

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

**การเจียรไนพลอยสำหรับเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้
อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ**
**Gem Faceting Process for a Developed Automatic Faceting Machine Using in
Jewelry and Ornament Industries**

วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ^{1,*} และ ทวี งามวิไลกร²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

² สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

*E-Mail: Viboon.S@eng.chula.ac.th โทร 0-2218-6610-1 โทรสาร 0-2252-8889

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคนิคและกระบวนการเจียรไนพลอย โดยใช้เครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งจะเน้นการเจียรไนพลอยที่รูปแบบสลับซับซ้อน และมีขนาดเล็ก เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ที่ต้องการควบคุมขนาดของพลอยที่เจียรไนให้มีความสม่ำเสมอเหมาะสำหรับการผลิตสมัยใหม่ งานวิจัยนี้จะกล่าวถึง การพัฒนาเครื่องเจียรไนพลอยที่พร้อมใช้ในอุตสาหกรรมการเจียรไนพลอย นอกจากนั้นจะศึกษาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเจียรไน คือ มุมยก มุมดรรชนี ความลึกในการกัด ซึ่งตัวแปรต่างๆดังกล่าว จะทำให้เกิดรูปทรงของพลอยที่แตกต่างกันไป ตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้การเจียรไนจะกระทำกับพลอยรูปทรงสมมาตร และไม่สมมาตร โดยเครื่องเจียรไนพลอยที่ใช้จะมีแกนที่ต้องการการควบคุม 4 แกน คือ แกนของมุมยก แกนของมุมดรรชนี แกนความลึกในการกัด รวมถึงแกนที่ใช้ในการเปลี่ยนงานเจียรไน นอกจากนี้ยังรวมถึงแกนที่ไม่ต้องการการควบคุมอีก 2 แกน คือ แกนหมุนที่ใช้จับงานเจียรไน และ แกนที่ใช้โยกงานเจียรไนเพื่อให้การเจียรไนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้การเจียรไนจะคำนึงถึงเวลา ปริมาณ และคุณภาพของพลอยที่ได้จากการเจียรไนในแต่ละครั้ง เป็นสำคัญ ซึ่งผลที่ได้จากการเจียรไนพลอยด้วยเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัตินี้ ทำให้เหลี่ยมมุมของพลอยมีขนาดเท่ากัน และ มีความแม่นยำมากสูง คือ สามารถเจียรไนพลอยรูปแบบซ้ำๆกันโดยมีความคลาดเคลื่อนน้อย ขนาดที่ได้ก็มีความสม่ำเสมอกว่าการใช้การเจียรไนด้วยมือแบบเก่า

คำหลัก: กระบวนการเจียรไนพลอย, เครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ, อัญมณี

Abstract

This research work covers a novel design of the controller system, for precision grinding of small-size gem stones, used in the Chula Automatic Faceting machine. The Chula Automatic Faceting Machine

has 4-axis high precision motion control and the other 2-axis for spindle and disc swinging. Various style or form of gem stones can be obtained from this faceting machine with uniform size and quality.

In this work, a microcomputer with developed software is used to for control the machine. Practically, the grinding parameters, according to desired form or shape of gem stones, are input to the developed control software, the whole grinding operations are performed automatically by the software through the microcomputer equipped with the faceting machine interface. The software is basically separated in 2 parts; the controller part and the display part. Feedback control theory is used to design the controller system which feedback controller. The display system is operated based on Windows operating system. User can either input directly the position and feed-rate of each axis in the program to control the motion of the grinding process, or input the standard parameters of a gem's shape in the automatic faceting window to automatic faceting process. The machine can facet both of symmetry and dissymmetry shapes depending on parameters input to the software.

Key words: Grinding Process, Automatic Faceting Machine, gem stones

1. คำนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับถือเป็นอุตสาหกรรมหลักอย่างหนึ่งของประเทศไทย แต่การพัฒนาเพื่อนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาผสมผสานกับการทำงานฝีมือนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่งอื่นในแวดวงของอุตสาหกรรมอัญมณีแล้ว จะเห็นว่าประเทศไทยยังตามหลังอยู่อีกมาก ทั้ง ๆ ที่ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการส่งออกของอัญมณีในระดับที่ค่อนข้างสูงมาก ถ้ามองอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับในรูปแบบที่มีการผลิตรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเป็นจำนวนมาก ๆ และเพื่อให้ได้ขนาด รูปทรง และคุณภาพที่สม่ำเสมอ นั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสมัยใหม่ ประเทศไทยต้องพึ่งแรงงานและการควบคุมมาตรฐานก็ทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งทำให้ความสามารถในการแข่งขันทางด้านนี้ของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยนั้นไม่สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ในอนาคต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาการเจียระไนพลอยด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ ที่สามารถป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับรูปแบบพลอยที่ต้องการ เพื่อให้เครื่องเจียระไนพลอยสามารถเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติเพื่อให้ได้พลอยที่เมื่อเจียระไนแล้วมีรูปแบบที่มีคุณภาพสม่ำเสมอเหมาะสำหรับนำไปเป็น

วัตถุดิบสำหรับการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับสมัยใหม่ รูปข้างล่างนี้แสดงตัวอย่างงานเครื่องประดับที่การพลอยที่มีขนาดสม่ำเสมอ



รูปที่ 1 ตัวอย่างงานเครื่องประดับที่ต้องการใช้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

2. หลักการออกแบบเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

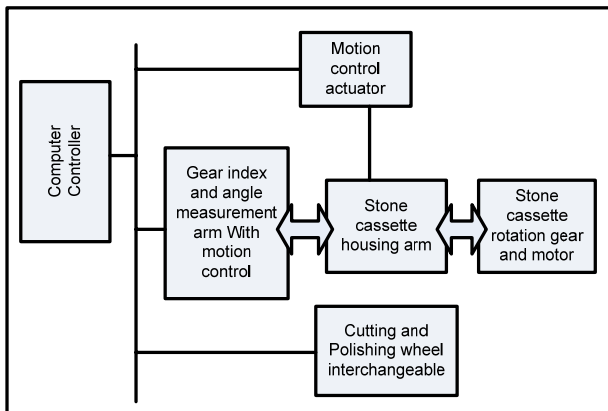
การออกแบบเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติจะคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเจียระไนพลอย ซึ่งตัวแปรนี้จะเป็นสิ่งที่กำหนด รูปร่าง มุม เหลี่ยม และขนาดของพลอย โดยในที่นี้จะกล่าวถึงหัวข้อต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องเจียระไนพลอยได้ดังนี้

2.1 หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัตินั้นจะมีพื้นฐานการทำงานมาจากเครื่องเจียระไนพลอยแบบพื้นบ้านโดยจะต่างกันเพียงการควบคุมการเคลื่อนที่ของด้ามทวน (Stone Bearer) ซึ่ง

แทนที่จะใช้มือมนุษย์ในการเจียรไน มาเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการเจียรไนแทน ซึ่งแน่นอนว่าทำให้ชิ้นงานที่ได้ มีความแม่นยำของตำแหน่งสูงขึ้น เพื่อให้ผลลัพธ์จากการเจียรไนมีความสม่ำเสมอ

โดยการควบคุมการทำงานของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัตินั้นจะส่งการผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบผลิตขั้นสูง [2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะมีแผนผังการทำงานดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 กล่าวคือ ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียรไนพลอยเพื่อให้มีความแม่นยำสูงสุดในการเจียรไน



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ

เครื่องเจียรไนพลอยที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นเครื่องที่มีแกนการเคลื่อนที่ทั้งหมด 6 แกน โดยมีแกนที่จะต้องทำการควบคุมการเคลื่อนที่แบบแม่นยำอยู่ 4 แกน และแกนที่ต้องควบคุมการเคลื่อนที่แบบปกติมีอีก 2 แกน โดยแบ่งเป็นการเคลื่อนที่ดังนี้

แกนที่ต้องการการควบคุมการเคลื่อนที่แบบแม่นยำคือ

- แกนที่ 1 เป็นแกนที่ใช้ในการยกแท่นที่ติดตั้งก้านจับพลอยขึ้นลง (Robotic Arm) เพื่อปรับระดับความลึกในการเจียรไน

- แกนที่ 2 คือแกนหมุนของแท่นที่ติดตั้งก้านจับพลอย (Drop stick grinding angle) เพื่อปรับมุมมองตาในการเจียรไน

- แกนที่ 3 คือแกนหมุนของก้านจับพลอย (Stone Attachment angle) เพื่อปรับเหลี่ยมในการเจียรไน

- แกนที่ 4 คือแกนการเคลื่อนที่หมุนเพื่อเปลี่ยนชนิดของจานเจียรไน

แกนที่ต้องควบคุมการเคลื่อนที่แบบปกติสำหรับเครื่องเจียรไนพลอย คือ

- แกนที่ 5 แกนการเคลื่อนที่ของจานเจียรไนในแนวเชิงเส้น

- แกนที่ 6 แกนการหมุนของจานเจียรไน

แกนที่ 1 ถึง 4 ซึ่งเป็นแกนที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมการเคลื่อนที่ที่จะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี หรือ PID (Proportion-Integral-Derivative) มาช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่เพื่อให้ได้ความแม่นยำตามที่ต้องการ โดยคำสั่งระยะเคลื่อนที่นั้นสามารถส่งผ่านโปรแกรมควบคุมการทำงาน นอกจากนั้นโปรแกรมควบคุมการทำงานที่พัฒนาขึ้นนั้นยังมีความสามารถในการปรับรูปแบบของการควบคุมได้หลายรูปแบบ เช่น มุมของแต่ละแกน สามารถปรับความเร็วในการกด เวลาที่ต้องการใช้ในการเจียรไนแต่ละหน้าของพลอย เป็นต้น การเคลื่อนที่ของแกนที่ 5 นั้นจะใช้ลูกเบี้ยว CAM ช่วยกำหนดการเคลื่อนที่ได้ ส่วนแกนที่ 6 เปรียบเสมือน spindle หรือความเร็วหัวกัดของเครื่องกัด ซีเอ็นซี (CNC milling machine)

