

การออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้ามสำหรับเครื่องเจียรไนพลอยจิวาแบบอัตโนมัติ

นายการเกรียงไกร สินธุเดชากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A MULTIPLE STONE BEARER FOR THE CHULA AUTOMATIC FACETING MACHINE

Mr.Kankriangkrai Sinthudechakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้ามสำหรับ  
เครื่องเจียรไนพลอยจิวาแบบอัตโนมัติ

โดย

นายการเกรียงไกร สินธุเดชากุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ดี มลิลดา)

การเก็ยงไกร สิ้นธุเดชากุล : การออกแบบอุปกรณั้จับด้ามพลอยแบบหลายด้ามสำหรับเครื่องเจียรระไนพลอยจูป้าแบบอัตโนมัติ. (A MULTIPLE STONE BEARER FOR THE CHULA AUTOMATIC FACETING MACHINE) อ.ที่ปรีกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 129 หน้า.

งานวิจัยนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบกลไกทางกล และ การสร้างอุปกรณั้จับด้ามพลอยแบบหลายด้ามสำหรับใช้กับเครื่องเจียรระไนพลอยจูป้าแบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ สำหรับโครงสร้างของชุดจานเจียรระไน ซึ่งจะติดตั้งจานเจียรระไนทั้ง 5 จานได้ปรับปรุงขึ้นมาจากเครื่องเจียรระไนพลอยรุ่นเดิม โดยจานเจียรระไนจะมีรอบสูงขึ้น อุปกรณั้จับด้ามพลอยที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถที่จะจับด้ามทวนได้พร้อมกัน 14 ด้าม ในการเจียรระไนบนจานเจียรระไนที่ได้เลือกไว้การเคลื่อนที่ของอุปกรณั้จับด้ามพลอยจะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะรักษาความแม่นยำของการเคลื่อนที่ของด้ามพลอยเช่นเดียวกับการปรับปรุงเวลาในการเจียรระไนโดยรวม

จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า อุปกรณั้จับด้ามพลอยที่ได้ออกแบบสามารถเจียรระไนพลอยได้พร้อมกัน 14 เม็ด(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม.) โดยสามารถเจียรระไนได้ทั้งรูปทรงสมมาตรและรูปทรงไม่สมมาตร ในขณะที่ส่วนของจานเจียรระไนสามารถเลือกใช้ได้ทั้งการเจียรระไนแบบหยาบ กิ่งละเอียด และการขัดเงา โดยสามารถตั้งเวลาที่ใช้ในการเจียรระไนเพื่อการเจียรระไนที่ดีขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา...2552

ลายมือชื่อนิติ.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

# # 4970225321 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : AUTOMATIC FACETING MACHINE / ELEVATION ANGLE / INDEX ANGLE / DEPTH OF CUT

KANKRIANGKRAI SINTHUDECHAKUL : A MULTIPLE STONE BEARER FOR THE CHULA AUTOMATIC FACETING MACHINE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D., 129 pp.

This work is to study the mechanical design and construct of a multiple stone bearer for the CHULA automatic faceting machine. The feedback control of the multiple stone bearer also covered. The configuration of grinding table, with 5 grinding wheels installed, has been improved, compare to the previous version of the faceting machine, so that the grinding speed can be set at higher speed. The developed multiple stone bearer can hold 14 drop sticks so that there can be grinded simultaneously on a selected grinding wheel. The motion of the mechanisms in the multiple stone bearer are controlled by a computer system to maintain the accuracy of the drop sticks motion as well as the improvement the overall grinding time.

From the experiment, it can be illustrated that the multiple stone bearer can grind all the 14 small gems stone (size 3 mm in diameter), attached to the drop sticks, with symmetry shapes or asymmetry shapes. The grinding wheel can be selected for rough grinding, semi-rough grinding and finish grinding. The grinding time can be set so that the overall grinding process can be improved.

Department : .....Mechanical Engineering..... Student's Signature .....  
 Field of Study : .....Mechanical Engineering..... Advisor's Signature .....  
 Academic Year : .....2009..... Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ และคำปรึกษา ที่มีประโยชน์ต่อการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งคอยสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ สถานที่ และเงินสนับสนุนในการทำวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณคณะนิสิตปริญญาโท และ ปริญญาเอกใน ห้องปฏิบัติการวิจัยควบคุมการผลิตขั้นสูง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และ เสนอข้อคิดเห็นตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณรุ่นพี่ในห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำในการใช้ เครื่องจักร และ การผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาคีชาววิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์สำหรับปฏิบัติการ เงินทุนสนับสนุนการศึกษา และความรู้ต่างๆอีกมากมาย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์.....	2
2. หลักการออกแบบและผลิตเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	3
2.1 หลักการทำงานของเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	3
2.2 การออกแบบเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	4
2.2.1 มุมยก ( Elevation Angle : e ).....	4
2.2.2 มุมดรรชนี ( Index Angle : i ).....	5
2.2.3 ความลึกในการกัด ( Depth Of Cut : h ).....	5
2.3 การผลิตเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	9
3. ขั้นตอนในการเจียรระโนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	17
3.1 หลักการทั่วไปที่ใช้ในการเจียรระโนพลอย.....	18
3.2 ขั้นตอนในการเจียรระโนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	19
3.2.1 ขั้นตอนการแยกชนิดและขนาดของพลอยดิบ.....	19
3.2.2 ขั้นตอนการติดพลอยเข้ากับด้ามทวน ( Stone Bearer )โดยใช้กาว UV.....	21

บทที่	หน้า
3.2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปพลอยเบื้องต้น( Pre-shape Gem Stone ).....	22
3.2.4 ขั้นตอนการใส่ด้ามทวนเข้ากับอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	23
3.2.5 ขั้นตอนการเจียรระนาบด้านหน้าพลอย (Crown).....	25
3.2.6 ขั้นตอนการกลับด้านพลอย.....	27
3.2.7 ขั้นตอนการขึ้นรูปเบื้องต้น Pre-shape ด้านก้นพลอย(Pavilion).....	29
3.2.8 ขั้นตอนการเจียรระนาบด้านก้นพลอย (Pavilion).....	29
3.2.9 ขั้นตอนการนำด้ามพลอยออกมาทำความสะอาด.....	30
3.3 เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการเจียรระนาบพลอย.....	32
4. หลักการทำงานของระบบควบคุมชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	33
4.1 ระบบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ( Servo Motor ).....	33
4.2 อุปกรณ์ขยายกำลังงาน (Power Amplifier) ที่ใช้กับมอเตอร์.....	34
4.3 ทฤษฎีการควบคุมพื้นฐาน ( Control Theory ).....	35
4.4 ชนิดของตัวควบคุมพื้นฐาน.....	37
4.4.1 ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน (Proportional Controller , P - Control).....	37
4.4.2 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Controller, I - Control).....	38
4.4.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller, D - Control).....	39
4.4.4 ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอนุพันธ์บวกอินทิกรัล(Proportional – plus – Integral – plus – Derivative Controller, PID – Control).....	39
4.5 ชนิดของตัวควบคุมที่เลือกใช้กับเครื่องเจียรระนาบพลอยแบบอัตโนมัติ.....	40
4.5.1 หลักในการเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกับการควบคุมตำแหน่งการหมุน ของเซอร์โวมอเตอร์.....	40
4.5.2 วิธีการปรับค่าเกณฑ์กับมอเตอร์.....	41
5. ขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	42
5.1 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 .....	44
5.1.1 หลักการทำงานและแนวคิดในการออกแบบ .....	44
5.1.2 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1.....	47
5.1.3 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองตรง ขนาดเล็ก Anti backlash.....	49



บทที่	หน้า
5.1.4 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1.....	52
5.2 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2.....	53
5.2.1 หลักการทำงานและแนวคิดในการออกแบบ.....	53
5.2.2 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2.....	56
5.2.3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2.....	57
5.3 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3.....	57
5.3.1 หลักการทำงานและแนวคิดในการออกแบบ.....	57
5.3.2 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3.....	61
5.3.3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3.....	61
5.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแต่ละแบบ.....	62
5.5 การผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยที่พัฒนาขึ้นแล้ว.....	63
6. ขั้นตอนการออกแบบชุดงานเจียรไนพลอย.....	65
6.1 แนวคิดและหลักการทำงานของงานเจียรไน.....	65
6.2 การออกแบบชุดงานเจียรไน.....	66
6.2.1 การออกแบบพื้นที่ติดตั้งชุดงานเจียรไน.....	67
6.2.2 การออกแบบชุดขับหมุนงานเจียรไน.....	70
6.2.3 การออกแบบชุดโยกงานเจียรไน.....	76
6.2.4 การออกแบบชุดหมุนเปลี่ยนงานเจียรไน.....	77
6.3 การผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับชุดงานเจียรไนที่พัฒนาขึ้นแล้ว.....	79
7. การทดลองควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	81
7.1 โมเดลการทดลอง.....	81
7.1.1 ขั้นตอนในการทำการทดลอง.....	82
7.2 การปรับตั้งค่าเกณฑ์และการวิเคราะห์.....	82
7.2.1 การหาอัตราขยายของตัวควบคุมในแกน Y.....	82
7.2.2 ผลการทดลอง.....	83
7.2.3 สรุปผลการทดลอง.....	83
7.3 ขั้นตอนการทดสอบอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	86

บทที่	ญ หน้า
7.3.1 การทดสอบการเจียรไนอย่างง่าย.....	86
7.3.1.1 การเลือกขนาดพลอยที่จะใช้เจียรไน.....	87
7.3.1.2 การติดพลอยบนด้ามทวนโดยใช้กาว UV.....	87
7.3.1.3 การนำด้ามทวนไปติดตั้งไว้บนอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	88
7.3.1.4 การทดสอบการเจียรไนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	89
7.3.1.5 การนำพลอยที่เจียรไนเสร็จแล้วมาทำการวัดขนาด.....	90
7.3.1.6 การทดสอบซ้ำกับพลอยรูปทรงเดิม.....	91
7.3.1.7 ผลการทดลอง.....	91
7.3.1.8 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล.....	94
7.3.2 การทดสอบการเจียรไนพลอยรูปทรงมาตรฐาน.....	97
7.3.2.1 ขั้นตอนการเจียรไนพลอย.....	99
7.3.2.2 ผลการทดลอง.....	99
7.3.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล.....	102
7.3.3 การสีกรหของจานเจียรไนพลอย.....	106
8. การสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	108
8.1 สรุปผลงานการวิจัย.....	108
8.1.1 ความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยบนเครื่องเจียรไน พลอยแบบอัตโนมัติ.....	108
8.1.2 สรุปค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับขนาดพลอยบนเครื่องเจียรไนพลอยแบบ อัตโนมัติ.....	108
8.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น.....	109
8.3 ข้อเสนอแนะ.....	110
รายการอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก โครงสร้างและอุปกรณ์ของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	113
ภาคผนวก ข ผลการทดลองและผลลัพธ์.....	126
ภาคผนวก ค การใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	128
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	129

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับแกนของเครื่องจักร.....	5
3.1	เวลาที่ใช้ในการเจียระไนพลอย.....	32
5.1	สรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1.....	52
5.2	สรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2.....	57
5.3	สรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3.....	62
5.4	เปรียบเทียบข้อดีของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแต่ละแบบ.....	62
5.5	เปรียบเทียบข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแต่ละแบบ.....	63
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมู่เล่เจียร และ ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของมู่เล่ตัวจับ.....	74
7.1	ความหนาของจานเจียระไน ทั้งก่อนและหลังใช้งานและ ค่าการสึกหรอ.....	107
ข.1	ขนาดมิติของชุดพลอยหน้าตัดสี่เหลี่ยม กับตำแหน่งต่างๆของการวางทวนลง บนอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	126
ข.2	ขนาดเปรียบเทียบของรูปแบบพลอยที่เจียระไนได้ในแต่ละครั้งกับตำแหน่ง ต่างๆของการวางทวนลงบนอุปกรณ์จับด้ามพลอย.....	127

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	หลักการทํางานของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	3
2.2	ตัวแปรต่างๆที่ก่อให้เกิดระนาบของพลอย .....	4
2.3	ขนาดของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ.....	6
2.4	CAD MODEL เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 จากโปรแกรม CATIA	8
2.5	กระบวนการส่งผ่านข้อมูลในระบบ CAD/CAM.....	9
2.6	การเลือกชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในโปรแกรม CATIA.....	10
2.7	การเลือกตำแหน่งจุดเริ่มต้นของชิ้นงาน.....	10
2.8	การเลือกลักษณะวิธีในการตัดเฉือนชิ้นงานแบบการตัดเฉือนรอบรูป ( Profile Contouring).....	11
2.9	การกำหนดค่าต่างๆในการตัดเฉือนชิ้นงาน.....	11
2.10	การเลือกชนิดและขนาดของมีดตัด.....	12
2.11	การจำลองทางเดินของมีดกัด.....	12
2.12	การสร้าง G, M code โดยใช้ตัวแปลงข้อมูล (Post Processor).....	13
2.13	การถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังส่วนควบคุมของเครื่อง CNC .	14
2.14	การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย.....	15
2.15	การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย (ต่อ).....	15
2.16	การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย (ต่อ).....	16
2.17	การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย (ต่อ).....	16
3.1	ส่วนประกอบต่างๆของพลอยรูปทรงมาตรฐาน.....	18
3.2	ภาพพลอยที่ติดบนไม้ซุน .....	20
3.3	พลอยที่ได้ทำการเจียขึ้นรูปแล้ว .....	20
3.4	พลอยดิบขนาดเล็กรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม.หนา 3 มม.	21

ภาพที่	รูป หน้า
3.5 การติดพลอยเข้ากับด้ามทวน .....	21
3.6 การนำทวนที่ติดพลอยติดด้วยกาว UV เข้าตู้อบ UV.....	22
3.7 การขึ้นรูปพลอยเบื้องต้น (Pre-shape).....	23
3.8 การใส่ด้ามพลอยเข้ากับอุปกรณ์จับ .....	23
3.9 การตั้งตำแหน่งดรรชนี ( Index ) ของด้ามทวน.....	24
3.10 ทดลองหมุนแป้นเกลียวเพื่อกดด้ามทวนให้แน่น.....	24
3.11 ตำแหน่งที่ปากไขว้ของด้ามทวน.....	24
3.12 วางแผ่นเหล็กให้แนบลงบนด้ามทวนแล้วขันให้แน่น.....	25
3.13 การเจียรระโนหยาบ .....	26
3.14 พลอยที่ได้รับการเจียรระโนด้านหน้าพลอย (Crown) แล้ว.....	26
3.15 พลอยที่ได้รับการเจียรระโนด้านหน้าพลอย (Crown) แล้ว (ต่อ).....	27
3.16 อุปกรณ์กลับด้านพลอย .....	28
3.17 ด้ามพลอยที่ติดกาว รอการเข้าตู้อบ UV.....	28
3.18 ด้ามพลอยที่ได้รับการกลับด้านแล้ว .....	29
3.19 พลอยที่ได้รับการเจียรระโนด้านก้นพลอยแล้ว .....	30
3.20 การเรียงลำดับพลอยตามตำแหน่งของด้ามทวนที่ติดตั้งบนอุปกรณ์จับด้าม พลอย.....	30
3.21 พลอยที่ได้รับการทำความสะอาดแล้ว .....	31
3.22 พลอยที่ได้รับการทำความสะอาดแล้ว (ต่อ).....	31
4.1 ส่วนประกอบต่างๆภายในของเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง.....	33
4.2 การทำงานของอุปกรณ์ขยายกำลังงาน.....	34
4.3 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด.....	35
4.4 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมเครื่องเจียรระโนพลอยแบบ อัตโนมัติ.....	36
4.5 สัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมเชิงสัดส่วน.....	38
4.6 สัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมแบบอนุพันธ์.....	39
4.7 แผนภาพการใช้ PID ควบคุมมอเตอร์.....	40
5.1 ภาพแสดงเฟืองที่มีการป้องกันระยะคลอน (Anti backlash gears) .....	43
5.2 ภาพ Harmonic Drive .....	43

ภาพที่	หน้า
5.3	อุปกรณ์จับด้ามพลอยที่ใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กแบบเฟือง บรรทัด..... 44
5.4	อุปกรณ์จับด้ามพลอยที่ใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองตรง Anti-backlash..... 45
5.5	การวางตำแหน่งด้ามทวนและระยะชักของจานเจียร์ไน..... 46
5.6	จำนวนของด้ามทวนที่สามารถใช้กับความยาวคอर्डของจานเจียร์ไนได้..... 47
5.7	ด้ามทวนที่ออกแบบไว้เพื่อใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้เฟืองบรรทัด.... 48
5.8	อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กแบบเฟือง บรรทัดที่ได้ผลิตขึ้น..... 48
5.9	ด้ามทวนที่ออกแบบไว้เพื่อใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้เฟืองบรรทัดที่ได้ ผลิตขึ้น..... 49
5.10	ลักษณะของด้ามทวนที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่าน เฟืองตรง Anti backlash..... 49
5.11	การติดตั้งด้ามทวนลงบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่านเฟือง ตรง Anti backlash(ต่อ)..... 50
5.12	การทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก Anti backlash ขณะทำการเจียร์ไน..... 50
5.13	อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 ที่ได้ผลิตขึ้นจริง..... 51
5.14	ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2..... 53
5.15	ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 (ต่อ)..... 54
5.16	หลักการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ..... 54
5.17	บริเวณด้ามจับของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ..... 55
5.18	อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ที่ได้ผลิตขึ้นจริง..... 55
5.19	หลักการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3..... 58
5.20	ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 ..... 58
5.21	ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 ..... 59
5.22	ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 (ต่อ)..... 59
5.23	แท่งเหล็กสี่เหลี่ยมที่ใช้วางบนด้ามทวน..... 60
5.24	ด้ามทวนที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3..... 60
5.25	การตั้งมุมเริ่มต้นของด้ามทวนบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้าม..... 61
5.26	การเรียงตัวของตลับลูกปืนบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ ..... 63

ภาพที่	ผ หน้า
5.27	การทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้าม..... 64
6.1	การตัดเฉือนชิ้นงานของการเจียระไน..... 66
6.2	พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งจานเจียระไน..... 67
6.3	พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งจานเจียระไน (ต่อ)..... 68
6.4	การวางตำแหน่งของจานเจียระไน..... 68
6.5	ส่วนที่ใช้ในการตั้งระดับจานเจียระไน..... 69
6.6	กลไกการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังจานเจียระไนทั้ง 5 จาน..... 71
6.7	กลไกการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังจานเจียระไนทั้ง 5 จาน (ต่อ)..... 71
6.8	กลไกการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังจานเจียระไนทั้ง 5 จาน (ต่อ)..... 72
6.9	การทอดรอบจากมู่เล่ตัวขับไปยังมู่เล่ตัวตามของจานเจียระไนทั้ง 5 จาน..... 72
6.10	การหาความยาวของสายพานโดยใช้สูตร..... 75
6.11	ชุดโยกจานเจียระไน..... 77
6.12	ส่วนประกอบของชุดเปลี่ยนจานเจียระไน..... 78
6.13 ก	ชุดจานเจียระไนพลอยขณะทำการประกอบ..... 79
6.13 ข	ชุดจานเจียระไนทั้ง 5 จาน..... 79
6.14 ก	ระบบขับเคลื่อนของชุดหมุนจานเจียระไนพลอย..... 79
6.14 ข	ระบบขับเคลื่อนของชุดหมุนจานเจียระไนพลอย (ต่อ)..... 79
6.15	ชุดโยกจานเจียระไนพลอย..... 80
6.16	ชุดหมุนเปลี่ยนจานเจียระไนพลอย..... 80
7.1	หน้าต่างของโปรแกรม Tune Motor..... 81
7.2 ก	การเปรียบเทียบของสัญญาณขาเข้า และสัญญาณขาออก ในแกน Y เมื่อ $K_p = 0.002$ , $K_i = 0.01$ และ $K_d = 0.0001$ ..... 84
7.2 ข	สัญญาณผิดพลาดในแกน Y เมื่อ $K_p = 0.002$ , $K_i = 0.1$ และ $K_d = 0.0001$ ..... 84
7.3 ก	การเปรียบเทียบของสัญญาณขาเข้า และสัญญาณขาออกในแกน Y เมื่อ $K_p =$ $0.1$ , $K_i = 0.01$ และ $K_d = 0.0001$ ..... 85
7.3 ข	สัญญาณผิดพลาดในแกน Y เมื่อ $K_p = 0.1$ , $K_i = 0.01$ และ $K_d = 0.0001$ ... 85
7.4 ก	ภาพวิวนบนของเม็ดพลอยที่ถูกเจียระไนให้มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม..... 86
7.4 ข	ภาพวิวข้างของเม็ดพลอยที่ถูกเจียระไนให้มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม..... 86

ภาพที่		ณ หน้า
7.5	ขนาดของฟลอยกระจกที่ใช้ทำการทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.3 มม. หนา 4.5 มม.....	87
7.6	การติดฟลอยเข้ากับด้ามทวน.....	88
7.7 ก	การนำทวนที่ติดฟลอยติดด้วยกาว UV เข้าตู้อบ UV.....	88
7.7 ข	ฟลอยที่ทำการ Pre-shape ให้มีมุมใกล้เคียงกับมุมยกที่ต้องการ.....	88
7.8	การติดตั้งด้ามทวนลงบนอุปกรณ์จับด้ามฟลอย.....	89
7.9	การทำสี่เหลี่ยมคางหมูบนเม็ดฟลอยหลังจากการเจียรไนให้เป็นทรงปิรามิด.....	89
7.10 ก	ฟลอยทรงปิรามิดที่ได้รับการเจียรไนที่มุมยก 0 องศา.....	90
7.10 ข	ภาพขยายฟลอยที่ได้รับการเจียรไนที่มุมยก 0 องศาแล้ว.....	90
7.11	เม็ดฟลอยที่เจียรไนเรียบร้อยแล้ว.....	90
7.12 ก	ทำการวัดขนาดรูปทรงสี่เหลี่ยมบนเม็ดฟลอย.....	91
7.12 ข	ทำการวัดขนาดรูปทรงสี่เหลี่ยมบนเม็ดฟลอย (ต่อ).....	91
7.13	กราฟขนาดของรูปสี่เหลี่ยมบนฟลอยกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 1.....	92
7.14	กราฟมิติของรูปสี่เหลี่ยมบนฟลอยกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 1.....	92
7.15	กราฟมิติของรูปสี่เหลี่ยมบนฟลอย กับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 2.....	92
7.16	กราฟมิติของค่าผิดพลาดของฟลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 3.....	93
7.17	ขนาดของค่าผิดพลาดของฟลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 2.....	93
7.18	ขนาดของค่าผิดพลาดของฟลอยเทียบกับ ตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 3.....	93
7.19	ฟลอยหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมชุดที่ 1.....	94
7.20	ฟลอยหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมชุดที่ 2.....	95
7.21	ขนาดของฟลอยที่ได้ออกแบบไว้.....	96
7.22	ขนาดของฟลอยที่ได้ออกแบบไว้.....	97
7.23	หมายเลขการเรียงตำแหน่งของด้ามทวน.....	98
7.24	ขนาดของมิติฟลอยเทียบกับตำแหน่ง ของด้ามทวนชุดที่ 1.....	100
7.25	ขนาดของมิติฟลอยเทียบกับตำแหน่ง ของด้ามทวนชุดที่ 2.....	100
7.26	ขนาดของมิติฟลอยเทียบกับตำแหน่ง ของด้ามทวนชุดที่ 3.....	100
7.27	ขนาดของค่าผิดพลาดของฟลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 1.....	101
7.28	ขนาดของค่าผิดพลาดของฟลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 2.....	101
7.29	ขนาดของค่าผิดพลาดของฟลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 3.....	101



ภาพที่		หน้า
7.30	พลอยชุดที่ 1 .....	102
7.31	พลอยชุดที่ 2 .....	104
7.32	พลอยชุดที่ 3 .....	105
ก.1	ขนาดอลูมิเนียมโปรไฟล์ .....	113
ก.2	ขนาดอลูมิเนียมโปรไฟล์ (ต่อ) .....	113
ก.3	การประกอบเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติด้วยแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์ ..	114
ก.4	แป้นเก็ยตัวเมียบแบบพิเศษที่ใช้กับแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์ .....	114
ก.5	การประกอบมอเตอร์ .....	115
ก.6	มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงขนาดเล็ก .....	116
ก.7	มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงขนาดใหญ่ .....	116
ก.8	การติดตั้งมอเตอร์ชุดเปลี่ยนงานเจียระไน .....	117
ก.9	การประกอบมอเตอร์ชุดโดยงานเจียระไน .....	117
ก.10	การประกอบมอเตอร์ชุดโดยงานเจียระไน (ต่อ) .....	118
ก.11	Single Phase Induction Motor .....	118
ก.12	ขนาดขอมู่เล่ที่ใช้กับเครื่องเจียระไนพลอย .....	119
ก.13.ก	มู่เล่ที่ใช้ส่งกำลังจากมอเตอร์ .....	119
ก.13.ข	มู่เล่ที่ใช้ในการรับกำลังจากมอเตอร์และส่งกำลังไปยังงานเจียระไน .....	119
ก.13.ค	มู่เล่ที่ใช้หมุนงานเจียระไนพลอย .....	119
ก.14	สายพานขนาดมาตรฐานแบบ SPZ .....	120
ก.15	ขนาดรางเลื่อน .....	120
ก.16	ขนาดของรองเลื่อน .....	121
ก.17	การประกอบรางเลื่อนและรองเลื่อนบนเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ ..	121
ก.18	ขนาดของบอลสกรู .....	122
ก.19	การติดตั้งบอลสกรูบนเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ .....	122
ก.20	การติดตั้งเฟืองตรงบนชุดแทนยกอุปกรณ์จับด้ามพลอย .....	123
ก.21	การติดตั้งเฟืองโซ่บนชุดหมุนเปลี่ยนงานเจียระไน .....	123
ก.22	เอนโคเดอร์ .....	124
ก.23	แผ่นทองเหลือง .....	124
ก.24	แผ่นสั๊กหลอด .....	125

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอัญมณีถือเป็นอุตสาหกรรมหลักอย่างหนึ่งของประเทศไทย แต่การพัฒนาเพื่อนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาผสมผสานกับการทำงานฝีมือ เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่งอื่นๆ ในแวดวงของอุตสาหกรรมอัญมณีแล้ว จะเห็นว่าประเทศไทยยังตามหลังชาติอื่นอยู่อีกมาก ทั้ง ๆ ที่ประเทศไทยมียอดการส่งออกของอัญมณีในระดับที่ค่อนข้างสูงมาก และถ้ามองอุตสาหกรรมอัญมณีในรูปแบบที่มีการผลิตรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเป็นจำนวนมาก ๆ และเพื่อให้ได้ขนาด รูปทรง และคุณภาพที่เหมือนกัน ประเทศไทยต้องพึ่งแรงงานฝีมือ และ การควบคุมมาตรฐานก็ทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งทำให้ความสามารถในการแข่งขันทางด้านนี้ของอุตสาหกรรมอัญมณีของประเทศไทย ไม่สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ในอนาคต ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาการเจียระไนพลอยด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ ที่สามารถป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้ตามที่ต้องการ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับด้ามพลอยที่สามารถจับด้ามพลอยได้พร้อมกันไม่น้อยกว่า 10 ด้ามในการเจียระไนแต่ละรอบ เพื่อใช้กับเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการ วิจัยระบบผลิตขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2.2 ออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของกลไกพิเศษที่ใช้ในการบังคับการเคลื่อนที่ของก้านจับพลอยที่พัฒนาขึ้นและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยพร้อมทั้งออกแบบและปรับปรุงงานเจียระไนเพื่อให้สามารถทำงานที่ความเร็วสูงดังกล่าว

### 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการที่เหมาะสมในการเจียระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดของการออกแบบกลไกพิเศษที่สามารถควบคุมการทำงานของระบบด้ามจับพลอยที่สามารถจับพลอยได้หลายๆด้ามพร้อมกัน

1.3.2 ออกแบบและสร้างกลไกพิเศษที่ใช้ในการจับด้ามจับพลอยได้พร้อมกันไม่น้อยกว่า 10 ด้ามในการเจียระไนพลอยแต่ละรอบ และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยให้

สามารถจำกัด หรือปรับ แรงบิด ของมอเตอร์ตัวขับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

1.3.3 ออกแบบและปรับปรุงชุดงานเจียระไนที่สามารถทำงานที่ความเร็วสูงได้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติที่สามารถเจียระไนพลอยได้พร้อมกันหลายเม็ด เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

1.4.2 ได้ต้นแบบกลไกสำหรับใช้ในการจับด้ามจับพลอยพร้อมๆกันหลายด้าม โดยมีขนาดกะทัดรัด และสามารถใช้งานได้จริง

1.4.3 ได้ทักษะความรู้ในการออกแบบเครื่องจักรขนาดเล็ก

1.4.4 สามารถนำเครื่องเจียระไนที่เสร็จสมบูรณ์ไปใช้ในกระบวนการผลิตพลอยในทางอุตสาหกรรมเครื่องประดับได้จริง

#### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์

1.5.1 ทดลองเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติต้นแบบที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบผลิตขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.2 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติต้นแบบ

1.5.3 ศึกษาตัวแปรของมุมพลอยที่เกิดจากอุปกรณ์จับด้ามพลอย

1.5.4 สร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติโดยพัฒนาจากเครื่องต้นแบบเดิม

1.5.5 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับด้ามพลอยเพื่อให้สามารถเจียระไนพลอยได้หลายเม็ดพร้อมๆกัน

1.5.6 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยเมื่อทำงานร่วมกับเครื่องเจียระไนแบบอัตโนมัติ

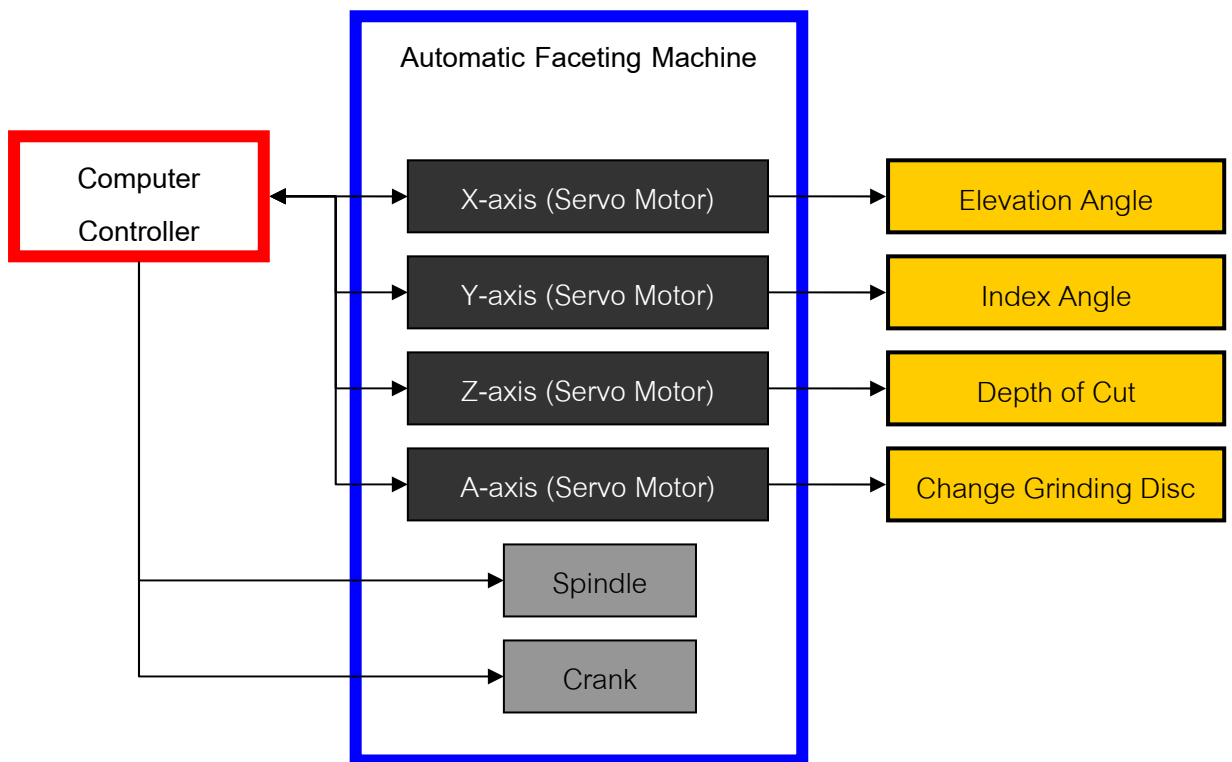
1.5.7 วิเคราะห์ แก๊ซ และสรุปผลการดำเนินการ

## บทที่ 2

### หลักการออกแบบและการผลิตเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ

#### 2.1 หลักการทำงานของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ

การทำงานของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติจะมีพื้นฐานการทำงานมาจากเครื่องเจียรไนพลอยแบบพื้นฐานซึ่งใช้แรงงานมนุษย์โดยจะต่างกันเพียงการควบคุมการเคลื่อนที่ของด้ามทวน (Stone Bearer) ซึ่งแทนที่จะใช้มือมนุษย์ในการเจียรไน มาเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการเจียรไนแทน ซึ่งแน่นอนว่าทำให้ชิ้นงานที่ได้ มีความแม่นยำสูงขึ้น โดยการควบคุมการทำงานจะส่งผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบผลิตขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะมีแผนผังการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.1 สามารถอธิบายหลักการทำงานของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติได้ โดย การ์ดควบคุมในคอมพิวเตอร์ (Computer Controller) จะทำหน้าที่ส่งและรับคำสั่งที่อยู่ในรูป

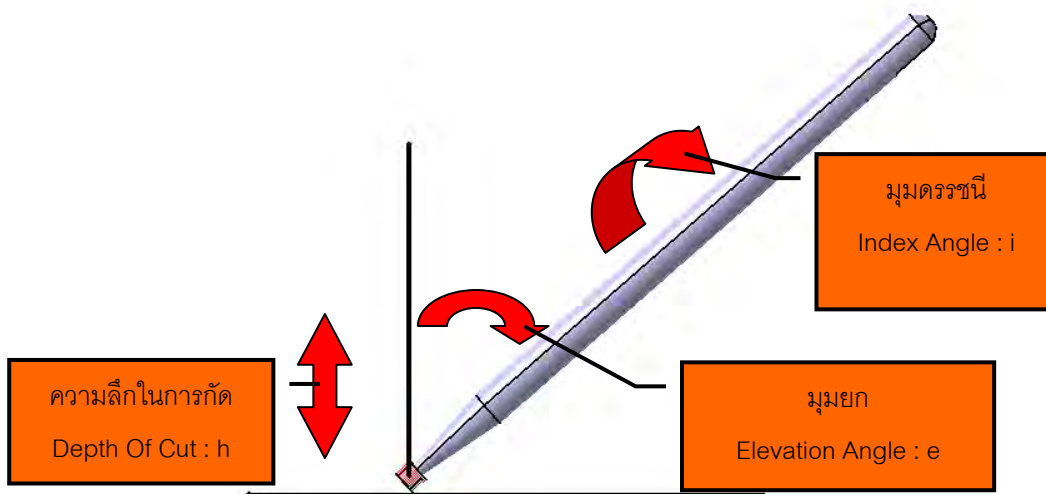
สัญญาณทางไฟฟ้าไปควบคุมมอเตอร์ ทั้ง 6 ตัว โดยมอเตอร์ทั้ง 6 ตัวนี้จะแบ่งเป็น มอเตอร์ที่ต้องการมีการควบคุมความแม่นยำ (Servo Motor) และมอเตอร์ที่ไม่ต้องการควบคุมความแม่นยำ

ซึ่งการควบคุมมอเตอร์แบบควบคุมความแม่นยำ สามารถทำได้โดยการเลือกชนิดของตัวควบคุมให้เหมาะสม และทำการปรับค่า เกน (Gain) ให้มอเตอร์แต่ละตัว โดยการวัดควบคุมในคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่รับสัญญาณจาก เอนโคเดอร์ (Encoder) เพื่อมาประมวลผลและส่งคำสั่งออกไป ซึ่งเรียกว่าเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ส่วนการควบคุมมอเตอร์ที่ไม่ต้องการควบคุมความแม่นยำสามารถทำได้โดยการสั่งให้การ์ดควบคุมทำหน้าที่เป็นเพียง สวิตช์ ปิดเปิด เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เท่านั้น ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ (Open Loop Control)

มอเตอร์แต่ละตัวจะทำหน้าที่ไปขับเคลื่อนกลไกต่างๆ ให้เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ตามตัวแปรในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้สั่งการไว้ ซึ่งก่อให้เกิดการเจียรระไนพลอยเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ

## 2.2 การออกแบบเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

การออกแบบเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ สามารถทำได้โดยการพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการเจียรระไนพลอย โดยเมื่อพิจารณาแล้ว จะมีตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจียรระไนอยู่ 3 ตัวแปรดังรูปที่ 2.2 คือ



รูปที่ 2.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ก่อให้เกิดระนาบของพลอย

### 2.2.1 มุมยก (Elevation Angle : e)

เป็นมุมที่ใช้ในการกำหนดองศาของเหลี่ยมพลอย ณ มุมดรรชนีหนึ่งๆ ที่กำหนดไว้ โดยมุมนี้จะวัดจากแกนในแนวตั้งเทียบกับตำแหน่งของทวนติดด้ามพลอยดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมุมยกนี้จะทำให้

พลอยมีชื่อเรียกระนาบต่างๆกันตามตำแหน่งของมุมที่เกิดขึ้น เช่น ระนาบตัดบน (Table), ระนาบดาว (Star Facet), ระนาบขอบ (Girdle) เป็นต้น ซึ่งจะเป็นระนาบต่างๆที่ทำให้เกิดการหักเหของแสงขึ้น โดยแกน X ของเครื่องเจียรระโนพลอยจะทำหน้าที่เป็นแกนทำงานของตัวแปรนี้

### 2.2.2 มุมดรชนี (Index Angle : i)

เป็นมุมที่ใช้ในการกำหนดจำนวนเหลี่ยมของพลอย โดยจำนวนเหลี่ยมของพลอยจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบพลอย ที่ต้องการให้ที่มุมยกหนึ่งๆมีจำนวนเหลี่ยมของพลอยตามที่กำหนด ซึ่งการควบคุมมุมดรชนีนี้จะทำหน้าที่ควบคุมด้วยแกน Y ของเครื่องเจียรระโนพลอย

### 2.2.3 ความลึกในการกัด (Depth Of Cut : h)

คือ ความลึกที่ใช้ในการเจียรระโนผิวพลอย ณ มุมยกและมุมดรชนีที่กำหนดตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยพลอยจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็จะขึ้นอยู่กับค่าความลึกในการกัดนี้โดยจะต้องสัมพันธ์กับมุมยก และ มุมดรชนีที่กำหนดด้วย โดยแกนที่ทำหน้าที่ควบคุมความลึกในการกัดคือ แกน Z ของเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ

จากตัวแปรต่างๆดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงกลไกทางกล ที่จำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียรระโนโดยอิงตามตัวแปรๆ ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งสามารถจำแนกกลไกต่างๆออกเป็น ส่วนๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับแกนของเครื่องจักร

ตัวแปร	→	แกนเครื่องจักร
มุมยก (Elevation Angle : e)		มอเตอร์แกน X
มุมดรชนี (Index Angle : I)		มอเตอร์แกน Y
ความลึกในการกัด (Depth Of Cut : h)		มอเตอร์แกน Z

นอกจากนี้ยังมีแกนที่จำเป็นในการทำงานอีก 1 แกนคือ แกนของการเปลี่ยนจานเจียรระโน (มอเตอร์แกน A) ทั้งนี้การหมุนของจานเจียรระโน (Spindle) และ การโยกจานเจียรระโน (Crank) ต้องใช้มอเตอร์อีก 2 ตัวในการขับเคลื่อนชุดส่งกำลัง เพื่อให้ทำให้จานเจียรระโนหมุน และ ทำการโยกชุดจานเจียรระโนไปพร้อมๆกัน

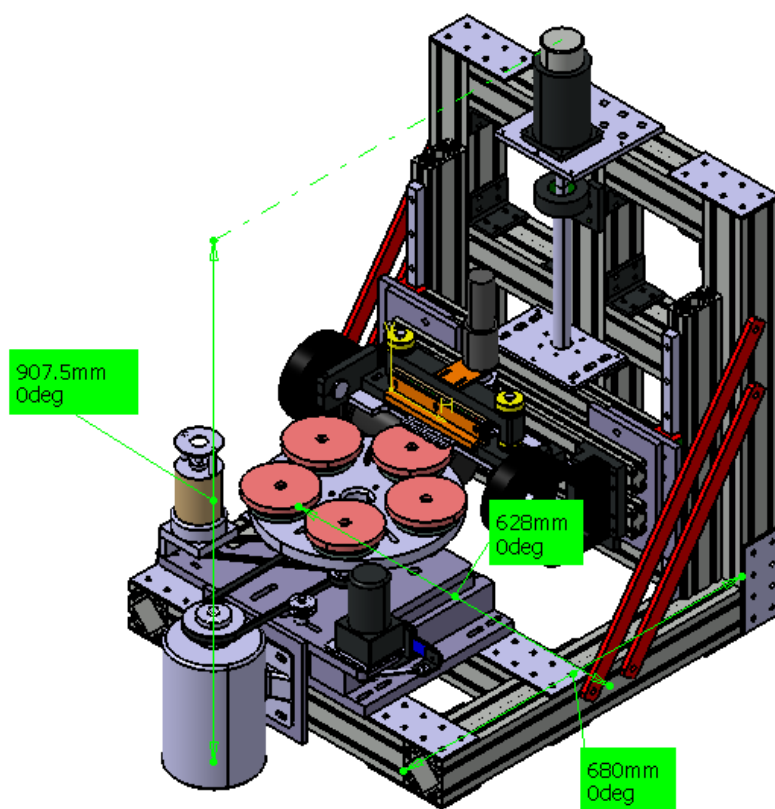
โดยจะเห็นว่าแกนการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ต้องมีการควบคุมความแม่นยำ จะมีจำนวนแกนทั้งหมด 4 แกนคือ

1. แกน X (แกนของมุมยก : e)

2. แกน Y (แกนของมุมดรรชนี : l)
3. แกน Z (แกนความลึกในการกัด : h)
4. แกน A (แกนของการเปลี่ยนจานเจียรระโน)

การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ไม่ต้องควบคุมความแม่นยำ จะมีจำนวน 2 ตัวคือ มอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนของจานเจียรระโน และ การโยกจานเจียรระโน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องเจียรระโนพลอยจะมีแกนการสั่งการแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ให้มอเตอร์ทำงานทั้งหมด 4 แกน คือ แกน X , แกน Y , แกน Z และ แกน A และมีแกนที่มีการสั่งการแบบเปิด (Open loop Control) คือ แกนที่ใช้ขับเคลื่อนจานเจียรระโนให้หมุน (แกน C) และ แกนที่ใช้โยกจานเจียรระโน (แกน B)

ในเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 นี้ได้นำแบบโครงสร้างของเครื่องเจียรระโนพลอยต้นแบบมาใช้ เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงพอสมควร มีน้ำหนักเบา และ ง่ายต่อการประกอบ เพราะโครงสร้างเป็นแบบอลูมิเนียมโปรไฟล์ ซึ่งจะมีร่องไว้ให้ใช้สำหรับขันสกรูยึดชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้การปรับตั้งระดับ หรือ การตั้งเครื่องเพื่อยึดชิ้นส่วนทำได้ดีขึ้น โดยได้ออกแบบโครงเครื่องจักรไว้ให้มีขนาด ความกว้าง x ยาว x สูง = 628 มม. x 680 มม. x 907.5 มม. ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขนาดของเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ

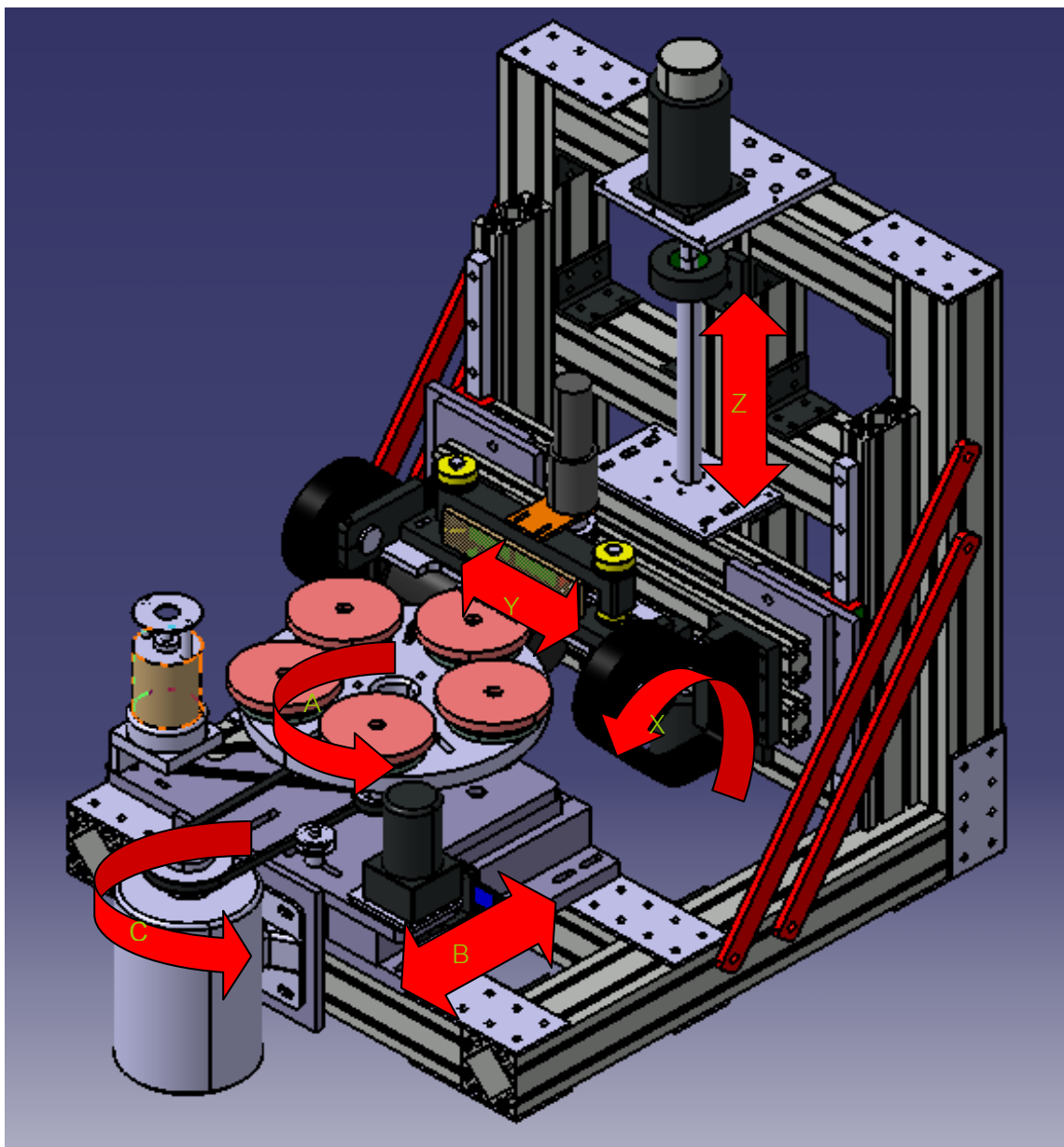
เครื่องเจียระไนพลอยต้นแบบจะใช้จานเจียระไนเป็นจำนวน 3 จานซึ่งอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการขัดผิวพลอยเพื่อให้เกิดความเงางามในแต่ละรอบการเจียระไน ดังนั้นเครื่องเจียระไนพลอยรุ่นที่ 2 นี้จึงได้เพิ่ม จำนวนจานเจียระไนเป็น 5 จาน เพื่อที่จะสามารถใช้ผงขัดได้หลายขนาดมากขึ้น ได้เรียงลงมาตั้งแต่ผงขัดเบอร์ใหญ่ที่สุดลงมาถึงเบอร์เล็กที่สุด ซึ่งจะทำให้ผิวพลอยที่ได้มีความสวยงามยิ่งขึ้น

ขนาดของเครื่องเจียระไนพลอยจะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวน ของจานเจียระไนเป็นหลัก เพราะการใช้จานหลายๆขนาดจะทำให้เนื้อที่การติดตั้งจานอยู่ใกล้กันมาก ทำให้ต้องออกแบบโครงเครื่องจักรให้มีการขยายความกว้างของหน้าเครื่องออกมาจากรุ่นเดิม เพื่อให้มีพื้นที่ติดตั้งพอเพียงกับจานเจียระไนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อได้ทำการพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆที่ต้องใช้ในการสร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติแล้ว สิ่งถัดมาก็คือ การออกแบบ และ วาดแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชั้นสูง (Computer Aided Design:CAD) โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้จะสะดวกต่อ การวาด การตรวจสอบ และการหาจุดบกพร่องของชิ้นงาน ว่ามีการขัดกัน หรือ สวมกันพอดีหรือไม่ รวมทั้งยังสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกที่วาดขึ้น และ นำไปใช้ทำโปรแกรมกัดชิ้นงาน เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริง ( Computer Aided Manufacturing : CAM) ได้อีกด้วย

โดยในปัจจุบันนี้ การออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำได้สะดวกและเป็นมาตรฐานสากลทั่วโลก ซึ่งจะทำให้ เครื่องจักร หรือ ชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบ มีความเที่ยงตรง และแม่นยำสูงสุด เหมาะแก่การนำไปใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆได้เป็นอย่างดี

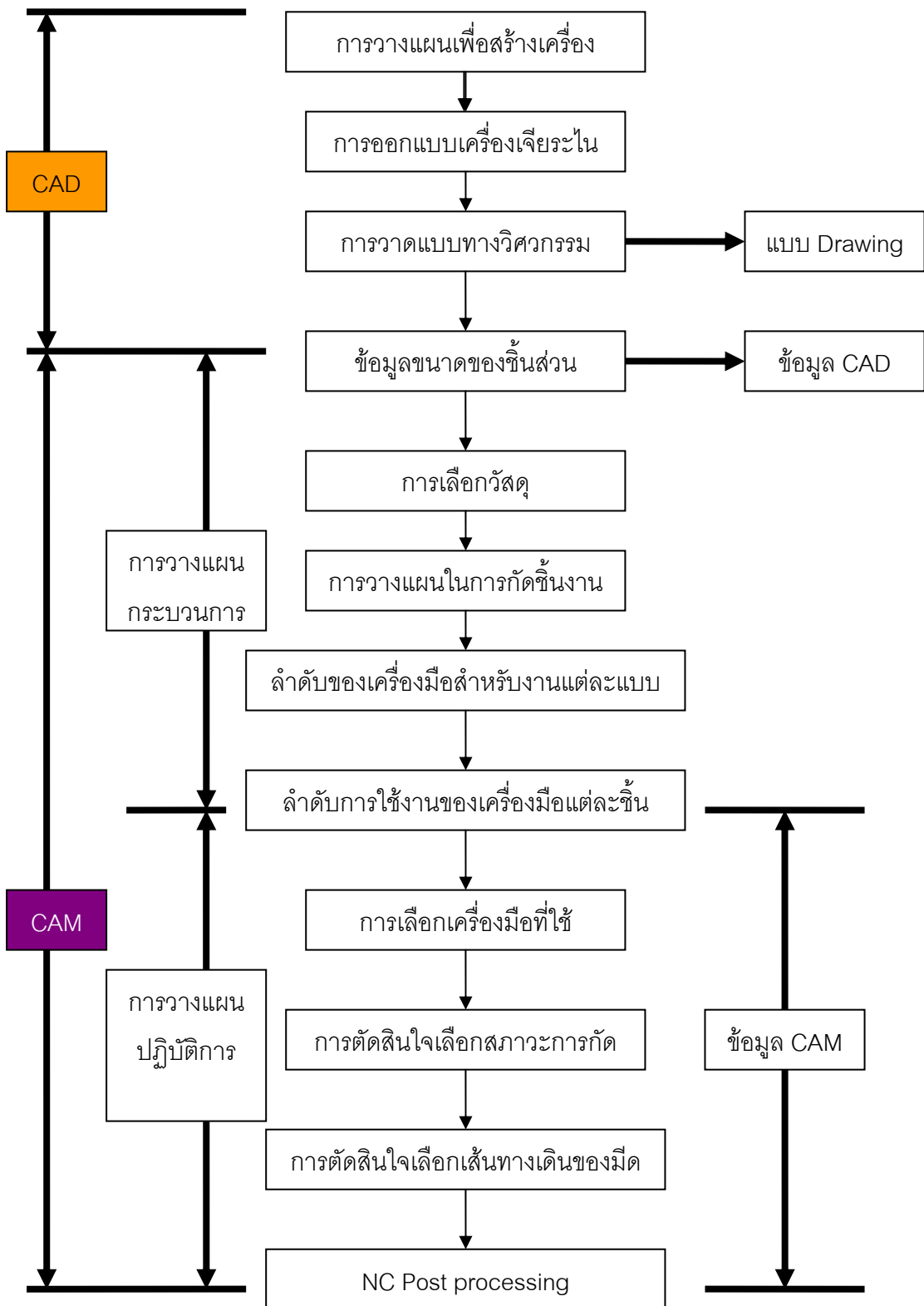




รูปที่ 2.4 CAD MODEL เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 จากโปรแกรม CATIA

