การปรับปรุงสมรรถนะการเจียระไนพลอยของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

นายชุมพล เหมพรหมราช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GEMSTONE GRINDING PROCESS PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AN AUTOMATIC FACETING MACHINE

Mr. Chumpol Hamprommarat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสมรรถนะการเจียระไนพลอยของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ
โดย	นายชุมพล เหมพรหมราช
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

Chulalongkorn University

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.กฤษณันท์ มะลิทอง)

ชุมพล เหมพรหมราช : การปรับปรุงสมรรถนะการเจียระไนพลอยของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ (GEMSTONE GRINDING PROCESS PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AN AUTOMATIC FACETING MACHINE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 89 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการเจียระไนพลอยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อการเจียระไนพลอยทั้งหมด 5 ตัว ได้แก่ ความลึกในการเจียระไน, อัตราความเร็วในการป้อนเม็ดพลอย, ระยะเวลาแช่เม็ดพลอยขณะเจียระไน, ความเร็วของการหมุมของจานเจียระไน และระดับความหยาบของจานเจียระไน โดยเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาฯ แบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 และวัสดุที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย และพลอยกระจกที่มีความแข็งเท่ากับ ที่ 8.0 - 8.5 Mohs และ 4.5 - 6.5 Mohs ตามลำดับ โดยพลอยจะต้องถูกเจียระไนให้ได้ตามรูปแบบ Heart and Arrow ตามมาตรฐานของ American Gem Diamond Grading Standards โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม และการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอย จากนั้นใช้กล้องดิจิตอลกำลังขยาย 20 เท่าในการตรวจสอบคุณภาพการเจียระไนและพื้นผิวของพลอย ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าขนาดของเม็ดพลอยมีผลต่อเวลาในการเจียระไน โดยพลอยขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการเจียระไนมากกว่าพลอยขนาดเล็ก และจำนวนเม็ดพลอยไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเจียระไน ซึ่งพลอยชนิดเดียวกันแต่ขนาดต่างกันสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เหมือนกันได้ และพลอยชนิดเดียวกันที่ขนาดเท่ากัน แต่เจียระไนพร้อมกันหลายเม็ดสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันได้ โดยคุณภาพผิวพลอยที่ได้ไม่ต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2558		

5570168121 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEYWORDS: AUTOMATIC FACETING MACHINE / GRINDING / PERFORMANCE IMPROVEMENT

CHUMPOL HAMPROMMARAT: GEMSTONE GRINDING PROCESS PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AN AUTOMATIC FACETING MACHINE. ADVISOR: PROF.VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D., 89 pp.

This research work is to study the cutting and polishing parameters to improve performance of gemstone grinding process of an automatic faceting machine. The objective is to identify an appropriated parameters used for cutting and polishing of assorted types of gemstones refer to American Gem Society Laboratories. Research methods commence with studying AGS Diamond Grading Standards' cut scale and also cutting parameters that affect gemstone quality i.e. depth of cut, feed rate, cutting speed or grinding wheel speed, dwell time and grit size of grinding plate. The experiments had done on 3rd Generation CHULA Automatic Faceting Machine with two varieties of gemstone samples, namely, Cubic zirconia (hardness 8.0 - 8.5 Mohs) and Glass stone (hardness 4.5 - 6.5 Mohs). Two types of experiment are done, first is to determine the optimal parameters for gemstone cutting process, and the second one is to search for appropriate parameters for polishing. The quality of cutting and polishing are investigated by using a 20x zoom camera. From the experimental results, they can be concluded that the gemstone size affect cutting time. Bigger gemstones require more cutting time. Amount of gemstones for each cutting do not impact faceting quality and cutting parameters can be used the same as for single gemstone cutting. Same material and size of gemstones can be faceted with the same parameters.

Department: Mechanical Engineering Student's Signature ....
Field of Study: Mechanical Engineering Advisor's Signature ....
Academic Year: 2015

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆในการในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งการสนับสนุนทางด้านทุนวิจัย อุปกรณ์และสถานที่สำหรับทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้สั่งสอนแนะนำสิ่งต่างๆ ตั้งแต่วันที่ได้เข้ามาศึกษาจนถึงวันสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนทุกด้าน โดยเฉพาะทางด้านการเรียนและการดำรงชีวิตมาโดยตลอด

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทและปริญญาเอกในห้องปฏิบัติการวิจัยควบคุมการผลิตชั้นสูง ที่ได้ช่วยเหลือและแนะนำข้อคิดเห็นตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณรุ่นพี่ในห้องปฏิบัติการ ที่ให้คำแนะนำและเทคนิคการใช้เครื่องจักรและการผลิตชิ้นงานสำหรับวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญรูป .... ฎ

สารบัญตาราง .... ด

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 เครื่องเจียระไนกึ่งอัตโนมัติ 4

2.2 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 5

2.2.1 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1 5

2.2.2 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 6

2.2.3 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 7

2.3 สมบัติของพลอย 8

2.3.1 สมบัติของพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia, CZ) 8

2.3.2 สมบัติของพลอย (Glass Gemstone) 9

2.4 การเจียระไนรูปแบบบริลเลี่ยน (Brilliant Cut) 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.5 การประเมินคุณภาพเพชร 11
2.5.1น้ำหนักกะรัต (Carat Weight) 13
2.5.2 สี (Color) 13
2.5.3 ความบริสุทธิ์ (Clarity) 14
2.5.4 การเจียระไน (Cut) 14
2.6 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเจียระไนพลอย 15
2.7 ตัวแปรที่ต้องควบคุมในการเจียระไนพลอย 16
2.7.1 มุมดรรชนี (Index Angle: i) 16
2.7.2 มุมยก (Elevation Angle : e) 16
2.7.3 ความลึกในการกัด (Depth of Cut : h) 16
บทที่ 3 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 17
3.1 โครงสร้างและการเคลื่อนที่เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 17
3.1.1 โครงสร้างเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 17
3.1.2 การเคลื่อนที่เคลื่อนเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 18
3.2 หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 21
3.3 จลศาสตร์เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 22
3.3.1 แบบจำลองจลศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward Kinematics) 23
3.3.2 แบบจำลองจลศาสตร์แบบผกผัน (Inverse Kinematics) 25
3.4 การควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 25
บทที่ 4 ขั้นตอนในการเจียระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ 27
4.1 การเตรียมพลอย 27
4.2 การติดพลอยที่ปลายของทวนติดพลอย 28
4.3 การใส่ทวนติดพลอยบนเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 29

หน้า

4.4 การเจียระไนด้านบนของพลอย....30
4.5 การกลับด้านพลอย....32
4.6 การถอดพลอยและทำความสะอาดพลอย....34
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง....36
5.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม....36
5.1.1 กลุ่มตัวอย่าง....36
5.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง....36
5.1.3 ขั้นตอนการทดลอง....37
5.1.4 ผลการทดลองและการประเมินผล....39
5.1.5 สรุปผลการทดลอง....39
5.1.5.1 มุมมองความหยาบของจานเจียระไน....43
5.1.5.2 มุมมองความเร็วจานหมุนจาน....43
5.1.5.3 มุมมองอัตราป้อน....43
5.1.5.4 ระยะเวลาแช่พลอย....43
5.2 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอย....44
5.2.1 กลุ่มตัวอย่าง....44
5.2.2 เครื่องมือที่ใช้....44
5.2.3 ขั้นตอนการทดลอง....44
5.2.4 ผลการทดลองและการประเมินผล....46
5.2.4.1 ผลการทดลองที่ 1 พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร....48
5.2.4.2 ผลการทดลองที่ 2 พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร....51

หน้า

5.2.4.3 ผลการทดลองที่ 3 พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร........55

5.2.4.4 ผลการทดลองที่ 4 พลอยกระจก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร........58

5.2.4.5 ผลการทดลองที่ 5 พลอยกระจก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร........61

5.2.4.6 ผลการทดลองที่ 6 พลอยกระจก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร........64

5.2.5 สรุปผลการทดลอง........67

บทที่ 6 อภิปรายและข้อเสนอแนะ........69

6.1 บทสรุปของงานวิจัย........69

6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานวิจัย........70

6.3 ข้อเสนอแนะ........71

รายการอ้างอิง........72

ภาคผนวก........73

ภาคผนวก ก ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนเหลี่ยมพลอย........74

ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง........88

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์........89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 เครื่องเจียระไนพลอยบริษัท Diamanite 4

รูปที่ 2.2 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1 5

รูปที่ 2.3 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 6

รูปที่ 2.4 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 7

รูปที่ 2.5 ลักษณะภายนอกของเพชรกับพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียที่ผ่านการเจียระไน 8

รูปที่ 2.6 พลอยกระจกสังเคราะห์ 9

รูปที่ 2.7 เหลี่ยมของพลอยที่ถูกเจียระไนรูปแบบบริเลี่ยน 10

รูปที่ 2.8 สัดส่วนของเพชรที่เจียระไนแบบโทลคาลสกี้ 11

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างใบรับประกันคุณภาพของ AGLS 12

รูปที่ 2.10 น้ำหนักกะรัตกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเพชร 13

รูปที่ 2.11 สีของเพชรที่แบ่งตามระดับ D ถึง Z 13

รูปที่ 2.12 ระดับความบริสุทธิ์ของเพชร 14

รูปที่ 2.13 การสะท้อนของแสงภายในพลอยเจียระไนที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน 14

รูปที่ 2.14 แสงสะท้อนจากพลอยที่เจียระไนแบบบริลเลี่ยนเป็นรูป Heart และ Arrow 15

รูปที่ 2.15 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเจียระไนพลอย 15

รูปที่ 2.16 ตัวแปรที่มีผลต่อรูปร่างและขนาดของพลอย 16

รูปที่ 3.1 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 17

รูปที่ 3.2 แกนปรับมุม 18

รูปที่ 3.3 แกนหมุนเหลี่ยมพลอย 18

รูปที่ 3.4 แกนยกพลอยในแนวดิ่ง 19

รูปที่ 3.5 แกนเปลี่ยนจานเจียระไน 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.6 แสดงแกนหมุนจานเจียระไนพลอย 20
รูปที่ 3.7 แกนส่ายจานเจียระไน 21
รูปที่ 3.8 หลักการทำงานเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 22
รูปที่ 3.9 การติดแกนบนเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 23
รูปที่ 3.10 การควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 26
รูปที่ 4.1 พลอยดิบคิวบิค เซอร์โคเนีย 27
รูปที่ 4.2 พลอยที่ผ่านการขึ้นรูปเบื้องต้นเป็นรูปทรงกระบอก 27
รูปที่ 4.3 การวางพลอยที่ปลายของทวนติดพลอยบนอุปกรณ์ยึดจับ 28
รูปที่ 4.4 การทำให้กาวแข็งตัวด้วยตู้อบรังสีอัลตราไวโอเลต 28
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งของล็อกสำหรับยึดทวนติดพลอยเข้ากับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ 29
รูปที่ 4.6 การใส่ทวนติดพลอยเข้ากับชุดจับทวนพลอย 29
รูปที่ 4.7 จานเจียระไนของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 30
รูปที่ 4.8 พลอยถูกเจียระไนด้านบนแล้ว 31
รูปที่ 4.9 การใส่ผงเพชรด้วยครีมลงบนจานทองแดงที่ผ่านการกรีดร่อง 31
รูปที่ 4.10 อุปกรณ์กลับด้านพลอย 32
รูปที่ 4.11 การวางทวนติดพลอยบนอุปกรณ์กลับด้านพลอย 33
รูปที่ 4.12 การใช้คีมหนีบด้านข้างของพลอย 33
รูปที่ 4.13 ทวนติดพลอยที่มีปลายติดกับด้านบนของพลอย 34
รูปที่ 4.14 พลอยซึ่งถูกเจียระไนที่ด้านล่างแล้ว 34
รูปที่ 4.15 การถอดพลอยออกจากทวนติดพลอยด้วยการอุ่นไฟ 35
รูปที่ 5.1 ส่วนติดต่อโปรแกรมสำหรับเจียระไนพลอย 36
รูปที่ 5.2 การทดลองเจียระไนพลอยแล้วปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ 38
รูปที่ 5.3 กล้องที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผิวพลอย 38
รูปที่ 5.4 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผิวราบเรียบ (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 39

รูปที่ 5.5 ผลการทดลองเจียระไนพลอยคุณภาพขรุขระ (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................39
รูปที่ 5.6 เงื่อนไขพารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอยความละเอียดจาน 600....................40
รูปที่ 5.7 เงื่อนไขพารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอยความละเอียดจาน 800....................41
รูปที่ 5.8 เงื่อนไขพารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอยความละเอียดจาน 1200....................42
รูปที่ 5.9 แบบพลอยบริลเลี่ยนมาตรฐาน....................46
รูปที่ 5.10 คุณภาพผิวราบเรียบของ Heart and Arrow....................47
รูปที่ 5.11 คุณภาพผิวเรียบเกิดริ้วรอย Heart and Arrow....................47
รูปที่ 5.12 คุณภาพผิวพลอยกระจกผ่านกล้องดิจิตอลขยาย 20 เท่า....................47
รูปที่ 5.13 ผลการทดลองพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 3 มิลลิเมตรเจียระไนด้านบน....................49
รูปที่ 5.14 ผลการทดลองพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 3 มิลลิเมตรเจียระไนด้านล่าง....................50
รูปที่ 5.15 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 3 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ....................50
รูปที่ 5.16 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 3 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดรอย....................50
รูปที่ 5.17 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียขนาด 3 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ด....................51
รูปที่ 5.18 ผลการทดลองพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 5 มิลลิเมตรเจียระไนด้านบน....................52
รูปที่ 5.19 ผลการทดลองพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 5 มิลลิเมตรเจียระไนด้านล่าง....................53
รูปที่ 5.20 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 5 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ....................54
รูปที่ 5.21 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 5 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดรอย....................54
รูปที่ 5.22 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียขนาด 5 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ด....................54
รูปที่ 5.23 ผลการทดลองพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 8 มิลลิเมตรเจียระไนด้านบน....................56
รูปที่ 5.24 ผลการทดลองพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 8 มิลลิเมตรเจียระไนด้านล่าง....................57
รูปที่ 5.25 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 8 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ....................57
รูปที่ 5.26 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 8 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดรอย....................57
รูปที่ 5.27 ผลการทดลองพลอยกระจก 3 มิลลิเมตรเจียระไนด้านบน....................59
รูปที่ 5.28 ผลการทดลองพลอยกระจก 3 มิลลิเมตรเจียระไนด้านล่าง....................60

รูปที่ 5.29 ภาพถ่ายพลอยกระจก 3 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ 60
รูปที่ 5.30 ภาพถ่ายพลอกระจก 3 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดริ้วรอย 60
รูปที่ 5.31 ภาพถ่ายพลอยกระจกขนาด 3 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ดด้านข้าง....................61
รูปที่ 5.32 ผลการทดลองพลอยกระจก 5 มิลลิเมตรเจียระไนด้านบน 62
รูปที่ 5.33 ผลการทดลองพลอยกระจก 5 มิลลิเมตรเจียระไนด้านล่าง 63
รูปที่ 5.34 ภาพถ่ายพลอยกระจก 5 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ 64
รูปที่ 5.35 ภาพถ่ายพลอกระจก 5 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดริ้วรอย 64
รูปที่ 5.36 ภาพถ่ายพลอยกระจกขนาด 5 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ดด้านข้าง....................64
รูปที่ 5.37 ผลการทดลองพลอยกระจก 8 มิลลิเมตรเจียระไนด้านบน 65
รูปที่ 5.38 ผลการทดลองพลอยกระจก 8 มิลลิเมตรเจียระไนด้านล่าง 66
รูปที่ 5.39 ภาพถ่ายพลอยกระจก 8 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ 67
รูปที่ 5.40 ภาพถ่ายพลอกระจก 8 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดริ้วรอย 67
รูปที่ ก.1 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 1 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................74
รูปที่ ก.2 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 2 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................74
รูปที่ ก.3 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 3 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................74
รูปที่ ก.4 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 4 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................74
รูปที่ ก.5 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 5 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................75
รูปที่ ก.6 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 6 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................75
รูปที่ ก.7 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 7 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................75
รูปที่ ก.8 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 8 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................75
รูปที่ ก.9 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 9 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี....................76
รูปที่ ก.10 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 10 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 76
รูปที่ ก.11 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 11 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 76
รูปที่ ก.12 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 12 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 76

รูปที่ ก.13 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 13 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 77
รูปที่ ก.14 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 14 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 77
รูปที่ ก.15 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 15 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 77
รูปที่ ก.16 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 16 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 77
รูปที่ ก.17 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 17 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 78
รูปที่ ก.18 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 18 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 78
รูปที่ ก.19 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 19 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 78
รูปที่ ก.20 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 20 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 78
รูปที่ ก.21 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 21 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 79
รูปที่ ก.22 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 22 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 79
รูปที่ ก.23 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 23 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 79
รูปที่ ก.24 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 24 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 79
รูปที่ ก.25 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 25 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 80
รูปที่ ก.26 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 26 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 80
รูปที่ ก.28 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 28 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 80
รูปที่ ก.29 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 29 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 81
รูปที่ ก.30 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 30 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 81
รูปที่ ก.32 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 32 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 81
รูปที่ ก.33 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 33 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 82
รูปที่ ก.34 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 34 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 82
รูปที่ ก.35 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 35 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 82
รูปที่ ก.36 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 36 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 82
รูปที่ ก.37 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 37 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 83
รูปที่ ก.38 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 38 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 83

รูปที่ ก.39 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 39 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 83

รูปที่ ก.40 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 40 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 83

รูปที่ ก.41 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 41 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 84

รูปที่ ก.42 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 42 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 84

รูปที่ ก.43 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 43 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 84

รูปที่ ก.44 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 44 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 84

รูปที่ ก.45 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 45 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 85

รูปที่ ก.46 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 46 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 85

รูปที่ ก.48 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 48 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 85

รูปที่ ก.49 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 49 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 86

รูปที่ ก.50 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 50 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 86

รูปที่ ก.51 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 51 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 86

รูปที่ ก.52 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 52 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 86

รูปที่ ก.53 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 53 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 87

รูปที่ ก.54 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 54 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี 87

Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ความเร็วรอบของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 20

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของ Denavit-Hartenberg สำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ 23

ตางรางที่ 5.1 สภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์เจียระไนที่ใช้ในการทดลอง 38

ตางรางที่ 5.2 พารามิเตอร์ควบคุมการทดลองเจียระไนขัดเงา 45

ตางรางที่ 5.3 สภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์เจียระไนที่ใช้ในการทดลอง 45

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านบน 48

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านล่าง 49

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านบน 52

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านล่าง 53

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านบน 55

ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านล่าง 56

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านบน 58

ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านล่าง 59

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านบน 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.13 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านล่าง 63

ตารางที่ 5.14 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านบน 65

ตารางที่ 5.15 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านล่าง 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างชื่อเสียงและรายได้แก่ประเทศไทย อย่างไรก็ตามการพลอยเจียระไนโดยช่างฝีมือที่มีความชำนาญเพียงอย่างเดียวอาจผลิตพลอยเจียระไนได้จำนวนและคุณภาพได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ทางห้องปฏิบัติการวิจัยระบบผลิตขั้นสูง (Regional Center of Robotics Technology) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงได้วิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติที่สามารถเจียระไนพลอยได้ครั้งละหลายเม็ดในเวลาเดียวกันซึ่งทำให้จำนวนพลอยเจียระไนที่สามารถผลิตได้มีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานด้วยช่างฝีมือ แต่งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติสำหรับการขัดเงาพลอยได้

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมรรถนะการเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษามาตรฐานทางด้านคุณภาพของการเจียระไนอัญมณี ขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติและตัวแปรที่มีผลต่อการเจียระไนอัญมณีซึ่งได้แก่ ความลึกในการเจียระไน, อัตราป้อน,ความเร็วจานเจียระไนและระยะเวลาแช่พลอย พลอยที่ใช้ในการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ได้แก่ พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia) และพลอยกระจก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหานำเสนอดังนี้ บทที่ 2 นำเสนอการสืบค้นวรรณกรรมเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2, สมบัติของพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียและพลอยกระจก, การตัดเหลี่ยมเพชรและวิธีวัดคุณภาพของพลอยเจียระไนตามมาตรฐานของ AGS LABORATORIES บทที่ 3 แสดงรูปร่างและลักษณะภายนอกของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ, หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ, แบบจำลองจลศาสตร์แบบไปข้างหน้า, แบบจำลองจลศาสตร์แบบผกผันและระบบควบคุมของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ บทที่ 4 แสดงผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง และบทที่ 5 นำเสนอตัวแปรที่ส่งผลต่อการเจียระไนอัญมณี การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการเจียระไนพลอยที่เหมาะสมและได้มาตรฐานสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบผลิตขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษามาตรฐานทางด้านคุณภาพของการเจียระไนอัญมณี
2. ศึกษาขั้นตอนและวิธีการที่เหมาะสมในการเจียระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น
3. ศึกษาค่าพารามิเตอร์เช่น ความลึกในการตัด (Depth of cut) , อัตราป้อน (Feed rate), อัตราเร็วการหมุนของจานเจียระไนและระยะเวลาแช่พลอย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษามาตรฐานทางด้านคุณภาพของการเจียระไนอัญมณี
2. ศึกษาคุณสมบัติและรูปร่างของพลอยสำหรับงานเจียระไน
3. ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ
4. ศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพการเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ
5. ทดลองเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติโดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อศึกษาคุณภาพของพลอยเจียระไนโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ AGS LABORATORIES
6. วิเคราะห์ปัญหาและแก้ไขปรับปรุง
7. สรุปผลทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ
2. ได้กระบวนการเจียระไนพลอย (Gem Grinding Process) ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ โดยอ้างอิงจากมาตรฐานของ AGS LABORATORIES

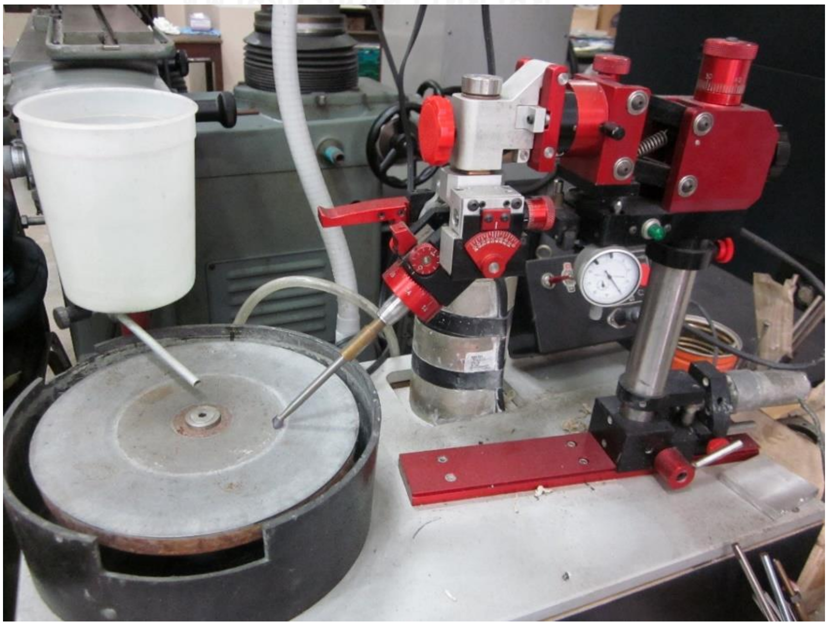
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วส่งผลให้การผลิตอัญมณีและเครื่องประดับไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เนื่องจากช่างเจียระไนมีข้อจำกัดในการทำงาน อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับจึงนำเครื่องจักร มาช่วยในการเพิ่มการผลิต โดยพลอยเจียระไนที่ผลิตได้จากเครื่องจักรจะต้องมีคุณภาพใกล้เคียงกับพลอยที่ได้จากการเจียระไนโดยช่างเครื่องจักรที่ใช้ในการเจียระไนพลอยได้ถูกพัฒนาในงานวิจัยต่างๆ เช่น ต้นแบบเครื่องเจียระไนอัญมณีความเร็วสูง [1] เครื่องเจียระไนพลอยอัตโนมัติ [2],[3],[4] เป็นต้น