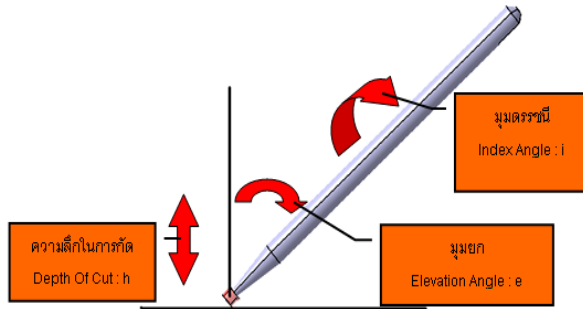
2.2 การออกแบบเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ

การออกแบบเครื่องเจียรไนที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้หลักการการออกแบบตามมาตรฐานสากล โดยการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ และทำการผลิตชิ้นงานที่ต้องมีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเป้าหมายของเครื่องเจียรไนพลอยที่ได้ั้น ต้องมีการการควบคุมที่มีความแม่นยำสูง ดังนั้นการออกแบบกลไกและระบบควบคุมจึงถือว่ามีความสำคัญอย่างมากการออกแบบเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติสามารถทำได้โดยการพิจารณาตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการเจียรไนพลอย โดยเมื่อพิจารณาแล้ว จะมีตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเจียรไนอยู่ 3 ตัวแปรดังรูปที่ 3 คือ

2.2.1 มุมยก (Elevation angle: e)

มุมยกเป็นมุมที่ใช้ในการกำหนดองศาของเหลี่ยมพลอย ณ มุมตรรกษหนึ่งๆที่กำหนดไว้ โดยมุมนี้จะวัด

เทียบกับตำแหน่งของทวนติดตำมพลอยกับแกนในแนวตั้งดังรูปที่ 3 ซึ่งมุมยกนี้จะทำให้พลอยมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามตำแหน่งของมุมที่เกิดขึ้น เช่น ระนาบตัดบน (Table), ระนาบดาว (Star facet), ระนาบขอบ (Girdle) เป็นต้น ซึ่งจะเป็นระนาบต่างๆที่ทำให้เกิดการหักเหของแสงขึ้น โดยแกน X ของเครื่องเจียระไนพลอยจะทำหน้าที่เป็นแกนทำงานของตัวแปรนี้



รูปที่ 3 ตัวแปรต่างๆที่ทำให้เกิดระนาบของพลอย

2.2.2 มุมดรรชนี (Index angle: i)

มุมดรรชนีเป็นมุมที่ใช้ในการกำหนดจำนวนเหลี่ยมของพลอย โดยที่จำนวนเหลี่ยมของพลอยจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบพลอยนั้นๆ ต้องการให้ที่มุมยกหนึ่งๆมีจำนวนเหลี่ยมของพลอยตามที่กำหนด ซึ่งการควบคุมมุมดรรชนีนี้จะทำหน้าที่ควบคุมด้วยแกน Y ของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

2.2.3 ความลึกในการกัด (Depth of cut: h)

ความลึกในการกัด คือ ความลึกที่ใช้ในการเจียระไนผิวพลอย ณ มุมยกและมุมดรรชนีที่กำหนดตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยพลอยจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็จะขึ้นอยู่กับค่าความลึกในการกัดนี้ โดยจะต้องสัมพันธ์กับมุมยก และ มุมดรรชนีที่กำหนดด้วย โดยแกนที่ทำหน้าที่ควบคุมความลึกในการกัดคือแกน Z ของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

2.3 โครงสร้างและกลไกที่จำเป็นในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

จากตัวแปรๆ ดังกล่าวข้างต้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงกลไกทางกลที่จำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียระไนโดยอิงตามตัวแปรๆดังกล่าวข้างต้น ซึ่งสามารถจำแนกกลไกต่างๆออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับแกนของเครื่องจักร

ตัวแปร		แกน เครื่องจักร
มุมยก (Elevation Angle : e)	→	มอเตอร์แกน X
มุมดรรชนี (Index Angle : i)		มอเตอร์แกน Y
ความลึกในการกัด (Depth Of Cut : h)		มอเตอร์แกน Z

นอกจากนี้ยังมีแกนที่จำเป็นในการทำงานอีก 1 แกนคือ แกนของการเปลี่ยนจานเจียระไน (มอเตอร์แกน A) ทั้งนี้การหมุนของจานเจียระไน (Spindle) และการโยกจานเจียระไน (Crank) ต้องใช้มอเตอร์อีก 2 ตัวในการขับเคลื่อนชุดส่งกำลัง เพื่อให้จานเจียระไนหมุน และ ทำการโยกชุดจานเจียระไนไปพร้อมๆกัน โดยจะเห็นว่าแกนการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ต้องมีการควบคุมความแม่นยำของตำแหน่ง จะมีจำนวนแกนทั้งหมด 4 แกนคือ

แกน X (แกนของมุมยก: e)

แกน Y (แกนของมุมดรรชนี: i)

แกน Z (แกนความลึกในการกัด: h)