จากรูปที่ 2.3 ถึง 2.6 แสดงให้เห็นแกนการทำงานต่างๆของเครื่องเจียระไนพลอย โดยจะเห็นว่า มีแกนที่ถูกควบคุมความแม่นยำจำนวน 4 แกนคือ แกน X, Y, Z, A และ แสดงการวางตำแหน่งของงานเจียระไนซึ่งมีแกน B, และแกน C เป็น แกนที่ใช้โยกงาน และ เป็นแกนที่ใช้หมุนงานเจียระไนตามลำดับ

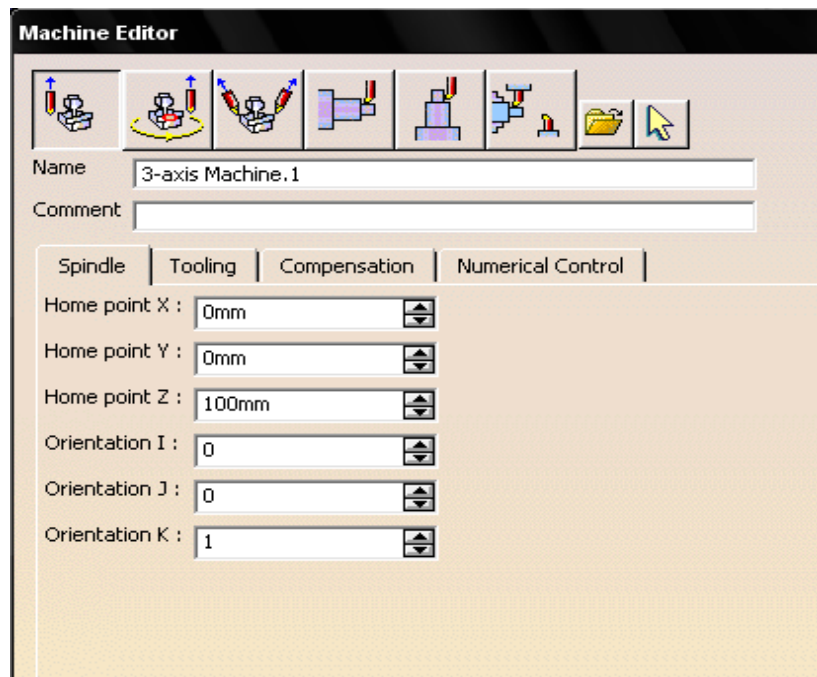
## 2.3 การผลิตเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ



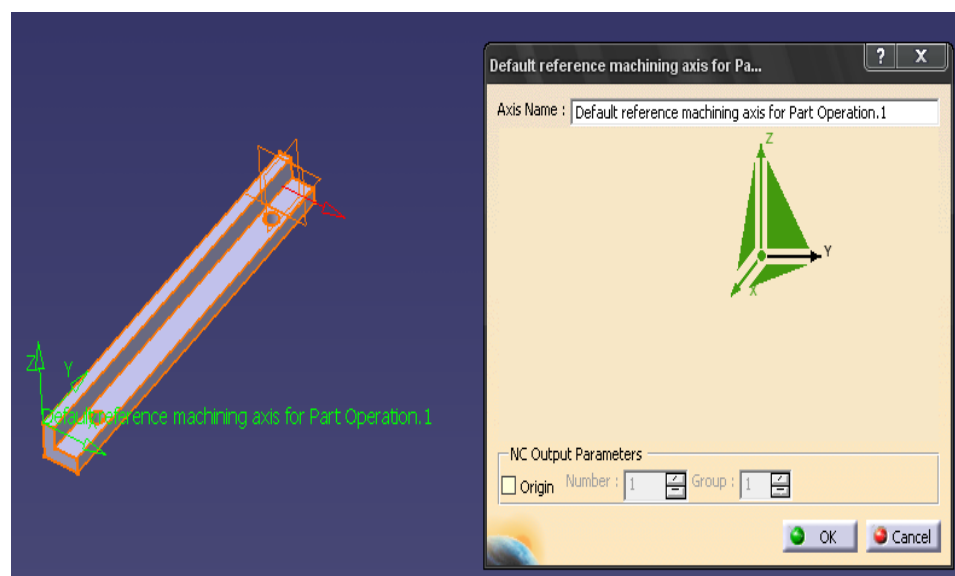
รูปที่ 2.5 กระบวนการส่งผ่านข้อมูลในระบบ CAD/CAM

เมื่อทำการวิเคราะห์ และ ออกแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขั้นสูงแล้ว สิ่งที่ต้องทำต่อไปคือนำชิ้นส่วนที่วาดในโปรแกรมขั้นสูงดังกล่าว มาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริง ผ่านโมดูลที่เกี่ยวกับการขึ้นรูปชิ้นงาน หรือ Machining Module โดยในปัจจุบันโปรแกรมส่วนใหญ่ จะมีโมดูลเหล่านี้ในตัวอยู่แล้ว โดยหลักการทำการขึ้นรูปชิ้นงานผ่านโปรแกรมทำได้ดังนี้คือ

- 1.เลือกชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ และเลือกบริเวณจุดเริ่มต้นของชิ้นงาน (Workpiece Coordinate)

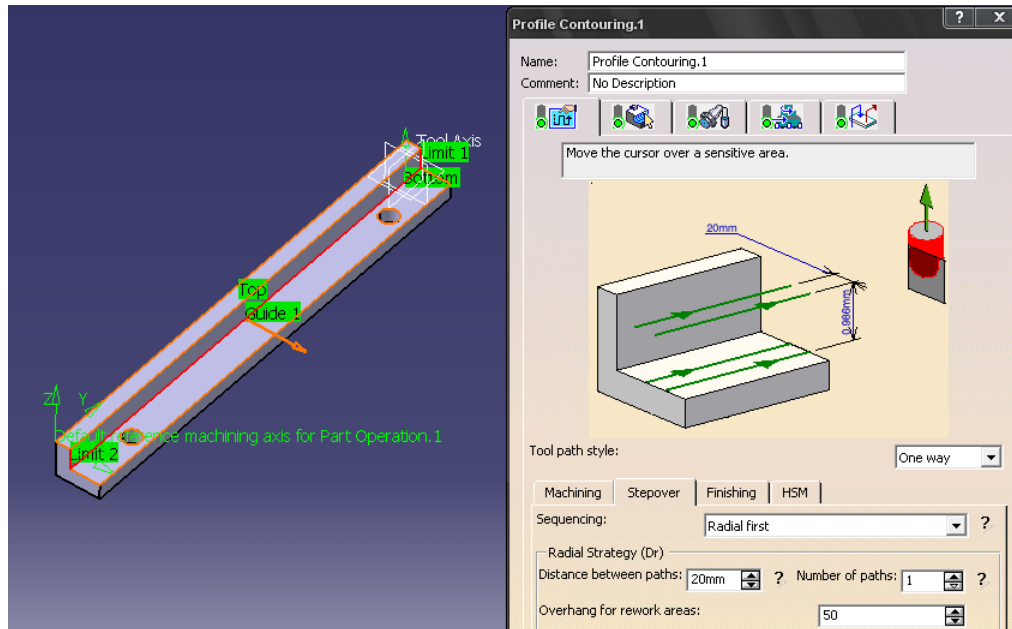


รูปที่ 2.6 การเลือกชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในโปรแกรม CATIA



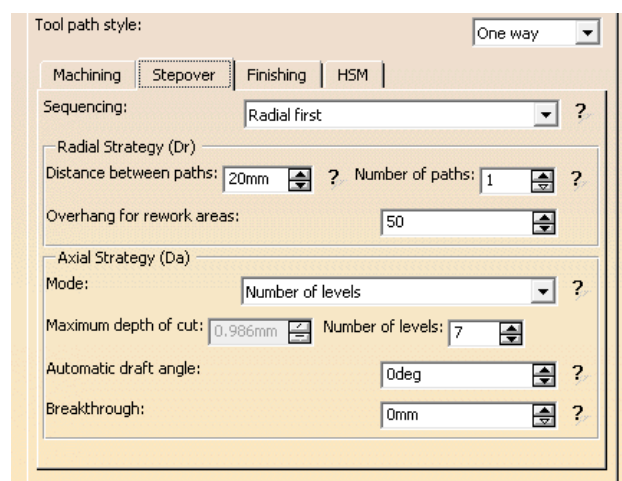
รูปที่ 2.7 การเลือกตำแหน่งจุดเริ่มต้นของชิ้นงาน

2. เลือกลักษณะวิธีการในการตัดเฉือนชิ้นงานเช่น การปาดหน้า (Facing), การตัดเฉือนรอบรูป (Profile Contour), การขุดหลุม (Pocket), การเจาะ (Drilling) เป็นต้น



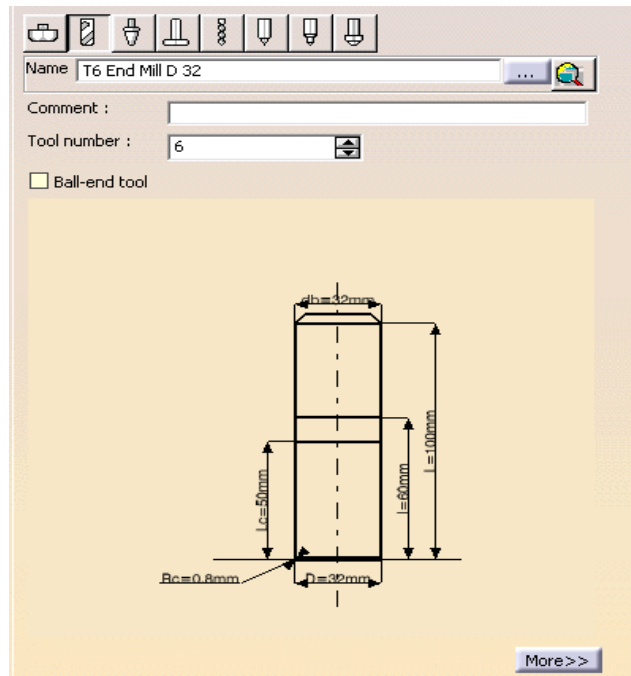
รูปที่ 2.8 การเลือกลักษณะวิธีการในการตัดเฉือนชิ้นงานแบบการตัดเฉือนรอบรูป (Profile Contour)

3. สร้างทางเดินของมีดตัดในโปรแกรม (Build Tool Path) โดยต้องมีการเลือกบริเวณที่จะต้องทำการตัดเฉือนชิ้นงาน และ ต้องพิจารณาว่าในการตัดเฉือนแต่ละครั้งต้องมีความลึกเท่าใด (Axial Depth Of Cut :  $D_a$ ), มีการตัดเฉือนในแนวรัศมี (Radial Depth Of Cut :  $D_r$ ) เป็นที่เปอร์เซ็นต์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด รวมทั้งจำนวนครั้งในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วย



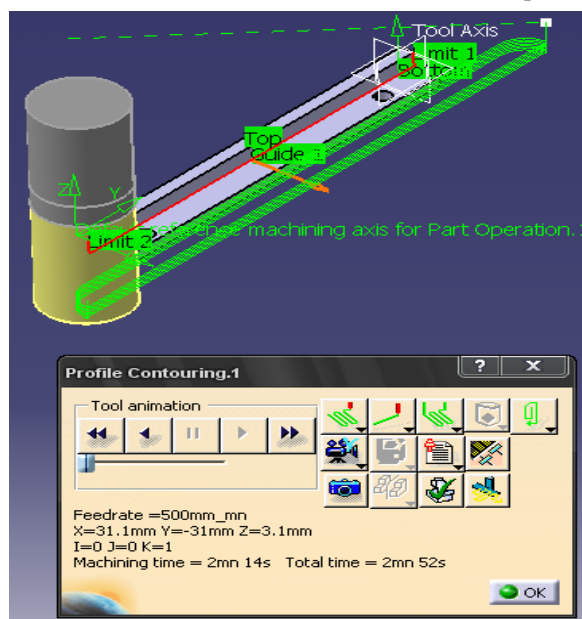
รูปที่ 2.9 การกำหนดค่าต่างๆในการตัดเฉือนชิ้นงาน

4. เลือกชนิดและขนาดของมีดตัดที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงาน เช่น ถ้าต้องการตัดเฉือนรอบรูป (Profile Contour) ควรเลือกมีดตัดเป็นแบบ ดอกกัดหัวแบน (Flat Endmill) หรือ ถ้าต้องการทำการเจาะรูชิ้นงานควรเลือกมีดตัดเป็น ดอกสว่าน (Drill) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.12



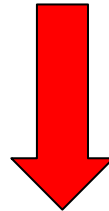
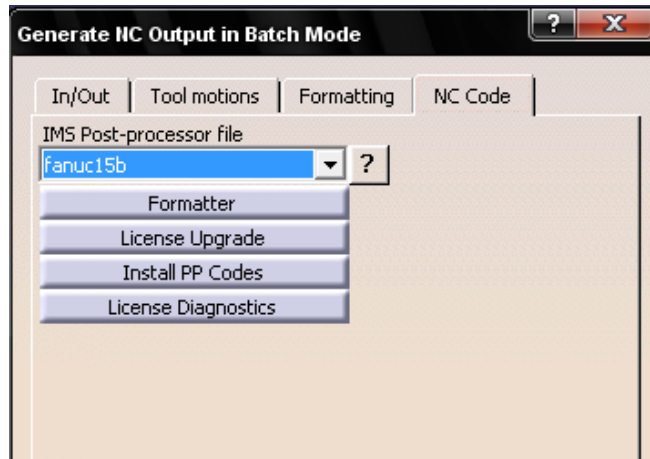
รูปที่ 2.10 การเลือกชนิดและขนาดของมีดตัด

5. จำลองทางเดินของมีดตัดเพื่อตรวจสอบการตัดเฉือนชิ้นงานดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 การจำลองทางเดินของมีดกัด

6. การนำเส้นทางเดินของมีดตัด (Tool Path) มาสร้างเป็น G code, M code โดยผ่านตัวแปลงข้อมูล (Post Processor) โดยจะเก็บ G, M code อยู่ในรูปแบบไฟล์นามสกุล (.TXT)



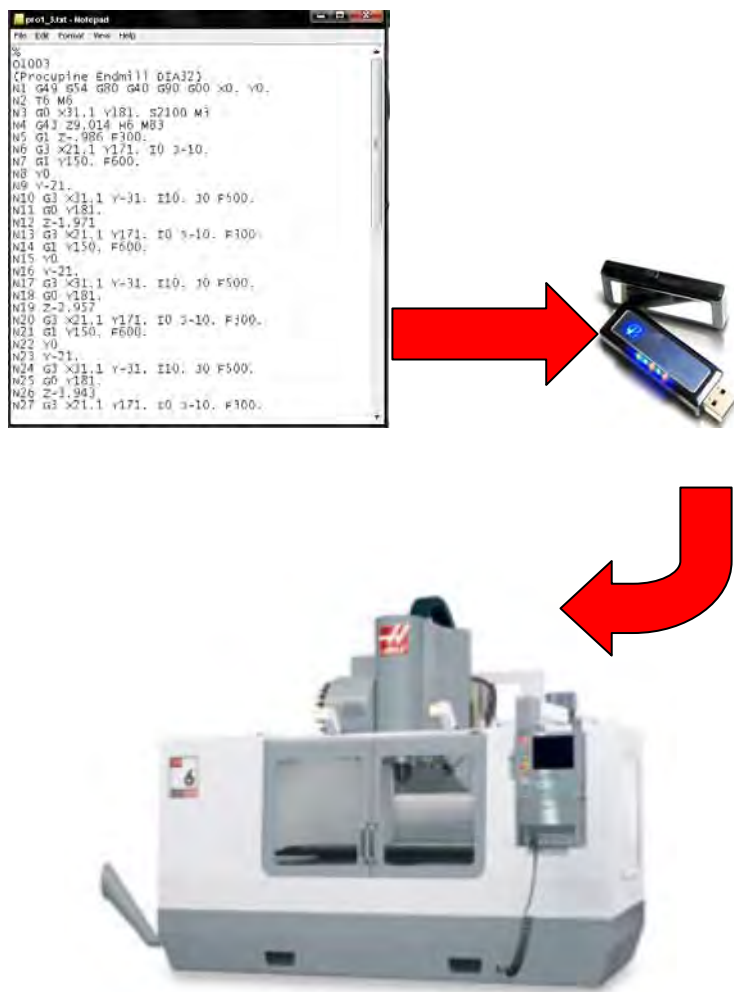
```

prof_3.txt - Notepad
File Edit Format View Help
%
O1003
(Procupine Endmill DIA32)
N1 G49 G54 G80 G40 G90 G00 X0. Y0.
N2 T6 M6
N3 G0 X31.1 Y181. S2100 M3
N4 G43 Z9.014 H6 M83
N5 G1 Z-.986 F300.
N6 G3 X21.1 Y171. I0 J-10.
N7 G1 Y150. F600.
N8 Y0
N9 Y-21.
N10 G3 X31.1 Y-31. I10. J0 F500.
N11 G0 Y181.
N12 Z-1.971
N13 G3 X21.1 Y171. I0 J-10. F300.
N14 G1 Y150. F600.
N15 Y0
N16 Y-21.
N17 G3 X31.1 Y-31. I10. J0 F500.
N18 G0 Y181.
N19 Z-2.957
N20 G3 X21.1 Y171. I0 J-10. F300.
N21 G1 Y150. F600.
N22 Y0
N23 Y-21.
N24 G3 X31.1 Y-31. I10. J0 F500.
N25 G0 Y181.
N26 Z-3.943
N27 G3 X21.1 Y171. I0 J-10. F300.

```

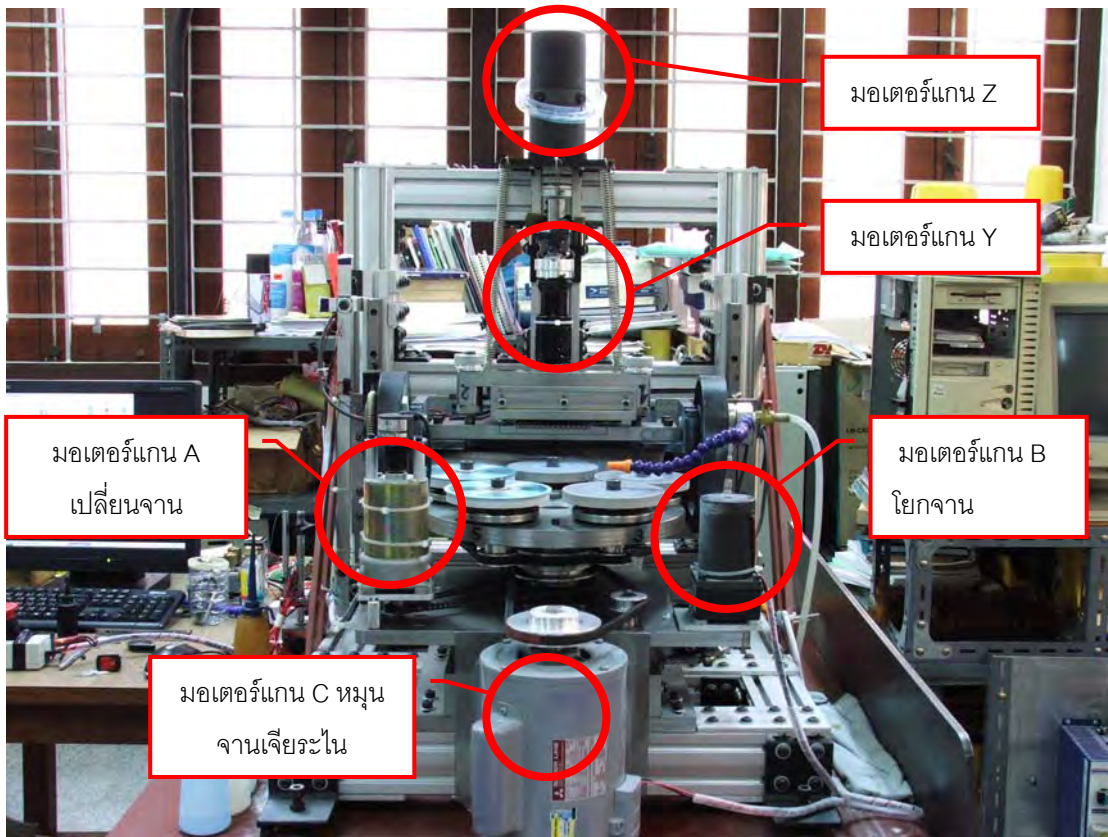
รูปที่ 2.12 การสร้าง G, M code โดยใช้ตัวแปลงข้อมูล (Post Processor)

7. นำ G, M code ที่ได้ไปเข้าเครื่อง CNC โดยใช้วิธีการบันทึกข้อมูลลงในแผ่นดิสก์แล้วส่งโปรแกรมผ่านระบบ DNC (Direct Numerical Control) เข้าไปบันทึกในหน่วยความจำของเครื่อง CNC หรือ ในปัจจุบันนี้เครื่อง CNC รุ่นใหม่ๆ สามารถที่จะรับข้อมูล G , M code จาก USB (Universal Serial Bus) แล้วนำไปบันทึกใส่ ตัวบันทึกข้อมูล (Hard disk) ที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง CNC ได้ทันที

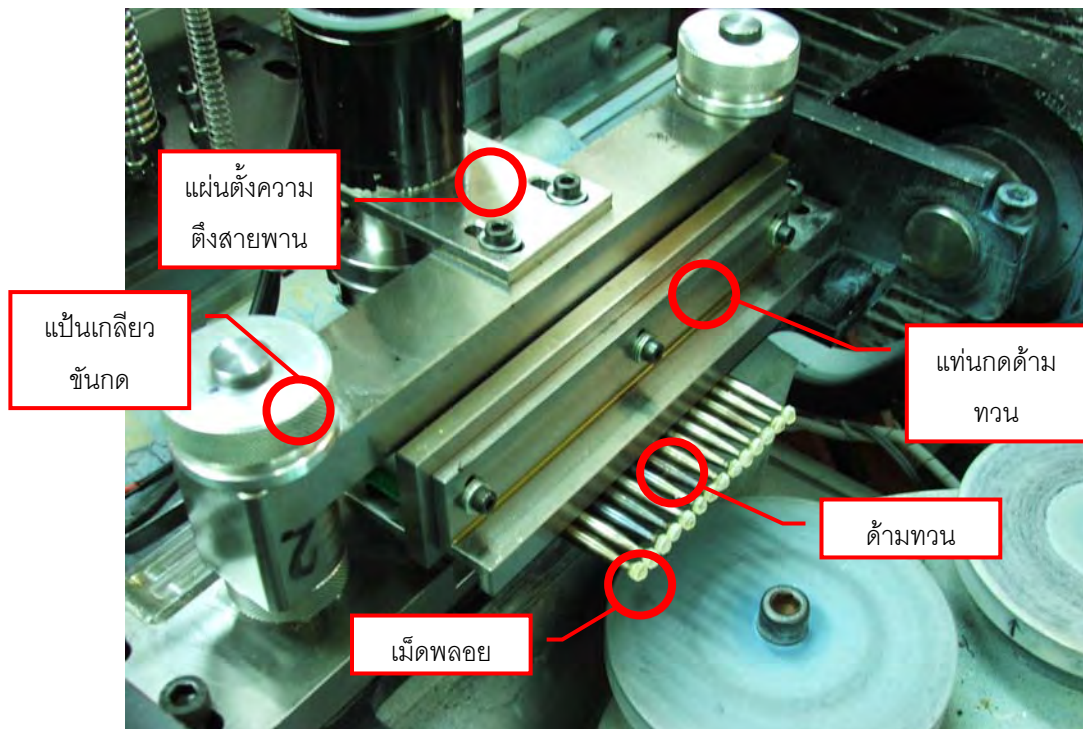


รูปที่ 2.13 การถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังส่วนควบคุมของเครื่อง CNC

หลังจากทำการขึ้นรูปชิ้นงานแล้วก็ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ได้ กับ ชิ้นส่วนต้นแบบที่ได้ ออกแบบไว้ (CAD Model) ว่ามีความคลาดเคลื่อนในช่วงที่ยอมรับได้เท่าไร ถ้าขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ก็เป็นอันเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นจึงนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นเครื่องเจียระไนพลอยได้ดังรูป

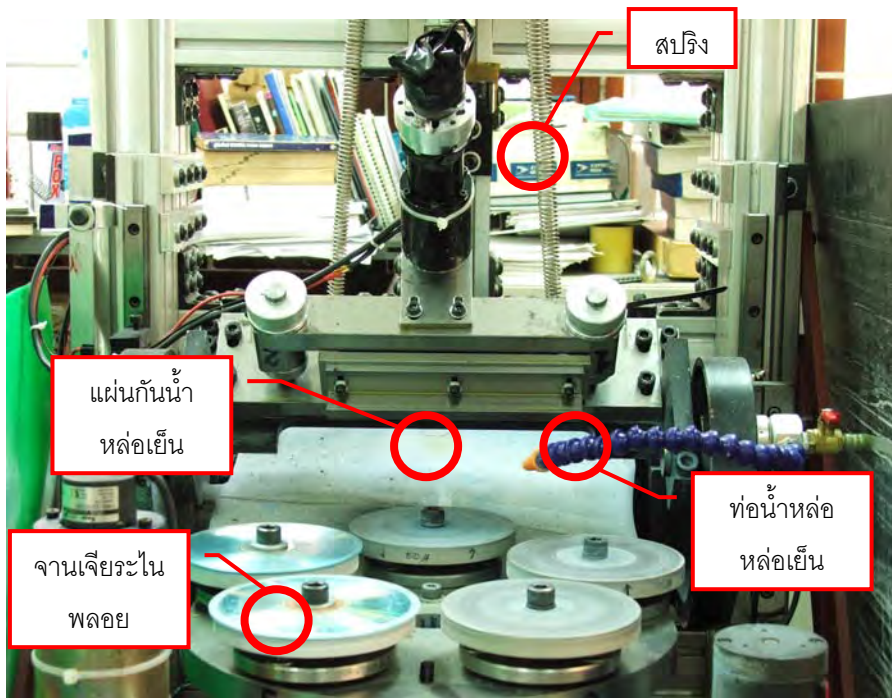


รูปที่ 2.14 การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย

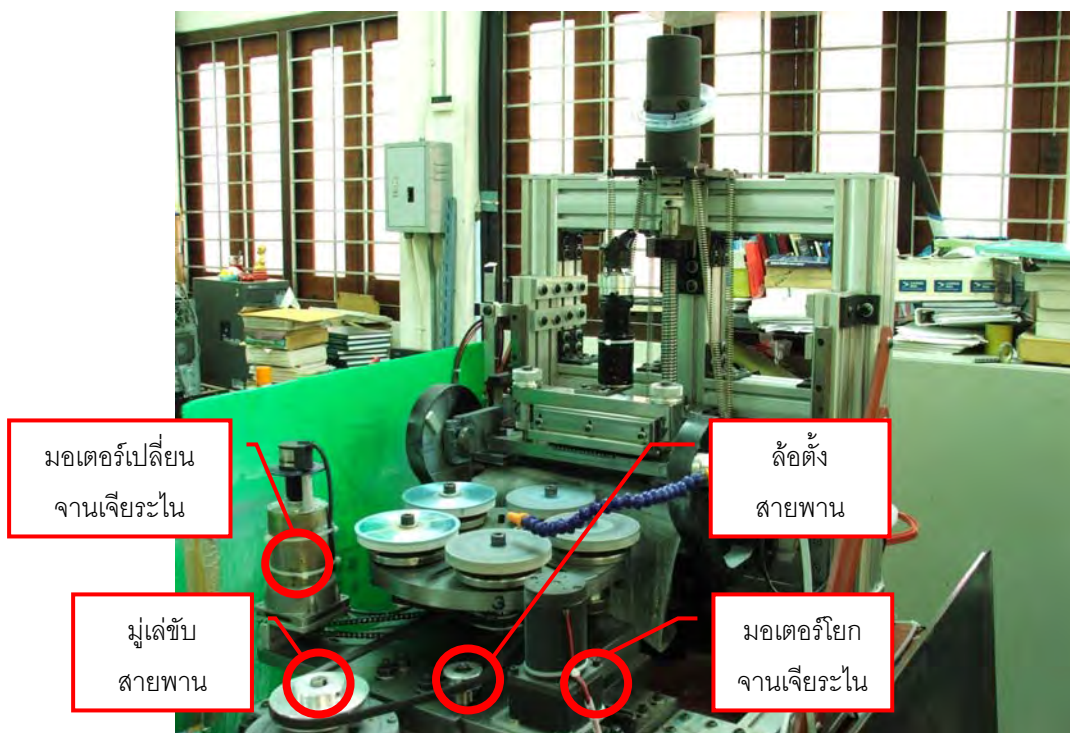


รูปที่ 2.15 การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย (ต่อ)





รูปที่ 2.16 การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย (ต่อ)



รูปที่ 2.17 การนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ทำการขึ้นรูปจากเครื่อง CNC มาประกอบเป็นเครื่องเจียระไนพลอย (ต่อ)

## บทที่ 3

### ขั้นตอนในการเจียรระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการในการเจียรระไนพลอยให้ได้ผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมากในแต่ละครั้งว่ามีวิธีการอย่างไร โดยการเจียรระไนจะมีการทดสอบกับ พลอยดิบหลายๆประเภทที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่นเรื่องความแข็ง หรือมีที่มาแตกต่างกัน เช่น พลอยแท้ (Precious Gem Stone ), พลอยกึ่งสังเคราะห์ (Semi Precious Gem Stone) และ พลอยสังเคราะห์ (Synthetic Gem Stone) รวมถึงการเลือกใช้จานเจียร, จานขัด และ ผงขัดที่เหมาะสมกับพลอยแต่ละชนิด เพื่อให้ผลผลิตพลอยที่เจียรระไนได้แต่ละชนิด มีเหลี่ยม และ มุมที่ถูกต้องตามมาตรฐานสากล

อย่างไรก็ตามการเจียรระไนพลอยด้วยเครื่องเจียรระไนอัตโนมัตินี้ยังต้องอาศัยการขึ้นรูปอย่างหยาบเพื่อให้พลอยดิบมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปร่างตามแบบที่ต้องการ จากเครื่องเจียรระไนแบบพื้นฐานก่อนเพื่อช่วยประหยัดในเรื่องของเวลา ส่วนการขึ้นรูปเหลี่ยม มุม หรือ รูปร่างที่ซับซ้อนแบบสมมาตร และ แบบไม่สมมาตร จะต้องอาศัยเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

การเจียรระไนด้วยเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติสามารถที่จะกำหนดรูปร่างตามมาตรฐาน (Standard Shape) หรือรูปร่างแปลกๆ (Fancy Shape) ที่เป็นรูปร่างสมมาตร หรือไม่สมมาตร ได้ตามต้องการ และเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 จะเน้นไปที่ การเจียรระไนพลอยที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับที่ต้องการผลิตเป็นจำนวนมากเพื่อนำไป ประดับสินค้า เช่น กระเป๋า หรือรองเท้า เป็นต้น

ในการผลิตพลอยเป็นจำนวนมากในคราวเดียวกันจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

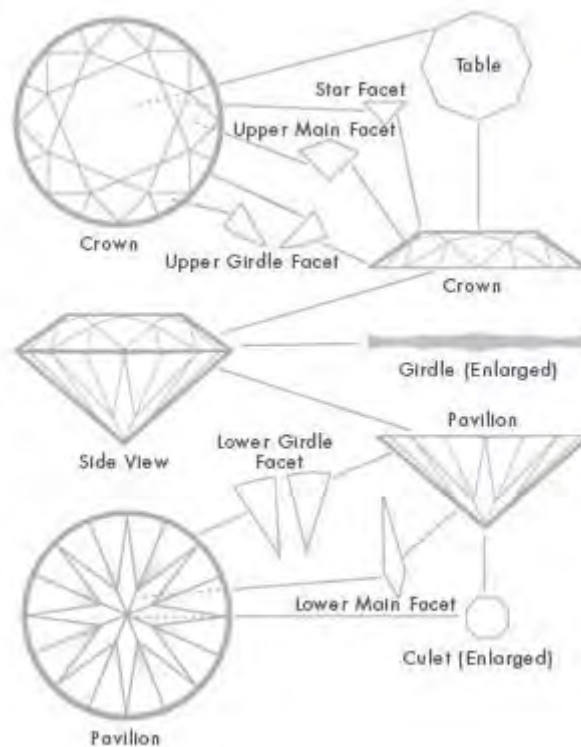
1. ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้จับด้ามทวน (Stone Bearer) อุปกรณ์ที่ต้องใช้จับด้ามทวน (Multiple Stone Bearer) ต้องสามารถจับด้ามทวนได้ที่ละหลายๆในคราวเดียว ซึ่งในเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 นี้สามารถจับด้ามทวนได้พร้อมกันสูงสุดถึง 14 ด้าม ซึ่งพัฒนาจากรุ่นเดิมคือจับได้ครั้งละ 4 ด้าม ช่วยให้การเจียรระไนแต่ละครั้งได้ผลผลิตมากขึ้น

2. จำนวนของจานเจียร (Grinding disc) ยิ่งมีจำนวนจานเจียรระไนมากขึ้น จะช่วยลดเวลาในการติดตั้งจานเจียรระไนลง เพราะไม่ต้องทำการเปลี่ยนจานเจียรระไนบ่อยๆ เมื่อต้องการเจียรระไนพลอยดิบต่างชนิดกัน ซึ่งในเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 นี้ได้เพิ่มจานเจียรระไนเป็น 5 จาน เพิ่มจากเครื่องรุ่นเดิมคือ 3 จานทำให้สามารถลดเวลาติดตั้งจานเจียรลงได้

3. การกลับด้านพลอยที่ได้รับการเจียรไนด้านกันพลอยแล้ว (Pavilion) จะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการกลับด้านพลอยที่ละมากๆได้ในคราวเดียวกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยเตรียมด้ามทวนไว้ 2 ชุดคือ ชุดเจียรไนด้านกันพลอย และ ชุดเจียรไนด้านหน้าพลอย โดยเราจะต้องเจียรไนด้านหน้าพลอยก่อน เมื่อเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงนำด้ามทวนอีกชุดมาวางเพื่อสลบข้างพลอยเพื่อที่จะนำมาเจียรไนด้านกันพลอยอีกครั้ง ซึ่งทำให้เราไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอยหลายๆชุดในการติดตั้ง เพราะมีราคาแพงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์กลับด้านพลอย

### 3.1 หลักการทั่วไปที่ใช้ในการเจียรไนพลอย

การเจียรไนพลอยในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือช่วยในการจับพลอยเพื่อกำหนดมุมกวดที่ต้องการ ทำให้พลอยสัมพันธ์กับหน้าหินเจียรไนด้วยองศาที่ถูกต้อง ซึ่งตัวแปรในการกำหนดมุมกวดต่างๆของการเจียรไนคือ ความลึกในการกวด (Depth of cut :  $h$ ), มุมยก (Elevation angle :  $e$ ), และมุมดรรชนี (Index angle :  $I$ ) ตัวแปรต่างๆทั้งหมดนี้ เป็นสิ่งกำหนดให้เกิดระนาบต่างๆของพลอย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆของพลอยรูปทรงมาตรฐาน [1]

ซึ่งจากรูปที่ 3.1 เป็นรูปทรงมาตรฐานของพลอย ซึ่งจะมีการเรียกส่วนต่างๆของพลอย โดยจะแบ่งเป็นส่วนหลักๆอยู่ 4 ส่วนคือ ด้านหน้ากระดาน (Table), ด้านหน้าพลอย (Crown) ด้านขอบ (Girdle) และด้านหลังพลอย (Pavilion)

ส่วนประกอบหลักๆของด้านหน้าพลอยสามารถแบ่งเป็นส่วนต่างๆได้ดังนี้

1. หน้า Star
2. หน้า Bezel
3. หน้าขอบบน (Upper girdle)

ส่วนประกอบหลักๆของด้านหลังพลอย (Pavilion) สามารถแบ่งเป็นส่วนต่างๆได้ดังนี้

1. หน้าขอบล่าง (Lower girdle)
2. หน้า Pavilion
3. หน้าจุก (Culet)

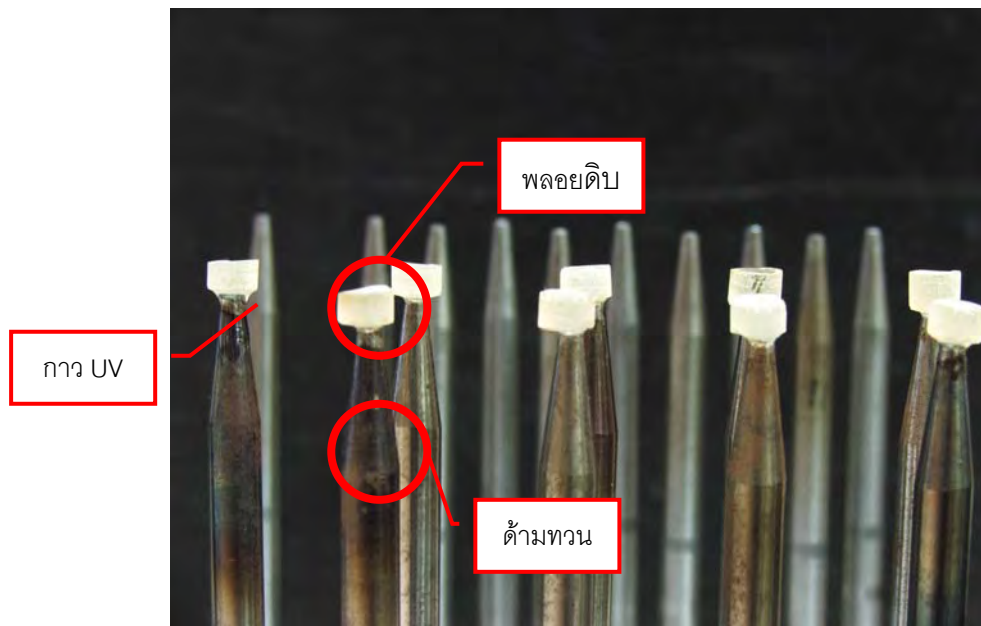
โดยอุปกรณ์ส่วนหัวจับที่ทำการออกแบบ จะควบคุมในส่วนของการเปลี่ยนมุมดรรชนี (Index angle) เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดจำนวนเหลี่ยมของพลอย โดยตัวแปรอื่นๆที่เหลือนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการควบคุม ผ่านโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติในคอมพิวเตอร์

### 3.2 ขั้นตอนในการเจียรระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

ในที่นี้จะอธิบายถึงการเจียรระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติอย่างละเอียด

#### 3.2.1 ขั้นตอนการแยกชนิดและขนาดของพลอยดิบ

เมื่อเราได้พลอยดิบมาแล้ว จะต้องทำการพิจารณา รอยแตก ขนาด และความแข็งแรงของพลอยแต่ละชนิดมาคัดแยกออกจากกัน เพื่อความสะดวกในการเลือกโปรแกรมที่จะสามารถเจียรระไนพลอยได้ถูกต้องสมบูรณ์และสามารถรักษาเนื้อพลอยได้มากที่สุด หลังจากการคัดแยกพลอยแล้ว ให้นำพลอยดิบมาติดบนด้ามแต่งพลอยเพื่อนำไปเจียรระไนขึ้นรูป ให้ใกล้เคียงกับแบบที่ต้องการ



รูปที่ 3.2 ภาพพลอยที่ติดบนไม้จุ่ม

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าพลอยดิบที่ได้คัดสรรมาแล้วจะถูกนำไปติดบนด้ามทวน ด้วยกาวชนิดพิเศษ ซึ่งคุณสมบัติพิเศษของกาวชนิดนี้คือเมื่อกาวได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตจะแข็งตัว และเมื่อได้รับความร้อนจะละลายตัว ทำให้สามารถทำการเลื่อนตำแหน่งของพลอยดิบขณะที่กาวยังไม่แข็งตัวได้ง่าย และ ถ้าเมื่อกาวแข็งตัวแล้วสามารถนำพลอยออกได้ง่ายเมื่อนำไปให้ความร้อน



รูปที่ 3.3 พลอยที่ได้ทำการเจียรขึ้นรูปแล้ว [2]

ในที่นี้เพื่อความสะดวก ถ้าต้องการลดขั้นตอนการคัดแยกชนิดและขนาดของพลอยดิบ ก็สามารถส่งร้านขายพลอยให้ขึ้นรูปพลอยดิบเป็นรูปทรงกระบอกตามขนาดที่ต้องการได้ โดยในที่นี้

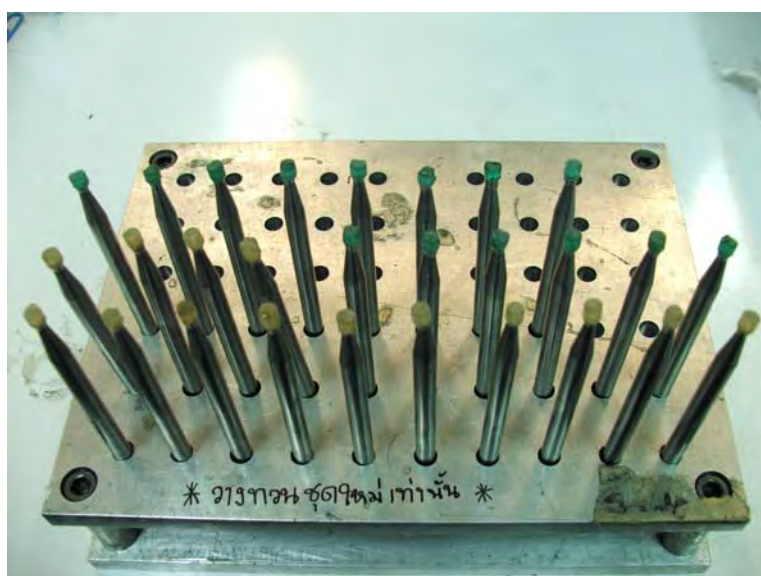
จะเน้นพลอยดิบขนาดเล็ก รูปทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 มม. และมีความหนาขนาด 3 มม. ดังรูปที่ 3.4



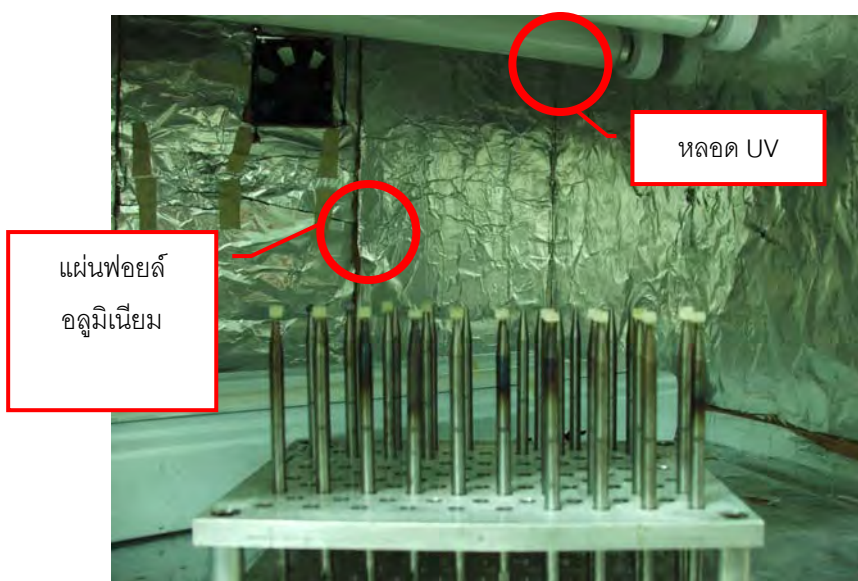
รูปที่ 3.4 พลอยดิบขนาดเล็กรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. หนา 3 มม.

### 3.2.2 ขั้นตอนการติดพลอยเข้ากับด้ามทวน (Stone Bearer) โดยใช้กาว UV

การยึดพลอยดิบเข้ากับด้ามทวนจะใช้กาว UV (Ultra Violet) เป็นตัวประสาน ซึ่งกาว UV จะแข็งตัวเมื่อได้รับแสง UV และมีข้อดีคือจะเสื่อมสภาพเมื่อได้รับความร้อนซึ่งจะทำให้แกะพลอยออกจากด้ามทวนได้ง่ายเมื่อต้องการปรับตำแหน่งของพลอย เมื่อได้ติดกาวที่ทวนเข้ากับพลอยดิบแล้วจะนำไปให้แสง UV ในตู้อบ ซึ่งมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ UV และแผ่นฟอยล์อลูมิเนียมติดตั้งอยู่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงการจึงแข็งตัว ดังรูป 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 การติดพลอยเข้ากับด้ามทวน



รูปที่ 3.6 การนำทวนที่ติดพลอยดิบด้วยกาว UV เข้าสู่ตู้อบ UV

### 3.2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปพลอยเบื้องต้น (Pre-shape Gem Stone)

เมื่อได้พลอยที่ติดกาวเข้ากับด้ามทวนแล้วจะนำด้ามทวนแต่ละแท่งไปเสียบเข้ากับตำแหน่งยึดทวนของเครื่องเจียรระไนพลอยแบบธรรมดา แล้วเจียรระไนขึ้นรูปกับจานเคลือบผงเพชร โดยจะเจียรระไนให้ได้ใกล้เคียงกับองศาของพลอยในแบบที่ต้องการ เพื่อที่จะลดเวลาในการเจียรระไนลงเมื่อทำงานบนเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ ทั้งนี้การขึ้นรูปโดยใช้มืออาจจะทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณเม็ดพลอย ซึ่งต้องมีการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็น (Coolant) เพื่อป้องกันกาวที่ติดพลอยหลุดออก หรือ การแตกร้าวของพลอยได้ดังรูปที่ 3.7

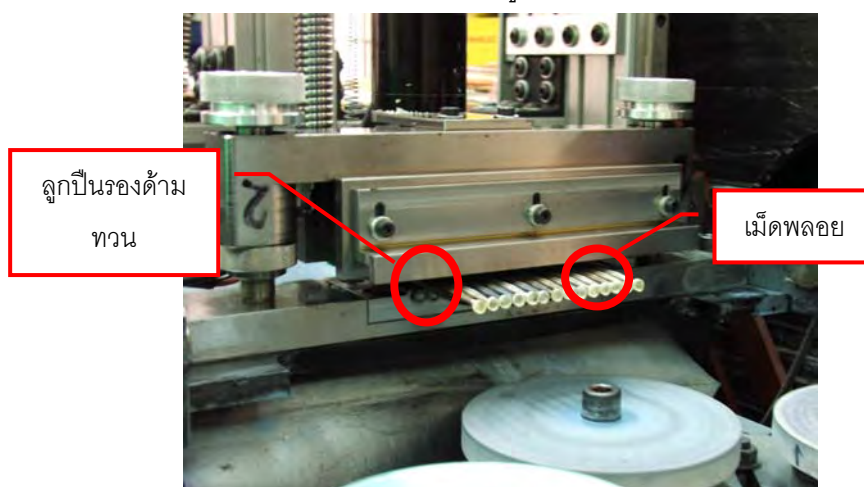
สิ่งที่ต้องระวังในการขึ้นรูปพลอย คือ ต้องระวังไม่ให้เจียรระไนพลอยจนมีขนาดเล็กเกินกว่าแบบที่กำหนด ซึ่งถ้าเจียรระไนเล็กจนเกินไป เมื่อนำไปติดตั้งบนเครื่องเจียรระไนพลอยอัตโนมัติ แล้วทำการเจียรระไนจะทำให้มีขนาดผิดเพี้ยนไปจากแบบ หรือ มีบางเหลี่ยมบางมุมเจียรระไนไม่ถึงทำให้เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 3.7 การขึ้นรูปพลอยเบื้องต้น (Pre-shape) [2]

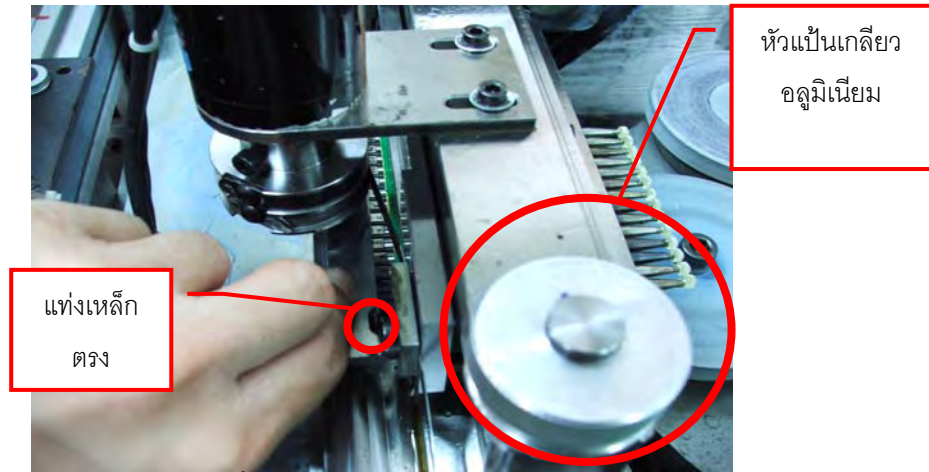
### 3.2.4 ขั้นตอนการใส่ด้ามทวนเข้ากับอุปกรณ์จับด้ามพลอย

อุปกรณ์จับด้ามพลอยที่ใช้ในรุ่นนี้จะสามารถจับด้ามพลอยได้ถึง 14 ด้ามทำให้สามารถเจียรไนพลอยรูปทรงเดียวกันพร้อมๆกันได้ 12-14 เม็ด ขึ้นอยู่กับขนาดของจานเจียรไนและระยะชักของชุดจานเจียรไน ซึ่งการใส่ด้ามทวนติดพลอยทำได้ง่ายเพียงวางด้ามทวนลงลูกปืนขนาดเล็กบนอุปกรณ์จับแล้วตั้งตำแหน่งดรรชนี (Index) ของด้ามทวนให้ตรงกันโดยใช้แท่งเหล็กตรง มาวางพาดไว้ตรงตำแหน่งที่ปากไว้ของด้ามพลอย จากนั้นทำการขันหัวแป้นเกลียวอลูมิเนียมเพื่อกดตัวบีบด้ามพลอยให้แน่น โดยให้ทดลองใช้มือจับบริเวณด้ามทวนว่าแน่นทุกด้ามหรือไม่ ถ้าไม่แน่นต้องขันให้แน่นขึ้นอีก เพื่อป้องกันด้ามทวนหลุดออกมาระหว่างการเจียรไน ในขณะเดียวกันให้ทำการวางแท่งเหล็กที่ป้องกันการแอ่นตัวของด้ามพลอยขณะเจียรไนให้แนบกับด้ามทวน แล้วทำการขันแป้นเกลียวเพื่อล็อกแท่งเหล็กนี้ให้แน่น ดังรูปที่ 3.8 ถึง 3.12 ตามลำดับ

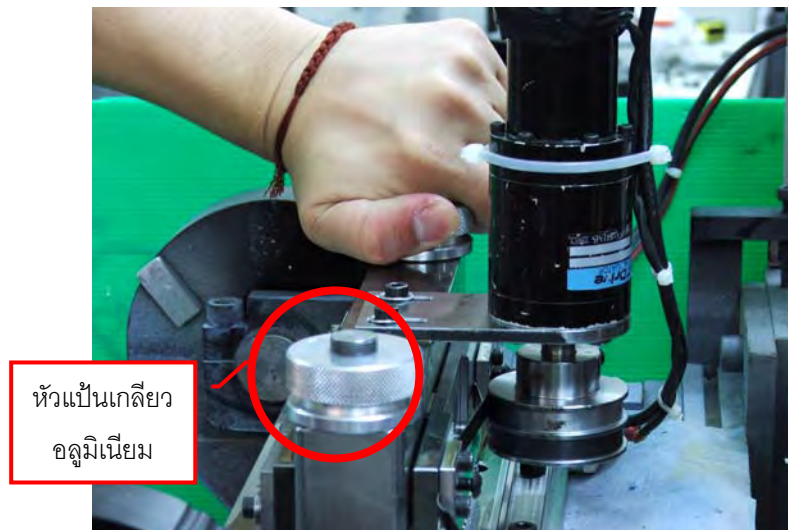


รูปที่ 3.8 การใส่ด้ามพลอยเข้ากับอุปกรณ์จับ





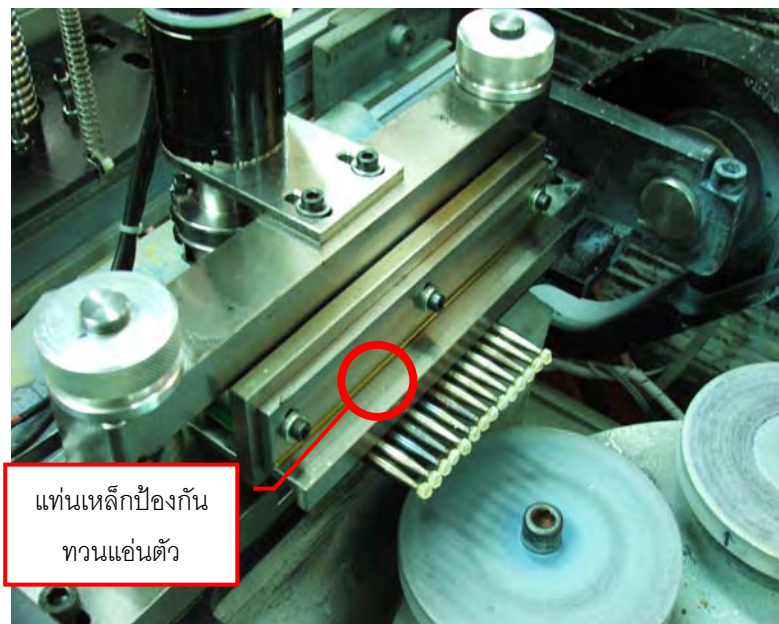
รูปที่ 3.9 การติดตั้งตำแหน่งดรชนี้ ( Index ) ของด้ามทวน