2.1 เครื่องเจียระไนกึ่งอัตโนมัติ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยประสบภาวะขาดแคลนแรงงานเนื่องจากช่างเจียระไนมีจำนวนลดน้อยลง เครื่องมือเจียระไนของไทยส่วนใหญ่ยังใช้วิธีการและเครื่องมือแบบดังเดิมคือแบบมือไทยและแบบตุ๊กตา ในขณะที่ต่างประเทศได้พัฒนาเครื่องเจียระไนพลอยแบบใช้แรงงานมนุษย์ในการเจียระไนดังรูป 2.1 เป็นเครื่องของบริษัท Diamante เป็นเครื่องเจียระไนกึ่งอัตโนมัติ สามารถกำหนดเหลี่ยมและมุมในการเจียระไนอย่างแม่นยำ ขณะเจียระไนมีมอเตอร์ช่วยในการส่ายเม็ดพลอยขณะเจียระไน

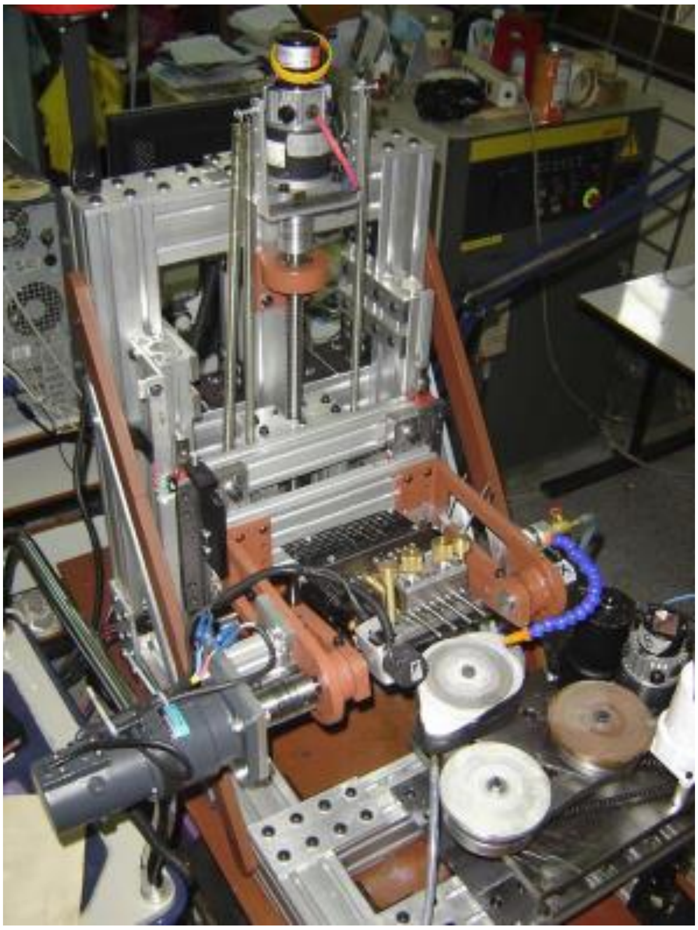


รูปที่ 2.1 เครื่องเจียระไนพลอยบริษัท Diamanite

2.2 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

2.2.1 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1

เครื่องเจียระไนพลอย [2] เป็นต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการวิจัยระบบการผลิตขั้นสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ



รูปที่ 2.2 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1

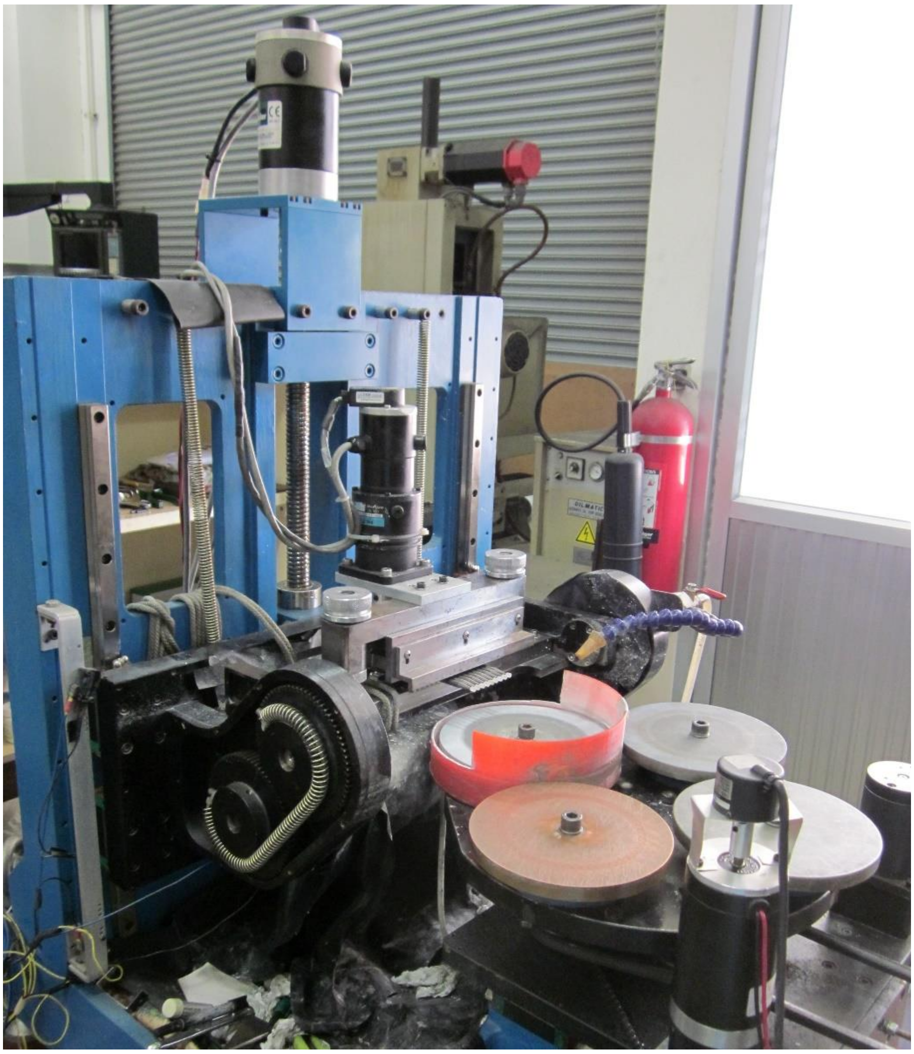
เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1 ดังรูปที่ 2. สามารถเคลื่อนที่ได้ 4 แกนสำหรับการปรับมุม, การปรับเหลี่ยมพลอย, การยกพลอยในแนวดิ่งและการเปลี่ยนจานเจียระไน จานเจียระไนพลอยที่ถูกติดตั้งไว้ที่เครื่องมีจำนวน 3 จานสำหรับการขัดหยาบ, การขัดละเอียดและการขัดเงา จานเจียระไนพลอยแต่ละจานสามารถเจียระไนพลอยได้ครั้งละ 4 เม็ด

2.2.2 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2

รูปที่ 2.3 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2

เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 2 [3],[4] ดังรูปที่ 2.3 สามารถเคลื่อนที่ได้ 4 แกนและถูกควบคุมการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 1 ในหัวข้อ 2.2.1 แต่ได้ติดตั้งจานเจียระไนพลอยเพิ่มเติมเป็นจำนวน 5 จานโดยแบ่งเป็นจานสำหรับการเจียระไนเหลี่ยมพลอยจำนวน 3 จานและจานสำหรับการขัดเงาจำนวน 2 จาน เครื่องเจียระไนนี้ยังได้รับการปรับปรุงวิธีการติดตั้งทวนพลอยเพื่อให้สามารถเจียระไนพลอยได้ครั้งละ 14 เม็ด

2.2.3 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3



รูปที่ 2.4 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 [5] ดังรูปที่ 2.4 ถูกปรับปรุงให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และลดจำนวนจานเจียระไนสำหรับการขัดเงาลง 1 รวมทั้งการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานเจียระไนทั้ง 4 จาน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาวิธีการปรับปรุงสมรรถนะการเจียระไนพลอย

2.3 สมบัติของพลอย

2.3.1 สมบัติของพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia, CZ)

พลอยคิวบิค เซอร์โคเนียสังเคราะห์ ถูกผลิตด้วยกรรมวิธีสกัลส์เมลติ้ง (Skull Melting) [6] และได้รับการยอมรับว่า มีลักษณะภายนอกคล้ายเพชรมากที่สุด รูปที่ 2.5 ได้แสดงภาพการเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของเพชรและพลอยคิวบิก เซอร์โคเนียที่ผ่านการเจียระไนแล้ว

รูปที่ 2.5 ลักษณะภายนอกของเพชรกับพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียที่ผ่านการเจียระไน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คุณสมบัติของคิวบิค เซอร์โคเนียเป็นดังนี้

- มีทุกสี ยกเว้น สีเทาและสีดำ
- ระบบผลึกคิวบิก : หักเหเดี่ยว
- ค่าดัชนีหักเห : 2.15 - 2.18
- ความถ่วงจำเพาะ : 5.60 - 6.0
- ความแข็ง : 8.0 - 8.5
- การอ่านผ่าน : เมื่อคว่ำหน้าพลอยลงแสงผ่านได้เล็กน้อย
- ตำหนิภายใน : สะอาดแต่บางครั้งพบฟองอากาศ

2.3.2 สมบัติของพลอย (Glass Gemstone)

พลอยกระจก [7] ดังรูปที่ 2.6 ถูกผลิตด้วยการเผาในเตาที่มีอุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส จนหลอมละลายเป็นแก้ว หลังจากนั้นจะลดอุณหภูมิลงเหลือ 1,100 องศาเซลเซียสเพื่อให้มีความหนืดที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะทำให้เป็นแผ่นโดยการปล่อยให้วัสดุก่อตัวเป็นกระจก

รูปที่ 2.6 พลอยกระจกสังเคราะห์

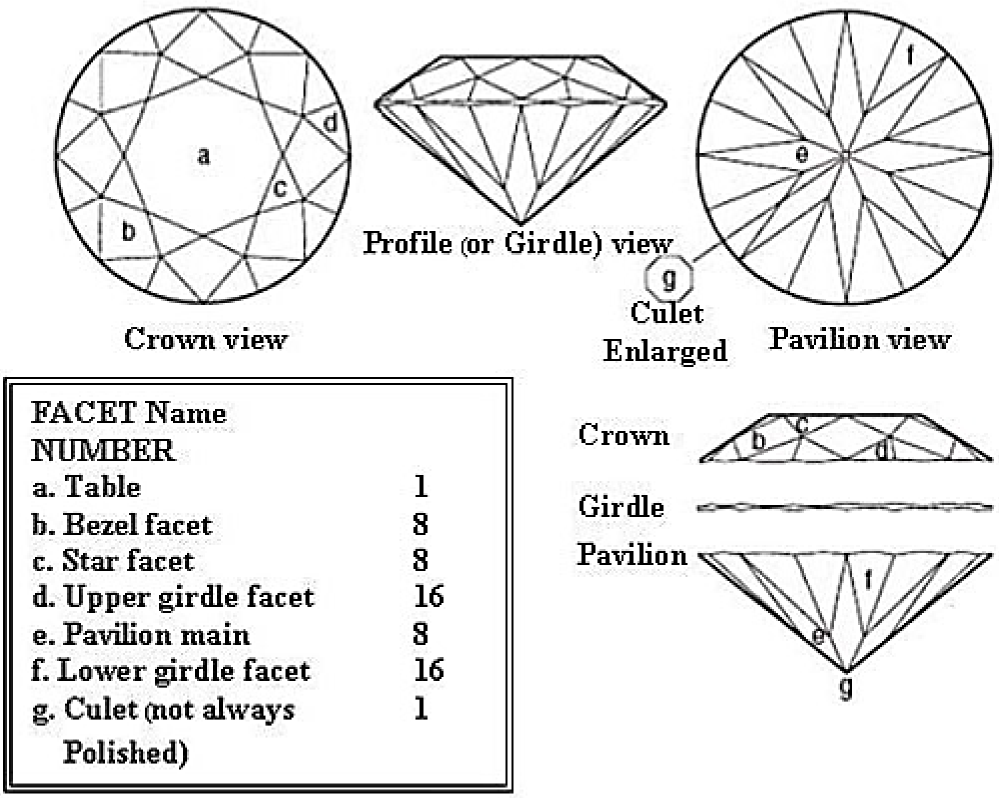
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คุณสมบัติของพลอยกระจก เป็นดังนี้

- มีทุกสี		
- ระบบผลึกคิวบิก	:	หักเหเดี่ยว
- ค่าดัชนีหักเห	:	1.517-1.655
- ความถ่วงจำเพาะ	:	2.4 – 2.8
- ความแข็ง	:	4.5 – 6.5
- การอ่านผ่าน	:	ไม่สามารถอ่านผ่าน
- ตำหนีภายใน	:	สะอาดแต่บางครั้งพบฟองอากาศ
- คุณภาพของเหลี่ยมพลอย	:	ไม่คมและบิ่น เนื่องจากวัสดุมีความแข็งต่ำ

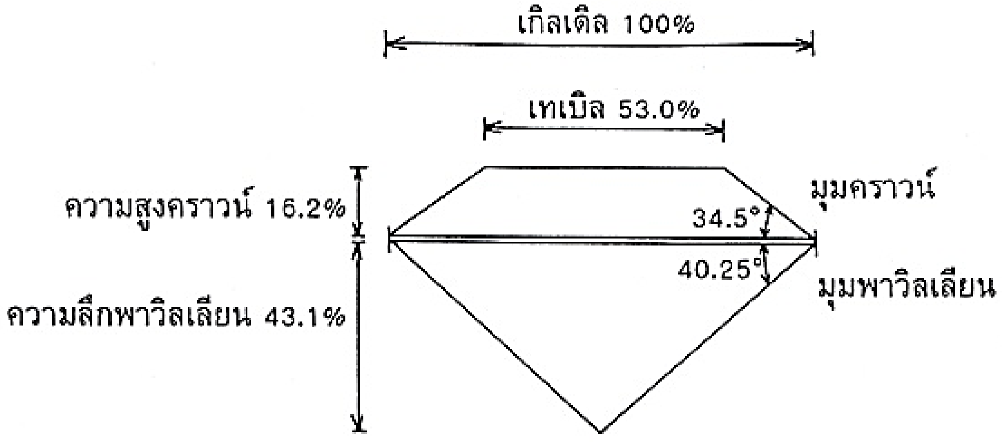
2.4 การเจียระไนรูปแบบบริลเลี่ยน (Brilliant Cut)

บริลเลี่ยน [8] เป็นรูปแบบการเจียระไนพลอยแบบสากล ลักษณะของพลอยเจียระไนด้วยรูปแบบนี้แสดงดังรูป 2.7 เหลี่ยมตัดที่ด้านบนของพลอย (Crown) มีจำนวน 33 เหลี่ยม โดยเหลี่ยมตรงกลางรูปแปดเหลี่ยม (ตำแหน่ง a) เรียกว่าหน้าพลอย (Table) ส่วนเหลี่ยมบริเวณด้านข้างที่ตำแหน่ง b, c และ d เรียกว่า เหลี่ยมรูปว่าว (Bezel Facets), เหลี่ยมยอด (Star Facets) และเหลี่ยมแซมบน (Upper Girdle Facets) ตามลำดับ เหลี่ยมด้านล่างของพลอย (Pavilion) มี 24 เหลี่ยมที่บริเวณ e และ f คือ เหลี่ยมแปดล่าง (Pavilion Main Facets) และ เหลี่ยมแซมล่าง (Lower Girdle Facets) สำหรับขอบพลอย (Girdle) ซึ่งอยู่ระหว่างด้านบนและด้านล่างของพลอย มักมีในเฉพาะในการเจียระไนเพชรเท่านั้น



รูปที่ 2.7 เหลี่ยมของพลอยที่ถูกเจียระไนรูปแบบบริเลี่ยน

ในปี ค.ศ. 1919 มาร์เซล โทลคาลสกี้ (Marcel Tolkowsky) [9] เป็นผู้เริ่มการเจียระไนแบบอุดมคติ (Ideal Cut) เนื่องจากเพชรที่เจียระไนแบบโทลคาสสกี้มีการกระจายแสง (Brilliancy) ที่ค่อนข้างสมบูรณ์จึงเป็นที่นิยมในตลาดของประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.8 สัดส่วนของเพชรที่เจียระไนแบบโทลคาลสกี้

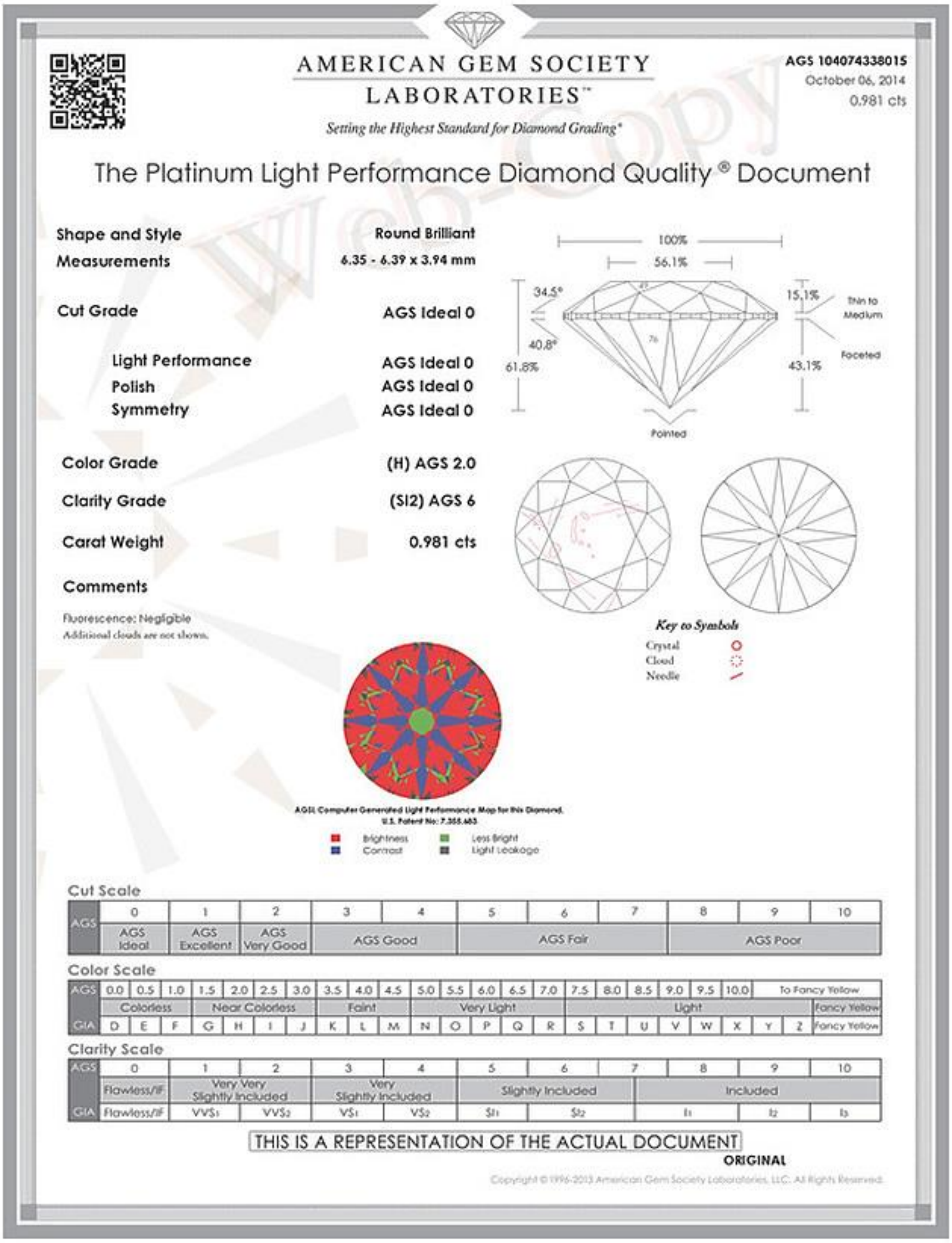
สัดส่วนการเจียระไนของโทลคาลสกี้ ดังรูปที่ 2.8 บริลเลี่ยน (Tolkowsky Brilliant) แสดงดังต่อไปนี้

- เกิลเดิล (Girdle Diameter) 100%
- เทเบิล (Table Percentage) 53.0%
- มุมคราวน์ (Crown Angle) 34.5˚
- มุมพาวิลเลียน (Pavilion Angle) 40.25˚
- ความสูงคราวน์ (Crown Height) 16.2 ˚
- ความลึกพาวิลเลียน (Pavilion Depth) 43.1 ˚

2.5 การประเมินคุณภาพเพชร

American Gem Society Laboratories (AGLS) ซึ่งเป็นสถาบันในการออกใบรับประกัน (Certificate of Guarantee) ของคุณภาพของเพชรเจียระไน [10] ดังรูปที่ 2.9 ได้ประเมินคุณภาพของเพชรเจียระไนจากลักษณะดังนี้

- น้ำหนักกะรัต (Carat Weight)
- สี (Color)
- ความบริสุทธิ์ (Clarity)
- การเจียระไน (Cut)


AMERICAN GEM SOCIETY
LABORATORIES™
Setting the Highest Standard for Diamond Grading®

AGS 104074338015
October 06, 2014
0.981 cts

The Platinum Light Performance Diamond Quality® Document

Shape and Style	Round Brilliant
Measurements	6.35 - 6.39 x 3.94 mm
Cut Grade	AGS Ideal 0
Light Performance	AGS Ideal 0
Polish	AGS Ideal 0
Symmetry	AGS Ideal 0
Color Grade	(H) AGS 2.0
Clarity Grade	(SI2) AGS 6
Carat Weight	0.981 cts

Comments

Fluorescence: Negligible
Additional clouds are not shown.

100% 56.1% 34.5° 40.8° 61.8% 15.1% 43.1% Thin to Medium Faceted Pointed

Key to Symbols
Crystal
Cloud
Needle

AGSL Computer Generated Light Performance Map for this Diamond.
U.S. Patent No: 7,355,683
Brightness Contrast Less Bright Light Leakage

Cut Scale

AGS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	AGS Ideal	AGS Excellent	AGS Very Good	AGS Good		AGS Fair			AGS Poor		

Color Scale

AGS	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	To Fancy Yellow
	Colorless			Near Colorless				Faint			Very Light					Light						Fancy Yellow
GIA	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	Fancy Yellow

Clarity Scale

AGS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Flawless/IF	Very Very Slightly Included		Very Slightly Included		Slightly Included			Included		
GIA	Flawless/IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2		I1	I2	I3

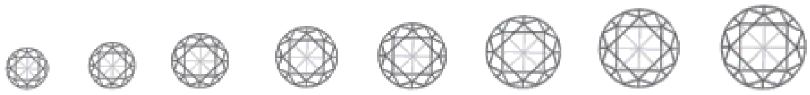
THIS IS A REPRESENTATION OF THE ACTUAL DOCUMENT
ORIGINAL

Copyright © 1996-2013 American Gem Society Laboratories, LLC. All Rights Reserved.