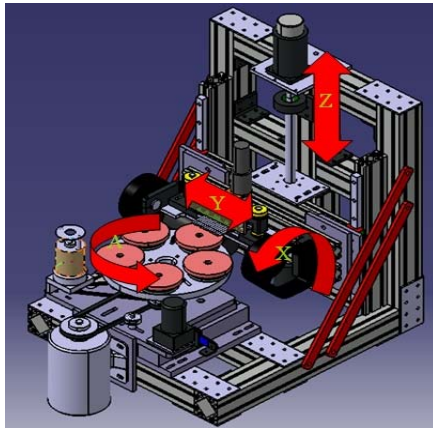
แกน A (แกนของการเปลี่ยนจานเจียระไน)

และการหมุนของมอเตอร์ที่ไม่ต้องควบคุมความแม่นยำ จะมีจำนวน 2 ตัวคือ มอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนของจานเจียระไน และการโยกจานเจียระไน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องเจียระไนพลอยจะมีแกนการสั่งการแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ให้มอเตอร์ทำงานทั้งหมด 4 แกน คือ แกน X แกน Y แกน Z และแกน A

เครื่องเจียระไนพลอยนี้จะมีจำนวนจานเจียระไน 4-5 จาน โดยจานที่ 1 ถึง 3 เป็นจานหยาบเพื่อขึ้นรูปพลอยให้เป็นรูปทรงที่ต้องการ สำหรับจานที่ 4 และ/หรือจานที่ 5 จะเป็นจานขัดละเอียดเพื่อขัดผิวให้เงา โดยสามารถแสดงส่วนประกอบต่างๆได้ดังรูปที่ 4 ส่วนรูปที่ 5 เป็นรูปเครื่องเจียระไนพลอยที่สร้างขึ้นพร้อมสนับสนุนอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ซึ่งถือ

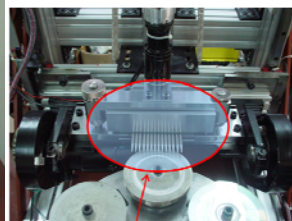
เป็นเครื่องรุ่นที่ 3 ที่ได้รับการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการสร้างเชิงอุตสาหกรรม



รูปที่ 4 แบบจำลองเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 5 เครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติรุ่นที่ 3

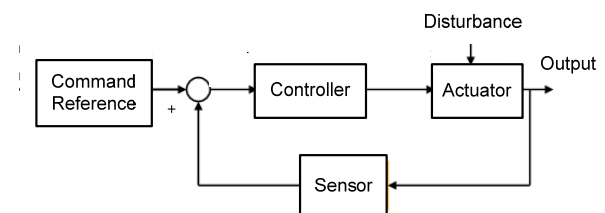


อุปกรณ์จับด้ามจับพลอย (drop stick) ที่พัฒนาขึ้น

2.4 ชนิดของตัวควบคุมสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัตินี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบพลศาสตร์ที่จะทำการควบคุม โดยระบบควบคุมแบบอัตโนมัตินี้จะมีส่วนที่ทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดค่าตัวแปรสถานะ หรือ State variables จริงของระบบด้วยตัวตรวจจับ (sensor) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าตัวแปรที่ต้องการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ค่าความแตกต่างนี้จะถูกใช้สำหรับสร้างสัญญาณควบคุมซึ่งจะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงหรือลดความผิดพลาดนี้ลง เพื่อให้มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นค่าตัวเลขที่มีขนาดเล็ก การกระทำของระบบควบคุมอัตโนมัติที่สร้างสัญญาณควบคุม (Control signal) นี้เรียกว่ากิริยาควบคุม (Control Action) ตัวควบคุมที่ใช้จะเป็นตัวควบคุมแบบ

PID (Proportional-Integral-Derivative) รูปที่ 6 แสดงแผนภาพบล็อกของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ การออกแบบตัวควบคุมก็คือการเลือกค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงการประนีประนอมค่าความเร็วของการตอบสนอง การลดค่าความผิดพลาดจากค่าอ้างอิง และลดค่าโอเวอร์ชูตของการตอบสนอง ตัวควบคุม PID นี้จะมีอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ทำงานในรูปแบบ current mode เป็นหลัก เพื่อช่วยให้การตอบสนองเร็วขึ้นและมีความปลอดภัยเมื่อเกิดมีการชนหรือกระแทก นอกจากนั้น ในอนาคตยังสามารถปรับปรุงเพื่อให้สามารถควบคุมแรงกดเข้าร่วมในการเจียระไนด้วยการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID นี้สามารถศึกษารายละเอียดได้จากหนังสือหลายเล่มเช่น เอกสารอ้างอิง [1] เป็นต้น