รูปที่ 3.10 ทดลองหมุนแป้นเกลียวเพื่อกดด้ามทวนให้แน่น



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งที่ปากไว้ของด้ามทวน



รูปที่ 3.12 วางแท่นเหล็กให้แนบลงบนด้ามทวนแล้วขันให้แน่น

สำหรับการใช้งานและการบำรุงรักษาอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะอยู่ในภาคผนวก ค

### 3.2.5 ขั้นตอนการเจียรระโนด้านหน้าพลอย (Crown)

เริ่มทำการเดินโปรแกรมการเจียรระโนพลอย ซึ่งในเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 นี้จะใช้จานเจียรระโนเป็นจำนวน 5 จาน โดยจานแต่ละจานจะมีหน้าที่ต่าง ๆ กันดังนี้

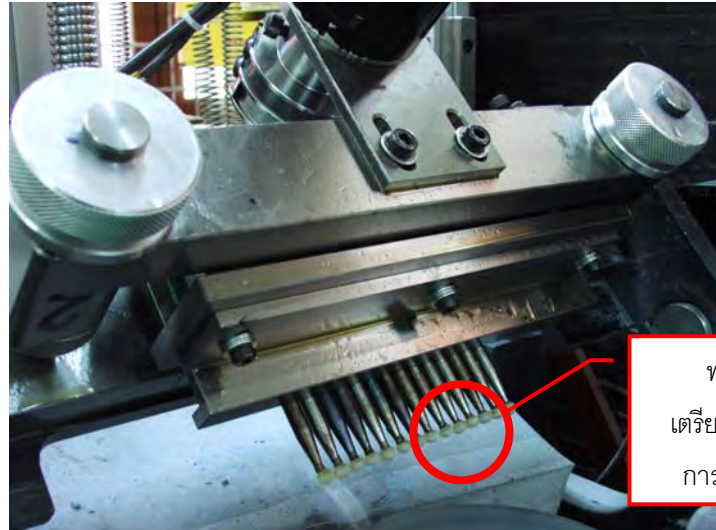
จานที่ 1, 2, 3 เป็นจานเพชรเบอร์หยาบไล่เรียงเบอร์จากหยาบมาก (เบอร์ 500) ไปจนถึงหยาบน้อย (เบอร์ 1200) ซึ่งจะทำหน้าที่ขึ้นเหลี่ยมของพลอยดิบที่ Pre-shape มาแล้วให้ครบทุกเหลี่ยม ทุกมุม ตามโปรแกรม ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องมีการเปิดน้ำหล่อเย็นคอยเลี้ยงเม็ดพลอยเอาไว้ด้วย เพื่อป้องกันเม็ดพลอยหลุดออกมาจากด้ามทวนและช่วยไม่ให้เม็ดพลอยแตกเนื่องมาจากความร้อน

จานที่ 4 เป็นจาน CD ซึ่งจะเคลือบผงเพชรหยาบเอาไว้ เพื่อทำการขัดเหลี่ยมที่เกิดจากการขึ้นเหลี่ยมให้ครบทุกเหลี่ยม โดยจะต้องมีการทาครีมเคลือบผงเพชรไว้ที่จานเจียรด้วยครีมผสมกับ ผงเพชรละเอียดขนาด 6 ไมครอน เรียกว่าเป็นการขัดลบรอย (Pre-Polish) ก่อนที่จะไปขัดละเอียดอีกครั้ง

จานที่ 5 เป็นจาน CD ซึ่งจะเคลือบผงเพชรละเอียด ซึ่งจะทาครีมผสมผงเพชรแบบละเอียดมาก ซึ่งมีขนาดของผงเพชรละเอียดขนาด 1 ไมครอน เพื่อที่จะลบรอยให้ผิวมีความเงางาม เรียกว่าเป็นการขัดขึ้นเงา (Polish) โดยบางครั้งถ้าทำการเจียรระโนพลอยเนื้อแข็ง ขณะทำการขัดจะต้องมีการหยดน้ำหล่อเย็นผสมผงขัดละเอียดเพื่อช่วยให้เกิดความเงางามขึ้นอีกด้วย

โดยงานเจียรระโนจะหมุนเปลี่ยนงานเองโดยอัตโนมัติเริ่มจากงานหยาบไปจนถึงงานขัด ซึ่งสั่งการในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อเจียรระโนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำด้ามพลอยออกมาทำการกลับข้างเพื่อเจียรระโนด้าน ก้นพลอยต่อไป



พลอยที่  
เตรียมพร้อมใน  
การเจียรระโน

รูปที่ 3.13 การเจียรระโนหยาบ



รูปที่ 3.14 พลอยที่ได้รับการเจียรระโนด้านหน้าพลอย (Crown) แล้ว



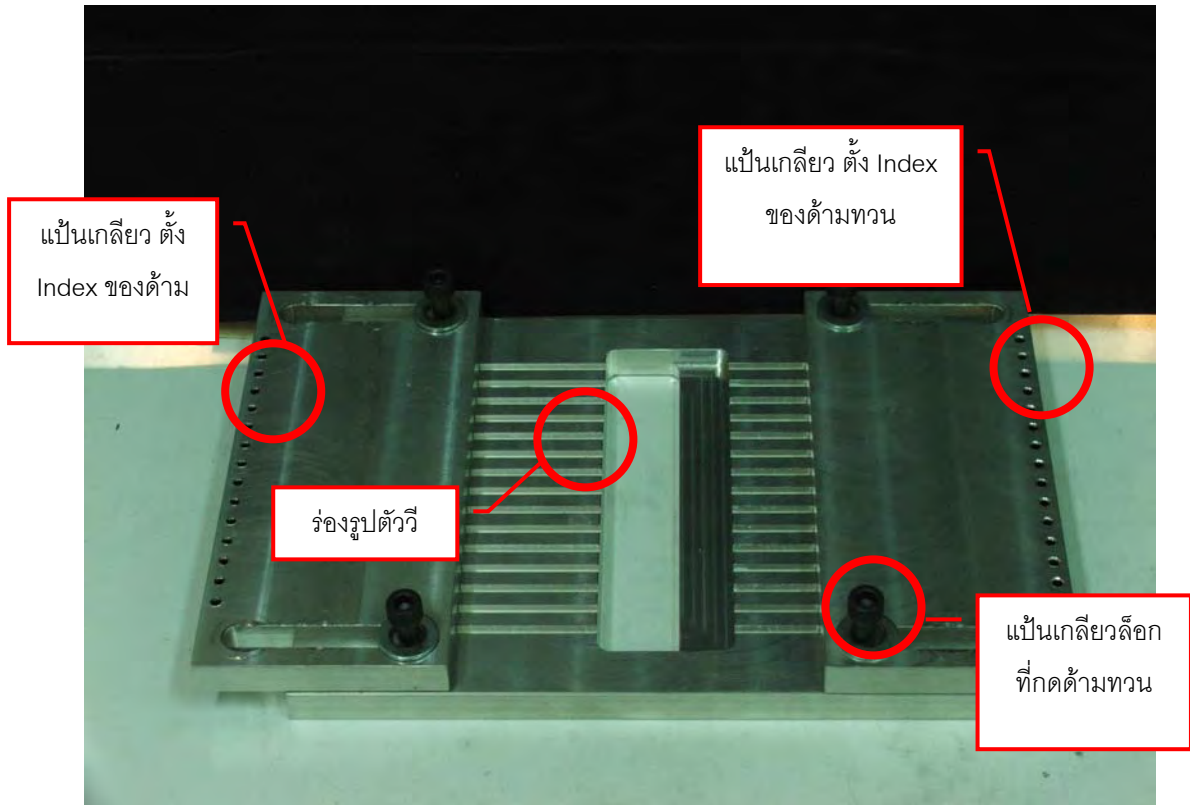
รูปที่ 3.15 พลอยที่ได้รับการเจียระไนด้านหน้าพลอย (Crown) แล้ว (ต่อ)

### 3.2.6 ขั้นตอนการกลับด้านพลอย

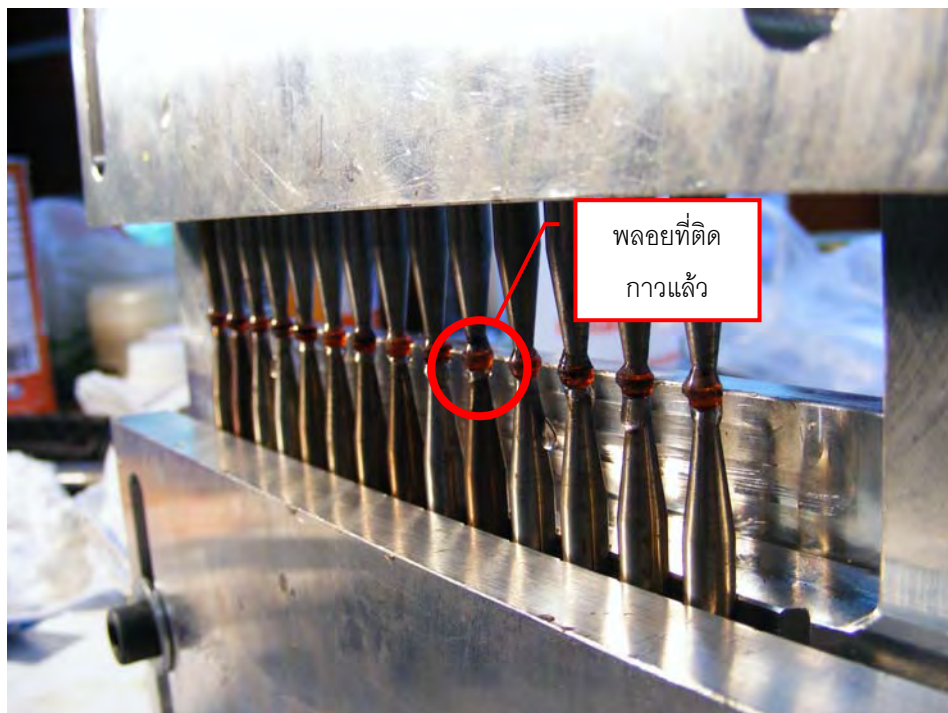
เมื่อทำการเจียระไนด้านหน้าพลอยเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำด้ามทวนเหล่านี้ไปทำการกลับด้านด้วยอุปกรณ์กลับด้านพลอยซึ่งมีหลักการคือ จะต้องมีการล็อกตำแหน่งมุมดรชนีของด้ามทวนที่ติดพลอยแล้วกับตำแหน่งดรชนีของด้ามทวนเปล่าให้ตรงกัน เพื่อให้การเจียระไนด้านหน้าพลอย สามารถกำหนดตำแหน่งดรชนีเริ่มต้นที่เดียวกัน

ในที่นี่การกลับด้านพลอยจะใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการกลับด้านพลอยดังรูปที่ 3.16 ในที่นี่จะสามารถกลับด้านพลอยได้ครั้งละ 14 ด้าม ซึ่งจะสามารถรักษาระยะอ้างอิงของด้ามทวนให้คงที่เสมอ

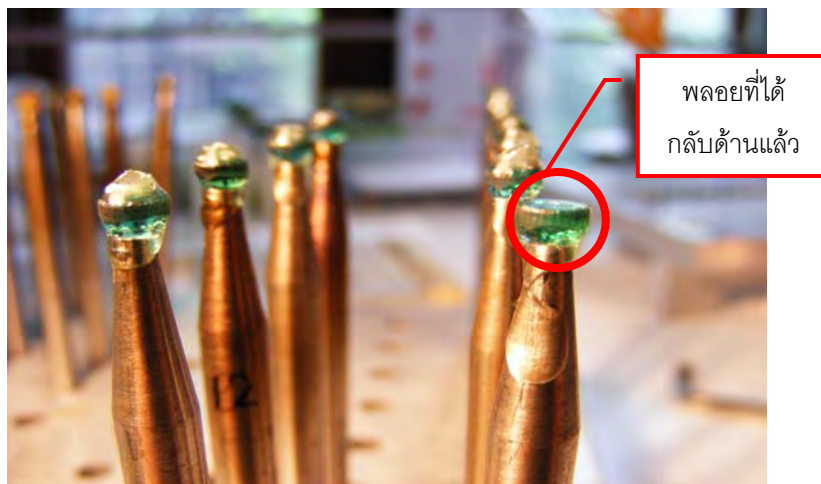
วิธีการกลับด้านพลอยคือ นำด้ามทวนที่ติดพลอยที่ได้เจียระไนด้านหน้าพลอยมาเรียบร้อยแล้ว วางในตำแหน่งที่ปากเอาไว้ในร่องเป็นรูปตัววี จากนั้นนำด้ามทวนเปล่าซึ่งมีการทากาวไว้ที่ปลายทวนมาวางชนกับตำแหน่งของพลอยที่ได้รับการเจียระไนด้านหน้าพลอยแล้ว และทำการปรับระยะของด้ามทวนให้เหมาะสมโดยการล็อกตำแหน่งดรชนีของด้ามทวนที่ติดพลอยแล้ว กับด้ามทวนเปล่าให้ตรงกัน จากนั้นนำไปเข้าตู้อบ UV เพื่อให้กาวแข็งตัวพอที่จะยึดพลอยด้านหน้าพลอย (Crown) ไว้ดังรูปที่ 3.17 ถึง 3.18



รูปที่ 3.16 อุปกรณ์กลับด้านพลอย



รูปที่ 3.17 ด้ามพลอยที่ติดกาว รอการเข้าตู้อบ UV



รูปที่ 3.18 ด้ามพลอยที่ได้รับการกลับด้านแล้ว

เมื่อกาวแห้งตัวจะนำด้ามทวนซึ่งติดกาวเรียบร้อยแล้วแต่ละด้ามมาให้ความร้อนด้วยการลนไฟจากเตาแก๊สที่บริเวณปลายทวนของด้านที่ยังไม่ได้เจียรระไน เป็นเวลาประมาณ 20 วินาที เพื่อให้กาวทางด้านที่ยังไม่ได้เจียรระไนหลุดออก แต่ต้องระวังไม่ให้กาวด้านหน้าพลอยหลุดออกมาด้วย ขั้นตอนสุดท้ายก็คือทำความสะอาดพลอยที่ได้รับการกลับด้านแล้วด้วยการใช้มีด หรือ คัตเตอร์ ปาดเศษกาวออกจากพลอย

### 3.2.7 ขั้นตอนการขึ้นรูปเบื้องต้น Pre-shape ด้านกันพลอย (Pavilion)

วิธีการเจียรระไนด้านกันพลอยจะเหมือนกับด้านหน้าพลอย คือต้องทำการขึ้นรูปใกล้เคียง (Pre-shape) ก่อน แต่จะต่างกันในเรื่องมุมยกที่ใช้ในการเจียรระไน จากนั้นนำพลอยที่ Pre-shape แล้วไปยึดเข้ากับอุปกรณ์จับด้ามพลอยด้วยวิธีการเดียวกับการเจียรระไนด้านหน้าพลอย เพื่อรอการเจียรระไนด้านกันพลอยต่อไป

### 3.2.8 ขั้นตอนการเจียรระไนด้านกันพลอย (Pavilion)

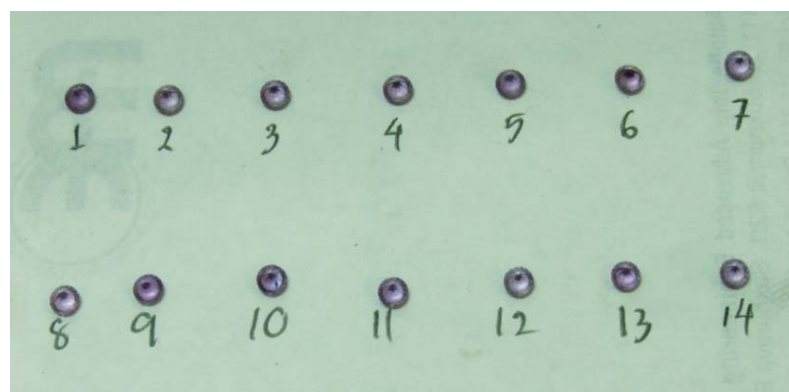
การเจียรระไนด้านกันพลอยจะทำในทำนองเดียวกันกับการเจียรระไนด้านหน้าพลอย คือเมื่อเรียงด้ามลงในตำแหน่งยึดเรียบร้อยแล้วให้ทำการกำหนดตำแหน่งดรรรชนีของด้ามทวนทุกด้ามให้ตรงกัน จากนั้นก็ทำการเริ่มโปรแกรม ซึ่งการเจียรระไนด้านกันพลอยนี้จะต่างกับด้านหน้าพลอยตรงส่วนโปรแกรมในการเจียรระไนเท่านั้น ซึ่งจะเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเจียรระไนด้านกันพลอย (Pavilion) ที่มีทั้งการเจียรระไนหน้าขอบต่ำ (Lower Girdle) และเหลี่ยมแซมต่างๆ ทั้งหน้าจุก (Culet), Pavilion facet



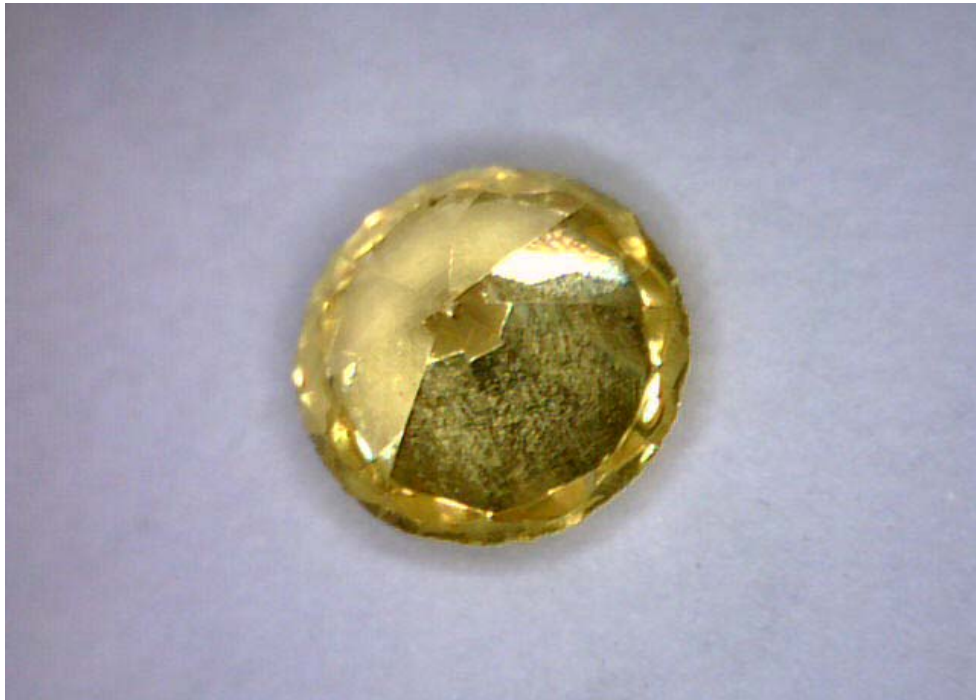
รูปที่ 3.19 ฟลอยที่ได้รับการเจียรระไนด้านก้นฟลอยแล้ว

### 3.2.9. ขั้นตอนการนำด้ามฟลอยออกมาทำความสะอาด

เมื่อเจียรระไนฟลอยครบทั้งด้านหน้าฟลอย (Crown) และด้านก้นฟลอย (Pavilion) แล้วให้นำด้ามทวนที่มีฟลอยที่เจียรระไนเสร็จแล้วออกมาจากอุปกรณ์จับด้ามฟลอย จากนั้นมาให้ความร้อนที่บริเวณปลายด้ามทวน แต่ต้องระมัดระวังเรื่องความร้อนที่จะโดนตัวฟลอยเพราะอาจทำให้ฟลอยมีการเสื่อมสภาพ จากนั้นให้แกะฟลอยออกจากด้ามทวน ก็เป็นอันเสร็จสมบูรณ์ โดยฟลอยที่ได้นี้อาจจะนำไปทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ให้น้ำยาล้างจานมาเจือจางกับน้ำเปล่าแล้วนำมาต้มบนเตาแก๊สแล้วให้นำฟลอยจุ่มลงไป เพื่อที่จะทำให้เช็ดคราบขาวออกได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 3.20 การเรียงลำดับฟลอยตามตำแหน่งของด้ามทวนที่ติดตั้งบนอุปกรณ์จับด้ามฟลอย



รูปที่ 3.21 พลอยที่ได้รับการทำความสะอาดแล้ว



รูปที่ 3.22 พลอยที่ได้รับการทำความสะอาดแล้ว (ต่อ)



### 3.3 เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการเจียรไนพลอย

เวลาที่ใช้ในการเตรียมการเจียรไนพลอยโดยใช้แรงงานเพียง 1 คน ในการทำการทดสอบการเจียรไนพลอย 1 ชุดจะใช้เวลาโดยประมาณ ดังข้อมูลต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการเจียรไนพลอย

ขั้นตอนในการเจียรไน	เวลาที่ใช้	
	ชม	นาที
การติดพลอยโดยใช้กาว UV ใช้เวลาทั้งสิ้น	0	4.32
เข้าตู้อบUV	1	0
การ Preshape หน้า crown ใช้เวลาทั้งสิ้น	0	4.05
นำพลอยไปเจียรไนบนเครื่องเจียรไน หน้า Crown	0	N/A
การกลับด้านพลอยใช้เวลาทั้งสิ้น	0	9.37
เข้าตู้อบUV	1	0
การ Preshape หน้า pavilion ใช้เวลาทั้งสิ้น	0	4.5
นำพลอยไปเจียรไนบนเครื่องเจียรไน หน้า Pavilion	0	N/A
การแกะกาวออก	0	5
การทำความสะดวกพลอยใช้เวลาทั้งสิ้น	0	5
รวมเวลาที่ไม่รวมขั้นตอนการเจียรไนพลอย	1ชม.33นาที 49 วินาที	

#### หมายเหตุ

1. สำหรับช่องที่มีเครื่องหมาย N/A แสดงว่าสำหรับเวลาในการเจียรไนพลอยหน้า Crown และ Pavilion จะขึ้นอยู่กับรูปทรงของพลอยที่จะทำการเจียรไน ถ้าพลอยมีรูปทรงที่มีเหลี่ยม หรือ มุมมาก ก็จะทำให้เวลาที่ใช้ในการเจียรไนพลอยมากขึ้นตามไปด้วย

## บทที่ 4

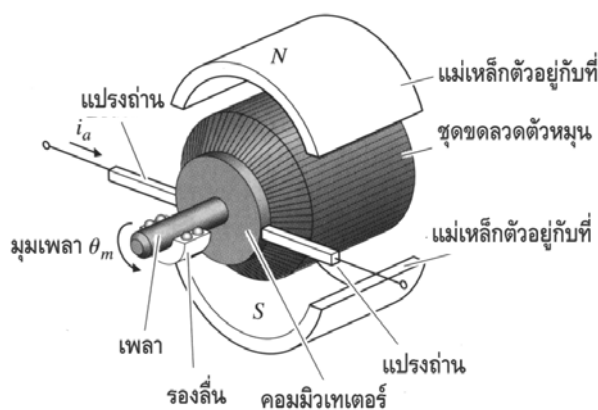
### หลักการทํางานของระบบควบคุมชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอย

ในการควบคุมอุปกรณ์ทางกลใดๆที่ต้องการให้มีการเคลื่อนที่ ส่วนใหญ่หรือแทบทั้งหมด จะต้องมีการส่งกำลังจากมอเตอร์เป็นหลัก ซึ่งการเลือกใช้ชนิดของมอเตอร์แบบใดๆ จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานหรืออุปกรณ์ที่จะใช้ เช่น ถ้าต้องการขับเคลื่อนการหมุนของหินเจียรระโน ก็ควรจะต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง เพื่อที่จะทำให้มีแรงบิดพอเพียงที่จะทำการเจียรระโนชิ้นงาน ซึ่งมอเตอร์ประเภทนี้ไม่ต้องการการควบคุมความแม่นยำ ต้องการเพียงกำลังในการขับเคลื่อนเท่านั้น หรือ ถ้าต้องการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ซึ่งต้องการความแม่นยำสูง ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรเป็นเรื่องที่สำคัญมาก การเลือกใช้มอเตอร์แบบมีเอนโคเดอร์ (Servo Motor) จะสามารถควบคุมความแม่นยำของการเคลื่อนที่ได้ดีกว่า

ในงานวิจัยชิ้นนี้ การควบคุมชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอย จะใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนกลไกที่พาด้ามทวนให้หมุนไปตามมุมตรวจชิ้นที่ต้องการ ซึ่งการควบคุมต้องเลือกตัวควบคุมให้เหมาะสมกับระบบ ซึ่งหลักการเลือกขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ ว่ามีขอบเขตการใช้งานอยู่ในช่วงใด ต้องการผลตอบสนองที่มีความเร็วเท่าไร ต้องการค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวเท่าไร เป็นต้น ทั้งนี้จะกล่าวรวมถึงทฤษฎีการควบคุมเบื้องต้นประกอบการพิจารณาเข้าไปด้วย ดังนั้นเราจะมาพิจารณาหลักการทํางานของเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงได้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ระบบการทํางานของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นปัจจุบันจะมีส่วนประกอบที่ต้องใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง อยู่หลายส่วนทั้งทางแกน X, Y, Z และ แกน A เพราะต้องมีการควบคุมความแม่นยำของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ โดยส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบต่างๆภายในของเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง

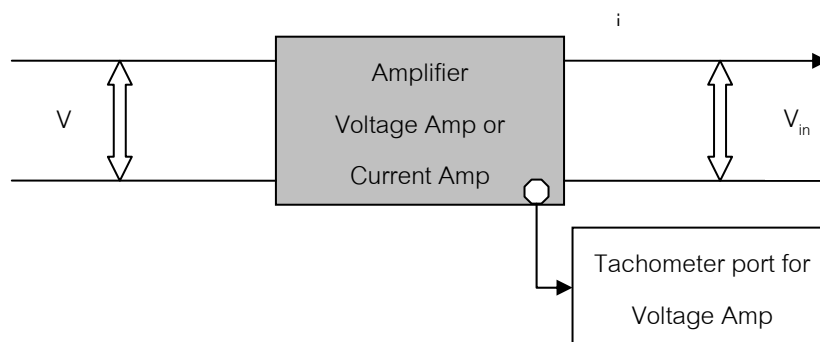
## 4.2 อุปกรณ์ขยายกำลังงาน (Power Amplifier) ที่ใช้กับมอเตอร์

อุปกรณ์ขยายกำลังงาน (Power Amplifier) ที่ใช้กับมอเตอร์จะทำหน้าที่ให้พลังงานกับตัวมอเตอร์ บางครั้งเราจะเรียกว่า Motor Driver, Motor Controller เป็นต้น จะเห็นว่าในแบบจำลองทางพลศาสตร์ (Dynamic Model) ของมอเตอร์มีส่วนของแรงดันย้อนกลับ (Back Emf, Electromotive Force) ค่าแรงดันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากขดลวดหมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็กทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับแรงดันที่เราจ่ายให้กับมอเตอร์ ค่าแรงดันย้อนกลับของตัวมอเตอร์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องนี้ทำให้ระบบดูซับซ้อนขึ้น และจะใช้ในกรณีที่ตัวขยายกำลังงานหรือ Power Amplifier เป็นชนิดตัวขยายกำลังงานแบบใช้งานทั่วไป (General Purposed Amplifier) แต่ในกรณีที่เราใช้ชุดขับหรือขยายกำลังที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว (DC Servo Motor) ส่วนใหญ่แล้วจะออกแบบมาให้เราสามารถเลือกโหมด (Mode) ของการทำงานได้ 2 แบบ คือแบบ Voltage Amplifier และ Current Amplifier ทั้งสองแบบนี้มีลักษณะการใช้งานแตกต่างกันกล่าวคือ ในกรณีของ Voltage Amplifier จะใช้กับมอเตอร์ที่มีตัววัดรอบหรือมี Tachometer ติดตั้งมาด้วย และ ชุดขับมอเตอร์หรือตัวขยายกำลังไฟฟ้าจะมีช่องสำหรับต่อสัญญาณจากตัว Tachometer ของมอเตอร์เพื่อใช้สำหรับทำการชดเชย (Compensate) กับสัญญาณแรงดันย้อนกลับ (Back Emf Voltage) สมการตรงขดลวดของมอเตอร์ที่ใช้กับโหมดการทำงานแบบ Voltage Amplifier สามารถเขียนได้ดังนี้

$$V_{in} - K_e \omega + K_e \omega = L \frac{di}{dt} + iR \Rightarrow V_{in} = iR \quad (L \ll R)$$

from Tachometer

$$V_{in} = KV \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.2 การทำงานของอุปกรณ์ขยายกำลังงาน

ในกรณีที่ทำงานในโหมดของ Current Amplifier ตัวมอเตอร์ไม่จำเป็นต้องติดตั้ง อุปกรณ์วัดความเร็วหรือ Tachometer ชุดขับหรือตัวขยายสัญญาณจะทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณ

กระแสซึ่งหมายถึงแรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างได้ โดยค่ากระแสนี้จะแปรตามขนาดของ สัญญาณแรงดัน (Voltage) ที่ส่งเข้าไปยังตัวขยายสัญญาณ ดังนั้นเราจะได้ว่า

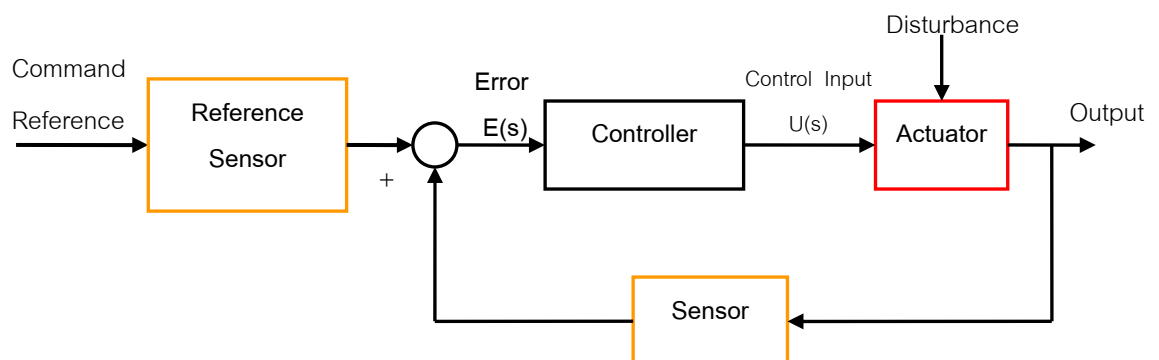
$$i = KV \quad ; \quad K = \text{Amp/volt} \quad (4.2)$$

ชุดขับที่ทำงานในโหมด Current Amplifier จะนิยมใช้กับการควบคุมตำแหน่งการหมุน และควบคุมแรงบิดของมอเตอร์กับภาระงาน ส่วนชุดขับที่ทำงานในโหมด Voltage Amplifier จะนิยมใช้ในกรณีที่เราต้องการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เป็นหลัก

#### 4.3 ทฤษฎีการควบคุมพื้นฐาน ( Control Theory ) [3]

เครื่องเจียรในพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 นี้ จะควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ สั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์ที่ยึดติดกับกลไกต่างๆ ทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อเราป้อนคำสั่งเข้าไป การควบคุมการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ เราต้องสร้างตัวควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ตรงกับคำสั่งที่ได้รับ โดยการควบคุมจะทำหน้าที่รับสัญญาณป้อนกลับจาก อุปกรณ์ตรวจรู้ ที่ติดอยู่กับเซอร์โวมอเตอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าตัวแปรที่ต้องการ เพื่อพิจารณาความแตกต่างที่เกิดขึ้น (Error) ซึ่งค่าแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้สร้างสัญญาณควบคุม ซึ่งสามารถนำไปช่วยลดการเปลี่ยนแปลงหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้มีค่าลดลงให้เหลือน้อยที่สุด หรือมีค่าเป็นศูนย์ ระบบการควบคุมในลักษณะนี้เราจะเรียกว่าเป็น ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

การกระทำของระบบควบคุมอัตโนมัติ(Automatic Control) ที่สร้างสัญญาณสัญญาณควบคุม (Control Signal) นี้เราจะเรียกว่า กิริยาควบคุม (Control Action) ซึ่งสามารถแสดงเป็นภาพได้ดังนี้

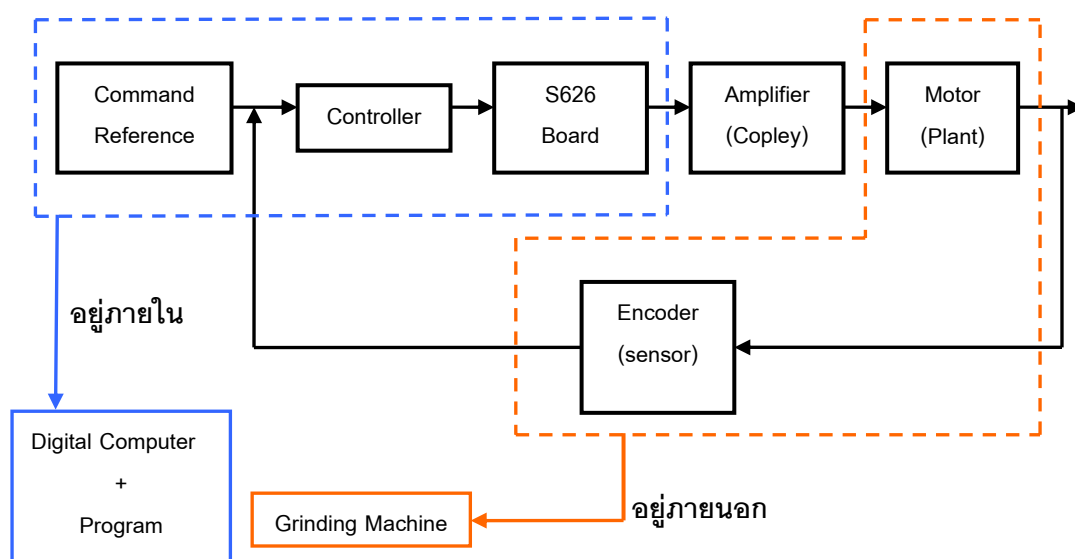


รูปที่ 4.3 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด

จากรูปที่ 4.3 เป็นรูปแผนภาพบล็อกแสดงระบบควบคุมแบบปิด โดยสัญญาณคำสั่งอ้างอิง (Command Reference) จะถูกเปลี่ยนรูปแบบด้วยระบบตรวจรู้อ้างอิง (Reference Sensor) เพื่อเปลี่ยนแปลงให้สัญญาณคำสั่งอ้างอิงดังกล่าวมีลักษณะเดียวกับสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้ อธิบายให้ง่ายคือเพื่อต้องการให้คำสั่งอ้างอิงมีหน่วยเดียวกันกับสัญญาณที่ออกจากอุปกรณ์ตรวจรู้ขาออก (Sensor) เพื่อให้สัญญาณสามารถเปรียบเทียบกันได้ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะได้สัญญาณผิดพลาด (Error Signal) ขึ้นโดยสัญญาณผิดพลาดนี้จะถูกส่งต่อเข้าไปยังตัวควบคุม (Controller) สัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมนี้จะถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุม (Control Input) ที่จะส่งเข้าไปยังมอเตอร์ (Actuator) หรือ ระบบที่ต้องการจะควบคุม (Plant)

การเลือกตัวควบคุมให้เข้ากับระบบที่ต้องการควบคุม เป็นหัวใจที่สำคัญของการทำงานของระบบ ถ้ามีการเลือกใช้ตัวควบคุมที่เหมาะสมจะทำให้ลักษณะตอบสนองของสัญญาณขาออก (Output Signal) มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการหรือมีค่าความแตกต่างของความผิดพลาด (Error) น้อยนั่นเอง

ซึ่งจากรูปที่ 4.4 สามารถนำมาแสดงเป็นแผนภาพของการเชื่อมต่อ ระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม กับเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 ได้ดังนี้



รูปที่ 4.4 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ

จะเห็นว่าจากรูปที่ 4.4 ส่วนของสัญญาณอ้างอิง, ตัวควบคุม และการประมวลผลหาสัญญาณผิดพลาด จะอยู่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจะถูกแปลงสัญญาณออกสู่ภายนอกก่อนเข้าสู่ระบบนั่นก็คือ มอเตอร์แต่ละแกนของเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติ และได้เป็นสัญญาณออกซึ่งสามารถวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดนั่นคือ เอนโคเดอร์ที่ติดอยู่ที่แต่ละแกน

เคลื่อนที่ของเครื่องเจียรในพลอยแบบอัตโนมัตินั่นเอง ซึ่งค่าที่วัดได้จะถูกส่งกลับไปเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณอ้างอิงในคอมพิวเตอร์ต่อไป

ตัวควบคุมที่จะใช้ในชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอยนี้จะเป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID, Proportional Plus Integral Plus Derivative) โดยที่ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Action, P) จะช่วยให้การตอบสนองเร็วขึ้น, ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Action, D) จะช่วยเพิ่มค่าอัตราส่วนการหน่วงให้กับระบบทำให้มีค่าโอเวอร์ชูตน้อยลง ระบบจะทำงานราบเรียบขึ้น และตัวกิริยาแบบอินทิกรัล (Integral Action, I) จะช่วยให้ลดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวได้ (Steady State Error) การเข้าใจบทบาทของตัวกิริยาหรือ Action นี้จะช่วยนำมาวิเคราะห์การลดผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะนี้ทำงานในสภาวะแตกต่างกันได้ดียิ่งขึ้น

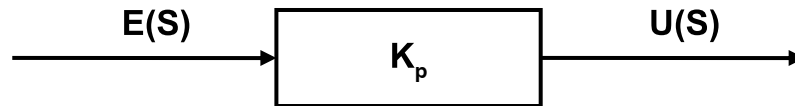
#### 4.4 ชนิดของตัวควบคุมพื้นฐาน

อุปกรณ์ควบคุมจะถูกออกแบบไว้เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมไปควบคุมระบบเมื่อมีสัญญาณผิดพลาดเกิดขึ้น หน้าทีของตัวควบคุมคือพยายามควบคุมตัวแปรของระบบ (System Variable) ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด ในที่นี้จะกล่าวถึงตัวควบคุมที่ใช้งานมากในอุตสาหกรรม ดังนี้

- ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน (Proportional Controller, P - Control)
- ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Controller, I - Control)
- ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller, D - Control)
- ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอนุพันธ์บวกอินทิกรัล (Proportional – plus – Integral – plus – Derivative Controller, PID – Control)

##### 4.4.1. ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน (Proportional Controller, P - Control)

ตัวควบคุมประเภทนี้จะทำให้ สัญญาณควบคุม (U) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัญญาณความผิดพลาด (e) ที่เกิดจากผลต่างระหว่างค่าสัญญาณอ้างอิง กับสัญญาณเอาต์พุตของระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมเชิงสัดส่วน

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมและสัญญาณผิดพลาดที่ส่งเข้าไปในระบบสามารถเขียนได้ดังนี้

$$u(t) = K_p e(t)$$

ถ้าเขียนให้อยู่ในรูปแบบผลการแปลงลาปลาซ จะได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (4.3)$$

เมื่อค่าเกน  $K_p$  จะเป็นค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบนี้ หรือเรียกว่าเกนสัดส่วน โดยตัวควบคุมเชิงสัดส่วนนี้จะมีผลทำให้ระบบที่ต้องการควบคุมมีการตอบสนองที่เร็วขึ้น แต่หากเร็วเกินไปอาจทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้

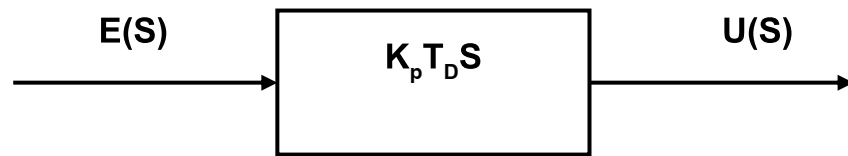
#### 4.4.2. ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Controller, I - Control)

ตัวควบคุมประเภทนี้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมและสัญญาณผิดพลาดสามารถเขียนในรูปแบบผลการแปลงลาปลาซได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{T_I S} \quad (4.4)$$

ซึ่งก็คือรูปแบบของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลนั่นเอง สำหรับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจะมีผลช่วยให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามมีผลทำให้เสถียรภาพของระบบลดลง จึงไม่นิยมนำมาใช้เดี่ยวๆ มักจะใช้ควบคู่กับตัวควบคุมเชิงสัดส่วน

#### 4.4.3. ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller, D - Control)



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

ตัวควบคุมประเภทนี้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมและสัญญาณผิดพลาดสามารถเขียนในรูปแบบผลการแปลงลาปลาซได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p T_D S \quad (4.5)$$

ซึ่งก็คือรูปแบบของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นั่นเอง โดยส่วนมากแล้วตัวควบคุมประเภทนี้จะนิยมใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบอื่นๆ ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยในการเพิ่มค่าความหน่วง (Damping) ให้กับระบบที่ต้องการจะควบคุม นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นนั่นเอง แต่จะไม่สามารถทำให้ค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้

#### 4.4.4. ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอนุพันธ์บวกอินทิกรัล (Proportional – plus – Integral – plus – Derivative Controller, PID – Control)

ตัวควบคุมประเภทนี้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมและสัญญาณผิดพลาดสามารถเขียนในรูปแบบผลการแปลงลาปลาซได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S$$

หรือจะเขียนในรูป 
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K \left( 1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right) \quad \text{ก็ได้} \quad (4.6)$$

ซึ่งก็คือรูปแบบของตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอนุพันธ์บวกอินทิกรัลนั่นเอง โดยที่ตัวควบคุมประเภทนี้ จะรวมเอาข้อดีของตัวควบคุมทั้ง 3 ตัวข้างต้นเอาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถควบคุมระบบให้แม่นยำได้ง่ายขึ้น ซึ่งในการควบคุมเครื่องจักรในพลอยแบบอัตโนมัติ ที่ต้องการ



ความแม่นยำในแต่ละแกนสูงจึงได้เลือกตัวควบคุมประเภทนี้มาใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน

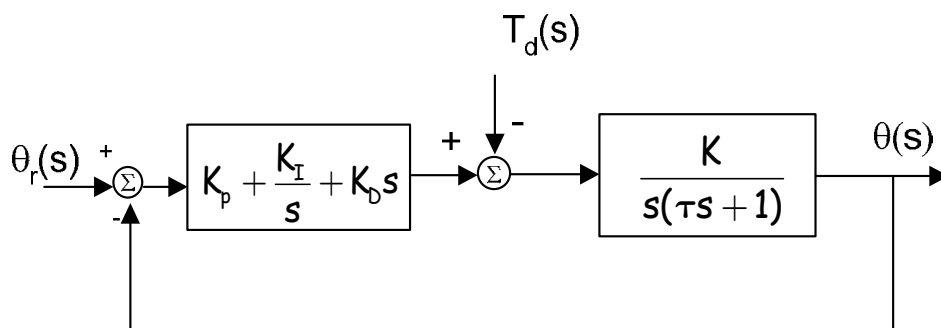
#### 4.5 ชนิดของตัวควบคุมที่เลือกใช้กับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

ในการควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยรุ่นที่ 2 นี้ ภายในเครื่องเจียระไนพลอยจะมีอุปกรณ์จับด้ามพลอยอยู่ด้วย การควบคุมทั้งเครื่องเจียระไนพลอย และ อุปกรณ์จับด้ามพลอย จะเลือกใช้ตัวควบคุมเป็นแบบ ตัวควบคุม เชิงสัดส่วนบวกอนุพันธ์บวกอินทิกรัล (PID) เนื่องจาก ตัวควบคุมแบบนี้จะรวมเอาข้อดี ของการควบคุมทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวในทฤษฎีข้างต้นมารวมกัน

##### 4.5.1 หลักในการเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกับการควบคุมตำแหน่งการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

การเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีนี้ จะพิจารณาได้จากระบบที่ต้องการซึ่งในที่นี้คือ เซอร์โวมอเตอร์ ทางแกน Y ที่ควบคุมมุมดรรชนี ซึ่งต้องการให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวน้อยๆ หรือแทบจะเป็นศูนย์ และ ต้องการให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น และ เนื่องจากตัวควบคุมแบบนี้ นิยมใช้กันทั่วไปและเข้าใจง่าย จึงเลือกตัวควบคุมแบบนี้เป็นอันดับแรกในการพิจารณา

การควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอินทิกรัลและตัวควบคุมแบบอนุพันธ์เป็นตัวควบคุมพีไอดี (PID-control) การใช้ตัวควบคุมแบบพีดีที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ซึ่งมีสมการเป็นสมการอันดับสอง จะเห็นว่าเราสามารถปรับปรุงการตอบสนองช่วง Transient ได้โดยเฉพาะเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย แต่ถ้าสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณแรมป์แล้วค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวก็ยังคงมีอยู่ ทำให้ยังไม่สามารถบรรลุการออกแบบที่สมบูรณ์ ในหัวข้อนี้จะศึกษาตัวควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งแสดงไว้ในแผนภาพบล็อกข้างล่างนี้



รูปที่ 4.7 แผนภาพการใช้ PID ควบคุมมอเตอร์

จากแผนภาพบล็อกข้างต้น เราสามารถเขียนสมการฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้คือ

$$\frac{\theta(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K(K_D s^2 + K_p s + K_I)}{\tau s^3 + (1 + KK_D)s^2 + KK_p s + KK_I} \quad (4.7)$$

และ

$$\frac{\theta(s)}{T_d(s)} = -\frac{Ks}{\tau s^3 + (1 + KK_D)s^2 + KK_p s + KK_I} \quad (4.8)$$

ซึ่งค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady state error) อันเนื่องมาจากสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วยจะเป็นศูนย์เนื่องมาจากการใช้ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล ระบบนี้จะมีเสถียรภาพเมื่อค่าอัตราขยาย  $K_p$ ,  $K_I$  และ  $K_D$  มีค่าเป็นบวกและ

$$(1 + KK_D)KK_p - \tau KK_I > 0 \quad (4.9)$$

ซึ่งค่าอัตราขยาย  $K_D$  ที่อยู่ในระบบควบคุมนี้จะช่วยทำให้สมการข้างต้นเป็นไปได้ไม่ยากนัก

#### 4.5.2 วิธีการปรับค่าเกณฑ์กับมอเตอร์

ในทางปฏิบัติแล้วการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการออกแบบระบบควบคุมมีรายละเอียดมากกว่านี้ เช่นเราอาจจะต้องกำหนดความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ทำให้ระบบมีความปลอดภัย ความปลอดภัยในที่นี้หมายถึง ระบบปลอดภัยจากการที่ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ หรือไม่มีความสมดุล เราไม่สามารถรู้ได้แน่ชัดเลย เกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของระบบของเรา ว่ามีค่าถูกต้องแม่นยำหรือมีความแน่นอนเท่าไรตามค่าที่เราใช้ในสมการจำลองการทำงานของระบบ ระบบควบคุมหรือตัวควบคุม (Controller) ชนิดต่าง ๆ หรือที่มีรูปแบบต่างกัน (เช่นตัวควบคุมแบบ P, PD, PID เป็นต้น) ก็สามารถออกแบบให้ระบบรวมมีความไว (sensitivity) มากน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการออกแบบบางครั้งอาจจะต้องครอบคลุมถึงความไว (sensitivity) ของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของระบบด้วย เพื่อทำให้ระบบควบคุมโดยรวมมีความปลอดภัยเมื่อค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลงในขณะที่ระบบกำลังทำงาน

## บทที่ 5

### ขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอย

ในเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 ส่วนสำคัญของเครื่องก็คือ อุปกรณ์จับด้ามพลอยซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนเปลี่ยนตำแหน่งมุมดรรชนี (Index) ของด้ามทวน โดยการเปลี่ยนตำแหน่งมุมดรรชนีจะทำให้เกิดเหลี่ยมมุมของพลอยขึ้น ดังนั้นความแม่นยำของเหลี่ยมพลอยจึงขึ้นอยู่กับกรรมวิธีด้ามทวนเพื่อเปลี่ยนมุมดรรชนีเป็นสำคัญ แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบกลไกที่ใช้หมุนด้ามทวนมี 2 วิธี คือ วิธีแรก ใช้การหมุนโดยส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก ส่วนวิธีที่ 2 จะใช้หลักการของเรื่องแรงเสียดทาน ซึ่งแนวคิดแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งสุดท้ายแล้วในเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 นี้ จะใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอยที่ใช้หลักการของเรื่องแรงเสียดทานเป็นหลัก เพราะมีข้อดีในเรื่องของจำนวนด้ามทวนที่จับได้ถึง 14 ด้าม ซึ่งมากกว่าเครื่องรุ่นเดิมถึง 10 ด้าม และง่ายต่อการบำรุงรักษา อีกด้วย

ในการเจียรระไนพลอยแต่ละครั้ง ด้ามทวนที่ใช้จับพลอยเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อความแม่นยำของผิวเจียรระไนของพลอย โดยที่ด้ามทวนนี้จะนำไปยึดเข้ากับอุปกรณ์จับเพื่อให้อุปกรณ์จับด้ามพลอยสามารถควบคุมตำแหน่งของมุมดรรชนีได้ โดยที่เป้าหมายของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยนี้คือ

1. สามารถใส่ด้ามพลอยได้มากขึ้นกว่าเครื่องรุ่นเดิมในการเจียรระไนแต่ละครั้ง
2. สามารถถอดเปลี่ยนด้ามพลอยได้ง่าย
3. มีความแม่นยำในการกำหนดมุมดรรชนี
4. สามารถควบคุมได้ง่าย

ตามหลักการแล้วอุปกรณ์จับด้ามพลอยต้องทำให้ด้ามพลอยเคลื่อนที่ได้ครบรอบหรือเคลื่อนที่เป็นมุมได้ 360 องศา และต้องทำให้เคลื่อนที่เป็นมุมที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการเคลื่อนที่ของด้ามทวนแล้ว อุปกรณ์จับด้ามพลอยต้องทำงานในลักษณะที่ต้องพาให้ด้ามพลอยเคลื่อนที่ โดยที่ด้ามพลอยอาจจะหมุนอยู่กับที่ หรือ ทั้งหมุนพร้อมทั้งเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมโดยจะต้องไม่มีการไถลเกิดขึ้น เพื่อที่ว่าเมื่อด้ามพลอยหมุนกลับมาที่ตำแหน่งก่อนหน้าแล้วจะต้องมาอยู่ที่ตำแหน่งเดิม

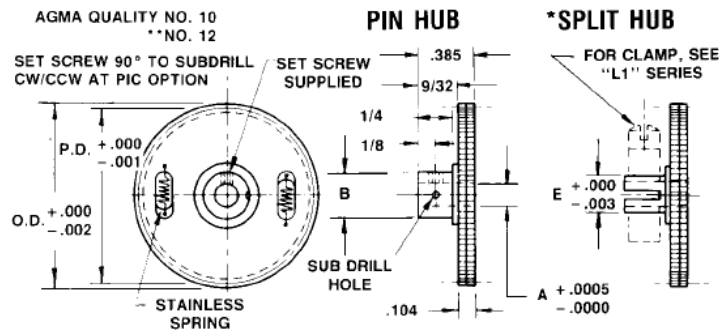
แต่ในความเป็นจริง การขับเคลื่อนโดยใช้เฟืองเพื่อให้เกิดการหมุนอยู่กับที่ เฟืองที่ขบกันจะมี ระยะเวลาคลอน (Backlash) ไม่มากก็น้อย ซึ่งจะทำให้มุมและตำแหน่งที่ต้องการมีความ

