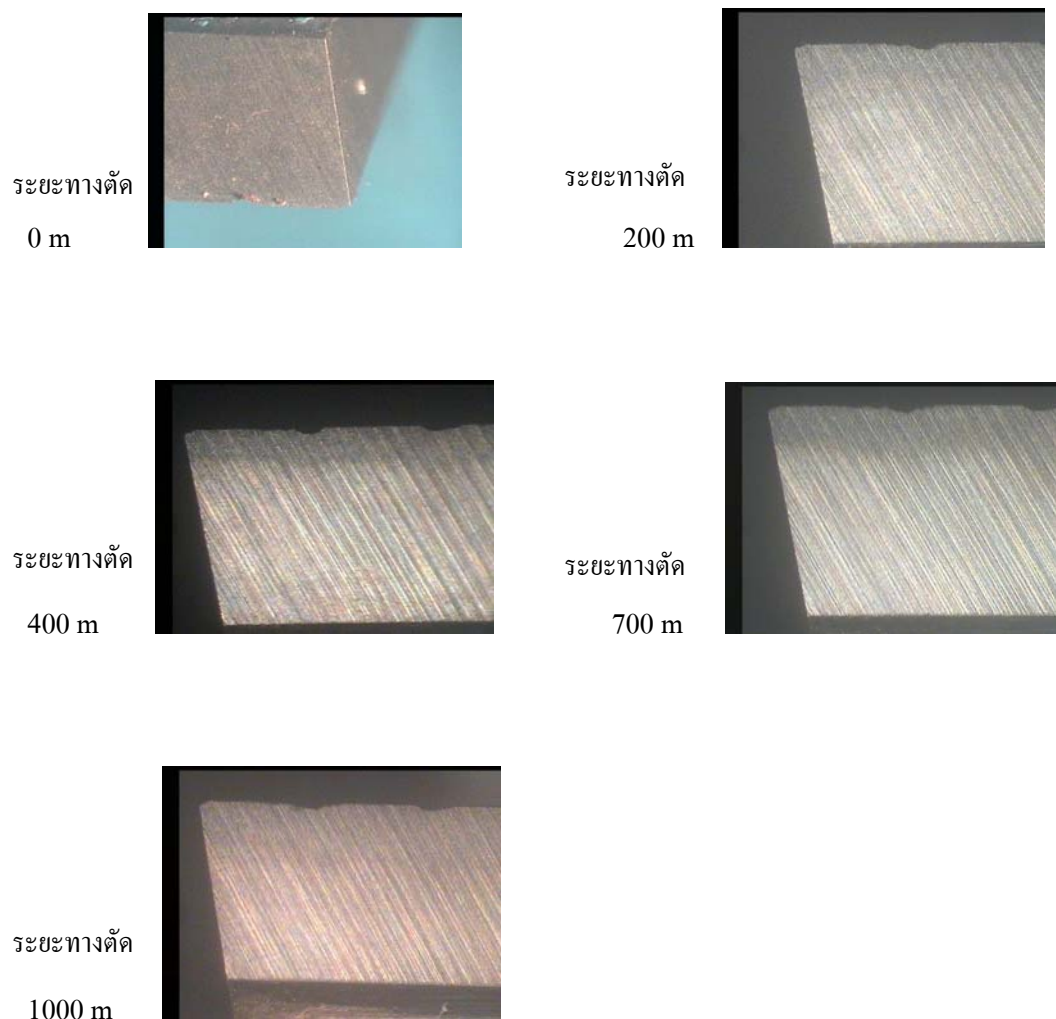
เมื่อใช้ใบมีดตัดไม้ยางพาราเป็นระยะทาง 200, 400, 700 และ 1000 เมตรแล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์วัดการสึกหรอด้านข้าง ตามทิศทางการมองในรูปที่ 4.52 จะได้ผลดังรูปที่ 4.53 และ 4.54



รูปที่ 4.52 แสดงทิศทางการมองเห็นการสึกหรอด้านข้างของใบมีด



รูปที่ 4.53 ภาพถ่ายเพื่อแสดงการสึกหรอของใบมีดตัดด้านที่ 1



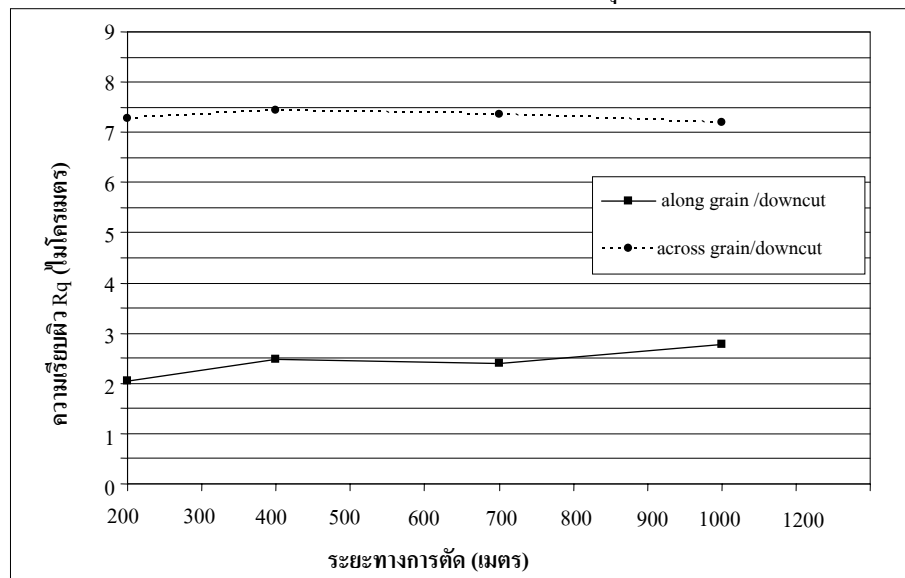
รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายเพื่อแสดงการสึกหรอของโบริดตัด ด้านที่ 2

จากผลการถ่ายภาพคมชัดของโบริดกัด หลังจากการกัด 1,000 เมตร จะไม่สามารถสังเกตเห็นการสึกหรอของโบริดได้อย่างชัดเจน หรืออาจกล่าวได้ว่าการกัดเป็นระยะทาง 1,000 เมตรยังไม่ส่งผลต่อการสึกหรอบริเวณผิวด้านข้างของโบริด

#### 4.6.2 ความเรียบผิวของไม้หลังการกัด

เมื่อใช้โบริดตัดตัดไม้ยางพาราเป็นระยะทาง 200, 400, 700 และ 1000 เมตร แล้วนำไม้ที่ได้จากการกัดที่ระยะทางต่างๆ ไปทำการวัดค่าความเรียบผิวพบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.55 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ ) ของไม้ในกรณีการกัดแบบขนานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระยะทางในการกัดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกัดแบบขวางเส้นไม้นั้น ค่าความเรียบผิวที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อย

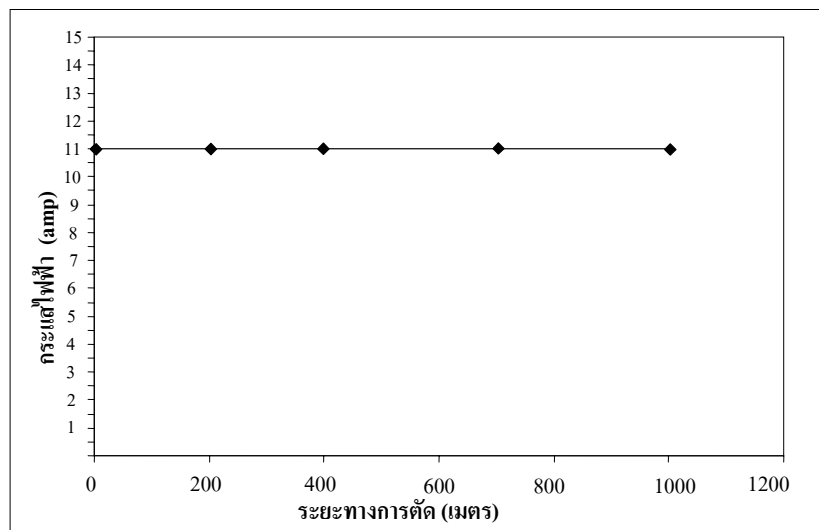
มากเมื่อระยะทางในการกัดเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าในช่วงของการกัดเป็นระยะ 1,000 เมตรนั้น การสึกหรอที่เกิดขึ้นของใบมีดมีน้อยมากจนแทบไม่ส่งผลต่อคุณภาพผิวของไม้ที่ได้



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและระยะทางการกัดไม้

#### 4.6.3 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อใช้ใบมีดกัดไม้ยางพาราเป็นระยะทาง 200, 400, 700 และ 1000 เมตร แสดงในรูปที่ 4.56 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนว่าการกัดไม้เป็นระยะทาง 1,000 เมตร ไม่ส่งผลให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซีเอ็นซีใช้เปลี่ยนแปลงไป อาจกล่าวได้ว่าการสึกหรอของใบมีดที่เกิดขึ้นส่งผลต่อแรงที่ใช้ในการกัดน้อย จนกระทั่งไม่สามารถวัดได้จากกระแสไฟฟ้าที่เครื่องใช้อย่างไรก็ตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลองนี้ จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมอเตอร์ของแกนหมุนหลัก (Main Spindle) เป็นหลัก ดังนั้นหากการสึกหรอไม่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน จะไม่สามารถวัดได้จากกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป



**รูปที่ 4.56** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับระยะทางการกัด

จากผลการทดลองในส่วนของการสึกหรอของใบมีด จะเห็นได้ว่าถึงแม้เงื่อนไขในการกัดที่เลือกมาทำการทดลองจะเป็นเงื่อนไขที่น่าจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นค่อนข้างรุนแรงก็ตาม แต่จากการทดลองกัดไม้เป็นระยะทาง 1,000 เมตร ยังไม่สามารถตรวจวัดการสึกหรอได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการสึกหรอของใบมีดในช่วงแรกจะเกิดที่บริเวณ Nose ของใบมีด ซึ่งจะส่งผลให้ Nose radius หรือ Nose width มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการวัดระยะการสึกหรอด้านข้าง (Flank wear) จึงยังไม่สามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามในช่วงที่ทำการทดลองกัดไม้ 1,000 เมตร การสึกหรอที่เกิดขึ้นก็น้อยมากจนไม่ส่งผลต่อคุณภาพผิวไม้ที่ให้เห็นได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้ จำเป็นต้องพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการสึกหรอของใบมีดกัดด้วยเช่นกัน เพื่อหาเงื่อนไขการกัดที่ทำให้เกิดคุณภาพระหว่างคุณภาพผิวไม้ที่ได้ อัตราการผลิต และการสึกหรอของใบมีด จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าการสึกหรอของใบมีดกัดไม้จะเกิดขึ้นชัดเจนถ้าอัตราการป้อนกัดสูงหรือต่ำมากเกินไป [22, 23] ซึ่งต่างจากการกัดโลหะที่การสึกหรอจะรุนแรงเมื่ออัตราการป้อนกัดสูง ทั้งนี้เนื่องจากการกัดไม้ไม่สามารถใช้สารหล่อลื่นได้ ดังนั้นถ้ากำหนดอัตราการป้อนกัดที่มากเกินไปจะทำให้ความร้อนจากการกัดสะสมที่ใบมีด ส่งผลให้การสึกหรอที่เกิดขึ้นรุนแรง ดังนั้นในการกัดไม้ การสึกหรอของคมตัดของใบมีดไม่ใช่เกณฑ์หลักในการพิจารณาเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะถ้าพิจารณาจากผลที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าถ้ายึดคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้เป็นเกณฑ์ อัตราการป้อนกัดต่ำกว่าจะให้คุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีกว่าหากไม่เกิดรอยไหม้บนผิวไม้ แต่อัตราการป้อนกัดที่ต่ำหมายถึงถึงอัตราการผลิตที่ต่ำด้วยเช่นกัน ดังนั้นถ้าพิจารณาในแง่ของการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การเพิ่มอัตราการป้อนกัดให้สูงที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายของไม้ เช่น การฉีก การหลุด หรือขุยที่มากเกินไปจนส่งผลกระทบต่อการใช้ผิว น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เพราะช่วงของอัตราการป้อนกัดที่กำหนดในงานวิจัยนี้ ยังไม่สูงเกินไปที่จะทำให้เกิดการสึกหรอของ

ใบมีดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด [22] ดังนั้นในบทสรุปของงานวิจัยชิ้นนี้ จะพิจารณาเงื่อนไขการกัดที่เหมาะสมโดยดูจากคุณภาพผิวชิ้นงานและอัตราการป้อนกัดเป็นหลัก

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

#### 5.1.1 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกัด ไม้อย่างพาราด้วยใบมีดชนิดต่างๆ

1. การเกิดขุยส่วนใหญ่ของใบมีดเพชรหลายผลึกเกิดขึ้นในการกัดขวางเส้นไม้ เพราะการกัดที่ใช้อัตรา  
การป้อนกัดที่สูงทำให้ไม่สามารถกัดขุยด้านข้างของชิ้นงานได้หมด อย่างไรก็ตามขุยที่เกิดขึ้นเป็นขุยที่  
สามารถกำจัดออกได้ง่าย ไม่ส่งผลต่อต้นทุนในการขัดผิวมากนัก
2. การเกิดขุยส่วนใหญ่ของใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์เกิดขึ้นในการกัดขนานเส้นไม้ เพราะการกัดแบบ  
ขนานเส้นไม้ก่อให้เกิดขุยที่ผิวหน้าเนื่องจากการรั้งของเนื้อไม้หลงเหลืออยู่
3. การเกิดขุยส่วนใหญ่เกิดในกรณีการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) เพราะการกัดแบบ  
ตามทิศทางการป้อนไม่มีโอกาสในการกัดซ้ำที่หน้าผิวชิ้นงานเดิม
4. ความเรียบผิวในกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนหรือตามทิศทางการป้อนมีลักษณะไปในทาง  
เดียวกันคือ เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงค่าความเรียบผิวที่ได้แย่งซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี และค่าความ  
เรียบผิวจะแตกต่างกันชัดเจนระหว่างการกัดตามเส้นไม้และกัดขนานเส้นไม้ โดยที่การกัดขวาง  
เส้นไม้ให้ผิวชิ้นงานหยาบกว่ามาก
5. การใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึกจะให้ชิ้นงานที่มีความเรียบผิวดีที่สุด รองลงมาคือใบมีดทั้งสแตนคาร์  
ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้ และแบบเชื่อมติดตามลำดับ ทั้งนี้การใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอด  
เปลี่ยนได้จำเป็นต้องระมัดระวังในส่วนของการจับยึดใบมีดกับ Tool Holder ให้ดี เพราะหากมี  
ช่องว่างเกิดขึ้น หรือการจับยึดไม่แข็งแรงพอ จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นได้ง่าย ส่งผลให้ผิวที่ได้หยาบ  
ขึ้นหรืออาจจะก่อให้เกิดความเสียหายของเนื้อไม้ได้

6. ความเสียหายของไม้ที่ไม่สามารถแก้ไขโดยการขัดได้จะมีสองลักษณะคือ การฉีกของเนื้อไม้ และการหลุดของเนื้อไม้ โดยการฉีกของไม้จะเกิดขึ้นง่ายกว่าเมื่อตัดแบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut) ส่วนการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดขึ้นมากในกรณีตัดขวางเส้นไม้แบบตามทิศทางการป้อน
7. อิทธิพลของความเร็รรอบและอัตราการป้อนกัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพผิวไม้และกระแสไฟฟ้า สำหรับคมตัดตรง (Straight) และคมตัดแบบรูปร่าง (Profile) มีแนวโน้มเหมือนกัน แต่คมตัดแบบรูปร่างจะเกิดขุยและการฉีกของเนื้อไม้น้อยกว่าแบบคมตัดตรง แต่จะเกิดการหลุดของเนื้อไม้มากกว่า
8. การหลุดของเนื้อไม้ส่วนใหญ่เกิดมากรณิใบมีดแบบถอดเปลี่ยนได้ เนื่องจากเมื่ออัตราการป้อนกัณฑ์สูง ช่องว่างเล็กๆระหว่างใบมีดกับตัว Tool Holder จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยเฉพาะในกรณีของคมตัดตรง พบว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถใช้ใบมีดลักษณะดังกล่าวกัณฑ์ขึ้นงานโดยใช้อัตราการป้อนกัณฑ์สูงเกินกว่า 9 เมตรต่อนาทีได้
9. ที่ความเร็วรอบในการกัณฑ์สูง มีปริมาณในการใช้กระแสไฟฟ้าในการกัณฑ์ต่ำ เพราะประสิทธิภาพของมอเตอร์ของแกนหมุนหลักของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้มีค่าสูงที่ความเร็วรอบสูง ๆ
10. ใบมีดที่มีมุมตัดเฉือนประมาณ 5 องศา จะช่วยลดการฉีกขาดของเนื้อไม้ขณะทำการกัณฑ์ เพราะการใส่มุมตัดเฉือนจะทำให้ใบหน้ามีดสัมผัสชิ้นงานไม่พร้อมกันตลอดทั้งความลึกในการกัณฑ์ (Depth of Cut) ส่งผลให้ค่าแรงสูงสุดในการกัณฑ์ต่ำลง การกระแทกของใบมีดที่จะจับเนื้อไม้ให้ฉีกเกิดได้ยากขึ้น
11. การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดระหว่าง 18~22 มิลลิเมตร ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของคุณภาพผิวไม้และกระแสไฟฟ้าที่ใช้
12. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับคุณภาพผิวไม้ที่ได้สำหรับกรณีการกัณฑ์โดยใช้ใบมีดทั้งสเตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น สามารถทำนายคุณภาพผิวไม้ที่ได้จากการกัณฑ์ด้วยเงื่อนไขต่างๆ ได้ความแม่นยำในช่วงที่ยอมรับได้

### 5.1.2 การกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดคุณภาพระหว่างคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้ อัตราการผลิต และอายุการใช้งานของใบมีด

จากที่ได้กล่าวในท้ายบทที่ 4 เนื่องจากการสึกหรอจะเกิดขึ้นรุนแรงและเกิดความแตกต่างชัดเจนเมื่อทำการกัดที่อัตราการป้อนกัดที่ต่ำหรือสูงมากเกินไป ซึ่งเมื่อมองในแง่ของภาคอุตสาหกรรม อัตราการป้อนกัดที่ต่ำถึงแม้จะให้ชิ้นงานที่มีคุณภาพผิวที่ดี แต่อัตราการผลิตก็จะต่ำตามไปด้วย ดังนั้นเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสมควรจะเป็นการผลิตที่สามารถใช้อัตราการป้อนกัดสูงได้ โดยไม่ทำให้ไม้ที่ได้เกิดความเสียหาย เช่น การฉีกหรือการหลุด หรือทำให้เกิดขุยขึ้นมากเกินไปจนส่งผลกระทบต่อต้นทุนการขัดผิวไม้นอกจากนั้นถ้าพิจารณาในแง่ของต้นทุนพลังงาน การเลือกความเร็วรอบที่สูงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะ (ในกรณีของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง) มอเตอร์ของแกนหมุนจะมีประสิทธิภาพสูงที่ความเร็วรอบของการหมุนสูงๆ ในส่วนของอัตราการป้อนกัดที่กำหนดในการวิจัยชิ้นนี้ก็ไม่ได้มีค่าสูงจนเกินไปจนจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นรุนแรง ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสมจะพิจารณาจากคุณภาพผิวไม้ อัตราการผลิต (อัตราการป้อนกัด) และกระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นหลัก จากการพิจารณาจะได้ข้อมูลการกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสมของใบมีดแบบเพชรหลายผลึกและใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์

| วัสดุทำใบมีด                  |                             | ข้อมูลพิจารณาเป็นหลัก                   | Dia.<br>(mm) | ความเร็ว<br>รอบ<br>N (rpm) | อัตราการ<br>ป้อนกัด<br>f (m/min) | Remark                  |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Poly-Crystal Diamond<br>(PCD) |                             | ★ คุณภาพผิว                             | 18           | 15,000                     | 8                                | -                       |
|                               |                             | อัตราการผลิต+คุณภาพผิว                  | 18           | 15,000                     | 15                               | -                       |
|                               |                             | อัตราการผลิต+ปริมาณ<br>กระแสไฟฟ้าที่ใช้ | 18           | 21,000                     | 12                               | มีขุยเล็กน้อย           |
| Tungsten<br>Carbide<br>(TC)   | Brazing<br>Type<br>Straight | ★ คุณภาพผิว                             | 18           | 18,000                     | 1                                | อาจเกิดการ<br>สึกหรอสูง |
|                               |                             | อัตราการผลิต+คุณภาพผิว                  | 18           | 16,000                     | 12                               | -                       |
|                               |                             | อัตราการผลิต+ปริมาณ<br>กระแสไฟฟ้าที่ใช้ | 18           | 18,000                     | 15                               | -                       |

ตารางที่ 5.1 การกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสมของไบมีดแบบเพชรหลายผลึกและไบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (ต่อ)

| วัสดุทำไบมีด                |                              | ข้อมูลพิจารณาเป็นหลัก                   | Dia.<br>(mm) | ความเร็ว<br>รอบ<br>N (rpm) | อัตราการ<br>ป้อนกัต<br>f (m/min) | Remark                  |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Tungsten<br>Carbide<br>(TC) | Brazing<br>Type<br>Profile   | ★ คุณภาพผิว                             | 18           | 14,000                     | 1                                | อาจเกิดการ<br>สึกหรอสูง |
|                             |                              | อัตราการผลิต+คุณภาพผิว                  | 18           | 18,000                     | 9                                | -                       |
|                             |                              | อัตราการผลิต+ปริมาณ<br>กระแสไฟฟ้าที่ใช้ | 18           | 18,000                     | 12                               | มีขุยเล็กน้อย           |
|                             | Turnover<br>Type<br>Straight | ★ คุณภาพผิว                             | 18           | 18,000                     | 2                                | อาจเกิดการ<br>สึกหรอสูง |
|                             |                              | อัตราการผลิต+คุณภาพผิว                  | 18           | 18,000                     | 6                                | -                       |
|                             |                              | อัตราการผลิต+ปริมาณ<br>กระแสไฟฟ้าที่ใช้ | 18           | 18,000                     | 6                                | -                       |
|                             | Turnover<br>Type<br>Profile  | ★ คุณภาพผิว                             | 22           | 10,000                     | 2                                | อาจเกิดการ<br>สึกหรอสูง |
|                             |                              | อัตราการผลิต+คุณภาพผิว                  | 22           | 14,000                     | 15                               | -                       |
|                             |                              | อัตราการผลิต+ปริมาณ<br>กระแสไฟฟ้าที่ใช้ | 22           | 14,000                     | 15                               | -                       |