รูปที่ 6 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

2.5 วิธีการปรับค่าเกณฑ์ให้กับมอเตอร์

ในทางปฏิบัติแล้วการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการออกแบบระบบควบคุมที่ใช้ในตัวควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัตินี้มีรายละเอียดมากกว่านี้ เช่น การกำหนดความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ทำให้ระบบมีความปลอดภัย ความปลอดภัยในที่นี้หมายถึง ระบบปลอดภัยจากการที่ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ หรือไม่มีความสมดุล ซึ่งไม่สามารถรู้ได้แน่ชัดเลย เกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของระบบเครื่องเจียระไนพลอย ว่ามีค่าถูกต้องแม่นยำหรือมีความแน่นอนเท่าไรตามค่าที่เราใช้ในสมการจำลองการทำงานของระบบ ระบบควบคุมหรือตัวควบคุม (Controller) ชนิดต่าง ๆ หรือที่มีรูปแบบต่างกัน (เช่น ตัวควบคุมแบบ P, PD, PID เป็นต้น) ก็สามารถออกแบบให้ระบบรวมมีความไว (sensitivity) มากน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการออกแบบบางครั้งอาจจะต้อง

ครอบคลุมถึงความไว (sensitivity) ของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของระบบด้วย เพื่อให้ระบบควบคุมโดยรวมมีความปลอดภัยเมื่อค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลงในขณะที่ระบบกำลังทำงาน

เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องเจียรไนพลอยนั้นคล้ายกับแขนหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ดังนั้น การควบคุมตำแหน่งที่ปลายหัวจับหรือที่พลอย จะเป็นต้องมีการหาจลศาสตร์ของเครื่องเจียรไนพลอยอัตโนมัติด้วย ซึ่งประกอบด้วย ฟอว์เวอร์สคิเนแมติกส์ (Forward Kinematics) และ อินเวอร์สคิเนแมติกส์ (Inverse Kinematics) รายละเอียดของการหาจลศาสตร์ของเครื่องเจียรไนพลอยนี้สามารถศึกษาได้ใน [2]

3. การเจียรไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

การเจียรไนพลอยด้วยเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัตินี้ สามารถที่จะเจียรไนรูปร่างของพลอยตามมาตรฐาน (Standard Shape) หรือ รูปร่างแปลกๆ (Fancy Shape) ที่เป็นรูปทรงสมมาตร และไม่สมมาตรได้ตามต้องการ และยังเน้นไปที่ การเจียรไนพลอยขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับ อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ซึ่งวิธีการเจียรไนนี้จะแสดงถึงการใช้ตัวแปรต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นมาใช้จริงในโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นเอง

3.1 ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตพลอย

ในการผลิตพลอยเป็นจำนวนมากในคราวเดียวกันนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

3.1.1 ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้จับด้ามทวน (Stone Bearer)

อุปกรณ์ที่ต้องใช้จับด้ามทวน (Multiple Stone Bearer) ต้องสามารถจับด้ามทวนได้ที่ละหลายๆ ในคราวเดียว ซึ่งในเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัตินี้สามารถจับด้ามทวนได้พร้อมกันสูงสุดถึง 14 ด้าม ช่วยให้การเจียรไนแต่ละครั้งได้ผลผลิตมากขึ้น

3.1.2 จำนวนของจานเจียร (Grinding disc)

ยิ่งมีจำนวนจานเจียรไนมากขึ้น จะช่วยลดเวลาในการติดตั้งจานเจียรไนลง เพราะไม่ต้องทำการเปลี่ยน

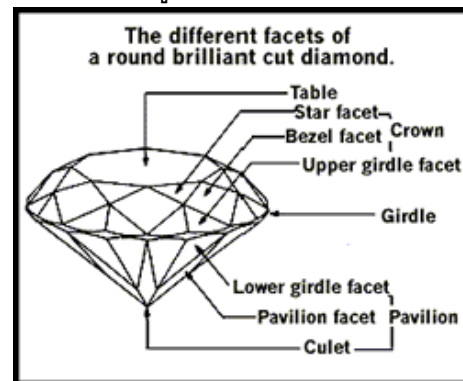
จานเจียรไนบ่อยๆ เมื่อต้องการเจียรไนพลอยดิบต่างชนิดกัน ซึ่งในเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติได้เพิ่มจานเจียรไนเป็น 4-5 จาน ทำให้สามารถลดเวลาดิตตั้งจานเจียรไนได้

3.1.3 การกลับด้านพลอยที่ได้รับการเจียรไนด้านกันพลอยแล้ว (Pavilion)

จะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการกลับด้านพลอยที่ละมากๆ ได้ ในคราวเดียวกันซึ่งจะช่วยให้การกลับด้านพลอยจากการเจียรไนด้านหน้าพลอย (crown) ไปเจียรไนด้านกันพลอย (pavilion) ทำได้รวดเร็วขึ้น

3.2 หลักการทั่วไปที่ใช้ในการเจียรไนพลอย

การเจียรไนพลอยในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือช่วยในการจับพลอยเพื่อกำหนดมุมกตที่ต้องการ ทำให้พลอยสัมผัสกับหน้าหินเจียรไนด้วยองศาที่ถูกต้อง ซึ่งตัวแปรในการกำหนดมุมกตต่างๆ ของการเจียรไนคือ ความลึกในการกัด (Depth of cut: h), มุมยก (Elevation angle: e), และมุมดรรชนี (Index angle: I) ตัวแปรต่างๆ ทั้งหมดนี้ เป็นสิ่งกำหนดให้เกิดระนาบต่างๆ ของพลอย ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงส่วนระนาบต่างๆ ของพลอยรูปทรงมาตรฐาน