คลาดเคลื่อนไปจากเดิมทำให้เกิดปรากฏการณ์ไม่เชิงเส้นขึ้น (Nonlinearity Phenomena) และ การที่ใช้หลักการเรื่องแรงเสียดทานเลื่อนด้ามพลอยกลับไปกลับมา ซึ่งทำให้ด้ามพลอยหมุนพร้อม ทั้งเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม หรือ ทั้งหมุนอยู่กับที่บนตัวรองลื่นก็ตาม จะเกิดแรงเสียดทานขึ้น ระหว่างตัวด้ามพลอยด้วยกันเองในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกับการหมุน หรือ ระหว่างด้าม พลอยกับผิวแผ่นรองลื่นในกรณีที่ด้ามพลอยหมุนอยู่กับที่บนตัวรองลื่น

ดังนั้นการที่จะขจัดเซียงที่ไม่สมบูรณ์เหล่านี้ จะต้องมีการปรับปรุงหรือใช้วัสดุ และ อุปกรณ์ที่จะช่วยลดความไม่เป็นเชิงเส้นให้น้อยลงดังนี้

1. ใช้เฟืองชนิดที่มีการป้องกันระยะคลอน (backlash)

ถ้าใช้เฟืองเป็นตัวขับเคลื่อน ก็อาจจะใช้เฟืองที่มีการป้องกันระยะคลอน (Anti Backlash Gears) ซึ่งลักษณะของเฟือง จะเป็นเฟือง 2 ชั้นติดกัน และ จะมีสปริงคอยกดไว้ก่อนแล้ว ทำให้ ฟันเฟืองขบกันสนิท ซึ่งเหมาะกับงานที่มีภาระไม่มากจนเกินไป



รูปที่ 5.1 เฟืองที่มีการป้องกันระยะคลอน (Anti backlash gears)

2. ใช้มอเตอร์ที่ประกอบด้วยชุดเฟืองฮาร์โมนิก (Harmonic Drive Motor)

คุณสมบัติเด่นของชุดเฟืองฮาร์โมนิก คือ มีอัตราทดสูง และมีระยะคลอนต่ำ ผลดี ที่ตามมาคือ ความไม่เชิงเส้นถูกลดออกไปค่อนข้างมากจึง มีความแม่นยำมาก และ ได้แรงบิดสูง แต่ผลเสียของชุดเฟืองฮาร์โมนิก คือ มีความเสียดทานมาก และ การเคลื่อนที่ที่ไม่ราบเรียบนัก



รูปที่ 5.2 Harmonic Drive

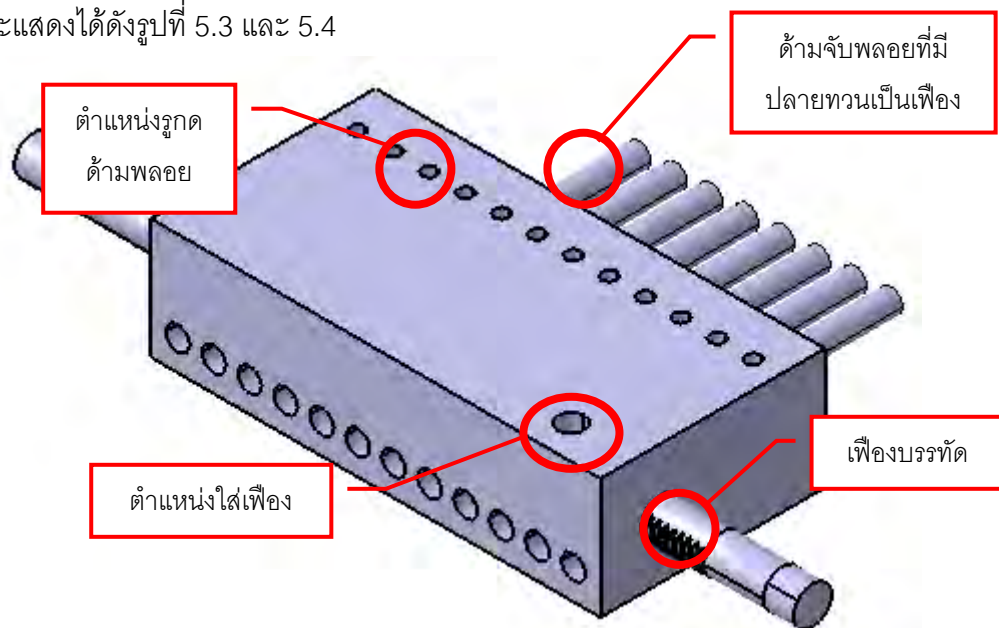
นอกจากนี้การชดเชยโดยใช้โปรแกรมควบคุม ทำได้ด้วยการเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการช่วยลดข้อผิดพลาดลง ซึ่งทำได้โดยการหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายแบบจำลองของระบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบเพื่อหาขอบเขตที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพ (Stable) และ เนื่องจากการหาสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบไม่สามารถหาได้แม่นยำถึง 100% ดังนั้นอาจใช้หลักการของ การควบคุมความไม่เชิงเส้น (Nonlinear Control) และ การควบคุมแบบออปติมัล (Optimal Control) มาช่วยในการคำนวณ แต่อย่างไรก็ตาม จะคำนึงถึงการควบคุมในแบบที่เหมาะสมที่สุดและง่ายที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติการปรับตั้งหน้างานเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกระทำเสมอ

รายละเอียดในการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะแบ่งไว้เป็นหัวข้อตามหลักการที่ใช้ ออกแบบซึ่งจะมีแบบต่างๆดังต่อไปนี้

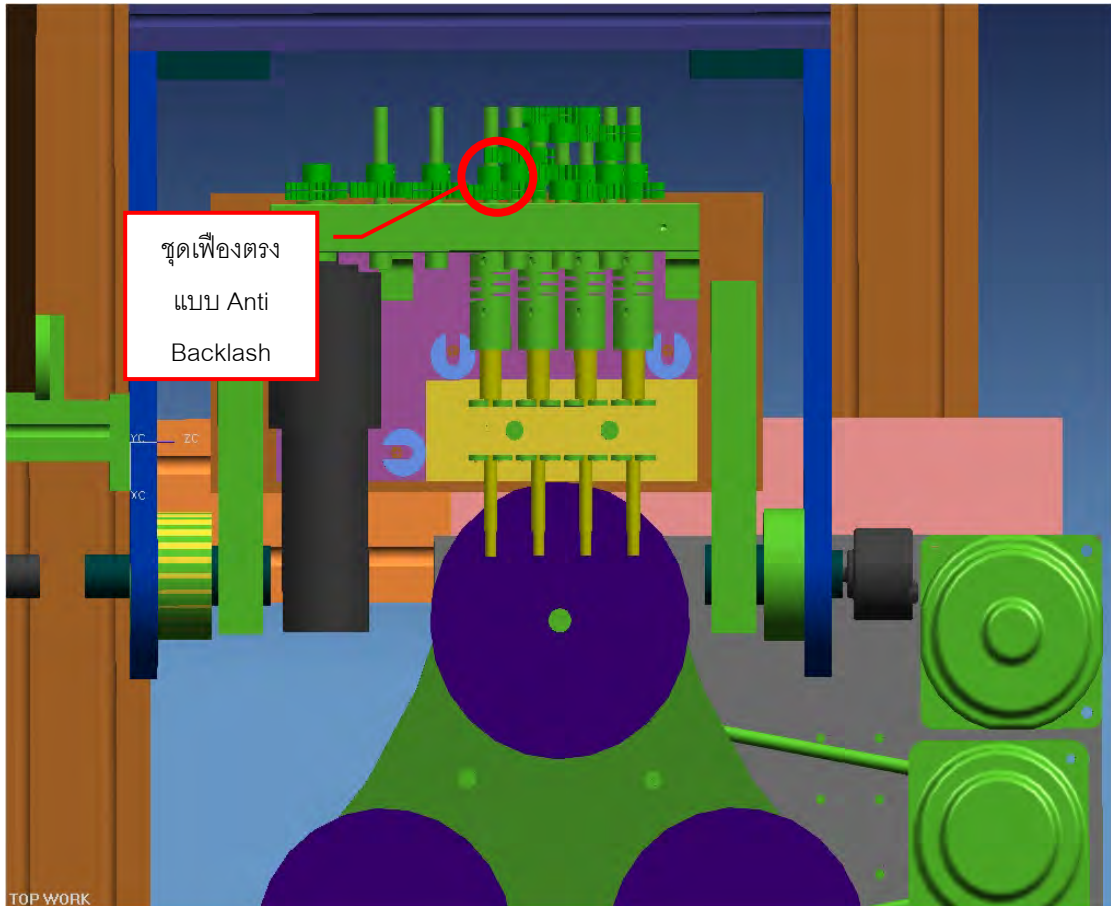
## 5.1 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1

### 5.1.1 หลักการทำงานและแนวคิดในการออกแบบ

อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 จะใช้หลักการ เรืองการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก ซึ่งหลักการในการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก จะต้องมีการส่งกำลังจากเฟืองขับมายังเฟืองตามซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์จับด้ามพลอยที่ใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กแบบเฟืองบรรทัด



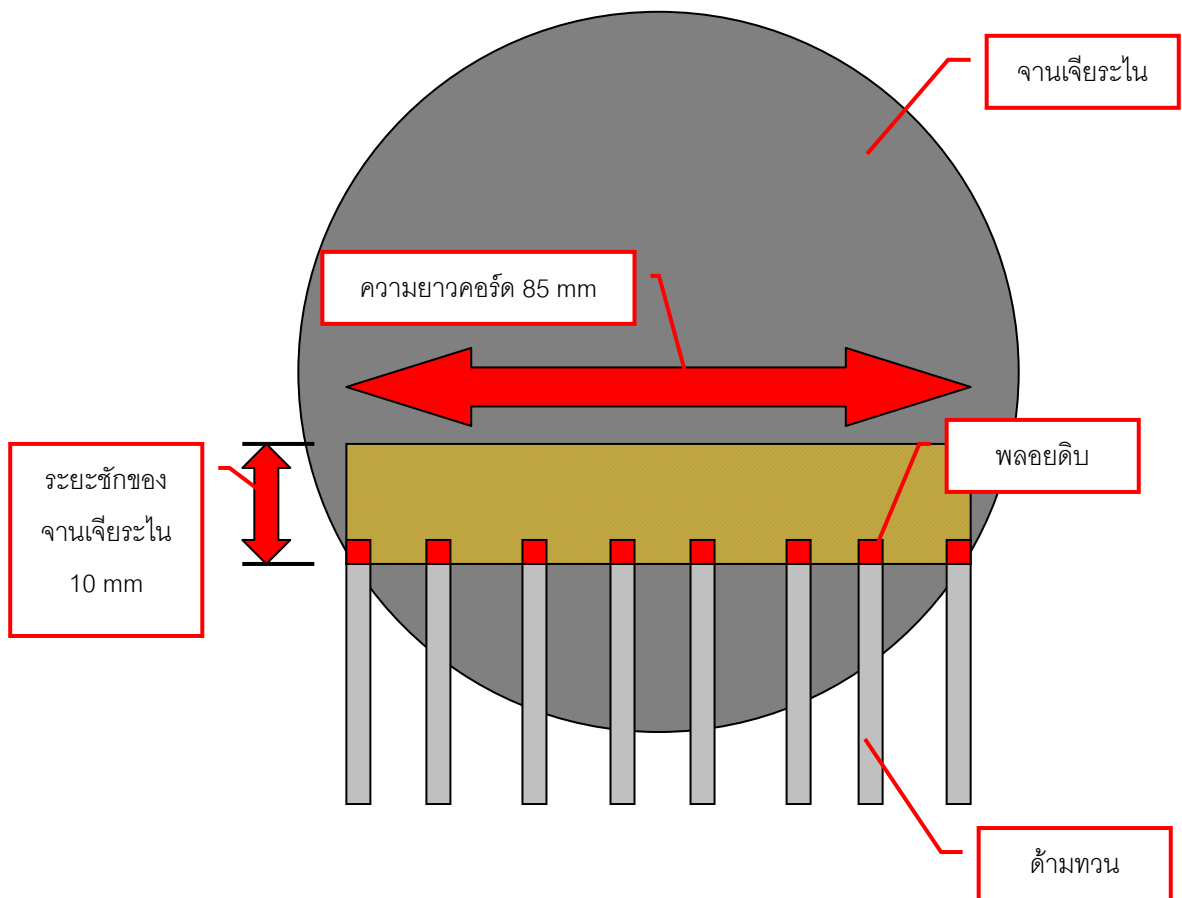
รูปที่ 5.4 อุปกรณ์จับด้ามพลอยที่ใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองตรง Anti-backlash

การออกแบบจะคำนึงถึงจำนวนของด้ามทวน และ พื้นที่ของจานเจียรระไนที่สามารถเจียรระไนพลอยได้ครบเป็นอันดับแรกเพราะในเครื่องเจียรระไนพลอยรุ่นที่ 2 ต้องการด้ามทวนที่ใช้ในการเจียรระไนแต่ละครั้งไม่ต่ำกว่า 10 ด้าม ดังนั้นจึงต้องออกแบบก่อนว่า จะใช้ด้ามทวนขนาดเท่าใดในการเจียรระไน ซึ่งขนาดของด้ามทวนต้องดูควบคู่กับพื้นที่หน้าตัดของจานเจียรระไน และ ระยะชักของจานเจียรระไน รวมทั้งความยากง่ายของการขึ้นรูปอีกด้วย

โดยเราจะกำหนดค่าตัวแปรที่จะใช้ในการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 ดังนี้

1. พื้นที่หน้าตัดของจานเจียรระไนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 115 มม. โดยครอร์คที่เจียรระไนมีความยาว 85 มม.
2. ขนาดของด้ามทวนที่จะใช้คือ 8 มม. ซึ่งใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1
3. ระยะชักของจานเจียรระไนคือ 10 มม.

ดังนั้นบริเวณที่พลอยสามารถเจียรระไนได้จะอยู่ในบริเวณเส้นครอร์คสีเนื้อของวงกลม ดังรูปที่ 5.5

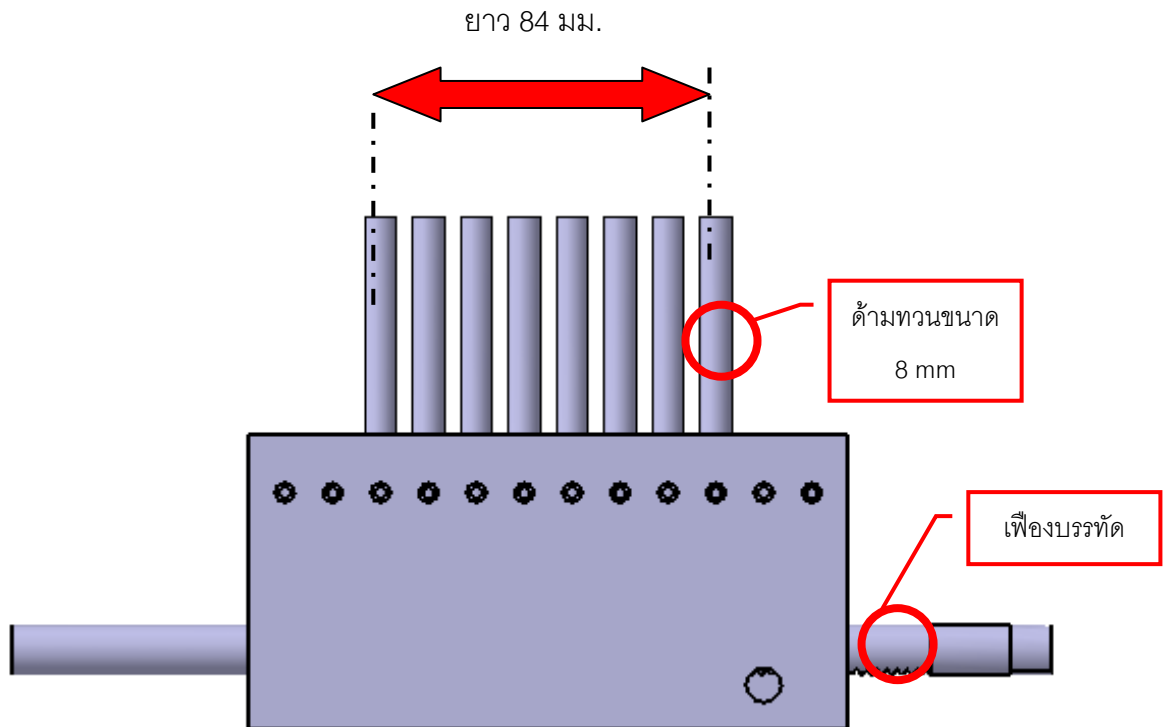


รูปที่ 5.5 การวางตำแหน่งด้ามทวนและระยะชักของจานเจียรไน

โดยจากการพิจารณาตัวแปรต่างๆดังกล่าวแล้ว จากรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กแบบเฟืองบรรทัด และ อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองตรง จะมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนของทวนที่ใช้ในการเจียรไนคือ จำนวนของด้ามทวนที่จะใช้กับการเจียรไน ของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก แบบเฟืองบรรทัดแต่ละครั้งจะได้จำนวนของด้ามพลอยที่ใช้ได้คือ 8 ด้ามซึ่งไม่ถึง 10 ด้าม และ จำนวนของด้ามทวนที่จะใช้กับการเจียรไนของอุปกรณ์จับด้ามพลอย แบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กแบบเฟืองตรง Anti Backlash จะได้จำนวนของด้ามพลอยที่ใช้ได้สูงสุดคือ 4 ด้ามซึ่งไม่ถึง 10 ด้ามเช่นเดียวกัน ทำให้ไม่ตรงกับข้อกำหนดที่ต้องการคือ อย่างน้อยต้องเจียรไนได้ครั้งละไม่ต่ำกว่า 10 ด้าม ดังนั้นจึงไม่สามารถเลือกใช้ออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอย ในลักษณะการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กได้ ทั้งนี้ การเลือกจำนวนของด้ามทวนจะดูจากปัจจัยหลายๆอย่าง ประกอบกันคือ เนื้อที่ที่ใช้ในการติดตั้งด้ามทวน , ขนาดของอุปกรณ์จับด้ามพลอย และ ขนาดของเม็ดพลอยที่ใช้ในการเจียรไน

### 5.1.2 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้เฟืองบรรทัด

ในการใช้งานอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 นี้ คือ ให้นำปลายทวนแบบที่มีการกัดฟันเฟืองขนาดเล็กบนด้ามทวนไว้แล้วไปใส่ไว้ในรู โดยที่บริเวณปลายของรูจะมีเฟืองบรรทัดอยู่ ซึ่งทำหน้าที่จับเฟืองบนด้ามพลอยให้หมุนไป ซึ่งจะมีแท่งกอดที่เป็นสปริงคอยกอดด้ามพลอยไม่ให้ไหลออกไปอยู่ด้วย และที่สำคัญ การล็อกตำแหน่งดรรชนีเริ่มต้นสามารถทำได้ โดยใส่ด้ามทวนให้ตรงล็อกกับตำแหน่งของเฟืองบรรทัด



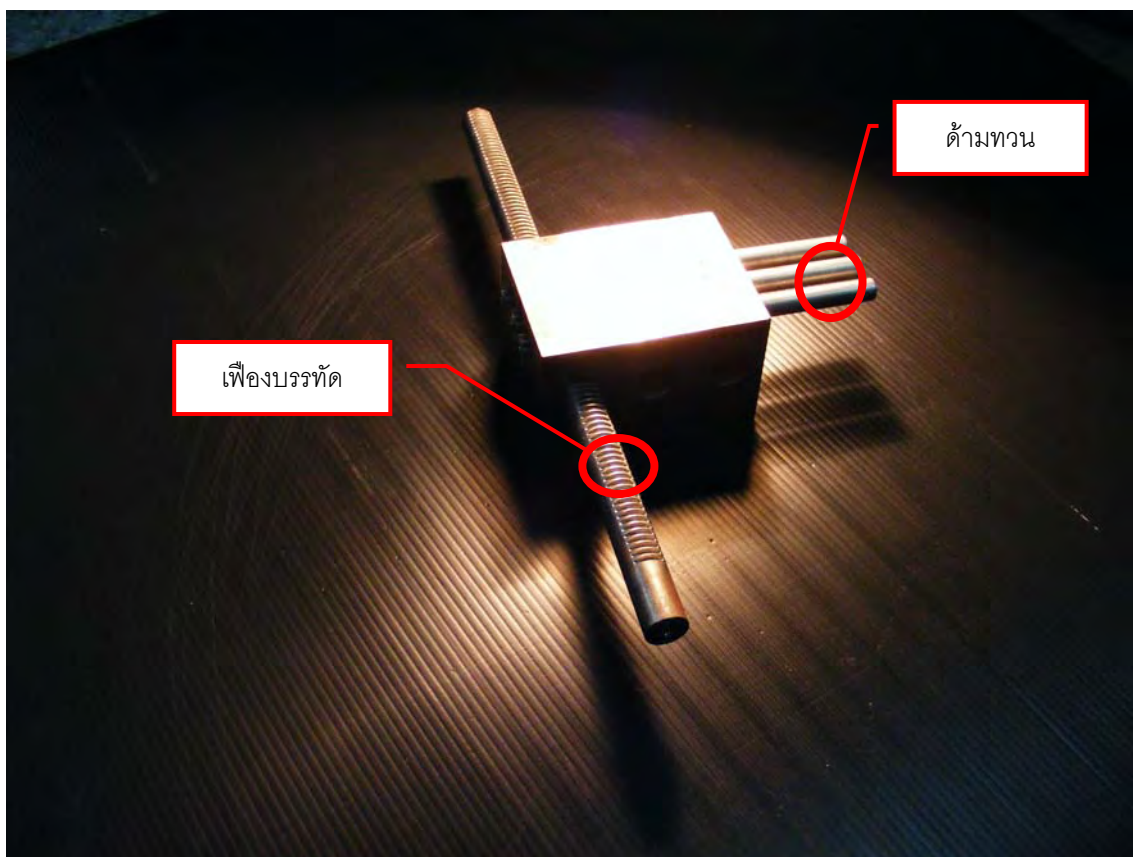
รูปที่ 5.6 จำนวนของด้ามทวนที่สามารถใช้กับความยาวคอรัตของจานเจียระไนได้

ในการเลือกใช้ด้ามทวนขนาด 8 มม. แทนที่จะใช้ทวนขนาด 6 มม. ในอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 เป็นเพราะว่าเราจำเป็นต้องทำการกัดฟันเฟืองที่ปลายทวนด้วยเพราะถ้าทวนยังมีขนาดเล็กลงมากกว่า 8 มม. การกัดฟันเฟืองจะทำได้ยาก และเกิดระยะคลอนขึ้นในฟันเฟืองไม่มากนักน้อย เพราะไม่สามารถหาเฟืองขนาดเล็กมากๆ ที่มีการป้องกันการ Anti-backlash ได้





รูปที่ 5.7 ด้ามทวนที่ออกแบบไว้เพื่อใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้เฟืองบรรทัด



รูปที่ 5.8 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก  
แบบเฟืองบรรทัดที่ได้ผลิตขึ้น



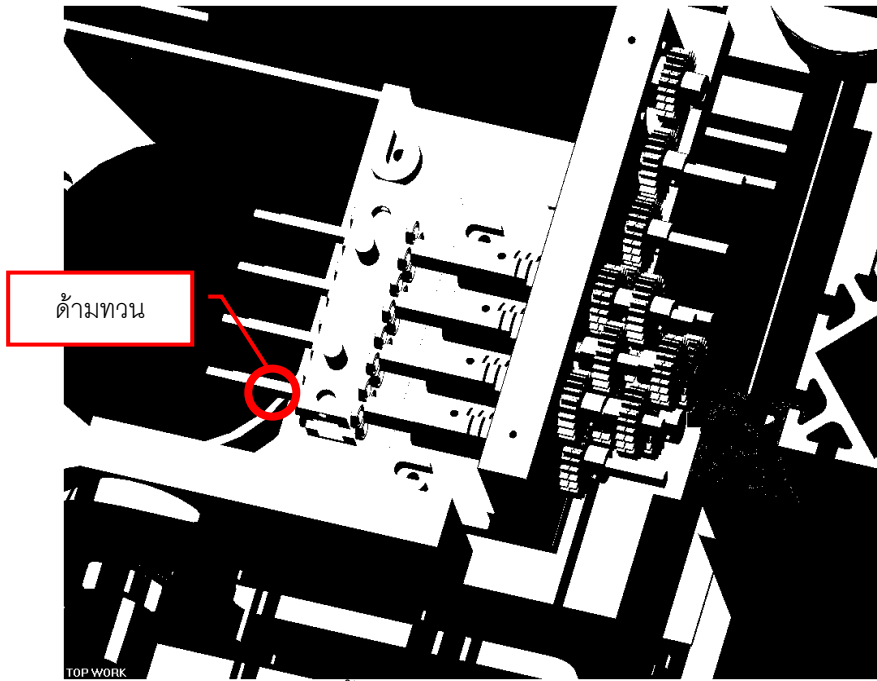
รูปที่ 5.9 ด้ามทวนที่ออกแบบไว้เพื่อใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้เฟืองบรรทัดที่ได้ผลิตขึ้น

### 5.1.3 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองตรงขนาดเล็ก Anti Backlash

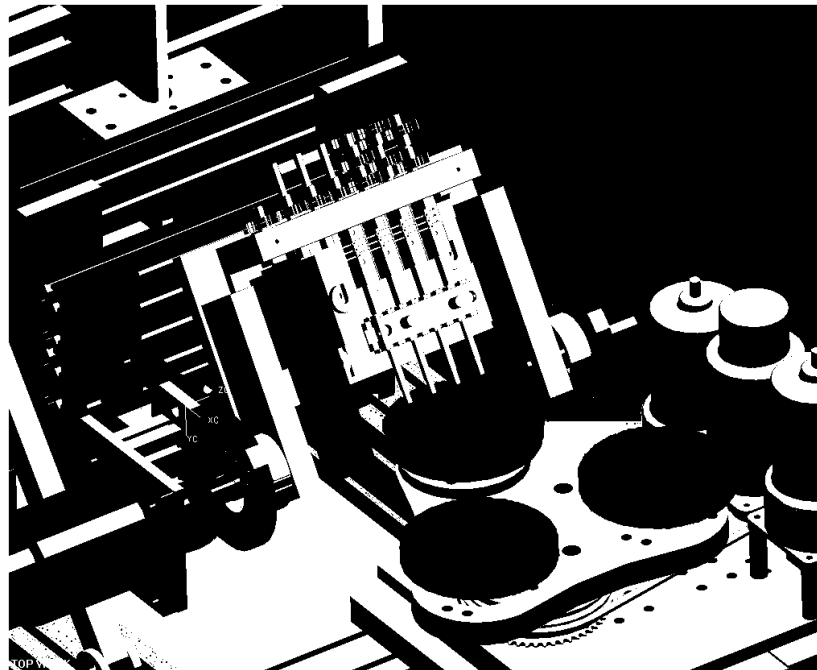
ในการใช้งานอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้หลักการส่งกำลังผ่านเฟืองตรงขนาดเล็ก Anti Backlash จะมีวิธีการใช้งานคือ ให้นำด้ามทวนติดตั้งลงบนชุดกดด้ามทวน โดยวางทวนลงบนร่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กให้ชุดกดด้ามทวนกดลงไป ลักษณะของชุดกดด้ามทวนนี้จะทำหน้าที่กดด้ามทวนให้แน่นและสามารถป้องกันไม่ให้ด้ามทวนหลุดออกมาขณะที่ทำการเจียรไนโดยจะมีแกนสปริงคอยกดตำแหน่งที่กลิ้งร่องบนด้ามทวนไว้ โดยเมื่อใส่ด้ามทวนเข้าไปกับอุปกรณ์จับแล้วให้ทำการล็อกมุมเริ่มต้นกับคัปปลิง ซึ่งบริเวณของปลายด้ามทวน จะมีการบากร่องเอาไว้เพื่อสามารถที่จะล็อกมุมเริ่มต้นของการเจียรไนได้



รูปที่ 5.10 ลักษณะของด้ามทวนที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองตรง Anti backlash



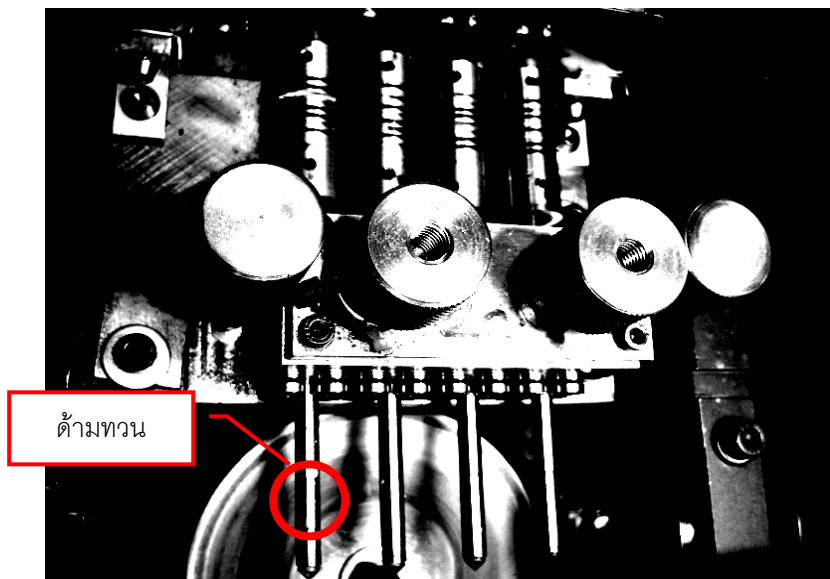
รูปที่ 5.11 การติดตั้งด้ามทวนลงบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบ  
ใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองตรง Anti backlash (ต่อ)



รูปที่ 5.12 การทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบ  
ใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็ก Anti backlash ขณะทำการเจียระไน

อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กแบบ Anti Backlash นั้น เป็นรูปแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยที่สร้างขึ้นพร้อมกับเครื่องเจียระไนพลอยรุ่นแรก ในที่นี้จึงได้

นำมาเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบ และ พิจารณาการออกแบบกลไก เพื่อที่จะคิดค้นหากลไก ที่สามารถจับด้ามพลอยได้ทีละหลายๆด้ามได้



รูปที่ 5.13 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 ที่ได้ผลิตขึ้นจริง

เนื่องจากว่าบริเวณของจานเจียร์ไม่มีพื้นที่ค่อนข้างจำกัดเนื่องจากได้กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานเจียร์ในคือ 115 มม. โดยมีครีตช่วงทำงานคือ 85 มม. การใช้เฟืองตรงขนาดเล็กแบบ Anti Backlash จะเกิดปัญหาในเรื่องเนื้อที่ในการติดตั้งเพราะว่า ขนาดของเฟืองที่ใช้ในการขบกันจะเป็นสิ่งที่กำหนดจำนวนของด้ามทวนที่จะสามารถเจียร์ในได้ และที่สำคัญราคาของเฟืองแบบ Anti Backlash จะมีราคาค่อนข้างสูงอีกด้วย

### 5.1.4 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1

โดยในที่นี่จะสรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 ได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1

รูปแบบของอุปกรณ์จับด้ามพลอย	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบใช้การหมุนของเฟืองขนาดเล็กทั้งแบบเฟืองบรรทัดและเฟืองตรงแบบ Anti Backlash	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใสด้ามพลอยได้ง่าย</li> <li>2. มีความแข็งแรง</li> <li>3. ไม่ต้องเปลี่ยนด้ามพลอยบ่อย เพราะเกิดการเสียดสีน้อย</li> <li>4. การปรับตั้งทำได้ง่าย</li> <li>5. ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องสิ่งสกปรก</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เฟืองมีราคาแพง</li> <li>2. ใสด้ามพลอยได้ขนาดเดียว</li> <li>3. มอเตอร์ที่ใช้มีขนาดค่อนข้างใหญ่เพราะต้องขับเฟืองหลายชั้น</li> <li>4. ใสด้ามพลอยได้น้อยเพราะเนื้อที่จำกัด</li> <li>5. มีจำนวนด้ามไม่เข้าเกณฑ์ที่กำหนดคือน้อยกว่า 10 ด้าม</li> <li>6. มีระยะคลอนเกิดขึ้นในเฟือง</li> </ol>

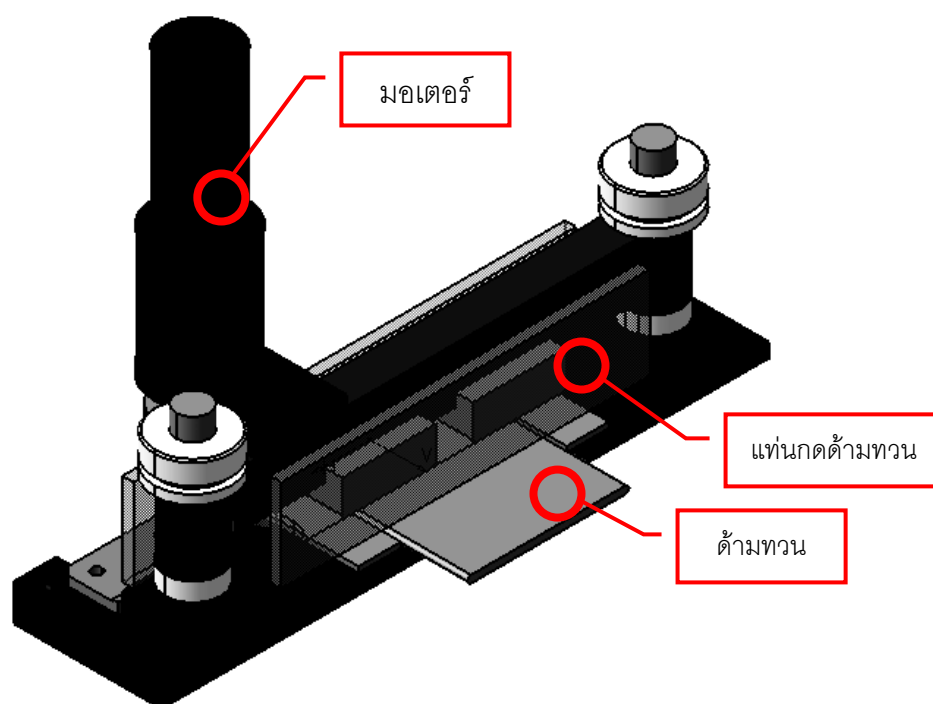
## 5.2 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2

### 5.2.1 หลักการทำงานและแนวคิดในการออกแบบ

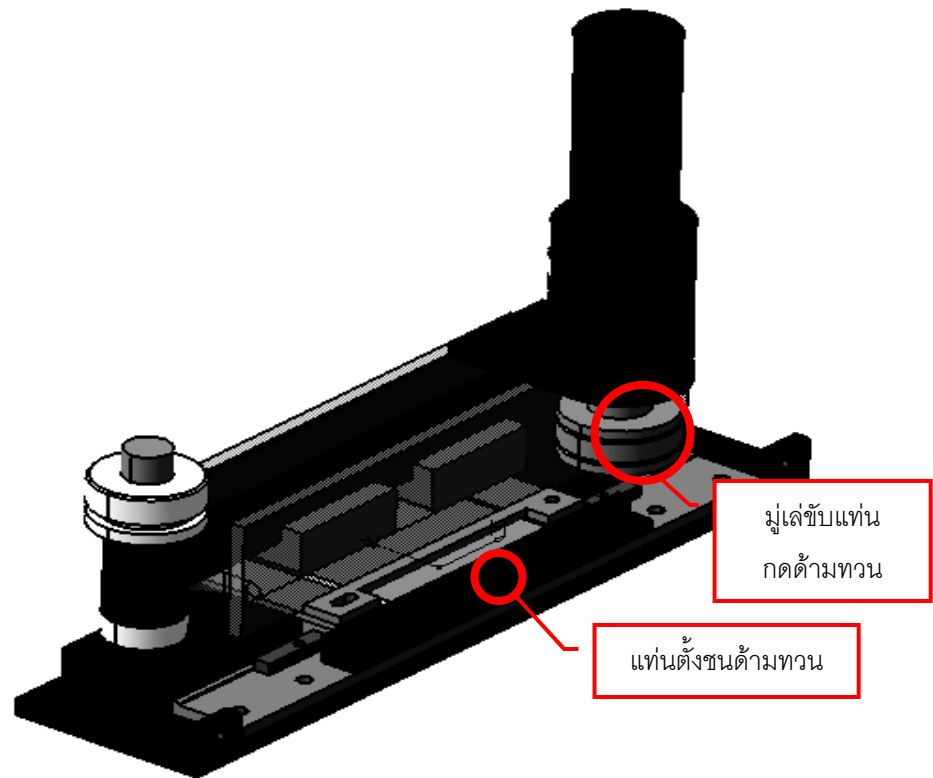
เนื่องจากอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 ไม่เข้ากับหลักเกณฑ์ในเรื่องเนื้อหาที่ในการเจียรระโนของด้ามทวนเพราะด้ามทวนมีจำนวนน้อยกว่า 10 ด้ามในการเจียรระโนแต่ละครั้ง ทำให้ต้องคิดถึงวิธีที่จะทำให้ด้ามทวนอยู่ใกล้กันได้มากขึ้นซึ่งวิธีที่จะทำให้ด้ามทวนอยู่ใกล้กันได้มากขึ้นมีแนวคิดอยู่ 2 วิธีดังนี้

1. ลดขนาดของด้ามทวนลงเพื่อจะได้มีเนื้อที่ใส่ด้ามทวนได้ใกล้กันมากขึ้น
2. เปลี่ยนหลักการทำงานจากระบบการส่งกำลังผ่านเฟืองขนาดเล็กเป็นแบบอื่นเช่น ใช้หลักการเรื่องแรงเสียดทานแทน

ดังนั้นการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการลดขนาดของด้ามทวนลงพร้อมๆไปกับการใช้หลักการเรื่องแรงเสียดทาน จึงเป็นสิ่งที่ต้องกระทำก่อน โดยในที่นี้จะกำหนดขนาดของด้ามทวนใหม่เป็น 6 มม. และคิดถึงกลไกแบบใหม่ที่ใช้หลักการเรื่องแรงเสียดทาน โดยกลไกที่ได้ออกแบบไว้จะมีลักษณะดังรูปที่ 5.14 และ 5.15

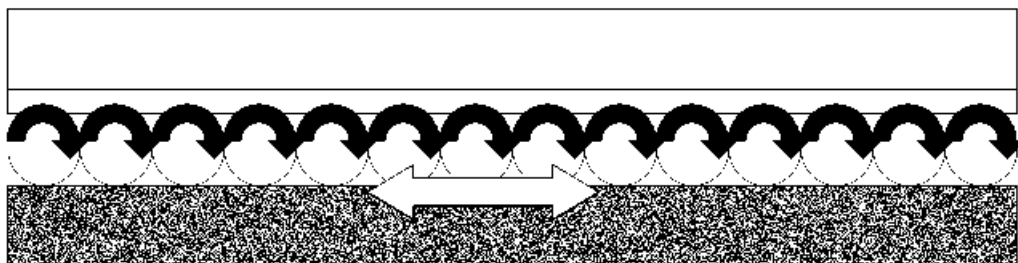


รูปที่ 5.14 ส่วนประกอบต่างๆด้านหน้าของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2

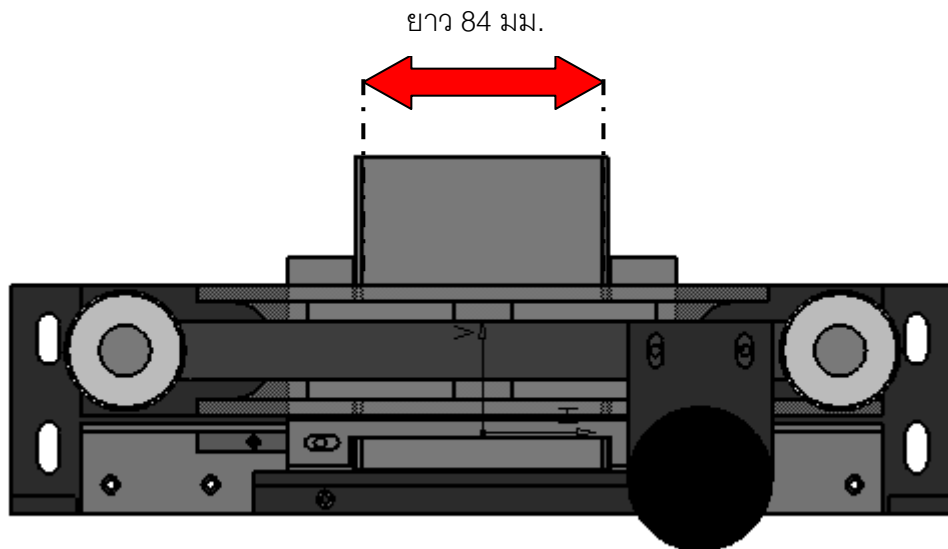


รูปที่ 5.15 ส่วนประกอบต่างๆด้านหลังของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2

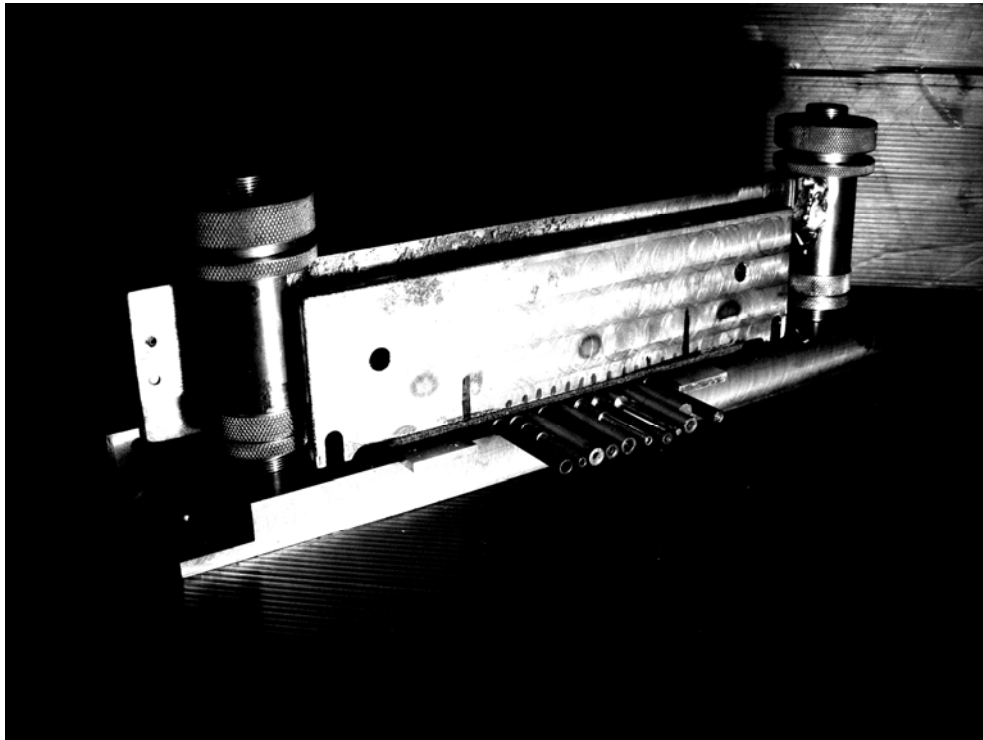
โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 นี้จะใช้หลักการเรื่องแรงเสียดทานที่มีทั้งการกลิ้งและการเลื่อนที่ของด้ามทวน โดยจะทำงานดังนี้คือ ด้ามทวนที่วางอยู่บนพื้นผิวเรียบ เมื่อถูกกดด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่าหนึ่ง ด้วยแรงที่มีขนาดคงที่จะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นที่ บริเวณผิวสัมผัสของด้ามทวนกับพื้นผิวเรียบและ ระหว่างด้ามทวนกับพื้นผิวที่ใช้กด เพื่อที่จะสามารถจับด้ามทวนให้เลื่อนที่ไปพร้อมๆกับการหมุน ซึ่งหลักการทำงานจะสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 หลักการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2



รูปที่ 5.17 บริเวณด้ามจับของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2



รูปที่ 5.18 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ที่ได้ผลิตขึ้นจริง

โดยจะกำหนดค่าตัวแปรที่จะใช้ในการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ดังนี้

1. พื้นที่หน้าตัดของงานเจียรไนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 115 มม. โดยคอร์ด์ที่เจียรไนมีความยาว 85 มม.
2. ขนาดของด้ามทวนที่จะใช้คือ 6 มม.



3. ระยะชักของจานเจียร์ในคือ 10 มม.

ซึ่งเมื่อทำการคำนวณแล้วพบว่าด้ามทวนที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 นี้จะสามารถใส่ได้ถึง 14 ด้าม ต่อการเจียร์ใน 1 ครั้งซึ่งเกินข้อกำหนดที่กำหนดไว้ ต่อมาจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของด้ามทวน เนื่องจากการออกแบบโดยใช้หลักการของแรงเสียดทานนี้ นอกจากจะทำให้ด้ามทวนเกิดการก๊อกลงไปแล้วยังทำให้ด้ามทวนเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นอีกด้วย ซึ่งระยะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ามทวนที่ใช้ อีกด้วยคือยิ่งด้ามทวนมีขนาดเล็กมาก ระยะเคลื่อนที่ก็จะมีขนาดน้อยลงจากสูตร

$$D = 2\pi R \quad (5.1)$$

$D$  = ระยะการเคลื่อนที่ของด้ามทวนเมื่อหมุนครบ 1 รอบ

$R$  = รัศมีของด้ามทวน

ในความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ด้ามทวนขนาด 6 มม. ก็ได้ ซึ่งสามารถใช้ด้ามทวนขนาดอื่นได้อีก ซึ่งการใช้ขนาดของด้ามทวนจะพิจารณาตามความเหมาะสม โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาคืออันดับแรกคือ ขนาดของพลอยที่จะใช้ในการเจียร์ใน ด้ามทวนต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดของพลอยดิบที่ใช้เจียร์ใน เพราะถ้าด้ามทวนมีขนาดเล็กกว่าพลอยดิบเวลาติดตั้งลงบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะทำให้เม็ดพลอยดิบชนกัน ไม่สามารถทำการเจียร์ในได้ ปัจจัยข้อที่สอง คือ ถ้าขนาดของด้ามทวนที่ใช้มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ระยะเคลื่อนที่มากขึ้น ส่งผลให้อุปกรณ์จับด้ามพลอยต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือต้องออกแบบให้มีเนื้อที่มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ต้องออกแบบบริเวณหน้าแท่นยึดอุปกรณ์จับด้ามพลอยให้มีความกว้างขึ้นไปอีก ทำให้เครื่องมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

เนื่องจากการเคลื่อนตำแหน่งของด้ามทวนจะมีผลต่อการเจียร์ในบนจานเจียร์ใน เพราะตำแหน่งของจานเจียร์ในจะต้องอยู่ที่เดิม ถ้าด้ามทวนมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นอาจจะทำให้ด้ามทวนเลื่อนเลยบริเวณจานเจียร์ในออกมาได้ทำให้ไม่สามารถเจียร์ในได้ดังนั้น การออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยในลักษณะนี้จึงยังไม่ตรงกับจุดประสงค์ที่ต้องการ

### 5.2.2 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2

นำด้ามทวนไปวางเรียงกันไปบนแท่นยึด โดยการใส่ด้ามทวนให้ต้นปลายด้ามทวน ให้ชนกับแท่นตั้งชนด้ามทวน โดยปลายด้ามทวนทุกด้ามต้องแนบสนิทเพื่อเป็นการบังคับตำแหน่งปลายของด้ามทวนให้เสมอกัน และเมื่อทำการตั้งด้ามทวนเรียบร้อยแล้วให้นำแท่นกดด้ามทวน มาวางทับด้ามทวนที่วางเรียงไว้แล้วให้แน่น ซึ่งสามารถที่จะตั้งได้จากการปรับระดับความสูงของแหวนตั้งระดับ

### 5.2.3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2

โดยในที่นี่จะสรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2

รูปแบบของอุปกรณ์จับด้ามพลอย	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบใช้แรงเสียดทานซึ่งมีทั้งการกลิ้งและการเลื่อนของด้ามทวน	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สามารถเจียรระโนพลอยได้ที่หลากหลายๆเม็ด</li> <li>2. ใช้มอเตอร์ขนาดไม่ใหญ่</li> <li>3. ใช้ด้ามทวนได้หลายขนาด</li> <li>4. อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพง</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ถ้าผิวของด้ามทวนเกิดการสึกหรอจะต้องเปลี่ยนด้ามใหม่</li> <li>2. สิ่งสกปรกเข้าไปบริเวณผิวของด้ามทวนได้ง่าย</li> <li>3. ระยะเลื่อนที่ทำให้โครงสร้างของอุปกรณ์จับด้ามพลอยใหญ่ขึ้น</li> <li>4. ด้ามทวนอาจจะไหลออกมาถ้าติดตั้งแผ่นบังคับด้ามทวนเสีย</li> <li>5. เกิดแรงเสียดทานระหว่างด้ามทวนด้วยตัวเอง</li> </ol>

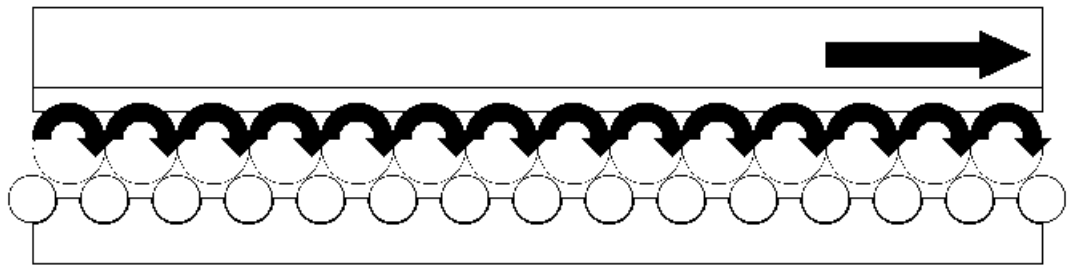
### 5.3 อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3

#### 5.3.1 หลักการทำงานและแนวคิดในการออกแบบ

ในอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 ได้นำข้อดี และ ข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 ที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น มาทำการปรับปรุงแก้ไข เนื่องจากว่าอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 จะมีข้อเสียในเรื่องของตำแหน่งของด้ามทวนที่เลื่อนที่ไปจากเดิม ทำให้ต้องมีการแก้ไขเรื่องการออกแบบ อุปกรณ์จับด้ามพลอยใหม่ ที่สามารถทำให้ด้ามทวนอยู่กับที่ได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่จะช่วยทำให้ด้ามทวนหมุนอยู่กับที่ได้ โดยไม่เลื่อนที่ไปคือ รอกเส้นขนาดเล็ก

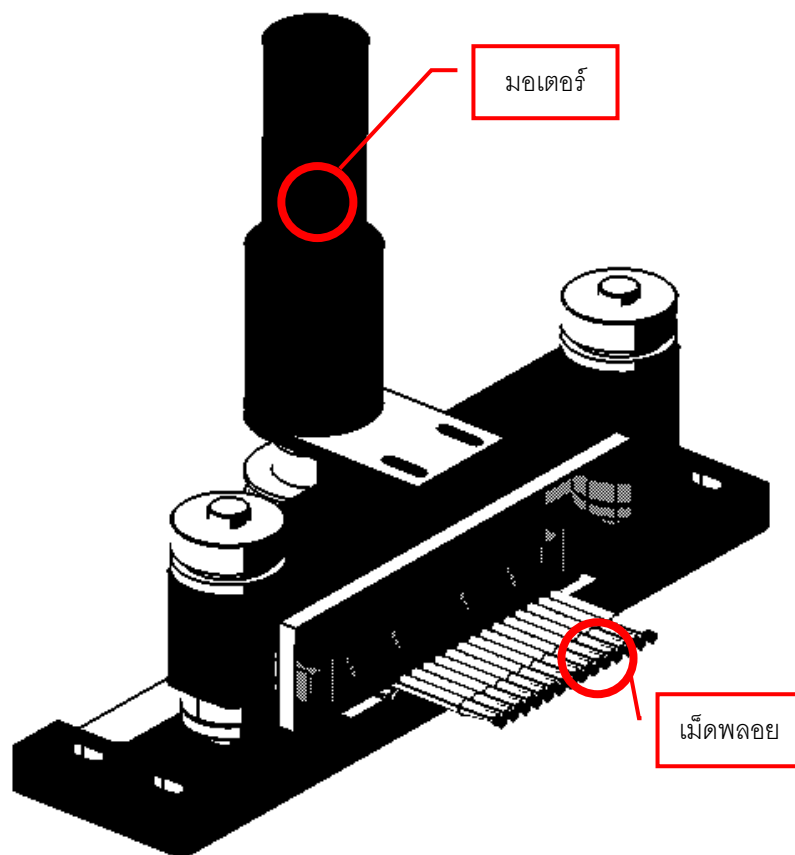
รอกเส้นขนาดเล็กนี้จะทำหน้าที่รอกรับด้ามทวนให้อยู่กับที่ได้ โดยลักษณะการทำงานจะคล้ายคลึงกับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 2 เพียงแต่แทนที่ด้ามทวนจะเลื่อนตำแหน่งไปจากเดิมกลายเป็นหมุนอยู่กับที่ซึ่งมีข้อดีคือ ประหยัดเนื้อที่ และ ยังสามารถเปลี่ยนด้ามทวนขนาดอื่นที่