#### หมายเหตุ

1. เงื่อนไขที่เลือกไว้ในตาราง คือ เงื่อนไขที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย (การฉีก-การหลุด) ของเนื้อไม้
2. คุณภาพผิว หมายถึง พิจารณาจากความเรียบผิวและลักษณะการเกิดขุยบนผิวไม้
3. ★ หมายถึง ความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้ดีมาก สามารถนำไปผ่านกระบวนการต่อไปได้โดยไม่ต้องขัดผิวหรือขัดผิวชิ้นงานน้อยสุด
4. กรณีที่ใช้ไบมีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างออกไปจากนี้ สามารถใช้ตารางดังกล่าวได้โดยกำหนดความเร็วรอบที่ทำให้ได้ความเร็วตัด (ความเร็วเชิงเส้น) ของคมตัดเท่ากับค่าที่ระบุในตาราง

5. กรณีการเลือกใบมีดแบบ PCD มีข้อจำกัดคือ สามารถใช้ได้กับไม้ที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Uniformity) สูง เช่น ไม้จริง (Solid Wood) ที่มีตาไม้ปนอยู่น้อยๆ หรือไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่มีสารปนเปื้อนน้อยเท่านั้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาอิทธิพลของมุมต่างๆของใบมีดที่มีผลต่อคุณภาพผิวของไม้เพิ่มเติม เนื่องจากมุมต่างๆ ของใบมีดก็มีอิทธิพลต่อคุณภาพผิวและการสึกหรอของคมตัดไม่น้อยกว่าการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ
2. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต โดยเฉพาะในส่วนของใบมีดเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ใบมีดแต่ละแบบจะมีราคาที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งถึงแม้จะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันก็ตาม การวิเคราะห์ต้นทุนจะมองเพียงแค่การสึกหรอที่เกิดจากเงื่อนไขในการกัดเพียงอย่างเดียวไม่ได้ แต่ความยากง่ายในการลับคม และจำนวนครั้งที่สามารถลับคมตัดได้ก็มีผลเช่นเดียวกัน

## เอกสารอ้างอิง

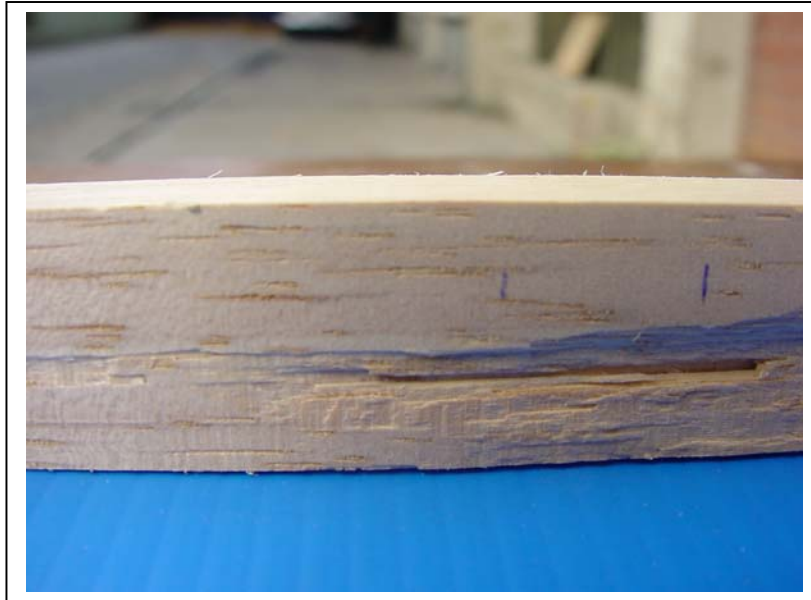
1. Peter Koch, 1964, **“Wood Machining Processes”**, The Ronald press company, USA, pp. 1-168.
2. Jim Effner, **“Chisels on a Wheel; A Comprehensive Reference to Modern Woodworking Tools and Materials”**, Prakken Publications, Inc., USA, pp. 1-200.
3. บริษัท เอสดีพี อินเตอร์เทรด จำกัด, 2543, เอกสารประกอบหลักสูตรการสัมมนา เรื่อง “เครื่องมือตัดและเครื่องจักรกลซีเอ็นซี”.
4. A. Braghini Jr and Cielho R.T., 2001, **“An Investigation of The Wear Mechanism of Polycrystalline Cubic Boron Nitride (PCBN) Tools when End Mill Hardened Steels at Low/Medium Cutting Speed”**, International journal of advanced manufacturing technology, pp 267-285.
5. A. Aguilera, P. Martin, 2001, **“Machining Qualification of Solid Wood of Fagus Silvatica L. and Picea excelsa L.: Cutting Force, Power Requirements and Surface Roughness”**, Originalarbeiten-Originals, pp 183-195.
6. J. Palmqvist, S.-I Gustafsson, 1999, **“Emission of Dust Planning and Milling of Wood”**, Originalarbeiten-Originals, pp 213-236.
7. A. Aguilera, P.J. Meausoone, P Martin, 2001, **“Wood Material Influence in Routing Operation: the MDF Case”**, Originalarbeiten-Originals, pp 186-201
8. J. Ratnasingam, Ma, Perkins, 1999, **“Productivity in wood machining process-a question of the simple economic”**, Originalarbeiten-Originals, pp 286-294

9. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2540, “สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 261-295
10. Office of the Rubber replanting aid fund, 2004, [Online], Available: [http://www.thailandrubber.thaigov.net /New30.html](http://www.thailandrubber.thaigov.net/New30.html) [2004 9 February]
11. Ohio State University, **Machining Fundamentals**, Available: [http://rclsgi.eng.ohio-state.edu/~hupp/ Manufacturing/Lec%2312.2001.ppt](http://rclsgi.eng.ohio-state.edu/~hupp/Manufacturing/Lec%2312.2001.ppt), [2004 9 February]
12. Jesse Maynard, **CNC system application in the wood working industrial**, Available: [http://www.andamans.com/ RubWd.htm](http://www.andamans.com/RubWd.htm), [2004 9 February]
13. Kalpakjian, **Fundamentals of cutting and cutting tools materials and cutting fluids**, <http://www.woodwideweb.com/PDFs/FlAWARDhistoryarticle11.pdf>, [2004 3 February]
14. G. Cyra, C. Tanaka, M. Yoshiro, Y. Nishino, 2001, “Effects of helical angle of router bit on acoustic emission”, Originalarbeiten-Originals, pp 54-62
15. เลิศพงศ์ ชิวพัฒน์พันธุ์, 2540, “เครื่องมือทั่วไป”, ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, หน้า 12-17
16. บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง, 2537, “การศึกษาความสัมพันธ์ของส่วนโค้งใบมีด ความลึกในการตัด และ อัตราการเดินมีดที่มีผลต่อความเรียบผิว”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537, หน้า 21-45
17. นนทวัฒน์ ศรีหาค้าง และ ทรงตระกูล โสมคำ, 2545, “การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนาย ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในการกัดงานด้วยเครื่องอีดีเอ็ม”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2545, หน้า 23-31

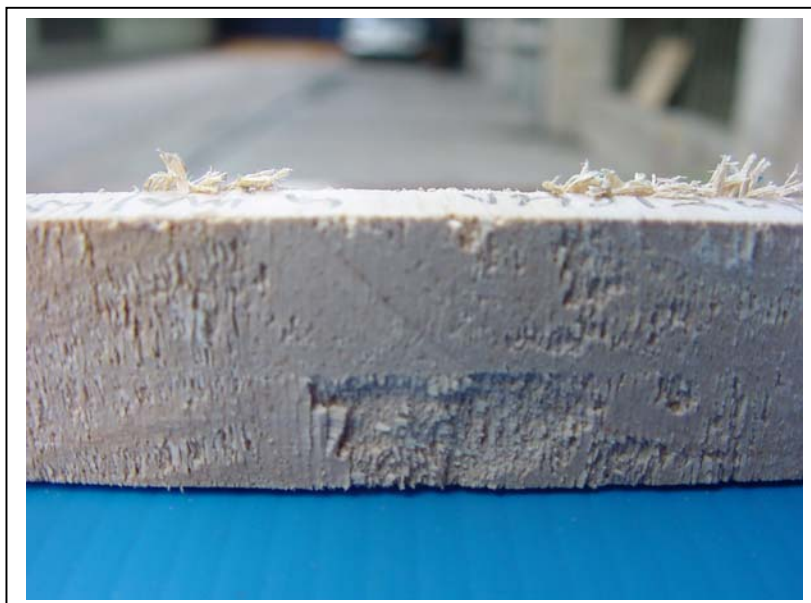
18. John L. Yang, Joseph C. Chen “**A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations**”, Journal of industrial technology, Vol. 17, No.2, Feb 2001-Apr 2001
  
19. Armarego E.J.A, 1969, “**The Machining of Metals**”, Prentice-Hall, Inc., USA, pp. 174-188
  
20. Louis Lung, **What is MDF?**, <http://www.lungster.com/l/speakers/mdffaq/mdf.html> 8/3/2004, [2004 8 March]
  
21. B L Juneja G S Sekhon, 1987, Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, New Age International (P) Limited, Publishers.
  
22. BC Saw & Tool Inc., “**Tool Talk: Feed Rate and Tool Wear**”, <http://www.bcsaw.com/articles/artfeb2000.htm>, 12/6/2004
  
23. ศิริเพ็ญ สุภาดารัตนวงศ์ และสุกสิทธิ์ รอดขวัญ, “การหาสภาวะและเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการตัดเนื้อไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีสำหรับงานไม้”, การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 44 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2549
  
24. Forest Products Society, 2002, Wood Award [Online], Available: <http://www.forestprod.org/stu-awar.html>, [2002, June 15].
  
25. Chang-Xue, F., 2001, Surface Roughness Predictive Modeling Neural Networks versus Regression, IEE Transactions on Design and Manufacturing, pp. 84-105.
  
26. Heisel, U. and Krondorfer, H., 2001, Surface Method for Vibration Analysis in Peripheral Milling of Solid Wood, Institute for Machine Tools, pp. 8-21.

ภาคผนวก ก  
ความเสียหายของเนื้อไม้หลังการกัด

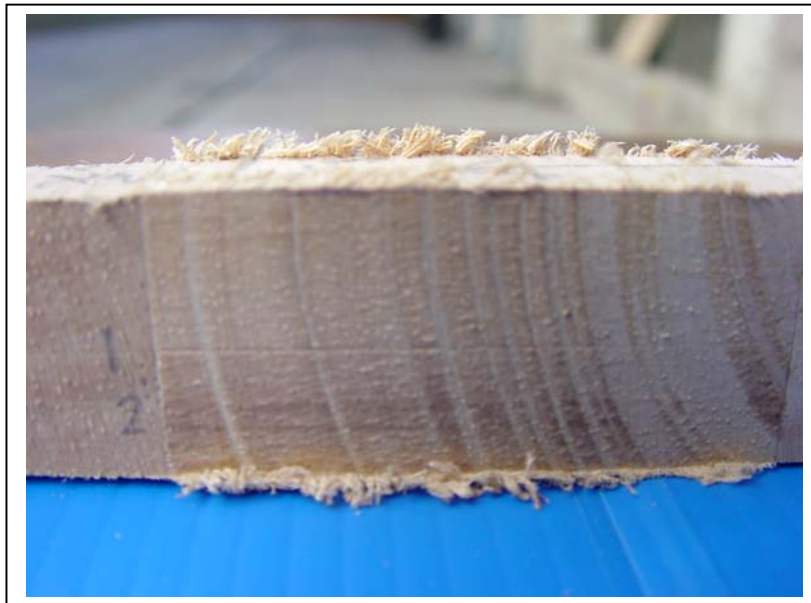
## 1. ความเสียหายของเนื้อไม้ที่เกิดขึ้น



รูปที่ ก.1 การฉีกขาดของเนื้อไม้

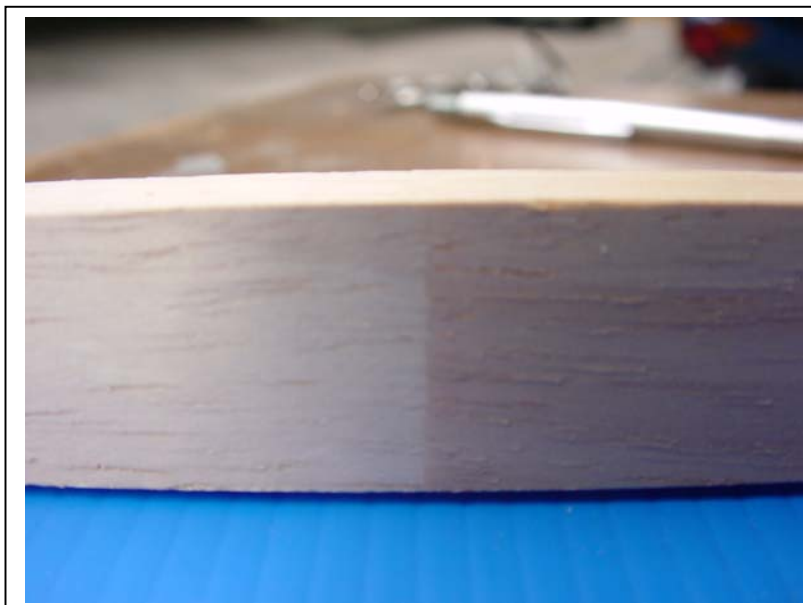


รูปที่ ก.2 การหลุดของเนื้อไม้

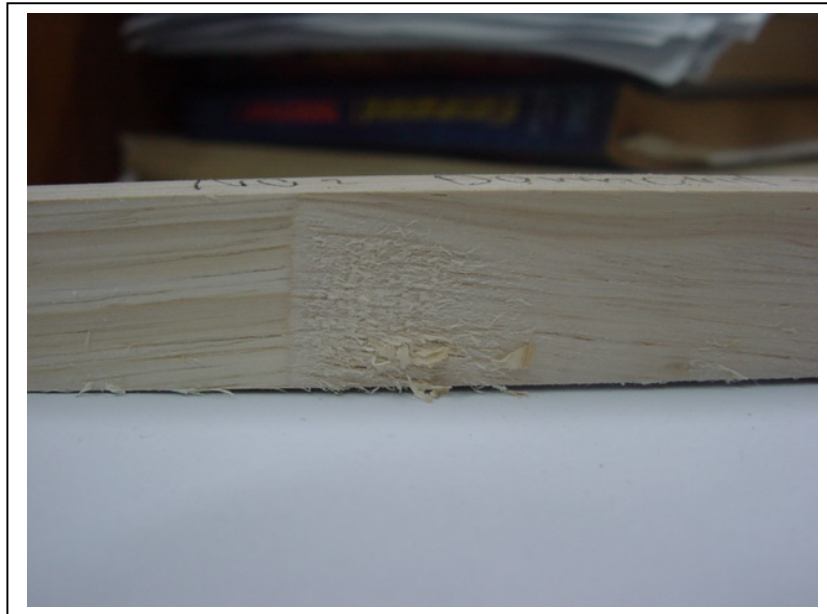


รูปที่ ก.3 รอยไหม้ของเนื้อไม้

## 2. การจำแนกปริมาณขุยที่เกิดขึ้น



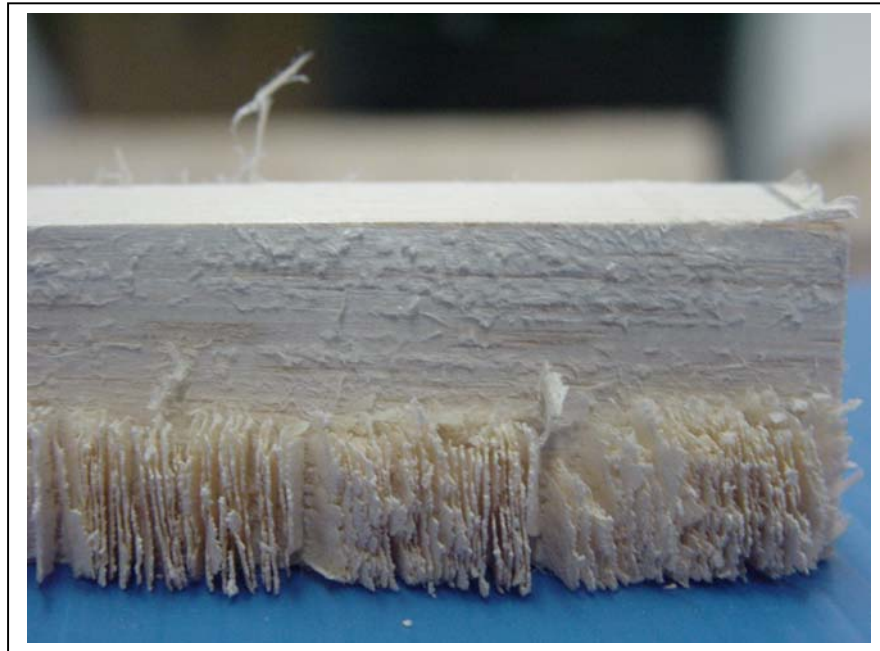
รูปที่ ก.4 ไม่มีขุยเกิดขึ้น



รูปที่ ก.5 มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย (1-15 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ ก.6 มีขุยเกิดปานกลาง (16-30 เปอร์เซ็นต์)

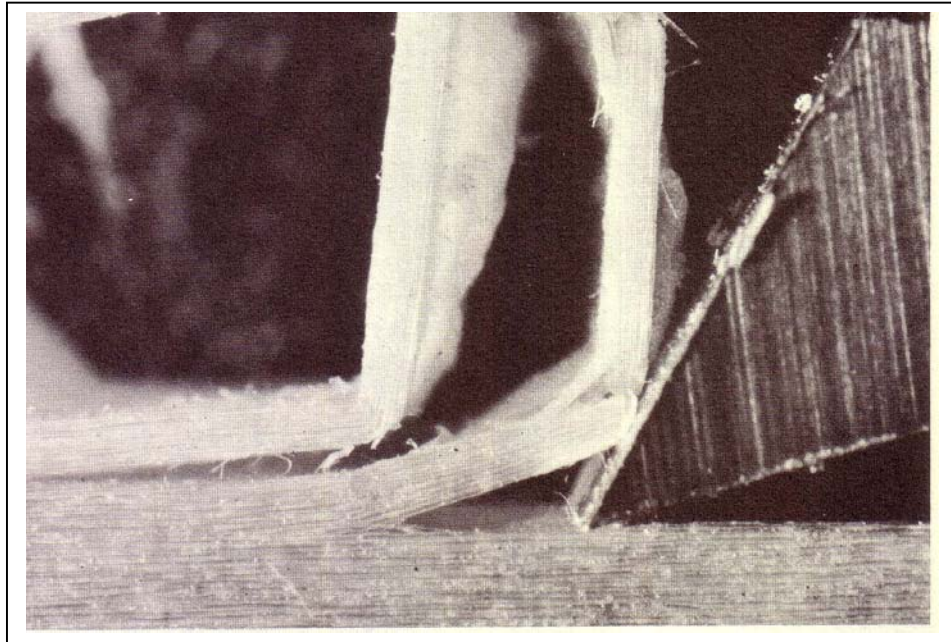


รูปที่ ก.7 มีขุยเกิดมาก (30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป)