3.3 ขั้นตอนในการเจียรไนพลอยรูปทรงมาตรฐานโดยใช้เครื่องเจียรไนอัตโนมัติ

ในที่นี้จะอธิบายถึงการเจียรไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรไนอัตโนมัติ ขั้นตอนการเจียรไนพลอยนั้นได้ออกแบบให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมการเจียรไนพลอยในประเทศ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- ขั้นตอนการแยกชนิดและขนาดของพลอย
- ขั้นตอนนี้ยังใช้คนเป็นหลักในการคัดแยกพลอย

- ขั้นตอนการติดพลอยเข้ากับด้านทวน (stone bearer) ทำการขึ้นรูปพลอยเบื้องต้น (Pre-shape) และการติดตั้งด้านพลอยเข้ากับอุปกรณ์จับด้านพลอย ซึ่งต้องทำทั้งสองด้านคือด้าน crown และด้าน pavilion

- ขั้นตอนนี้ถึงแม้จะใช้แรงงานคนค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากต้นทุนค่าแรงในงานดังกล่าวไม่สูง ดังนั้นขั้นตอนนี้การทำด้วยคนกับใช้เครื่องมือที่เหมาะสมเป็นหลัก แต่สามารถพัฒนาเครื่อง pre-shape ได้ไม่ยาก

- ขั้นตอนการเจียรในพลอยด้านหน้าพลอยหรือด้าน crown ซึ่งจะทำงานด้วยเครื่องเจียรในพลอยแบบอัตโนมัติ

- ขั้นตอนการกลับด้านพลอย สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นช่วยในการปรับหน้าพลอยจาก crown เป็น pavilion

- ขั้นตอนการเจียรในพลอยด้าน pavilion ซึ่งจะทำงานด้วยเครื่องเจียรในพลอยแบบอัตโนมัติ

- ขั้นตอนการนำพลอยออกจากด้านจับและล้างสารเคมีออกจากพลอย ซึ่งอาศัยคนเป็นคนทำงานนี้

หมายเหตุ ในงานผลิตจำนวนมากๆอาจจะต้องการใช้เครื่องมือมากกว่าหนึ่งเครื่อง โดยอาจจะแยกออกเป็นเครื่องสำหรับเจียรในด้าน crown และเครื่องสำหรับเจียรในด้าน pavilion

4. การทดลอง

ในการทดลองเครื่องเจียรในพลอยเบื้องต้นนั้น จะทำการทดลองเจียรในพลอยที่มีชื่อว่า คิวบิก เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia) ซึ่งเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติคล้ายธรรมชาติมาก มีระดับความแข็งค่อนข้างสูง อยู่ในระดับสเกลของมอร์ที่ 8.5 เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากมีราคาไม่สูงมาก มีความทนทาน และมีความสวยงามที่สามารถเลียนแบบเพชรได้

สำหรับการทดลองเจียรในพลอยนั้นจะเจียรในเหลี่ยมประเภทเหลี่ยมกลม แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ที่มีขนาดและมุมในการเจียรในที่แตกต่างกัน

4.1 การทดลองกับพลอยคิวบิก เซอร์โคเนีย

การทดลองกลุ่มแรกจะใช้พลอยคิวบิก เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia) ที่มีขนาดใหญ่ โดยขนาดพลอยดิบก่อนทำการเจียรในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ประมาณ 8 มิลลิเมตร และมีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร สีขาว นำมาเจียรในซึ่งใช้มุมอ้างอิง มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 8 พลอยที่ทำการเจียรในตามแบบนี้ จะมีหน้าเหลี่ยมทั้งหมดเป็น 57 เหลี่ยม ด้านหน้าพลอย (Crown) มีลักษณะค่อนข้างชัน คือขนาดความสูงของด้านหน้าพลอย (Crown) มีระยะประมาณหนึ่งในสามของความสูงทั้งหมดของพลอย ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของรูปแบบการเจียรในในกลุ่มที่ 1 ซึ่งจะมีค่า index ที่ใช้เป็นตัวพารามิเตอร์ในการกำหนดค่าสำหรับการเจียรในพลอยโดยเครื่องเจียรในพลอยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น

สำหรับการทดลองนี้ ได้ทำการเจียรในพลอยโดยใช้จานเจียรในทั้งหมด 3 จาน แบ่งเป็น จานเจียรในหยาบเพื่อทำการขึ้นเหลี่ยม จานเจียรในก่อนขัดเงา และจานเจียรในขัดเงา โดยมีลักษณะดังนี้