สามารถวางลงบนร่องลื่นได้โดยขนาดด้ามทวนต้องไม่เล็กจนเกินไป หรือ หรือ ไม่ใหญ่จนชนกับด้ามทวนอื่นๆ

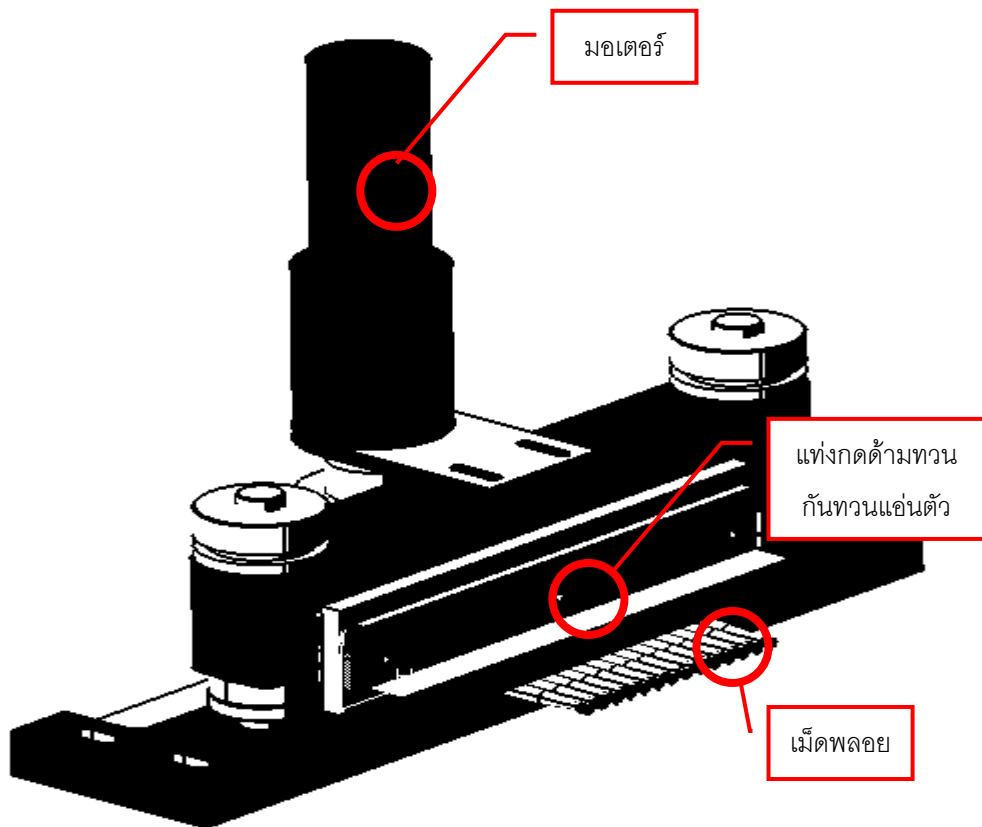


รูปที่ 5.19 หลักการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3

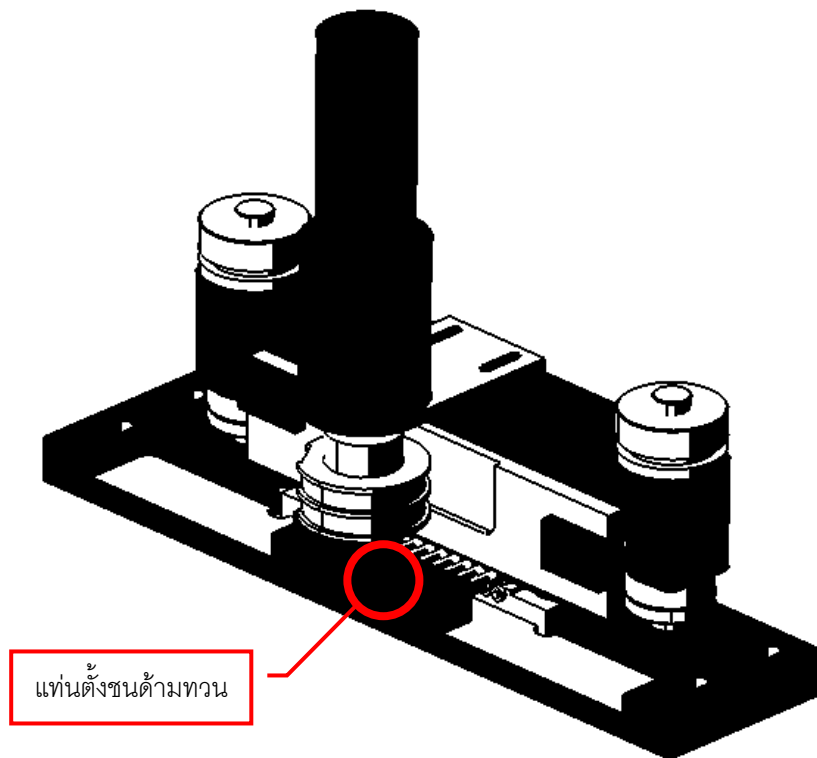
โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 นี้จะใช้หลักการเรื่องแรงเสียดทานที่มีการกักรั้งของด้ามทวนบนร่องลื่นขนาดเล็ก โดยจะทำงานดังนี้คือ ด้ามทวนที่วางอยู่บนผิวร่องลื่นเมื่อถูกกดด้วยวัสดุชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น ทำให้สามารถจับด้ามทวนให้หมุนไปได้ โดยการเลื่อนวัสดุชนิดนั้นไปทางซ้ายหรือขวา



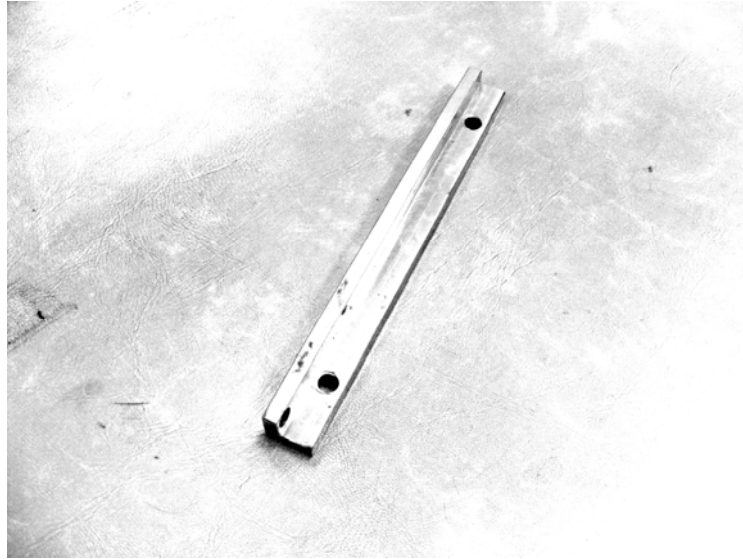
รูปที่ 5.20 ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3



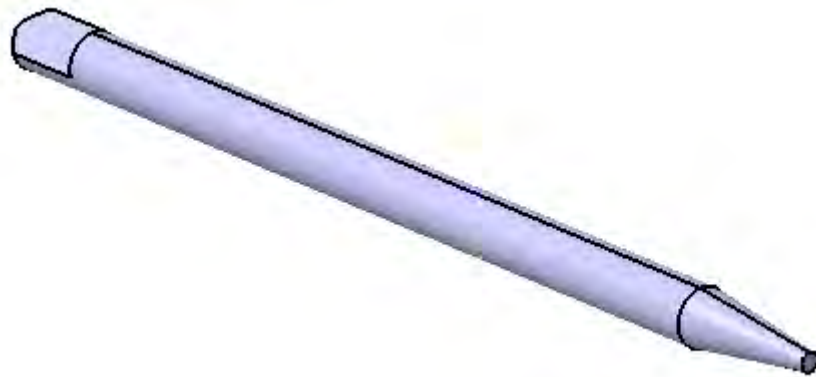
รูปที่ 5.21 ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 (ต่อ)



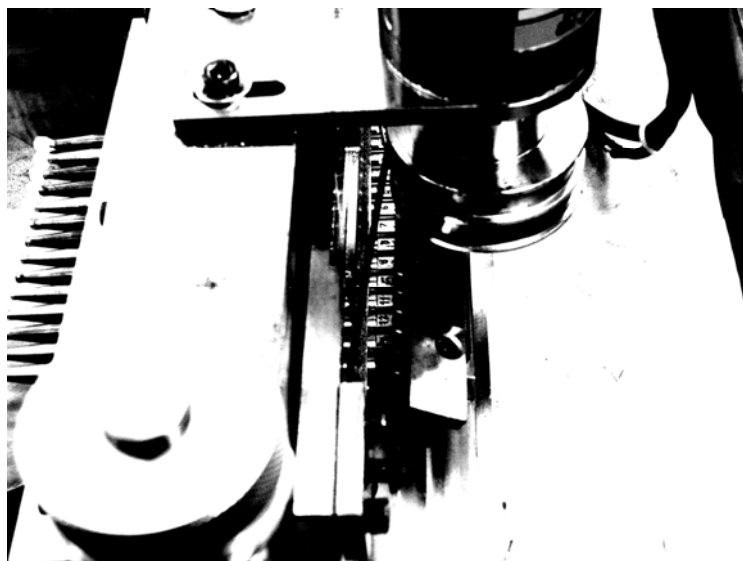
รูปที่ 5.22 ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 (ต่อ)



รูปที่ 5.23 แท่งเหล็กสี่เหลี่ยมที่ใช้วางบนด้ามทวน



รูปที่ 5.24 ด้ามทวนที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3



รูปที่ 5.25 การตั้งมุมเริ่มต้นของด้ามทวนบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้าม

### 5.3.2 วิธีการใช้งานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3

นำด้ามทวนวางเรียงกันไปบนร่องลิ้นไว้ดังรูปที่ 5.25 โดยการใส่ด้ามทวนให้ดันปลายด้ามทวน ให้ชนกับแท่นตั้งชนด้ามทวน จากนั้นให้กำหนดตำแหน่งดรรชนีเริ่มต้นโดยการนำแท่งเหล็กมาวางบนรอยบากของด้ามทวน แล้วให้นำแท่นกดด้ามทวน มาวางทับด้ามทวนที่วางเรียงไว้บนร่องลิ้น เมื่อทำการล็อกแท่นกดด้ามพลอยให้แน่นแล้ว จากนั้นให้วางแท่งเหล็กกันทวน แอนต์ตัวลงบนด้ามทวนจากนั้นขันแป้นเกลียวให้แน่น จึงสามารถทำเดินโปรแกรมการเจียรไนได้ต่อไป

### 5.3.3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3

โดยในที่นี้จะสรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 ได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปข้อดีและข้อเสียของการออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3

รูปแบบของอุปกรณ์จับด้ามพลอย	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบใช้แรงเสียดทานในการกักรั้งของด้ามทวนบนร่องลื่นขนาดเล็ก	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สามารถเจียรระโนพลอยได้ที่หลายๆเม็ด</li> <li>2. ใช้มอเตอร์ขนาดเล็กไม่ใหญ่</li> <li>3. ใช้ด้ามทวนได้หลายขนาด</li> <li>4. อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพง</li> <li>5. สามารถถอดเปลี่ยนร่องลื่นได้ง่าย</li> <li>6. การใส่ด้ามทวนทำได้ง่าย</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ถ้าผิวของด้ามทวนเกิดการสึกหรอจะต้องเปลี่ยนด้ามใหม่</li> <li>2. สิ่งสกปรกเข้าไปบริเวณผิวของด้ามทวนได้ง่าย</li> </ol>

## 5.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแต่ละแบบ

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบข้อดีของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแต่ละแบบ

ข้อดี	คะแนนของอุปกรณ์จับด้ามพลอย (ไม่ดี = 0 , ดี = 1)		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1. เจียรระโนพลอยได้ที่หลายๆเม็ด	0	1	1
2. ใช้มอเตอร์ขนาดเล็กไม่ใหญ่	0	1	1
3. ใช้ด้ามทวนได้หลายขนาด	0	1	1
4. ใส่ด้ามทวนได้ง่าย	1	0	1
5. ความแข็งแรง	1	1	1
6. ราคาของอุปกรณ์	1	1	1
รวม	3	5	6

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบข้อเสียของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแต่ละแบบ

ข้อเสีย	คะแนนของอุปกรณ์จับด้ามพลอย (ไม่ดี = 0 , ดี = 1)		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1. การสึกหรอ	0	0	1
2. สิ่งสกปรก	1	0	1
3. ขนาดของอุปกรณ์	0	1	1
4. การเสียดสี	0	0	0
5. ค่าบำรุงรักษา	1	1	1
รวม	2	2	4

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นว่าอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3 จะเป็นแบบที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริงมากที่สุดเนื่องจากรวมข้อดีของ อุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 เข้าไว้ด้วยกันอีกยัง เข้ากับข้อกำหนดการออกแบบที่ได้วางไว้ข้างต้นอีกด้วย

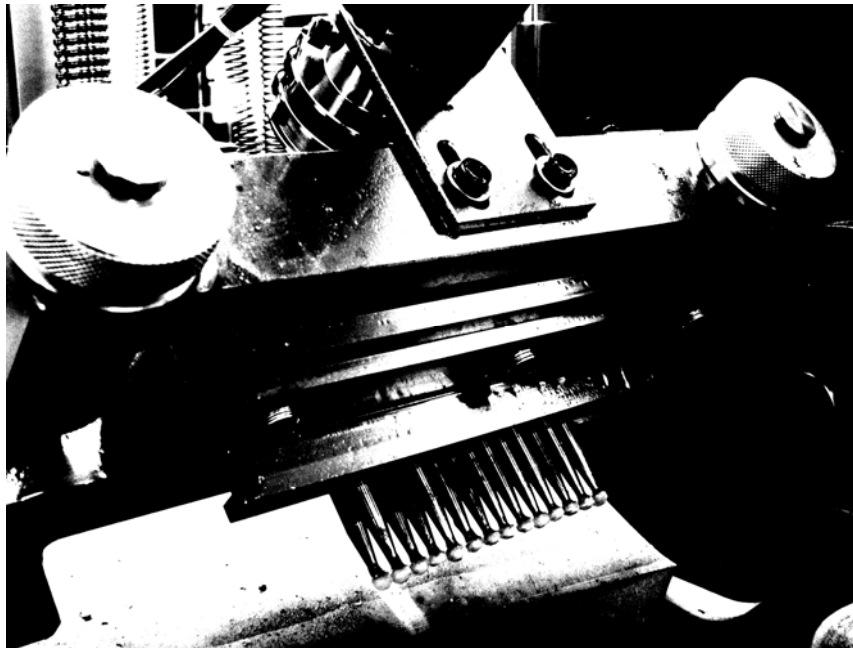
### 5.5 การผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยที่พัฒนาขึ้นแล้ว

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 ว่าการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ จะสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมประเภท CAD/CAM ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการออกแบบ รวมทั้งการขึ้นรูปชิ้นงาน อีกทั้งได้ชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูง



รูปที่ 5.26 การเรียงตัวของร่องลึบนบนอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบที่ 3





รูปที่ 5.27 การทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้าม

## บทที่ 6

### ขั้นตอนการออกแบบชุดจานเจียรไนพลอย

ในเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติ อุปกรณ์ชุดสำคัญที่ขาดไม่ได้เลยคือ ชุดจานเจียรไนพลอยซึ่งชุดจานเจียรไนพลอยนี้มีความสำคัญ คือ ทำหน้าที่ตัดเฉือนพลอยให้มีรูปร่างต่างๆกัน โดยมีเหลี่ยมมุมตามที่ต้องการ รวมทั้งยังต้องทำหน้าที่เป็นจานขัดเงา (Polished) เพื่อให้เหลี่ยมพลอยที่ผ่านการเจียรไนในขั้นตอนการเจียรไนหายาบ เมื่อขัดเงาแล้วมีความเงางามอีกด้วย ซึ่งการออกแบบชุดจานเจียรไนพลอยต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆที่จำเป็นดังต่อไปนี้คือ

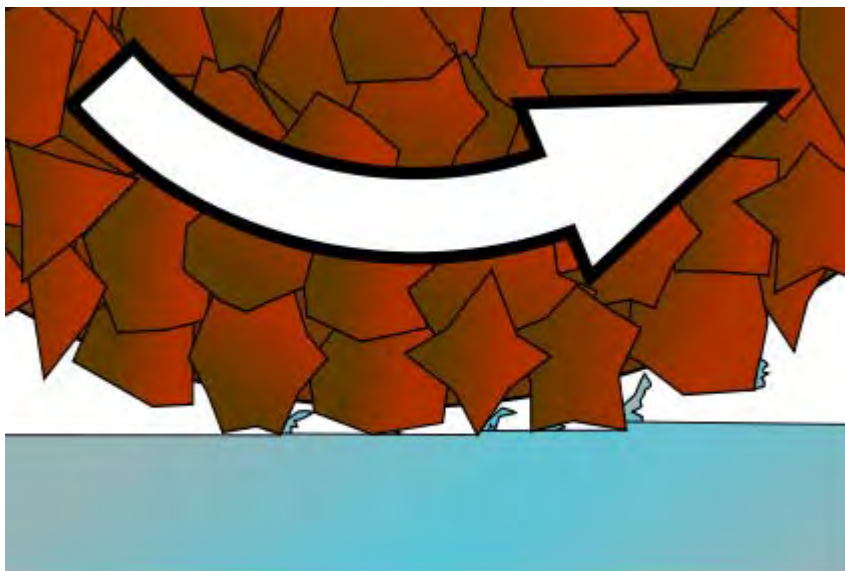
1. จำนวนจานเจียรไนที่ต้องใช้
2. ชนิดของจานเจียรไนที่ต้องใช้
3. ความหายาบและความละเอียดของจานหรือผงขัด
4. ความเร็วรอบของจานเจียรไน
5. ลักษณะการเคลื่อนที่ของชุดจานเจียรไน

จะเห็นได้ว่าชุดจานเจียรไนจะต้องออกแบบให้เข้ากับหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งในเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นแรกจำนวนของจานเจียรไนมีทั้งหมด 3 จาน แต่ในเครื่องรุ่นที่ 2 นี้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบคือ ต้องการให้มีจานเจียรไนเพิ่มขึ้นเป็น 5 จาน และต้องการให้จานเจียรไนมีความเร็วรอบสูงขึ้นกว่าเดิม เพื่อความรวดเร็วในการขึ้นรูปเหลี่ยม และขัดเงา อีกด้วย

#### 6.1 แนวคิดและหลักการทำงานของงานเจียรไน [4]

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า หลักการในการเจียรไนคือ การใช้จาน หรือ ล้อ ที่มีการเคลือบผงขัดเอาไปมาทำการตัดเฉือน ขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการดังรูปที่ 6.1 ซึ่งการเจียรไนเป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูง เหมาะแก่การขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำ และ ต้องการความเรียบของผิวชิ้นงาน ซึ่งความเรียบของผิวชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับชนิดของผงขัดที่เคลือบอยู่บนจานหรือหินนั้นๆ ผงขัดที่ใช้มีหลายชนิดคือ อลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide), ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide), เพชร (Diamond) และ คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (Cubic Boron Nitride) ซึ่งในการเจียรไน ชิ้นงานที่ทำการเจียรไนต้องมีการหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็น เพื่อป้องกันการเกิดความร้อนขึ้นที่ผิวชิ้นงาน และ ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น รวมทั้งการป้องกันการเกิดรอยขึ้นที่

บริเวณผิวของชิ้นงานอีกด้วย โดยสารหล่อเย็นนี้จะมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาใช้ เจียรระไน โดยทั่วไปจะเป็นส่วนผสมระหว่าง น้ำกับสารเคมี หรือน้ำผสมกับตัวทำละลายน้ำมัน หรือ ตัวทำละลายน้ำมัน เป็นต้น โดยการหล่อเย็นต้องทำให้น้ำหล่อเย็นเข้าถึงวัสดุที่ต้องการให้ทั่วถึง มิฉะนั้น อาจจะทำให้ผิวของชิ้นงานมีรอย หรือ มีผลอันไม่พึงประสงค์ได้



รูปที่ 6.1 การตัดเฉือนชิ้นงานของการเจียรระไน [5]

จากหลักการของการเจียรระไนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่า ส่วนประกอบที่สำคัญในการเจียรระไนมี 3 ประการคือ วัสดุที่จะนำมาเจียรระไนงานและผงขัดที่ใช้เจียรระไน ของเหลวที่ใช้หล่อเย็น ซึ่งจากส่วนประกอบที่สำคัญดังกล่าวสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบชุดจานเจียรระไนได้เป็นส่วนๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

## 6.2 การออกแบบชุดจานเจียรระไน

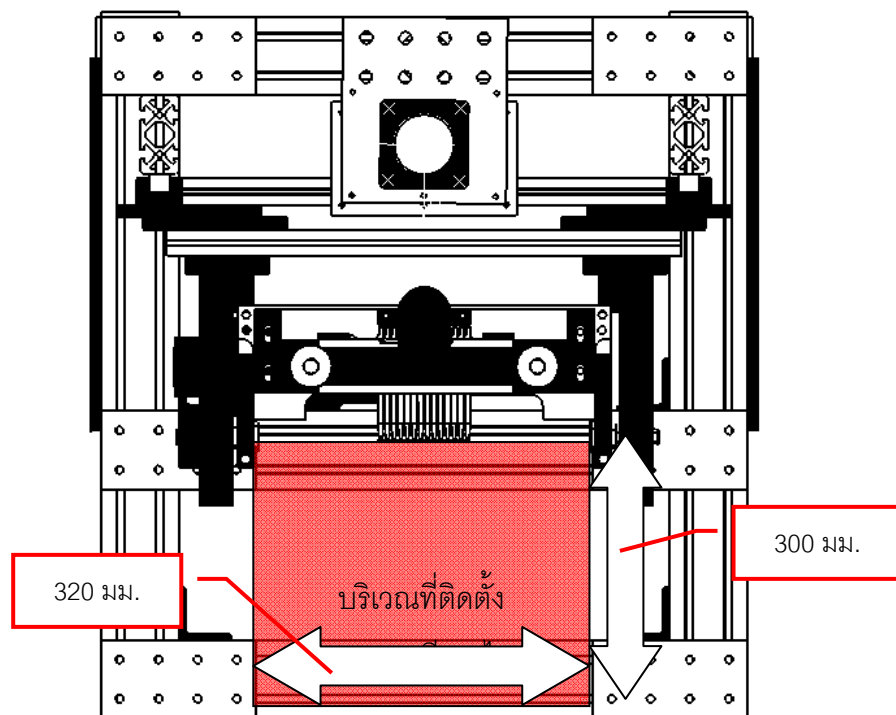
จากหัวข้อที่แล้ว กล่าวถึงสิ่งที่เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจียรระไน ในหัวข้อนี้เราจะนำปัจจัยเหล่านั้นมาช่วยในการออกแบบชุดจานเจียรระไน ซึ่งในการออกแบบชุดจานเจียรระไนสามารถแบ่งส่วนประกอบต่างๆ ของชุดจานเจียรระไนพลอยได้ดังนี้

1. จานเจียรระไน
2. ชุดหมุนจานเจียรระไน
3. ชุดโยกจานเจียรระไน
4. ชุดหมุนเปลี่ยนจานเจียรระไน

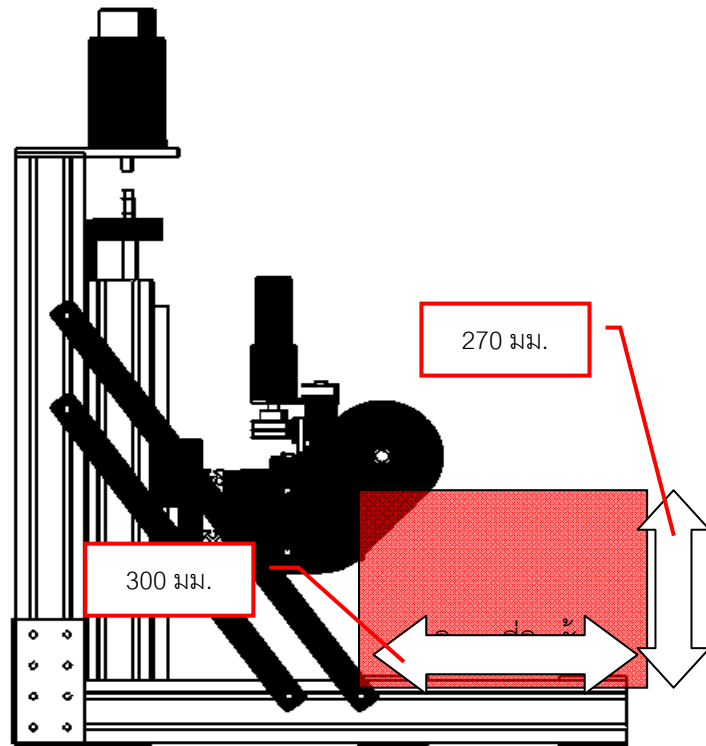
โดยชุดงานเจียระไนดังกล่าว จะเห็นได้ว่า จะต้องใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ชุดงานเจียระไนถึง 3 ตัวด้วยกัน คือ มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนของงานเจียระไน มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนชุดโยกงานเจียระไน มอเตอร์ที่ใช้หมุนเปลี่ยนงานเจียระไน ดังนั้นจะต้องคิดหาวิธีในการติดตั้งอุปกรณ์ขับเคลื่อนทั้ง 3 ชั้นนี้ ลงบนชุดงานเจียระไน อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงเรื่องเนื้อที่ในการติดตั้งอีกด้วย ในที่นี้จะแบ่งรายละเอียดของการออกแบบชุดงานเจียระไนออกเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

### 6.2.1 การออกแบบพื้นที่ติดตั้งชุดงานเจียระไน

ในการออกแบบชุดงานเจียระไน เป้าหมายในการออกแบบ คือ ต้องการงานเจียระไนทั้งหมดจำนวน 5 งาน ซึ่งสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกคือ เนื้อที่ในการติดตั้งงานเจียระไน ซึ่งจากข้อมูลตามแบบที่วาดไว้ในโปรแกรม CATIA จะมีบริเวณเนื้อที่ให้ติดตั้งงานเจียระไนได้ดังรูปที่ 6.2 และ 6.3

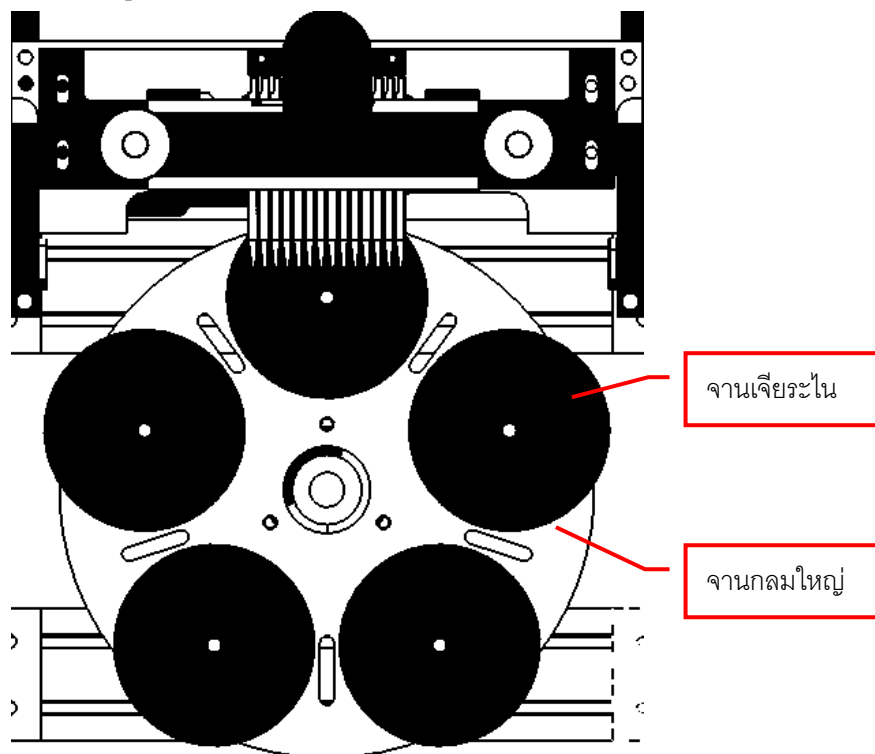


รูปที่ 6.2 พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งงานเจียระไน



รูปที่ 6.3 พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งงานเจียระไน (ต่อ)

จากการพิจารณาบริเวณพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งชุดงานเจียระไนพลอยแล้วจะสามารถ  
ออกแบบชุดงานเจียระไนได้ดังรูปที่ 6.4

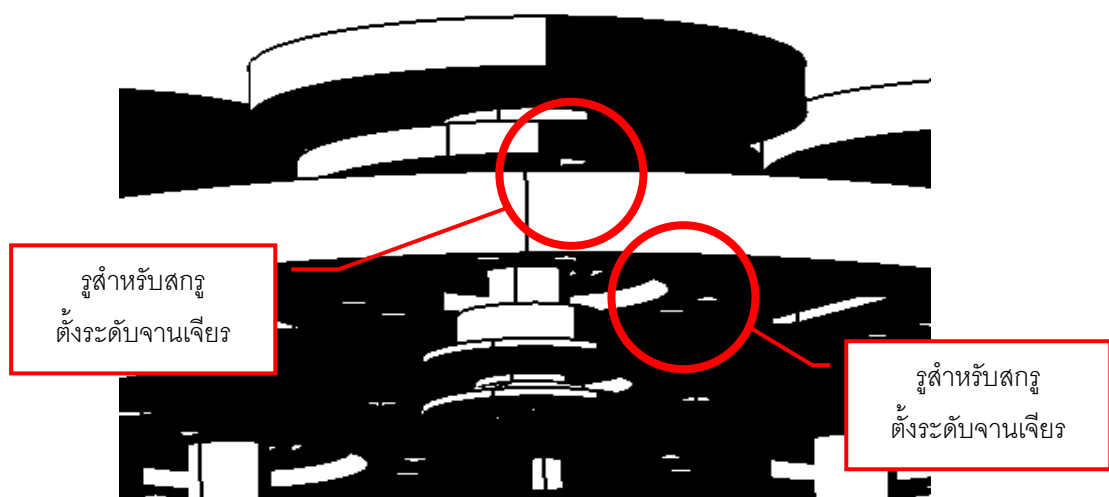


รูปที่ 6.4 การวางตำแหน่งของงานเจียระไน

ซึ่งจากรูปที่ 6.4 บริเวณที่ติดตั้งชุดจานเจียร์ไน จะมีขนาดบริเวณทำงาน ประมาณเป็น กว้าง x ยาว x สูง = 320 มม. x 300 มม. x 270 มม. และ จะเห็นว่าตำแหน่งของชุดจานเจียร์ไนจะวางตัวอยู่ในแนวกึ่งกลางของเครื่องเจียร์ไน โดยจานแต่ละจานจะมีขนาดเท่ากันทั้งหมด และ ทำมุมต่อกัน เป็นมุม 72 องศา เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรมเปลี่ยนจานเจียร์ไน นอกจากนี้ เนื่องจากเครื่องเจียร์ไนพลอยต้องมีการหมุนเปลี่ยนจาน จากจานหยาบไปจานขัลดะเอียด ดังนั้นจึงต้องวางจานเจียร์ไนลงบนแผ่นจานกลมใหญ่ เพื่อให้จานกลมใหญ่ทำหน้าที่หมุนเปลี่ยนจานเจียร์ไนได้

ในการออกแบบจานเจียร์ไนนี้ เรื่องการปรับตั้งระดับของจานเจียร์เป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงเรื่องความยืดหยุ่นในการตั้งระดับจาน ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีการตั้งระดับจานเจียร์ด้วยการใช้ สกรูตัวผู้เป็นตัวตั้งระดับซึ่งมีทั้ง การขันสกรูเพื่อให้จานแน่น และ การขันตั้งระดับความสูง ซึ่งการตั้งจานเจียร์ไนจะกระทำเมื่อ มีการย้ายตำแหน่งของเครื่องใหม่ หรือ มีการเปลี่ยนอุปกรณ์บางชิ้น ซึ่งเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่ง อาจจะทำให้สกรูมีการคลายตัวได้ จึงต้องทำการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

จานเจียร์ไนแต่ละจานจะมีความเรียบแตกต่างกัน โดยจานแรกที่ใช้เจียร์ไนจะเป็นจานเคลือบผงเพชรเบอร์ที่หยาบที่สุด จานที่ 2, 3 จะเป็นเบอร์ที่ละเอียดขึ้น จานที่ 4 (ทาคริมเคลือบผงเพชร) และ 5 (ทาคริมเคลือบผงเพชร) จะใช้เป็นจานขัดเงา โดยในที่นี้จะนำแผ่นซีดี มาวางลงบนจานโลหะแล้วทาผงเพชรเบอร์ละเอียดลงไปบนแผ่นซีดี โดยผงเพชรต้องผสมกับครีม ซึ่งครีมจะช่วยทำหน้าที่ยึดผงเพชรเข้าไว้ด้วยกัน และ ยังทำให้ผงเพชรเกาะกับแผ่นซีดีอีกด้วย



รูปที่ 6.5 ส่วนที่ใช้ในการตั้งระดับจานเจียร์ไน

## 6.2.2 การออกแบบชุดขับหมุนจานเจียร์ไน

นอกจากเรื่องจำนวนของจานเจียร์ที่ต้องการเพิ่มขึ้นแล้ว ความเร็วรอบของจานเจียร์ไนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องการ เพราะ ถ้าความเร็วรอบของจานเจียร์ไนเพิ่มขึ้น ก็จะช่วยทำให้สามารถเจียร์ไนพลอยได้เร็วขึ้นเพราะมี ความเร็วตัด ( Cutting Speed ) ที่บริเวณขอบของจานเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถตัดเฉือนพลอยได้เร็ว ดังสมการ

$$\text{RPM} = \frac{V_c * 1000}{\pi * d} \quad (6.1)$$

RPM = รอบต่อนาที

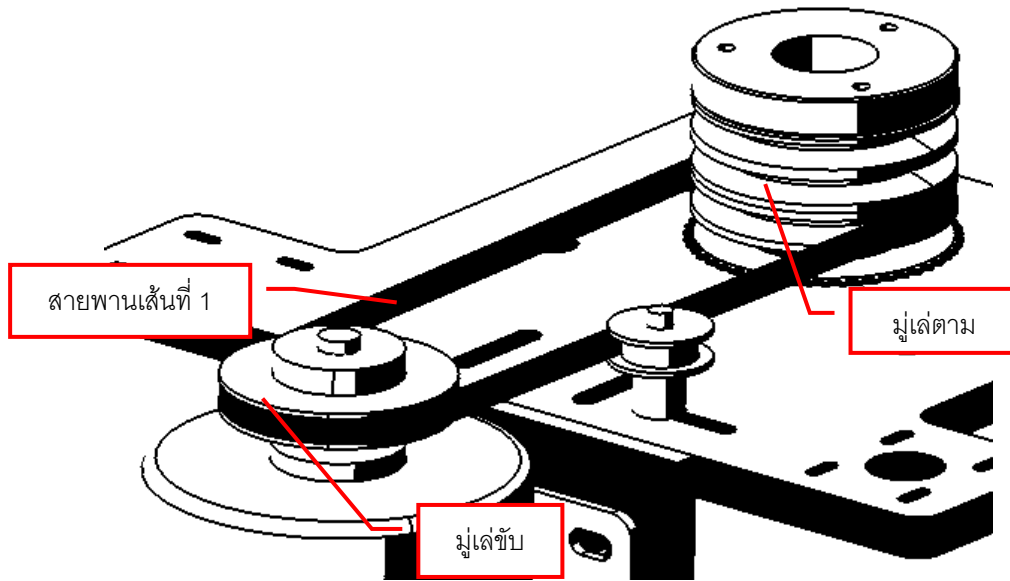
$V_c$  = ความเร็วตัด ( ม./นาที )

d = เส้นผ่านศูนย์กลางจานเจียร์ไน ( มม. )

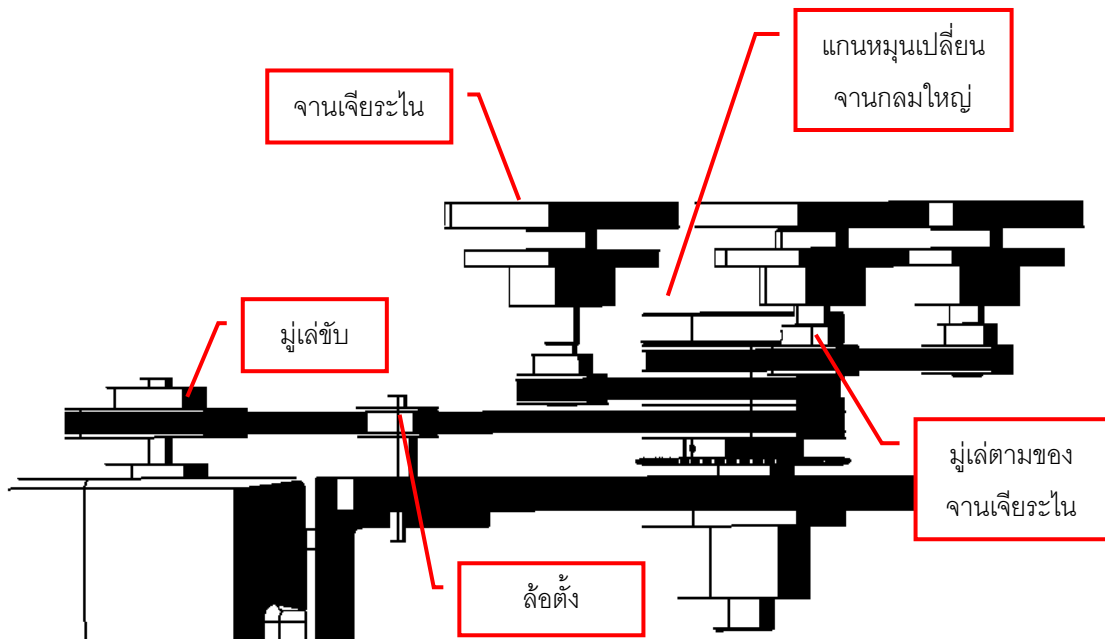
โดยจะเห็นว่าความเร็วตัดจะมากขึ้นถ้ายิ่งห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางจานเจียร์ไน โดยจะเห็นว่าถ้ามีการเพิ่มรอบการหมุนก็จะทำให้เกิดความเร็วตัดมากขึ้น ดังนั้นเป้าหมายคือต้องการเพิ่มรอบของจานเจียร์ไน จึงต้องมีการออกแบบชุดส่งกำลังเพื่อที่จะส่งกำลังและทอดรอบจากมอเตอร์ขับมู่เล่ตัวขับไปยังมู่เล่เจียร์ไนซึ่งจะต้องคำนวณรอบการหมุน ซึ่งในที่นี้เราจะใช้ร่องสายพานเป็นแบบร่องรูปตัววีรหัส SPZ เป็นมาตรฐาน เพราะต้องการลดเสียงที่เกิดจากสายพาน

การทำงานของชุดขับจานเจียร์ไนพลอยจะเริ่มจากมอเตอร์ที่ชุดมู่เล่ตัวขับหมุนส่งกำลังมายังมู่เล่ตัวตาม ซึ่งมู่เล่ตัวตาม จะสามารถหมุนรอบแกนหมุนเปลี่ยนจานกลมใหญ่ได้ โดยที่ตัวแกนหมุนเปลี่ยนจานกลมใหญ่สามารถที่จะหมุนเพื่อเปลี่ยนจานเจียร์ไนได้เช่นกัน แต่ขณะที่ทำการเจียร์ไนพลอย แกนหมุนเปลี่ยนจานกลมใหญ่จะถูกล็อกเอาไว้ด้วยชุดเฟืองโซ่ ที่ต่อมาจากมอเตอร์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจานเจียร์ไน ในขณะที่มู่เล่ยังหมุนส่งกำลังอยู่ตลอดเวลา มู่เล่ตัวตามนี้จะถูกออกแบบให้มีร่อง 3 ชั้นคือ ร่องมู่เล่ตามร่องที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ ซึ่งร่องมู่เล่ทั้ง 3 นี้จะมีขนาดเท่ากันโดยร่องมู่เล่ที่ 2, 3 จะทำหน้าที่ขับจานเจียร์ไน ให้หมุนไปด้วย เนื่องจากมู่เล่ตัวตามของจานเจียร์ไน จะมีขนาดเท่ากันทั้งหมดทั้ง 5 จาน ทำให้จำนวนรอบที่จานเจียร์ไนแต่ละจานได้รับเท่ากันทั้งหมด

เนื่องจากจานเจียร์ไนมีจำนวนทั้งหมด 5 จาน ดังนั้นจึงต้องคิดกลไกที่จะทำให้จานทั้ง 5 จานหมุนไปด้วยความเร็วรอบที่เท่ากันโดยจะมีการส่งกำลังมาจากมู่เล่ขับ ซึ่งในเครื่องเจียร์ไนพลอยแบบอัตโนมัตินี้ได้ออกแบบกลไกการขับจานทั้ง 5 จานไว้ดังรูปที่ 6.6

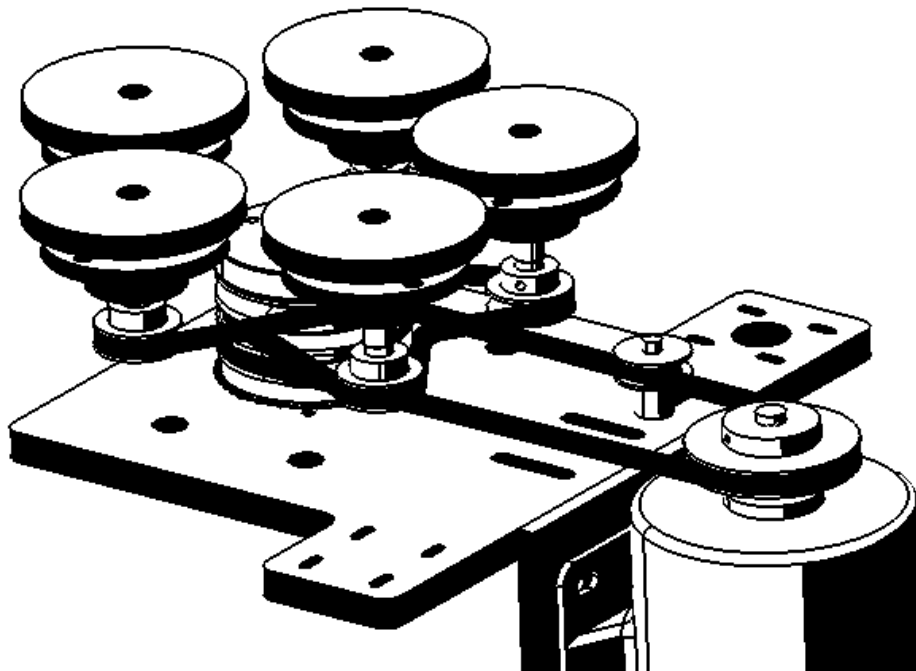


รูปที่ 6.6 กลไกการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังงานเจียระไนทั้ง 5 งาน

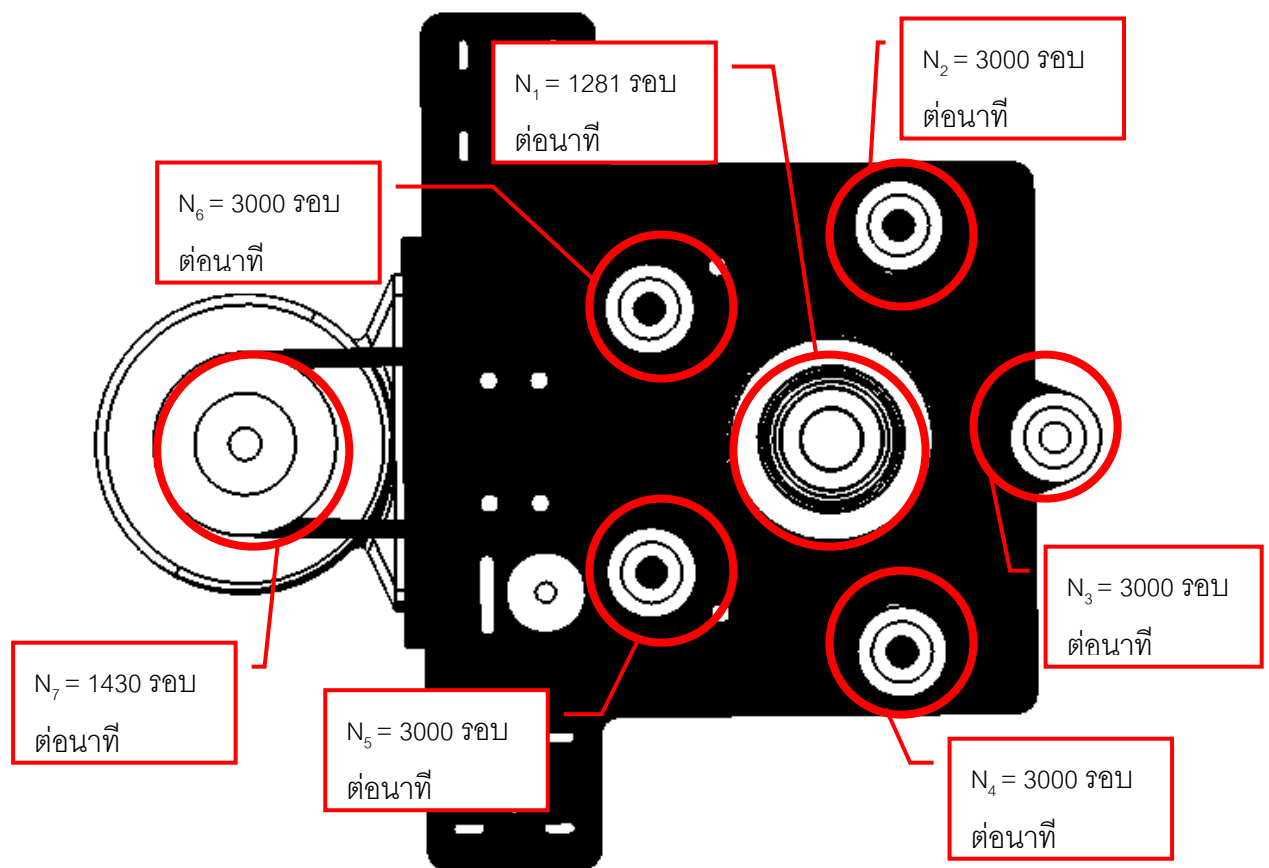


รูปที่ 6.7 กลไกการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังงานเจียระไนทั้ง 5 งาน (ต่อ)





รูปที่ 6.8 กลไกการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังงานเฉื่อยระเนทั้ง 5 งาน (ต่อ)



รูปที่ 6.9 การทดรอบจากมู่เล่ตัวขับไปยังมู่เล่ตัวตามของงานเฉื่อยระเนทั้ง 5 งาน

จากข้อกำหนดเรื่องความเร็วรอบของจานเจียร์ไนที่ต้องการความเร็วรอบของจานเจียร์ไนให้สูงขึ้นจากเดิมคือ ในเครื่องเจียร์ไนพลอยรุ่นเดิมมีความเร็วรอบของจานอยู่ที่ประมาณ 1500 รอบต่อนาทีในเครื่องเจียร์ไนพลอยรุ่นที่ 2 นี้ต้องการให้เครื่องมีความเร็วรอบอยู่ในช่วง 2500-3500 รอบต่อนาที ซึ่งสูงขึ้นดังนั้นเราสามารถที่จะคำนวณขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่ตัวขับได้ จาก ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่จานเจียร์ไนได้ดังนี้

จากรูปที่ 6.9 กำหนดให้

$D_1$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่ตัวตาม (มม.)
$D_2$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 2 (มม.)
$D_3$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 3 (มม.)
$D_4$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 4 (มม.)
$D_5$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 5 (มม.)
$D_6$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 6 (มม.)
$D_7$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่ตัวขับ (มม.)
$N_1$	=	จำนวนรอบของมู่เล่ตัวตาม (รอบต่อนาที)
$N_2$	=	จำนวนรอบของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 2 (รอบต่อนาที)
$N_3$	=	จำนวนรอบของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 3 (รอบต่อนาที)
$N_4$	=	จำนวนรอบของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 4 (รอบต่อนาที)
$N_5$	=	จำนวนรอบของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 5 (รอบต่อนาที)
$N_6$	=	จำนวนรอบของมู่เล่จานเจียร์ไนตัวที่ 6 (รอบต่อนาที)
$N_7$	=	จำนวนรอบของมู่เล่ตัวขับ (รอบต่อนาที)

จากรูปที่ 6.9 มู่เล่ตัวขับ ใช้มอเตอร์ 1 เฟส มีความเร็วรอบ = 1430 รอบต่อนาที มีกำลัง 0.5 แรงม้า มี  $D_1 = 96$  มม.  $D_7 = 86$  มม.  $N_7 = 1430$  รอบต่อนาที เราสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมู่เล่และความเร็วรอบของจานต่างๆได้ดังนี้

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \frac{D_1}{D_7} = \frac{N_7}{N_1} \quad , \quad N_1 = \frac{D_7 N_7}{D_1} = \frac{(86)(1430)}{96} = 1281 \text{ รอบต่อ}$$

นาที

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า  $N_1 = 1281$  รอบต่อนาที

ต่อไปพิจารณาระหว่างมูเล่  $D_1$  กับ มูเล่ของจานเจียร์ใน  $D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$  (มีขนาดเท่ากัน)

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \frac{D_1}{D_2} = \frac{N_2}{N_1}, \quad N_2 = \frac{D_1 N_1}{D_2} = \frac{(96)(1281)}{41} = 3000 \text{ รอบต่อ}$$

นาที

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า  $N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = N_6 = 3000$  รอบต่อนาที

จะเห็นได้ว่าจากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นสามารถหาความสัมพันธ์ของ จำนวนรอบของมูเล่ตัวขับ  $N_7$  กับ จำนวนรอบของมูเล่จานเจียร์ในตัวที่  $N_2$  ได้ดังนี้

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \frac{D_1}{D_7} = \frac{N_7}{N_1} \text{ และ } \frac{D_1}{D_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (6.2)$$

$$\text{จะได้ว่า } N_2 = \frac{D_1 N_7}{D_2} = \frac{D_7 N_7}{D_2} \quad (6.3)$$

ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์โดยตรงจาก มูเล่จานขับ กับ มูเล่จานเจียร์ได้ทันที

ในที่นี้จะทำตารางความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมูเล่จานเจียร์  $N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$  และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมูเล่ตัวขับ  $D_7$  ได้ดังนี้

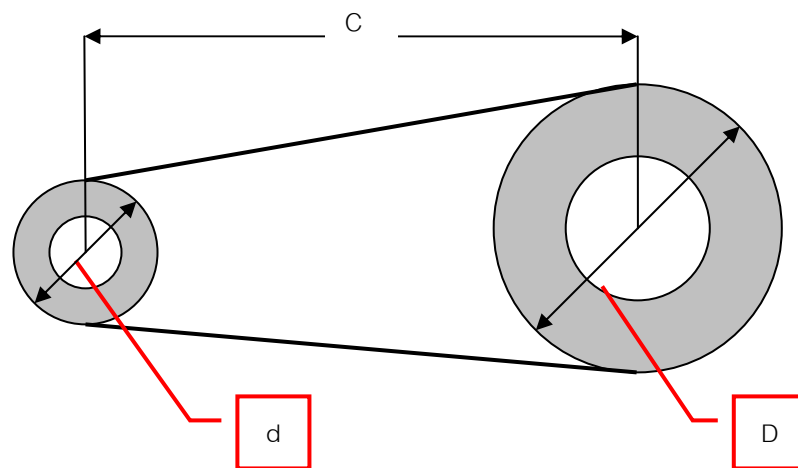
ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมูเล่จานเจียร์ และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมูเล่ตัวขับ

ความเร็วรอบของมูเล่จานเจียร์ $N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ (รอบต่อนาที)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของมูเล่ตัวขับ $D_7$ (มม.)
10,000	286.71
9,000	258.04
8,000	229.37
7,000	200.69
6,000	172.02
5,000	143.35
4,000	114.68
3,000	86.01

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.1 แล้ว จะเห็นว่า รอบที่ต้องการอยู่ในช่วง 2,500-3,500 รอบต่อนาที ซึ่งจะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่ตัวขับเคลื่อน มีค่าเป็น =86.01 มม. ซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป และได้รอบที่งานเจียรออกมาเป็น 3,000 รอบต่อนาที โดยสรุปแล้วจะมีการอัตราทด [6] อยู่ที่

$$\text{อัตราทด} = \frac{D_2}{D_7} = \frac{N_7}{N_2} = \frac{41}{86} = 0.476$$

นอกจากการคำนวณรอบของงานเจียระไนแล้วสิ่งสำคัญต่อมาคือ การหาขนาดความยาวของสายพานซึ่งต้องให้มี สอดคล้องกับในห้องตลาด ซึ่งการหาความยาวของสายพานสามารถทำได้โดยการคำนวณจากสูตร หรือ หาได้จากการวาดแบบในโปรแกรม CATIA ซึ่งในที่นี้จะแสดงการหาความยาวของสายพานเส้นที่ 1 โดยใช้สูตรได้ดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 การหาความยาวของสายพานโดยใช้สูตร

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \left(\frac{D - d}{4C}\right)^2 \quad (6.4)$$

- L = ความยาวของสายพาน (มม.)  
 C = ระยะระหว่างศูนย์กลางของมู่เล่ (มม.)  
 d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่เล็ก (มม.)  
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของมู่เล่ใหญ่ (มม.)