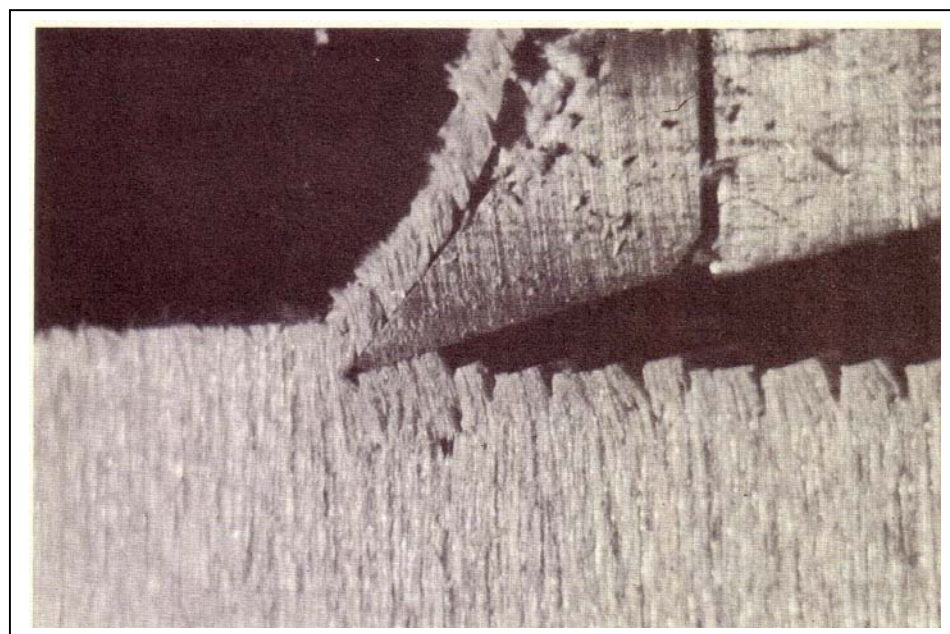


รูปที่ ก.8 ลักษณะขุยที่เกิดขึ้นบนขอบชิ้นงาน

### 3. ลักษณะการกัดไม้



รูปที่ ก.9 การกัดไม้แบบขนานเส้นไม้



รูปที่ ก.10 การกัดไม้แบบขวางเส้นไม้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

```

1  clc;
2  clear;
3  % train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
4  p=[905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14
5    1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43
6    1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71
7    1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584
8    1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29
9    2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 ;
10
11  1 2 3 6 9 12 15
12  1 2 3 6 9 12 15
13  1 2 3 6 9 12 15
14  1 2 3 6 9 12 15
15  1 2 3 6 9 12 15
16  1 2 3 6 9 12 15 ];
17
18  % straight
19  t =
20  [1.6116 1.8242 2.2105 2.4815 2.5713 2.6231 2.3305
21   1.4340 2.1376 1.8409 2.2237 2.5704 2.4012 2.3246
22   1.6421 1.7963 1.8324 1.9140 2.4308 3.4041 3.4663
23   1.5767 1.6414 1.5488 2.3864 3.1689 2.5485 2.5183
24   1.6141 1.6468 1.5728 2.0026 2.2380 2.5622 2.2415
25   1.7217 1.7426 1.5995 1.5550 2.0237 2.4294 2.2635] ;
26
27  net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
28  net.trainParam.show=100;
29  net.trainParam.lr=0.6;
30  net.trainParam.mc=0.8;
31  net.trainParam.epochs=50000;
32  net.trainParam.goal=0.001;
33  net=train(net,p,t);
34
35  % weight of network
36  input_weight = net.iw(1,1)
37  output_weight = net.lw(2,1)
38  bias_hidden = net.b(1,1)
39  bias_output = net.b(2,1)

```

รูปที่ ข.1 หน้าต่างโปรแกรม แมทแล็บ (Matlab) ในการเขียนโครงข่ายประสาทเทียม

## รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม

### 1. การเขียนในการฝึกฝนความเรียบผิว

```

clc;
clear;
% train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
p=[905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14
1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43
1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71
1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584
1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29
2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 ;

1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15 ];

```

## 1.1 ข้อมูลความเรียบผิวที่นำมาฝึกฝนไว้ทดสอบความเรียบผิวไม้

ใบมีดคมตัดตรง

t =

ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที

[1.6116        1.8242 2.2105 2.4815 2.5713 2.6231 2.3305  
1.4340 2.1376 1.8409 2.2237 2.5704 2.4012 2.3246  
1.6421 1.7963 1.8324 1.9140 2.4308 3.4041 3.4663  
1.5767 1.6414 1.5488 2.3864 3.1689 2.5485 2.5183  
1.6141 1.6468 1.5728 2.0026 2.2380 2.5622 2.2415  
1.7217 1.7426 1.5995 1.5550 2.0237 2.4294 2.2635] ;

ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที

[1.7089        1.7945 2.0831 2.4067 2.6322 2.6099 2.8937  
1.4374 2.2884 1.9712 2.1585 2.0123 2.6266 2.5218  
1.6888 1.6162 1.8260 2.1733 2.5820 3.4496 2.9120  
1.6097 1.5389 1.7282 2.4954 2.8154 2.5954 2.4229  
1.5603 1.7007 1.9287 2.3037 2.4707 2.6099 2.4411  
2.0381 1.5060 1.5034 1.8697 1.9967 2.1886 2.5793] ;

ที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที

[3.2002        4.4386 5.1664 6.3947 6.6820 6.5431 5.3501  
3.7167 4.0492 4.1118 5.8458 6.6240 6.2256 6.5669  
4.0331 4.0084 4.5283 6.0808 8.9468 8.5869 7.9189  
4.1102 4.2092 3.9111 6.6190 7.5146 6.1833 4.9679  
4.1266 3.1308 3.3770 4.7283 5.3222 5.3225 5.4074  
3.6515 3.6960 4.4448 5.4763 5.4303 5.8293 5.6913] ;

ที่ความเร็ว 18,000 รอบต่อนาที

[3.8237        4.2127 6.3445 6.5069 6.8185 6.8956 6.4586  
3.3154 5.2225 5.0797 5.7886 6.4294 7.3188 6.9114  
3.7963 4.5177 5.5219 6.2512 9.8254 9.0003 9.4389  
3.8039 4.6875 4.5826 6.9697 9.8991 7.3569 6.2983  
3.7121 3.7176 3.5448 5.0518 6.4755 5.4566 6.1709  
3.2714 3.5925 4.2683 6.0140 6.3676 6.6065 7.0957] ;

ใบมีดแบบคมตัดรูปร่าง

t=

ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที

[1.7138        1.9588 1.7344 2.2343 2.3819 2.9065 3.0433  
1.9030 1.7613 2.0999 2.3018 2.4311 3.0864 3.5729  
1.7463 1.5947 1.9852 2.2769 2.0839 2.7010 2.6645  
1.5800 1.7981 1.6957 1.7064 2.2906 2.4633 2.2065  
2.3771 1.9106 2.3237 1.6282 2.6505 2.1922 2.5135  
1.6270 1.4812 1.9354 2.3254 1.8713 2.0011 2.3767] ;

ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที

```
[1.6562      1.8534 1.7592 2.6234 2.5705 3.4491 2.7360
1.9814 1.8023 2.3487 2.3941 2.5011 2.7843 3.4320
1.8028 1.6191 1.7398 2.3380 2.1100 2.7098 2.6015
1.8457 1.6310 1.5828 1.8555 2.2617 2.3547 2.8841
2.7401 1.8012 2.2950 1.6856 1.8361 2.5344 2.7401
1.8416 1.8485 1.8358 1.9713 2.0188 1.9890 1.9698] ;
```

ที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที

```
[4.2242      5.3923 5.3697 8.4241 7.6833 7.8385 9.9195
4.5634 3.9390 4.3480 6.6218 8.1469 8.9816 8.5417
4.1375 5.6969 3.9933 6.2042 7.7497 7.6397 8.0264
5.3048 3.6884 4.9017 6.1432 7.0546 6.9254 4.3997
2.2374 3.9293 4.4044 6.6166 7.1913 7.5403 8.1256
5.3790 3.5356 4.5415 4.1445 5.8787 6.7395 7.7421] ;
```

ที่ความเร็ว 18,000 รอบต่อนาที

```
[4.4484      5.3923 6.1762 6.4974 8.2994 8.6660 9.1775
4.9069 4.6507 5.8206 7.5488 9.4144 9.5569 8.8711
4.0693 5.4632 3.7215 7.4303 8.6809 8.1911 8.4307
4.4427 3.5721 4.8593 7.3811 7.5984 7.5487 8.9558
3.9564 4.1575 4.2755 6.5523 9.1924 9.5085 10.4184
4.2817 2.8012 4.5640 4.6459 8.9104 8.2028 7.8272] ;
```

```
net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.show=100;
net.trainParam.lr=0.6;
net.trainParam.mc=0.8;
net.trainParam.epochs=50000;
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);
```

```
%      weight of network
input_weight = net.iw{1,1}
output_weight = net.lw{2,1}
bias_hidden = net.b{1,1}
bias_output = net.b{2,1}
```

## 1.2 ข้อมูลความเร็วรอบที่นำมาฝึกฝนไว้ทดสอบขลุ่ยไม้

```
clc;
clear;
% train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
```

$p = [905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14$   
 $1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43$   
 $1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71$   
 $1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584$   
 $1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29$   
 $2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ ;$

$1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$   
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$   
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$   
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$   
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$   
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15 \ ;$

## ใบมีดคมตัดตรง

$t =$

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้กระดานส่วนทิศทางการป้อน

|    |   |   |   |   |   |    |
|----|---|---|---|---|---|----|
| [1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0  |
| 0  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 0  | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1] |

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้กระดานตามทิศทางการป้อน

|    |   |   |   |   |   |    |
|----|---|---|---|---|---|----|
| [2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0  |
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  |
| 1  | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1  |
| 1  | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1  |
| 1  | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2  |
| 1  | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0] |

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม้ม้วนส่วนทิศทางการป้อน

|    |   |   |   |   |   |     |
|----|---|---|---|---|---|-----|
| [0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0]; |

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม้ม้วนตามทิศทางการป้อน

|    |   |   |   |   |   |     |
|----|---|---|---|---|---|-----|
| [1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0]; |

ใบมีดคมตัดรูปร่าง

t=

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้ม้วนส่วนทิศทางการป้อน

|    |   |   |   |   |   |     |
|----|---|---|---|---|---|-----|
| [1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1   |
| 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1   |
| 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1   |
| 0  | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1]; |

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้ม้วนตามทิศทางการป้อน

|    |   |   |   |   |   |     |
|----|---|---|---|---|---|-----|
| [0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   |
| 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0]; |

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม้กรณีสวนทิศทางการป้อน

```
[0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    1    0];
```

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม้กรณีตามทิศทางการป้อน

```
[0    0    0    1    1    1    1
0    0    0    0    0    1    1
0    0    0    0    0    1    1
0    0    0    0    0    1    1
0    0    0    0    0    0    1
0    0    0    0    0    1    0];
```

```
net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
```

```
net.trainParam.show=100;
```

```
net.trainParam.lr=0.6;
```

```
net.trainParam.mc=0.8;
```

```
net.trainParam.epochs=50000;
```

```
net.trainParam.goal=0.001;
```

```
net=train(net,p,t);
```

```
%      weight of network
```

```
input_weight = net.iw{1,1}
```

```
output_weight = net.lw{2,1}
```

```
bias_hidden = net.b{1,1}
```

```
bias_output = net.b{2,1}
```

ข้อมูลการทำนายผลของใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดตรง

ตารางที่ ข.1 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

| ขนานเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด                          |                                          |                                           | ขนานเส้นไม้และตามทิศทางการป้อนกัด                          |                                          |                                           |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| การกัดขนานเส้นไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด                  |                                          |                                           | การกัดขนานเส้นไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด                  |                                          |                                           |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           |
| ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง |
| 1.7406                                                     | 1.434                                    | 21.38%                                    | 1.8101                                                     | 1.4374                                   | 25.93%                                    |
| 1.749                                                      | 2.1376                                   | 18.18%                                    | 1.8103                                                     | 2.2884                                   | 20.89%                                    |
| 1.7603                                                     | 1.8409                                   | 4.38%                                     | 1.8118                                                     | 1.9712                                   | 8.09%                                     |
| 1.8301                                                     | 2.2237                                   | 17.70%                                    | 1.8918                                                     | 2.1585                                   | 12.36%                                    |
| 2.4746                                                     | 2.5704                                   | 3.73%                                     | 2.5956                                                     | 2.0123                                   | 28.99%                                    |
| 2.7101                                                     | 2.4012                                   | 12.86%                                    | 2.8531                                                     | 2.6266                                   | 8.62%                                     |
| 2.9005                                                     | 2.3246                                   | 24.77%                                    | 2.6489                                                     | 2.5218                                   | 5.04%                                     |
| 1.7798                                                     | 1.5767                                   | 12.88%                                    | 1.6048                                                     | 1.6097                                   | 0.30%                                     |
| 1.8123                                                     | 1.6414                                   | 10.41%                                    | 1.5981                                                     | 1.5389                                   | 3.85%                                     |
| 1.8472                                                     | 1.5488                                   | 19.27%                                    | 1.5868                                                     | 1.7282                                   | 8.18%                                     |
| 1.926                                                      | 2.3864                                   | 19.29%                                    | 1.5816                                                     | 2.4954                                   | 36.62%                                    |
| 2.0389                                                     | 3.1689                                   | 35.66%                                    | 2.1278                                                     | 2.8154                                   | 24.42%                                    |
| 2.6237                                                     | 2.5485                                   | 2.95%                                     | 2.2658                                                     | 2.5954                                   | 12.70%                                    |
| 2.7886                                                     | 2.5183                                   | 10.73%                                    | 2.2192                                                     | 2.4229                                   | 8.41%                                     |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 15.30%                                    | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 14.60%                                    |

ตารางที่ ข.2 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

| ขวางเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด                          |                                          |                                           | ขวางเส้นไม้และตามทิศทางการป้อนกัด                          |                                          |                                           |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| การกัดขวางเส้นไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด                  |                                          |                                           | การกัดขวางเส้นไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด                  |                                          |                                           |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           |
| ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง |
| 3.5099                                                     | 3.7167                                   | 5.56%                                     | 3.593                                                      | 3.7963                                   | 5.36%                                     |
| 3.5188                                                     | 4.0492                                   | 13.10%                                    | 4.5854                                                     | 4.5177                                   | 1.50%                                     |
| 3.5342                                                     | 4.1118                                   | 14.05%                                    | 4.9966                                                     | 5.5219                                   | 9.51%                                     |
| 3.9025                                                     | 5.8458                                   | 33.24%                                    | 7.2087                                                     | 6.2512                                   | 15.32%                                    |
| 5.9884                                                     | 6.624                                    | 9.60%                                     | 7.4121                                                     | 9.8254                                   | 24.56%                                    |
| 7.1685                                                     | 6.2256                                   | 15.15%                                    | 6.8118                                                     | 9.0003                                   | 24.32%                                    |
| 8.2617                                                     | 6.5669                                   | 25.81%                                    | 6.8835                                                     | 9.4389                                   | 27.07%                                    |
| 3.5059                                                     | 4.1102                                   | 14.70%                                    | 3.9233                                                     | 3.7121                                   | 5.69%                                     |
| 3.5361                                                     | 4.2092                                   | 15.99%                                    | 4.3469                                                     | 3.7176                                   | 16.93%                                    |
| 3.6775                                                     | 3.9111                                   | 5.97%                                     | 4.5462                                                     | 3.5448                                   | 28.25%                                    |
| 5.3479                                                     | 6.619                                    | 19.20%                                    | 6.4999                                                     | 5.0518                                   | 28.67%                                    |
| 5.4845                                                     | 7.5146                                   | 27.02%                                    | 9.5186                                                     | 6.4755                                   | 46.99%                                    |
| 5.4868                                                     | 6.1833                                   | 11.26%                                    | 6.7715                                                     | 5.4566                                   | 24.10%                                    |
| 5.4921                                                     | 4.9679                                   | 10.55%                                    | 6.8707                                                     | 6.1709                                   | 11.34%                                    |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 15.80%                                    | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 19.26%                                    |

ตารางที่ ข.3 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

| ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด          |             |                | ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด          |             |                |
|----------------------------------------------|-------------|----------------|----------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด  |             |                | การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด  |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 2                                            | 2           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 1           | 1              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 2           | 1              |
| 0                                            | 0           | 0              | 2                                            | 1           | 1              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 1              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 2           | 1              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 7.14%          | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 28.57%         |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.4 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

| ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด          |             |                | ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด          |             |                |
|----------------------------------------------|-------------|----------------|----------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด  |             |                | การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด  |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 0.00%          | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 0.00%          |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.5 ความผิดพลาดจากการทำนายผลึกและหลุคของการกัดไม้

| ขนานเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด         |             |                | ขนานเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด         |             |                |
|-------------------------------------------|-------------|----------------|-------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขนานเส้นไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด |             |                | การกัดขนานเส้นไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการนึก  |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการนึก  |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 1                                         | 1           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 1           | 1              | 0                                         | 0           | 0              |
| 1                                         | 1           | 1              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 1           | 1              | 0                                         | 0           | 0              |
| 0                                         | 0           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 1                                         | 1           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| 1                                         | 1           | 0              | 0                                         | 0           | 0              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด             |             | 21.43%         | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด             |             | 0.00%          |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ตารางที่ ข.6 ความผิดพลาดจากการทำนายผลึกและหลุดของการกัดไม้

| ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด         |             |                | ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด         |             |                |
|---------------------------------------------|-------------|----------------|---------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด |             |                | การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการนึก    |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการนึก    |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                  | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                  | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 1                                           | 1           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 1                                           | 1           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 0           | 1              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 1                                           | 1           | 0              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด               |             | 7.14%          | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด               |             | 0.00%          |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ข้อมูลการทำนายผลของใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง

ตารางที่ ข.7 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

| ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด                        |                                          |                                           | ขนานเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด                        |                                          |                                           |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด                |                                          |                                           | การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด                |                                          |                                           |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           |
| ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง |
| 1.8333                                                     | 1.7463                                   | 4.98%                                     | 1.8009                                                     | 1.8028                                   | 0.11%                                     |
| 1.8185                                                     | 1.5947                                   | 14.03%                                    | 1.8596                                                     | 1.6191                                   | 14.85%                                    |
| 1.8237                                                     | 1.9852                                   | 8.14%                                     | 1.9257                                                     | 1.7398                                   | 10.69%                                    |
| 1.956                                                      | 2.2769                                   | 14.09%                                    | 2.1725                                                     | 2.338                                    | 7.08%                                     |
| 2.1461                                                     | 2.0839                                   | 2.98%                                     | 2.4704                                                     | 2.11                                     | 17.08%                                    |
| 2.6185                                                     | 2.701                                    | 3.05%                                     | 2.7528                                                     | 2.7098                                   | 1.59%                                     |
| 2.802                                                      | 2.6645                                   | 5.16%                                     | 2.9628                                                     | 2.6015                                   | 13.89%                                    |
| 1.7751                                                     | 2.3771                                   | 25.32%                                    | 1.7064                                                     | 2.7401                                   | 37.72%                                    |
| 1.7867                                                     | 1.9106                                   | 6.48%                                     | 1.7205                                                     | 1.8012                                   | 4.48%                                     |
| 1.8004                                                     | 2.3237                                   | 22.52%                                    | 1.7371                                                     | 2.295                                    | 24.31%                                    |
| 1.83                                                       | 1.6282                                   | 12.39%                                    | 1.8053                                                     | 1.6856                                   | 7.10%                                     |
| 1.7844                                                     | 2.6505                                   | 32.68%                                    | 1.9011                                                     | 1.8361                                   | 3.54%                                     |
| 2.0831                                                     | 2.1922                                   | 4.98%                                     | 2.0128                                                     | 2.5344                                   | 20.58%                                    |
| 2.5667                                                     | 2.5135                                   | 2.12%                                     | 2.1455                                                     | 2.7401                                   | 21.70%                                    |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 11.35%                                    | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 13.19%                                    |

ตารางที่ ข.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

| ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด                        |                                          |                                           | ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด                        |                                          |                                           |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด                |                                          |                                           | การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด                |                                          |                                           |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว( $R_q$ ) |                                          |                                           |
| ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB    | ค่าความเรียบผิว ( $R_q$ )<br>จากการทดลอง | %ความผิดพลาดของค่า<br>ความเรียบผิวทั้งสอง |
| 4.6869                                                     | 4.1375                                   | 13.28%                                    | 4.4931                                                     | 4.0693                                   | 10.41%                                    |
| 4.4313                                                     | 5.6969                                   | 22.22%                                    | 4.4918                                                     | 5.4632                                   | 17.78%                                    |
| 4.4114                                                     | 3.9933                                   | 10.47%                                    | 6.5196                                                     | 3.7215                                   | 75.19%                                    |
| 7.0089                                                     | 6.2042                                   | 12.97%                                    | 7.1362                                                     | 7.4303                                   | 3.96%                                     |
| 7.5466                                                     | 7.7497                                   | 2.62%                                     | 8.2226                                                     | 8.6809                                   | 5.28%                                     |
| 6.9532                                                     | 7.6397                                   | 8.99%                                     | 8.4009                                                     | 8.1911                                   | 2.56%                                     |
| 7.5938                                                     | 8.0264                                   | 5.39%                                     | 8.4214                                                     | 8.4307                                   | 0.11%                                     |
| 4.7037                                                     | 2.2374                                   | 110.23%                                   | 3.9105                                                     | 3.9564                                   | 1.16%                                     |
| 4.4214                                                     | 3.9293                                   | 12.52%                                    | 2.539                                                      | 4.1575                                   | 38.93%                                    |
| 4.4113                                                     | 4.4044                                   | 0.16%                                     | 4.6761                                                     | 4.2755                                   | 9.37%                                     |
| 4.4295                                                     | 6.6166                                   | 33.05%                                    | 8.4998                                                     | 6.5523                                   | 29.72%                                    |
| 7.0302                                                     | 7.1913                                   | 2.24%                                     | 8.8164                                                     | 9.1924                                   | 4.09%                                     |
| 6.9609                                                     | 7.5403                                   | 7.68%                                     | 9.1007                                                     | 9.5085                                   | 4.29%                                     |
| 6.9529                                                     | 8.1256                                   | 14.43%                                    | 9.3833                                                     | 10.4184                                  | 9.94%                                     |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 18.30%                                    | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                              |                                          | 15.20%                                    |

ตารางที่ ข.9 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

| ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด          |             |                | ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด          |             |                |
|----------------------------------------------|-------------|----------------|----------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด  |             |                | การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด  |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 1           | 1              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 0           | 1              |
| 0                                            | 0           | 0              | 2                                            | 0           | 1              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 1           | 1              | 0                                            | 2           | 2              |
| 0                                            | 0           | 0              | 1                                            | 1           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 2                                            | 2           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 2                                            | 2           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 2                                            | 2           | 0              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 7.14%          | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 35.71%         |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.10 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

| ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด          |             |                | ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด          |             |                |
|----------------------------------------------|-------------|----------------|----------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด  |             |                | การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด  |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                   | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| 0                                            | 0           | 0              | 0                                            | 0           | 0              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 0.00%          | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด                |             | 0.00%          |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.11 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้

| ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด         |             |                | ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด         |             |                |
|---------------------------------------------|-------------|----------------|---------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด |             |                | การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก    |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก    |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                  | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                  | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 1           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 0           | 1              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 1           | 1              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 1           | 1              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 1           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด               |             | 21.43%         | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด               |             | 0.00%          |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ตารางที่ ข.12 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้

| ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด         |             |                | ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด         |             |                |
|---------------------------------------------|-------------|----------------|---------------------------------------------|-------------|----------------|
| การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด |             |                | การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด |             |                |
| ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก    |             |                | ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก    |             |                |
| จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                  | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด | จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB                  | จากการทดลอง | ค่าความผิดพลาด |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 0           | 1              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 0           | 1              | 1                                           | 0           | 1              |
| 0                                           | 0           | 0              | 1                                           | 1           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 0                                           | 0           | 0              | 0                                           | 0           | 0              |
| 1                                           | 0           | 1              | 1                                           | 0           | 1              |
| 1                                           | 0           | 1              | 1                                           | 0           | 1              |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด               |             | 28.57%         | คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด               |             | 21.43%         |