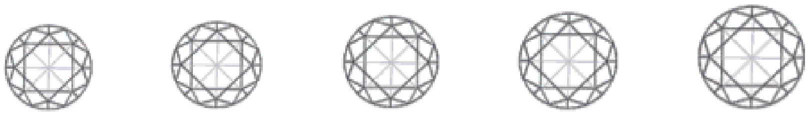
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างใบรับประกันคุณภาพของ AGLS

2.5.1น้ำหนักกะรัต (Carat Weight)

น้ำหนักกะรัตเป็นหน่วยวัดน้ำหนักของเพชร โดยเพชร 1 กะรัตหรือ 100 สตางค์ (Point) มีน้ำหนักเท่ากับ 200 มิลลิกรัม เพชรขนาดใหญ่จะขุดพบได้ยาก และมีราคาสูงน้ำหนักกะรัตกับขนาดของเพชรเจียระไนมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2.10



carat weight	0.05	0.10	0.20	0.25	0.33	0.40	0.50	0.75
carat range ±	0.01	0.02	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06
diameter mm	2.5	3.0	3.8	4.1	4.4	4.8	5.2	5.8

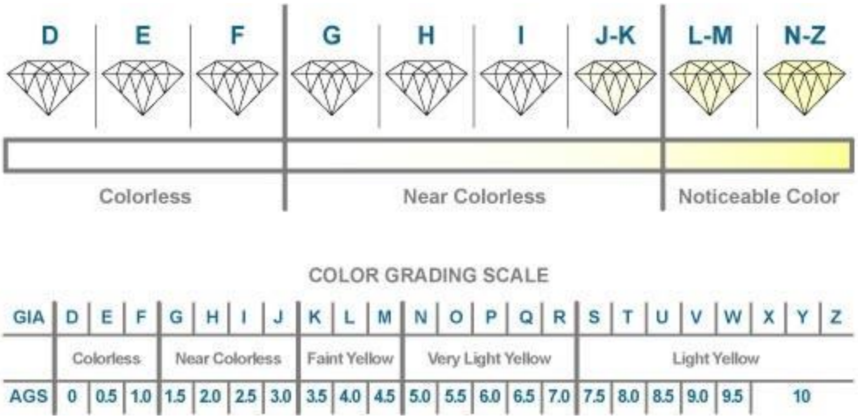


carat weight	0.90	1.0	1.25	1.50	2.0
carat range ±	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
diameter mm	6.3	6.5	6.9	7.4	8.2

รูปที่ 2.10 น้ำหนักกะรัตกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเพชร

2.5.2 สี (Color)

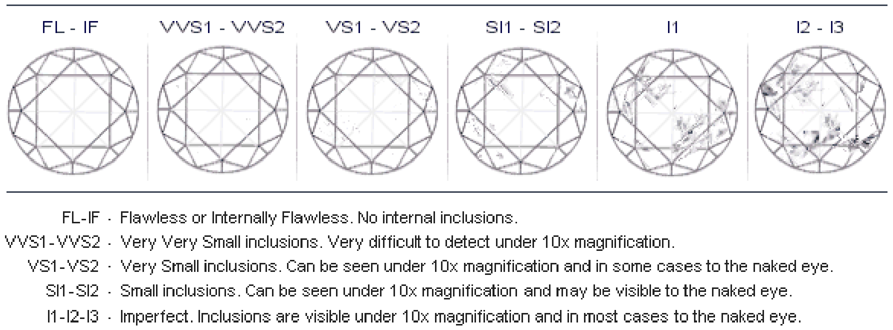
เฉดสีของเพชรหรือ "น้ำ" สามารถแบ่งออกเป็นหลายระดับจาก D (มีความขาวใสมากที่สุด) ถึง Z (มีสีสด) ดังรูปที่ 2.10 เพชรระดับไร้สี (Colorless) ได้แก่ ระดับ D, E และ F (น้ำ 100, 99 และ 98) จะขุดพบเจอยากจึงมีราคาสูง ส่วนเพชรที่มีระดับสีอื่น เช่น สีนวลอ่อน (ระดับ G), สีเหลืองแชมเปญ (ระดับ L), สีเหลืองเข้ม (ระดับ P), สีเหลืองสด (ระดับ Z) เป็นต้น มักถูกจัดเป็นเพชรสำหรับใช้ในงานแฟนซี



รูปที่ 2.11 สีของเพชรที่แบ่งตามระดับ D ถึง Z

2.5.3 ความบริสุทธิ์ (Clarity)

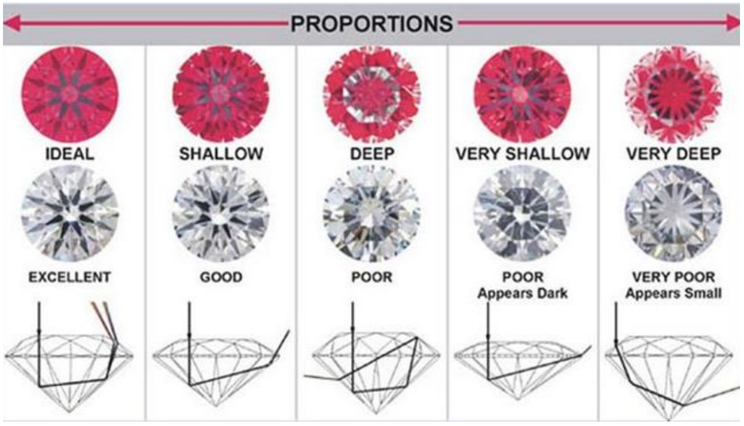
ความบริสุทธิ์ของเพชรพิจารณาได้จากขนาด จำนวน ตำแหน่งและลักษณะทางธรรมชาติของตำหนิภายในเนื้อเพชร ระดับความบริสุทธิ์ของเพชร ดังรูปที่ 2.12 สามารถตรวจวัดได้จากการมองผ่านแว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 10 เท่า



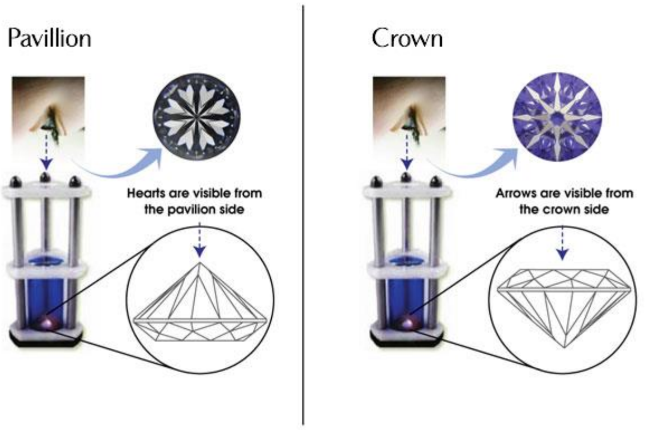
รูปที่ 2.12 ระดับความบริสุทธิ์ของเพชร

2.5.4 การเจียระไน (Cut)

พลอยที่เจียระไนได้ดีจะต้องมีสัดส่วน (Proportion) ของแต่ละหน้าพลอยที่ถูกต้อง (Proportion Grading) เพื่อให้แสงที่ส่องผ่านเข้าไปในพลอยสามารถสะท้อนออกมาเข้าตาของมนุษย์ทั้งหมด จึงจะเห็นพลอยมีประกายแวววาวสูง ดังรูปที่ 2.13 และเห็นแสงสะท้อนเป็นรูปร่างที่ต้องการ เช่น รูป Heart และ Arrow สำหรับพลอยที่เจียระไนรูปแบบบริลเลี่ยน ดังรูปที่ 2.14 เป็นต้น สัดส่วนของพลอยที่สำคัญได้แก่ ความลึก (Depth), ความกว้าง (Width), รูปทรงของหน้าเจียระไน (Facet) และความสมมาตร (Symmetry)



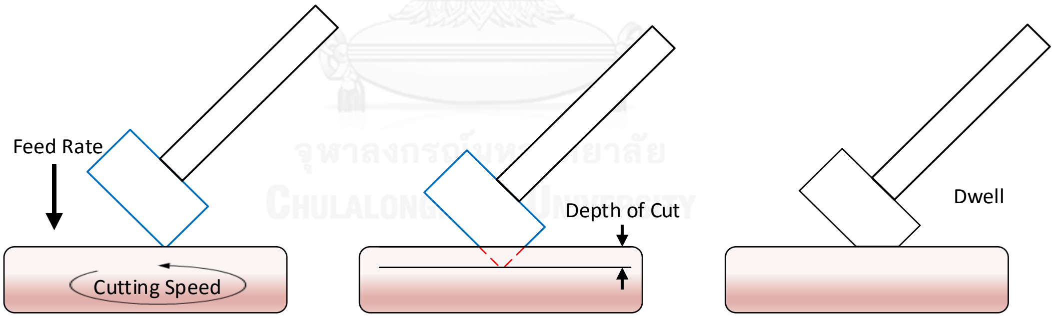
รูปที่ 2.13 การสะท้อนของแสงภายในพลอยเจียระไนที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 2.14 แสงสะท้อนจากพลอยที่เจียระไนแบบบริลเลี่ยนเป็นรูป Heart และ Arrow เมื่อมองจากด้านล่างของพลอยและด้านบนของพลอย

2.6 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเจียระไนพลอย

การเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติต้องใช้ค่าพามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเจียระไน จึงทำให้พลอยที่ใช้เครื่องจักรเจียระไนมีคุณภาพ พารามิเตอร์ [11],[12],[13], ที่ส่งผลต่อพลอย ดังรูปที่ 2.15 ได้แก่

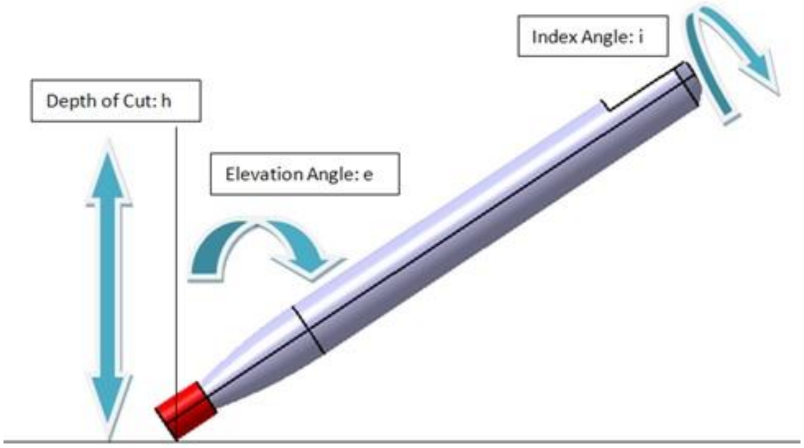


รูปที่ 2.15 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเจียระไนพลอย

- อัตราป้อน (Feed Rate) คือ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่พลอยลงไปที่จานเจียระไน
- อัตราเร็วการหมุนของจานเจียระไน (Cutting Speed)
- ความลึกในการตัด (Depth of cut) คือ ความสูงของพลอยที่ถูกกดลงบนเจียระไน
- ระยะเวลาแช่พลอย (Dwell) คือ ระยะเวลาในการเจียระไนแต่ละหน้าของพลอย

2.7 ตัวแปรที่ต้องควบคุมในการเจียระไนพลอย

ตัวแปรที่มีผลต่อการเจียระไนพลอยดังรูปที่ 2.16 สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของเหลี่ยมพลอย ไม่ว่ารูปแบบการเจียระไนจะเป็นอย่างไรตัวแปรที่ต้องใช้มีเพียง 3 ตัวที่ต้องทำการควบคุมคือ



รูปที่ 2.16 ตัวแปรที่มีผลต่อรูปร่างและขนาดของพลอย

2.7.1 มุมดรรชนี (Index Angle: i)

ตัวแปรนี้จะเป็นตัวกำหนดเหลี่ยมแต่ละชั้นของการเจียระไนพลอยนั้นจะมีทั้งหมดกี่หน้า ซึ่งในแต่ละหน้าจะมีเลขดรรชนีเป็นตัวกำกับ โดยทั่วไปพลอย 1 เม็ดสามารถแบ่งมุมดรรชนีออกเป็นหลายแบบ ขึ้นอยู่กับความละเอียดในการเจียระไนโดยทั่วไปนิยมคือ 32 , 64 , 80 , 96 และ 120 ดรรชนี โดยการแบ่งมุมดรรชนียิ่งมากทำให้การเจียระไนจะละเอียดมากขึ้นด้วย

2.7.2 มุมยก (Elevation Angle : e)

ตัวแปรนี้เป็นตัวกำหนดเหลี่ยมของพลอย ในแต่ละชั้นเหลี่ยมนั้นมุมที่ใช้เจียระไนจะมีกี่องศา โดยตัวแปรนี้พิจารณาจากคุณสมบัติค่าดรรชนีหักเหของแสงของพลอยแต่ละชนิด เพื่อทำให้แสงสะท้อนของพลอยที่เจียระไนออกมามีความเงางาม

2.7.3 ความลึกในการกัด (Depth of Cut : h)

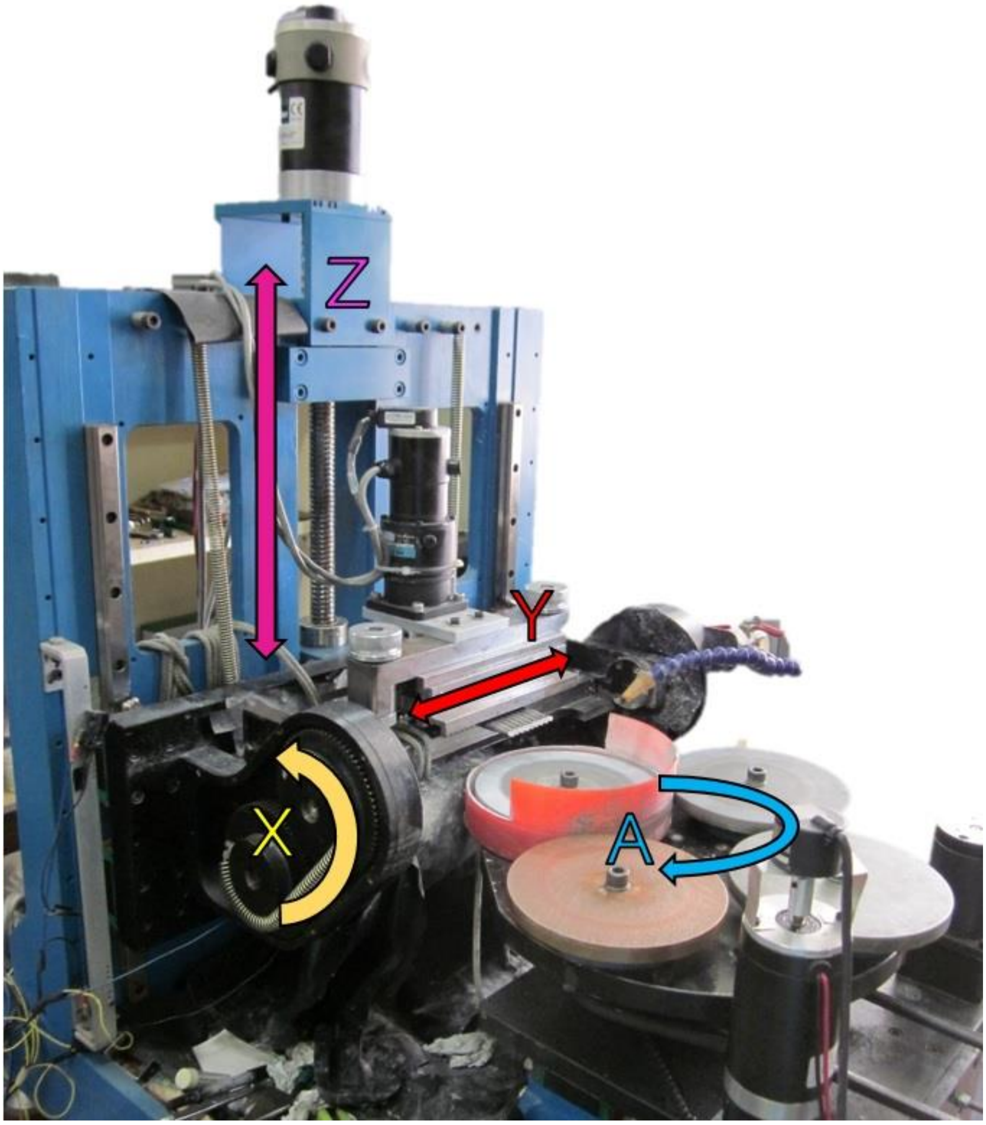
ตัวแปรนี้เป็นตัวกำหนดขนาดของเม็ดพลอยที่นำมาเจียระไน ยิ่งค่าเจียระไนลึกมากจะมีผลต่อขนาดเม็ดพลอยเล็กลง

บทที่ 3 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

3.1 โครงสร้างและการเคลื่อนที่เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

3.1.1 โครงสร้างเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 ดังรูปที่ 3.1 สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ใน 4 แกนสำหรับการปรับมุม, การปรับเหลี่ยมพลอย, การยกพลอยในแนวดิ่งและการเปลี่ยนจานเจียระไน และยังมีแกนการเคลื่อนที่สำหรับหมุนและส่ายจานเจียระไนอีกด้วย

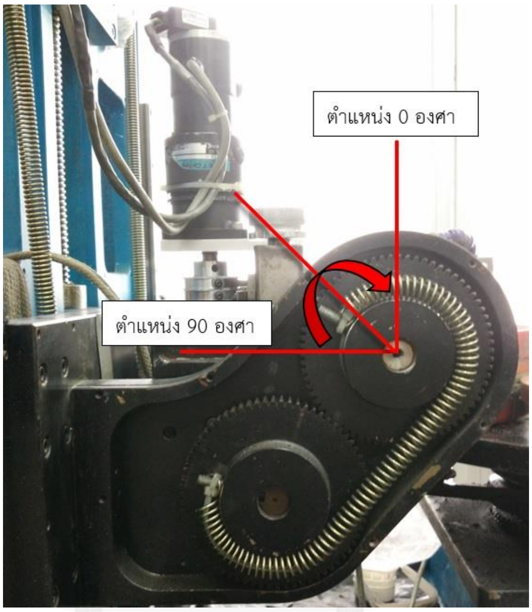


รูปที่ 3.1 เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

3.1.2 การเคลื่อนที่เคลื่อนเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

แกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียระไนพลอยที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.1.1 มีชื่อเรียกและหน้าที่ดังนี้

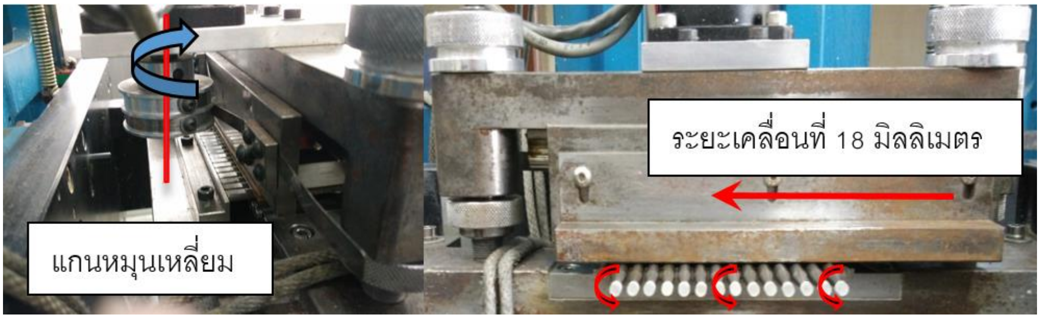
แกนปรับมุม (แกน X) ดังรูปที่ 3.2 ใช้ในการกำหนดมุมของเหลี่ยมพลอย โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของทวนติดพลอยกับแนวดิ่ง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา



รูปที่ 3.2 แกนปรับมุม

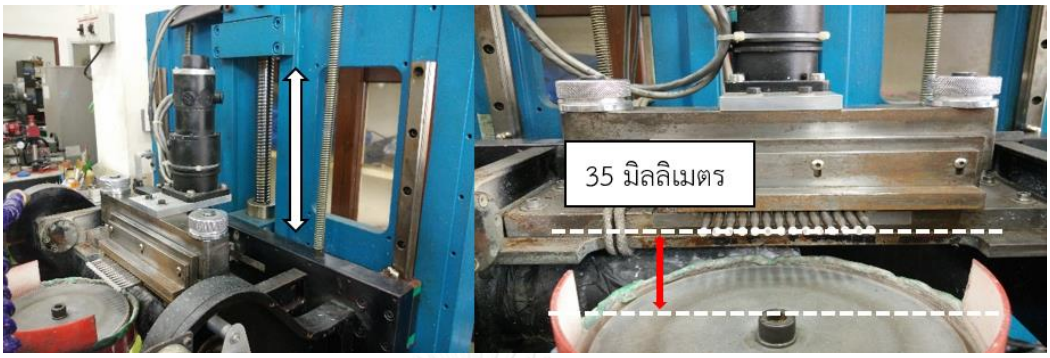
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แกนปรับเหลี่ยมพลอย (แกน Y) ดังรูปที่ 3.3 ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของเหลี่ยม ระยะทางมากที่สุดของการเคลื่อนที่ตามแกน Y คือ 18 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 แกนหมุนเหลี่ยมพลอย

แกนยกพลอยในแนวดิ่ง (แกน Z) ดังรูปที่ 3.4 ใช้ในการกำหนดขนาดของเม็ดพลอย ระยะทางมากที่สุดของการเคลื่อนที่ตามแกน Z คือ 35 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 แกนยกพลอยในแนวดิ่ง

แกนเปลี่ยนจานเจียระไน (แกน A) ดังรูปที่ 3.5 ใช้ในการเลือกจานสำหรับการเจียระไนและการขัดเงาให้เหมาะสมกับความแข็งของพลอย

รูปที่ 3.5 แกนเปลี่ยนจานเจียระไน

แกนหมุนจานเจียระไน ดังรูปที่ 3.6 สามารถปรับอัตราเร็วการหมุนของจานเจียระไนได้ด้วยการปรับความถี่ของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสดังตารางที่ 3.1

รูปที่ 3.6 แสดงแกนหมุนจานเจียระไนพลอย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 ความเร็วรอบของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

INVERTOR (Hz)	อัตราเร็วการหมุนของจานเจียระไนที่วัดได้ (รอบต่อนาที)
10	434
15	708
20	1,000
25	1,293
30	1,593
35	1,898
40	2,195
45	2,486
50	2,780

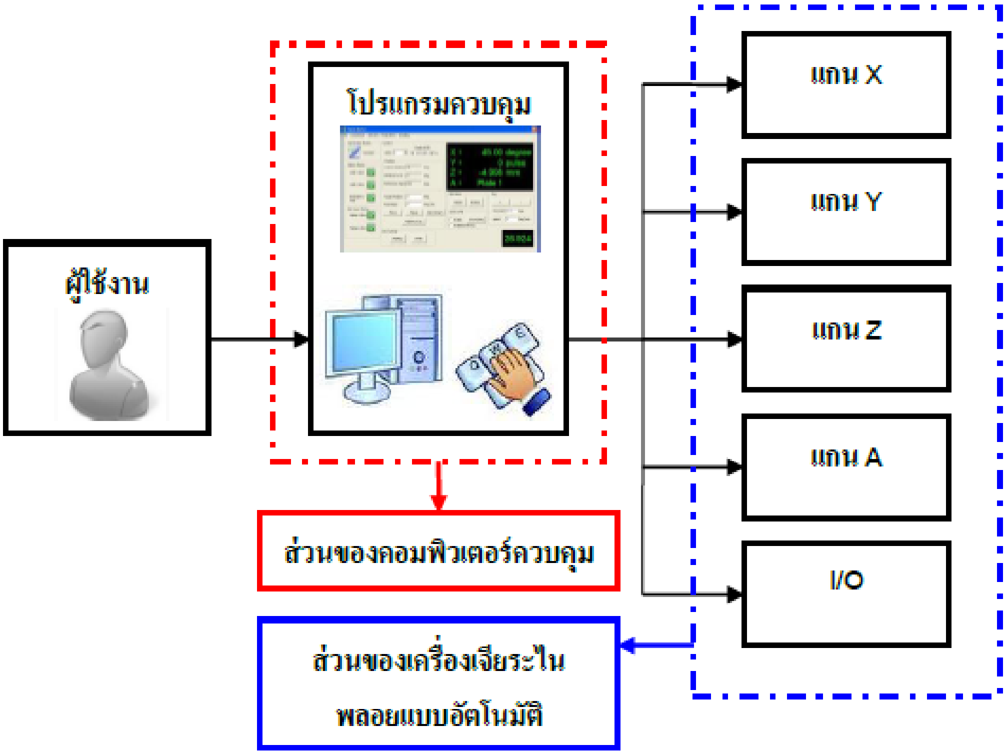
แกนส่ายจานเจียระไน ดังรูปที่ 3.7 ใช้ในการเลื่อนจานเจียระไนพลอยแบบกลับไปกลับมา เพื่อให้ผิวของพลอยจากการเจียระไนมีความเรียบมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 3.7 แกนส่ายจานเจียระไน

3.2 หลักการทำงานของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ จะทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม ประมวลผลและส่งคำสั่งไปยังเครื่องเจียระไนพลอย ดังรูปที่ 3.8 ผู้ใช้จะต้องป้อนตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ของการเจียระไน การควบคุมตำแหน่งในแกน X,Y,Z และ A จะใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นตัวขับเคลื่อนและใช้เอ็นโคดเดอร์ (Encoder) เป็นอุปกรณ์วัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ข้อมูลจากเอ็นโคดเดอร์จะถูกส่งกลับไปยังคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม ส่วนการเคลื่อนที่ของแกนหมุนและแกนส่ายจานเจียระไน จะสามารถสั่งการจากคอมพิวเตอร์ให้เริ่มและหยุดด้วยสัญญาณดิจิทัล โดยไม่ควบคุมตำแหน่งและความเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