เนื่องจากว่าระยะระหว่างศูนย์กลางของมู่เล่ ที่ได้ออกแบบไว้คือ 288.5 มม. , d = 86 มม. , D = 96 มม.

$$\text{ดังนั้น } L = 2(288.5) + 1.57(96 + 86) + \left(\frac{(96 - 86)^2}{4(288.5)}\right) = 862.826 \text{ มม.}$$

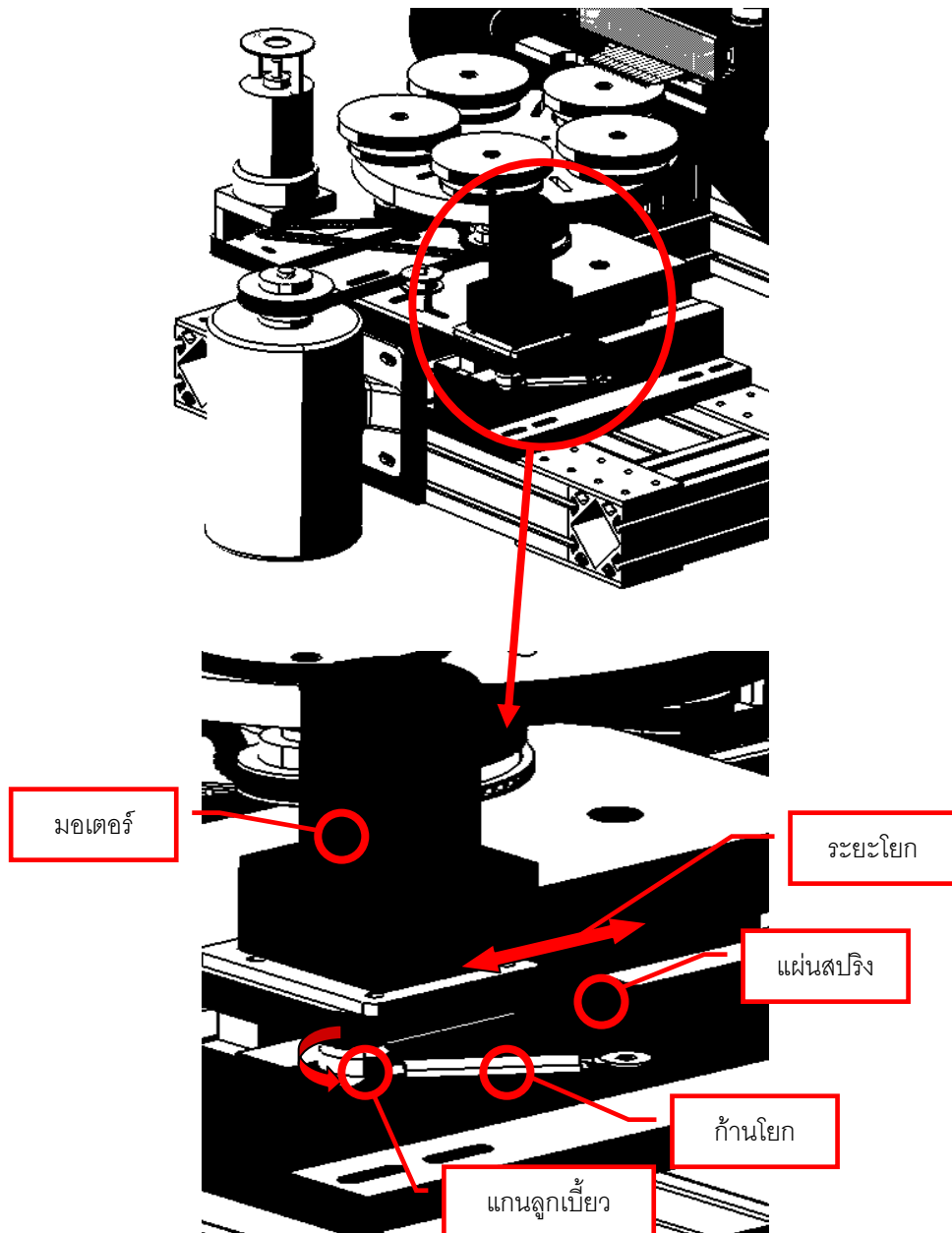
สายพานในท้องตลาด จะจำหน่ายเป็นหน่วยนิ้วดังนั้น จึงต้องแปลงความยาวให้เป็นหน่วยนิ้ว ได้เป็น 33.969 นิ้ว ซึ่งในท้องตลาดสายพานที่มีจำหน่ายจะมีขนาด 32 “ , 33.5” , 35.5” ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้สายพานขนาด 35.5” โดยจะมีการติดตั้งล้อตั้งสายพาน เพื่อปรับตั้งความตึงของสายพาน โดยร่องสายพานและสายพานที่เลือกใช้เป็นรหัส SPZ ซึ่งเป็นสายพานขนาดเล็ก

สายพานเส้นที่ 2 และ 3 เนื่องจากสายพานพันรอบมู่เล่จานเจียรระไน พร้อมๆกันเป็นจำนวน 2 มู่เล่และ 3 มู่เล่ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณจะได้ลำบากจึงต้องหาความยาวของสายพานจากรูปวาดในโปรแกรม CATIA ซึ่งความยาวสายพานเส้นที่ 2 ในโปรแกรมมีความยาวคือ 21” และความยาวสายพานเส้นที่ 3 ในโปรแกรม มีความยาวคือ 24” ตามลำดับซึ่งในท้องตลาดมีจำหน่ายจึงสามารถเลือกใช้ได้โดยตรง ส่วนการปรับตั้งสายพานอาจจะทำได้โดยใช้ล้อตั้งสายพานเช่นเดียวกัน

### 6.2.3 การออกแบบชุดโยกจานเจียรระไน

เมื่อได้ออกแบบจานเจียรระไน และ ชุดหมุนจานเจียรระไนแล้ว อุปกรณ์ชุดที่สำคัญต่อมาคือชุดโยกจานเจียรระไน ซึ่งทำหน้าที่โยกจานเจียรระไนทั้งชุดให้เคลื่อนที่เป็นแบบเส้นตรงเข้าและออกขณะทำการเจียรระไนซึ่งจะช่วยให้จานเจียรระไนไม่สึกหรอเร็วที่จุดเดียว และ ยังช่วยในเรื่องของการขัดผิวพลอยอีกด้วย

หลักการทำงานของชุดโยกจานเจียรระไนคือ เมื่อมอเตอร์หมุนแกนลูกเบี้ยว ที่ต่ออยู่กับแกนเพลลาของมอเตอร์ ลูกเบี้ยวจะทำหน้าที่โยกชุดจานเจียรระไนพลอยทั้งชุด โดยการโยกนี้จะมีการใช้แผ่นสปริงซ้อนกัน เพื่อช่วยให้ชุดจานเจียรระไน มีการสปริงตัวถอยเข้า และ ถอยออก เป็นจังหวะ โดยได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 6.11



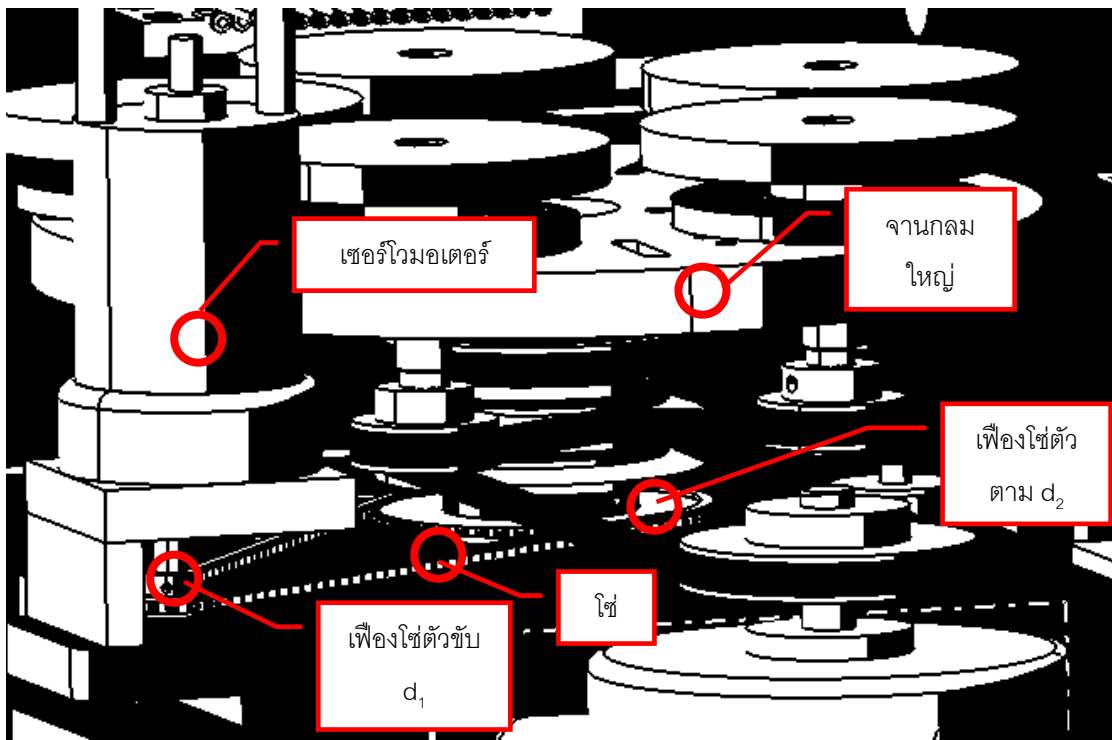
รูปที่ 6.11 ชุดโยกงานเจียระไน

ข้อควรระวังในการตั้งระยะโยกงานเจียระไนคือ ต้องระวังไม่ให้ระยะโยกมากเกินไปเกินระยะที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 10 มม. เพราะถ้าโยกเกินระยะที่กำหนด จะทำให้งานเจียระไนเลื่อนไปชนกับแท่นยึดอุปกรณ์จับด้ามพลอยอาจจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้ เพราะงานเจียระไนมีการหมุนอยู่ตลอดเวลา

#### 6.2.4 การออกแบบชุดหมุนเปลี่ยนงานเจียระไน

ส่วนสุดท้ายของการออกแบบชุดงานเจียระไนพลอยคือ ชุดเปลี่ยนงานเปลี่ยนงานคือ ใช้เฟืองโซ่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งกำลัง โดยมีการล็อกตำแหน่งของงานไว้ โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ควบคุม

ตำแหน่งของเฟืองโซ่ตัวขับ โดยมีการทดรอบการหมุนไปยังเฟืองโซ่ตัวตาม ซึ่งการเปลี่ยนงานเจียร์ไนจะกระทำเมื่อเจียร์ไนพลอยเสร็จขั้นตอนแรกแล้ว คือ การขึ้นเหลี่ยมอย่างหยาบ จากนั้นงานต่อไปก็จะเป็นงานที่ละเอียดมากขึ้น เพื่อให้เหลี่ยมของพลอยคมชัดมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งการเปลี่ยนงานเจียร์ไนจะกระทำได้ เมื่อได้มีการยกชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอยขึ้นให้พ้นจาก ชุดงานเจียร์ไนก่อนเพื่อป้องกันการหมุนชนเจียร์ไน ซึ่งชุดเปลี่ยนงานนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนงานโดยอัตโนมัติ ตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งกลไกที่ใช้ในการ



รูปที่ 6.12 ส่วนประกอบของชุดเปลี่ยนงานเจียร์ไน

สามารถหาอัตราทดของเฟืองโซ่ตัวขับและเฟืองโซ่ตัวตามได้ดังนี้คือ

$$\text{อัตราทด} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{101.13}{25.534} = 4.122$$

โดยกำหนดให้  $d_1$  = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเฟืองโซ่ตัวขับ (มม.)

$d_2$  = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเฟืองโซ่ตัวตาม (มม.)

### 6.3 การผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับชุดจานเจียร์ไนที่พัฒนาขึ้นแล้ว

ในการผลิตชุดจานเจียร์ไนทั้งชุดจะมีการออกแบบด้วยโปรแกรม CATIA ก่อนแล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริงขึ้นมาโดยจะมีการออกแบบและแก้ไขจนกระทั่งแน่ใจแล้ว จึงนำมาผลิตเป็นชิ้นงานจริง โดยการผลิตจะกระทำด้วยเครื่อง ซีเอ็นซี (CNC machine) ซึ่งสามารถทำงานได้แม่นยำในระดับ 5-10 ไมครอน รูปข้างล่างนี้จะแสดงตัวอย่างชุดจานเจียร์ไนพลอยที่ได้จากการผลิตจริง



ก)



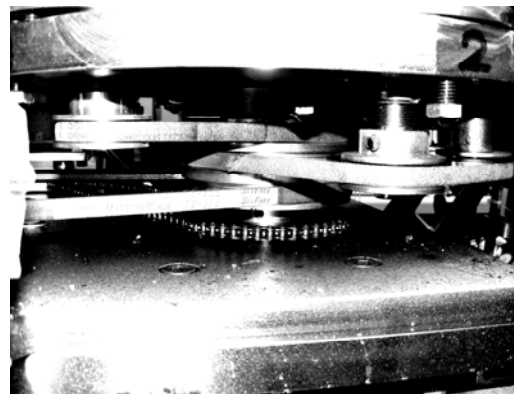
ข)

รูปที่ 6.13 ก) ชุดจานเจียร์ไนพลอยขณะทำการประกอบ

ข) ชุดจานเจียร์ไนทั้ง 5 จาน



ก)

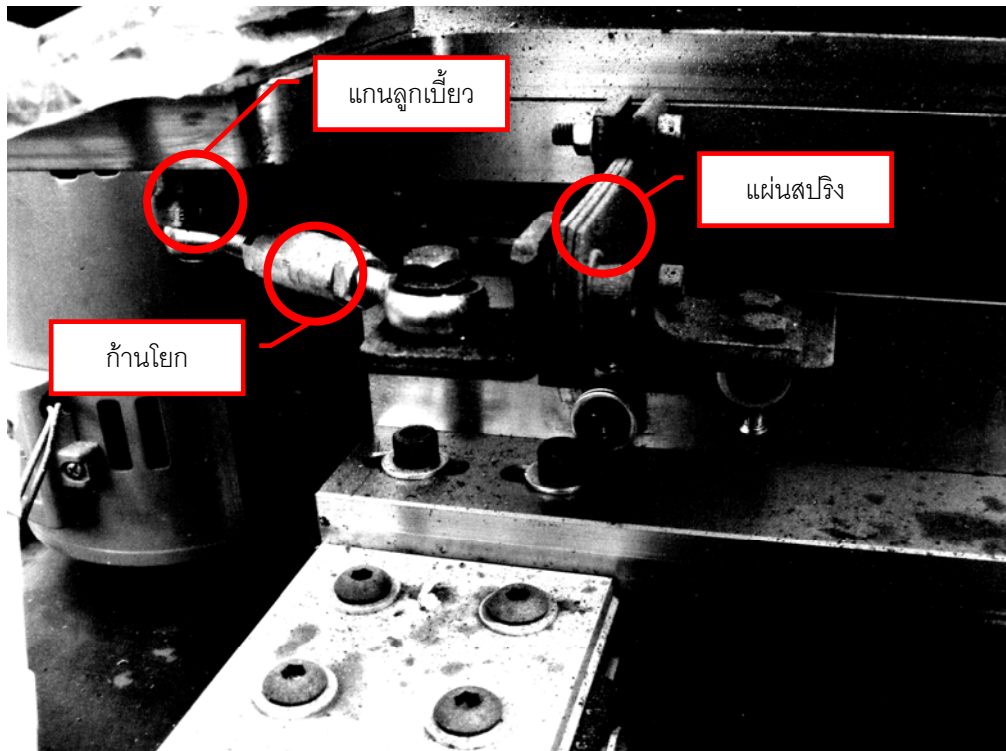


ข)

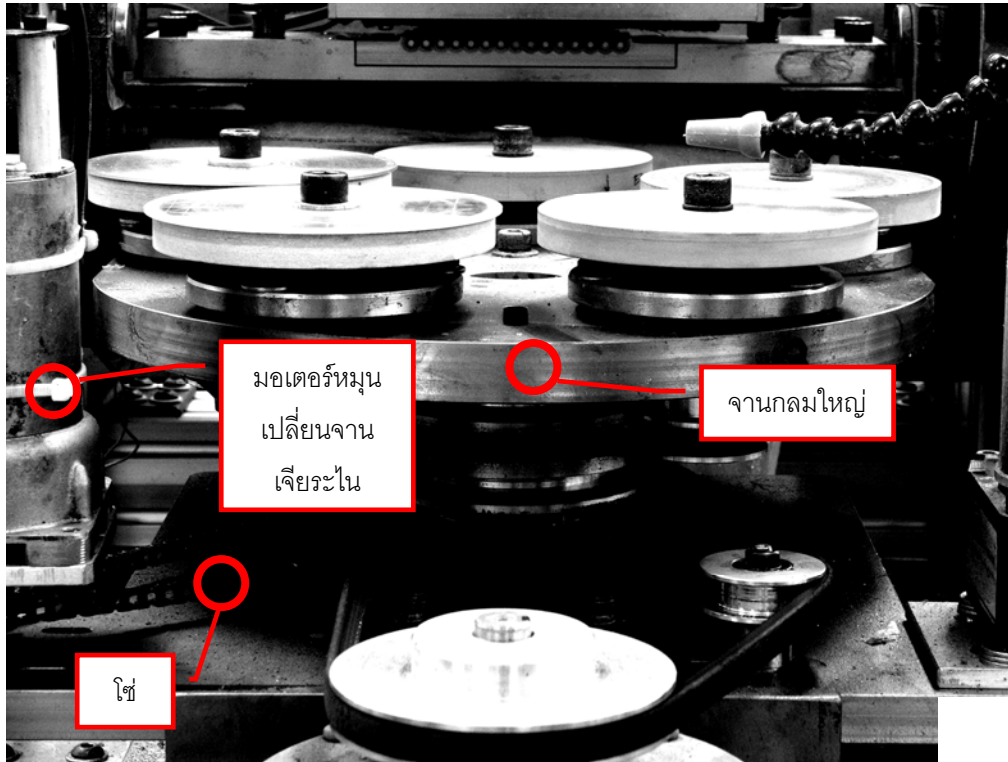
รูปที่ 6.14 ก) ระบบขับเคลื่อนของชุดหมุนงานเจียร์ไนพลอย

ข) ระบบขับเคลื่อนของชุดหมุนงานเจียร์ไนพลอย (ต่อ)





รูปที่ 6.15 ชุดโยกงานเจียรไนพลอย



รูปที่ 6.16 ชุดหมุนเปลี่ยนงานเจียรไนพลอย

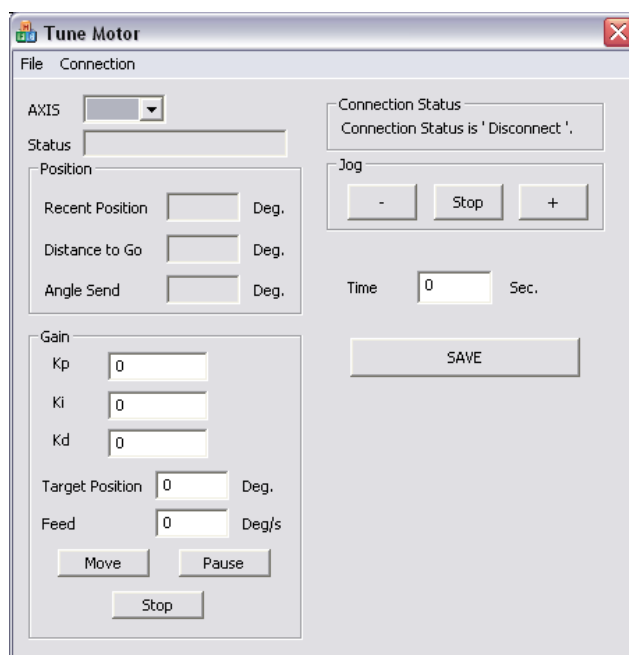
## บทที่ 7

### การทดลองควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอย

ในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีการทดลองควบคุมอุปกรณ์จับด้ามพลอยซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นแกน Y ของเครื่องเจียระไนพลอยซึ่งแกน Y จะทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งการหมุนของมุมดรรชนี (Index Angle) ของด้ามทวนเพื่อใช้ในการกำหนดจำนวนเหลี่ยมมุมของเม็ดพลอยเป็นหลัก โดยในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกปรับค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่ใช้ควบคุมเฉพาะแกน Y เท่านั้นและจะมีการสร้างชุดทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า สัญญาณขาเข้า (Input Signal) กับค่า สัญญาณขาออก (Output Signal) และทำการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการปรับจูนค่าเกณฑ์ รวมทั้งทำการทดสอบและบันทึกผลการเจียระไนพลอยที่ได้กำหนดรูปร่างเบื้องต้นไว้แล้ว กับอุปกรณ์จับด้ามพลอย เพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอีกด้วย

โดยการปรับค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบ พีไอดี ของแกนอื่นๆ คือ แกน X, แกน Z และแกน A จะอยู่ในหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องการออกแบบชุดควบคุมสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติโดยจะมีการวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันกับการทดลองนี้

#### 7.1 โมเดลการทดลอง



รูปที่ 7.1 หน้าต่างของโปรแกรม Tune Motor

การทดลองจะมีการสร้างโปรแกรม Tune Motor ที่ใช้ในการควบคุมแกนการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียระไนพลอยได้ทุกแกนโดยโปรแกรมสามารถสั่งงานให้มอเตอร์เคลื่อนที่โดยการกำหนดตำแหน่งปลาย (Target) และความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ แล้วจึงทำการเก็บค่าสัญญาณขาเข้า และ สัญญาณขาออกมาสร่างเป็นกราฟเปรียบเทียบ และ นำมาทำการวิเคราะห์ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น รวมทั้งลักษณะการตอบสนองด้วยโดยจะมีหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้งานดังรูปที่ 7.1

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ว่าในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละแกนจะใช้ตัวควบคุมแบบ พีไอดี ( PID-Controller ) ซึ่งตัวควบคุมประเภทนี้จะต้องมีการกำหนดค่าอัตราขยายที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุม เพื่อที่จะได้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนได้อย่างแม่นยำ และเคลื่อนที่ได้อย่างราบเรียบ ซึ่งหากกำหนดอัตราขยายไม่เหมาะสม อาจจะทำให้การเคลื่อนที่เกิดภาวะไร้เสถียรภาพได้ ( Unstable ) ซึ่งอาจทำให้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้

### 7.1.1 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. จัดตำแหน่งของทวนให้อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นที่จะทำการทดลอง
2. ทดลองสุ่มค่าอัตราขยาย Kp, Ki และ Kd ลงในโปรแกรม
3. กำหนดตำแหน่งปลาย และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ ลงในโปรแกรม
4. กำหนดระยะเวลาในการเก็บค่า
5. สั่งให้เริ่มเคลื่อนที่และสังเกต Dial gauge ที่ตะบริเวณแท่นกดด้ามทวน
6. ทำการบันทึกผลการเคลื่อนที่ที่ได้
7. นำผลการเคลื่อนที่ไปวาดกราฟระหว่าง ตำแหน่งและเวลา เปรียบเทียบกันระหว่าง สัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก วาดกราฟดูลักษณะของสัญญาณผิดพลาด (error) เปรียบเทียบกับเวลา
8. ถ้าผลไม่เป็นที่น่าพอใจให้ทดลองปรับค่าอัตราขยายใหม่

## 7.2 การปรับตั้งค่าแกนและการวิเคราะห์

### 7.2.1. การหาอัตราขยายของตัวควบคุมในแกน Y

การเคลื่อนที่ในแกน Y เป็นการกำหนดตัวแปรมุมดรรชนี (Index Angle) ของด้ามทวน สำหรับการทดลองหาอัตราขยายในแกนนี้ จะกำหนดให้มอเตอร์เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มุมดรรชนีเป็น 0 พัลส์ (ซึ่งเป็นตำแหน่งอ้างอิงของแกน Y นั่นเอง) เป็นจุดเริ่มต้น แล้วเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่มุมดรรชนีเป็น 100,000 พัลส์ (ขอบเขตสุดการเคลื่อนที่ของแกนนี้ขณะที่ทำการเจียระไน) โดยใน

การเคลื่อนที่จะสั่งค่าตำแหน่ง และอ่านตำแหน่งเป็นหน่วยพัลส์ ( อ่านได้จากเอนโคเดอร์ ) โดยที่ไม่ได้แปลงเป็นหน่วยองศา เพื่อความละเอียดในการอ่านตำแหน่ง และกำหนดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20,000 พัลส์/วินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่จะใช้จริงขณะทำการเจียระไน และทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 5 วินาที

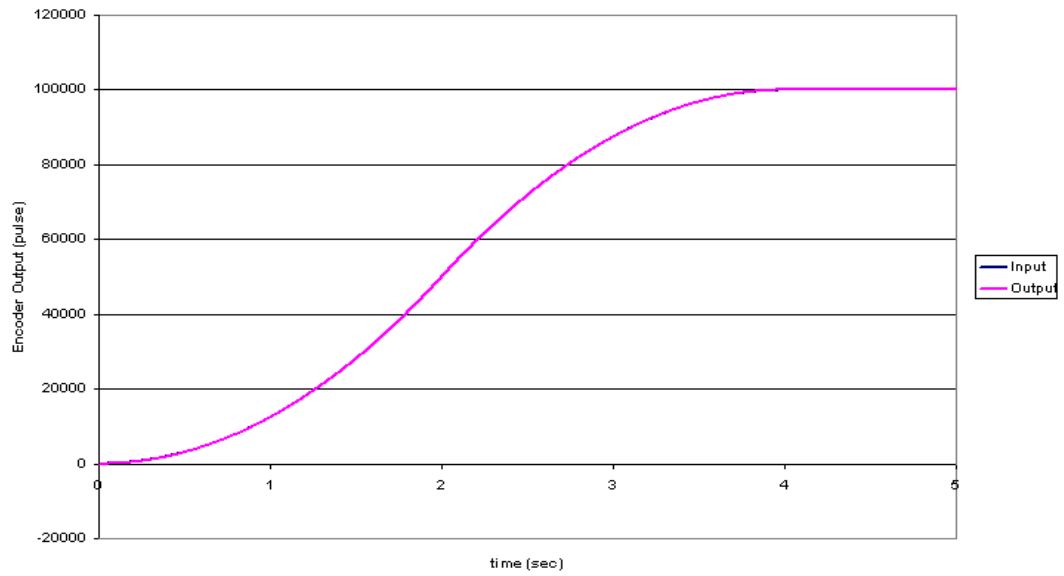
### 7.2.2 ผลการทดลอง

เริ่มต้นกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุมดังนี้  $K_p = 0.002$  ,  $K_i = 0.01$  และ  $K_d = 0.0001$  จะได้ลักษณะของการตอบสนองเทียบกับสัญญาณขาเข้า ดังรูปที่ 7.2 ก) และได้สัญญาณแสดงค่าผิดพลาดดังรูปที่ 7.2 ข) ซึ่งจากสัญญาณดังกล่าวจะเห็นว่า รูปที่ 7.2 ก) เมื่ออุปกรณ์จับด้ามพลอยเริ่มเคลื่อนที่แล้ว การเคลื่อนที่จะเป็นไปอย่างรวดเร็วตามแนวสัญญาณอ้างอิง เป็นลักษณะ S-Curve ตลอดการเคลื่อนที่จนถึงจุดปลาย ซึ่งจากรูปที่ 7.2 ข) พบว่าที่ตำแหน่งจุดปลายค่าสัญญาณผิดพลาดมีค่าเป็น -1 พัลส์ซึ่งในชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอยมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบมอเตอร์ฮาร์โมนิกไดรฟ์ ( Harmonic Drive Motor ) ซึ่งมีอัตราทดที่ค่อนข้างสูงมาก ( มีจำนวนพัลส์สูงมากต่อการหมุน 1 รอบของมอเตอร์ ) ดังนั้นความผิดพลาดในระดับ -1 พัลส์ถือว่าน้อยมาก นั่นคือการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y เคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำไปยังตำแหน่งปลายที่ต้องการ(ค่า ใน Dial gauge ขึ้นค่าเดิม) ในขณะที่ค่าสัญญาณผิดพลาดที่มีการสั่นไปมา อาจเกิดจากแรงเสียดทานในระบบ

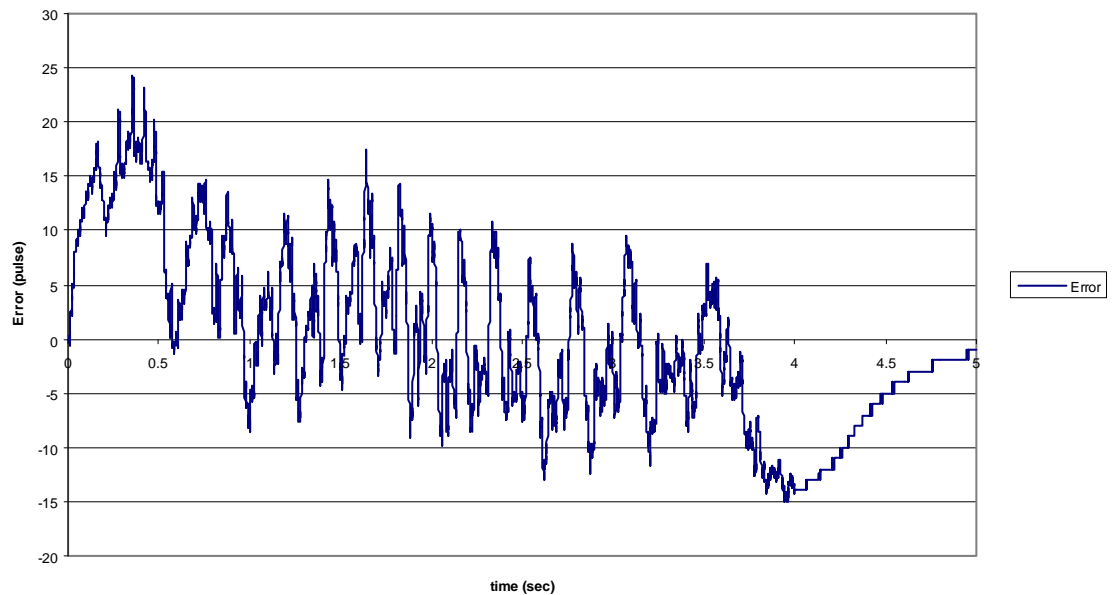
ต่อมาได้ทดลองเปลี่ยนค่าอัตราขยายเป็น  $K_p = 0.1$  ,  $K_i = 0.01$  และ  $K_d = 0.0001$  โดยเพิ่มอัตราขยาย  $K_p$  ขึ้น 50 เท่า เนื่องจากต้องการให้ระบบตอบสนองเร็วขึ้นในช่วงต้น จะได้ลักษณะของการตอบสนองเทียบกับสัญญาณขาเข้า ดังรูปที่ 7.3 ก) และได้สัญญาณแสดงค่าผิดพลาด ดังรูปที่ 7.3 ข) จะพบว่าการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์จับด้ามพลอยก็ยังคงเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปตามแนวสัญญาณอ้างอิงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าสัญญาณผิดพลาดดังรูปที่ 7.3 ข) จะเห็นว่ามีส่วนที่สัญญาณผิดพลาดกระโดดขึ้น-ลง ตลอดช่วงของการเคลื่อนที่ เป็นผลมาจากค่าเกนที่เพิ่มขึ้นทำให้ระบบไวต่อการตอบสนองเร็วขึ้น ทำให้เกิดการสั่นตลอดช่วงของการเคลื่อนที่ ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อระบบ

### 7.2.3 สรุปผลการทดลอง

ดังนั้นสำหรับ อัตราขยายในแกน Y จึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 0.002$  ,  $K_i = 0.01$  และ  $K_d = 0.0001$  ในการควบคุมการเคลื่อนที่



ก)

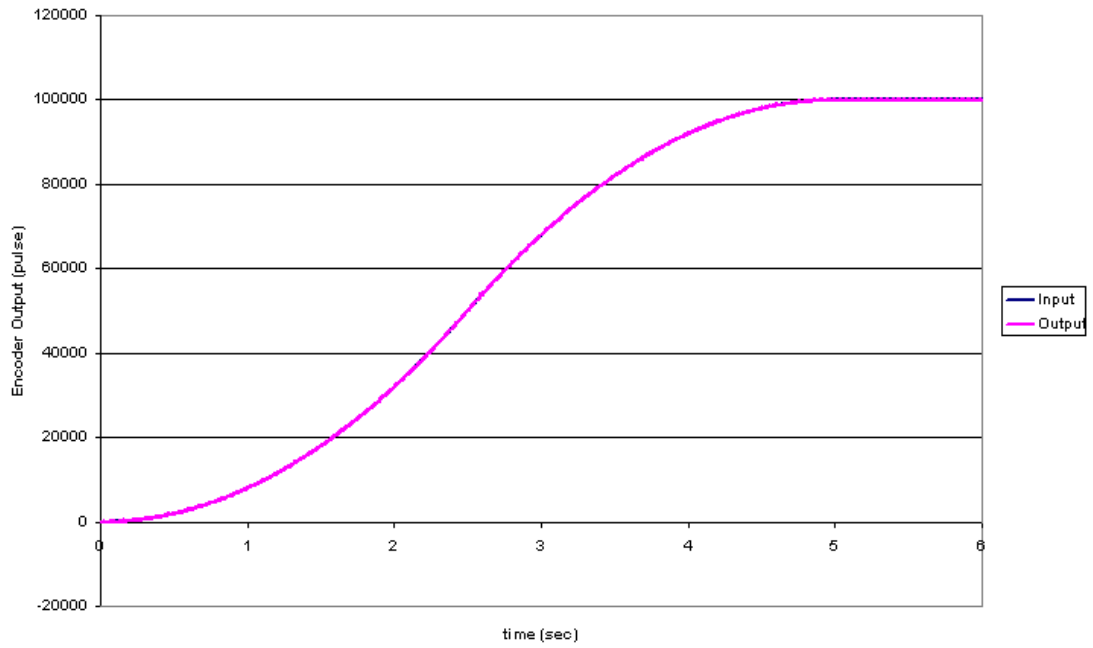


ข)

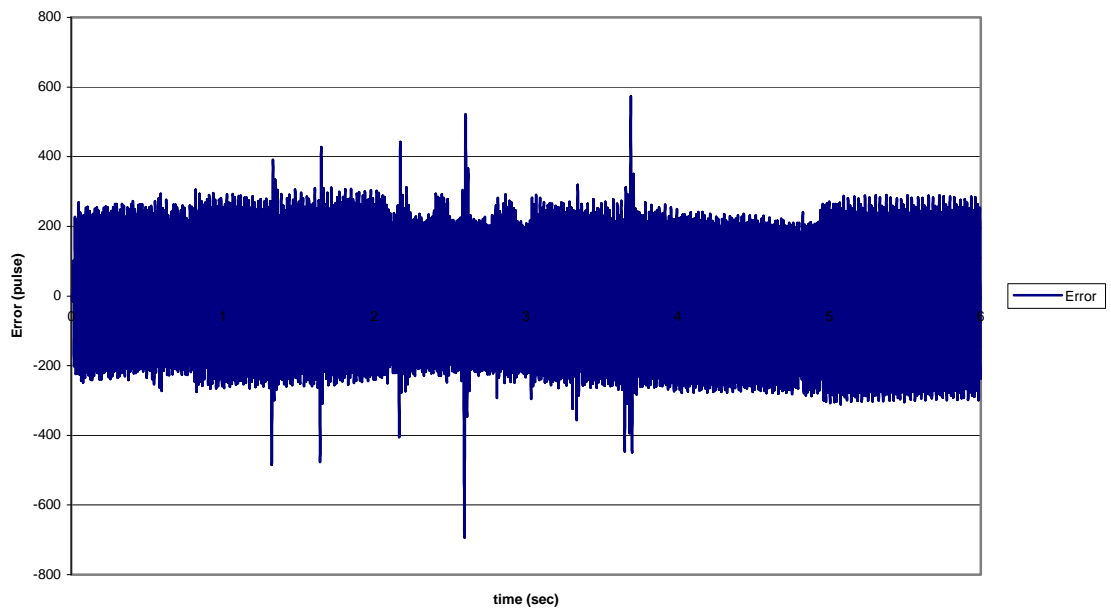
รูปที่ 7.2 ก) การเปรียบเทียบของสัญญาณขาเข้า และสัญญาณตอบสนอง ในแกน Y เมื่อ

$$K_p = 0.002, \quad K_i = 0.01 \quad \text{และ} \quad K_d = 0.0001$$

ข) สัญญาณผิดพลาดในแกน Y เมื่อ  $K_p = 0.002, \quad K_i = 0.1 \quad \text{และ} \quad K_d = 0.0001$



ก)



ข)

รูปที่ 7.3 ก) การเปรียบเทียบของสัญญาณขาเข้า และสัญญาณขาออกในแกน Y เมื่อ

$$K_p = 0.1, K_i = 0.01 \text{ และ } K_d = 0.0001$$

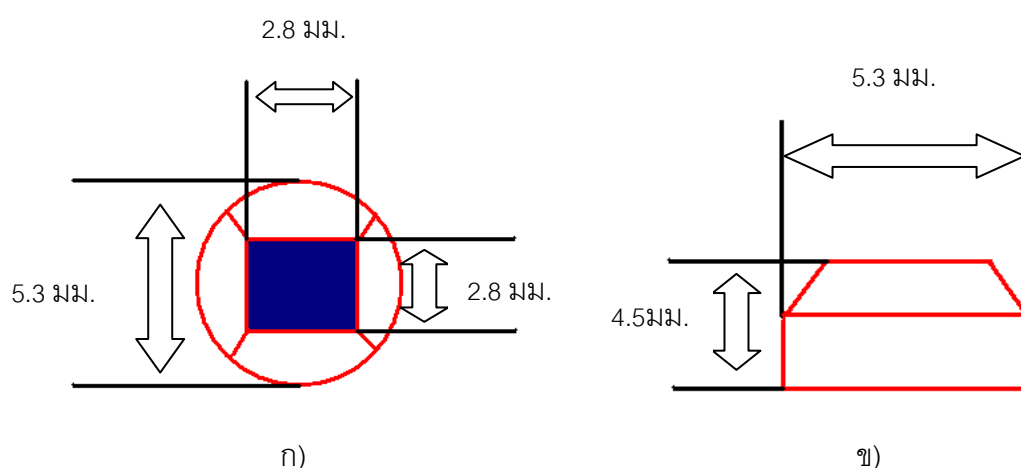
ข) สัญญาณผิดพลาดในแกน Y เมื่อ  $K_p = 0.1, K_i = 0.01$  และ  $K_d = 0.0001$

### 7.3 ขั้นตอนการทดสอบอุปกรณ์จับด้ามพลอย

การทดสอบอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบการเจียรระไนแบบอย่างง่าย และ การทดสอบการเจียรระไนพลอยรูปทรงมาตรฐาน

#### 7.3.1 การทดสอบการเจียรระไนอย่างง่าย

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบความสามารถของเครื่องเจียรระไนพลอย ซึ่งการทดสอบจะทำได้โดยการเจียรระไนพลอยให้มีหน้าตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 2.8 มม. x 2.8 มม. ดังรูปที่ 7.4 ก)



รูปที่ 7.4 ก) ภาพวิวนของเม็ดพลอยที่ถูกเจียรระไนให้มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม  
ข) ภาพวิวนข้างของเม็ดพลอยที่ถูกเจียรระไนให้มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม

ซึ่งจะเจียรระไนทั้งหมดเป็นจำนวน 3 ชุด เพื่อทำการทดสอบ จากนั้นจะวัดค่าผลการทดลองที่ได้ เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาค่าความแม่นยำ และ ความผิดพลาดของเครื่อง โดยมีข้อกำหนดการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ใช้ พลอย Cubic Circonia สีเดียวกันในการเจียรระไนแต่ละครั้ง โดยทำการเจียรระไนโดยเรียงหมายเลขตำแหน่งทวนจากทางซ้ายไปขวา ดังรูปที่ 7.8 โดยจะใส่พลอยที่ตำแหน่งต้น กลาง ท้าย เพียง 3 เม็ดเท่านั้นและด้ามทวนที่เหลือเป็นด้ามทวนเปล่า

2. โปรแกรมที่ใช้เป็นโปรแกรมที่ใช้เจียรระไนพลอยให้มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม และ จะกำหนดให้ตัวแปรเหลี่ยมมุมของพลอย ที่ได้กำหนดไว้ เป็นค่าเดียวกันทุกชุด ขณะทำการเจียรระไน โดยจะทำการเจียรระไนพลอยเป็นจำนวน 2 เหลี่ยมคือ มุมยกมุมแรกเป็น 45 องศา และ กำหนดมุมดรรชนีที่มุมยกนี้เป็น 0, 90, 180, 270 องศา เพื่อเจียรระไนให้พลอยมียอดเป็นมุมแหลม ต่อไปเจียรระไนให้พลอยมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมที่มุมยกเป็น 0 องศาโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนมุมดรรชนี

ตามลำดับ ซึ่งการโปรแกรมจะเป็นการโปรแกรมหน้าเครื่องโดยไม่ได้อิงกับค่าตัวแปรในโปรแกรม CU Solid

3. จานขึ้นรูปหยาบที่ใช้จะเป็นจานเคลือบผงเพชร เบอร์ 500 และจานขึ้นรูปละเอียดจะเป็น จานเคลือบผงเพชรเบอร์ 800

5. สำหรับสารหล่อเย็นที่ใช้ จะใช้น้ำเปล่าขณะทำการเจียรระโนหยาบเพื่อขึ้นรูป เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นกับเม็ดพลอย

6. การทดลองจะกระทำเป็นจำนวนทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อที่จะดูค่าความแตกต่างของขนาดเม็ดพลอย และ ความแม่นยำของเหลี่ยมมุม

### 7.3.1.1 การเลือกขนาดพลอยที่จะใช้เจียรระโน

ในที่นี้จะเลือกพลอยทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.3 มม. หนา 4.5 มม. โดยจะเจียรระโนให้พลอยมีหน้าตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 2.8 มม. x 2.8 มม. เพื่อที่จะได้สะดวกต่อการวัดขนาด ซึ่งพลอยที่จะใช้ในการทดสอบ คือ พลอย Cubic Circonia เนื่องจากว่ามีความแข็งน้อยกว่าพลอยจริง จึงทำให้ง่ายต่อการเจียรระโน ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 ขนาดของพลอยกระบอกที่ใช้ทำการทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.3 มม. หนา 4.5 มม.

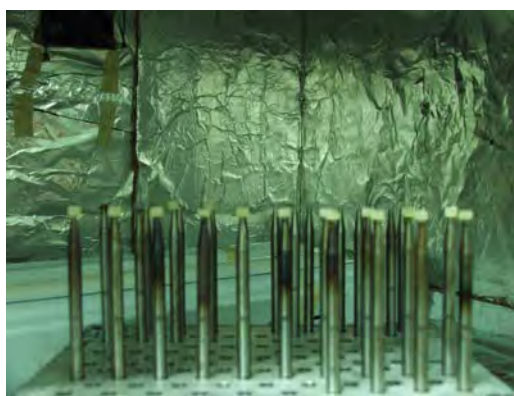
### 7.3.1.2 การติดพลอยบนด้ามทวนโดยใช้กาว UV

การติดพลอยบนด้ามทวนจะต้องวางพลอยที่ได้คัดขนาดมา วางลงบนปลายทวนที่ทำด้วยกาว UV ไว้แล้ว ทำการปรับตำแหน่งของพลอย โดยต้องพยายามทำให้พลอยวางอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางทวนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จากนั้น ให้นำด้ามทวนที่ติดพลอยเรียบร้อยแล้วไปเข้าตู้อบ UV เพื่อให้กาว UV แข็งตัวเมื่อได้รับแสง UV ซึ่งขั้นตอนในการอบนี้จะใช้เวลารวมประมาณ 1 ชั่วโมงดังรูป

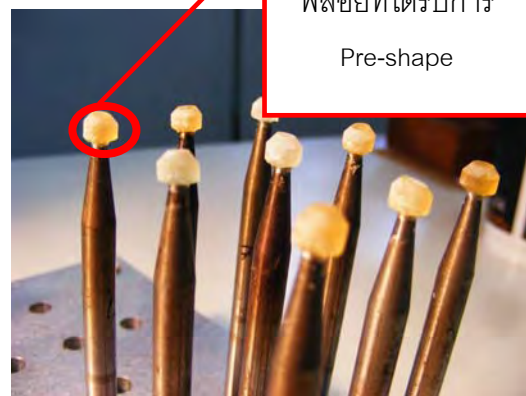




รูปที่ 7.6 การติดพลอยเข้ากับด้ามทวน



ก)



ข)

รูปที่ 7.7 ก) นำทวนที่ติดพลอยดิบด้วยกาว UV เข้าตู้อบ UV

ข) พลอยที่ทำการ Pre-shape ให้มีมุมใกล้เคียงกับมุมยกที่ต้องการ

### 7.3.1.3 การนำด้ามทวนไปติดตั้งไว้บนอุปกรณ์จับด้ามพลอย

นำก้านทวนที่อบกาว UV แห้งแล้วไปทำการ Pre-shape ให้มีมุมใกล้เคียงกับมุมยกที่ต้องการดังรูปที่ 7.7 ข) แล้วนำไปติดตั้งไว้บนปาถูกปืนเล็กของอุปกรณ์จับด้ามพลอยดังรูปที่ 7.8 จากนั้นให้ทำการกดตัวพาด้ามทวนหมุน ลงมาให้บีบกับด้ามทวนซึ่งจะใช้แป้นเกลียวอลูมิเนียมขันเพื่อกดตัวพาด้ามทวนให้แน่นจนด้ามทวนไม่สามารถขยับได้ ซึ่งต้องระมัดระวังในเรื่องของความสูงในการกดทั้งทางด้านซ้ายและทางด้านขวา ซึ่ง ถ้ากดแน่นเกินไปอาจจะทำให้ลูกปืนบริเวณที่รองทวนเกิดความเสียหายได้ ซึ่งการติดตั้งจะทำในลักษณะดังรูปที่ 7.8 ซึ่งการใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอยสามารถดูได้จากภาคผนวก ค



รูปที่ 7.8 การติดตั้งด้ามทวนลงบนอุปกรณ์จับด้ามพลอย

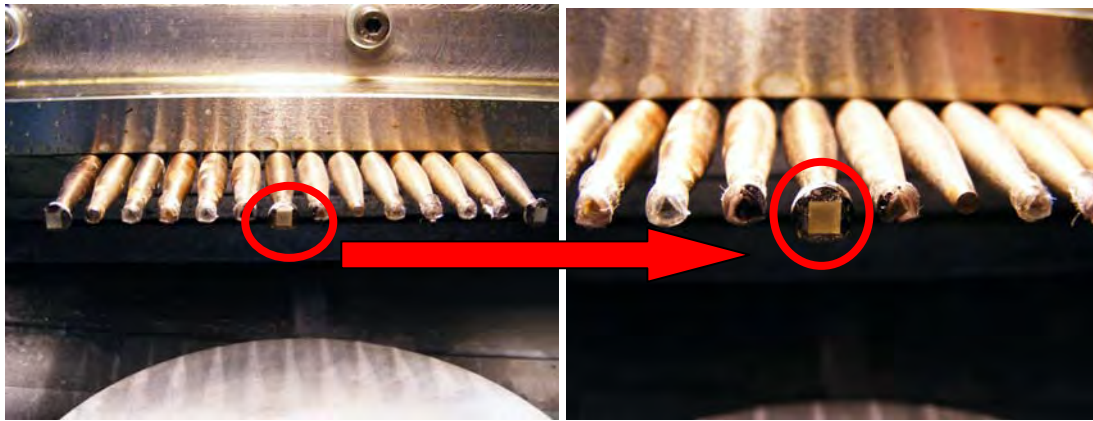
การวางด้ามทวนที่ติดพลอยไว้จะกระทำไว้ใน 3 ตำแหน่งคือไว้บริเวณตรงกลาง (ทวนด้ามที่ 7) ของอุปกรณ์จับด้ามพลอย และ วางไว้ที่บริเวณริมซ้ายและขวาทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์จับด้ามพลอย (ด้ามที่ 1 และ ด้ามที่ 14 ตามลำดับ) ซึ่งด้ามทวน อื่นๆที่ อยู่ติดกับด้ามทวนติดพลอยจะเป็น ด้ามทวนเปล่า

#### 7.3.1.4 การทดสอบการเจียรระไนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทำได้โดยการ สั่งให้เครื่องเจียรระไนเลื่อนไปยังตำแหน่งศูนย์ ( Zero Position ) ของทางแกน X,Y,Z และ A จากนั้นสั่งให้เครื่อง ทำการเจียรระไนให้หน้าตัด เป็นรูปปิรามิดตาม โปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ โดยหลังการเจียรระไนทรงปิรามิดแล้วจะทำการแถมสีเมจิกไว้ที่เม็ดพลอย ก่อนเพื่อที่จะสะดวกต่อการวัดขนาดของสีเหลี่ยมที่เกิดขึ้นจากการที่สีของหมึกถูกเจียรระไนออกไป ในขั้นตอนการเจียรระไนที่มุมยก 0 องศา



รูปที่ 7.9 การทาสีเมจิกลงบนเม็ดพลอยหลังจากการเจียรระไนให้เป็นทรงปิรามิด

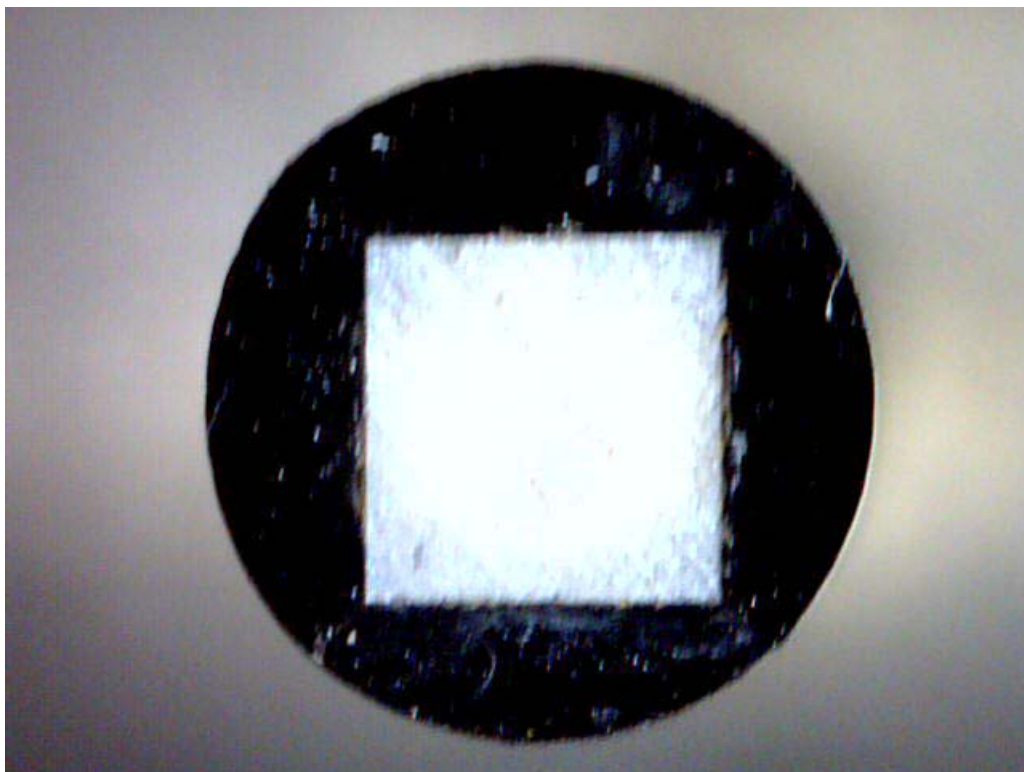


ก)

ข)