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง



ภาคผนวก ค

กิจกรรมการเผยแพร่และถ่ายทอดข้อมูลวิจัย

## 1. การเผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบบทความวิจัย

### - การประชุมวิชาการภายในประเทศ

- 1) กุศล พร้อมมูล, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์, สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และ เทิดศักดิ์ อาลัย, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD”, รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 2002, pp.526-530
- 2) เทิดศักดิ์ อาลัย, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ และ กุศล พร้อมมูล, “อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์”, รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 15-17 ตุลาคม 2546, โรงแรมทวาราวดี จังหวัดปราจีนบุรี, pp.883-887
- 3) กุศล พร้อมมูล, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ และ เทิดศักดิ์ อาลัย, “อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง”, รายงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2004, 20-22 ตุลาคม 2547, โรงแรมดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่

### - การประชุมวิชาการนานาชาติ

- 1) Kusol Prommul, Pongpan Kaewtatip and Terdsak Arlai, “Investigation on the Influences of Cutting Parameters in CNC Machining of Rubber Wood with Integration of Neural Networks”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Wood Machining, July 5-7, 2004, Vienna Austria*, pp.123-129

## 2. การเผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบการจัดการอบรม

- 2.1 การสัมมนาเรื่อง “การนำคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและการตลาดกับอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ของประเทศไทย”, ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, วันที่ 6 กันยายน 2545, ณ อาคารสัมมนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 2.2 การสัมมนาเรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา”, วันที่ 25 กรกฎาคม 2546, ณ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### 3. ผลที่ได้รับจากการโครงการ (Output)

| Output                                                                                                                                                                           |              | สาเหตุกรณี ผลสำเร็จไม่ถึง 100% และการแก้ไขที่ได้ดำเนินการ                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ / หรือจากการปรับเปลี่ยน                                                                                                                                  | ผลสำเร็จ (%) |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1. ทำการติดตั้งเครื่องจักร CNC อุปกรณ์วิจัย การทดลองใช้งานเบื้องต้น และเตรียมการทดลอง                                                                                            | 100          | -                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2. ได้ผลการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของความเร็วรอบอัตราป้อนตัดของไบมีดชนิด Tungsten carbide และวิเคราะห์ผลการทดลอง                                                                    | 100*         | การดำเนินงานวิจัยในส่วนของการสึกหรอของไบมีด พบว่าการตรวจสอบการสึกหรอในห้องปฏิบัติการทั้งหมดเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องทำการกัดไม้เป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลจากผลการทดลองบางส่วน ร่วมกับข้อมูลที่ค้นคว้าเพิ่มเติม รวมทั้งเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกันมาทดแทนในบางส่วน |
| 3. ได้ผลการทดลองเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของ depth of cut, shear angle และเส้นผ่านศูนย์กลางของไบมีด Tungsten carbide รวมทั้งผลของความเร็วรอบและอัตราป้อนตัดของมิด Polycrystal diamond | 100          | -                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4. ได้ข้อมูลที่จะใช้กำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดไม้ยางพาราด้วยไบมีดชนิดต่างๆ โดยสร้างเป็นตารางการเพื่อให้ง่ายต่อการเลือกใช้                                                   | 100          | -                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5. จัดการอบรมเผยแพร่ผลงานวิจัย 2 ครั้ง/ปี                                                                                                                                        | 100*         | จัดการอบรมเผยแพร่ผลงาน 2 ครั้ง ตลอดโครงการ และเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ 3 ครั้ง ระดับนานาชาติ 1 ครั้ง                                                                                                                                                                    |

## การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD Study on Optimum Wood Cutting Conditions Using PCD Cutting Tools

กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และเทิดศักดิ์ อาลัย  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
โทร 0-2470-9202 โทรสาร 0-2872-9080 E-mail: [kusol.pro@kmutt.ac.th](mailto:kusol.pro@kmutt.ac.th)

Kusol PROMMUL, Pongpan KAEWTATIP, Suraphan SUWANAKOOTH and Terdsak ARLAI  
Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi  
91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140 Thailand  
Tel: 0-2470-9202 Fax: 0-2872-9080 E-mail: [kusol.pro@kmutt.ac.th](mailto:kusol.pro@kmutt.ac.th)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ (Routing process) ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดที่ทำมาจากเพชร (Polycrystal Diamond; PCD) ในปัจจุบันมีมีดตัดที่ใช้ในงานตัดไม้ที่ทำมาจากวัสดุหลายประเภท เช่น เหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel) ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) และเพชรแบบหลายผลึกเป็นต้น ซึ่งอายุการใช้งานของมีดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยที่เป็นที่ทราบกันดีว่ามีมีดตัด PCD จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่ามีดตัดที่ทำมาจากวัสดุชนิดอื่นๆหลายเท่า อย่างไรก็ตามราคาของมีดตัด PCD ก็สูงกว่ามากเช่นกัน ผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในประเทศไทย ณ ปัจจุบันนี้ ยังไม่นิยมใช้มีดตัด PCD กันมากนัก สาเหตุหลักเนื่องมาจากราคาที่แพงมาก และผู้ประกอบการไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการป้อนตัดเทียบกับทิศทางการเคลื่อนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน นั่นก็คือความเรียบผิวของไม้ที่ได้ การเกิดขุยไม้และรอยไหม้บนเนื้อไม้ และยังศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขในการตัดที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับมีด PCD ผลจากการวิจัยพบว่าความเร็วรอบ 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 8 mm/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุดเทียบเท่ากับผิวชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดแล้ว แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ความเร็วค่านี้นั้นจะมากกว่าที่ความเร็ว 21,000 rpm ถึงเกือบ 30%

**คำสำคัญ:** การตัดไม้ ใบมีด PCD สภาวะการตัด คุณภาพผิวไม้

### Abstract

This objective of this research is to study parameters that affect the efficiencies of the routing process for manufacturing rubber-wood furniture using a PCD (Polycrystal Diamond) cutting tool. Cutting tools, currently in use, may include: High Speed Steel (HSS), Tungsten Carbide, and PCD tools. Although extremely more expensive, the PCD cutting tool has much longer tool life than others in this group. However, only few Thai manufacturers are using the PCD tools because of the higher prices and the lack of enough decision-making information to determine optimum cutting conditions for producing quality parts. In this research, the optimum cutting conditions, affecting surface roughness, wood splinter, and burn were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, and cutting directions (relative to wood-grain orientations). In addition, power consumption rates for each condition were studied. The results show that the condition at a cutting speed of 15,000 rpm and at a feed rate of 8 mm/min yields a part with the best surface finish having smallest surface roughness (Ra) and having no wood splinter. Nonetheless, the power consumption rate at the cutting speed of 15,000 rpm is approximately 30 percent higher than at 21,000 rpm.

**Keywords:** Wood cutting, PCD router, Cutting conditions, Surface integrity

### 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่หารายได้เข้าประเทศปีละกว่าสามหมื่นล้านบาท [1] แต่อุตสาหกรรมดังกล่าวโดยเฉพาะในส่วนของการขึ้นรูปไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักร

ซีเอ็นซี ยังขาดข้อมูลที่จำเป็นในการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของกระบวนการตัดขึ้นรูป เนื่องจากในการตัดไม้จะต่างจากการตัดโลหะ เพราะไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (nonhomogeneous material) ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้จึงทำได้ยากเพราะจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางเข้ามาเกี่ยวข้อง ใบมีดที่ใช้ในงานตัดไม้ปัจจุบันจะมาจากวัสดุหลายประเภท แต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์เพราะมีราคาปานกลางและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี อย่างไรก็ตามเนื่องจากในงานตัดไม้จะไม่สามารถใช้สารหล่อลื่นได้เหมือนงานโลหะ ในขณะที่ความเร็วและอัตราการป้อนตัดอาจสูงกว่างานโลหะมากกว่า 10 เท่า ดังนั้นการสึกหรอของใบมีดจะเกิดขึ้นเร็วมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวใบมีดที่ทำมาจากเพชรหลายผลึก (หรือที่เรียกกันว่า PCD) เริ่มถูกนำมาใช้มากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่างประเทศ ในประเทศไทยเองก็เริ่มมีผู้ประกอบการใช้ใบ PCD บ้าง แต่เนื่องจากมีดดังกล่าวมีราคาสูงมาก และเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้โดยใช้มีด PCD ก็ไม่ได้ชัดเจน เนื่องจากมีด PCD ที่ใช้กับงานไม้ยังไม่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ข้อมูลการใช้ที่ผู้ขายแนะนำก็จะเหมาะสมเฉพาะกับการตัดไม้เนื้อแข็งของต่างประเทศเช่น ไม้โอ๊คเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ในประเทศไทยเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่ส่งออกทั้งหมดกว่า 80% เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง และเกิดขุยขึ้นได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัดขวางทิศทางของเส้นไม้ เมื่อเกิดขุยขึ้นผู้ประกอบการในปัจจุบันแก้ปัญหาโดยการนำไม้มาผ่านกระบวนการขัดผิวอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำผ่านขั้นตอนการลงสีและประกอบต่อไป ขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มมาทำให้ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเทียบกับต้นทุนทั้งหมด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการตัดไม้ยางพาราด้วยใบมีด PCD (PCD router) เพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานดีที่สุดโดยไม่ต้องนำไปขัดผิว หรือขัดน้อยที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานในการตัดน้อยที่สุด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการตัดไม้เทียบกับแนวเส้นไม้

## 2. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

คุณภาพของผิวจากการตัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ 1.คุณภาพของเนื้อไม้ 2.รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และ 3.เงื่อนไขในการตัด คุณภาพของเนื้อไม้เช่นความชื้นภายในเนื้อไม้ ตำแหน่งของตาไม้ แนวการเรียงตัวของเส้นไม้ และความเค้นภายในเนื้อไม้ (Growth stress) เป็นต้น เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลอย่างมากในกระบวนการตัดไม้ [3] ดังนั้นในการที่จะได้คุณภาพผิวหลังการตัดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยอื่นที่เหลือให้เหมาะสม ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นของไม้ ความแตกต่างของเนื้อไม้ในแต่ละจุด และการลื่นไถลของใบมีดบนเนื้อไม้จะสามารถทำนายลักษณะผิวหลังการตัดได้ตามรูปที่ 1

$F_z$  (Chip Load หรือ Feed per Tooth) ในรูปที่ 1 หมายถึงระยะที่คมตัดหนึ่งคมตัดเฉือนเนื้อไม้ออกไปเมื่อคมตัดของมีดหมุนไปหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/คมตัด เมื่อ  $F_z$  มีค่าน้อยจะแสดงถึงผิวคุณภาพงานตัดที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดเมื่ออัตราการป้อนตัดที่ช้าแต่ความเร็วตัดมีค่าสูง

แต่จะมีข้อเสียเกิดขึ้นคืออายุคมตัดอาจสั้นลง ค่า  $F_z$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$F_z = F/(N \times Z) \quad (1)$$

โดยที่  $F$  = อัตราการป้อนตัด (Feed rate); mm/min

$N$  = ความเร็วรอบของใบมีด; rpm

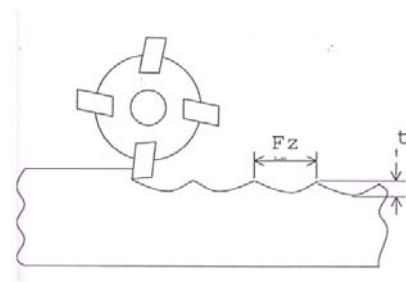
$Z$  = จำนวนคมตัดของมีด

รอยลึกของคมตัด (Cutter mark;  $t$ ) คือความสูงของรอยคมตัดที่ผิวชิ้นงานซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $F_z$  และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการ (2)

$$t = (F_z)^2 / 4D \quad (2)$$

โดยที่  $F_z$  = Chip load (mm/tooth)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

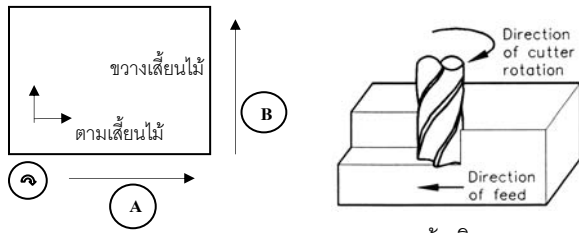


รูปที่ 1 แสดงลักษณะของผิวหลังการตัด (Routed surface)

## 3. ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

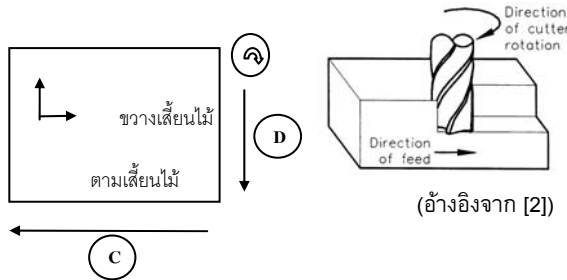
ในงานวิจัยนี้ใช้มีดตัดทำมาจากเพชรแบบหลายผลึก (PCD router) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm วัสดุที่ใช้คือไม้ยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 450 x 750 mm ความหนาเท่ากับ 20 mm เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้คือ CNC-BORING AND ROUTING MACHINE (TYPE WINNER 2.45K) ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 24,000 rpm และอัตราการป้อนตัดสูงสุดเท่ากับ 24 m/min ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาคือความเร็วรอบในการตัดที่ 15,000 18,000 และ 21,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 8 12 และ 15 m/min ระยะกินลึกในการตัด (Depth of cut) จะกำหนดให้คงที่เท่ากับ 10 mm เพื่อศึกษาอิทธิพลของทิศทางการตัดเทียบกับทิศทางของเส้นไม้จะแบ่งลักษณะการตัดออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

- A: ตัดตามเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนตัด (Along grain, against feed: upcut)
- B: ตัดตามเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Along grain, with feed: downcut)
- C: ตัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนตัด (Across grain, against feed: upcut)



(อ้างอิงจาก [2])

(ก) แสดงทิศทางการตัดแบบ Upcut



(อ้างอิงจาก [2])

(ข) แสดงทิศทางการตัดแบบ Downcut

รูปที่ 2. แสดงทิศทางการตัดแบบ A B C และ D

D: ตัดขวางเส้นแนว และตามทิศทางการป้อนตัด (Across grain, with feed: downcut)

(การตัดแบบ Upcut สำหรับงานไม้ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น Against feed ในขณะที่การตัดแบบ Downcut ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น With feed) ลักษณะการตัดไม้ทั้งสี่แบบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 (ก) และ (ข)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลได้แก่คุณภาพผิว (Surface Integrity) ซึ่งประกอบไปด้วยความเรียบผิว ขุยบนเนื้อไม้ และรอยไหม้ และจะทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน (Power consumption) ของแต่ละเงื่อนไขในการตัด โดยจะทำการวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำการตัด

#### 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

##### 4.1 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการตัด

###### 4.1.1 ขุยของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ความเร็วรอบต่ำจะมีโอกาสเกิดขุยบนเนื้อไม้มากกว่าที่ความเร็วรอบสูง การตัดในทิศทางขวางแนวเส้นแนวจะทำให้เกิดขุยได้ง่ายกว่าการตัดขนานกับแนวเส้นแนว และการตัดแบบ Downcut จะทำให้เกิดขุยได้ง่ายกว่าการตัดแบบ Upcut โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการป้อนตัดสูงๆหรือที่ 12 และ 15 m/min ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออัตราการป้อนตัดมีค่าสูงใบมีดตัดจะไม่สามารถตัดเนื้อเส้นแนวได้ทันกับอัตราการป้อนตัดทำให้มีขุยไม้เกิดขึ้น

###### 4.1.2 รอยไหม้บนผิวไม้

จากผลการทดลองในทุกๆเงื่อนไขของการตัดพบว่าไม่มีรอยไหม้เกิดขึ้น เนื่องจากความเร็วในการป้อนตัดที่ใช้มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นโอกาสการเกิดการเสียดสีระหว่างไม้กับใบมีดที่เป็นสาเหตุของรอยไหม้

ตารางที่ 1 ผลการสังเกตขุยที่เกิดขึ้นบนรอยตัด

| ลักษณะการตัด | Speed (rpm) | Feed (m/min) |         |       |         |       |         |
|--------------|-------------|--------------|---------|-------|---------|-------|---------|
|              |             | 8            |         | 12    |         | 15    |         |
|              |             | Upcut        | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut |
| Along grain  | 15000       | *            | *       | *     | *       | *     | △       |
|              | 18000       | ○            | ○       | *     | *       | ×     | △       |
|              | 21000       | *            | *       | ○     | *       | *     | ○       |
| Across grain | 15000       | *            | *       | *     | ○       | *     | ×       |
|              | 18000       | *            | △       | ○     | ×       | *     | △       |
|              | 21000       | ○            | ○       | *     | △       | ○     | △       |

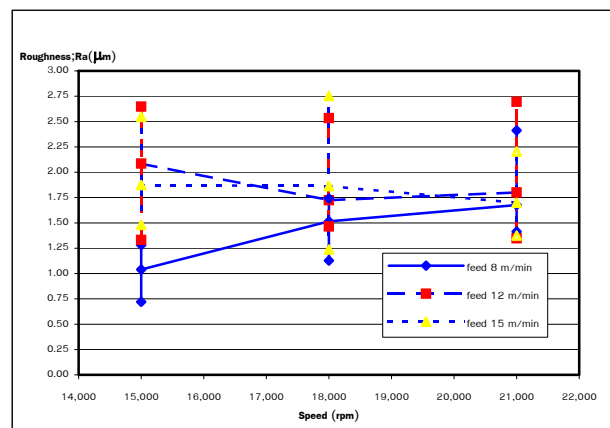
หมายเหตุ - \* = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย  
- ○ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย  
- △ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง  
- × = มีขุยเกิดขึ้นมาก

จึงไม่มี

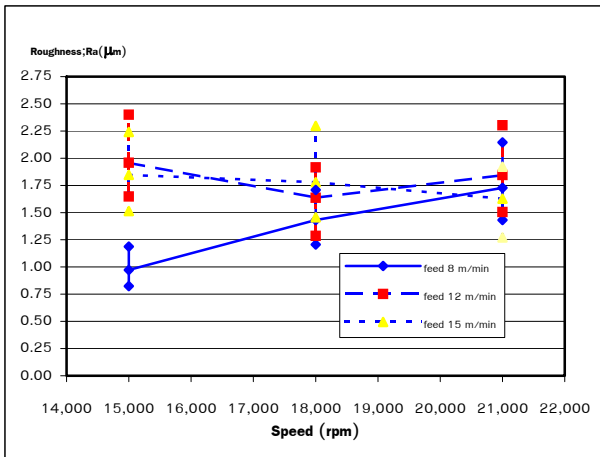
##### 4.1.3 ความเรียบผิวของชิ้นงาน

ความเรียบผิวหลังการตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบบ A B C และ D แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 4 5 และ 6 จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก ทำให้สรุปแนวโน้มได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

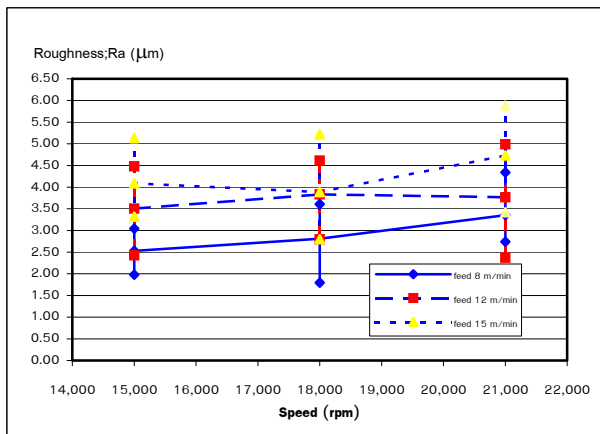
ที่อัตราการป้อนตัดที่ 8 m/min และความเร็วรอบ 15,000 rpm ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดไม่ว่าจะทำการตัดในลักษณะใดก็ตาม เนื่องจากสภาวะการตัดของใบมีดอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่ความเร็วอื่นๆที่ทำให้ค่าความเรียบผิวออกมาไม่ดีนั้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบของใบมีดสูงขึ้นการคายเศษไม้เมื่อเทียบกับความเร็วรอบไม่สัมพันธ์กัน ทำให้เศษไม้ที่ควรจะถูกหลุดออกมาจากชิ้นงานหลุดออกมาไม่ทัน คมมีดอันถัดไปก็หมุนมาทำการตัดไม้กดทับเศษดังกล่าว ทำให้เศษไม้บางส่วนฝังลงไปในเนื้อไม้ ส่งผลให้เนื้อไม้หลังการตัดมีรอยเกิด



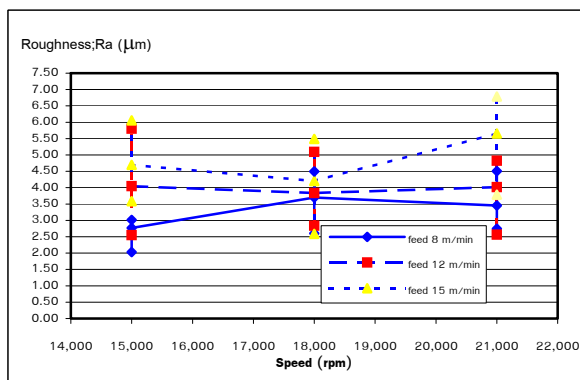
รูปที่ 3. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดตามเส้นแนวไม้แบบ Upcut



รูปที่ 4. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดตามเส้นไม้แบบ Downcut



รูปที่ 5. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดขวางเส้นไม้แบบ Upcut



รูปที่ 6. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดขวางเส้นไม้แบบ Downcut.