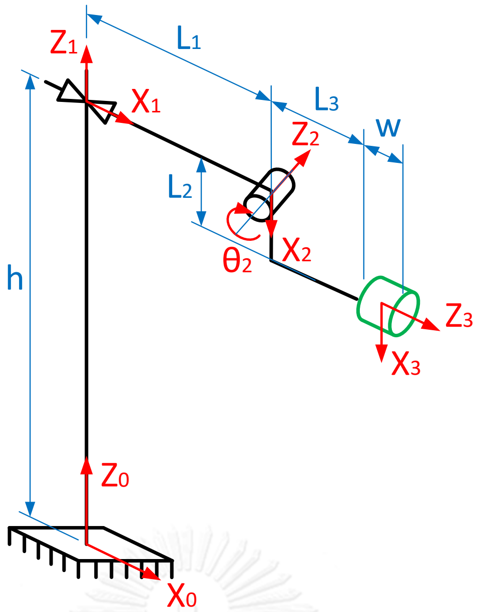


รูปที่ 3.8 หลักการทำงานเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

3.3 จลศาสตร์เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

จลศาสตร์ของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ ใช้ในการระบุตำแหน่งจุดศูนย์กลางของพลอยโดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งของจานเจียระไน (ในงานวิจัยนี้ไม่สนใจมุมหมุนของพลอย) ดังนั้นการระบุตำแหน่งของพลอยจึงคำนวณจากระยะการเคลื่อนที่ในแกนปรับมุมและแกนยกพลอยในแนวดิ่งเท่านั้น การหาแบบจำลองจลศาสตร์เริ่มจากการติดพิกัดอ้างอิงให้กับแกนการเคลื่อนที่แต่ละแกน โดยใช้วิธีของ Denavit-Hartenberg [14] ดังรูปที่ 3.9 แกนที่ 0 ถูกติดอยู่ที่ฐานของเครื่องเจียระไนพลอยแกนที่ 1 ถูกติดอยู่กับแท่นยึดทวนพลอยที่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง, แกนที่ 2 ถูกติดอยู่กับจุดหมุนเปลี่ยนมุมพลอยและแกนที่ 3 ถูกติดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของพลอย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.9 การติดแกนบนเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของ Denavit-Hartenberg สำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ เมื่อติดแกนดังแสดงในรูปที่ 3.9

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของ Denavit-Hartenberg สำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

i (Link)	α_{i-1} Rot(x)	a_{i-1} Tran(x)	d_i Tran(z)	θ_i Rot(z)
1	0	0	h	0
2	-90	L_1	0	θ_2
3	90	L_2	$L_3 + W/2$	0

3.3.1 แบบจำลองจลศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward Kinematics)

จากตารางที่ 3.2 จะสามารถหาเมทริกซ์การแปลง ของแกน i โดยเปรียบเทียบกับแกน $i-1$ (Homogeneous Transformation Matrix, T_i^{i-1}) (1)

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i\cos\alpha_i & \sin\theta_i\sin\alpha_i & a_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i\cos\alpha_i & -\cos\theta_i\sin\alpha_i & a_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

เมตริกซ์การแปลงของ Frame 1 เทียบกับ Frame 0

$${}_1^0T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมตริกซ์การแปลงของ Frame 2 เทียบกับ Frame 1

$${}_2^1T = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_2 & -\cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

เมตริกซ์การแปลงของ Frame 3 เทียบกับ Frame 2

$${}_3^2T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2 \\ 0 & 0 & -1 & -L_3 + W/2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

เมทริกซ์การแปลงของแกนที่ 3 โดยเปรียบเทียบกับแกนที่ 0 สามารถหาได้จากสมการ (2), (3) และ (4) คือ

$${}_3^0T = {}_1^0T\,{}_2^1T\,{}_3^2T$$

$${}_3^0T = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 & L_1 + L_2\cos\theta_2 + (L_3 - \mathrm{W}/2)\sin\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & h - L_2\sin\theta_2 + (L_3 - \mathrm{W}/2)\cos\theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้นระยะจากกึ่งกลางของพลอยถึงจานเจียระไนในแนวดิ่ง (Z) คือ

$$Z = h - L_2 \sin\theta_2 + (L_3 - \mathrm{W}/2)\cos\theta_2 \tag{6}$$

3.3.2 แบบจำลองจลศาสตร์แบบผกผัน (Inverse Kinematics)

แบบจำลองจลศาสตร์แบบผกผันใช้ในการหาความสูงของแท่นยึดทวนพลอย (h) เมื่อรู้ความสูงของพลอยเมื่อเปรียบเทียบกับจานเจียระไน (Z) และมุมของพลอย (θ_2) แบบจำลองนี้หาจากสมการที่ (6) ได้ดังสมการที่ (7)

$$h = Z + L_2 \sin\theta - (L_3 - \mathrm{W}/2)\cos\theta_2 \tag{7}$$

3.4 การควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติถูกควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ดังรูปที่ 3.10 ตำแหน่งของพลอยที่ต้องการถูกกำหนดให้สัญญาณอ้างอิง (Command Reference) จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับมุมหมุนของมอเตอร์ซึ่งวัดค่าได้จากเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อหาค่าผิดพลาดของตำแหน่ง จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาขนาดของสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) ของระบบเวลาไม่ต่อเนื่องได้จากสัญญาณควบคุมจากการควบคุมเชิงสัดส่วน, การควบคุมแบบอินทิกรัล และการควบคุมแบบอนุพันธ์ [15] ดังนี้

สัญญาณควบคุมจากการควบคุมเชิงสัดส่วน

$$u(k) = Ke(k) \tag{8}$$

สัญญาณควบคุมจากการชนิดตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

$$u(k) = u(k-1) + \frac{K}{T_i} Te(K) \tag{9}$$

สัญญาณควบคุมจากการควบคุมแบบอนุพันธ์

$$u(k) = \frac{KT_D}{T} e(k) - e(k-1) \tag{10}$$

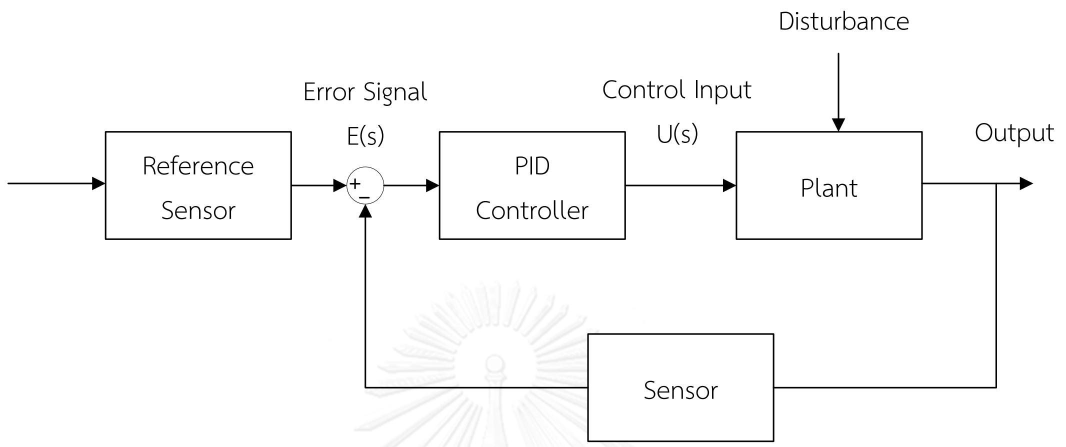
สัญญาณควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีของระบบเวลาไม่ต่อเนื่องจากสมการที่ (9), (10) และ (11) คือ

$$u(k) = u(k-1) + K\left[\left(1 + \frac{T}{T_I} + \frac{T_D}{T}\right)e(k) - \left(1 + 2\frac{T_D}{T}\right)e(k-1) + \frac{T_D}{T}e(k-2)\right] \tag{11}$$

จัดรูปสมการได้ดังนี้

$$u(k) = u(k-1) + K_P(e(k) - \mathrm{e}(k-1)) - e(k-1)) + K_I Te(k) + \frac{K_D}{T} e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \tag{12}$$

สัญญาณควบคุมในสมการที่ (12) หรือ Control Input จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ขยายกระแส (Current Amplifier) ซึ่งจะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ การควบคุมตำแหน่งในแต่ละแกนของเครื่องเจียระไนพลอยจะทำให้พลอยที่ติดไว้ที่ปลายของทวนติดพลอย (Dropstick) เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ 3.10 การควบคุมเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

บทที่ 4 ขั้นตอนในการเจียระไนพลอยโดยใช้เครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

4.1 การเตรียมพลอย

พลอยที่จะนำมาเจียระไนด้วยเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 จะต้องถูกขึ้นรูปเบื้องต้น (Preshape) ก่อน เนื่องจากพลอยดิบมีรูปร่างและขนาดไม่แน่นอนดังรูปที่ 4.1 ซึ่งถ้านำพลอยดิบเหล่านี้มาเจียระไนพร้อมกันหลายเม็ดอาจทำให้การกำหนดค่าสำหรับการเจียระไนสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติมีความยุ่งยากและอาจทำให้พลอยที่เจียระไนได้มีขนาดไม่แน่นอน (ขึ้นอยู่กับพลอยขนาดเล็กที่สุดของพลอยที่นำมาเจียระไนพร้อมกัน) ดังนั้นพลอยที่จะนำมาทดลองเจียระไนจึงถูกนำไปขึ้นรูปเบื้องต้นเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความสูงใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.1 พลอยดิบคิวบิค เซอร์โคเนีย

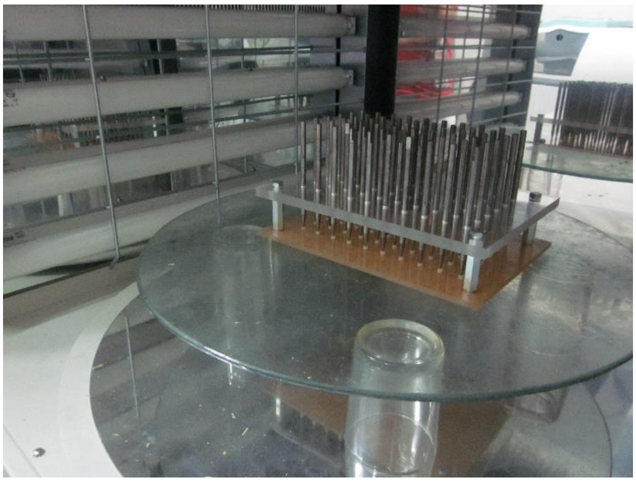
รูปที่ 4.2 พลอยที่ผ่านการขึ้นรูปเบื้องต้นเป็นรูปทรงกระบอก

4.2 การติดพลอยที่ปลายของทวนติดพลอย

พลอยที่ผ่านการขึ้นรูปเบื้องต้นแล้วจะถูกนำมาวางที่ปลายทวนติดพลอยซึ่งถูกใส่ไว้ในอุปกรณ์จับยึด ดังรูปที่ 4.3 โดยให้จุดศูนย์กลางของพลอยและทวนติดพลอยอยู่ใกล้กันมากที่สุด หลังจากนั้นจึงหยอดกาวให้ติดกัน กาวชนิดพิเศษนี้ใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับ, มีความแข็งแรงสูงเพียงพอที่จะทนต่อแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการเจียระไนพลอย และอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนซึ่งสามารถถอดพลอยออกจากทวนติดพลอยได้ สำหรับการวิจัยนี้ ผู้ทดลองใช้ตู้อบรังสีอัลตราไวโอเลตดังรูปที่ 4.4 ในการทำให้กาวแข็งตัวโดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที

รูปที่ 4.3 การวางพลอยที่ปลายของทวนติดพลอยบนอุปกรณ์ยึดจับ

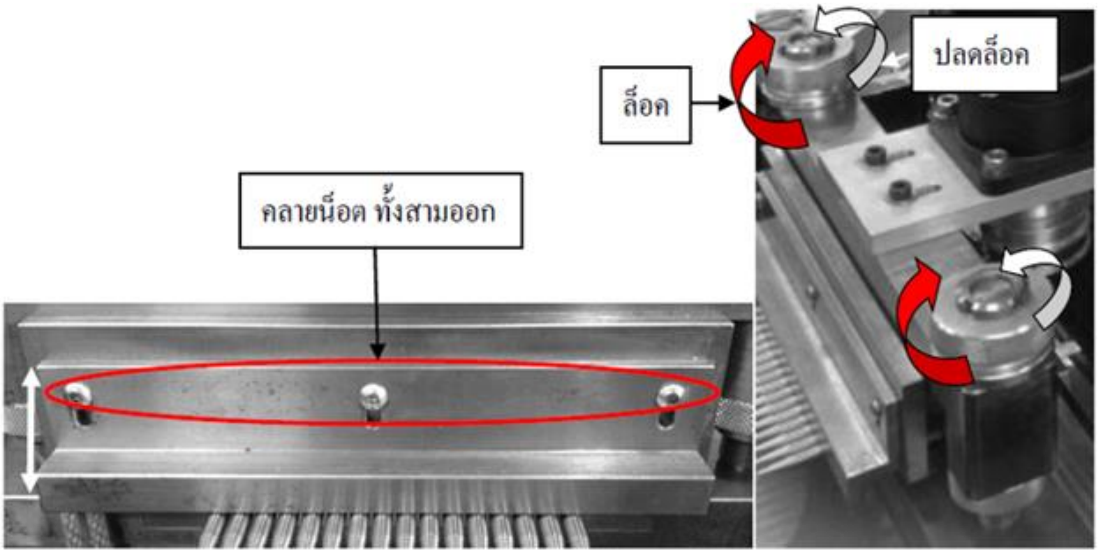
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.4 การทำให้กาวแข็งตัวด้วยตู้อบรังสีอัลตราไวโอเลต

4.3 การใส่ทวนติดพลอยบนเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

หลังจากคลายน็อตทั้งสามจุดและหมุนปลดล็อกทั้งสองจุดดังรูป 4.5 (ก) และ (ข) ตามลำดับแล้ว จะสามารถนำทวนติดพลอย (ซึ่งติดพลอยที่ปลายแล้ว) ใส่เข้าไปในชุดจับทวนพลอยได้ โดยจะต้องให้ส่วนที่แบนบริเวณด้านท้ายของแต่ละทวนหันขึ้นด้านบนเป็นระนาบเดียวกันดังรูปที่ 4.6 เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงของการหมุนพลอย จากนั้นจึงขันน็อตและหมุนล็อกให้ทวนติดพลอยถูกยึดแน่นเข้ากับเครื่องเจียระไนพลอย

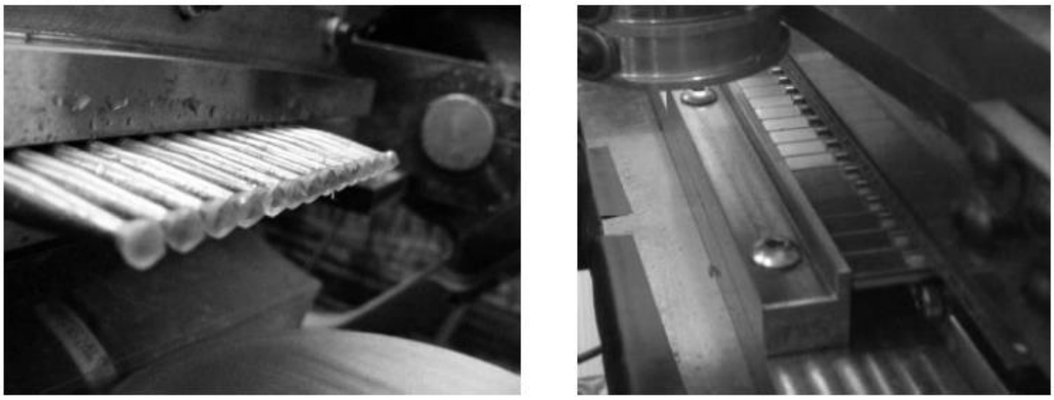


(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 ตำแหน่งของล็อกสำหรับยึดทวนติดพลอยเข้ากับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

(ก) ตำแหน่งของน็อตสำหรับยึดทวนติดพลอยเข้ากับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

(ข) ตำแหน่งของน็อตสำหรับหมุนล็อกทวนติดพลอยเข้ากับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

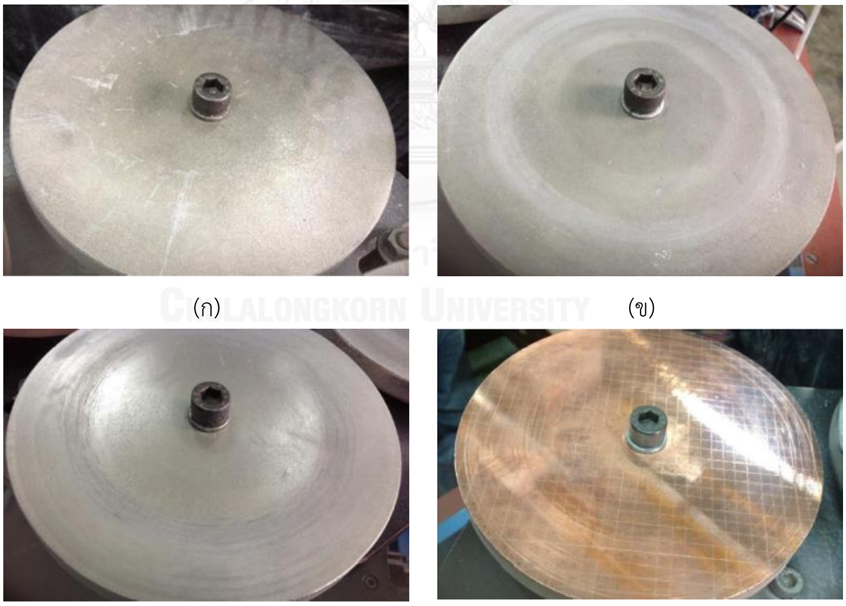


รูปที่ 4.6 การใส่ทวนติดพลอยเข้ากับชุดจับทวนพลอย

4.4 การเจียระไนด้านบนของพลอย

พลอยจะถูกนำมาเจียระไนให้มีรูปร่างและสัดส่วนตามที่ออกแบบไว้ในโปรแกรม CU Gem Machine ด้วยจานเจียระไนของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 ที่มีความหยาบของผิวจากมากไปน้อยดังรูปที่ 4.7 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ จนได้ลักษณะดังรูปที่ 4.8 จากนั้นจึงนำพลอยที่มีรูปร่างและสัดส่วนดีแล้วมาเจียระไนด้วยจานเจียระไนสำหรับการขัดเงาดังรูปที่ 4.7 (ง) จากเจียระไนสำหรับการขัดเงานี้ทำจากทองแดงและถูกกรีดผิวให้เป็นร่องเพื่อใส่ผงเพชรลงไปด้วยครีมดังรูปที่ 4.9

กระบวนการเจียระไนพลอยจะเริ่มต้นจากการเจียระไนด้านบนของพลอย (Crown) จากนั้นจะต้องกลับด้านพลอยเพื่อที่จะเจียระไนด้านล่างของพลอยด้วยจานเจียระไนในรูปที่ 4.7 แล้วถอดพลอยออกจากทวนติดพลอยเพื่อทำความสะอาดจึงจะได้พลอยเจียระไนที่เสร็จสมบูรณ์ รายละเอียดของวิธีการกลับด้านพลอยและการเจียระไนด้านล่างของพลอยจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.5 และการถอดพลอยและทำความสะอาดพลอยจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.6



(ก) (ข) (ค) (ง)

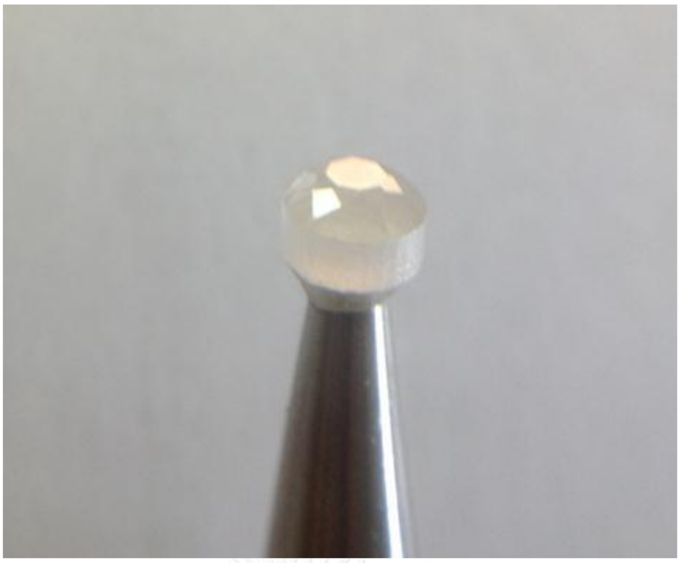
รูปที่ 4.7 จานเจียระไนของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3

(ก) จานเจียระไนแบบผิวหยาบมาก

(ข) จานเจียระไนแบบผิวหยาบปานกลาง

(ค) จานเจียระไนแบบผิวหยาบน้อย

(ง) จานเจียระไนสำหรับการขัดเงา

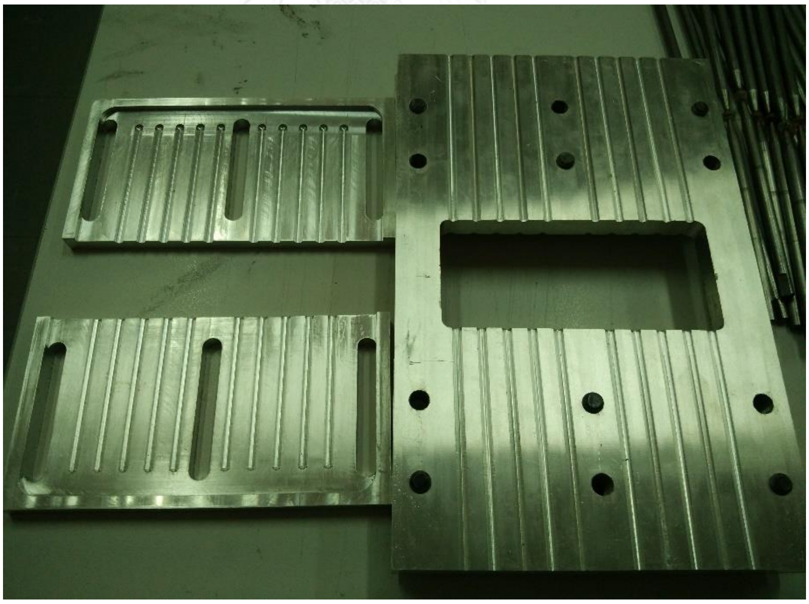


รูปที่ 4.8 พลอยถูกเจียระไนด้านบนแล้ว

รูปที่ 4.9 การใส่ผงเพชรด้วยครีมลงบนจานทองแดงที่ผ่านการกรีดร่อง

4.5 การกลับด้านพลอย

การกลับด้านพลอยด้วยอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.10 มีวิธีการดังนี้ วางทวนติดพลอยแท่งใหม่ซึ่งยังไม่ติดพลอยไว้ที่ปลายไว้บนร่องอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.11 (ก) จากนั้นวางแผ่นประกบไว้ที่ด้านบน แล้วใช้น็อตยึดทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน นำทวนติดพลอยซึ่งมีปลายติดกับพลอยที่ถูกเจียระไนด้านบนแล้วมายึดเข้ากับอุปกรณ์ในลักษณะเดียวกับข้อ 4.5.1 โดยวางทวนติดพลอยทั้งสองฝั่งให้อยู่ในแนวเดียวกันและให้ปลายของทวนติดพลอยแท่งใหม่ชนกับด้านบนของพลอย ดังรูปที่ 4.11 (ข) หยอดกาวที่บริเวณด้านบนของพลอยกับทวนติดพลอยแท่งใหม่ จากนั้นนำทวนติดพลอยและอุปกรณ์กลับด้านพลอยไปใส่ในตู้อบรังสีอัลตราไวโอเลตประมาณ 30 นาทีเพื่อให้กาวแข็งตัว ถอดอุปกรณ์กลับด้านพลอยออกแล้วใช้คีมหนีบที่ด้านข้างของพลอยดังรูปที่ 4.12 แล้วใช้มือหักที่ทวนติดพลอยซึ่งมีปลายติดกับด้านล่างของพลอยออก เพื่อให้เหลือเพียงทวนติดพลอยแท่งใหม่ที่มีปลายติดกับด้านบนของพลอยเท่านั้นดังรูปที่ 4.13 นำทวนติดพลอยที่มีปลายติดกับด้านบนของพลอยมายึดใส่ในเครื่องเจียระไนแบบอัตโนมัติตามหัวข้อที่ 4.3 แล้วเจียระไนด้านล่างของพลอยด้วยวิธีการในหัวข้อที่ 4.4 จะได้พลอยดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์กลับด้านพลอย