1. จานเจียรในหยาบ ใช้จานเคลือบผงเพชรที่มีขนาด กริตเบอร์ 1,500

2. จานเจียรในก่อนขัดเงา ทาผงเพชรเบอร์ 0-6

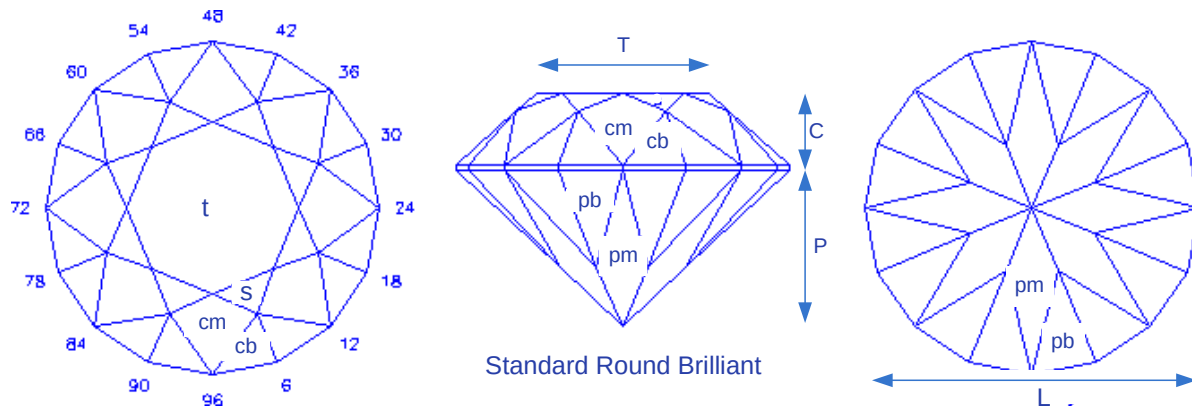
3. จานเจียรในขัดเงา ทาผงเพชรเบอร์ 0-1

ตารางที่ 3 แสดงเวลาทำการกัดแซแต่ละเหลี่ยมบนแต่ละจานต่างๆ เป็นวินาที ของการทดลองนี้ เวลาดังกล่าวนี้สามารถแตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้ในการกัดและความเร็วในช่วงกัด และเวลาที่เราแซพลอยที่ตำแหน่งต้องการ ซึ่งจะมีกับผลลัพธ์ของความเงาของผิวของพลอยที่เจียรในด้วย

ผลลัพธ์หลังจากเจียรในพลอยแสดงไว้ในรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่าได้คุณภาพที่สามารถรับได้ อย่างไรก็ตามขณะนี้กำลังศึกษาระบบควบคุมขั้นสูงเพื่อทำให้การเจียรในพลอยมีคุณภาพดียิ่งขึ้น



รูปที่ 8 พลอยหลังทำการทดลอง



รูปที่ 9 ลักษณะเหลี่ยมกลม

ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการทดลอง

Pavilion		
Facet	Angle	Index
Pb	45	03-09-15-21-27-33-39-45- 51-57-63-69-75-81-87-93
Pm	43	96-12-24-36-48-60-72-84
Crown		
Facet	Angle	Index
Cb	47	03-09-15-21-27-33-39-45- 51-57-63-69-75-81-87-93
Cm	42	96-12-24-36-48-60-72-84
S	27	06-18-30-42-54-66-78-90
T	0	Table

ตารางที่ 3 แสดงเวลาที่ทำการกัดแซแต่ละเหลี่ยมบนแต่ละจานต่างๆ เป็นวินาที ของการทดลอง

Time(sec.), Pavilion			
Facet	Diamond Lap	Semi-Polishing Lap	Polishing Lap
Pb	0.5	3	4
Pm	0.4	3	4
Time(sec.), Crown			
Facet	Diamond Lap	Semi-Polishing Lap	Polishing Lap
Cb	0.3	2.5	2.5
Cm	0.3	2.5	2.5
S	0.3	2.5	2.5
T	0.3	5	5

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเจียรระไนพลอยดังกล่าวแล้ว ได้ส่งตัวอย่างพลอยไปตรวจวัด ซึ่งการตรวจวัดพลอยนั้นสามารถทำการตรวจวัดพลอยได้ทั้งหมด 7 ส่วน คือ

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)
2. ความหนาทั้งหมด (Total Depth)
3. ขนาดหน้ากระดาน (Table)
4. มุมด้านหน้าพลอย (Crown)
5. มุมด้านก้นพลอย (Pavilion)
6. ขนาดยอดแหลม (Culet)
7. ขนาดของแซม (Girdle)

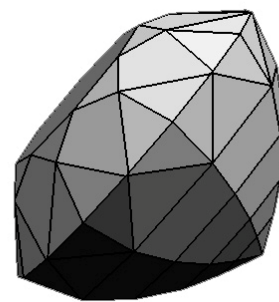
ผลที่ได้รับจากการตรวจนั้นถือว่าขนาดสามารถยอมรับได้ และได้ผลค่อนข้างดีมาก กล่าวคือ การทดลองนี้ เป็นการทดลองเจียรระไนพลอยคิวบิก เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia) ที่มีขนาดใหญ่ ขนาดพลอยดิบก่อนทำการเจียรระไนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 มิลลิเมตร และมีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร สีขาว ซึ่งผลการตรวจวัดโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง โดยส่วนที่ทำได้คะแนนได้ดีที่สุดคือ ส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ซึ่งผลการทดลองในทุกๆเม็ด ได้คะแนนออกมาในระดับดีมาก แต่ส่วนที่ได้คะแนนน้อยที่สุดคือการวัดขนาดของความหนาทั้งหมด (Total Depth) ซึ่งอาจเป็นเพราะมุมที่ใช้ในการเจียรระไนด้านหน้าพลอย (Crown) นั้นมีความชันสูง ส่งผลให้มีความหนารวมมีปริมาณมากจึงออกมาได้คะแนนไม่ดี และทำให้ได้คะแนนในส่วนของมุมด้านหน้าพลอย (Crown) ได้ไม่มากนัก