ขึ้น ในทำนองเดียวกันที่อัตราการป้อนตัดสูงๆก็จะมีผลในลักษณะใกล้เคียงกันด้วย

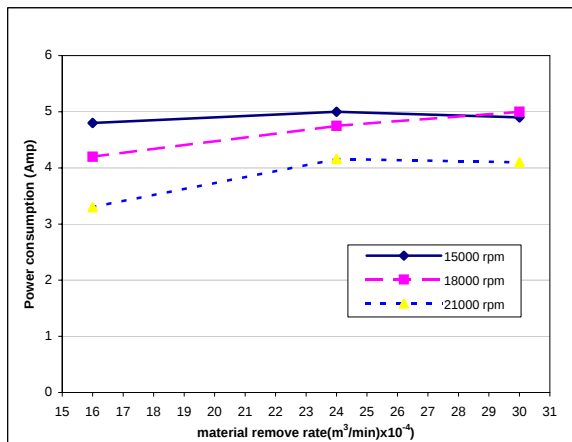
จากการวัดค่าความเรียบผิวของไม้ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ ยางพาราที่ผ่านขั้นตอนการขัดผิวครั้งสุดท้ายก่อนทำการพ่นสีพบว่าค่าความเรียบผิว ( $R_a$ ) ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ  $2.87 \mu m$  ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ความเร็ว  $15,000 \text{ rpm}$  และอัตราการป้อนตัดที่  $8 \text{ m/min}$  ไม่ว่าจะทำให้เกิดการตัดในลักษณะใดก็ตาม ค่าความเรียบผิวที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเรียบผิวของไม้ที่วัดได้จากโรงงาน ซึ่งบ่งชี้ถึงว่าถ้าทำการตัดไม้ด้วยเครื่องซีเอ็นซีที่ความเร็วรอบและอัตราการป้อนตัดนี้ทำให้ไม่ต้องทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายซ้ำหลังผ่านการตัดไม้

ลักษณะการตัดแบบ Downcut ให้คุณภาพผิวที่ดีกว่าการตัดแบบ Upcut เนื่องมาจากการตัดแบบ Downcut จะทำให้เกิดการขาดของเนื้อวัสดุแบบแรงเฉือนสมบูรณ์ทำให้เศษไม้ที่หลุดออกมามีขนาดที่สม่ำเสมอ ส่วนแบบ Upcut นั้นเศษไม้ที่หลุดออกมาไม่สม่ำเสมอเนื่องมาจากการฉีกขาดของเนื้อไม้ก่อนที่จะมีการขาดเนื่องจากแรงเฉือนของใบมีดตัด

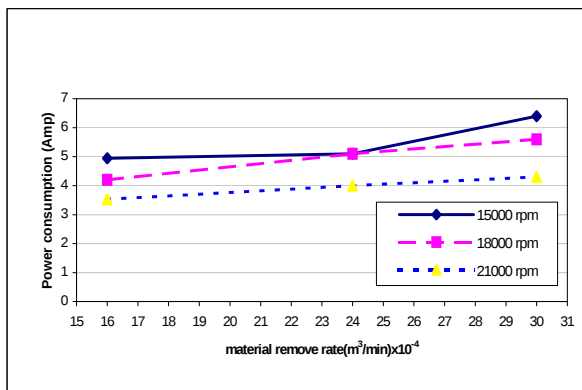
ทิศทางการตัดของใบมีดแบบตามเส้นไม้ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่าการตัดแบบขวางเส้น เนื่องจาก การตัดแบบขวางเส้นนั้นมีการหลบของเส้นไม้เกิดขึ้นในระหว่างการตัด ทำให้เมื่อใบมีดเคลื่อนตัวผ่านไปเส้นไม้ที่หลบเข้าไปฝังในเนื้อไม้จะติดตัวออกมา ทั้งการตัดของใบมีดต่อเส้นไม้นั้นยังขึ้นอยู่กับอายุของไม้ด้วยเช่น ถ้าไม้ที่มีอายุมากการตัดเส้นไม้ก็ทำได้ยากทำให้เนื้อไม้ที่ได้มีความหยاب ในทางกลับกันถ้าเนื้อไม้ที่นำมาทำการผลิตมีอายุที่เหมาะสมการตัดขาดของเส้นไม้จะทำได้ง่ายกว่า

## 4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสามารถวัดได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้ในขณะที่ทำการตัดไม้โดยใช้ Clamp-on meter ผลของการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องจักรซีเอ็นซีใช้เทียบกับอัตราการกำจัดเศษวัสดุ (Material removal rate) สำหรับการตัดแบบ Upcut และ Downcut แสดงให้เห็นในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ อัตราการกำจัดเศษวัสดุสามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์  $\text{Material remove rate} = \text{Feed rate} \times \text{Depth of cut} \times \text{Working depth}$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการกำจัดเศษวัสดุแปรผันตรงกับอัตราการป้อนตัด แต่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบในการตัดไม้ อัตราการกำจัดเศษวัสดุจะบ่งบอกถึงความสามารถหรือความเร็วในการผลิตชิ้นงาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานหรือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดเมื่อความเร็วรอบของใบมีดตัดเท่ากับ  $21,000 \text{ rpm}$  ซึ่งผลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่ออัตราการกำจัดเศษวัสดุมีค่าน้อยๆ โดยความแตกต่างเมื่อเทียบที่อัตราการกำจัดเศษวัสดุเท่ากันสูงถึงเกือบ 30% สาเหตุเนื่องมาจากมอเตอร์ของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบดังกล่าว และจะพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการการตัดแบบ Upcut และ Downcut จะไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนั้นจะเห็นว่าที่อัตราการป้อนตัดสูงๆ ภาระโหลดในการตัดไม้จะเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงตามไปด้วย



รูปที่ 7 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ Upcut



รูปที่ 8. กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ Downcut

## 5. สรุป

ในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัด PCD พบว่าที่ความเร็วรอบ 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 8 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุดเทียบเท่ากับผิวชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดแล้ว แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ความเร็วค่านี้จะมากกว่าที่ความเร็ว 21,000 rpm ถึงเกือบ 30% และมีอัตราการกำจัดเศษน้อยกว่ากรณีใช้อัตราการป้อนตัดเท่ากับ 15 m/min ถึงเกือบ 50% ดังนั้นการที่จะเลือกเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนในการขัดผิว และต้นทุนค่าพลังงานเพิ่มเติมต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัทเอสดีพีอินเตอร์เทรดจำกัด คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ผ่องเพ็ญ สัมมาพันธ์, เอกสารประกอบการสัมมนาทางพาราแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, [http://www.thailandrubber.thaigov.net/songkhla1/news\\_event/001.doc/](http://www.thailandrubber.thaigov.net/songkhla1/news_event/001.doc/), March 15, 2002
- [2] Lin, Su-Chen Jonathan, "Computer Numerical Control: From Programming to Networking," Delmar Publishers, USA, 1994, p. 269.
- [3] Aquilera, A., Meausoone, P. J., and Martin, P., "Wood Material Influence in Routing Operations: the PDF Case," Holz als Roh-und Werkstoff, Vol 58, 2000, pp. 278-283.

## อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ไบมีดทังสเตนคาร์ไบด์ (Influences of Various Working Parameters in Routing process of Rubber Wood using Tungsten-Carbide Routers)

เทิดศักดิ์ อาลัย พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ กุศล พร้อมมูล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2872-9691 E-mail: [terdsak@fibo.kmutt.ac.th](mailto:terdsak@fibo.kmutt.ac.th) , [pongpan.kae@kmutt.ac.th](mailto:pongpan.kae@kmutt.ac.th) , [kusol.pro@kmutt.ac.th](mailto:kusol.pro@kmutt.ac.th)

Terdsak ARLAI, Pongpan KAEWTATIP, Kusol PROMMUL  
Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi  
91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140 Thailand

Tel: 0-2470-9339 Fax: 0-2872-9691 E-mail: [terdsak@fibo.kmutt.ac.th](mailto:terdsak@fibo.kmutt.ac.th) , [pongpan.kae@kmutt.ac.th](mailto:pongpan.kae@kmutt.ac.th) , [kusol.pro@kmutt.ac.th](mailto:kusol.pro@kmutt.ac.th)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ (Routing process) ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้ไบมีดตัดทำมาจากทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide; WC , TC) ในปัจจุบันไบมีดตัดที่ใช้ในงานตัดไม้ทำมาจากวัสดุหลายประเภทเช่น เหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel) ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) และเพชรแบบหลายผลึก (Polycrystal diamond) เป็นต้น ซึ่งอายุการใช้งานของไบมีดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยที่เป็นที่ทราบกันดีว่าไบมีดตัด TC (ชื่อเรียกในงานอุตสาหกรรม) เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายภายในประเทศไทยเนื่องจากว่าราคาไม่สูงมากนักในขณะที่อายุการใช้งานก็ยาวนานระดับหนึ่ง แต่อาจไม่สูงมากเมื่อเทียบกับไบมีดแบบเพชร ในปัจจุบันผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในประเทศไทย ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ไบมีดตัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการป้อนตัดเทียบกับทิศทางเส้นไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน นั่นก็คือความเรียบผิวของไม้ที่ได้ การเกิดขุยไม้และรอยไหม้บนเนื้อไม้ และยังศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขในการตัดที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับไบมีด TC ผลจากการวิจัยพบว่าที่ความเร็วรอบ 16,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 12 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด อัตราการผลิตสูงถึง80% เมื่อเทียบกับอัตราการป้อนตัดที่ใช้กันทั่วไปคือ 1 m/min และปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดเพียง 30% เมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไป (10,000 rpm)

คำสำคัญ: การตัดไม้ ไบมีดทังสเตนคาร์ไบด์ สภาวะการตัด คุณภาพผิวไม้

### Abstract

This research is to study parameters that affect the efficiencies of the routing process for manufacturing rubber-wood furniture using a TC (Tungsten Carbide) cutting tool. Cutting tools, currently in use, may include: High Speed Steel (HSS), Tungsten Carbide, and PCD tools. However, more Thai manufacturers have been using the TC tools for years, they do not have enough decision-making information in order to determine optimum cutting conditions for producing quality parts. In this research, the optimum cutting conditions, affecting surface roughness, wood splinter, and burn, were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, and cutting directions (relative to wood-grain orientations). In addition, power consumption rates for each condition were studied. The results show that the condition at a cutting speed of 16,000 rpm and at a feed rate of 12 m/min yields a part with the best surface finish having smallest surface roughness (Rq) and having no wood splinter. Moreover, productivity rate of this condition is 80% higher than at condition feed rate of 1 m/min. And electrical current use is 30% lower than that of conventional cutting speed of 10,000 rpm

Key word: Wood cutting, TC router, Cutting conditions, Surface integrity

## 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าสามหมื่นล้านบาท [1] แต่อุตสาหกรรมดังกล่าว โดยเฉพาะในส่วนของการขึ้นรูปไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี ยังขาดข้อมูลที่จำเป็นในการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของกระบวนการตัดขึ้นรูป เนื่องจากในการตัดไม้จะต่างจากการตัดโลหะ เพราะไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (nonhomogeneous material) ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้จึงทำได้ยากเพราะจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม้ที่ใช้งานตัดไม้จะมาจากวัสดุหลายประเภท แต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์เพราะมีราคาปานกลางและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเฟอร์นิเจอร์ไม้ของไทยที่ส่งออกทั้งหมดกว่า 80% เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง และเกิดขุยขึ้นได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัดตามทิศทางของเส้นไม้ เมื่อเกิดขุยขึ้นผู้ประกอบการในปัจจุบันแก้ปัญหา โดยการนำไม้มาผ่านกระบวนการขัดผิวอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำผ่านขั้นตอนการลงสีและประกอบต่อไป ขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มมาทำให้ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเทียบกับต้นทุนทั้งหมด ก่อนหน้านี้คณะผู้วิจัยได้นำเสนองานวิจัยในการใช้ไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (PCD) มาแล้วครั้งหนึ่ง[2] ซึ่งเห็นคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ PCD จะมีคุณภาพผิวที่ดีมากก็ตาม แต่เนื่องจากไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ PCD มีราคาสูงมาก โดยสูงกว่าไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ TC ขนาดเท่ากันถึงประมาณ 10 เท่าหรือมากกว่า ทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้มากในประเทศ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการตัดไม้ยางพาราด้วยไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ TC (TC router) เพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีที่สุดโดยไม่ต้องนำไปขัดผิว หรือขัดน้อยที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานในการตัดน้อยที่สุด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการตัดไม้เทียบกับแนวเส้นไม้

## 2. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

คุณภาพของผิวจากการตัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ (1) คุณภาพของเนื้อไม้ (2) รูปทรงเรขาคณิตของไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ และ (3) เงื่อนไขในการตัด คุณภาพของเนื้อไม้เช่นความชื้นภายในเนื้อไม้ ตำแหน่งของตาไม้ แนวการเรียงตัวของเส้นไม้ และความเค้นภายในเนื้อไม้ (Growth stress) เป็นต้น เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลอย่างมากในกระบวนการตัดไม้ [4] ดังนั้นในการที่จะได้คุณภาพผิวหลังการตัดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยอื่นที่เลือกให้เหมาะสม ในกรณีที่ไม้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นของไม้ ความแตกต่างของเนื้อไม้ในแต่ละจุด และการสั่นไหวของไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์บนเนื้อไม้จะสามารถทำนายลักษณะผิวหลังการตัดได้ตามรูปที่ 1

$F_z$  (Chip Load หรือ Feed per Tooth) ในรูปที่ 1 หมายถึงระยะที่คมตัดหนึ่งคมตัดเฉือนเนื้อไม้ออกไปเมื่อคมตัดของมีดหมุนไปหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/คมตัด เมื่อ  $F_z$  มีค่าน้อยจะแสดงถึงผิวคุณภาพงานตัดที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดเมื่ออัตราการป้อนตัดที่ช้าแต่ความเร็วตัดมีค่าสูง

แต่จะมีข้อเสียเกิดขึ้นคืออายุคมตัดอาจสั้นลง ค่า  $F_z$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

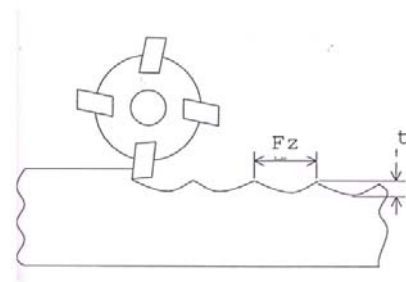
$$F_z = F/(N \times Z) \quad (1)$$

โดยที่  $F$  = อัตราการป้อนตัด (Feed rate); mm/min  
 $N$  = ความเร็วรอบของไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์; rpm  
 $Z$  = จำนวนคมตัดของมีด

รอยลึกของคมตัด (Cutter mark; t) คือความสูงของรอยคมตัดที่ผิวชิ้นงานซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $F_z$  และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการ (2)

$$t = (F_z)^2 / 4D \quad (2)$$

โดยที่  $F_z$  = Chip load (mm/tooth)  
 $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของผิวหลังการตัด (Routed surface)

## 3. ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

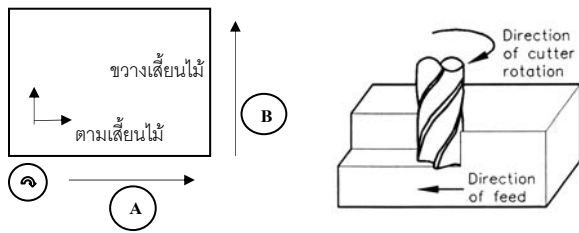
ในงานวิจัยนี้ใช้ไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (TC router) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm วัสดุที่ใช้คือไม้ยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 450 x 750 mm ความหนาเท่ากับ 20 mm เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้คือ CNC-boring and routing machine ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 24,000 rpm และอัตราการป้อนตัดสูงสุดเท่ากับ 24 m/min ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาคือความเร็วรอบในการตัดที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 1 2 3 6 9 12 และ 15 m/min ระยะกินลึกในการตัด (Depth of cut) จะกำหนดให้คงที่เท่ากับ 3 mm เพื่อศึกษาอิทธิพลของทิศทางการตัดเทียบกับทิศทางของเส้นไม้จะแบ่งลักษณะการตัดออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

- A: ตัดตามเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนตัด (Along grain, against feed: upcut)
- B: ตัดตามเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Along grain, with feed: downcut)
- C: ตัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนตัด (Across grain, against feed: upcut)

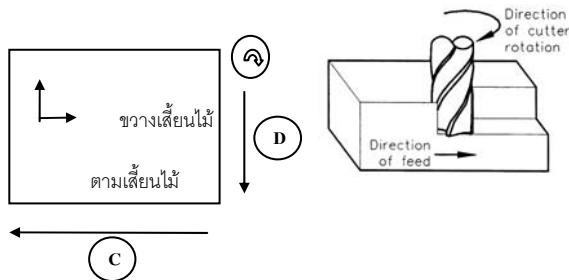
D: ตัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Across grain, with feed: downcut)

(การตัดแบบ Upcut สำหรับงานไม้ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น Against feed ในขณะที่การตัดแบบ Downcut ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น With feed) ลักษณะการตัดไม้ทั้งสี่แบบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 (ก) และ (ข)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลได้แก่คุณภาพผิว (Surface Integrity) ซึ่งประกอบไปด้วยความเรียบผิว ขุยบนเนื้อไม้ และรอยไหม้ และจะทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (Power consumption) ของแต่ละเงื่อนไขในการตัด โดยจะทำการวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำการตัด



(ก) แสดงทิศทางการตัดแบบ Upcut



(ข) แสดงทิศทางการตัดแบบ Downcut

รูปที่ 2. แสดงทิศทางการตัดแบบ A B C และ D [2]

#### 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

##### 4.1 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการตัด

###### 4.1.1 การเกิดขุยและการฉีกขาดของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่ำจะมีโอกาสเกิดขุยบนเนื้อไม้มากกว่าที่ความเร็วรอบสูง การตัดในทิศทางตามแนวเส้นจะทำให้เกิดขุยได้ง่ายกว่าการตัดขวางกับแนวเส้นไม้ และการตัดแบบ Downcut จะทำให้เกิดขุยได้ง่ายกว่าการตัดแบบ Upcut โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการป้อนตัดสูงๆ หรือที่ 9 12 และ 15 m/min ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออัตราการป้อนตัดมีค่าสูงไปมีดตัดจะไม่สามารถตัดเนื้อเส้นไม้ได้ทันกับอัตราการป้อนตัดทำให้มีขุยไม้เกิดขึ้น

###### 4.1.2 รอยไหม้บนผิวไม้

มีรอยไหม้เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อนตัด 1 เมตรต่อนาที เนื่องจากสาเหตุที่สภาวะดังกล่าวมีการเสียดสีระหว่างใบมีดกับเนื้อไม้เป็นเวลานาน

###### 4.1.3 ความเรียบผิวของชิ้นงาน

ความเรียบผิวหลังการตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบบ A B C และ D แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 4 5 และ 6 จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

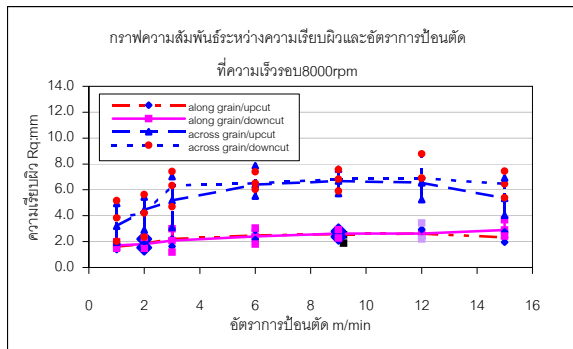
ตารางที่ 1 ผลการสังเกตขุยที่เกิดขึ้นบนรอยตัด

| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (m/min) |   |         |   |       |   |         |   |       |   |         |   |       |   |         |   |
|-------------------|-------------|--------------|---|---------|---|-------|---|---------|---|-------|---|---------|---|-------|---|---------|---|
|                   |             | 1            |   |         |   | 2     |   |         |   | 3     |   |         |   | 6     |   |         |   |
|                   |             | Upcut        |   | Downcut |   | Upcut |   | Downcut |   | Upcut |   | Downcut |   | Upcut |   | Downcut |   |
| Along grain       | 8000        | ✱            | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✱ |
|                   | 10000       | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ |
|                   | 12000       | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ |
|                   | 14000       | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ |
|                   | 16000       | ○            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ |
|                   | 18000       | ○            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ |
| Across grain      | 8000        | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✱ |
|                   | 10000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ |
|                   | 12000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ |
|                   | 14000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ |
|                   | 16000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ |
|                   | 18000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ |

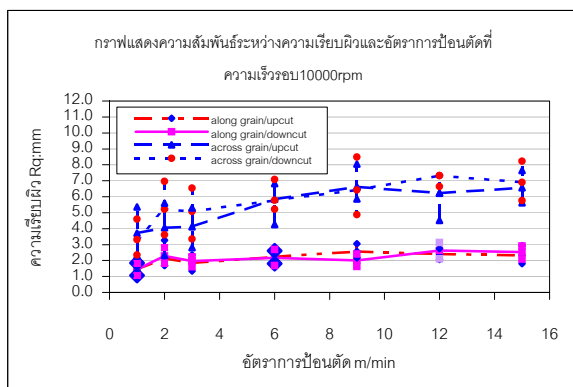
| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (m/min) |   |         |   |       |   |         |   |       |   |         |   |
|-------------------|-------------|--------------|---|---------|---|-------|---|---------|---|-------|---|---------|---|
|                   |             | 9            |   |         |   | 12    |   |         |   | 15    |   |         |   |
|                   |             | Upcut        |   | Downcut |   | Upcut |   | Downcut |   | Upcut |   | Downcut |   |
| Along grain       | 8000        | ✱            | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✱ |
|                   | 10000       | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✓ | ○       | ✓ |
|                   | 12000       | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ |
|                   | 14000       | ✱            | ✓ | ○       | ✱ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ |
|                   | 16000       | ✱            | ✓ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ | ✱     | ✱ | ○       | ✓ |
|                   | 18000       | ○            | ✱ | ✱       | ✓ | ○     | ✱ | ✱       | ✓ | ○     | ✱ | ✱       | ✓ |
| Across grain      | 8000        | ✱            | ✓ | ✱       | ✱ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ |
|                   | 10000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ |
|                   | 12000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ |
|                   | 14000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ |
|                   | 16000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✱ |
|                   | 18000       | ✱            | ✓ | ✱       | ✓ | ✱     | ✱ | ✱       | ✓ | ✱     | ✓ | ✱       | ✓ |

✱ = ไม่มีการเกิดขุยเลย      ○ = มีการเกิดขุยเล็กน้อย      ○ = มีการเกิดขุยปานกลาง  
 △ = มีการเกิดขุยมาก      ✓ = ไม่มีการเกิดขุย      ✱ = มีการเกิดขุยตามแนวยาว  
 ⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

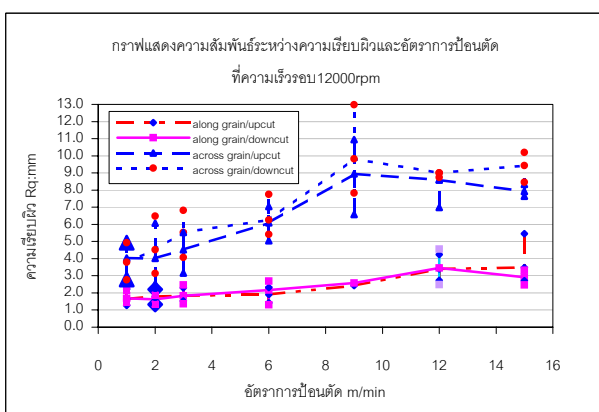
ที่อัตราการป้อนตัดที่ 1 เมตรต่อนาที และความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดของการตัดแบบตามเส้นไม้ และในการตัดตามเส้นไม้ที่อัตราการป้อนตัดที่ 2 เมตรต่อนาที และ



รูปที่ 3. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 8,000รอบต่อนาที



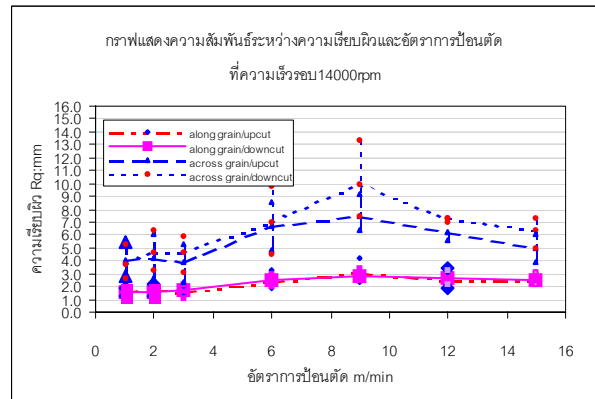
รูปที่ 4. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 10,000รอบต่อนาที



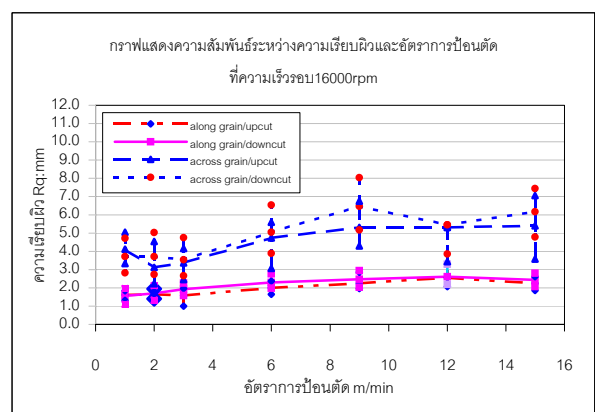
รูปที่ 5. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 12,000รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุด เนื่องจากสภาวะการตัดของของใบมีดอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่วน

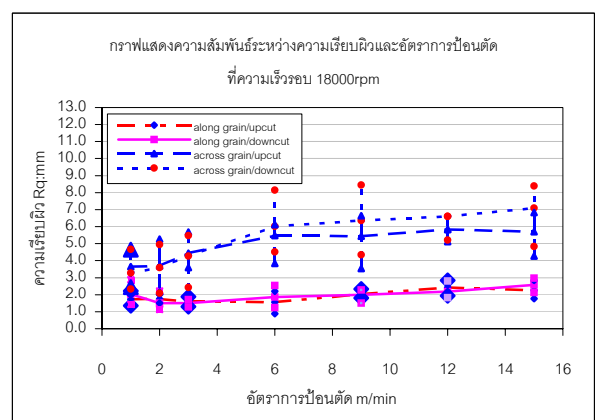
ความเร็วอื่นๆที่ทำให้ค่าความเรียบผิวออกมาไม่ด้นั้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบของใบมีดที่สูงขึ้น การคายเศษไม้เมื่อเทียบกับเมื่อเทียบกับความเร็วรอบไม่สัมพันธ์กันทำให้เศษไม้ที่ควรหลุดออกมาจากชิ้น



รูปที่ 6. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 14,000รอบต่อนาที



รูปที่ 7. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 16,000รอบต่อนาที



รูปที่ 8. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 18,000รอบต่อนาที

งานหลุดออกไม่ทัน ทำให้คมตัดติดไปที่หมูนมาทำการตัดไม้กดทับเศษไม้ดังกล่าว ทำให้เศษไม้บางส่วนฝังลงในเนื้อไม้ ส่งผลให้เนื้อไม้หลังการตัดมีรอยขึ้น ในทำนองเดียวกันที่อัตราการป้อนตัดสูงๆก็จะมีผลในลักษณะใกล้เคียงกัน

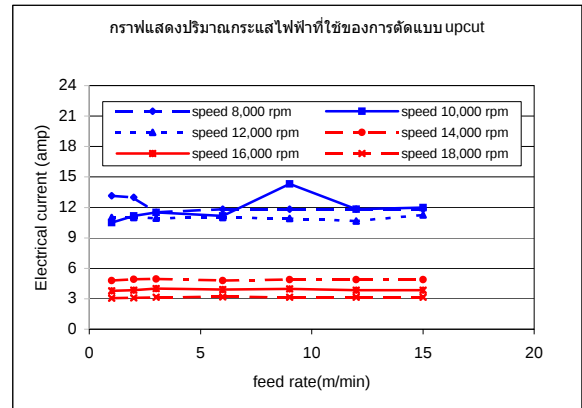
จากการวัดค่าความเรียบผิวของไม้ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ไม้ยางพาราที่ผ่านขั้นตอนการขัดผิวครั้งสุดท้ายก่อนทำการฟันสลับพวาค่าความเรียบผิว ( $R_a$ ) ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ  $2.88 \mu\text{m}$  ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ทุกความเร็วรอบและทุกอัตราการป้อนตัดของการตัดตามเส้นไม้ยกเว้นที่อัตราการป้อนตัด 12 และ 15 เมตรต่อนาทีของความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ค่าความเรียบผิวที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเรียบผิวของไม้ที่วัดได้จากโรงงาน ซึ่งบ่งชี้ถึงว่าถ้าทำการตัดไม้ด้วยเครื่องซีเอ็นซีที่ความเร็วรอบและอัตราการป้อนตัดนี้ทำให้ไม่ต้องทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายซ้ำหลังผ่านการตัดไม้ ลักษณะการตัดแบบ Downcut และการตัดแบบ Upcut ค่าความเรียบผิวที่ได้มีแนวโน้มไปทางเดียวกันและค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความเรียบผิวที่ได้จากการตัดทั้งสองแบบนี้เป็นไปตามทฤษฎี(ความเรียบผิวแปรผกผันกับอัตราการป้อนตัดคือเมื่ออัตราการป้อนตัดต่ำความเรียบผิวจะดี) ทิศทางการตัดของใบมีดแบบตามเส้นไม้ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่าการตัดแบบขวางเส้น เนื่องจากการตัดแบบขวางเส้นนั้นมีการหลบของเส้นไม้เกิดขึ้นในระหว่างการตัด ทำให้เมื่อใบมีดเคลื่อนตัวผ่านไปเส้นไม้ที่หลบเข้าไปฝังในเนื้อไม้จะติดตัวออกมา ทั้งนี้การตัดของใบมีดต่อเส้นไม้ก็ยังขึ้นอยู่กับอายุของไม้ด้วยเช่น ถ้าไม้ที่มีอายุน้อย การตัดเส้นไม้จะทำได้ยากทำให้เนื้อไม้ที่ได้มีความหยาบ ในทางกลับกันถ้าเนื้อไม้ที่นำมาทำการผลิตมีอายุที่เหมาะสมการตัดขาดของเส้นไม้จะทำได้ง่ายกว่า

## 4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

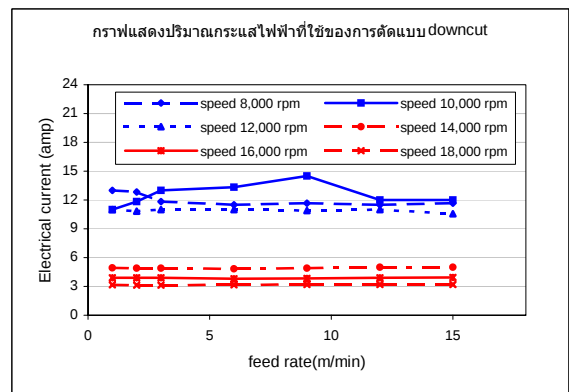
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสามารถวัดได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้ในขณะที่ทำการตัดไม้โดยใช้ Clamp-on meter ผลของการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซีเอ็นซีใช้เทียบกับอัตราการป้อนตัด สำหรับการตัดแบบ Upcut และ Downcut แสดงให้เห็นดังในกราฟอัตราการกำจัดเศษวัสดุแปรผันตรงกับอัตราการป้อนตัด แต่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบในการตัดไม้ อัตราการกำจัดเศษจะบ่งบอกถึงความสามารถหรือความเร็วในการผลิตชิ้นงาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยที่สุดเมื่อความเร็วรอบของใบมีดตัดเท่ากับ 18,000 รอบต่อนาที ซึ่งผลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่ออัตราการป้อนตัดน้อยๆ สาเหตุเนื่องมาจากมอเตอร์ของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบดังกล่าว และจะพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการการตัดแบบ Upcut และ Downcut จะไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าที่อัตราการป้อนตัดสูงๆ ภาระโหลดในการตัดไม้จะเริ่มสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงตามไปด้วย

## 5. สรุป

ในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดตัด TC พบว่าความเร็วรอบ 16,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 12 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด อัตราการผลิตสูงถึง 80% เมื่อเทียบกับอัตราการป้อนตัดที่ใช้กันทั่วไปคือ 1 m/min และปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดเพียง 30% เมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไป (10,000 rpm) ดังนั้นการที่จะเลือกเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนในการขัดผิว และต้นทุนค่าพลังงานเพิ่มเติมต่อไป



รูปที่ 9 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ Upcut



รูปที่ 10. กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ Downcut

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และบริษัทเอสดีฟีนเตอร์เทรดจำกัด คณะผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] ผ่องเพ็ญ สัมมาพันธ์, เอกสารประกอบการสัมมนาทางพาราแห่ง ประเทศไทย ครั้งที่ 4,  
[http://www.thailandrubber.thaigov.net/songkhla1/news\\_event/001.doc/](http://www.thailandrubber.thaigov.net/songkhla1/news_event/001.doc/), March 15, 2002
- [2] กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และ เทิดศักดิ์ อาลัย, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD”,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่16, ปี พ.ศ. 2545, หน้า526-530
- [3] Lin, Su-Chen Jonathan, “Computer Numerical Control: From Programming to Networking,” Delmar Publishers, USA, 1994, p. 269.
- [4] Aquilera, A., Meausoone, P. J., and Martin, P., “Wood Material Influence in Routing Operations: the PDF Case,” Holz als Roh-und Werkstoff, Vol 58, 2000, pp. 278-283.

## อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง

กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วตาพิพย์ และ เทิดศักดิ์ อาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2872-9691 E-mail: kusol.pro@kmutt.ac.th

**คำหลัก:** การผลิตเฟอร์นิเจอร์ด้วยเครื่องซีเอ็นซี ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง ระบบโครงข่ายประสาทเทียม

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความเร็วกัด อัตราการป้อนกัด และทิศทางการป้อนกัดเทียบกับทิศทางเสี้ยนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในเชิงของความเรียบผิว การเกิดขุยและการฉีกขาด และรอยไหม้บนเนื้อไม้ ของกรรมวิธีการกัดไม้ยางพาราซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ด้วยเครื่องซีเอ็นซี และยังศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซีเอ็นซีใช้ในการกัดแต่ละสภาวะการทำงาน ในงานวิจัยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง (Profile cutting tools) กัดขอบชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็น ส่วนโค้งที่มีรัศมีเท่ากับ 20 มม. ผลการวิจัยพบว่าความเรียบผิว ( $R_q$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนกัดที่เพิ่มขึ้น การเกิดขุยไม่มากนักเมื่อกัดตามเสี้ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด (Down Cutting) การฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดขึ้นมากเมื่อกัดตามเสี้ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด (Up Cutting) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ลดลงเมื่อความเร็วรอบในการกัดเพิ่มสูงขึ้น แต่เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออัตราการป้อนกัดเปลี่ยนไป นอกจากนี้จากการนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการทำนายผลของคุณภาพผิวที่ได้จากการกัด เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่าผลการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

### 1. บทนำ

อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าสี่หมื่นล้านบาท [1] ส่วนของการขึ้นรูปไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ยังขาดข้อมูลที่จะเป็นในการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการตัด เนื่องจากในการตัดไม้จะต่างจากการตัดโลหะ เพราะไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทำให้ทิศทางการตัดมีผลต่อคุณภาพการตัด ส่งผลให้การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ทำได้ยาก ใบมีดที่ใช้ในงานตัดไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำมาจากวัสดุหลายประเภท เช่น มีดตัดที่ทำมาจากเพชรหลายผลึก (Polycrystal Diamond; PCD) [2] แต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide; TC) เพราะมีราคาปานกลางและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ถึงแม้ว่าคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยใบมีด PCD จะมีคุณภาพผิวที่ดีมากก็ตาม แต่เนื่องจากใบมีด PCD มีราคาสูงมากโดยสูงกว่าใบมีด TC ขนาดเท่ากันถึงประมาณ 10 เท่าหรือมากกว่า ทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้มากในประเทศ เนื่องจากเฟอร์นิเจอร์ไม้ของไทยที่ส่งออกทั้งหมดกว่า 80% เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง และเกิดขุยขึ้นได้ง่าย เมื่อเกิดขุยขึ้น

ผู้ประกอบการในปัจจุบันแก้ปัญหาโดยการนำไม้มาผ่านกระบวนการขัดผิวอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำผ่านขั้นตอนการลงสีและประกอบต่อไป ขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มมาทำให้ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเทียบกับต้นทุนทั้งหมด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราด้วยใบมีด TC แบบคมตัดรูปร่าง เพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานดีที่สุดโดยไม่ต้องนำไปขัดผิว หรือขัดน้อยที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานในการตัดน้อยที่สุด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการตัดไม้เทียบกับแนวเส้นไม้

## 2. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

คุณภาพของเนื้อไม้เช่นความชื้นภายในเนื้อไม้ ตำแหน่งของตาไม้ แนวการเรียงตัวของเส้นไม้ และความเค้นภายในเนื้อไม้ (Growth stress) เป็นต้น เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลอย่างมากในกระบวนการตัดไม้ [3] ดังนั้นในการที่จะได้คุณภาพผิวหลังการตัดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยอื่นซึ่งประกอบด้วย รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และ เงื่อนไขในการตัด ให้เหมาะสม ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นของไม้ ความแตกต่างของเนื้อไม้ในแต่ละจุด และการสั่นไถลของใบมีดบนเนื้อไม้จะสามารถทำนายลักษณะผิวหลังการตัดได้ตามรูปที่ 1

อัตราป้อนต่อฟัน (Chip Load;  $F_z$  หรือ Feed per Tooth) หมายถึงระยะที่คมตัดหนึ่งคมตัดเฉือนเนื้อไม้ออกไปเมื่อคมตัดของมีดหมุนไปหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/คมตัด สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) เมื่อ  $F_z$  มีค่าน้อยจะแสดงถึงผิวคุณภาพงานตัดที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดเมื่ออัตราการป้อนตัดที่ช้าแต่ความเร็วตัดมีค่าสูงแต่จะมีข้อเสียเกิดขึ้นคืออายุคมตัดอาจสั้นลง

$$F_z = F/(N \times Z) \quad (1)$$

โดยที่  $F$  = อัตราการป้อนตัด (Feed rate); mm/min

$N$  = ความเร็วรอบของใบมีด; rpm

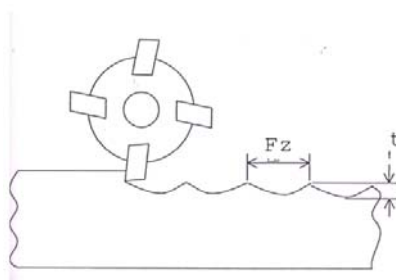
$Z$  = จำนวนคมตัดของมีด; ฟัน

รอยลึกของคมตัด (Cutter mark;  $t$ ) คือความสูงของรอยคมตัดที่ผิวชิ้นงานซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $F_z$  และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการ (2)

$$t = (F_z)^2 / 4D \quad (2)$$

โดยที่  $F_z$  = Chip load (mm/tooth)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

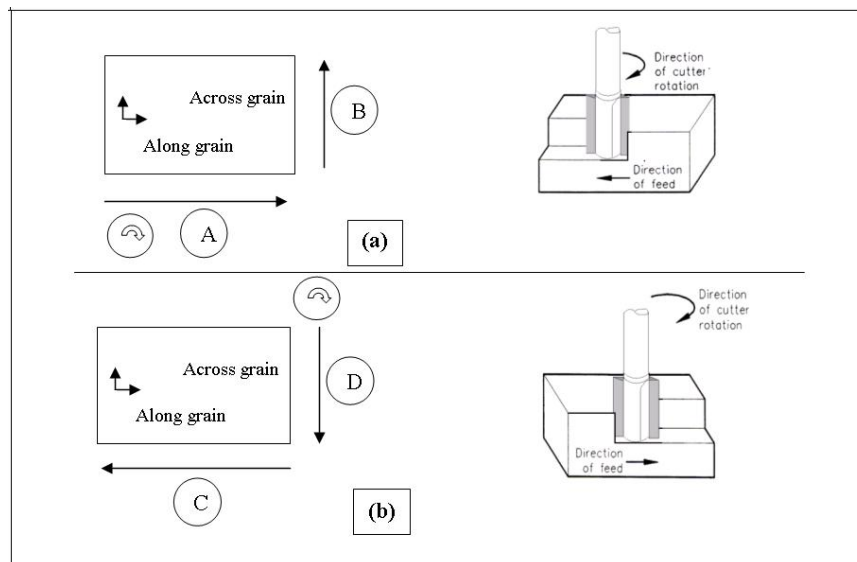


รูปที่ 1 ลักษณะของผิวหลังการตัด

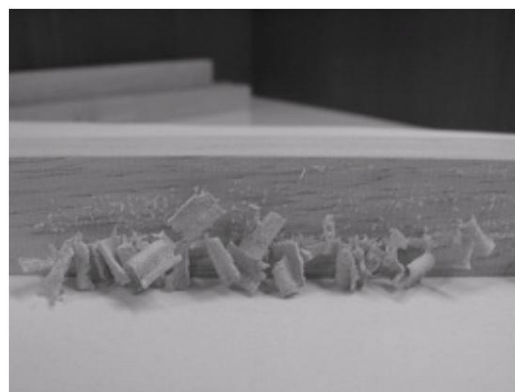
### 3. ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

มีดตัดแบบคมตัดรูปร่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำมาจากทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร โดยมีใบมีดมีรูปร่างเป็นส่วนโค้ง 1/4 ของวงกลม วัสดุที่ใช้คือ ไม้ยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 450 x 750 mm ความหนาเท่ากับ 20 mm เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้คือ CNC-boring and routing machine ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 24,000 rpm และอัตราการป้อนตัดสูงสุดเท่ากับ 24 m/min ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาคือความเร็วรอบในการตัดที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 1 2 3 6 9 12 และ 15 m/min ระยะกินลึกในการตัด (Depth of cut) จะกำหนดให้คงที่เท่ากับ 3 mm ทิศทางการตัดเทียบกับทิศทางของเส้นไม้จะแบ่งลักษณะการตัดออกเป็น 4 แบบ ดังนี้ (แสดงในรูปที่ 2)