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.11 การวางทวนติดพลอยบนอุปกรณ์กลับด้านพลอย

(ก) การวางทวนบนร่องของอุปกรณ์กลับด้านพลอย
(ข) การยึดทวนติดพลอยทั้งสองด้านเพื่อหยอดกาวที่ด้านล่างของพลอย

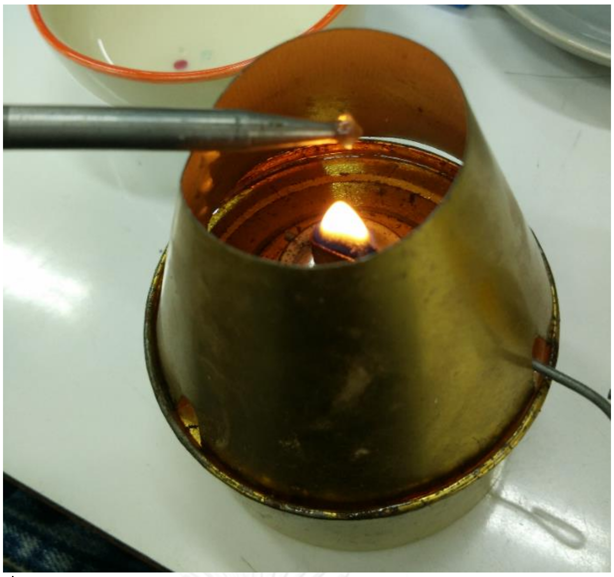
รูปที่ 4.12 การใช้คีมหนีบด้านข้างของพลอย

รูปที่ 4.13 ทวนติดพลอยที่มีปลายติดกับด้านบนของพลอย

รูปที่ 4.14 พลอยซึ่งถูกเจียระไนที่ด้านล่างแล้ว

4.6 การถอดพลอยและทำความสะอาดพลอย

เมื่อนำทวนติดพลอยซึ่งมีปลายติดกับพลอยที่เจียระไนทั้งด้านบนและด้านล่างแล้วมาอุ่นด้วยไฟดังรูปที่ 4.15 จะทำให้กาวอ่อนตัวลง ทำให้สามารถถอดพลอยออกจากทวนติดพลอยได้ โดยจะต้องระวังไม่ให้เปลวไฟสัมผัสกับพลอยโดยตรง มิเช่นนั้นจะทำให้พลอยไหม้และแตกได้ จากนั้นให้นำพลอยมาแช่ในน้ำผสมโซดาไฟเป็นเวลา 10 นาที แล้วเช็ดพลอยที่ทำความสะอาดแล้วด้วยกระดาษทิชชู จึงจะได้พลอยเจียระไนที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 4.14 การถอดพลอยออกจากทวนติดพลอยด้วยการอุ่นไฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม

วัตถุประสงค์ที่คาดหวังของการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม คือได้ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้คุณภาพผิวหลังจากเจียระไนขึ้นเหลี่ยมมีคุณภาพที่ราบเรียบเพื่อใช้ในการเจียระไนขัดขึ้นเงา ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะใช้เป็นค่าพารามิเตอร์อ้างอิงสำหรับการเจียรไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาอัตโนมัติรุ่นที่ 3

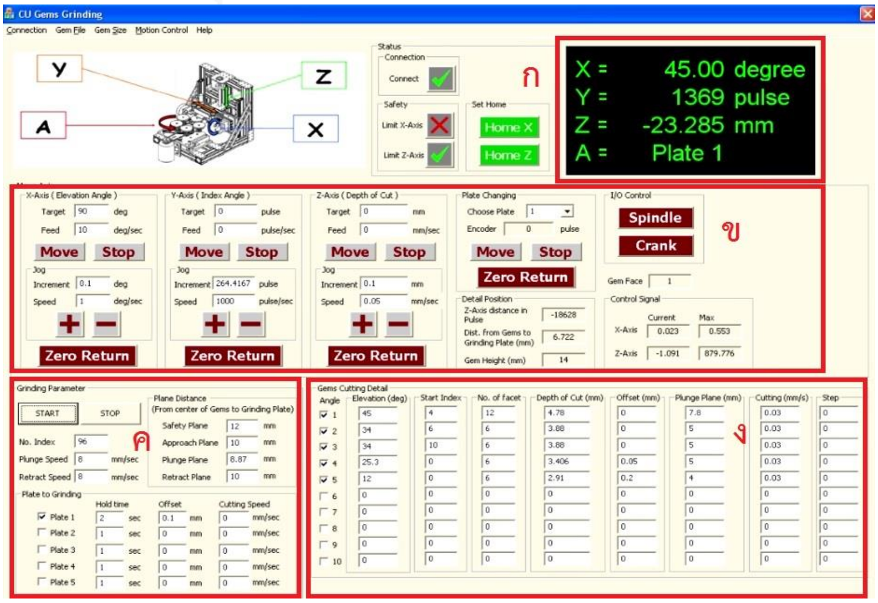
5.1.1 กลุ่มตัวอย่าง

ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยเลือกใช้พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย มีค่าความแข็งอยู่ที่ 8.5 Mohs มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร เป็นอัญมณีที่นิยมใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเนื่องจากมีราคาไม่แพงและคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพชร

5.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 ที่ถูกพัฒนาขึ้นดังรูปที่ 5.1 เครื่องเจียระไนพลอยจะเชื่อมต่อทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมที่สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการเจียระไนพลอยและโปรแกรมนี้จะแสดงผลข้อมูลต่างๆให้ทราบตลอดการใช้งาน ได้แก่ มุมองศา เหลี่ยมแต่ละมุม ความสูงในการเจียระไนและจานเจียระไนที่เลือกใช้ ณ เวลาจริงที่ใช้ในการเจียระไน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 ส่วนติดต่อโปรแกรมสำหรับเจียระไนพลอย

รายละเอียดส่วนประกอบของโปรแกรมสำหรับการเจียระไนเป็นดังนี้

ก. ส่วนที่แสดงสถานะการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนและจานที่เลือกใช้ในการเจียระไนพลอยของเครื่องเจียระไนพลอย

ข. ส่วนที่กำหนดการเคลื่อนที่เครื่องเจียระไนพลอยได้แก่แกนหมุนองศา แกนหมุนเหลี่ยมพลอย แกนยกขึ้น-ลง แกนเปลี่ยนจานเจียระไน แกนส่ายจานและแกนหมุนจานเจียระไน

ค. ส่วนที่กำหนดความเร็วในการเปลี่ยมมุมของเม็ดพลอย จานที่เลือกใช้เจียระไน ระยะเวลาแช่พลอย รวมไปถึงการเปิดใช้งานและยกเลิกการเจียระไนอัตโนมัติ

ง. ส่วนที่กำหนดรายละเอียดในการเจียระไนพลอยได้แก่ องศาเหลี่ยมพลอยที่ต้องการเจียระไน, จำนวนเหลี่ยมที่ต้องการเจียระไน,ความลึกในการกัดและอัตราป้อนของเม็ดพลอย

5.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) เริ่มต้นโดยนำพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ที่ถูกยึดติดกับทวนติดพลอยยึดเข้ากับชุดจับทวนของเครื่องเจียระไนพลอย
2) ตั้งตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่องเจียระไนพลอย (Home Position) โดยใช้คำสั่ง Set Home แกน X และแกน Z ในโปรแกรมควบคุมเครื่องเจียระไนพลอย
3) ปรับมุมเจียระไนพลอยของแกน x ที่ 45 องศา และระยะเจียระไนพลอยลึก 3 มิลลิเมตร ทดลองเจียระไนพลอยเพียง 1 หน้าเพื่อให้เห็นผิวที่ชัดเจน
4) ขณะเจียระไนพลอยต้องหยดน้ำเพื่อลดอุณหภูมิและระบายเศษพลอยที่ติดอยู่บนจานเจียระไนดังรูป 5.2
5) ทำการทดลองโดยปรับค่าพารามิเตอร์ได้แก่ เบอร์จานเจียระไน 600, 800, 1200 อัตราเร็วการหมุนของจานเจียระไน 1500, 1800, 2100 รอบต่อนาที อัตราป้อน 1.0, 1.5, 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะเวลาแช่พลอย 0, 2 วินาที ดังตารางที่ 5.1
6) ตรวจสอบคุณภาพการเจียระไนด้วยกล้องดิจิตอลกำลังขยาย 20 เท่า เพื่อวัดค่าความหยาบผิว (Roughness) ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นได้ถึงความราบเรียบของผิวดังรูป 5.3 และทำการกลับสีภาพเพื่อให้เห็นความคุณภาพของผิวที่ได้จากการทดลองขึ้น
7) นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเจียระไนขึ้นเหลี่ยมด้วยเครื่องเจียรไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตางรางที่ 5.1 สภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์เจียระไนที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ช่วง (Range)
ความละเอียดของจานเจียระไน	600, 800, 1200
ความเร็วในการเจียระไน (รอบต่อนาที)	1500, 1800, 2100
อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อวินาที)	1, 1.5, 2
ระยะเวลาแช่หน้าพลอย (วินาที)	0, 2

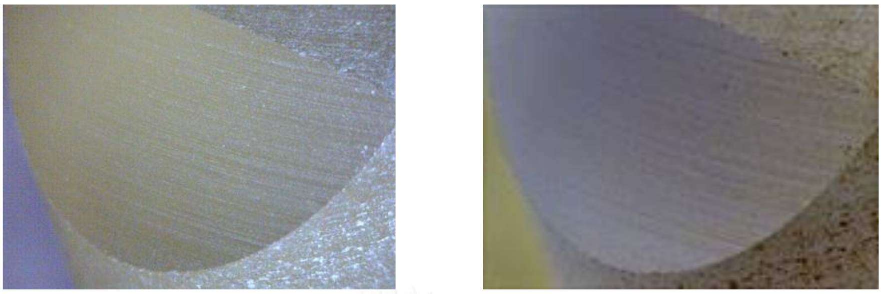
รูปที่ 5.2 การทดลองเจียระไนพลอยแล้วปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.3 กล้องที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผิวพลอย

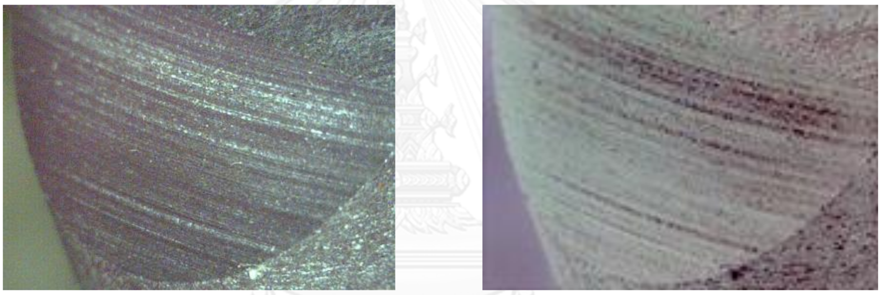
5.1.4 ผลการทดลองและการประเมินผล

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังรูป 5.4, 5.5, 5.6 สามารถแบ่งคุณภาพผิวพลอยได้ 2 แบบ คือ ผิวราบเรียบดังรูป 5.4 และผิวเกิดรอยขรุขระดังรูป 5.5 ข้อมูลภาพถ่ายจะอยู่ในภาพผนวก ก



(ก) (ข)

รูปที่ 5.4 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผิวราบเรียบ (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



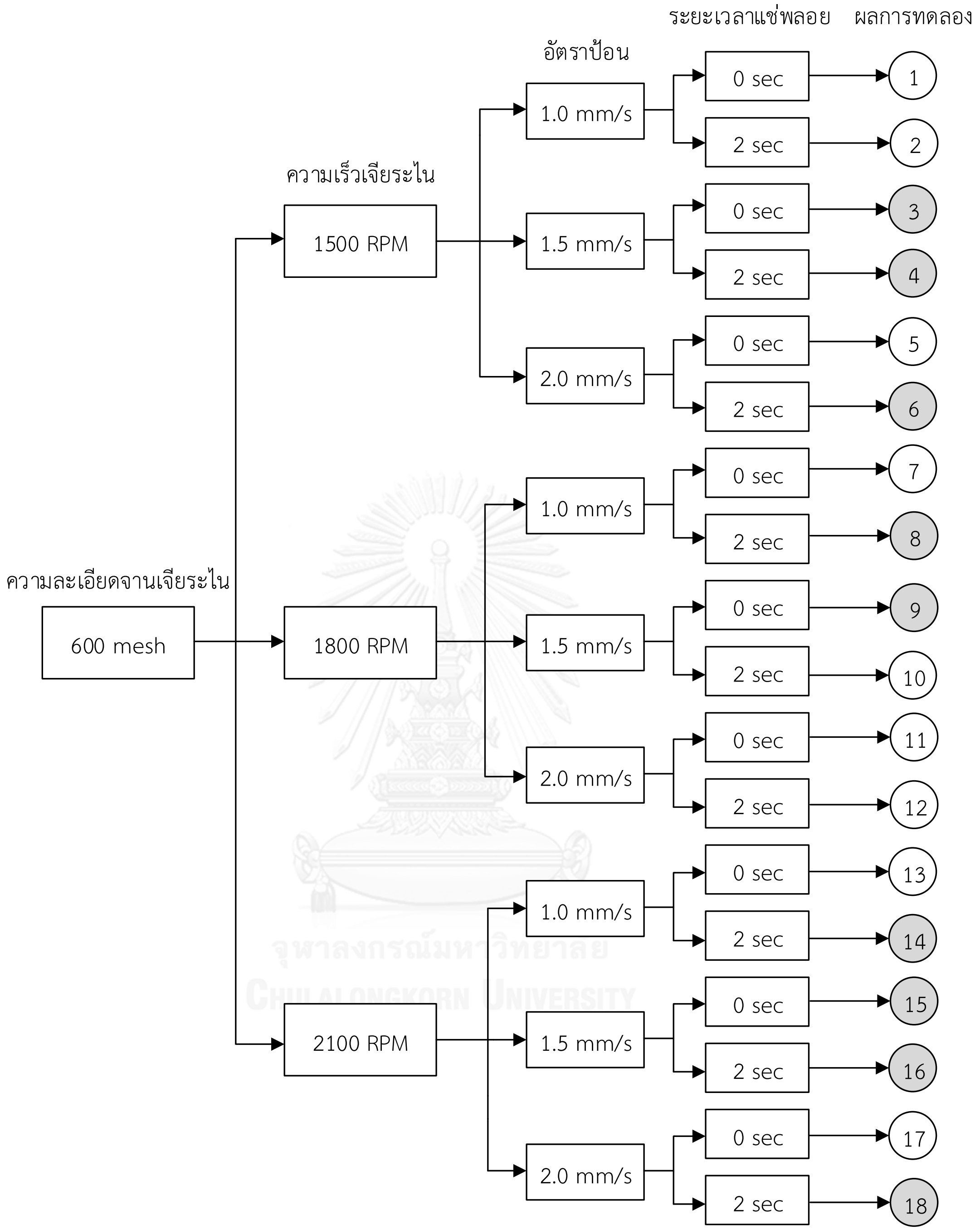
(ก) (ข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

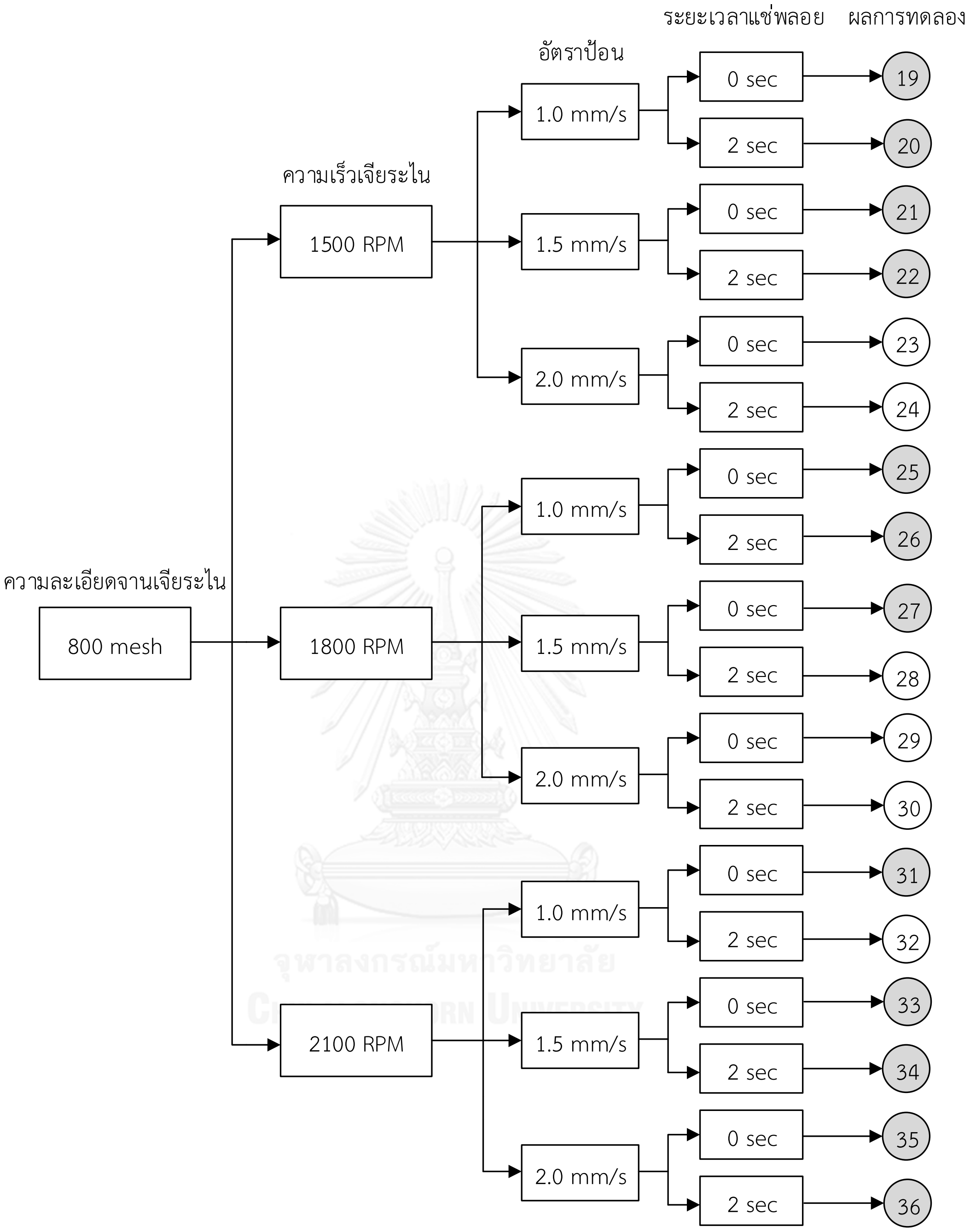
รูปที่ 5.5 ผลการทดลองเจียระไนพลอยคุณภาพขรุขระ (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

5.1.5 สรุปผลการทดลอง

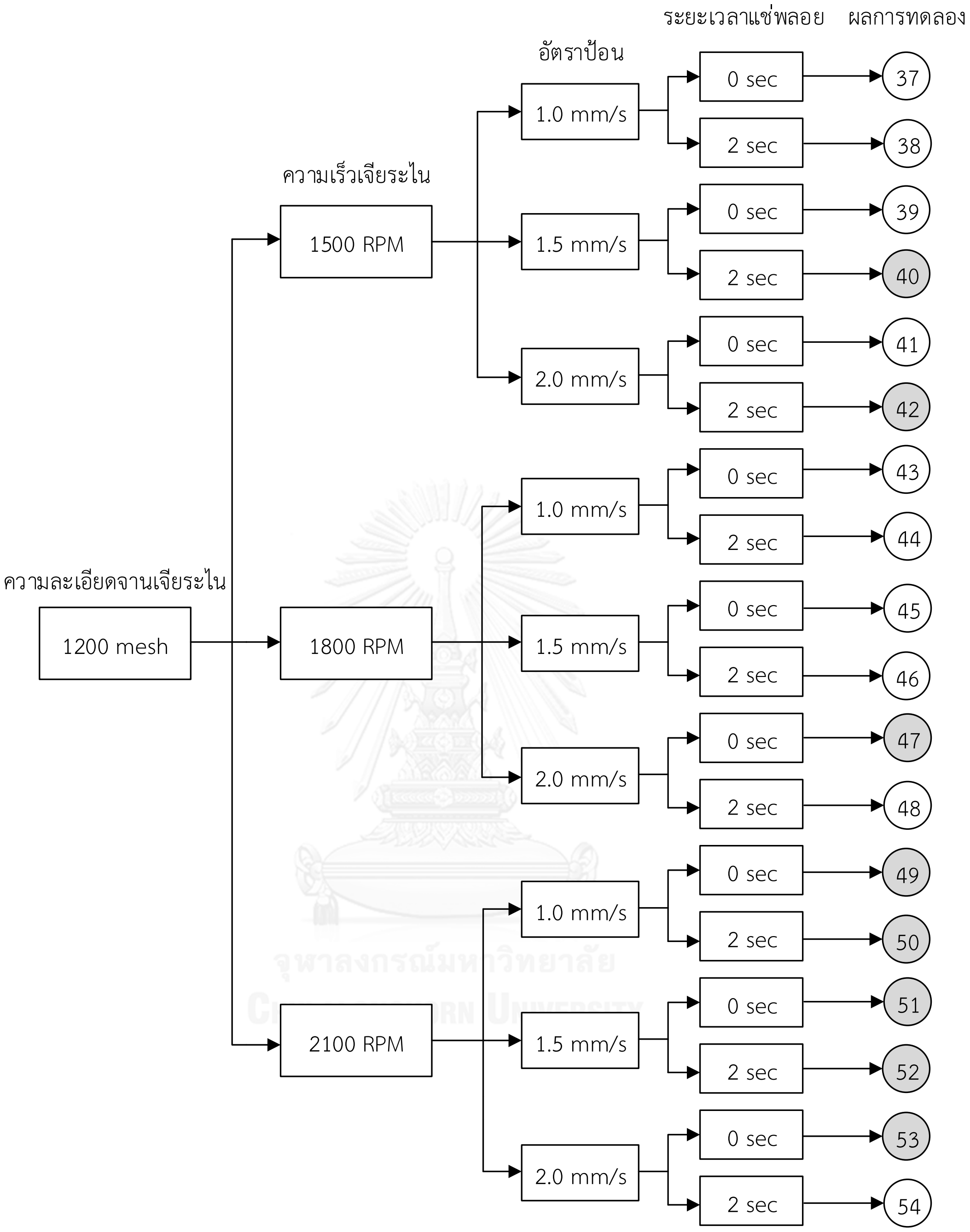
จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยมดังรูป 5.6, 5.7, 5.8 ทั้งหมด 54 การทดลอง ซึ่งเป็นภาพแสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม หลักที่ 1 คือ ความละเอียดของจานที่ใช้ในการเจียระไนพลอย หลักที่ 2 คือ ความเร็วที่ใช้ในการเจียระไนพลอย หลักที่ 3 คือ อัตราป้อน หลักที่ 4 คือ ระยะเวลาแช่พลอย และหลักที่ 5 คือ เลขแสดงผลการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองโดยการปรับค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับการเจียระไนพลอยดังกล่าวจะพบว่าได้ผิวพลอยที่มีคุณภาพราบเรียบ 29 การทดลองตามหมายเลขในวงกลมพื้นสีเทา เช่น หมายเลข 3, 4, 6, 8, 9, 14, 15, 16 และ 18 ของรูปที่ 5.6 โดยถือว่ามีคุณภาพของผิวที่ได้มาตรฐาน ส่วนการทดลองที่ผิวพลอยมีรอยขรุขระนั้นจะมีทั้งสิ้น 25 การทดลองตามหมายเลขในวงกลมพื้นสีขาว เช่น หมายเลข 1, 2, 5, 7, 10, 11, 12, 13 และ 17 ของรูปที่ 5.6 ซึ่งถือว่าคุณภาพของผิวไม่ได้มาตรฐาน