รูปที่ 7.10 ก) พलयทรวงปิรามิดที่ได้รับการเจียระไนที่มุมยก 0 องศา

ข) ภาพขยายพलयที่ได้รับการเจียระไนที่มุมยก 0 องศาแล้ว



รูปที่ 7.11 เม็ดพलयที่เจียระไนเรียบร้อยแล้ว

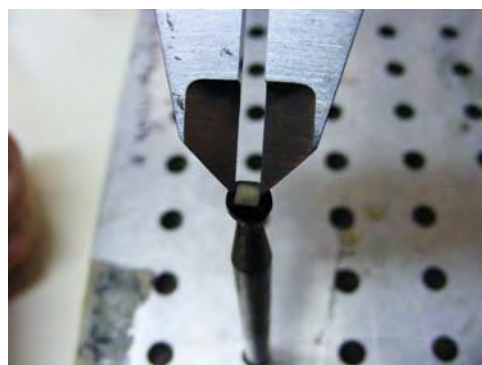
#### 7.3.1.5 การนำพलयที่เจียระไนเสร็จแล้วมาทำการวัดขนาด

เมื่อทำการเจียระไนพलयเสร็จแล้ว จะต้องนำทวนออกมาวัดขนาดของพलय ซึ่งการวัดขนาด จะวัดความกว้าง และ ความยาว ของรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยจะกระทำกับพलयที่วาง

อยู่ตำแหน่งต่างๆกันของอุปกรณ์จับด้ามพลอยที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยจะมีการบันทึกผลการทดลองไว้ดังตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข



ก)



ข)

รูปที่ 7.12 ก) การวัดขนาดรูปทรงสี่เหลี่ยมบนเม็ดพลอย

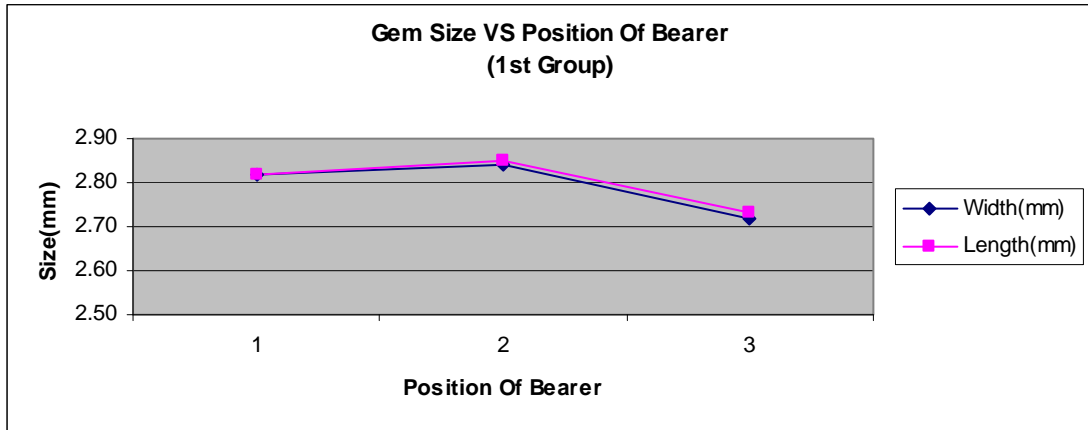
ข) การวัดขนาดรูปทรงสี่เหลี่ยมบนเม็ดพลอย (ต่อ)

#### 7.3.1.6 การทดสอบซ้ำกับพลอยรูปทรงเดิม

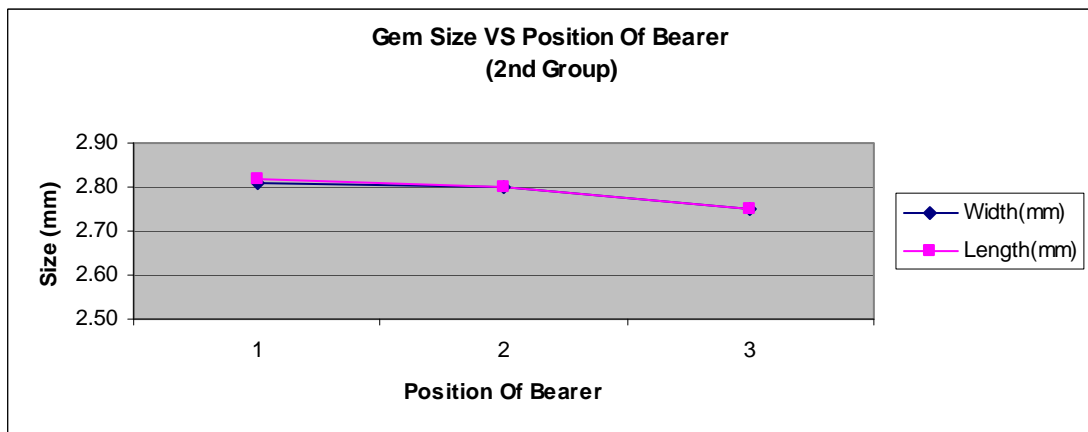
เมื่อเจียรระโนพลอยชุดที่ 1 เสร็จแล้ว ให้ทำการเจียรระโนพลอยชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยใช้โปรแกรมเดิมเพื่อเปรียบเทียบขนาดพลอยที่เจียรระโนได้ตามวิธีดังกล่าวข้างต้น แล้วบันทึกผลเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ขนาดที่ได้โดยตรง

#### 7.3.1.7 ผลการทดลอง

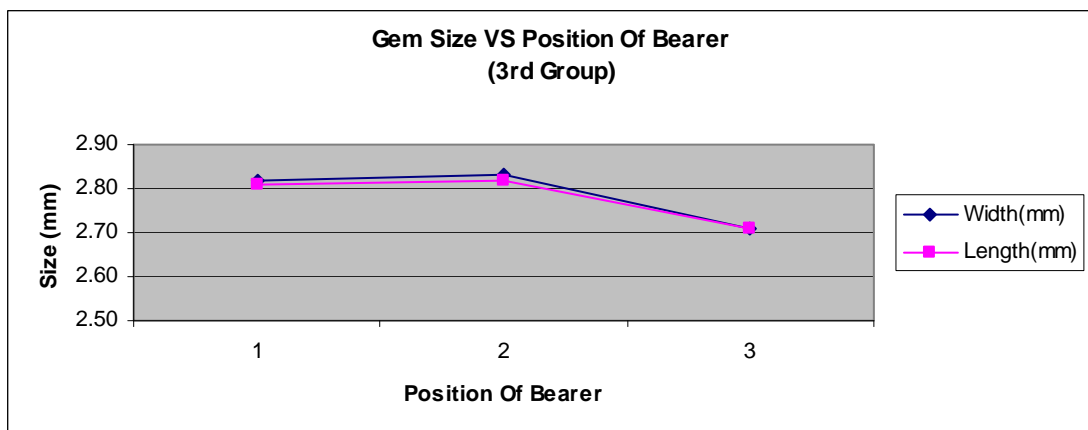
ผลการทดสอบอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะเก็บข้อมูลของขนาดพลอยรูปทรงต่างๆที่เจียรระโนได้ ดังตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข



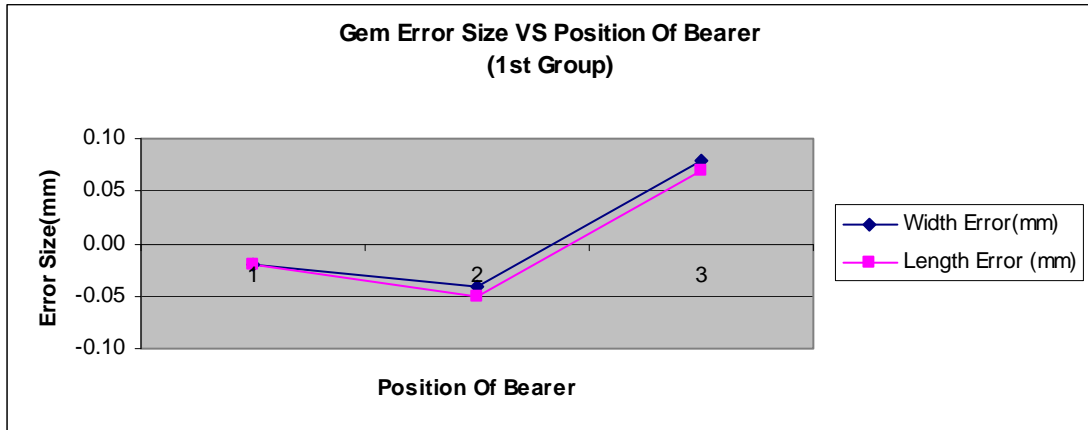
รูปที่ 7.13 กราฟมิติขนาดของรูปสี่เหลี่ยมบนพลอยกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 1



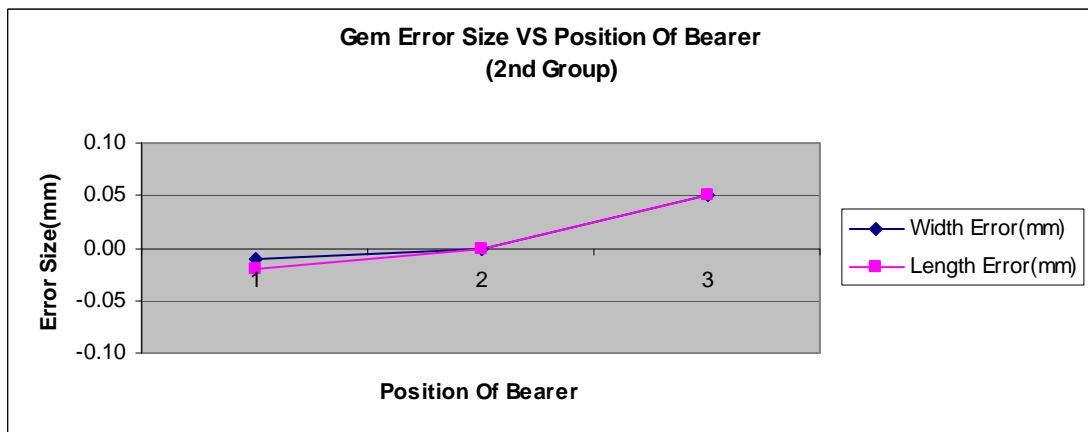
รูปที่ 7.14 กราฟมิติขนาดของรูปสี่เหลี่ยมบนพลอยกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 2



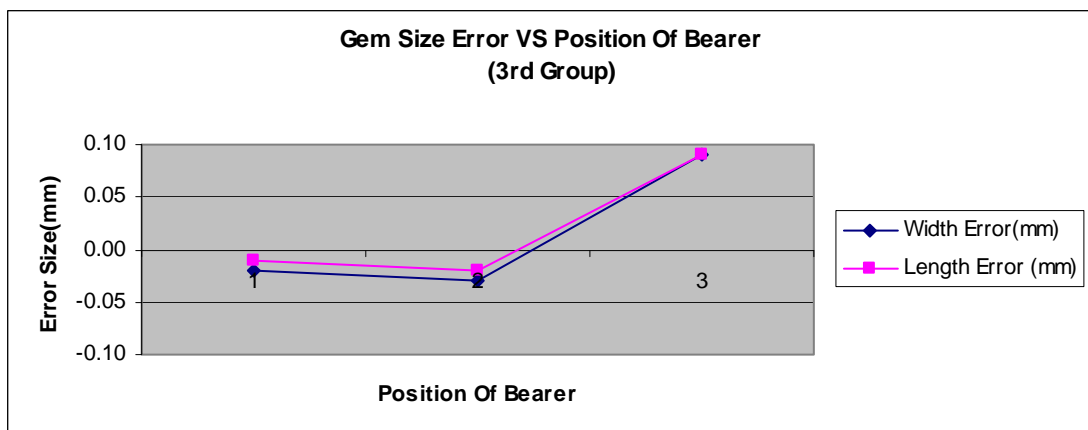
รูปที่ 7.15 กราฟมิติขนาดของรูปสี่เหลี่ยมบนพลอยกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 3



รูปที่ 7.16 ขนาดของค่าผิดพลาดของพลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 1



รูปที่ 7.17 ขนาดของค่าผิดพลาดของพลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 2



รูปที่ 7.18 ขนาดของค่าผิดพลาดของพลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 3

### 7.3.1.8 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

กำหนดให้

$$W_E = W - W_R \quad (7.1)$$

$$L_E = L - L_R \quad (7.2)$$

$W_E$  = ค่าผิดพลาดของขนาดความกว้างของด้านสี่เหลี่ยม (มม.)

$W$  = ขนาดความกว้างของสี่เหลี่ยมที่กำหนดคือ 2.8 มม. (ค่าคงที่)

$W_R$  = ขนาดความกว้างของสี่เหลี่ยมที่เจียรระไนได้จริง (มม.)

$L_E$  = ค่าผิดพลาดของขนาดความยาวของด้านสี่เหลี่ยม (มม.)

$L$  = ขนาดความยาวของสี่เหลี่ยมที่กำหนดคือ 2.8 มม. (ค่าคงที่)

$L_R$  = ขนาดความยาวของสี่เหลี่ยมที่เจียรระไนได้จริง (มม.)

โดย กำหนดว่า

ถ้า  $W_E$  มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้มีความกว้างของด้านสี่เหลี่ยม  
ขนาดใหญ่กว่าที่กำหนด

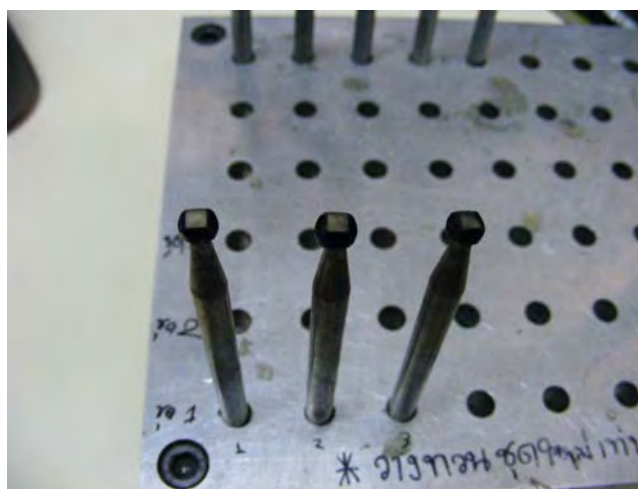
ถ้า  $W_E$  มีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้มีความกว้างของด้านสี่เหลี่ยม  
ขนาดเล็กกว่าที่กำหนด

ถ้า  $L_E$  มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้จริงมีความยาวของด้านสี่เหลี่ยม  
มากกว่าที่กำหนด

ถ้า  $L_E$  มีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้จริงมีความยาวของด้านสี่เหลี่ยม  
น้อยกว่าที่กำหนด

ในที่นี้จะแบ่งลำดับการวิเคราะห์ขนาดของพลอยเป็นชุดได้ดังนี้

#### 1. พลอยชุดที่ 1

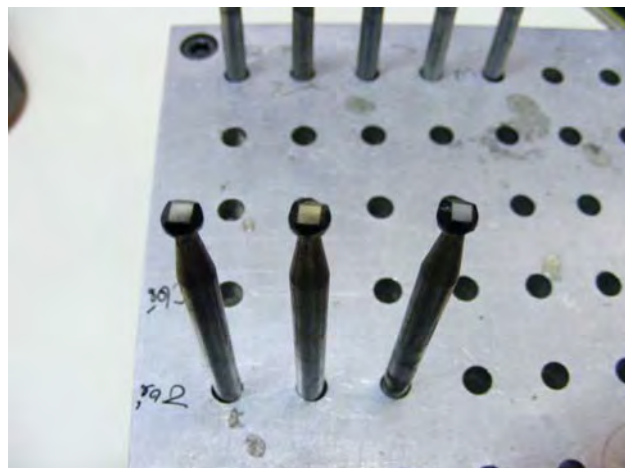


รูปที่ 7.19 พลอยหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสชุดที่ 1

จากตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่า ขนาดของพลอยชุดแรก พลอยเม็ดที่ 1 และ เม็ดที่ 7 ค่า  $W_E$  และ  $L_E$  เป็นค่าลบแสดงว่า ขนาดความกว้างและความยาวของพลอยมีขนาดใหญ่กว่าค่าที่กำหนด แต่พลอย เม็ดที่ 14 ค่า  $W_E$  และ  $L_E$  เป็นค่าบวกแสดงว่า ขนาดความกว้างและความยาวของพลอยมีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด โดยจะเห็นได้ว่าพลอยเม็ดที่ 1 ความกว้างกับความยาวของรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดเท่ากันพอดี ส่วนพลอยเม็ดที่ 7 และ เม็ดที่ 14 จะมีค่าขนาดความกว้างกับความยาวของรูปสี่เหลี่ยมมีค่าผิดพลาดอยู่เล็กน้อยในช่วง 0-0.01 มม. ซึ่งเมื่อทำการเฉลี่ยโดยรวมแล้ว พลอยชุดที่ 1 จะมีค่า  $W_E = 0.01$  มม. และ  $L_E = 0.0$  มม. ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อดูรูปภาพที่ 7.13 และ 7.16 ซึ่งได้เขียนขึ้นจากข้อมูลขนาดของพลอยจะพบว่า ค่าผิดพลาดของขนาดความกว้างและยาวที่เกิดกับพลอยแต่ละเม็ดมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเม็ดพลอย และขนาดของรูปสี่เหลี่ยมบนเม็ดพลอยที่บนทวนทางด้านขวามือจะมีขนาดเล็กกว่าทางด้านซ้ายมือ อาจจะเป็นสาเหตุมาจากการตั้งระดับของงานเจียรระไนยังไม่ได้ระนาบที่ดีเพียงพอจึงมีผลให้ ขนาดหน้าตัดของรูปสี่เหลี่ยมมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่ง

## 2. พลอยชุดที่ 2



รูปที่ 7.20 พลอยหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมชุดที่ 2

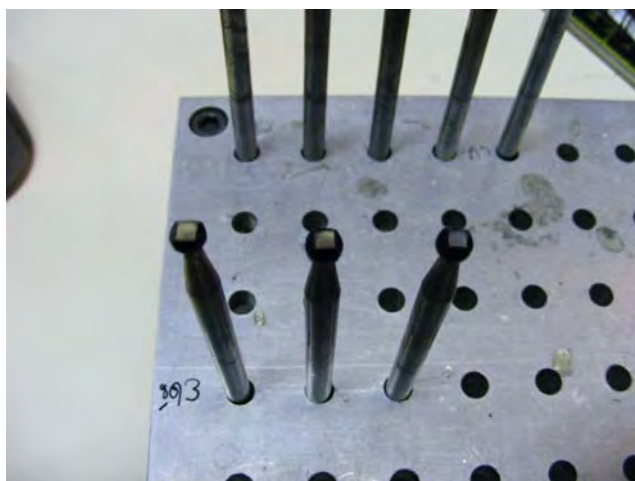
จากตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่า ขนาดของพลอยชุดที่ 2 พลอยเม็ดที่ 1 ค่า  $W_E$  และ  $L_E$  เป็นค่าลบแสดงว่า ขนาดความกว้างและความยาวของพลอยมีขนาดใหญ่กว่าค่าที่กำหนด แต่พลอย เม็ดที่ 7 มีค่า  $W_E$  และ  $L_E = 0$  มม. แสดงว่ามีขนาดเท่ากันกับค่าที่กำหนดไว้และเม็ดที่ 14 ค่า  $W_E$  และ  $L_E$  เป็นค่าบวกแสดงว่าขนาดความกว้างและความยาวของพลอยมีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนดโดยจะเห็นได้ว่าพลอยเม็ดที่ 7 ความกว้างกับความยาวของรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดเท่ากันพอดี ส่วนพลอยเม็ดที่ 1 และเม็ดที่ 14 จะมีค่าขนาดความกว้างกับความยาวของรูป



สี่เหลี่ยมมีค่าผิดพลาดอยู่เล็กน้อยในช่วง 0-0.01 มม. ซึ่งเมื่อทำการเฉลี่ยโดยรวมแล้ว พLOY ชุดที่ 2 จะมีค่า  $W_E = 0.01$  มม. และ  $L_E = 0.01$  มม. ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อดูรูปภาพที่ 7.14 และ 7.17 ซึ่งได้เขียนขึ้นจากข้อมูลขนาดของพLOY จะพบว่า ค่าผิดพลาดของขนาดความกว้างและยาวที่เกิดกับพLOY แต่ละเม็ดจะมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของเม็ดพLOY และ ขนาดของรูสี่เหลี่ยมบนเม็ดพLOY ที่บนทวนทางด้านขวามือจะมี ขนาดเล็กกว่าทางด้านซ้ายมือ อาจจะเป็นสาเหตุมาจากการตั้งระดับของงานเจียระไนยังไม่ดี ระนาบที่ดีเพียงพอจึงมีผลให้ ขนาดหน้าตัดของรูสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่าไม่เท่ากัน

### 3. พLOY ชุดที่ 3



รูปที่ 7.21 พLOY หน้าตัดรูสี่เหลี่ยมจัตุรัสชุดที่ 3

จากตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่า ขนาดของพLOY ชุดที่ 3 พLOY เม็ดที่ 1 และ 7 มีค่า  $W_E$  และ  $L_E$  เป็นค่าลบแสดงว่า ขนาดความกว้างและความยาวของพLOY มีขนาดใหญ่กว่า ค่าที่กำหนด และ พLOY เม็ดที่ 14 ค่า  $W_E$  และ  $L_E$  เป็นค่าบวกแสดงว่า ขนาดความกว้างและความยาวของพLOY มีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด พLOY เม็ดที่ 1, 7 และ เม็ดที่ 14 จะมีค่าขนาดความกว้างกับความยาวของรูสี่เหลี่ยมมีค่าผิดพลาดอยู่เล็กน้อยในช่วง 0-0.01 มม. ซึ่งเมื่อทำการเฉลี่ยโดยรวมแล้ว พLOY ชุดที่ 2 จะมีค่า  $W_E = 0.01$  มม. และ  $L_E = 0.02$  มม. ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อดูรูปภาพที่ 7.15 และ 7.18 ซึ่งได้เขียนขึ้นจากข้อมูลขนาดของพLOY จะพบว่า ค่าผิดพลาดของขนาดความกว้างและยาวที่เกิดกับพLOY แต่ละเม็ดจะมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของเม็ดพLOY และ ขนาดของรูสี่เหลี่ยมบนเม็ดพLOY ที่บนทวนทางด้านขวามือจะมี

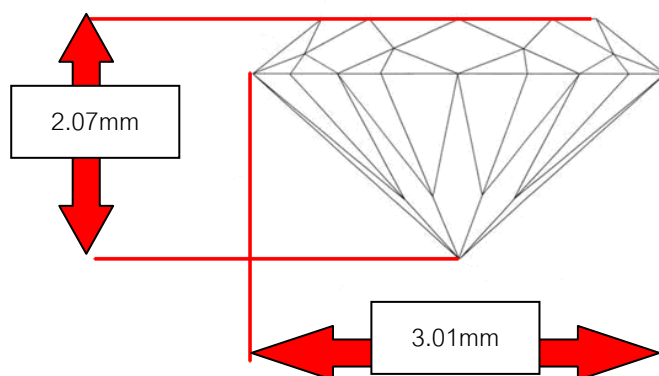
ขนาดเล็กกลง กว่าทางด้านซ้ายมือ อาจจะเป็นสาเหตุมาจากการตั้งระดับของงานเจียรไนยังไม่ดีระนาบที่ดีเพียงพอจึงมีผลให้ ขนาดหน้าตัดของรูปสี่เหลี่ยมมีค่าไม่เท่ากัน

#### 4. การเปรียบเทียบพลอยที่เจียรไนได้ระหว่างชุดพลอย

จากผลการทดลองดังตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดพลอยเม็ดพลอยบริเวณริมซ้าย ตรงกลาง ของพลอยทุกชุดจะมีขนาดใกล้เคียงกันมาก โดยจะมีขนาดแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.0-0.05 มม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดที่เจียรไนได้ค่อนข้างน้อย แต่ ค่าความคลาดเคลื่อนของพลอยเม็ดที่ 14 ของการทดลองทุกชุดจะมีมากกว่าพลอยเม็ดที่ 1 และ เม็ดที่ 7 อาจจะเป็นเนื่องมาจากการติดตั้งและการตั้งระดับอุปกรณ์ซึ่งทำให้แม่นยำได้ยาก และ มาจากตัวโครงสร้างของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติเองซึ่ง โครงสร้างของเครื่องเจียรไนพลอยเป็นแบบอลูมิเนียมโปรไฟล์ซึ่งถ้ามีน้ำหนักมาก กดลงบนบริเวณแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์อาจจะทำให้แท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์เกิดการแอ่นตัวได้ จะทำให้การตั้งระดับของเครื่องทำได้ยาก จะส่งผลต่อความแม่นยำของการเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติโดยตรง ซึ่งการแก้ไขอาจจะทำได้โดยการออกแบบตัวเครื่องเจียรไนพลอยใหม่ให้มีโครงสร้างเป็นแบบเหล็กหล่อทั้งชิ้นซึ่งมีความแข็งแรงและการบิดหรือโก่งตัวของโครงสร้างเกิดขึ้นน้อยมากทำให้การติดตั้ง หรือ การตั้งระดับอุปกรณ์ต่างๆทำได้ง่ายขึ้น

#### 7.3.2 การทดสอบการเจียรไนพลอยรูปทรงมาตรฐาน

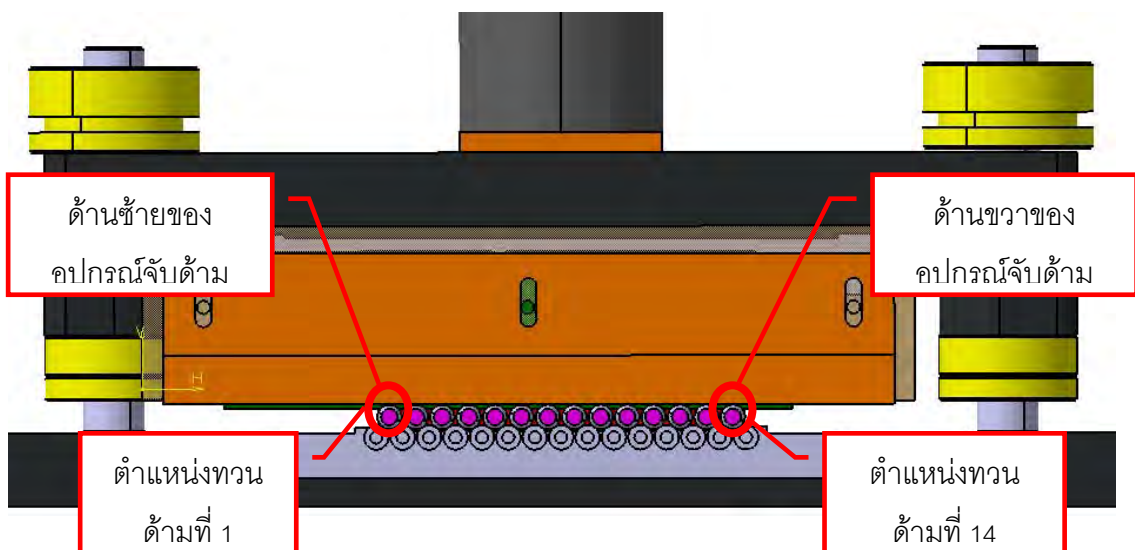
ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองเจียรไนพลอยรูปทรงมาตรฐาน เพื่อทดสอบดูค่าความแตกต่างของขนาดพลอยที่เจียรไนได้กับค่าที่กำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้พลอยกระจก(Glass) หรือ พลอย Cubic Circonia โดยพลอยที่ใช้เจียรไนจะมีรูปร่างเป็น ทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนเจียรไน 4 มม. สูง 5 มม. ซึ่งได้สั่งทำขึ้นพิเศษ โดยจะทำการเจียรไนให้เป็นรูปทรงมาตรฐาน ( Standard Shape) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.01 มม. สูง 2.07 มม. (มีค่า Diameter/Height = 1.45) ตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรม CU Solid ดังรูปที่ 7.22



รูปที่ 7.22 ขนาดของพลอยที่ได้ออกแบบไว้

ซึ่งในส่วนของการออกแบบพลอยด้วยโปรแกรม CU Solid จะอยู่ในหัวข้อวิทยานิพนธ์ เรื่องการออกแบบตัวควบคุมสำหรับเครื่องเจียรไนพลอยจิวาแบบอัตโนมัติ ในที่นี้ได้ตั้งข้อกำหนดของการเจียรไนไว้ดังนี้

1. ใช้พลอยกระจก (Glass) หรือ พลอย Cubic Circonia ในการเจียรไนแต่ละครั้ง โดยทำการเจียรไนครั้งละ 14 เม็ดโดยเรียงหมายเลขตำแหน่งทวนจากทางซ้ายไปขวา ดังรูปที่ 7.23
2. โปรแกรมที่ใช้จะเป็นโปรแกรมเจียรไนพลอยรูปทรงมาตรฐาน จะกำหนดให้ตัวแปรเหลี่ยมมุมของพลอย ที่ได้กำหนดไว้ เป็นค่าเดียวกันทุกชุด ขณะทำการเจียรไนทั้งการเจียรไนด้านหน้าพลอย และ ด้านกันพลอย
3. จานชั้นรูปหยาบที่ใช้จะเป็นจานเคลือบผงเพชร เบอร์ 500 และจานชั้นรูปละเอียดจะเป็น จานเคลือบผงเพชรเบอร์ 800
4. จานขัดเงาจะมีจำนวน 2 จาน คือ จานซีดีทาด้วยครีมผสมผงเพชรขนาด 6 ไมครอน และ จานขัดละเอียดจะเป็นจานซีดี ทาด้วยครีมผสมผงเพชรขนาด 1 ไมครอน
5. สำหรับสารหล่อเย็นที่ใช้ จะใช้น้ำเปล่าขณะทำการเจียรไนหยาบเพื่อขึ้นรูป เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นกับเม็ดพลอย
6. การทดลองจะกระทำเป็นจำนวนทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อที่จะดูค่าความแตกต่างของขนาดเม็ดพลอย ทั้งในเรื่อง ความสูง และ เส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่างด้ามทวนอันแรก ถึง ด้ามทวนอันสุดท้าย



รูปที่ 7.23 หมายเลขการเรียงตำแหน่งของด้ามทวน

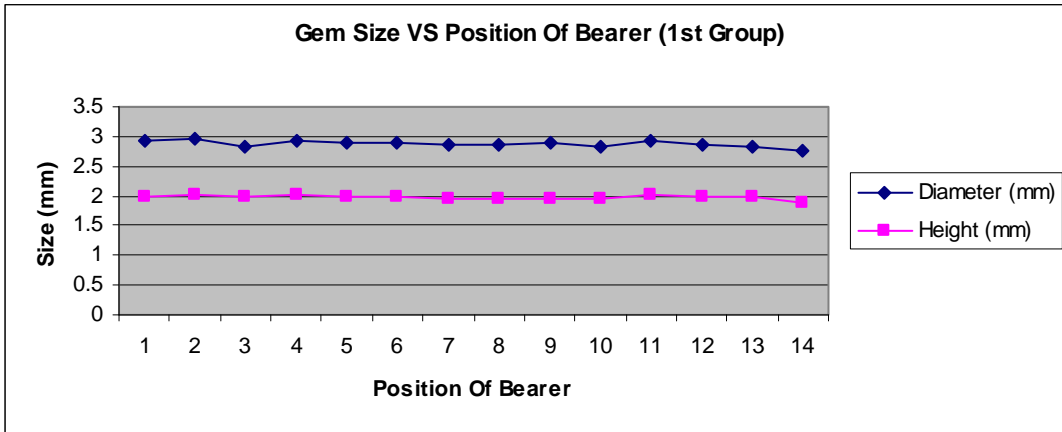
### 7.3.2.1 ขั้นตอนการเจียระไนพลอย

ขั้นตอนในการเจียระไนพลอยจะเป็นขั้นตอนการเจียระไนพลอยเหมือนกันกับบท

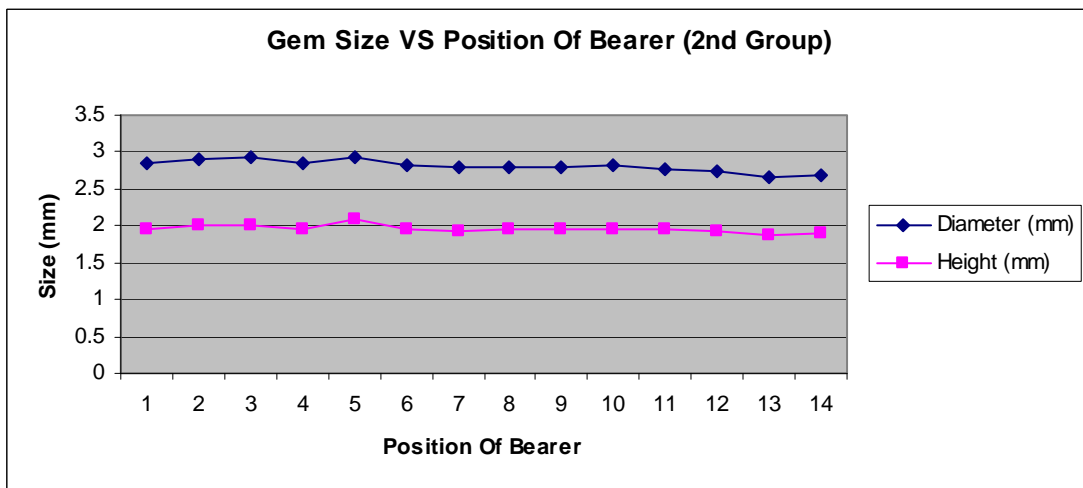
ที่ 3

### 7.3.2.2 ผลการทดลอง

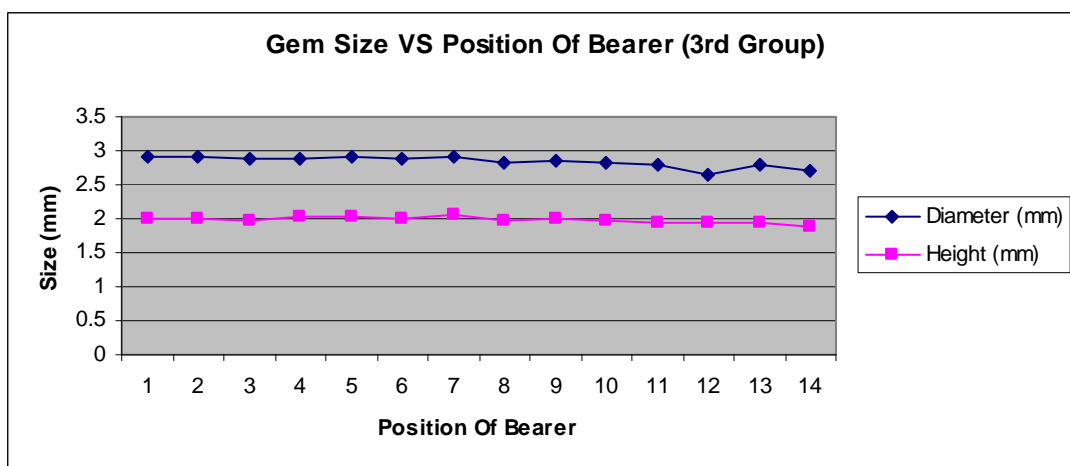
ข้อมูลตารางผลการทดลองเจียระไนพลอยจะอยู่ในภาคผนวก ข.2 เราสามารถนำข้อมูลมา Plot กราฟ เพื่อหาค่าความแตกต่างของขนาดเม็ดพลอย ได้ดังนี้



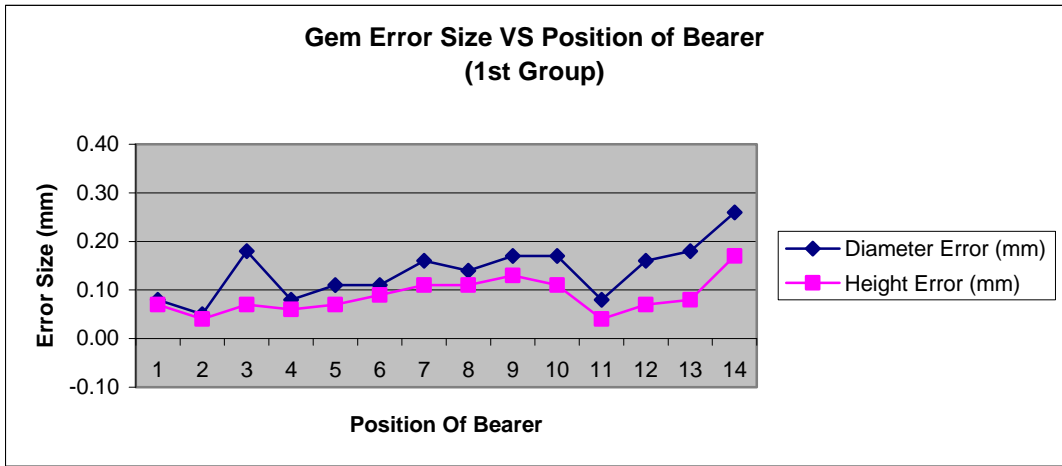
รูปที่ 7.24 ขนาดของมิตีพลอยเทียบกับตำแหน่ง ของด้ามทวนชุดที่ 1



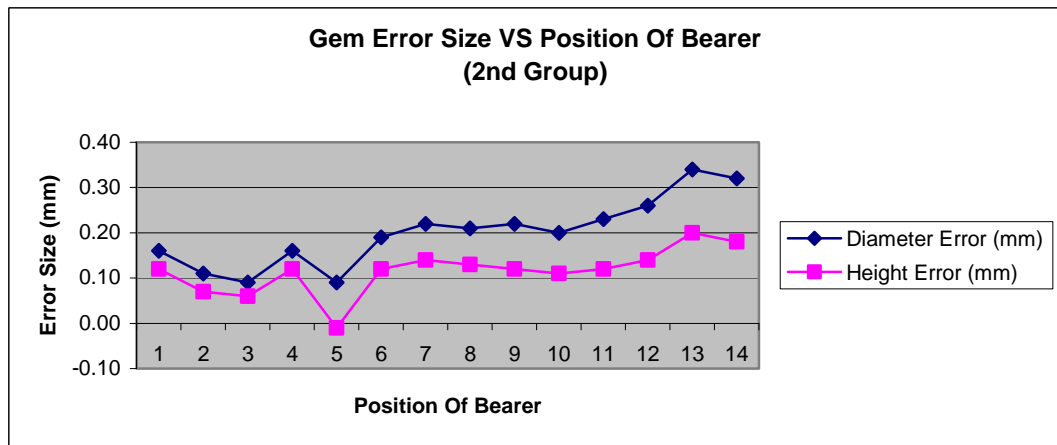
รูปที่ 7.25 ขนาดของมิตีพลอยเทียบกับตำแหน่ง ของด้ามทวนชุดที่ 2



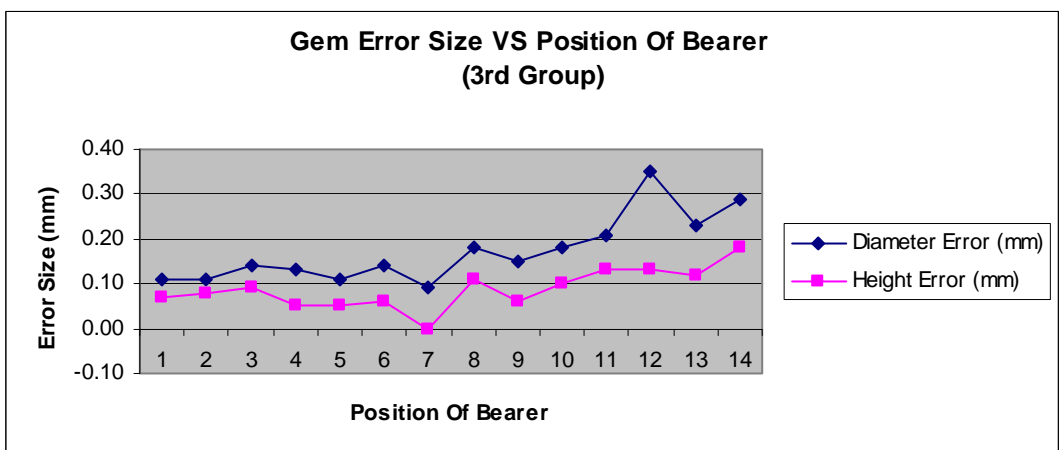
รูปที่ 7.26 ขนาดของมิตีพลอยเทียบกับตำแหน่ง ของด้ามทวนชุดที่ 3



รูปที่ 7.27 ขนาดของค่าผิดพลาดของพลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 1



รูปที่ 7.28 ขนาดของค่าผิดพลาดของพลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 2



รูปที่ 7.29 ขนาดของค่าผิดพลาดของพลอยเทียบกับตำแหน่งของด้ามทวนชุดที่ 3

รูป

### 7.3.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

กำหนดให้

$$D_E = D - D_R \quad (7.3)$$

$$H_E = H - H_R \quad (7.4)$$

$D_E$  = ค่าผิดพลาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กำหนดคือ 3.01 มม. (ค่าคงที่)

$D_R$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เจียรระไนได้จริง (มม.)

$H_E$  = ค่าผิดพลาดของความสูง (มม.)

$H$  = ขนาดความสูงที่กำหนดคือ 2.07 มม. (ค่าคงที่)

$H_R$  = ขนาดความสูงที่เจียรระไนได้จริง (มม.)

โดย กำหนดว่า

ถ้า  $D_E$  มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าที่กำหนด

ถ้า  $D_E$  มีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าที่กำหนด

ถ้า  $H_E$  มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้จริงมีความสูงมากกว่าที่กำหนด

ถ้า  $H_E$  มีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า ขนาดพลอยที่เจียรระไนได้จริงมีความสูงน้อยกว่าที่กำหนด  
ในที่นี้จะแบ่งลำดับการวิเคราะห์ขนาดของพลอยเป็นชุดได้ดังนี้

#### 1. พลอยชุดที่ 1



รูปที่ 7.30 พลอยชุดที่ 1

จากตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่า ขนาดของพลอยชุดแรก พลอยทุกเม็ด จะมีค่า  $D_E$  และ  $H_E$  เป็นค่าบวกแสดงว่า ขนาดของพลอยมีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด ทั้งในด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และ ขนาดความสูง ซึ่งเมื่อทำการเฉลี่ย ขนาดของเม็ดพลอยโดยรวมทุกเม็ดแล้ว ทั้ง 14 เม็ดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $D_{AVG}$ ) = 2.87 มม. และมี ขนาดความสูงเฉลี่ย ( $H_{AVG}$ ) = 1.98 มม. โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย  $D_{EAVG}$  = 0.14 มม. และ  $H_{EAVG}$  = 0.09 มม. ตามลำดับ และมีค่าสัดส่วน  $D/H$  เฉลี่ย = 1.45 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าที่ได้ออกแบบไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่านี้จะบอกเราได้ว่าสัดส่วนของเม็ดพลอยเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ถ้ามีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบไว้ ในที่นี้แสดงว่าเม็ดพลอยชุดที่ 1 มีค่าสัดส่วนที่ถูกต้องตามแบบโปรแกรม แต่อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วน  $D/H$  เฉลี่ยนี้ เป็นตัวแทนข้อมูลของพลอยทั้ง 14 เม็ดเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ค่าจริงที่เจียรระไนได้โดยตรง แต่ที่นำค่านี้มาพิจารณาเพื่อให้เกิดความสะดวกรในการวิเคราะห์ข้อมูล

ซึ่งเมื่อดูรูปภาพที่ 7.24 และ 7.27 ซึ่งได้เขียนขึ้นจากข้อมูลขนาดของพลอยจะพบว่า ค่าผิดพลาดที่เกิดกับพลอยแต่ละเม็ดมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเม็ดพลอย และจากการสังเกตข้อมูลในตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข จะเห็นว่า เม็ดพลอยที่อยู่ทางขวาของอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะมีขนาดเล็กกว่าทางด้านซ้ายเนื่องจากค่าผิดพลาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพลอยอยู่ทางขวามือ ซึ่งอาจเกิดมาจากหลายสาเหตุคือ การตั้งระดับงานเจียรระไนยังไม่ดีพอ หรือ การติดพลอยที่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง

ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่า Diameter Error และ ค่า Height Error มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือเมื่อค่า Diameter Error เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ค่า Height Error จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามกัน เพราะว่าเราได้กำหนดขนาดของพลอยไว้เท่าเดิมแต่เมื่อ ทำการเจียรระไน งานเจียรระไนอาจจะมี ความเรียบของผิวไม่เท่ากัน หรืออาจจะมี การเอียงเกิดขึ้น ทำให้ขนาดของพลอยที่ได้มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้น



## 2. พลอยชุดที่ 2



รูปที่ 7.31 พลอยชุดที่ 2

จากตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่า ขนาดของพลอยชุดที่ 2 พลอยเกือบทุกเม็ด จะมีค่า  $D_E$  และ  $H_E$  เป็นค่าบวกเช่นเดียวกัน แสดงว่า ขนาดของพลอยมีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด ทั้งในด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และ เรื่องขนาดความสูง ซึ่งเมื่อทำการเฉลี่ย ขนาดของเม็ด พลอยโดยรวมทุกเม็ดแล้ว ทั้ง 14 เม็ดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $D_{AVG}$ ) = 2.81 มม. และ มี ขนาดความสูงเฉลี่ย ( $H_{AVG}$ ) = 1.95 มม. โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย  $D_{EAVG}$  = 0.200 มม. และ  $H_{EAVG}$  = 0.12 มม. ตามลำดับ และมีค่าสัดส่วน  $D/H$  เฉลี่ย = 1.44 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้ ออกแบบไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่านี้จะบอกเราได้ว่าสัดส่วนของเม็ดพลอยเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ หรือไม่ ในที่นี้แสดงว่าเม็ดพลอยชุดที่ 2 มีค่าสัดส่วนที่ถูกต้องใกล้เคียงตามแบบในโปรแกรม แต่ อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วน  $D/H$  เฉลี่ยนี้ เป็นตัวแทนข้อมูลของพลอยทั้ง 14 เม็ดเท่านั้นซึ่งไม่ใช่ค่าจริง ที่เจียรระไนได้โดยตรง แต่ที่น่าคำนึงมาพิจารณาเพื่อให้เกิดความระมัดระวังในการวิเคราะห์ข้อมูล

ซึ่งเมื่อดูรูปภาพที่ 7.25 และ 7.28 ซึ่งได้เขียนขึ้น จากข้อมูลขนาดของพลอยจะพบว่า ค่า ผิดพลาดที่เกิดกับพลอยแต่ละเม็ดมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเม็ดพลอย ซึ่งจากการ สังเกตข้อมูลในตารางจะเห็นว่า เม็ดพลอยที่อยู่บริเวณตรงกลางบริเวณเม็ดที่ 4 ถึง 10 มีค่า ผิดพลาดของความสูง และ ค่าผิดพลาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และ เม็ดพลอยทางขวาของอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะมีขนาดเล็กกว่าทางด้านซ้ายเนื่องจากค่าผิดพลาด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพลอยอยู่ทางขวามือ ซึ่งอาจเกิดจาก การตั้งระดับจานเจียรระไนยังไม่ดีพอ หรือ การติดพลอยที่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง

## 3. พลอยชุดที่ 3



รูปที่ 7.32 พลอยชุดที่ 3

จากตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่า ขนาดของพลอยชุดที่ 3 พลอยทุกเม็ดจะมีค่า  $D_E$  และ  $H_E$  เป็นค่าบวกแสดงว่า ขนาดของพลอยมีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด ทั้งในด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และ เรื่องขนาดความสูง ซึ่งเมื่อทำการเฉลี่ย ขนาดของเม็ดพลอยโดยรวมทุกเม็ดแล้ว ทั้ง 14 เม็ดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $D_{AVG}$ ) = 2.84 มม. และมี ขนาดความสูงเฉลี่ย ( $H_{AVG}$ ) = 1.98 มม. โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย  $D_{EAVG}$  = 0.17 มม. และ  $H_{EAVG}$  = 0.09 มม. ตามลำดับและมีค่าสัดส่วน  $D/H$  เฉลี่ย = 1.43 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่านี้จะบอกเราได้ว่าสัดส่วนของเม็ดพลอยเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ในที่นี้แสดงว่าเม็ดพลอยชุดที่ 3 มีค่าสัดส่วนที่ถูกต้องใกล้เคียงตามแบบในโปรแกรม แต่อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วน  $D/H$  เฉลี่ยนี้ เป็นตัวแทนข้อมูลของพลอยทั้ง 14 เม็ดเท่านั้นซึ่งไม่ใช่ค่าจริงที่เสาะระไนได้โดยตรง แต่ที่นำค่านี้มาพิจารณาเพื่อให้เกิดความสะดวกรในการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อดูรูปภาพที่ 7.26 และ 7.29 ซึ่งได้เขียนขึ้นจากข้อมูลขนาดของพลอยจะพบว่า ค่าผิดพลาดที่เกิดกับพลอยแต่ละเม็ดมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเม็ดพลอย จากการสังเกตข้อมูลในตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข จะเห็นว่า พลอยบริเวณเม็ดที่ 3 ถึง 9 จะมีค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกันในระดับหนึ่ง และ เม็ดพลอยที่อยู่ทางขวาของอุปกรณ์จับด้ามพลอยจะมีขนาดเล็กกว่าทางด้านซ้ายเนื่องจากค่าผิดพลาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพลอยอยู่ทางขวามือ

#### 4. การเปรียบเทียบพลอยที่เจียรระไนได้ระหว่างชุดพลอย

จากข้อมูลใน ตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข เมื่อพิจารณาค่าผิดพลาดของพลอยทุกชุด ประกอบกันแล้ว พลอยชุดที่ 1 จะมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง น้อยที่สุด คือ 0.14 มม. และ จะมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยของขนาดความสูงของเม็ดพลอย น้อยที่สุดเช่นเดียวกับ พลอยชุดที่ 3 คือ 0.09 มม. สำหรับพลอยทางด้านขวามือจะมีขนาดเล็กกว่าทางด้านซ้ายมือ เล็กน้อย และขนาดจริงของพลอยทุกชุดมีขนาดเล็กกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมเล็กน้อย สาเหตุอาจเนื่องมาจาก

- เนื่องจากว่าในการสร้างเครื่องเจียรระไนพลอยการออกแบบโครงสร้างของเครื่อง ทำในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะหาได้จากค่าความยาวต่างๆ ของข้อต่อต่างๆในโปรแกรม ซึ่งในความเป็นจริง อุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นจะมีค่าความยาวผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการประกอบโครงสร้าง หรือ การตั้งระดับเครื่องอยู่ ซึ่งจะทำให้การวัดค่าผิดพลาดนี้ได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นค่าตัวเลขความยาวของข้อต่อต่างๆที่ได้จากการวัดจริงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นค่าใกล้เคียงกับเท่านั้น ดังนั้น ความผิดพลาดของขนาดพลอยจึงอาจเกิดจาก ข้อมูลของตัวแปรที่อยู่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- จากข้อมูลการเจียรระไนพลอยทั้ง 3 ชุดนี้จะเห็นได้ว่า ขนาดของสัดส่วน D/H ของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คือ 1.45 แสดงว่าค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจจะมีผลมาจาก การตั้งระดับของจานเจียรระไนพลอย ซึ่งอาจจะมี การเอียงอยู่เล็กน้อย ทำให้ส่งผลต่อขนาดของพลอยโดยตรงได้มากกว่าผลจากโปรแกรม

- การติดพลอยไม่ตรงกับตำแหน่งศูนย์กลางของด้ามทวนขณะทำการกลับด้าน พลอยทำให้ขนาดของพลอยที่ได้เกิดการผิดเพี้ยนไป

### 7.3.3 การสึกหรอของจานเจียรระไนพลอย

การสึกหรอของจานเจียรระไนพลอย สามารถวัดได้โดยตรงที่ความหนาของจานเจียรระไนพลอย โดยจะบันทึกความหนาของจานเจียรระไนพลอยไว้ก่อน จากนั้น เมื่อทำการเจียรระไนไปแล้วจึงนำจานเจียรระไนกลับมาวัดค่าความหนาอีกครั้งหนึ่ง หนึ่ง ในที่นี้จะวัดค่าการสึกหรอของจานเจียรระไนจานที่ 2 (เบอร์ 800) ซึ่งเป็นจานขัดขึ้นรูปเท่านั้น เนื่องจากเป็นจานที่ใช้เจียรระไนกับพลอยทุกชุด

สำหรับจานที่ 1 (เบอร์ 500) เป็นจานเจียรระไนหยาบ เป็นจานที่เจียรระไนเพื่อให้พลอยมีรูปร่างใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ซึ่งในช่วงแรกของการทดลองไม่ได้ใช้เจียรระไนทุกครั้ง ในระยะหลังจะมีการใช้จานที่ 1 เจียรระไนก่อนจานที่ 2 เมื่อต้องการลดระยะเวลาในการเจียรระไนลง ดังนั้นจึงไม่สามารถวัด การสึกหรอที่แน่นอนของจานเจียรระไนจานที่ 1 ได้ สำหรับจานที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็น

งานที่ใช้ขัดขึ้นเงาเบอร์หยาบ (เป็นงานซีดีที่ทาครีมเคลือบผงเพชรเบอร์ 6 ไมครอน) และ เบอร์ละเอียด (เป็นงานซีดีที่ทาครีมเคลือบผงเพชรเบอร์ 1 ไมครอน) ตามลำดับ เนื่องจากว่างานที่ใช้เป็นแผ่นซีดี ขณะเจียรระโนงานซีดีจะเกิดการแอ่นตัว ตามแรงที่เครื่องเจียรระโนกดลงไป ซึ่งจะทำให้งานซีดีเกิดรอยแตกเล็กๆ บริเวณผิวของงาน จึงไม่สามารถที่จะวัดการสึกหรอได้เลย ซึ่งงานซีดีจะต้องคอยเปลี่ยนทุกครั้งเมื่อเกิดรอยแตกเล็กๆขึ้น ตามแต่ลักษณะการเจียรระโน จึงไม่สามารถที่จะระบุการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้เจียรระโนในการเปลี่ยนงานซีดีแต่ละครั้ง

โดยเมื่อทำการวัดความหนาของงานเจียรระโนงานที่ 2 เบอร์ 800 แล้วจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 ความหนาของงานเจียรระโน ทั้งก่อนและหลังใช้งานและ ค่าการสึกหรอ

ชนิดของงานเบอร์	จำนวนครั้ง	ความหนาของงานเจียรระโน (มม.)		ค่าการสึกหรอ (มม.)
		ก่อนเจียรระโน	หลังเจียรระโน	
800	30	12.07	12.06	0.01

จากข้อมูลในตารางแสดงว่า เมื่อเจียรระโนไปครบจำนวน 30 ครั้ง จะมีการสึกหรอเกิดขึ้น 0.01 มม. หรือเมื่อทดลองเจียรระโนเป็นจำนวน 3 ชุดการทดลอง จะมีการสึกหรอ 0.001 มม. ซึ่งแสดงว่า ควรจะต้องมีการปรับค่า offset ในโปรแกรมให้สอดคล้องกับการสึกของงานเจียรระโนด้วย

## บทที่ 8

### การสรุปผลงานการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ในส่วนแรกกล่าวถึงความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอย และความสามารถของเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ ในส่วนที่สอง กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งาน ในส่วนสุดท้าย กล่าวถึงการปรับปรุงและการพัฒนาเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติต่อไปในอนาคต

#### 8.1 สรุปผลงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้ามสำหรับเครื่องเจียรระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัตินี้ สามารถสร้างอุปกรณ์การเจียรระไนพลอยได้สูงสุดถึงครั้งละ 14 เม็ด และ งานวิจัยชิ้นนี้ ยังครอบคลุมไปถึงการออกแบบโครงสร้างของเครื่องเจียรระไนพลอยให้มีความแข็งแรง เช่น การเพิ่มขนาดความหนาของข้อต่อเพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบใหม่ และ ปรับปรุงประสิทธิภาพชุดจานเจียรระไนพลอยให้มีจำนวนของจานมากขึ้น รอบสูงขึ้น (จาก 1500 รอบต่อนาที เป็น 3000 รอบต่อนาที) กว่าเครื่องเจียรระไนพลอยรุ่นเดิมซึ่งมีจำนวนจาน 3 จาน ให้เป็น 5 จาน

##### 8.1.1 ความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์จับด้ามพลอยบนเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

การวัดค่าความแม่นยำของการเคลื่อนที่และความเที่ยงตรงในการทำซ้ำของอุปกรณ์จับด้ามพลอยบนเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ เนื่องจากการวัดมุมของด้ามทวนที่หมุนไปทำได้ค่อนข้างยากดังนั้นการวัดความแม่นยำจึงต้องวัดที่ขนาดของเม็ดพลอยที่เจียรระไนเป็นรูปทรงมาตรฐานออกมาเป็นหลัก พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของขนาดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.3 มม.