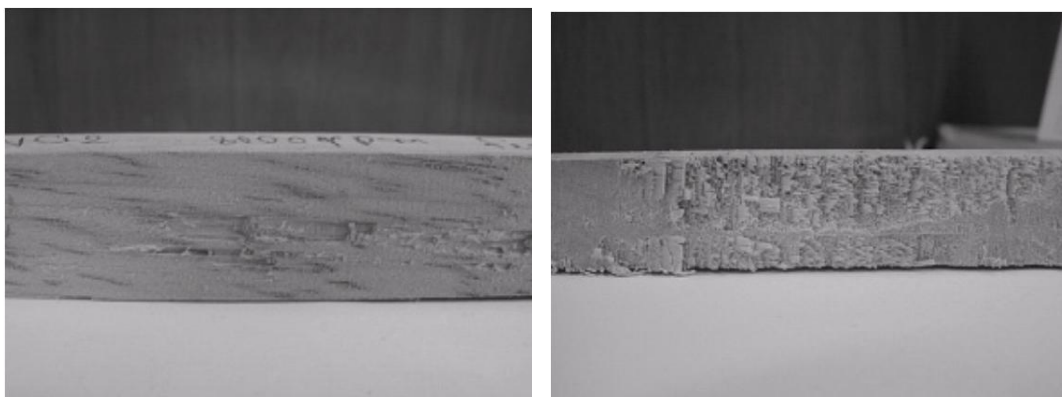
- A: ตัดตามเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนตัด (Along grain, against feed: upcut)
- B: ตัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนตัด (Across grain, against feed: upcut)
- C: ตัดตามเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Along grain, with feed: downcut)
- D: ตัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Across grain, with feed: downcut)



รูปที่ 2 ทิศทางของการกัดไม้



รูปที่ 3 ขุยที่เกิดขึ้น



#### ก. การฉีกของเนื้อไม้

#### ข. การหลุดของเนื้อไม้

### รูปที่ 4 ความเสียหายบนผิวชิ้นงาน

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลได้แก่คุณภาพผิวซึ่งประกอบด้วย ความเรียบผิว ขุขบนเนื้อไม้ (แสดงในรูปที่ 3) การฉีกขาดของไม้และการหลุดของเนื้อไม้ (แสดงในรูปที่ 4) และรอยไหม้ และจะทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน (Power consumption) ของแต่ละเงื่อนไขการตัด โดยจะทำการวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำการตัด

## 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองสามารถแบ่งตามหัวข้อหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้

### 4.1 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการตัด

#### 4.1.1 การเกิดขุขบนและการฉีกขาดของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุขบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการกัดแบบตามเส้นไม้ ก่อให้เกิดขุขบนมากกว่าการกัดแบบขวางเส้นไม้ เนื่องจากการกัดในลักษณะตามเส้นไม้นั้นเป็นลักษณะของการกัดของเนื้อไม้ขึ้นก่อนที่จะมีการตัดเนื้อไม้ แต่การกัดแบบขวางเส้นไม้จะไม่เกิดขุขบนขึ้นในทุกกรณี ในส่วนของการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) ก่อให้เกิดขุขบนที่มากกว่าการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) และที่อัตราการป้อนกัดที่มากก่อให้เกิดขุขบนที่มาก

การฉีกขาดของไม้จะเกิดจากการกัดตามเส้นไม้กรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนกัด เนื่องจากการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนเป็นลักษณะการกัดขึ้นของเนื้อไม้ ซึ่งก่อให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนกัดที่สูงจะมีโอกาสในการฉีกของเนื้อไม้ที่สูง เนื่องจากการกัดของเนื้อไม้ที่รุนแรงมากกว่าที่อัตราการป้อนกัดต่ำ และการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดจากการกัดขวางเส้นไม้กรณีการกัดตามทิศทางการป้อนกัด เนื่องจากการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัดมีการสั่นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด [4] และที่อัตราการป้อนกัดที่สูงทำให้มีการสั่นที่มากทำให้มีการหลุดของเนื้อไม้มากขึ้น

#### 4.1.2 รอยไหม้บนผิวไม้

ใบมีดคมตัดรูปร่างทำให้เกิดรอยไหม้ขึ้นที่ขอบด้านบนของผิวหน้าชิ้นงาน เนื่องจากความเร็วของคมตัดด้านบนที่มากกว่าความเร็วตัดด้านล่าง ทำให้ใบมีดมีการเสียดสีกับไม้เป็นเวลานานทำให้เกิดรอยไหม้เกิดขึ้น

## 4.1.3 ความเรียบผิวของชิ้นงาน

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่ากรณีการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนของการกัดตามเส้นไม้มีแนวโน้มของความเรียบผิวที่ใกล้เคียงกันมากคือ เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงผิวที่ได้แย่งซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว และเมื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวระหว่างการกัดตามเส้นไม้กับขวางเส้นไม้พบว่า การกัดตามเส้นไม้ให้ค่าความเรียบผิวทุกสภาวะการกัดดีกว่าการกัดขวางเส้นไม้ เนื่องจากการกัดแบบขวางเส้นไม้นั้นมีการหลบของเส้นไม้เกิดขึ้นในระหว่างการกัด ทำให้เมื่อใบมีดเคลื่อนตัวผ่านไปเส้นไม้ที่หลบอยู่จะดีดตัวออกมา ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจะมีผลกระทบต่อความเรียบผิวของชิ้นงานน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 6

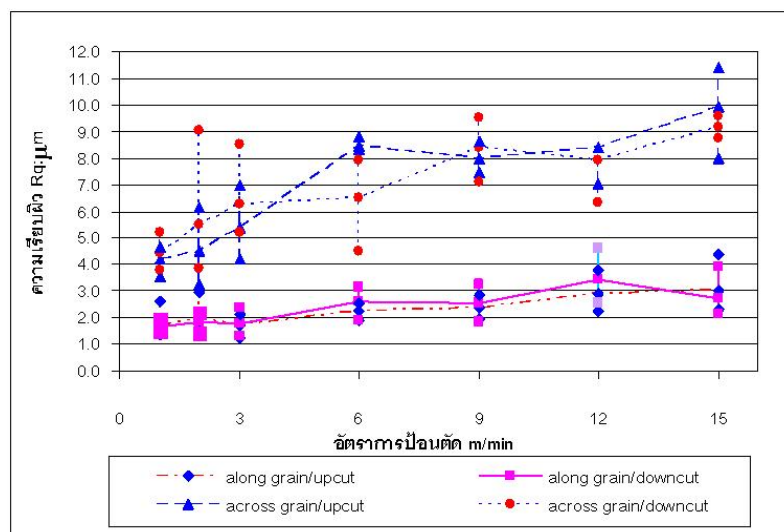
| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (mm/min) |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |
|-------------------|-------------|---------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
|                   |             | 1             |         | 2     |         | 3     |         | 6     |         | 9     |         | 12    |         | 15    |         |       |         |       |         |       |         |
|                   |             | Upcut         | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut | Upcut | Downcut |

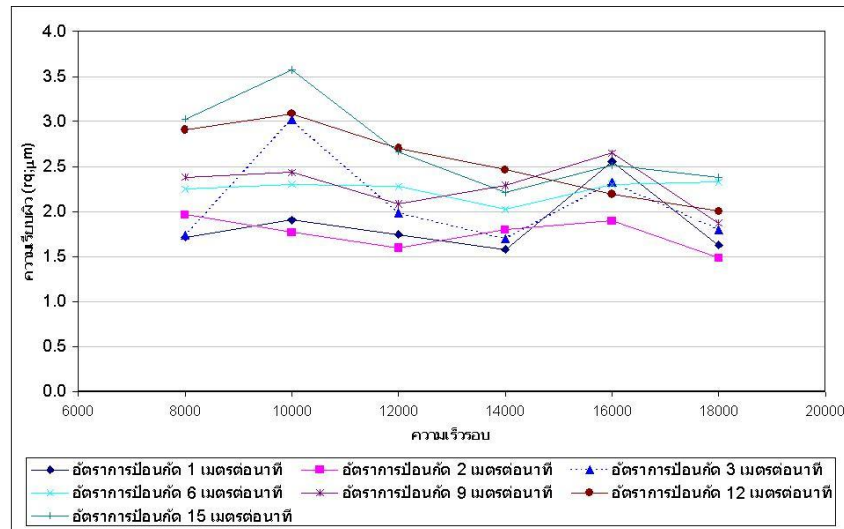
|              |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Along grain  | 8000  | ✱ | ✓ | ○ | ✓ | ✱ | ✕ | ○ | ✓ | ✱ | ✕ | ① | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✓ |
|              | 10000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ① | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ○ | ✓ | ✱ | ✕ | ① | ✓ |
|              | 12000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ① | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✓ | ✓ |
|              | 14000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✓ | ✱ | ✕ | ○ | ✓ |
|              | 16000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✓ | ○ | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ○ | ✓ | ✱ | ✓ |
|              | 18000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✱ | ✕ | ○ | ✓ | ✱ | ✓ | ① | ✓ | ✱ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ |
| Across grain | 8000  | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✕ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✓ |
|              | 10000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✓ |
|              | 12000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ |
|              | 14000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✕ |
|              | 16000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ |
|              | 18000 | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✓ | ✱ | ✕ | ✱ | ✕ |

✱ = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย    ① = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย    ○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง    △ = มีขุยเกิดขึ้นมาก  
 ✓ = ไม่มีการฉีก    ✕ = มีรอยฉีกตามแนวยาว    ⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

ตารางที่ 1 ผลการสังเกตขุยที่เกิดขึ้นบนรอยตัด



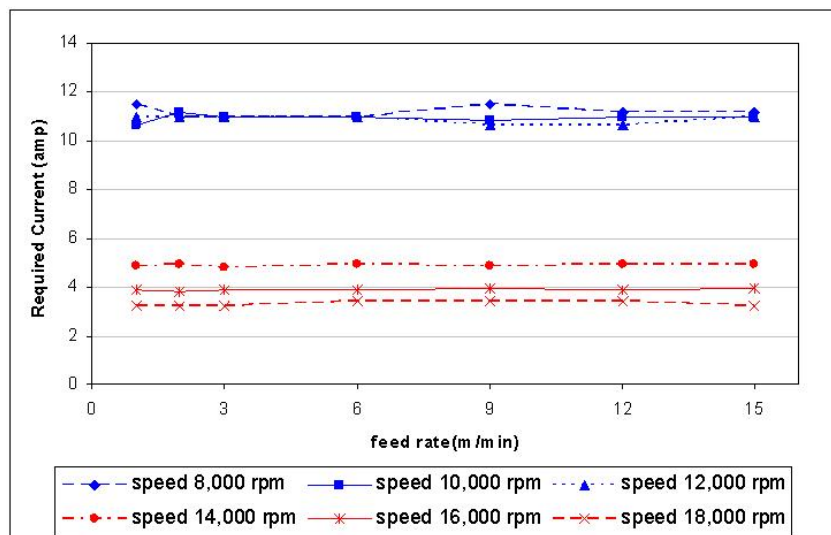
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความขรุขระ

#### 4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากจากรูปที่ 7 จะเห็นได้ชัดเจนว่าอัตราการป้อนตัดมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยมากๆ และจะเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่ำลงเมื่อทำการกัดที่ความเร็วรอบสูงขึ้น และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยที่สุดเมื่อความเร็วรอบของใบมีดตัดเท่ากับ 18,000 รอบต่อนาที สาเหตุเนื่องมาจากที่ความเร็วรอบดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าสูงสุด และพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนตัด และตามทิศทางการป้อนตัดจะไม่แตกต่างกันมากนัก

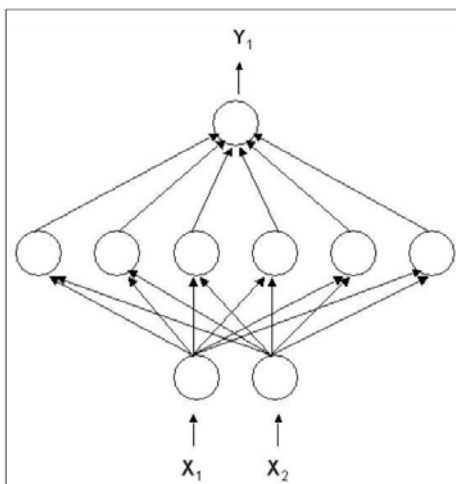


รูปที่ 7 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

#### 4.3 ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

จากงานวิจัยโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมของโปรแกรม MATLAB โดยใช้วิธีแบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Back-Propagation model) ซึ่งอาศัยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการ

ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการปรับค่าจนกว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้มีทั้งหมด 12 โคร่งข่ายที่มีการเชื่อมต่อกัน (totally linked) ซึ่งแยกค่าของผลลัพธ์ออกเป็น ความเรียบผิว ขุย การฉีกขาดและการหลุดของเนื้อไม้ โดยโครงข่ายทั้งหมดใช้ลักษณะโครงข่ายแบบเดียวกันดังรูปที่ 8 โดยแต่ละโครงข่ายมีค่าอินพุตอยู่ 2 อินพุต ชั้นที่ซ่อนไว้ (Hidden layer) 1 ชั้น และมีค่าเอาต์พุต 1 เอาต์พุต โดยค่าอินพุตทั้งสองคือความเร็วตัดและอัตราการป้อนกัต โดยค่าเอาต์พุตเป็นค่าที่เลือกมาพิจารณาได้แก่ผลลัพธ์ดังกล่าวข้างต้น และใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) เป็นตัวส่งค่า (Transfer function) สำหรับชั้นแรก ส่วนค่าของเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันเส้นตรง (Linear Function) และใช้ฟังก์ชันในการฝึกฝนคือ เลเวนเบิร์ก-มาร์ควอดท์ (Levenberg-Marquardt) โดยใช้ข้อมูล 112 ชุดในการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดค่าความผิดพลาด (Goal Error) ไว้ที่ 0.1 และค่าการเรียนรู้ (Learning Rate) ไว้ที่ 0.25 และจำนวนครั้งสูงสุดในการฝึกฝน (Number of Epochs) 50,000 ครั้ง ซึ่งผลจากการทดสอบการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ชุดทดสอบจำนวน 56 ชุดแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดสำหรับการทำนายความเรียบผิวคือ 18.30 % สำหรับการเกิดขุย 35.71 % และสำหรับการฉีกขาดและการหลุดของเนื้อไม้ 28.57 %



รูปที่ 8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

| รูปแบบการพิจารณา    | ตามเส้นไม้ |              | ขวางเส้นไม้ |              |
|---------------------|------------|--------------|-------------|--------------|
|                     | Up cutting | Down cutting | Up cutting  | Down cutting |
| ความเรียบผิว        | 11.35 %    | 13.19 %      | 18.30 %     | 15.20%       |
| ขุย                 | 7.14 %     | 35.71 %      | 0.00 %      | 0.00 %       |
| การฉีกขาดและการหลุด | 21.43 %    | 0.00 %       | 28.57 %     | 21.43 %      |

ตารางที่ 2 ผลของการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ขุยเกิดขึ้นเมื่อทำการกัดตามเส้นไม้แบบ Downcut การฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดเมื่อกัดตามเส้นไม้แบบ Upcut การหลุดของเนื้อไม้เกิดเมื่อกัดขวางเส้นไม้แบบ Downcut ความเรียบผิวขึ้นกับอัตรา การป้อนกัดเป็นหลัก ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น และโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ทำการ สร้างและทำการทดสอบสำหรับทำนายความเรียบผิว การเกิดขุย การฉีกขาดและการหลุดของเนื้อไม้ ค่าที่ได้จาก การทำนายมีความผิดพลาดที่ยอมรับได้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ศูนย์โลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และบริษัทเอสดีพีอินเตอร์เทรดจำกัด คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] [http://www.thailandrubber.thaigov.net/news\\_30.html](http://www.thailandrubber.thaigov.net/news_30.html), February 9, 2004
- [2] กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และเทิดศักดิ์ อาลัย, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่16, ปี พ.ศ. 2545, หน้า526-530.
- [3] Aquilera, A., Meausoone, P. J., and Martin, P., “Wood Material Influence in Routing Operations: the PDF Case,” Holz als Roh-und Werkstoff, Vol 58, 2000, pp. 278-283.
- [4] Jim Effner, “Chisel on a Wheel: A Comprehensive Reference to Modern Woodworking Tools and Materials,” Prakken Publications, Inc.

# Investigation on the Influences of Cutting Parameters in CNC Machining of Rubber Wood with Integration of Neural Networks

Kusol Prommul, Pongpan Kaewtatip, and Terdsak Arlai

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

## Abstract

The objective of this research is to study parameters affecting the efficiencies of the machining process for manufacturing rubber-wood furniture using a TC (Tungsten Carbide) cutting tool. Eventhough most Thai manufacturers have been using the TC tools for years, they do not have enough decision-making information in order to determine cutting conditions for producing quality parts. In this research, the cutting conditions, affecting surface roughness, flake, wood tearing and split, were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, and cutting directions relative to wood-grain orientations. In addition, the neural network model has been developed from the experimental results in order to predict the quality of the product obtained under any working parameters. The results show that surface roughness (Rq) depends on the feed rate used. Flake generally occurs when cutting along wood grain and using down cutting. Wood tearing occurs when cutting along wood grain using up cutting. Electrical current required decrease with increase of the speed. Prediction errors by the neural networks appear to be acceptable.

## 1 Introduction

Currently, furniture made of rubber wood is gaining popularity all over the world. Thailand is one of the leading exporters with its exporting value exceed 1 billion US\$ [1]. However, Thai manufacturers still lack of information needed in determining the cutting conditions for producing quality parts. Determining those conditions is difficult because rubber wood is non-homogeneous material and the cutting directions relative to wood-grain orientation affect machining quality. Although cutting tools for rubber wood machining may include High Speed Steel (HSS), Tungsten Carbide (TC), and Polycrystal Diamond (PCD) tools, the TC tool is widely used because of its reasonable price. The common problems in rubber wood machining are flake, tearing and split, and rough surface. Figure 1 shows flake on machined surface. It occurs especially when cutting along the wood grain. Manual polishing is required before painting can be done. This extra step will increase manufacturing cost. Wood tearing and split is almost unworkable if it is severe as shown in Figure 2. So they must be avoided in rubber wood machining.

In this paper, the influences of cutting conditions in CNC machining of rubber wood using tungsten carbide cutting tools were investigated. The Artificial Neural Network (ANN) was also developed and can be used for predicting the quality of wood machining.

## 2 Experimental Methodology

### 2.1 Machining Conditions

In this research, straight-cutting-edge tools of 18-mm diameter were used to machine rubber wood workpiece of 450 x 750 mm. The CNC machine, Masterwood 2.45 K, with maximum speed of 24,000 RPM and maximum feed rate of 24 m/min was used in experiments. Depth of cut was fixed at 3 mm. The investigating parameters are speeds, feed rates, and cutting directions. The speeds were varied at 8,000, 10,000, 12,000, 14,000, 16,000, and 18,000

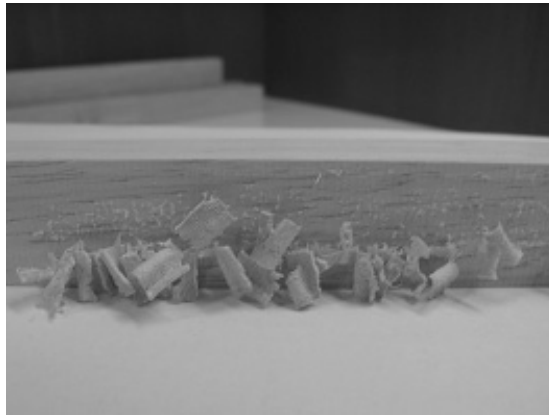
RPM. The feed rates were varied at 1, 2, 3, 6, 9, 12, and 15 m/min. As shown in Figure 3, cutting directions are identified as the following four cases.