รูปที่ 5.6 เงื่อนไขพารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอยความละเอียดจาน 600



รูปที่ 5.7 เงื่อนไขพารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอยความละเอียดจาน 800



รูปที่ 5.8 เงื่อนไขพารามิเตอร์ในการเจียระไนพลอยความละเอียดจาน 1200

5.1.5.1 มุมมองความหยาบของจานเจียระไน

จากการทดลองพบว่าจานเจียระไนเบอร์ 800 มีผลการทดลองคุณภาพผิวของจานเจียระไนพลอยมีความราบเรียบมากที่สุด

จานเจียระไนเบอร์ 600	**จานเจียระไนเบอร์ 800**	จานจานเจียระไนเบอร์ 1200
9 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	12 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	8 ผลการทดลองที่ราบเรียบ

5.1.5.2 มุมมองความเร็วจานหมุนจาน

จากการทดลองพบว่าความเร็วจานหมุน 2100 รอบต่อนาที มีผลการทดลองคุณภาพผิวของจานเจียระไนพลอยมีความราบเรียบมากที่สุด

1500 RPM	1800 RPM	**2100 RPM**
9 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	6 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	14 ผลการทดลองที่ราบเรียบ

5.1.5.3 มุมมองอัตราป้อน

จากการทดลองพบว่าอัตราป้อน 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที มีผลการทดลองคุณภาพผิวของจานเจียระไนพลอยมีความราบเรียบมากที่สุด

1.0 mm/s	**1.5 mm/s**	2.0 mm/s
9 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	13 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	7 ผลการทดลองที่ราบเรียบ

5.1.5.4 ระยะเวลาแช่พลอย

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาแช่พลอย 2 วินาที มีผลการทดลองคุณภาพผิวของจานเจียระไนพลอยมีความราบเรียบมากที่สุด

0 sec	**2 sec**
13 ผลการทดลองผิวราบเรียบ	14 ผลการทดลองผิวราบเรียบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 ที่ทำให้พลอยมีคุณภาพเงาราบเรียบและมีระยะเวลาในการเจียระไนสั้นที่สุด โดยเป็นการทดลองเจียระไนพลอยรูปแบบบริลเลี่ยน โดยใช้พลอยคิวบิค เซอร์โคเนียและพลอยกระจก

5.2.1 กลุ่มตัวอย่าง

ในการทดลองผู้วิจัยได้ใช้พลอยคิวบิค เซอร์โคเนียและพลอยกระจก ซึ่งมีขนาดที่ใช้ในการทดลองดังนี้

- พลอยคิวบิค เซอร์โคเนียทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 4 มิลลิเมตร
- พลอยคิวบิค เซอร์โคเนียทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร
- พลอยคิวบิค เซอร์โคเนียทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร สูง 9 มิลลิเมตร
- พลอยกระจกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 4 มิลลิเมตร
- พลอยกระจกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร
- พลอยกระจกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร สูง 9 มิลลิเมตร

5.2.2 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการทดลองคือ เครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติรุ่นที่ 3 ซึ่งเครื่องเจียระไนพลอยจะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับการเจียระไนพลอย โดยใช้โปรแกรมเดียวกับการทดลองที่ 5.1

5.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) เริ่มต้นโดยนำพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียและพลอยกระจกที่ผ่านการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากผลการทดลองที่ 5.1 และถูกเจียระไนตามรูปแบบบริลเลี่ยนดังรูป 5.9 ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม ซียู-โซลิด [16] ยึดเข้ากับชุดจับทวนของเครื่องเจียระไนพลอย
2) ตั้งตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่องเจียระไนพลอย (Home Position) โดยใช้คำสั่ง Set Home แกน X และแกน Z ในโปรแกรมควบคุมเครื่องเจียระไนพลอย

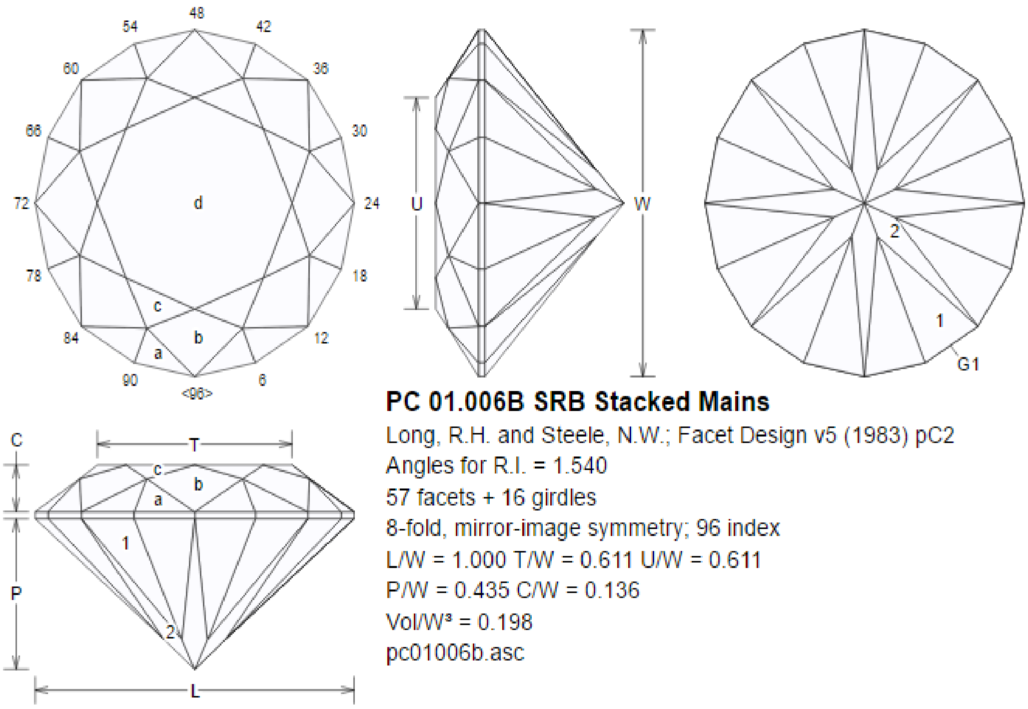
3) ทำการทดลองดังตารางที่ 5.3 โดยใช้เม็ดพลอยขนาด 3, 5, 8 มิลลิเมตร ซึ่งเม็ดพลอยขนาด 3 และ 5 มิลลิเมตรเจียระไนครั้งละ 1, 5, 10, 14 เม็ดตามลำดับ และพลอยขนาด 8 มิลลิเมตรเจียระไนครั้งละ 1, 3, 5 เม็ดตามลำดับ โดยใช้อัตราป้อน 0.05, 0.08, 0.11, 0.14, 0.17, 0.20 และมีค่าพารามิเตอร์ควบคุมดังตารางที่ 5.2 ได้แก่ ผงเพชรความละเอียด 1 ไมโครเมตร, ความลึกในการตัด 40 ไมโครเมตร, ความเร็วจานหมุน 2100 รอบต่อนาที, ระยะยกพลอย 0.3 มิลลิเมตร และระยะเวลาแช่พลอย 2 วินาที
4) เมื่อเจียระไนไปถึงค่าที่ทำให้คุณภาพพลอยเปลี่ยน ทำการทดสอบซ้ำที่อัตราป้อนส่งผลกับคุณภาพพลอยและจุดก่อนหน้านี้อย่างละ 5 ครั้ง
5) สำหรับพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ใช้กล้องสำหรับดูรูปแบบ Heart and Arrow ตรวจสอบคุณภาพเม็ดพลอย
6) สำหรับพลอยกระจกมีแสงสะท้อนกลับไม่เพียงที่จะมองเห็น Heart and Arrow จึงใช้กล้องดิจิตอลกำลังขยาย 20 เท่าในการตรวจสอบคุณภาพของเม็ดพลอย
7) นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปผล

ตางรางที่ 5.2 พารามิเตอร์ควบคุมการทดลองเจียระไนขัดเงา

วัสดุขัดเงา	จานทองแดงกรีดร่อง
ผงเพชร (ไมโครเมตร)	0-1
ความลึกในการกัด (ไมโครเมตร)	40
ความเร็วจานหมุน (รอบต่อนาที)	2100
ระยะยกพลอย (มิลลิเมตร)	0.3
ระยะเวลาแช่พลอย (วินาที)	2

ตางรางที่ 5.3 สภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์เจียระไนที่ใช้ในการทดลอง

วัดสุที่ใช้ในการทดลอง	พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย,พลอยกระจก
เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดพลอย (มิลลิเมตร)	3,5,8
จำนวนที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง (เม็ด)	1,3,5,7,10,14
อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อวินาที)	0.05,0.08,0.11,0.14,0.17,0.20



Pavilion

G1	90.00°	03-09-15-21-27-33-39-45-51-57-63-69-75-81-87-93
1	42.10°	03-09-15-21-27-33-39-45-51-57-63-69-75-81-87-93
2	41.00°	96-12-24-36-48-60-72-84

Crown

a	42.30°	03-09-15-21-27-33-39-45-51-57-63-69-75-81-87-93
b	35.00°	96-12-24-36-48-60-72-84
c	19.80°	06-18-30-42-54-66-78-90
d	0.00°	Table

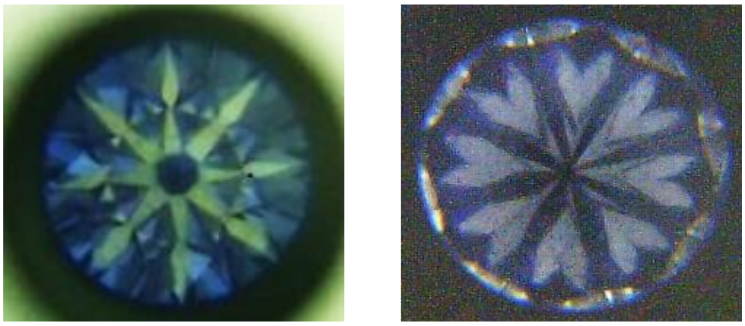
รูปที่ 5.9 แบบพลอยบริลเลี่ยนมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.4 ผลการทดลองและการประเมินผล

ในการประเมินความสมบูรณ์ของการเจียระไนขัดเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้วยเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ งานวิจัยนี้ใช้กล้องดิจิตอลที่มีกำลังขยาย 20 เท่าในการดูคุณภาพพลอย ซึ่งหากการเจียระไนมีคุณภาพผิวที่ดีจะสามารถมองเห็นรูป Heart and Arrow ได้ชัดเจนทั้งด้านบนและด้านล่างของเม็ดพลอยดังแสดงในรูปที่ 5.10 แต่หากการเจียระไนมีคุณภาพผิวที่ไม่ดีจะมองเห็นรูป Heart and Arrow ได้ไม่ชัดเจนและไม่สมบูรณ์ดังแสดงในรูป 5.11

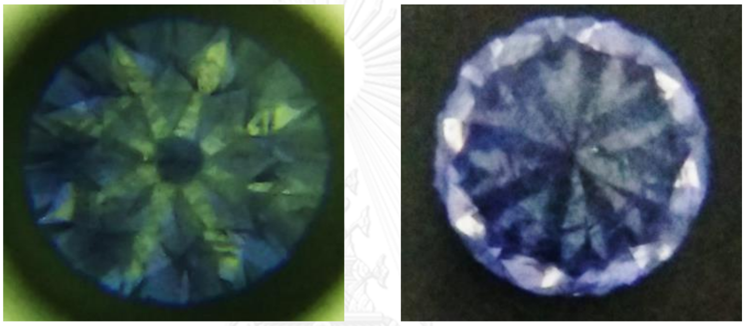
เนื่องจากพลอยกระจกมีค่าหักเหของแสงไม่เพียงพอที่จะเห็นรูป Heart and Arrow ในเม็ดพลอย ดังนั้นการประเมินคุณภาพของการเจียระไนขัดเงาของพลอยกระจกจึงใช้การสังเกต์พื้นผิวของพลอยโดยตรง โดยใช้กล้องดิจิตอลที่มีกำลังขยาย 20 เท่า ซึ่งผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.12 โดยภาพซ้ายเป็นพลอยที่มีผิวราบเรียบ และภาพขวาเป็นพลอยที่มีรอยขีดข่วน



(ก) (ข)

รูปที่ 5.10 คุณภาพผิวราบเรียบของ Heart and Arrow

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง



(ก) (ข)

รูปที่ 5.11 คุณภาพผิวเรียบเกิดริ้วรอย Heart and Arrow

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง

(ก) (ข)

รูปที่ 5.12 คุณภาพผิวพลอยกระจกผ่านกล้องดิจิตอลขยาย 20 เท่า

(ก) ผิวราบเรียบ (ข) ผิวขรุขระ

5.2.4.1 ผลการทดลองที่ 1 พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้านบน (Crown) เป็นดังตารางที่ 5.4 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.11 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.15 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านบน (Crown) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 4.45 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.13 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

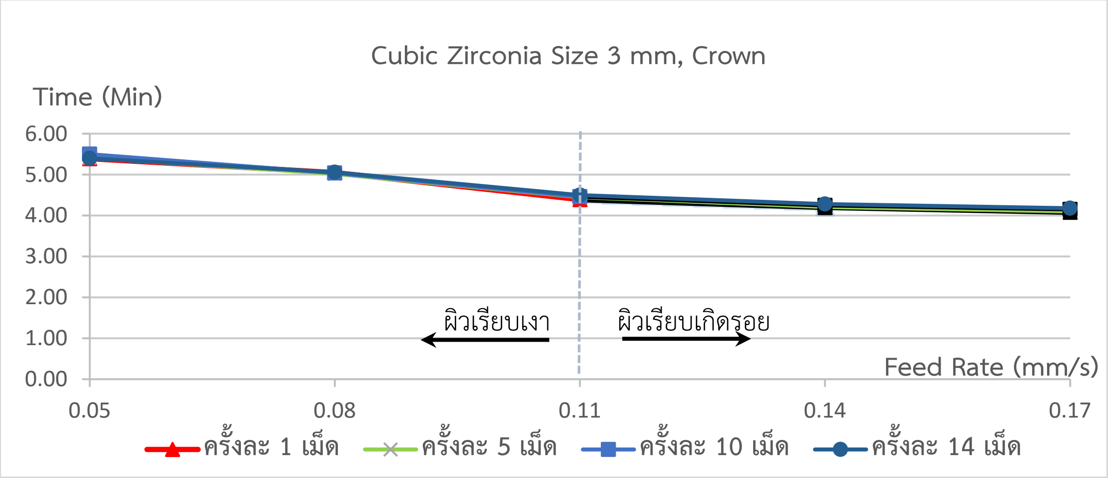
ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้านล่าง (Pavilion) เป็นดังตารางที่ 5.5 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.11 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.16 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านล่าง (Pavilion) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 3.27 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 จากกราฟที่ได้นี้กับตารางที่ 5.4 เมื่อพิจารณาถึงจำนวนเม็ดในการเจียระไนแต่ละครั้งจะพบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ขณะเจียระไนพลอยครั้งละ 14 เม็ดทั้งด้านบนและด้านล่าง พลอยด้านซ้าย 2 เม็ดและด้านขวา 2 เม็ดดังรูป 5.17 เจียระไนเหลี่ยมไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วเชิงเส้นของพลอยในตำแหน่งที่ 1, 2, 13 และ 14 มีความเร็วค่อนข้างมากกว่าพลอยเม็ดอื่น และความราบเรียบของจานก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่ง ถ้าใช้ขนาดของจานเจียระไนขนาดเล็กลงเหลือประมาณ 5.4 นิ้วจะพบว่ามีปัญหาที่เกิดที่เม็ดที่อยู่ที่ปลายทั้งสองจะไม่เกิดขึ้น แต่จำนวนพลอยที่เจียระไนได้แต่ละครั้งก็จะลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านบน

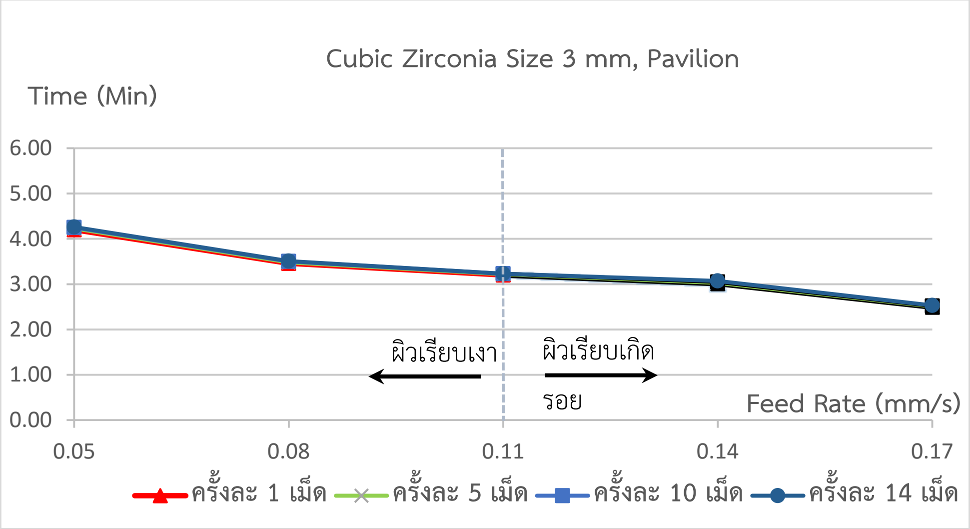
Cubic Zirconia Size 3 mm (Crown,33 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	5.39	ผิวเรียบเงา	5.41	ผิวเรียบเงา	5.5	ผิวเรียบเงา	5.40	ผิวเรียบเงา
0.08	5.05	ผิวเรียบเงา	5.02	ผิวเรียบเงา	5.04	ผิวเรียบเงา	5.06	ผิวเรียบเงา
0.11	4.39	ผิวเรียบเงา	4.45	ผิวเรียบเงา	4.46	ผิวเรียบเงา	4.50	ผิวเรียบเงา
0.14	4.20	ผิวเรียบเกิดรอย	4.27	ผิวเรียบเกิดรอย	4.25	ผิวเรียบเกิดรอย	4.28	ผิวเรียบเกิดรอย
0.17	4.08	ผิวเรียบเกิดรอย	4.1	ผิวเรียบเกิดรอย	4.15	ผิวเรียบเกิดรอย	4.18	ผิวเรียบเกิดรอย



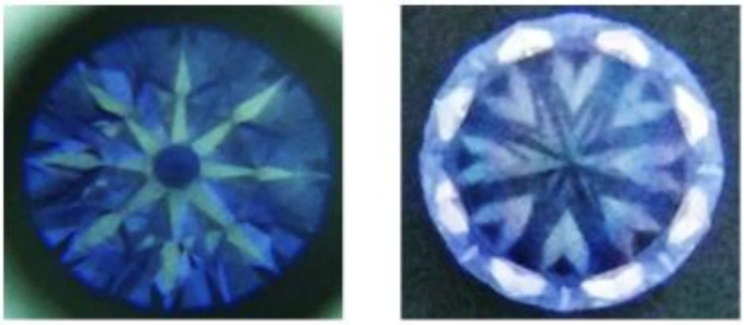
รูปที่ 5.13 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านบน

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านล่าง

Cubic Zirconia Size 3 mm (Pavilion,24 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	4.2	ผิวเรียบเงา	4.23	ผิวเรียบเงา	4.25	ผิวเรียบเงา	4.22	ผิวเรียบเงา
0.08	3.54	ผิวเรียบเงา	3.58	ผิวเรียบเงา	3.57	ผิวเรียบเงา	3.55	ผิวเรียบเงา
0.11	3.27	ผิวเรียบเงา	3.28	ผิวเรียบเงา	3.29	ผิวเรียบเงา	3.25	ผิวเรียบเงา
0.14	3.07	ผิวเรียบเกิดรอย	3.05	ผิวเรียบเกิดรอย	3.02	ผิวเรียบเกิดรอย	3.04	ผิวเรียบเกิดรอย
0.17	2.55	ผิวเรียบเกิดรอย	2.56	ผิวเรียบเกิดรอย	2.55	ผิวเรียบเกิดรอย	2.57	ผิวเรียบเกิดรอย



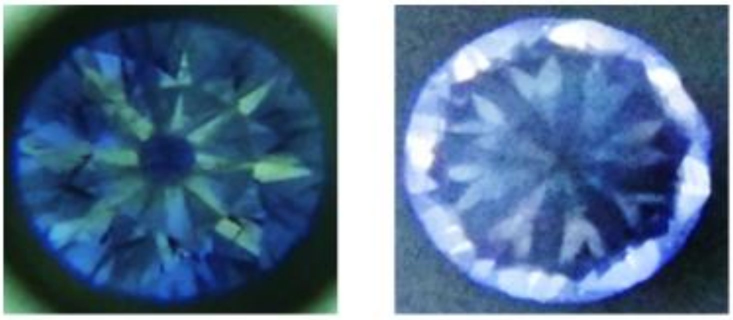
รูปที่ 5.14 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านล่าง



(ก) (ข)

รูปที่ 5.15 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 3 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ

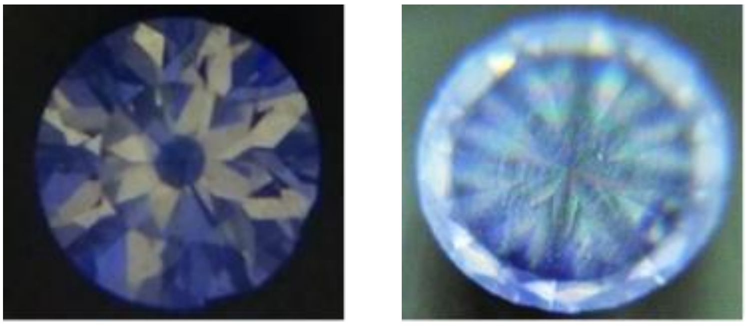
(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง



(ก) (ข)

รูปที่ 5.16 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 3 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดรอย

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง



(ก) (ข)

รูปที่ 5.17 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียขนาด 3 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ด

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง

5.2.4.2 ผลการทดลองที่ 2 พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

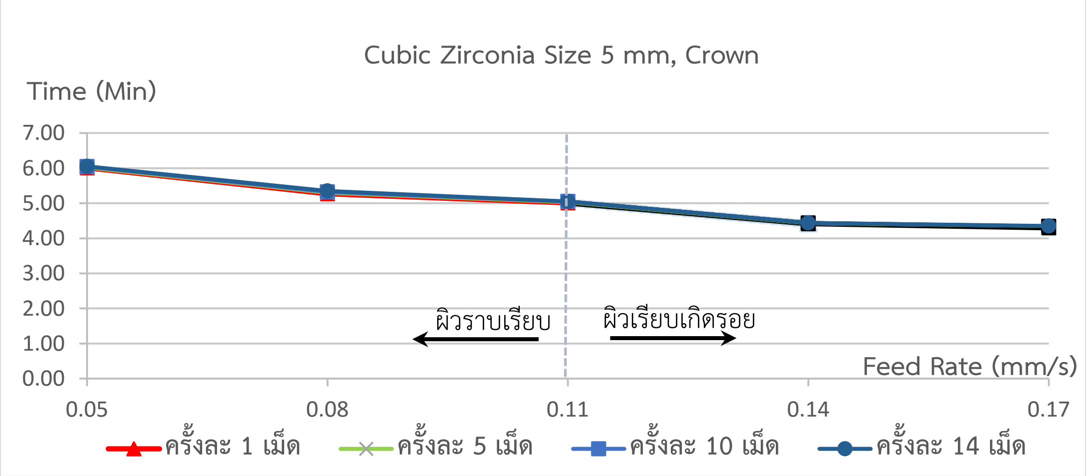
ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้านบน (Crown) เป็นดังตารางที่ 5.6 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.11 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.20 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านบน (Crown) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 5.04 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.20 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้านล่าง (Pavilion) เป็นดังตารางที่ 5.7 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.11 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.21 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านล่าง (Pavilion) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 4.03 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.22 จากกราฟที่ได้นี้กับตารางที่ 5.6 เมื่อพิจารณาถึงจำนวนเม็ดในการเจียระไนแต่ละครั้งจะพบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ขณะเจียระไนพลอยครั้งละ 14 เม็ดทั้งด้านบนและด้านล่าง พลอยด้านซ้าย 2 เม็ดและด้านขวา 2 เม็ดดังรูป 5.17 เจียระไนเหลี่ยมไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านบน