##### 8.1.2 สรุปความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับขนาดพลอยบนเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับขนาดของพลอยอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุคือ

1. ลักษณะโครงสร้างของเครื่องเจียรระไนพลอย เนื่องจากว่าโครงสร้างของเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่สอง ประกอบขึ้นมาจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ซึ่งมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง แต่ถ้าน้ำหนักมาก มากดหรือวางลงบนแท่งอลูมิเนียม อาจจะทำให้เกิดการแอ่นตัวขึ้นของโครงสร้างไปเล็กน้อย ทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องมาจากโครงสร้างขึ้นได้

2. การสึกหรอของจานเจียร์ไนท์มีส่วนสำคัญที่จะทำให้ขนาดของเม็ดพลอยเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น ขึ้นอยู่กับ จำนวนครั้งในการเจียร์ไนท์ แต่จานเจียร์ไนท์ มีการเคลือบผงเพชรไว้ ซึ่งมีการสึกหรอของจานค่อนข้างน้อย คือ จากการทดลองเจียร์ไนท์พลอย 30 ชุด จานมีการสึกหรอไป 0.01 มม.

3. เนื่องจากว่าในการสร้างเครื่องเจียร์ไนท์พลอยการออกแบบโครงสร้างของเครื่อง ทำในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาได้จากค่าความยาวต่างๆ ของข้อต่อต่างๆในโปรแกรม ซึ่งในความเป็นจริง อุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นจะมีค่าความยาวผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการประกอบโครงสร้าง หรือ การตั้งระดับเครื่องอยู่ ซึ่งจะทำให้การวัดค่าผิดพลาดนี้ได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นค่าตัวเลขความยาวของข้อต่อต่างๆที่ได้จากการวัดจริงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นค่าใกล้เคียงกับเท่านั้น ความผิดพลาดของขนาดพลอยจึงอาจเกิดจากข้อมูลของตัวแปรที่อยู่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4. เนื่องจากว่าขณะเครื่องจักรกำลังทำงาน บริเวณชุดจานเจียร์ไนท์ขณะที่หมุนเกิดการสั่น อาจส่งผลต่อการทำงานของ เอนโคเดอร์ ในการวัดมุมของของมอเตอร์ในแต่ละแกนการเคลื่อนที่ ซึ่งเมื่อได้ทดลองตรวจสอบจากโปรแกรมที่ใช้เจียร์ไนท์ปรากฏว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ที่อยู่บ้าง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อคุณภาพการเจียร์ไนท์ได้

5. การตั้งระดับของจานเจียร์ไนท์พลอย ซึ่งอาจจะมีการเอียงอยู่เล็กน้อย ทำให้ส่งผลต่อขนาดของพลอยโดยตรงได้มากกว่าผลจากโปรแกรม

6. การติดพลอยไม่ตรงกับตำแหน่งศูนย์กลางของด้ามทวนขณะทำการกลับด้านพลอยทำให้ขนาดของพลอยที่ได้เกิดการผิดเพี้ยนไป

## 8.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องเจียร์ไนท์พลอยแบบอัตโนมัติมีดังนี้

1. กาวที่ใช้ในการติดพลอยยังไม่แน่นพอทำให้การเจียร์ไนท์ทำได้ช้า เพราะถ้ามีการเจียร์ไนท์ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการป้อนเข้าเจียร์ไนท์ ของพลอยสูงขึ้น จะทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณตัวพลอย ซึ่งจะทำให้เม็ดพลอยหลุดออกมาจากด้ามได้โดยง่าย ทำให้เสียเม็ดพลอยไป

2. เนื่องจากเครื่องเจียร์ไนท์พลอยแบบอัตโนมัติ ต้องใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อช่วยในการเจียร์ไนท์ ดังนั้นขณะทำการเจียร์ไนท์ น้ำที่หล่อเย็นจะกระเด็นไปเลอะยังส่วนต่างๆของเครื่องจักรซึ่งอาจจะทำให้เกิดสนิมได้ และอาจจะก่อให้เกิดความสกปรกแก่ผู้ควบคุมเครื่องเจียร์ไนท์ได้

3. โครงสร้างของเครื่องเจียรไนพลอยแบบอัตโนมัติยังมีการสั่นสะเทือนอยู่บ้าง ซึ่งอาจจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของการเจียรไน

### 8.3 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องเจียรไนอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้น พบว่ามีปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นมา โดยจะกล่าวถึงข้อเสนอแนะตามปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

1. กาวที่ใช้ในการติดพลอยเข้ากับด้ามทวน ต้องการพื้นผิวสัมผัสระหว่างเม็ดพลอยกับหน้าตัดของด้ามทวนค่อนข้างมากในระดับหนึ่ง ดังนั้นการเจียรไนเม็ดพลอยขนาดเล็กต้องคำนึงถึงรูปทรงที่จะใช้เจียรไนด้วย ดังนั้นควรที่จะเลือกรูปทรงที่มีพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างเยอะพอสมควร เพื่อให้กาวสามารถยึดติดกับเม็ดพลอยได้แน่นเพียงพอที่จะเพิ่มอัตราการบ่อนในการเจียรไนได้ หรือ อาจจะหากระบวนการพิเศษที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันกับกาว UV ที่มีความแข็งแรงกว่ากาว UV ก็ได้

2. จะต้องมีกระบวนการป้องกันการกระเด็นของน้ำหล่อเย็น โดยอาจจะออกแบบที่กำบังบริเวณรอบๆจานเจียรไนเพื่อป้องกันน้ำที่กระเด็นออกมา จึงออกแบบเป็นตู้เจียรไนโดยที่เครื่องเจียรไนพลอยอยู่ในตู้ ซึ่งจะช่วยลดสนิมที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้

3. เนื่องจากว่าโครงสร้างของเครื่องเจียรไนพลอยเป็นแบบอลูมิเนียมโปรไฟล์ ซึ่งอาจจะมีการแอ่นตัวเกิดขึ้นบ้างขณะทำการประกอบดังนั้นในกรณีจะทำการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม โครงสร้างของเครื่องเจียรไนพลอยควรจะเป็นเหล็กหล่อ ซึ่งมีการแอ่นตัวค่อนข้างน้อย และ ให้ทำการเสริมแผ่นยางบริเวณแท่นรองเครื่อง เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] Mividazul. Facets of Diamond[online]. Available from:  
[https://www.mividazul.com/mividazul/store/images/Diamond\\_Anatomy.jpg](https://www.mividazul.com/mividazul/store/images/Diamond_Anatomy.jpg), 2008.
- [2] สมจินต์ ธนานันท์ศิริ. การออกแบบและสร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติวิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2547.
- [3] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. การควบคุมระบบพลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [4] How are Gems Cut and Polished. Grinding[online]. Available from:  
<http://www.tradeshop.com/gems/howcut.html#grinding>, 2008
- [5] Wikipedia. Grinding (abrasive cutting)[online]. Available from:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Grinding\\_\(abrasive\\_cutting\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Grinding_(abrasive_cutting)), 2008.
- [6] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล. เล่ม 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด  
ยูเคชั่น, 2541.
- [7] PIC Design. Modular Frame Elements Structural Extrusions catalog.  
PIC Design INC, 2008
- [8] SKF. Power Transmission Product Pulley catalog. SKF Group, 2008
- [9] SKF. Power Transmission Product Belt catalog. SKF Group, 2008
- [10] HIWIN. Linear guideways catalog. HIWIN Technologies Corp, 2006
- [11] HIWIN. Ballscrews catalog. HIWIN Technologies Corp, 2006
- [12] SKF. Power Transmission Product Sprocket catalog. SKF Group, 2008
- [13] SKF. Power Transmission Product Chain catalog. SKF Group, 2008



ภาคผนวก

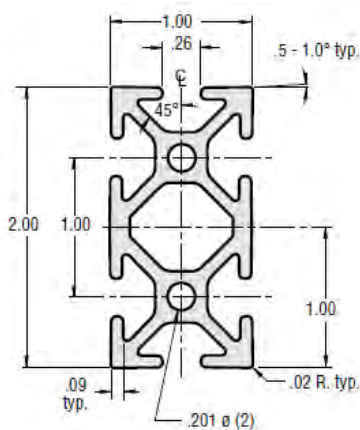
## ภาคผนวก ก

## โครงสร้างและอุปกรณ์ของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

## ก.1 โครงสร้าง

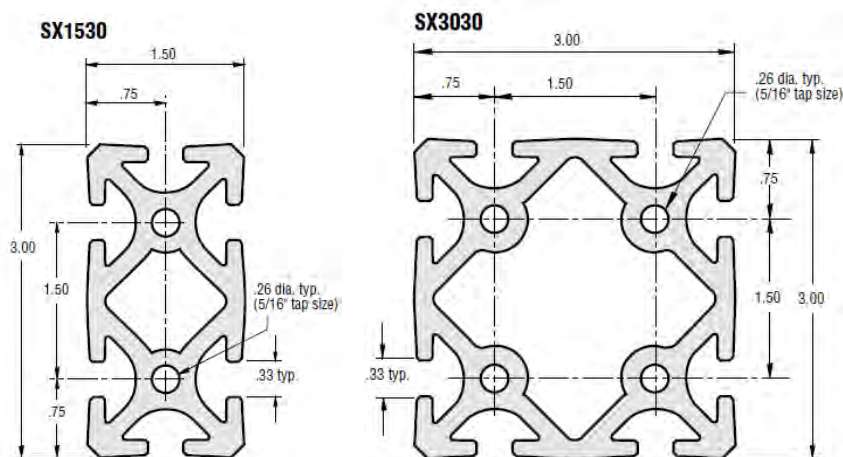
## ก.1.1 อลูมิเนียมโปรไฟล์ ( Aluminium Profile )

เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นแรก โดยการใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ในการประกอบเป็นโครงสร้าง สาเหตุที่ใช้ อลูมิเนียมโปรไฟล์ เพราะอลูมิเนียมโปรไฟล์จะมีร่องเอาไว้ใช้สำหรับใส่แป้นเกลียวสกู๊ป เพื่อที่จะใช้ยึดแท่งอลูมิเนียมเข้าด้วยกันได้ง่าย ทำให้การประกอบโครงสร้างของเครื่องเจียระไนพลอยทำได้ สะดวกรวดเร็วขึ้น โดยจะแสดงข้อมูลได้ดังรูป



SX1020M

รูปที่ ก.1 ขนาดอลูมิเนียมโปรไฟล์[7]



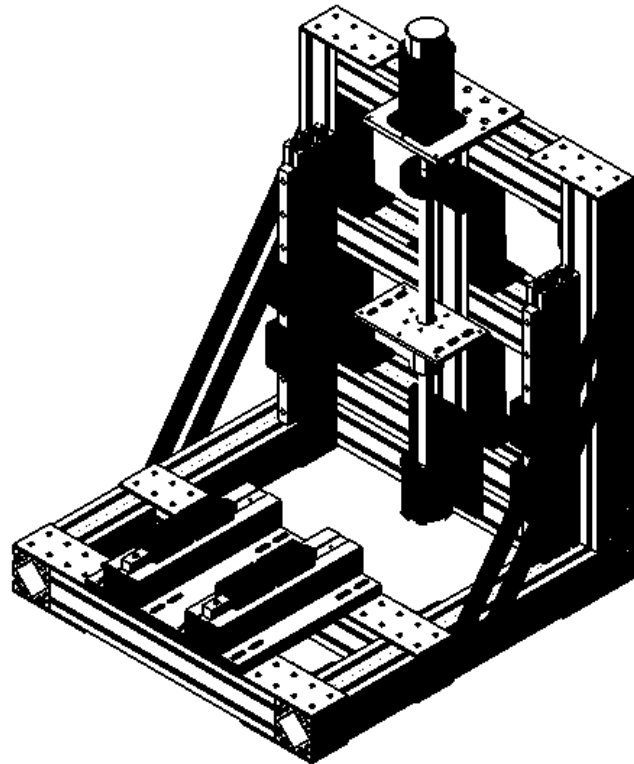
รูปที่ ก.2 ขนาดอลูมิเนียมโปรไฟล์(ต่อ) [7]

อลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ใช้จะมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

วัสดุ (Material) : อลูมิเนียมเกรด 6015-T5

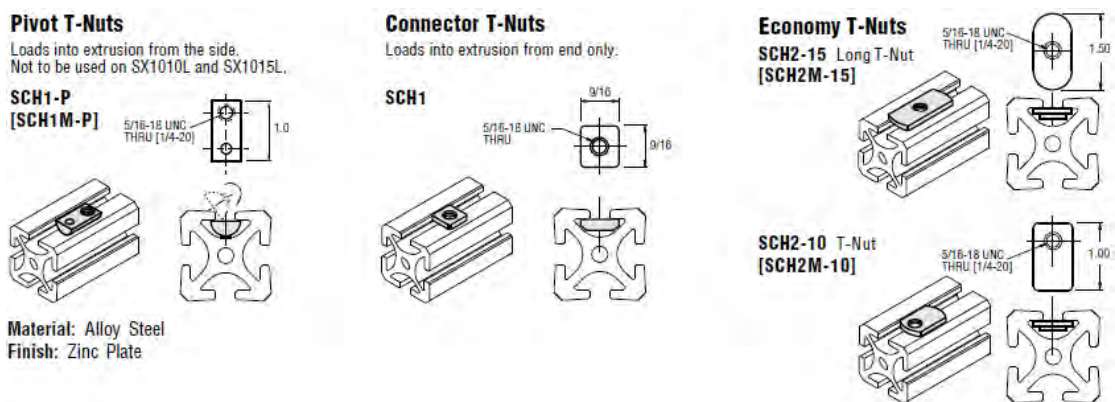
ผิวขัด (Finish) : ชุบแบบอะโนไดซ์

ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) : 11,000,000 PSI



รูปที่ ก.3 การประกอบเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติด้วยแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์

### ก.1.2 สกรู และ แป้นเกลียว (Screw and nuts)



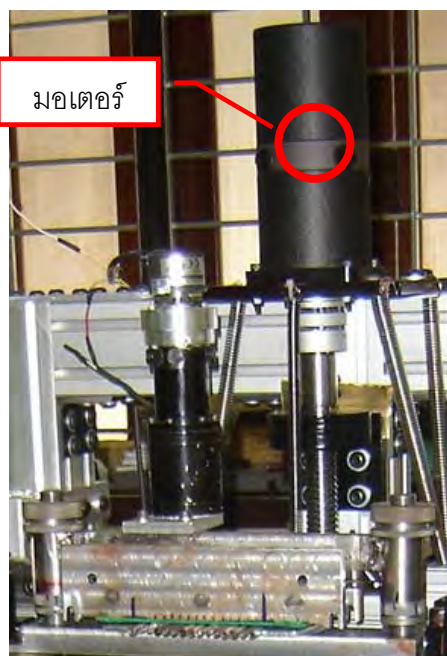
รูปที่ ก.4 แป้นเกลียวตัวเมียแบบพิเศษที่ใช้กับแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์

การยึดแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์เข้าด้วยกันจะต้องใช้แป้นเกลียวตัวเมีย แบบพิเศษ เพื่อที่จะสามารถนำไปใส่ในร่องของแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์ได้ โดยจะแสดงลักษณะของแป้นเกลียวตัวเมียได้ดังรูปที่ ก.4

## ก.2 อุปกรณ์

### ก.2.1 มอเตอร์ที่ใช้เลื่อนแกน Z

มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแกน Z โดยจะเป็นมอเตอร์แบบ DC servo ซึ่งจะทำหน้าที่ยกชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอยให้เคลื่อนที่ขึ้น หรือ เคลื่อนที่ลง โดยแกน Z ของมอเตอร์จะเป็นแกนที่ต้องควบคุมความแม่นยำเพราะเป็นอุปกรณ์ ที่กำหนดตัวแปรค่าความลึกในการกัด

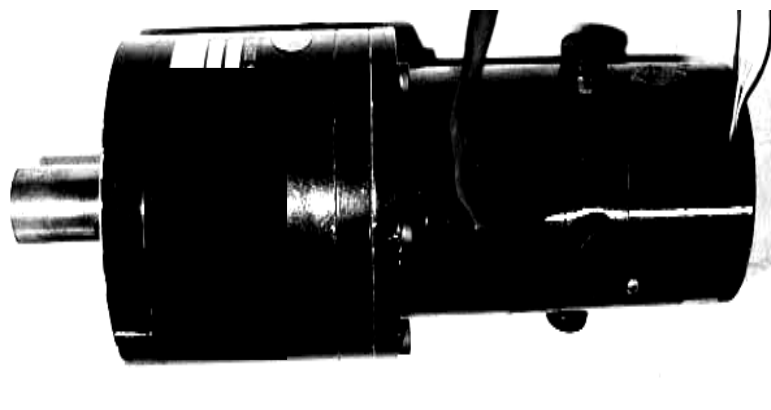


รูปที่ ก.5 การประกอบมอเตอร์

### ก.2.2 มอเตอร์ฮาร์โมนิคไดรฟ์ (Harmonic Drive DC Servo Motor)

มอเตอร์ฮาร์โมนิคไดรฟ์ที่ใช้กับเครื่องเจียรระโนพลอยแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 จะใช้อยู่ 2 ขนาดด้วยกันคือ โดย มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงขนาดใหญ่ จะเป็น มอเตอร์ที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนแกน X หรือ มุมยก (Elevation Angle)

ส่วนมอเตอร์ฮาร์โมนิคไดรฟ์ที่ใช้อีกตัวคือ มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแกน Y หรือมุมดรรชนี (Index Angle) ซึ่งมอเตอร์จะติดอยู่บนอุปกรณ์จับด้ามพลอยซึ่งทำหน้าที่เลื่อนตัวกดด้ามพลอย



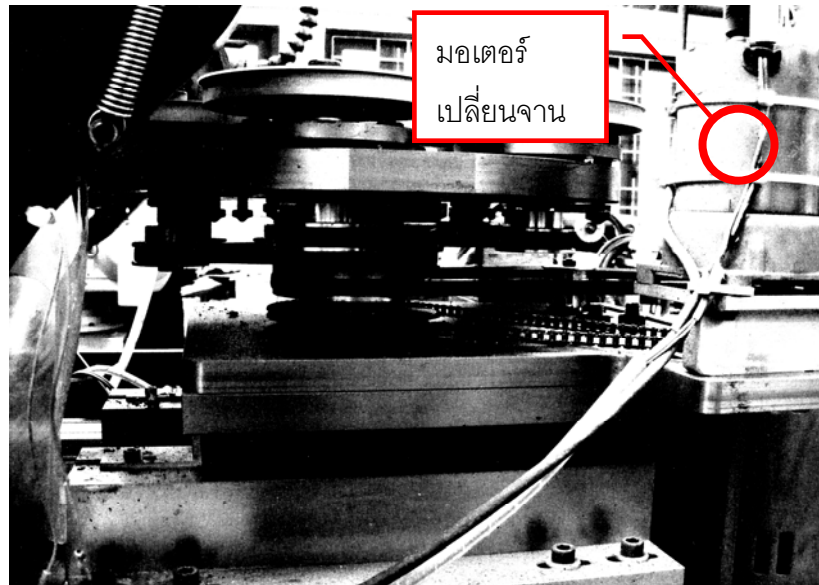
รูปที่ ก.6 มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงขนาดเล็ก



รูปที่ ก.7 มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงขนาดใหญ่

### ก.2.3 มอเตอร์ที่ใช้เปลี่ยนจานเจียร์ไน

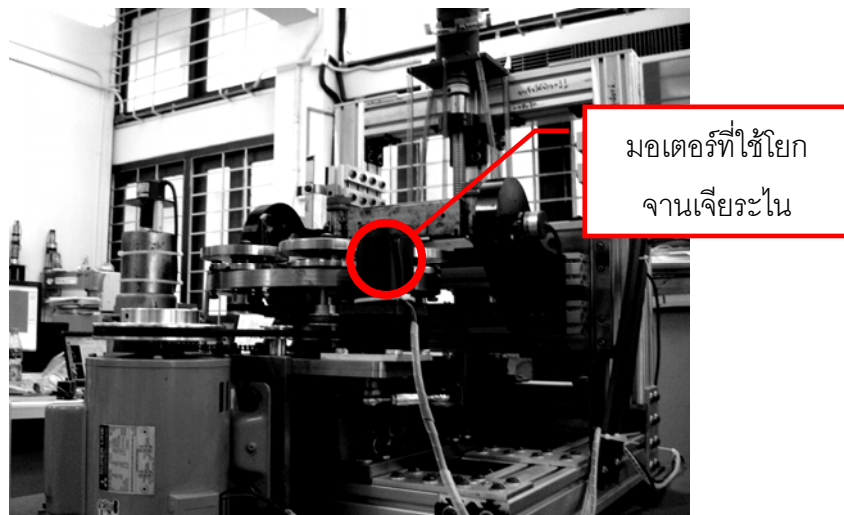
การขับจานเจียร์ไนจะสามารถทำได้โดยใช้มอเตอร์ซึ่งมีเกียร์ทดซึ่งหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไปโดยแกนของมอเตอร์จะยึดติดอยู่กับเฟืองโซ่ ซึ่งจะไปหมุนแทนเปลี่ยนจานเจียร์ไนให้ตรงกับตำแหน่งของอุปกรณ์จับด้ามพลอย ซึ่งมอเตอร์นี้จะเป็นมอเตอร์แบบ DC servo แบบยึดติดกับ Encoder ซึ่งสามารถควบคุมตำแหน่งความแม่นยำได้นั่นเอง ดังรูป



รูปที่ ก.8 การติดตั้งมอเตอร์ชุดเปลี่ยนงานเจียรระโน

#### ก.2.4 มอเตอร์ที่ใช้โยกงานเจียรระโน

มอเตอร์ที่ใช้โยกงานเจียรระโนเป็นที่ไม่ต้องการควบคุมความแม่นยำ ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ที่มีเกียร์ทดเช่นเดียวกัน การทำงานของมอเตอร์นี้คือทำหน้าที่หมุนแกนลูกเบี้ยวเพื่อไปโยกแท่นงานเจียรระโนให้เคลื่อนที่เข้าหรือออกดังรูป



รูปที่ ก.9 การประกอบมอเตอร์ชุดโยกงานเจียรระโน



รูปที่ ก.10 การประกอบมอเตอร์ชุดโยกงานเจียรไน (ต่อ)

### ก.2.5 มอเตอร์ที่ใช้หมุนงานเจียรไน

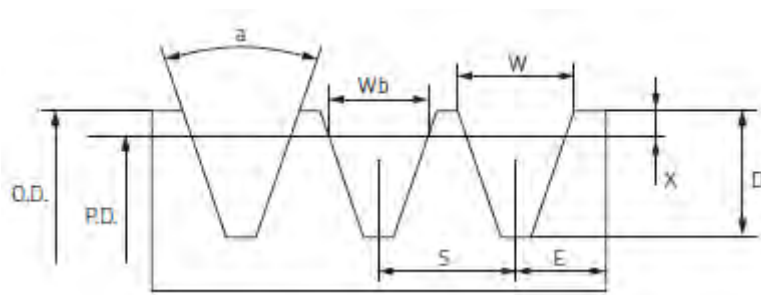
มอเตอร์ที่ใช้หมุนงานเจียรไนเป็นมอเตอร์ Single Phase Induction Motor มีความเร็ว 1430 รอบ/นาที ซึ่งจะทำหน้าที่หมุนงานเจียรไนทั้ง 5 งานให้หมุนพร้อมกันด้วยความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที โดยการส่งกำลังจะส่งกำลังผ่านมู่เล่ซึ่งคล้องกับร่องสายพาน 3 ชั้นซึ่งได้ออกแบบเอง ซึ่งจะแสดงรูปภาพได้ดังรูป



รูปที่ ก.11 Single Phase Induction Motor

## ก.2.6 สายพานและมู่เล่ (Belt and Pulleys) [8]

ในเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติใช้สายพาน และ มู่เล่ ขนาดมาตรฐานดังรูป



Wedge belt pulleys

Belt series	Pitch Diameter Range	Groove Angle	Dimensions					
			a	W	W <sub>b</sub>	D	X	S
		°	mm	mm	mm	mm	mm	mm
SPZ	Up to 80 Over 80	34° 38°	9,7	8,5	11	2	12	8

รูปที่ ก.12 ขนาดของมู่เล่ที่ใช้กับเครื่องเจียระไนพลอย

มู่เล่ที่ใช้เป็นมู่เล่ที่ออกแบบขึ้นเอง เพื่อใช้กับเครื่องเจียระไนพลอยโดยเฉพาะ โดยจะมีร่องสำหรับใส่สายพานแบบร่อง SPZ หรือ ร่อง 3V ซึ่งจะเป็นสายพานขนาดมาตรฐานที่หาได้ตามท้องตลาด โดยมู่เล่ที่ใช้ในการรับ และ ส่งกำลังจากมอเตอร์ก็จะมีร่องชนิดเดียวกัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังรูป



ก)

ข)

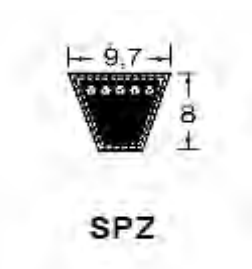
ค)

รูปที่ ก.13 ก) มู่เล่ที่ใช้ส่งกำลังจากมอเตอร์

ข) มู่เล่ที่ใช้ในการรับกำลังจากมอเตอร์และส่งกำลังไปยังงานเจียระไน

ค) มู่เล่ที่ใช้หมุนงานเจียระไนพลอย

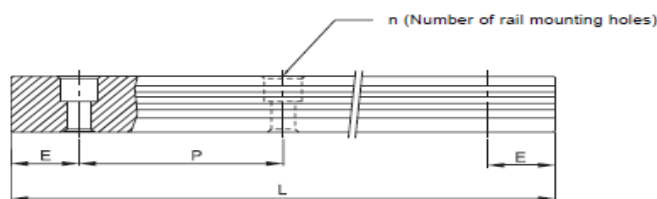




รูปที่ ก.14 สายพานขนาดมาตรฐานแบบ SPZ [9]

### ก.2.7 รางเลื่อน และ ร่องเลื่อน (Rails And Linear Guideways) [10]

เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติใช้รางเลื่อนเป็นจำนวน 3 ชุด ชุดแรกคือ รางเลื่อนที่ใช้กับการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของเครื่องเจียระไนพลอย เพื่อใช้กับการเคลื่อนที่ของแท่นยกอุปกรณ์จับด้ามพลอย สำหรับชุดที่สอง จะใช้รางเลื่อนสำหรับการเคลื่อนที่เข้า และ ออกของจานเจียระไน เพื่อให้ผิวพลอยถูกเจียระไนได้อย่างทั่วถึงในขณะที่ทำการเจียระไน และ ยังมีประโยชน์ในกรณีที่ใช้จานขัด เพื่อขัดผิวพลอยให้เกิดความเงางาม และ ชุดที่สาม จะใช้รางเลื่อนสำหรับอุปกรณ์จับด้ามพลอย โดยจะสามารถแสดงข้อมูลของรางเลื่อนได้ดังนี้



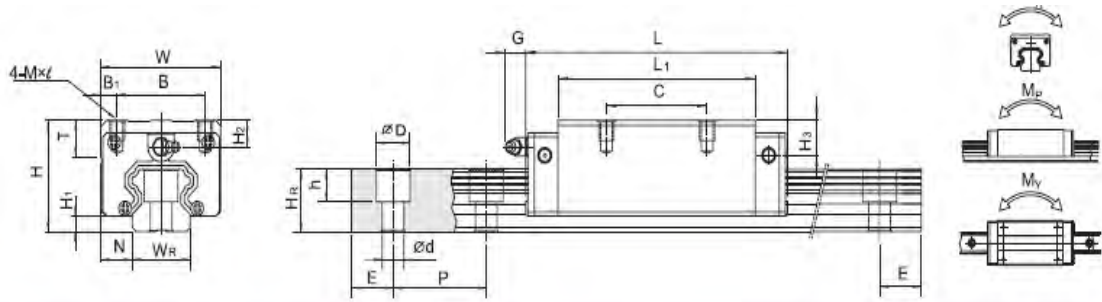
Unit: mm

Item	HGR15	HGR20	HGR25	HGR30	HGR35	HGR45	HGR55	HGR65
Standard Length L(n)	160(3)	220(4)	220(4)	280(4)	280(4)	570(6)	780(7)	1,270(9)
	220(4)	280(5)	280(5)	440(6)	440(6)	885(9)	1,020(9)	1,570(11)
	280(5)	340(6)	340(6)	600(8)	600(8)	1,200(12)	1,260(11)	2,020(14)
	340(6)	460(8)	460(8)	760(10)	760(10)	1,620(16)	1,600(13)	2,620(18)
	460(8)	640(11)	640(11)	1,000(13)	1,000(13)	2,040(20)	1,980(17)	
	640(11)	820(14)	820(14)	1,640(21)	1,640(21)	2,460(24)	2,580(22)	
	820(14)	1,000(17)	1,000(17)	2,040(26)	2,040(26)	2,985(29)	2,940(25)	
1,240(21)	1,240(21)	2,520(32)	2,520(32)					
	1,600(27)	3,000(38)	3,000(38)					
Pitch (P)	60	60	60	80	80	105	120	150
Distance to End (E <sub>s</sub> )	20	20	20	20	20	22.5	30	35
Max. Standard Length	1,960(33)	4,000(67)	4,000(67)	3,960(50)	3,960(50)	3,930(38)	3,54(30)	3,520(24)
Max. Length	2,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Note : 1. Tolerance of E value for standard rail is 0.5~0.5 mm. Tolerance of E value for butt-joint is 0~0.3 mm.  
 2. Maximum standard length means the max. rail length with standard E value on both end.  
 3. If different E value is needed, please contact with HIWIN.

รูปที่ ก.15 ขนาดรางเลื่อน

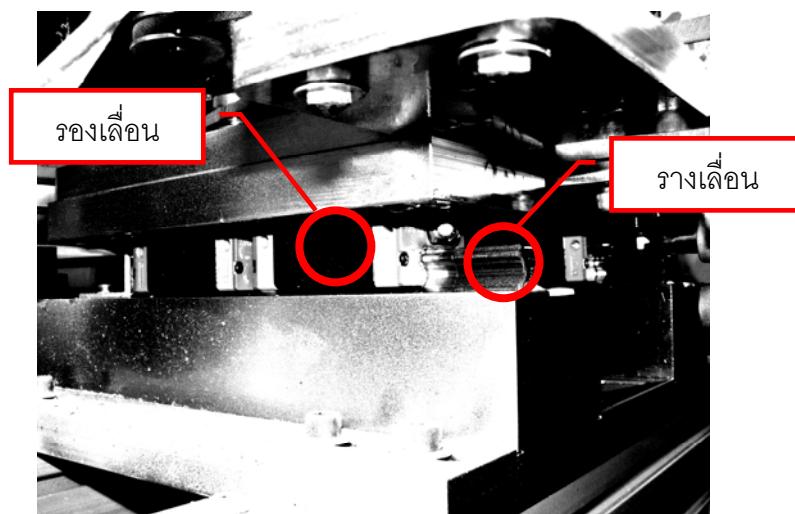
สำหรับ ร่องเลื่อนของทั้งแกนในแนวตั้งและแนวราบสามารถแสดงข้อมูลทางเทคนิคและการนำไปประกอบบนเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติได้ดังรูป



Model No.	Dimensions of Assembly (mm)				Dimensions of Block (mm)										Dimensions of Rail (mm)										Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C <sub>0</sub> (kN)	Basic Static Load Rating C <sub>0</sub> (kN)	Static Rated Moment				Weight
	H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	G	MxL	T	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	D	h	d	P	E	M <sub>x</sub> (kN-m)	M <sub>y</sub> (kN-m)	M <sub>z</sub> (kN-m)				Block (kg)	Rail (kg/m)			
HGH 18CA	28	4.3	9.5	34	26	4	26	39.4	61.4	5.3	M4x5	8	8.5	9.5	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	11.38	25.31	0.17	0.15	0.15	0.18	1.45			
HGH 20CA	30	4.6	12	44	32	6	36	50.5	75.6	12	M5x6	8	8	7	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	17.75	37.84	0.38	0.27	0.27	0.30	2.21			
HGH 20HA							50	65.2	90.3																							
HGH 25CA	40	5.5	12.5	48	35	6.5	35	58	83	12	M6x8	8	10	13	23	22	11	9	7	60	20	M6x20	26.48	56.19	0.64	0.51	0.51	0.51	3.21			
HGH 25HA							50	78.8	103.6																							
HGH 30CA	45	6	18	60	40	10	40	70	97.4	12	M8x10	8.5	9.5	13.8	28	28	14	12	9	80	20	M8x25	38.74	83.06	1.06	0.85	0.85	0.88	4.47			
HGH 30HA							60	93	120.4																							
HGH 35CA	55	7.5	18	70	50	10	50	80	112.4	12	M8x12	10.2	16	19.6	34	29	14	12	9	80	20	M8x25	49.52	102.87	1.73	1.20	1.20	1.45	6.30			
HGH 35HA							72	105.8	139.2																							
HGH 45CA	70	9.5	20.5	86	60	13	60	97	138	12.9	M10x17	16	19.5	30.5	45	38	20	17	14	105	22.5	M12x35	77.57	155.93	3.01	2.35	2.35	2.73	10.41			
HGH 45HA							80	128.6	169.6																							
HGH 55CA	80	13	23.5	100	75	12.5	75	117.7	165.7	12.9	M12x18	17.5	22	29	53	44	23	20	16	120	30	M14x45	114.44	227.81	5.68	4.06	4.06	4.17	15.08			
HGH 55HA							95	155.8	203.8																							
HGH 65CA	90	15	31.5	126	78	25	70	144.2	196.2	12.9	M16x20	25	15	15	63	53	26	22	18	150	35	M16x50	163.83	324.71	10.02	6.44	6.44	7.00	21.16			
HGH 65HA							120	203.6	257.6																							

Note : 1 kgf = 9.81 N

รูปที่ ก.16 ขนาดของร่องเลื่อน

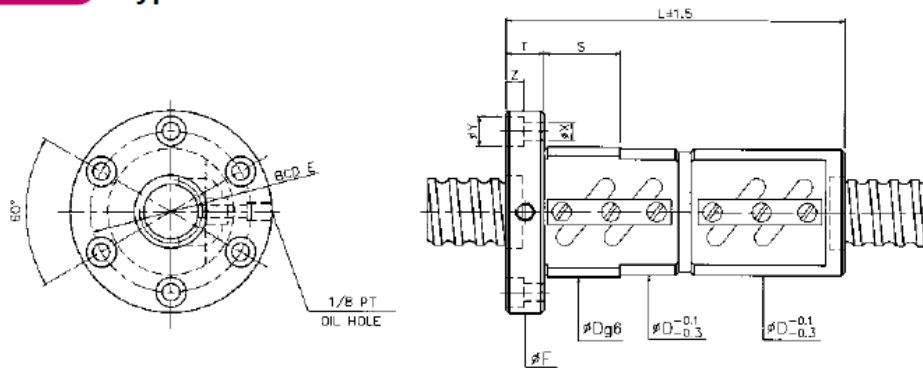


รูปที่ ก.17 การประกอบรางเลื่อนและร่องเลื่อนบนเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

ก.2.8 บอลสกรู ( Ballscrew ) [11]

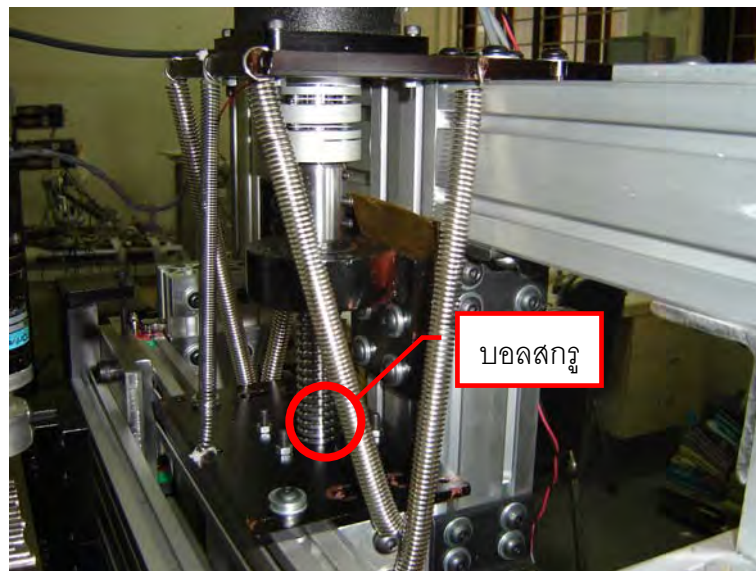
บอลสกรูที่ใช้กับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติใช้ในการยกแท่นยึดอุปกรณ์จับด้ามพลอยให้เคลื่อนที่ขึ้นและลง

**FDW** Type



Model	Size		Ball Dia.	Circuits	Stiffness Kgf / $\mu$ m K	Dynamic Load $1 \times 10^6$ revs C (kgf)	Static Load Co (kgf)	Nut		Flange			Bolt			Fit
	Nominal Dia.	Lead						D	L	F	T	BCD-E	X	Y	Z	
16-5B2	16	5	3.175	2.5 $\times$ 2	65	1385	2799	40	110	64	12	51	5.5	9.5	5.5	24
16-5B1				2.5 $\times$ 1	32	763	1400	40	80	64	12	51	5.5	9.5	5.5	24
16-5C1				3.5 $\times$ 1	46	1013	1946	40	90	64	12	51	5.5	9.5	5.5	24
20-5B1	20	5	3.175	2.5 $\times$ 1	38	837	1733	44	80	68	12	55	5.5	9.5	5.5	24
20-5B2				2.5 $\times$ 2	76	1519	3465	44	110	68	12	55	5.5	9.5	5.5	24
20-6B1	20	6	3.969	2.5 $\times$ 1	40	1139	2187	48	92	72	12	59	5.5	9.5	5.5	24
20-6C1				3.5 $\times$ 1	55	1512	3041	48	104	72	12	59	5.5	9.5	5.5	24
25-5B1				2.5 $\times$ 1	46	939	2209	50	80	74	12	62	5.5	9.5	5.5	24

รูปที่ ก.18 ขนาดของบอลสกรู

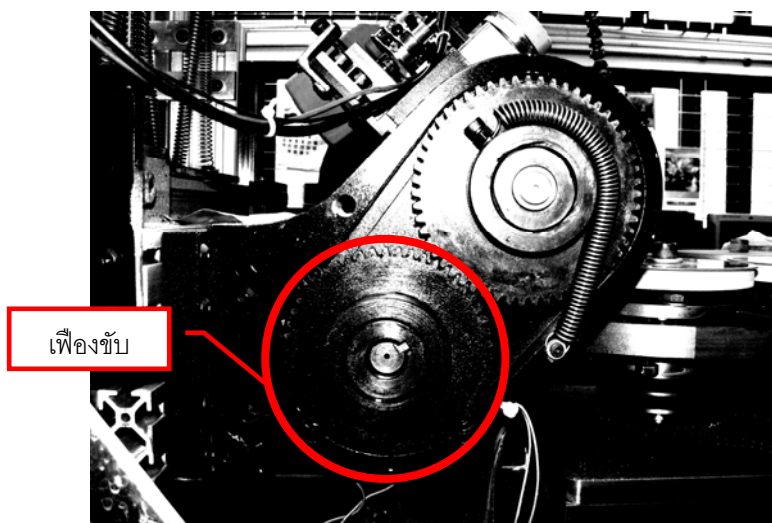


รูปที่ ก.19 การติดตั้งบอลสกรูบนเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

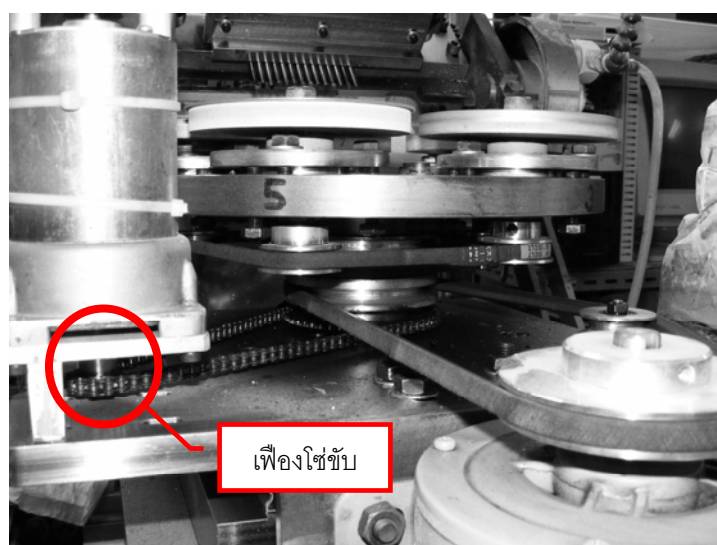
ก.2.9 เฟือง (Spur Gear)

ชุดเฟืองที่ใช้กับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติมีจำนวน 2 ชุด คือ ชุดที่ใช้ในการยกแท่นยกอุปกรณ์จับด้ามพลอย และ ชุดที่ใช้ในการหมุนเปลี่ยนจานเจียระไน สำหรับชุดที่ใช้ยกแท่น

ยกอุปกรณ์จับด้ามพลอย ใช้ถ่ายถอดกำลังมาจาก มอเตอร์ฮาร์มอนิกไดรฟ์ เฟืองอีกชุดหนึ่งคือ ชุดที่ใช้หมุนเปลี่ยนงานเจียรระไนจะเป็นเฟืองโซ่ [12] โดยจะสามารถแสดงการติดตั้งชุดเฟืองต่างๆ บนเครื่องเจียรระไนพลอยแบบอัตโนมัติได้ดังนี้



รูปที่ ก.20 การติดตั้งเฟืองตรงบนชุดแทนยกอุปกรณ์จับด้ามพลอย



รูปที่ ก.21 การติดตั้งเฟืองโซ่บนชุดหมุนเปลี่ยนงานเจียรระไน[13]

#### ก.2.10 เอนโคดเดอร์ (Encoder)

สำหรับการตรวจนับตำแหน่งของเครื่องเจียรระไนพลอยอัตโนมัติ ใช้เอนโคดเดอร์ ที่ มีความละเอียด 2000 พัลส์ต่อรอบ จำนวน 4 ตัว



รูปที่ ก.22 เอนโคเดอร์

#### ก.2.11 แผ่นทองเหลืองที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอย

แผ่นทองเหลืองเป็นแผ่นทองเหลืองที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดโดยทั่วไป โดยจะซื้อมาเป็นม้วนแล้วนำมาซอยเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ ก.23 แผ่นทองเหลือง

#### ก.2.12 สลักหลอดที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอย

สลักหลอดที่ใช้กับอุปกรณ์จับด้ามพลอยเป็นสลักหลอดที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไปโดยจะซื้อมาเป็นม้วนและนำมาตัดให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมเพื่อที่จะสามารถนำมาประกอบกับชุดอุปกรณ์จับด้ามพลอยเพื่อทำหน้าที่กดด้ามทวนและพาด้ามทวนให้เคลื่อนที่ได้



รูปที่ ก.24 แผ่นสักหลาด

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลองและผลลัพธ์

ตารางที่ ข.1 ขนาดมิติของชุดพลอยหน้าตัดสี่เหลี่ยม กับตำแหน่งต่างๆของการวางทวนลงบน  
อุปกรณ์จับด้ามพลอย

ชุดการทดลองที่	มิติของพลอย	ขนาดของชุดพลอย (มม.)			ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
		ซ้าย	กลาง	ขวา		
1	กว้าง	2.82	2.84	2.72	8.38	2.79
	ยาว	2.82	2.85	2.73	8.40	2.80
	Width Error	-0.02	-0.04	0.08		0.01
	Length Error	-0.02	-0.05	0.07		0.00
2	กว้าง	2.81	2.80	2.75	8.36	2.79
	ยาว	2.82	2.80	2.75	8.37	2.79
	Width Error	-0.01	0.00	0.05		0.01
	Length Error	-0.02	0.00	0.05		0.01
3	กว้าง	2.82	2.83	2.71	8.36	2.79
	ยาว	2.81	2.82	2.71	8.34	2.78
	Width Error	-0.02	-0.03	0.09		0.01
	Length Error	-0.01	-0.02	0.09		0.02

ตารางที่ ข.2 ขนาดเปรียบเทียบของรูปแบบพลอยที่เจียรระไนได้ในแต่ละครั้งกับตำแหน่งต่างๆของ  
การวางทวนลงบนอุปกรณ์จับด้ามพลอย

ชุดพลอย	มิติของพลอย	ขนาดของชุดของพลอยที่ตำแหน่งต่างๆของอุปกรณ์จับด้ามพลอย (มม.)														ผลรวม	เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	ขนาด Diameter	2.93	2.96	2.83	2.93	2.90	2.90	2.85	2.87	2.84	2.84	2.93	2.85	2.83	2.75	40.21	2.87
	ขนาด Height	2.00	2.03	2.00	2.01	2.00	1.98	1.96	1.96	1.94	1.96	2.03	2.00	1.99	1.90	27.76	1.98
	Dia Error(De)	0.08	0.05	0.18	0.08	0.11	0.11	0.16	0.14	0.17	0.17	0.08	0.16	0.18	0.26		0.14
	Height Error(He)	0.07	0.04	0.07	0.06	0.07	0.09	0.11	0.11	0.13	0.11	0.04	0.07	0.08	0.17		0.09
	D/H ratio	1.47	1.46	1.42	1.46	1.45	1.46	1.45	1.46	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.45	
2	ขนาด Diameter	2.85	2.90	2.92	2.85	2.92	2.82	2.79	2.80	2.79	2.81	2.78	2.75	2.67	2.69	39.34	2.81
	ขนาด Height	1.95	2.00	2.01	1.95	2.08	1.95	1.93	1.94	1.95	1.96	1.95	1.93	1.87	1.89	27.36	1.95
	Dia Error(De)	0.16	0.11	0.09	0.16	0.09	0.19	0.22	0.21	0.22	0.20	0.23	0.26	0.34	0.32		0.20
	Height Error(He)	0.12	0.07	0.06	0.12	-0.01	0.12	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.20	0.18		0.12
	D/H ratio	1.46	1.45	1.45	1.46	1.40	1.45	1.45	1.44	1.43	1.43	1.43	1.42	1.43	1.42		1.44
3	ขนาด Diameter	2.90	2.90	2.87	2.88	2.90	2.87	2.92	2.83	2.86	2.83	2.80	2.66	2.78	2.72	39.72	2.84
	ขนาด Height	2.00	1.99	1.98	2.02	2.02	2.01	2.07	1.96	2.01	1.97	1.94	1.94	1.95	1.89	27.75	1.98
	Dia Error(De)	0.11	0.11	0.14	0.13	0.11	0.14	0.09	0.18	0.15	0.18	0.21	0.35	0.23	0.29		0.17
	Height Error(He)	0.07	0.08	0.09	0.05	0.05	0.06	0.00	0.11	0.06	0.10	0.13	0.13	0.12	0.18		0.09
	D/H ratio	1.45	1.46	1.45	1.43	1.44	1.43	1.41	1.44	1.42	1.44	1.44	1.37	1.43	1.44		1.43



## ภาคผนวก ค

### การใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอย ในการเจียรระไนพลอย ซึ่งจะกล่าวถึงการใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอยอย่างถูกวิธี โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนต่างๆก่อนจะเริ่มทำการเจียรระไนพลอยแต่ละครั้ง รวมทั้งการบำรุงรักษาอุปกรณ์จับด้ามพลอยอีกด้วย

#### ค.1 สำหรับการใช้อุปกรณ์จับด้ามพลอยขั้นตอนต่างๆมีดังนี้

ค.1.1 ทำความสะอาดด้ามทวนก่อนติดตั้งบนอุปกรณ์จับด้ามพลอย

ค.1.2 วางทวนลงบนลูกปืนขนาดเล็กให้ครบทุกด้าม

ค.1.3 ทำการตั้งมุมเริ่มต้นของทุกทวนให้ตรงกัน โดยใช้แท่งเหล็กตรงวางไว้บนบริเวณที่ปากไว้ของด้ามทวนให้เสมอกันทุกด้าม แล้วยกออก

ค.1.4 ชันแป้นเกลียวเพื่อกดด้ามทวนให้แน่น

ค.1.5 วางเหล็กกันด้ามทวนแอนตัวให้แนบกับทวนทุกด้ามเพื่อป้องกันทวนแอนตัวขณะทำการเจียรระไน

ค.1.6 เมื่อเจียรระไนเสร็จแล้วให้ยกเหล็กกันด้ามทวนแอนตัวขึ้น

ค.1.7 คลายแป้นเกลียวเพื่อยกที่กดด้ามทวนขึ้น

ค.1.8 นำทวนที่เจียรระไนแล้วมาทำความสะอาด

#### ค.2 สำหรับการบำรุงรักษาอุปกรณ์จับด้ามพลอยมีดังนี้

ค.2.1 ให้น้ำมันบริเวณที่มีการกระเด็นของน้ำหล่อเย็นให้ทั่ว

ค.2.2 ใช้กระดาษทำความสะอาดบริเวณที่มีการเสียดสี เช่น บริเวณลูกปืนที่ใช้วางด้ามทวน

ค.2.3 เช็คความตึงของสายพานโลหะที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์จับด้ามพลอย

ค.2.4 คอยตรวจสอบการสึกหรอของแผ่นทองเหลืองที่ใช้กดด้ามทวน

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายการเกรียงไกร สิ้นธุเดชากุล เกิดเมื่อวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2526 เป็นชาว กรุงเทพมหานคร ได้เข้าศึกษาต่อในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2549