การทดลองในกลุ่มที่ 2 เป็นการทดลองเจียรระไนพลอยคิวบิก เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia) ที่มีขนาดเล็ก ขนาดพลอยดิบก่อนทำการเจียรระไนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.5 มิลลิเมตร และมีความหนาประมาณ 3.6 มิลลิเมตร สีชมพู ซึ่งผลการตรวจวัดโดยรวมอยู่ในระดับดีถึงดีมาก โดยส่วนที่ทำได้คะแนนได้ดีที่สุดคือ ส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ซึ่งผลการทดลองในทุกๆเม็ด ได้คะแนนออกมาในระดับดีมาก แต่ส่วนที่ได้คะแนนน้อยที่สุดคือการวัดมุมด้านก้นพลอย (Pavilion) ซึ่งอาจเป็นเพราะ

มุมที่ใช้ในการเจียรระไนด้านก้นพลอย (Pavilion) นั้นยังมีมุมที่ไม่ถูกสัดส่วนนัก ส่งผลให้มีคะแนนแค่ระดับดี โดยที่คะแนนที่ใช้วัดระดับต่างๆได้มาจากการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญด้านอัญมณี

4.2 การทดลองอื่นๆ

เครื่องเจียรระไนพลอยอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมานั้น สามารถเจียรระไนพลอยที่มีความแข็งระดับอื่นได้ เช่น พลอยซิทริน (Citrine) ซึ่งจัดอยู่ในแร่ควอตซ์ (Quartz) ซึ่งมีระดับความแข็ง (Hardness) 7 เท่านั้น รวมถึงพลอยอัดแบบสังเคราะห์ (Synthetic) ที่มีระดับความแข็ง (Hardness) 9 เทียบเท่ากับแร่คอร์รันดัม (Corundum) เช่น ทับทิมหรือบุษราคัม เป็นต้น



รูปที่ 10 แสดงเหลี่ยมขั้น (Step cut) ที่ออกแบบด้วย CU-Solid



รูปที่ 11 แสดงพลอยที่ผ่านการเจียรระไนเหลี่ยมขั้น (Step cut)

นอกจากสามารถเจียรระไนได้ที่มีความแข็งต่างกันแล้ว ยังสามารถเจียรระไนรูปทรงอื่นนอกเหนือจากเหลี่ยมกลม (Round) ในที่นี้ได้ลองเจียรระไนในรูปแบบ

ของเหล็มนับขันบันได (Step cut) ที่ด้านกันพลอย (Pavilion) ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งใช้โปรแกรม CU-Solid เป็นตัวออกแบบและแปลงค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น โดยได้ทำการเจียระไนพลอยที่ความแข็งที่ต่างกัน โดยที่ผลลัพธ์ของการเจียระไนแสดงไว้ในรูปที่ 11 ซึ่งจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ เครื่องเจียระไนที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำในการเคลื่อนที่สูง สามารถเจียระไนพลอยได้จริง ในส่วนของขั้นตอนการออกแบบได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบและสร้าง (CAD/CAM) เพื่อช่วยลดต้นทุนอันได้แก่ เงินทุนและเวลาให้น้อยลง จากงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติรุ่นที่ 3 ที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุม ซึ่งสามารถใช้เจียระไนพลอยพร้อมกันได้ 12-14 เม็ด ซึ่งเป็นเครื่องรุ่นที่ 3 พร้อมทั้งยังมีโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบและพัฒนาเหล็มนับขันบันไดที่พัฒนาขึ้นโดยทีมผู้วิจัย เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมการออกแบบรูปแบบพลอยแบบต่าง ๆ และยังได้พัฒนาอุปกรณ์ช่วยในการกลับด้านเข้ามาใช้เพื่อที่จะสลักด้านระหว่างหน้าพลอย (Crown) และด้านกันพลอย (Pavilion) ได้แม่นยำขึ้น ถึงแม้จะมีการพัฒนาเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติขึ้นแล้ว ในต่างประเทศบ้างแล้ว แต่ก็ยังเป็นเทคโนโลยีปิด และยังไม่ปรากฏบริษัทที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากการใช้งานมีหลายแบบแต่ละแบบก็ต้องการเครื่องแตกต่างกัน ดังนั้น การพัฒนาเครื่องเจียระไนแบบอัตโนมัตินี้จึงเป็นประโยชน์ในการเริ่มต้นในการพัฒนาการเจียระไนพลอยอัตโนมัติในประเทศไทย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ (2548). การควบคุมระบบพลศาสตร์ , พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ และ ปริชา พิพัฒนานนท์ (2552). ระบบควบคุมสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, เชียงใหม่