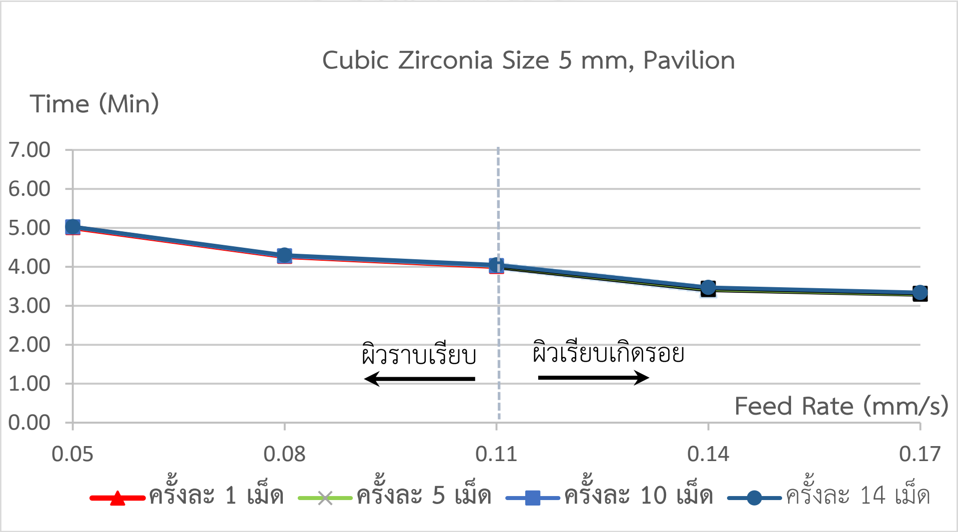
Cubic Zirconia Size 5 mm (Crown,33 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	6.01	ผิวเรียบเงา	6.02	ผิวเรียบเงา	6.04	ผิวเรียบเงา	6.05	ผิวเรียบเงา
0.08	5.27	ผิวเรียบเงา	5.30	ผิวเรียบเงา	5.32	ผิวเรียบเงา	5.35	ผิวเรียบเงา
0.11	5.01	ผิวเรียบเงา	5.03	ผิวเรียบเงา	5.05	ผิวเรียบเงา	5.05	ผิวเรียบเงา
0.14	4.42	ผิวเรียบเกิดรอย	4.43	ผิวเรียบเกิดรอย	4.44	ผิวเรียบเกิดรอย	4.44	ผิวเรียบเกิดรอย
0.17	4.30	ผิวเรียบเกิดรอย	4.34	ผิวเรียบเกิดรอย	4.34	ผิวเรียบเกิดรอย	4.35	ผิวเรียบเกิดรอย



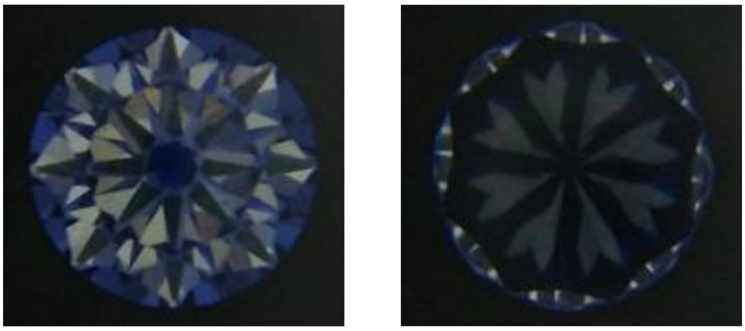
รูปที่ 5.18 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านบน

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านล่าง

Cubic Zirconia Size 5 mm (Pavilion,24 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	5.01	ผิวเรียบเงา	5.02	ผิวเรียบเงา	5.05	ผิวเรียบเงา	5.103	ผิวเรียบเงา
0.08	4.27	ผิวเรียบเงา	4.28	ผิวเรียบเงา	4.28	ผิวเรียบเงา	4.30	ผิวเรียบเงา
0.11	4.01	ผิวเรียบเงา	4.02	ผิวเรียบเงา	4.03	ผิวเรียบเงา	4.05	ผิวเรียบเงา
0.14	3.42	ผิวเรียบเกิดรอย	3.43	ผิวเรียบเกิดรอย	3.45	ผิวเรียบเกิดรอย	3.47	ผิวเรียบเกิดรอย
0.17	3.30	ผิวเรียบเกิดรอย	3.30	ผิวเรียบเกิดรอย	3.32	ผิวเรียบเกิดรอย	3.34	ผิวเรียบเกิดรอย



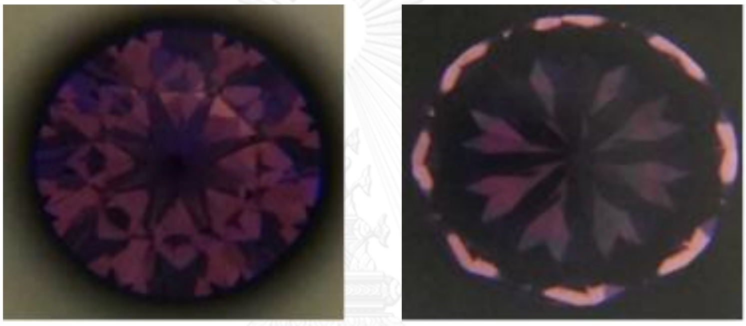
รูปที่ 5.19 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านล่าง



(ก) (ข)

รูปที่ 5.20 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 5 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง



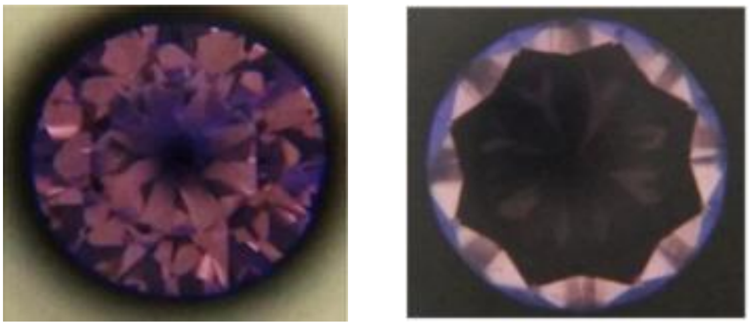
(ก) (ข)

รูปที่ 5.21 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 5 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดรอย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง

CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ก) (ข)

รูปที่ 5.22 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียขนาด 5 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ด

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง

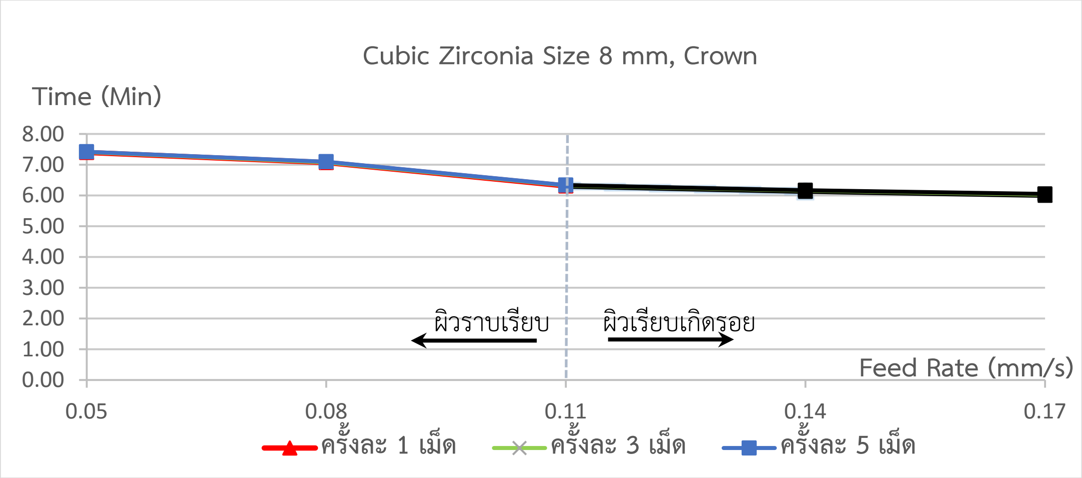
5.2.4.3 ผลการทดลองที่ 3 พลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้านบน (Crown) เป็นดังตารางที่ 5.8 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.11 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.25 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านบน (Crown) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 6.33 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.23 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียด้านล่าง (Pavilion) เป็นดังตารางที่ 5.9 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.11 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.26 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านล่าง (Pavilion) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 5.01 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.24 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านบน

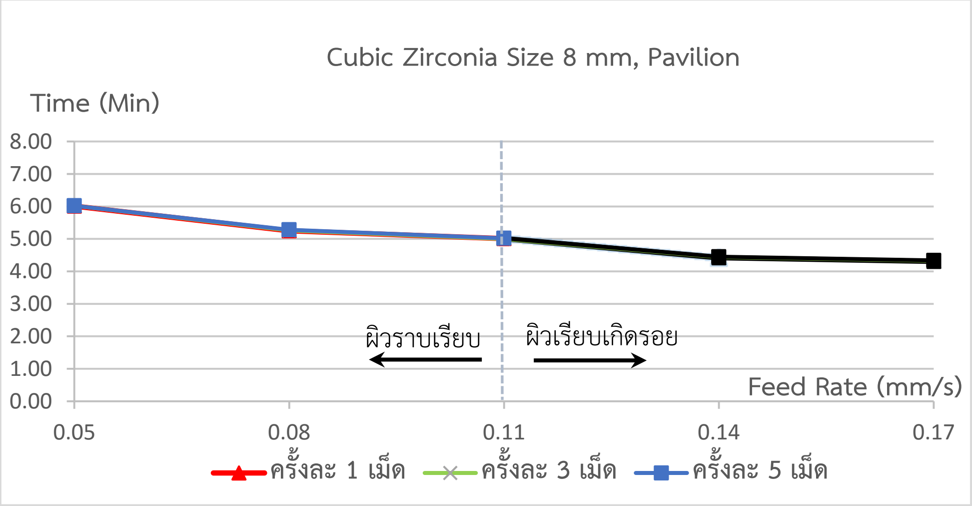
Cubic Zirconia Size 8 mm (Crown,33 Facet)						
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 3 เม็ด		พลอย 5 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	7.40	ผิวเรียบเงา	7.41	ผิวเรียบเงา	7.42	ผิวเรียบเงา
0.08	7.07	ผิวเรียบเงา	7.08	ผิวเรียบเงา	7.10	ผิวเรียบเงา
0.11	6.31	ผิวเรียบเงา	6.33	ผิวเรียบเงา	6.34	ผิวเรียบเงา
0.14	6.14	ผิวเรียบเกิดรอย	6.16	ผิวเรียบเกิดรอย	6.17	ผิวเรียบเกิดรอย
0.17	6.01	ผิวเรียบเกิดรอย	6.03	ผิวเรียบเกิดรอย	6.05	ผิวเรียบเกิดรอย



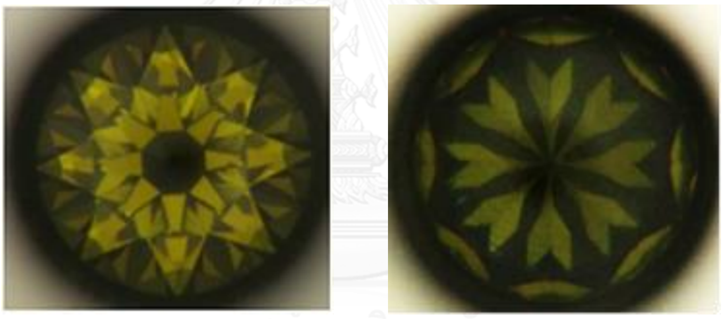
รูปที่ 5.23 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านบน

ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านล่าง

Cubic Zirconia Size 8 mm (Pavilion,24 Facet)						
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 3 เม็ด		พลอย 5 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	6.01	ผิวเรียบเงา	6.02	ผิวเรียบเงา	6.02	ผิวเรียบเงา
0.08	5.25	ผิวเรียบเงา	5.26	ผิวเรียบเงา	5.28	ผิวเรียบเงา
0.11	5.01	ผิวเรียบเงา	5.00	ผิวเรียบเงา	5.02	ผิวเรียบเงา
0.14	4.42	ผิวเรียบเกิดรอย	4.44	ผิวเรียบเกิดรอย	4.45	ผิวเรียบเกิดรอย
0.17	4.31	ผิวเรียบเกิดรอย	4.33	ผิวเรียบเกิดรอย	4.34	ผิวเรียบเกิดรอย



รูปที่ 5.24 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านล่าง

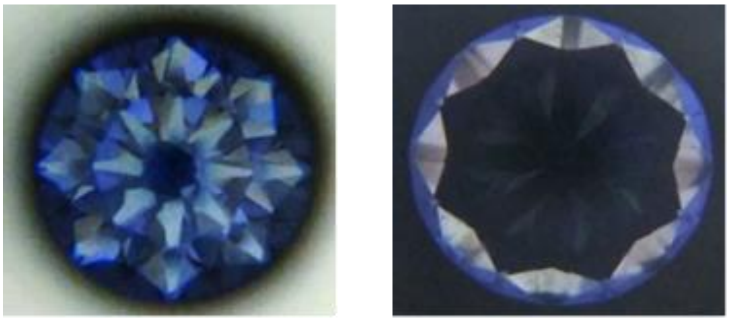


(ก) (ข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 5.25 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 8 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง



(ก) (ข)

รูปที่ 5.26 ภาพถ่ายพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย 8 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดรอย

(ก) มองจากด้านบน (ข) มองจากด้านล่าง

5.2.4.4 ผลการทดลองที่ 4 พลอยกระจก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

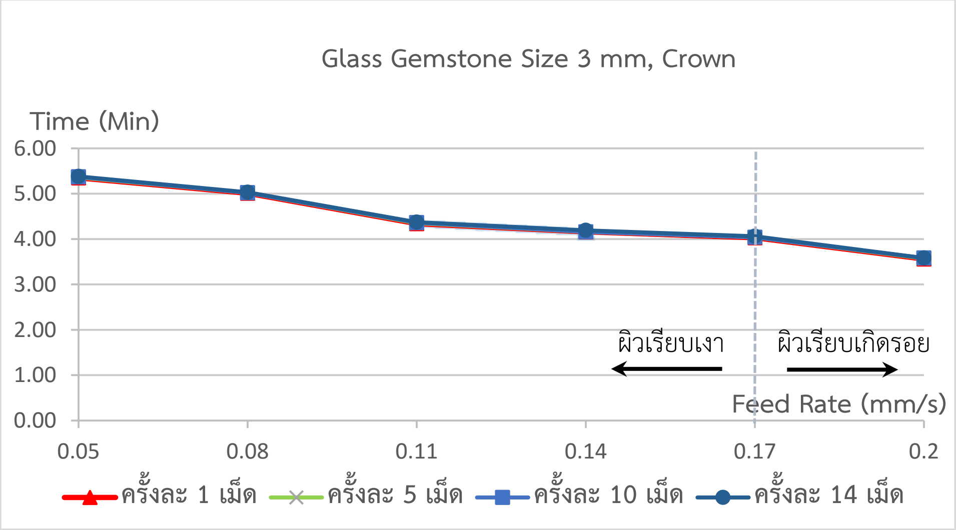
ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยกระจกด้านบน (Crown) เป็นดังตารางที่ 5.10 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.29 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านบน (Crown) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 4.04 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.27 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยกระจกด้านล่าง (Pavilion) เป็นดังตารางที่ 5.11 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.30 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านล่าง (Pavilion) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 2.51 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.28 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ขณะเจียระไนพลอยครั้งละ 14 เม็ดทั้งด้านบนและด้านล่าง พลอยด้านซ้าย 2 เม็ดและด้านขวา 2 เม็ดดังรูป 5.17 เจียระไนเหลี่ยมไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 3 มิลลิเมตร ด้านบน

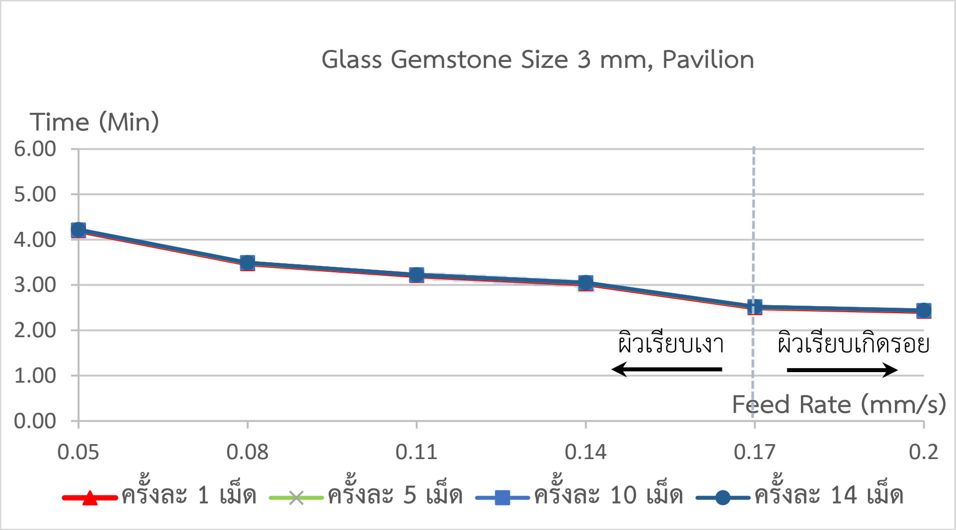
Glass Gemstone Size 3 mm (Crown,33 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	5.35	ผิวเรียบเงา	5.36	ผิวเรียบเงา	5.37	ผิวเรียบเงา	5.38	ผิวเรียบเงา
0.08	5.01	ผิวเรียบเงา	5.02	ผิวเรียบเงา	5.02	ผิวเรียบเงา	5.03	ผิวเรียบเงา
0.11	4.34	ผิวเรียบเงา	4.35	ผิวเรียบเงา	4.36	ผิวเรียบเงา	4.37	ผิวเรียบเงา
0.14	4.16	ผิวเรียบเงา	4.16	ผิวเรียบเงา	4.16	ผิวเรียบเงา	4.19	ผิวเรียบเงา
0.17	4.03	ผิวเรียบเงา	4.04	ผิวเรียบเงา	4.04	ผิวเรียบเงา	4.06	ผิวเรียบเงา
0.20	3.59	ผิวเรียบเกิดรอย	3.57	ผิวเรียบเกิดรอย	3.58	ผิวเรียบเกิดรอย	3.58	ผิวเรียบเกิดรอย



รูปที่ 5.27 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ขนาด 3 มิลลิเมตรด้านบน

ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 3 มิลลิเมตร ด้านล่าง

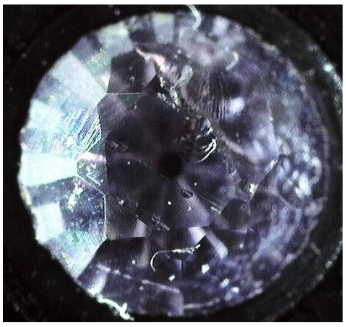
Glass Gemstone Size 3 mm (Pavilion,24 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	4.20	ผิวเรียบเงา	4.21	ผิวเรียบเงา	4.21	ผิวเรียบเงา	4.22	ผิวเรียบเงา
0.08	3.47	ผิวเรียบเงา	3.48	ผิวเรียบเงา	3.49	ผิวเรียบเงา	3.49	ผิวเรียบเงา
0.11	3.21	ผิวเรียบเงา	3.22	ผิวเรียบเงา	3.22	ผิวเรียบเงา	3.22	ผิวเรียบเงา
0.14	3.03	ผิวเรียบเงา	3.04	ผิวเรียบเงา	3.05	ผิวเรียบเงา	3.05	ผิวเรียบเงา
0.17	2.50	ผิวเรียบเงา	2.51	ผิวเรียบเงา	2.52	ผิวเรียบเงา	2.52	ผิวเรียบเงา
0.20	2.42	ผิวเรียบเกิดรอย	2.43	ผิวเรียบเกิดรอย	2.43	ผิวเรียบเกิดรอย	2.44	ผิวเรียบเกิดรอย



รูปที่ 5.28 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านล่าง

รูปที่ 5.29 ภาพถ่ายพลอยกระจก 3 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ

รูปที่ 5.30 ภาพถ่ายพลอกระจก 3 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดริ้วรอย



รูปที่ 5.31 ภาพถ่ายพลอยกระจกขนาด 3 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ดด้านข้าง

5.2.4.5 ผลการทดลองที่ 5 พลอยกระจก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

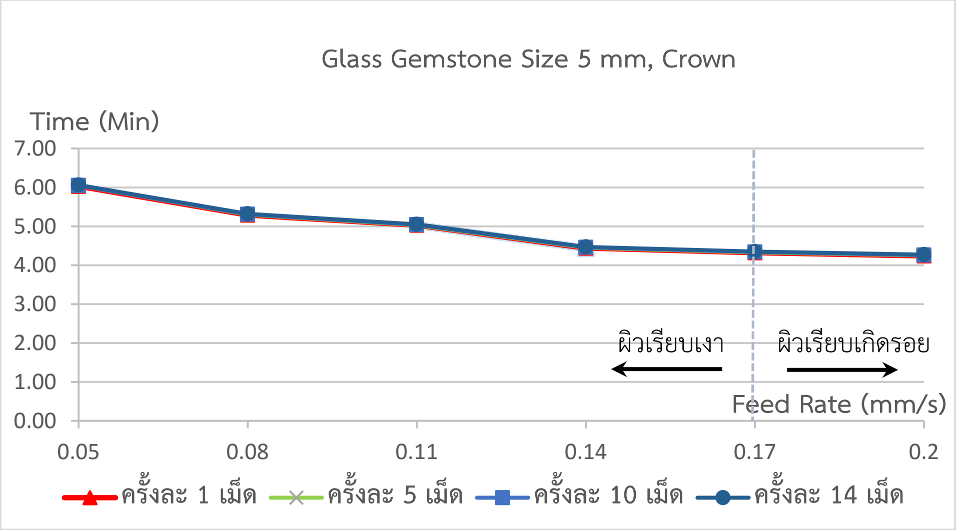
ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยกระจกด้านบน (Crown) เป็นดังตารางที่ 5.12 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.34 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านบน (Crown) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 4.34 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.32 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยกระจกด้านล่าง (Pavilion) เป็นดังตารางที่ 5.13 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.35 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านล่าง (Pavilion) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 3.37 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.33 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ขณะเจียระไนพลอยครั้งละ 14 เม็ดทั้งด้านบนและด้านล่าง พลอยด้านซ้าย 2 เม็ดและด้านขวา 2 เม็ดดังรูป 5.36 เจียระไนเหลี่ยมไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านบน