A: along grain and up cutting

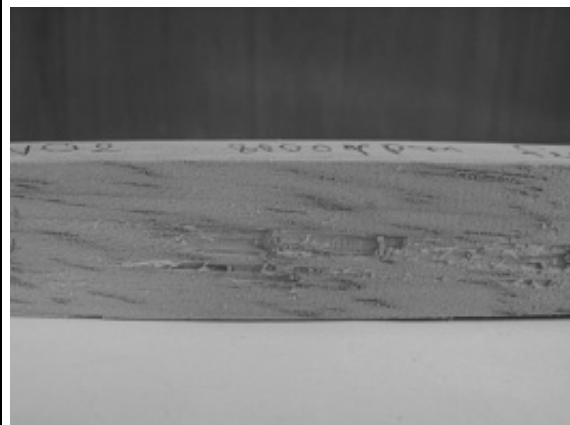
B: across grain and up cutting

C: along grain and down cutting

D: across grain and down cutting



**Figure 1:** *flake on the machined surface.*



(a)

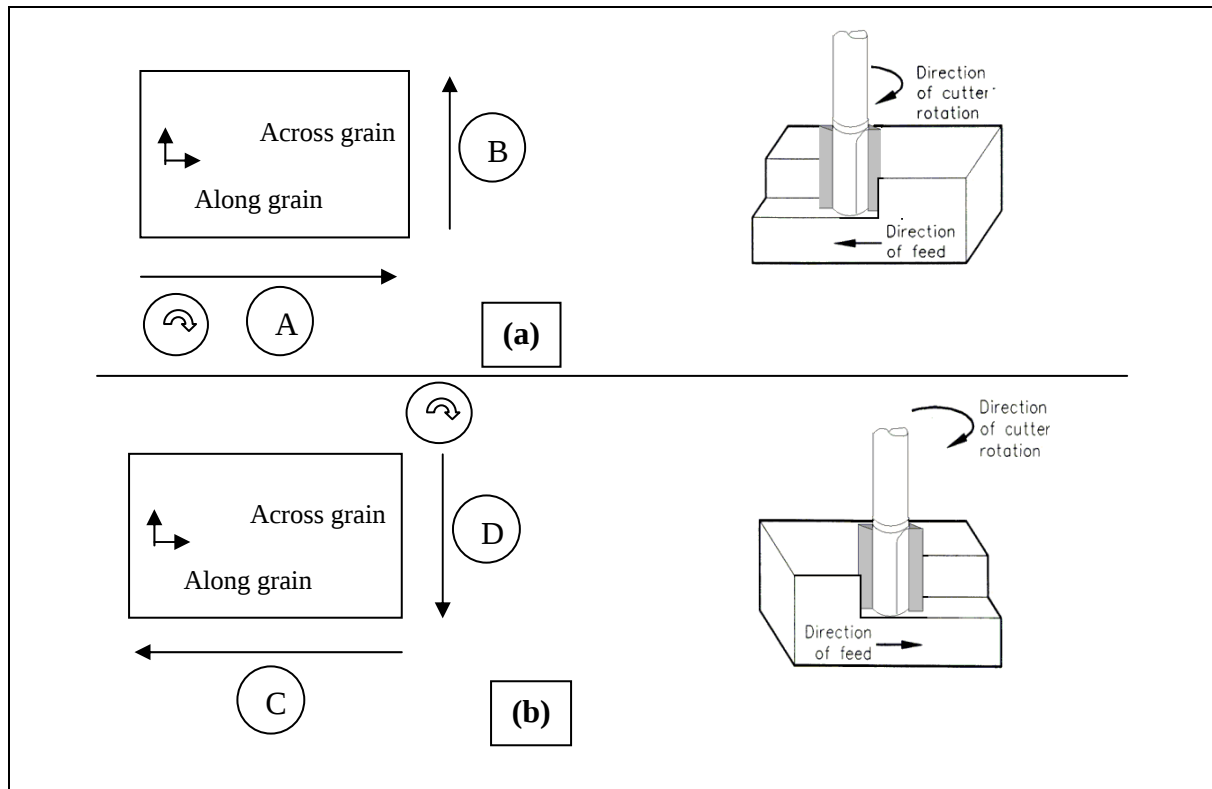


(b)

**Figure 2:** *wood tearing and split on the machined surface: (a) tearing (b) split.*

### **3 Experiment Results and Discussion**

Factors used in evaluation of experiment results include surface quality of machined surface and power consumption.



**Figure 3:** cutting direction corresponding to wood grain: (a) in case of up cutting (b) in case of down cutting

### 3.1 Surface Quality of Machined Surface

Surface quality of machined surface that is focused on this paper includes flake, wood tearing and split, and surface roughness.

#### 3.1.1 Flake on Machined Surface

When cutting along wood grain, flake will occur easier than cutting across grain, as shown in Table 1. Compared to up cutting, flake will occur on the machined surface easier when using down cutting. This is because there is no scraping action between the tool and machined surface in down cutting [2]. When lower feed rates are used, flake also will occur easier than using higher feed rates.

#### 3.1.2 Wood Tearing and Split on Machined surface

When cutting along wood grain, wood tearing will occur easier than cutting across grain, as shown in Table 1. Compared with down cutting, wood tearing will occur on machined surface easier when using up cutting. This is because, different from down cutting, in up cutting the tool will pull up wood grain and finally cause wood tearing. When higher feed rates are used, wood tearing also will occur easier than using lower feed rates.

Split on machined surface occurs when cutting across wood grain and using down cutting, which is obvious when faster feed rates are used. This is because down cutting will generate more vibration than in up cutting [3].

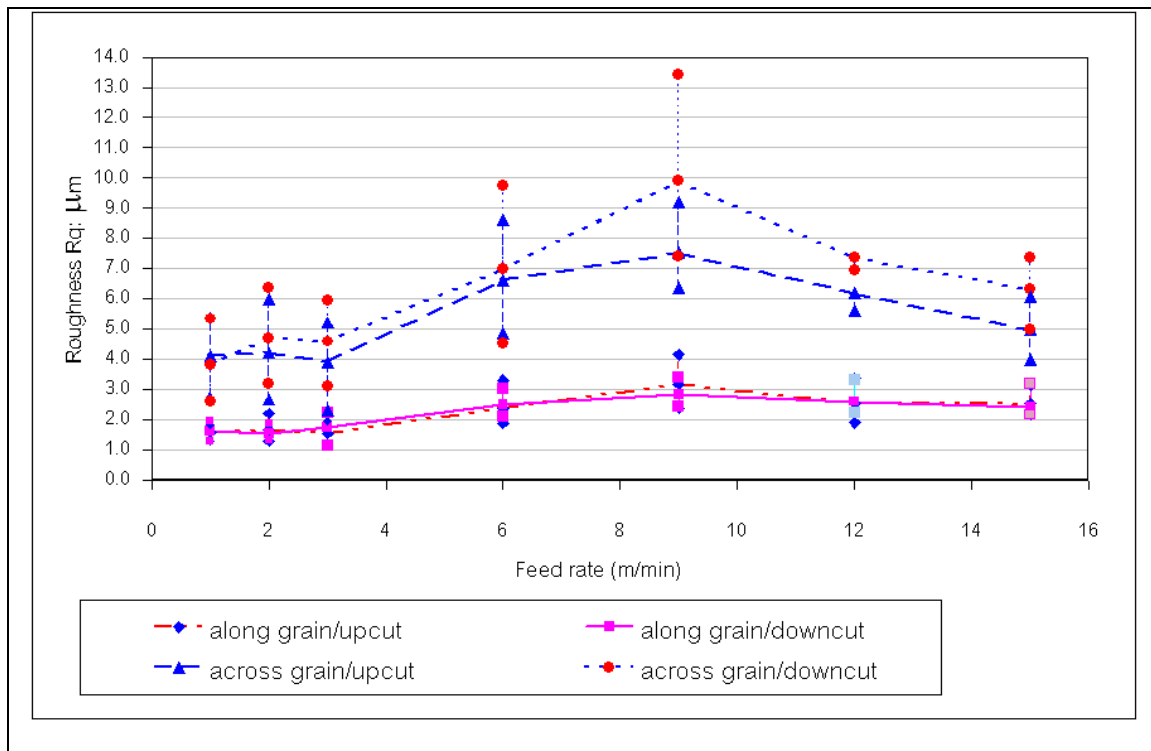
#### 3.1.3 Surface Roughness

Figure 4 shows surface roughness of each cutting direction at various feed rates and at the speed of 16,000 RPM. Surface roughness ( $R_q$ ) will increase with increase of feed rates. Cutting along wood grain will produce machined surface with better surface finish when

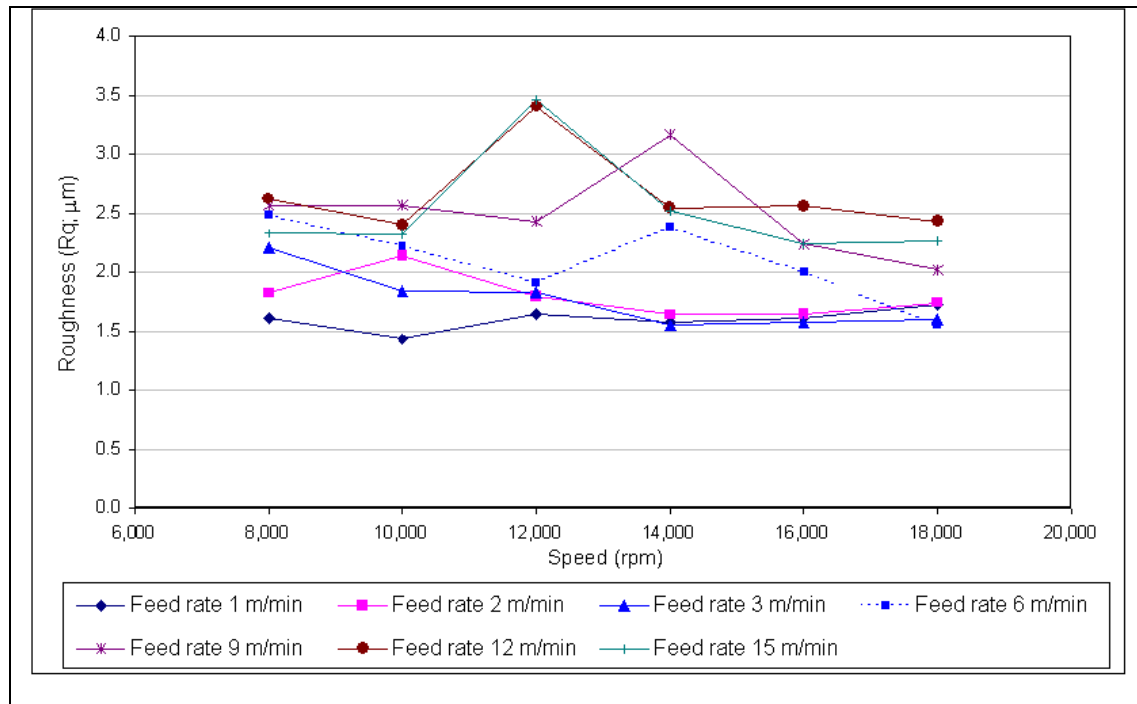
compared with across grain cutting, regardless of feed rates used. Surface roughness of polished surface is  $2.87\text{ }\mu\text{m}$  that is greater than that obtained when cutting along wood grain at each feed rate investigated. This implies that there is almost no need to perform manual polishing. On the other hand, surface roughness for cutting across grain is higher than that of the polished surface. When investigating on other speeds used, the results appear to be similar to those at 16,000 RPM. Cutting at different speeds slightly affects surface roughness as shown in Figure 5.

**Table 1:** surface quality on machined surface: flake and wood tearing.

| Cutting direction | Speed (rpm) | feed (m/min)        |      |                         |      |                          |      |                  |      |       |      |         |      |       |      |         |      |
|-------------------|-------------|---------------------|------|-------------------------|------|--------------------------|------|------------------|------|-------|------|---------|------|-------|------|---------|------|
|                   |             | 1                   |      | 2                       |      | 3                        |      | 6                |      | 9     |      | 12      |      | 15    |      |         |      |
|                   |             | Upcut               |      | Downcut                 |      | Upcut                    |      | Downcut          |      | Upcut |      | Downcut |      | Upcut |      | Downcut |      |
|                   |             | Flake               | tear | Flake                   | tear | Flake                    | tear | Flake            | tear | Flake | tear | Flake   | tear | Flake | tear | Flake   | tear |
| Along grain       | 8,000       | ⊙                   | ×    | ⊙                       | ✓    | ⊙                        | ✓    | ⊙                | ✓    | ⊙     | ×    | ⊙       | ×    | *     | ×    | ⊙       | ✓    |
|                   | 10,000      | *                   | ✓    | ⊙                       | ✓    | *                        | ✓    | ⊙                | ✓    | *     | ✓    | ⊙       | ✓    | *     | ✓    | ⊙       | ✓    |
|                   | 12,000      | *                   | ✓    | ⊙                       | ✓    | *                        | ✓    | ⊙                | ✓    | *     | ×    | ⊙       | ✓    | *     | ×    | ⊙       | ✓    |
|                   | 14,000      | *                   | ✓    | ⊙                       | ✓    | *                        | ✓    | ⊙                | ✓    | *     | ×    | ⊙       | ✓    | *     | ×    | ⊙       | ✓    |
|                   | 16,000      | ⊙                   | ✓    | ⊙                       | ✓    | *                        | ✓    | ⊙                | ✓    | *     | ×    | ⊙       | ✓    | *     | ×    | ⊙       | ✓    |
|                   | 18,000      | ⊙                   | ✓    | ⊙                       | ✓    | ⊙                        | ×    | ⊙                | ✓    | *     | ✓    | ⊙       | ×    | *     | ✓    | ⊙       | ×    |
| Across grain      | 8,000       | *                   | ✓    | ⊙                       | ✓    | ⊙                        | ✓    | *                | ✓    | *     | ⊙    | *       | ⊙    | *     | ✓    | *       | ⊙    |
|                   | 10,000      | *                   | ✓    | *                       | ✓    | *                        | ✓    | *                | ✓    | *     | ✓    | *       | ✓    | *     | ✓    | *       | ⊙    |
|                   | 12,000      | *                   | ✓    | *                       | ✓    | *                        | ✓    | *                | ✓    | *     | ✓    | *       | ✓    | *     | ✓    | *       | ⊙    |
|                   | 14,000      | *                   | ✓    | *                       | ✓    | *                        | ✓    | *                | ✓    | *     | ✓    | *       | ✓    | *     | ✓    | *       | ⊙    |
|                   | 16,000      | *                   | ✓    | *                       | ✓    | *                        | ✓    | *                | ✓    | *     | ✓    | *       | ✓    | *     | ✓    | *       | ⊙    |
|                   | 18,000      | *                   | ✓    | *                       | ✓    | *                        | ✓    | *                | ✓    | *     | ✓    | *       | ✓    | *     | ⊙    | *       | ✓    |
|                   |             | * = No flake        |      | ⊙ = Small portion flake |      | ⊙ = Medium portion flake |      | △ = severe flake |      |       |      |         |      |       |      |         |      |
|                   |             | ✓ = No tear & split |      | × = Tear                |      | ⊗ = Split                |      |                  |      |       |      |         |      |       |      |         |      |



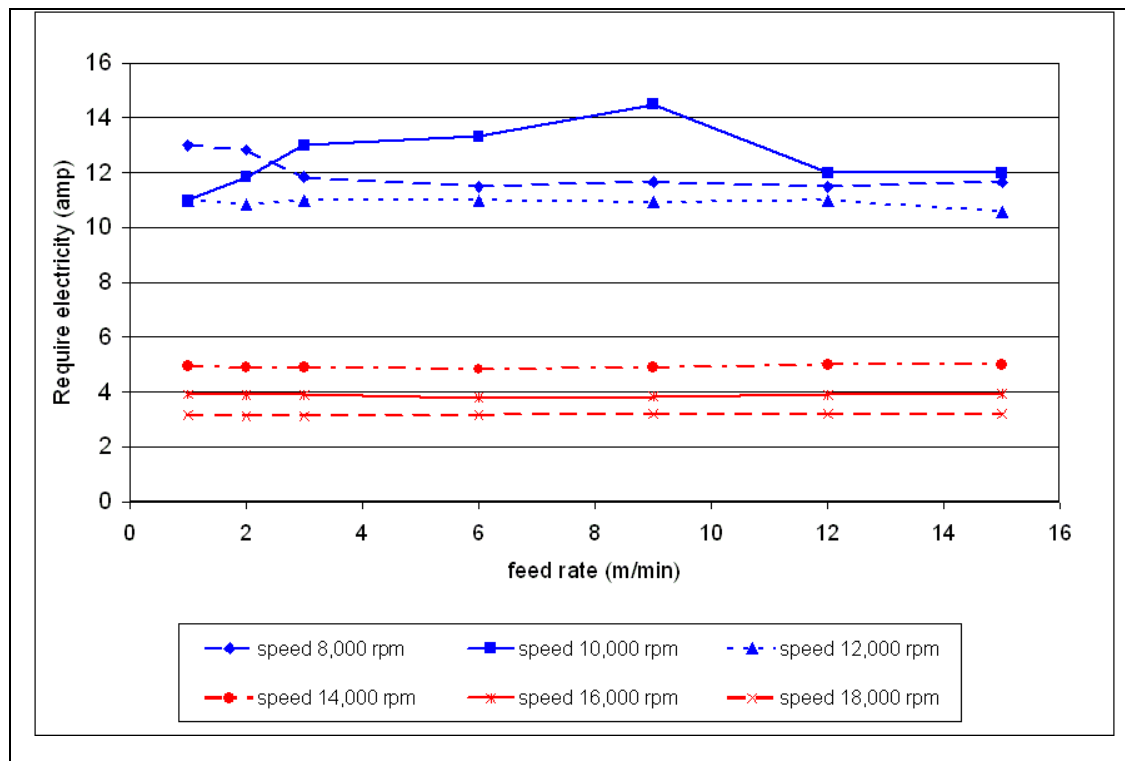
**Figure 4:** relationship between surface roughness and feed rates.



**Figure 5:** relationship between surface roughness and speeds when using up cutting along grain.

### 3.2 Power Consumption

In this paper, power consumption is measured in term of electrical current used. Cutting at different feed rates slightly affects the electrical current as shown in Figure 6. The faster the speed is used the lesser the electrical current is required. At speed of 18,000 RPM, it requires the least electrical current because this speed is close to the presumably high efficiency of motor.



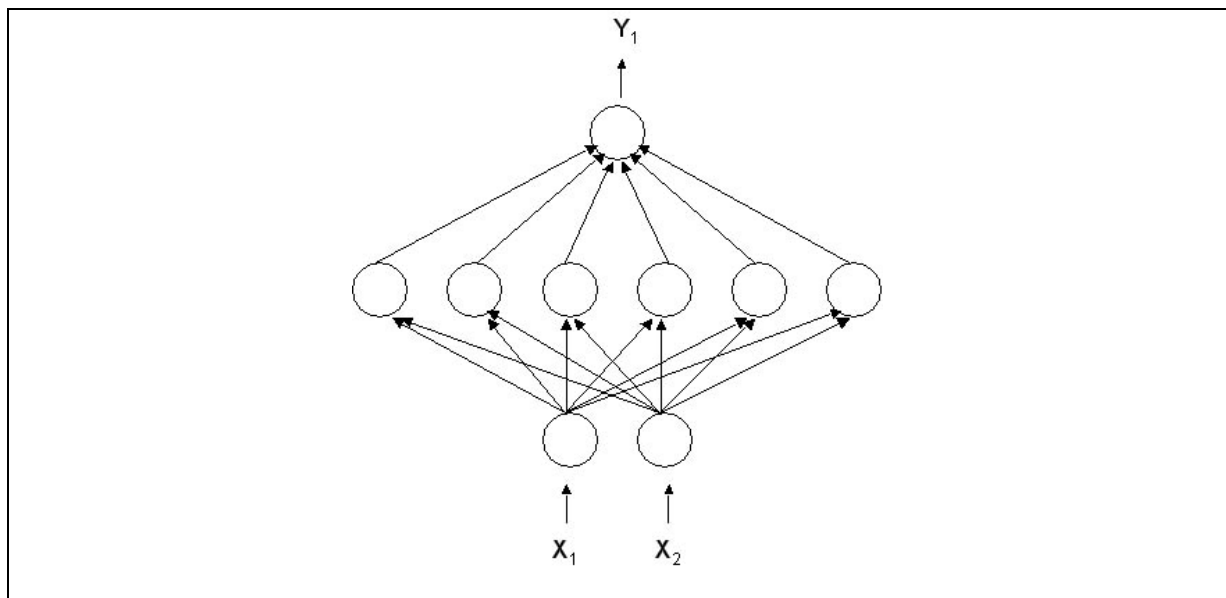
**Figure 6:** electrical current used when using down cutting.

#### 4 Result of Neural Networks

This research uses a Neural Network Toolbox in MATLAB for modeling the back-propagation network. There are twelve neural networks, totally linked, for outputting surface roughness, flake, and wood tearing and split. All networks have the same architecture as shown in Figure 7, which was chosen after a number of trials. Each network consists of two input neurons, one hidden layer with six neurons, and one output neuron. The two inputs  $X_1$  and  $X_2$  in Figure 7 are cutting speed (m/min) and feed rate (m/min), respectively, while  $Y_1$  is the output of interest as previously mentioned. Tan-Sigmoid was used as a transfer function in the first layer. For the output layer, linear transfer function was used. Levenberg-Marquardt algorithm was used as a training function. In training of 112 data sets, the learning rate was set at 0.25; error goal was set at 0.1; learning rate was set at 0.25; and a number of epochs were set at 50,000.

Although there are only two parameters, speed and feed rate, explicitly used as input neurons, cutting directions relative to wood-grain orientations, including case A, B, C, and D, were implicitly taken into consideration for predicting the output. For example, in training the network for outputting surface roughness for case A, the output data, so called a target, was from the experiments when cutting along wood grain and using up cutting (case A). This means that there are four networks corresponding to each output of interest. Each network was separately trained and ended up with an individual set of weights and they are linked as being used for the prediction the output of interest.

Table 2 illustrates percent errors between predicted values by neural networks and experiment values, which were calculated from 56 testing conditions. The maximum percent errors for predicting surface roughness, flake, and wood tearing and split are 19.26, 28.57, and 21.43, respectively.



**Figure 7:** neural network architecture.

#### 5 Conclusion

In this paper, the influences of cutting conditions have been investigated and can be concluded as follows:

- Flake generally occurs when cutting along wood grain and using down cutting.
- Wood tearing occurs when cutting along wood grain using up cutting.
- Split occurs when cutting across wood grain using down cutting.
- Surface roughness (Rq) depends on the feed rate used.
- Electrical current required decrease with increase of the speed.

The neural network has been constructed and tested for prediction of surface roughness, flake, and wood tearing and split. The prediction errors by the neural networks appear satisfactory.

**Table 2:** results from predicting by neural networks.

| Type of defects | Along grain |              | Across grain |              |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
|                 | Up cutting  | Down cutting | Up cutting   | Down cutting |
| Roughness       | 15.30 %     | 14.60 %      | 15.80 %      | 19.26 %      |
| Flake           | 7.14 %      | 28.57 %      | 0.00 %       | 0.00 %       |
| Tear and split  | 21.43 %     | 0.00 %       | 7.14 %       | 0.00 %       |

### Acknowledgements

This research has been supported by The Thailand Research Fund (TRF), National Metal and Materials Technology Center (MTEC), and SDP Intertrade Co., Ltd.

### References

1. [http://www.thailandrubber.thaigov.net/news\\_30.html](http://www.thailandrubber.thaigov.net/news_30.html), February 9, 2004
2. Su-Chen Jonathan Lin, "Computer Numerical Control: From Programming to Networking," Delmar Publishers, USA, 1994, p. 269.
3. Jim Effner, "Chisel on a Wheel: A Comprehensive Reference to Modern Woodworking Tools and Materials," Prakken Publications, Inc.