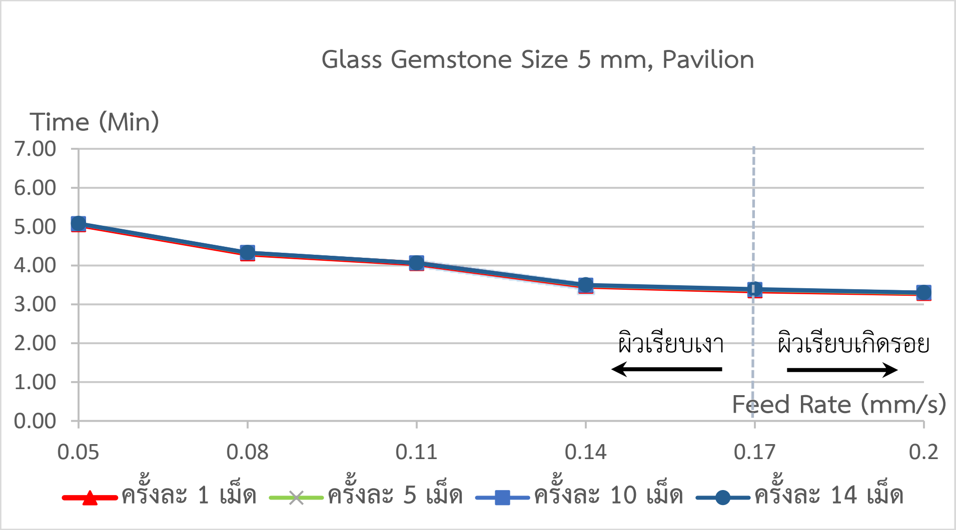
Glass Gemstone Size 5 mm (Crown,33 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	6.03	ผิวเรียบเงา	6.05	ผิวเรียบเงา	6.05	ผิวเรียบเงา	6.06	ผิวเรียบเงา
0.08	5.29	ผิวเรียบเงา	5.30	ผิวเรียบเงา	5.31	ผิวเรียบเงา	5.32	ผิวเรียบเงา
0.11	5.03	ผิวเรียบเงา	5.03	ผิวเรียบเงา	5.04	ผิวเรียบเงา	5.05	ผิวเรียบเงา
0.14	4.44	ผิวเรียบเงา	4.45	ผิวเรียบเงา	4.46	ผิวเรียบเงา	4.47	ผิวเรียบเงา
0.17	4.32	ผิวเรียบเงา	4.33	ผิวเรียบเงา	4.34	ผิวเรียบเงา	4.35	ผิวเรียบเงา
0.20	4.24	ผิวเรียบเกิดรอย	4.25	ผิวเรียบเกิดรอย	4.26	ผิวเรียบเกิดรอย	3.27	ผิวเรียบเกิดรอย



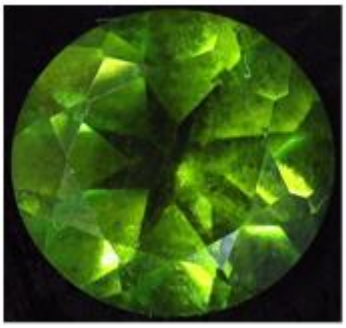
รูปที่ 5.32 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านบน

ตารางที่ 5.13 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตร ด้านล่าง

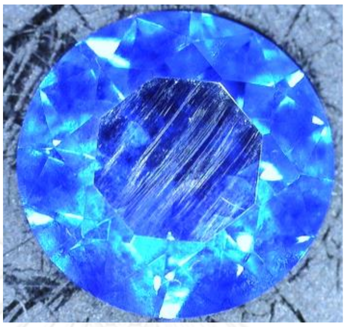
Glass Gemstone Size 5 mm (Pavilion,24 Facet)								
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 5 เม็ด		พลอย 10 เม็ด		พลอย 14 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	5.05	ผิวเรียบเงา	5.07	ผิวเรียบเงา	5.07	ผิวเรียบเงา	5.08	ผิวเรียบเงา
0.08	4.30	ผิวเรียบเงา	4.32	ผิวเรียบเงา	4.33	ผิวเรียบเงา	4.33	ผิวเรียบเงา
0.11	4.05	ผิวเรียบเงา	4.06	ผิวเรียบเงา	4.06	ผิวเรียบเงา	4.06	ผิวเรียบเงา
0.14	3.47	ผิวเรียบเงา	3.48	ผิวเรียบเงา	3.49	ผิวเรียบเงา	3.50	ผิวเรียบเงา
0.17	3.35	ผิวเรียบเงา	3.37	ผิวเรียบเงา	3.38	ผิวเรียบเงา	3.39	ผิวเรียบเงา
0.20	3.28	ผิวเรียบเกิดรอย	3.29	ผิวเรียบเกิดรอย	3.30	ผิวเรียบเกิดรอย	3.30	ผิวเรียบเกิดรอย



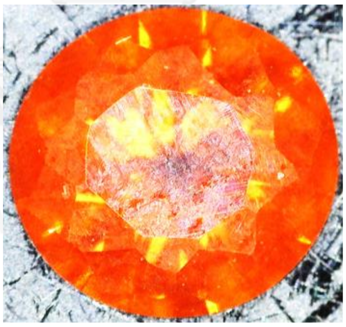
รูปที่ 5.33 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ขนาด 5 มิลลิเมตรด้านล่าง



รูปที่ 5.34 ภาพถ่ายพลอยกระจก 5 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ



รูปที่ 5.35 ภาพถ่ายพลอกระจก 5 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดริ้วรอย



รูปที่ 5.36 ภาพถ่ายพลอยกระจกขนาด 5 มิลลิเมตรจากการเจียระไน 14 เม็ดด้านข้าง

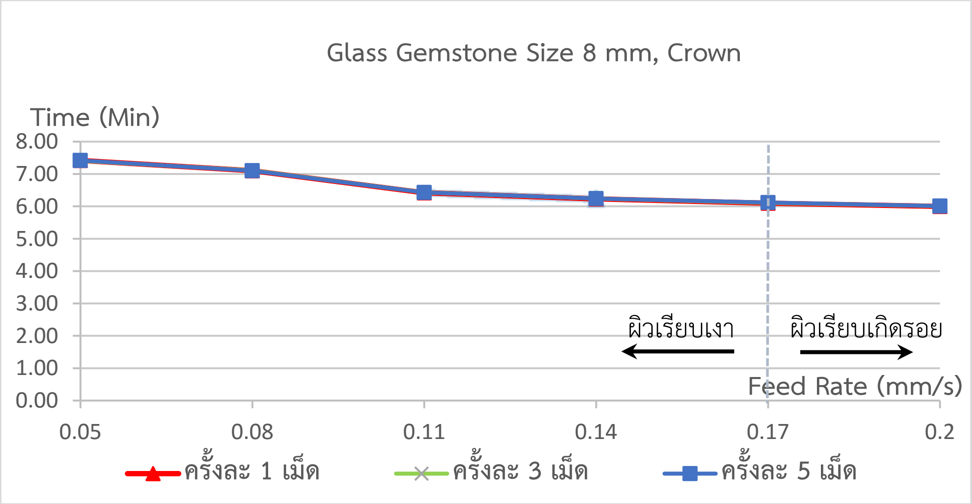
5.2.4.6 ผลการทดลองที่ 6 พลอยกระจก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยกระจกด้านบน (Crown) เป็นดังตารางที่ 5.14 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.39 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านบน (Crown) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 6.11 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.37 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลที่ได้จากการทดลองเจียระไนพลอยกระจกด้านล่าง (Pavilion) เป็นดังตารางที่ 5.15 ซึ่งพบว่าอัตราป้อนที่เร็วที่สุดที่ส่งผลให้คุณภาพผิวของพลอยเรียบเงาคือ 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 5.40 โดยมีระยะเวลาเจียระไนด้านล่าง (Pavilion) ที่เร็วที่สุดที่ได้ผิวคุณภาพดีเท่ากับ 4.32 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน เวลาและคุณภาพของเม็ดพลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.38 พบว่าระยะเวลาที่เจียระไนแต่ละผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.14 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านบน

Glass Gemstone Size 8 mm (Crown,33 Facet)						
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 3 เม็ด		พลอย 5 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	7.42	ผิวเรียบเงา	7.41	ผิวเรียบเงา	7.42	ผิวเรียบเงา
0.08	7.10	ผิวเรียบเงา	7.11	ผิวเรียบเงา	7.10	ผิวเรียบเงา
0.11	6.42	ผิวเรียบเงา	6.43	ผิวเรียบเงา	6.34	ผิวเรียบเงา
0.14	6.23	ผิวเรียบเงา	6.24	ผิวเรียบเงา	6.24	ผิวเรียบเงา
0.17	6.10	ผิวเรียบเงา	6.11	ผิวเรียบเงา	6.12	ผิวเรียบเงา
0.20	6.00	ผิวเรียบเกิดรอย	6.01	ผิวเรียบเกิดรอย	6.01	ผิวเรียบเกิดรอย

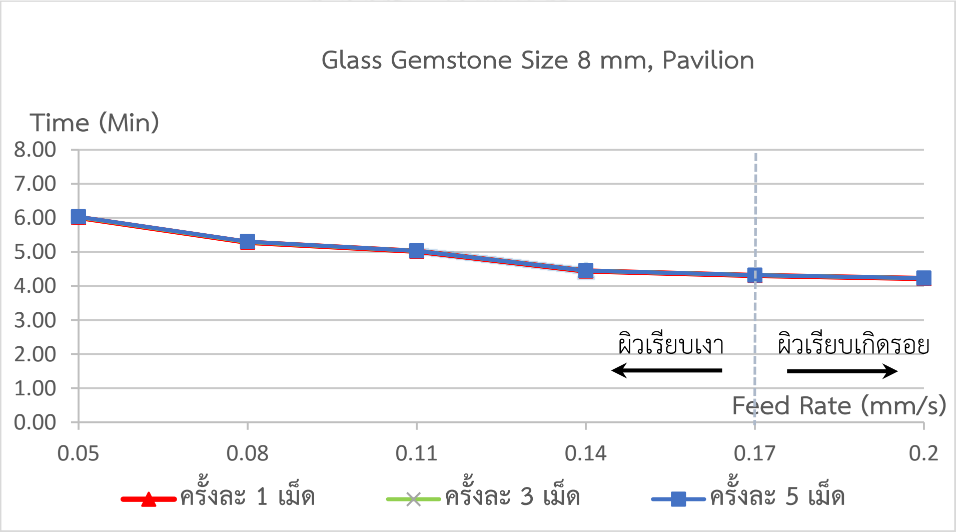


รูปที่ 5.37 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยกระจก

ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านบน

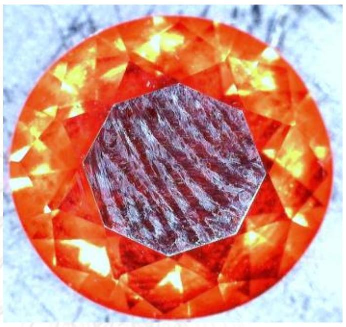
ตารางที่ 5.15 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพปรับอัตราป้อนพลอยกระจก ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านล่าง

Glass Gemstone Size 8 mm (Pavilion,33 Facet)						
Feed Rate (mm/s)	พลอย 1 เม็ด		พลอย 3 เม็ด		พลอย 5 เม็ด	
	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ	เวลา (min)	คุณภาพ
0.05	6.01	ผิวเรียบเงา	6.02	ผิวเรียบเงา	6.03	ผิวเรียบเงา
0.08	5.28	ผิวเรียบเงา	5.29	ผิวเรียบเงา	5.30	ผิวเรียบเงา
0.11	5.02	ผิวเรียบเงา	5.03	ผิวเรียบเงา	5.03	ผิวเรียบเงา
0.14	4.44	ผิวเรียบเงา	4.45	ผิวเรียบเงา	4.45	ผิวเรียบเงา
0.17	4.31	ผิวเรียบเงา	4.32	ผิวเรียบเงา	4.32	ผิวเรียบเงา
0.20	4.22	ผิวเรียบเกิดรอย	4.23	ผิวเรียบเกิดรอย	4.23	ผิวเรียบเกิดรอย



รูปที่ 5.38 ผลของอัตราป้อนที่มีผลต่อคุณภาพและเวลาการขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ขนาด 8 มิลลิเมตรด้านล่าง

รูปที่ 5.39 ภาพถ่ายพลอยกระจก 8 มิลลิเมตรผิวราบเรียบ



รูปที่ 5.40 ภาพถ่ายพลอกระจก 8 มิลลิเมตรผิวเรียบเกิดริ้วรอย

5.2.5 สรุปผลการทดลอง

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอยทำการเจียระไนทั้งหมด 3 ขนาดคือ 3,5 และ 8 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ที่ใช้จานเจียระไนทองแดงที่ถูกกรีดร่องและทาด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมโครเมตรผสมครีมคือ ค่าความเร็วจานหมุนเท่ากับ 2100 รอบต่อนาที ระยะเวลาแช่พลอยเท่ากับ 2 วินาที และอัตราการป้อนเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตรต่อวินาที และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ที่ใช้จานเจียระไนทองแดงที่ถูกกรีดร่องและทาด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมโครเมตรผสมครีมคือ ค่าความเร็วจานหมุนเท่ากับ 2100 รอบต่อนาที ระยะเวลาแช่พลอยเท่ากับ 2 วินาที และอัตราการป้อนเท่ากับ 1.7 มิลลิเมตรต่อวินาที

นอกจากนี้ผลจากการทดลองโดยใช้พลอยหลายขนาด (3, 5, 8 มิลลิเมตร) ซึ่งถูกเจียระไนพร้อมกันหลายเม็ด (1, 3, 5, 10, 14 เม็ด) พบว่าขนาดของเม็ดพลอยมีผลต่อเวลาในการเจียระไนโดยพลอยที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการเจียระไนมากกว่าพลอยที่มีขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามขนาดและจำนวนของพลอยไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเจียระไน ซึ่งพลอยชนิดเดียวกันแต่ขนาด

ต่างกันสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เหมือนกันได้ และพลอยชนิดเดียวกันที่ขนาดเท่ากัน แต่เจียระไนพร้อมกันหลายเม็ดสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันได้ โดยคุณภาพผิวพลอยที่ได้ไม่ต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6 อภิปรายและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยนี้ ปัญหาและอุปสรรคระหว่างขั้นตอนการทดลอง รวมถึงแนวทางในการพัฒนาวิจัยในอนาคต

6.1 บทสรุปของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์เรื่องการปรับปรุงสมรรถนะการเจียระไนพลอยของเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการเจียระไนพลอยที่เหมาะสมและได้มาตรฐานสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบผลิตขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีการทดลอง 2 ส่วนคือ การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม และการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอย

ขั้นตอนในงานวิจัยนี้เริ่มจากศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ ซึ่งพบว่าการนำเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติมาใช้ในอุตสาหกรรมนั้นสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าคนและสามารถควบคุมคุณภาพของพลอยได้ดี ต่อมาจึงได้ศึกษามาตรฐานทางด้านคุณภาพของการเจียระไนอัญมณี คุณสมบัติและรูปร่างที่นิยมในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ หลังจากนั้นจึงเริ่มศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกับคุณภาพการเจียระไนด้วยเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนขึ้นเหลี่ยม พลอยที่ใช้ในการทดลองคือพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรสูง 10 มิลลิเมตร ทดลองเจียระไนมุม 45 องศาเจียระไน 1 เหลี่ยมด้วยความลึก 3 มิลลิเมตร จากนั้นปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ เบอร์จานเจียระไน อัตราป้อน ความเร็วจานหมุนและระยะเวลาแช่พลอย เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีแต่เครื่องมือวัดความขรุขระแต่ไม่มีเครื่องที่ใช้วัดความราบเรียบจึงใช้กล้องกำลังขยาย 20 เท่าส่องผิวเพื่อดูคุณภาพแต่ละผลการทดลอง จากการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้คุณภาพผิวพลอยราบเรียบคือ ใช้จานเจียระไนเบอร์ 800 อัตราป้อน 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วจานหมุน 2100 รอบต่อนาที และระยะเวลาแช่พลอย 2 วินาที

หลังจากนั้นจึงทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอย ซึ่งเจียระไนเป็นรูปทรงบริลเลี่ยน โดยพลอยที่ใช้ในการทดลองคือพลอยคิวบิค เซอร์โคเนียที่มีความแข็งอยู่ที่ 8.0 - 8.5 Mohs และพลอยกระจกที่มีค่าความแข็งอยู่ที่ 4.5 - 6.5 Mohs การทดลองทำการเจียระไนทั้งหมด 3 ขนาดคือ 3,5 และ 8 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอยคิวบิค เซอร์โคเนีย ที่ใช้จานเจียระไนทองแดงที่ถูกกรีดร่องและทาด้วยผงเพชร

ขนาด 1 ไมโครเมตรผสมครีมคือ ค่าความเร็วจานหมุนเท่ากับ 2100 รอบต่อนาที ระยะเวลาแช่พลอยเท่ากับ 2 วินาที และอัตราการป้อนเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตรต่อวินาที และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขัดขึ้นเงาพลอยกระจก ที่ใช้จานเจียระไนทองแดงที่ถูกกรีดร่องและทาด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมโครเมตรผสมครีมคือ ค่าความเร็วจานหมุนเท่ากับ 2100 รอบต่อนาที ระยะเวลาแช่พลอยเท่ากับ 2 วินาที และอัตราการป้อนเท่ากับ 1.7 มิลลิเมตรต่อวินาที

นอกจากนี้ผลจากการทดลองโดยใช้พลอยหลายขนาด (3, 5, 8 มิลลิเมตร) ซึ่งถูกเจียระไนพร้อมกันหลายเม็ด (1, 3, 5, 10, 14 เม็ด) พบว่าขนาดของเม็ดพลอยมีผลต่อเวลาในการเจียระไน โดยพลอยที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการเจียระไนมากกว่าพลอยที่มีขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามขนาดและจำนวนของพลอยไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเจียระไน ซึ่งพลอยชนิดเดียวกันแต่ขนาดต่างกันสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เหมือนกันได้ และพลอยชนิดเดียวกันที่ขนาดเท่ากัน แต่เจียระไนพร้อมกันหลายเม็ดสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันได้ โดยคุณภาพผิวพลอยที่ได้ไม่ต่างกัน

6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานวิจัย

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การตั้งชุดทวนจับพลอยให้ขนานกลับจานเจียระไนพลอยต้องการความแม่นยำที่สูงมากในการเจียระไนครั้งที่ 14 เม็ดทำได้ยากมาก เนื่องจากอุปกรณ์อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับระดับมีความละเอียดไม่เพียงพอ ชิ้นส่วนที่ทำขึ้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากแบบทำให้การประกอบชิ้นส่วนมีความผิดพลาด
2. ความสกปรกของชุดจับทวน ทวนติดพลอย เนื่องจากการเจียระไนพลอยมีการใช้น้ำหล่อเย็นช่วยลดอุณหภูมิในการเจียระไนพลอย ทำให้น้ำที่หล่อเย็นผมกับเนื้อพลอยที่ถูกเจียระไนกระเด็นเข้าไปติด ด้ามพลอยขณะทำการเจียระไน ทำให้การหมุนเหลี่ยมองศาเกิดความคลาดเคลื่อน
3. การเจียระไนพลอยครั้งละ 14 เม็ด พลอยด้านซ้าย 2 เม็ดและด้านขวา 2 เม็ด เจียระไนเหลี่ยมไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วเชิงเส้นของพลอยในตำแหน่งที่ 1, 2, 13 และ 14 มีความเร็วค่อนข้างมากกว่าพลอยเม็ดอื่น ถ้าใช้ขนาดของจานเจียระไนขนาดเล็กลงเหลือประมาณ 5.4 นิ้วจะพบว่ามีปัญหาที่เกิดที่เม็ดที่อยู่ที่ปลายทั้งสองจะไม่เกิดขึ้น ถ้ายังคงขนาดจานเท่าเดิม โดยที่ต้องการให้พลอยทั้ง 14 เม็ดมีคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ ความเร็วของจานเจียระไนจะต้องน้อยลง แต่ก็จะมีผลกับการปรับความเร็วของการเจียระไนและเวลาของการแช่ตอนเจียระไนด้วย

4. การเคลือบจานเจียระไนนั้นมีความหนาไม่เท่ากัน การเปลี่ยนจานเจียระไนในแต่ละครั้งต้องทำการสอบเทียบทุกครั้ง

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างงานวิจัยนี้จะได้กล่าวถึงข้อเสนอแนะสำหรับพัฒนางานวิจัยในอนาคต

1. ปรับปรุงให้เพิ่มน้ำหล่อเย็นให้มีหลายตำแหน่ง
2. ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันน้ำหล่อเย็นกระเด็นใส่ชุดจับทวน
3. เปลี่ยนวัสดุทำทวนยึดพลอยไม่ให้เกิดสนิม
4. พลอยที่ใช้ในการทดลองควรมีสีทึบ หลังจากเจียระไนพลอยเสร็จแล้วนั้นพลอยจะมีความแวววาวสูงทำให้รอยขีดข่วนมองเห็นได้ไม่ชัดอาจจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน
5. ออกแบบทวนยึดพลอยให้มีลักษณะอื่นๆที่สามารถยึดพลอยที่ถูกขึ้นรูปเบื้องต้นด้วยวิธีอื่นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

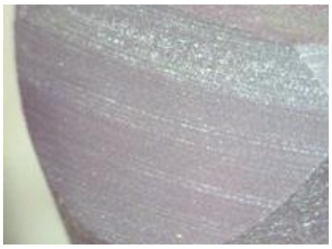
รายการอ้างอิง

1. จิตรา รู้กิจการพานิช และ คมสัน จิระภัทรศิลปะ, ต้นแบบเครื่องเจียระไนอัญมณีความเร็วสูง 2548, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. สมจินต์ ธนานันทศิริ, การออกแบบและสร้างเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ. 2549, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. การเกรียงไกร สินธุเดชากุล, การออกแบบอุปกรณ์จับด้ามพลอยแบบหลายด้ามสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. ปรัญชา พิพัฒนานนท์, ระบบควบคุมสำหรับเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. ชนัยณัฐ แก้วทอง, การควบคุมแรงสำหรับการเจียระไนพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยจุฬาแบบอัตโนมัติ. 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
6. สุมาลี เทพโสพรรณ, วิเคราะห์อัญมณี. พิมพ์ครั้งที่ 2 ed. 2539, สถาบันอัญมณีวิทย์ (ประเทศไทย).
7. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และ สุปาณี ลิ้มสุวรรณ, ฟิสิกส์กับอัญมณี. 2544.
8. Glenn and Martha Vargas, *Diagrams for Facetting*. 2 ed. 1978.
9. Marcel Tolkowsky, *Diamond Design*. 1919.
10. สุมาลี เทพโสพรรณ, เพชร. 2544.
11. ชาลี ตระการกูล, เทคโนโลยีซีเอ็นซี *CNC Technology*. 2550.
12. ชุมพล เหมพรหมราช, อนันต์ สุตาพันธ์, and วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, *Gemstone Grinding Process Improvement by using Impedance Force Control*, in *MATEC Web of Conferences* 26. 2015.
13. ชุมพล เหมพรหมราช และ วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, การขัดขึ้นเงาพลอยด้วยเครื่องเจียระไนพลอยแบบอัตโนมัติ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27. 2556.
14. John J. Craig, *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. 2 ed. 1989.
15. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, การควบคุมระบบพลศาสตร์ 2ed. 2548.
16. กฤษณะ อุตมัง, การพัฒนาระบบสร้างแบบจำลองสามมิติแบบโซลิดโดยใช้พาราโซลดเคอร์เนล. 2544, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

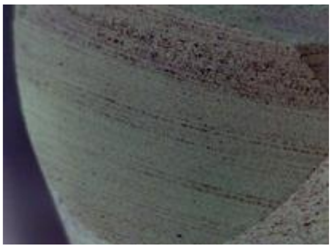
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจียระไนเหลี่ยมพลอย

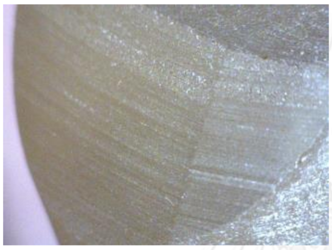


(ก)



(ข)

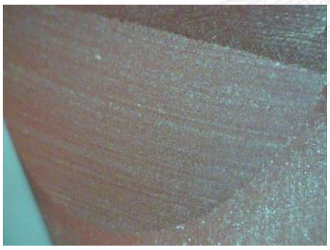
รูปที่ ก.1 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 1 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก)

(ข)

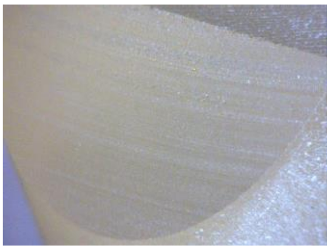
รูปที่ ก.2 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 2 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก)

(ข)

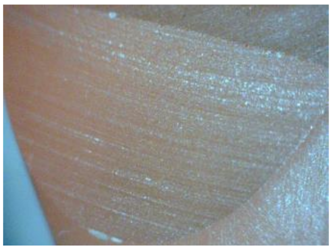
รูปที่ ก.3 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 3 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก)

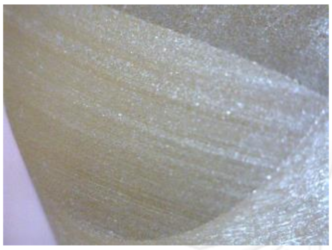
(ข)

รูปที่ ก.4 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 4 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



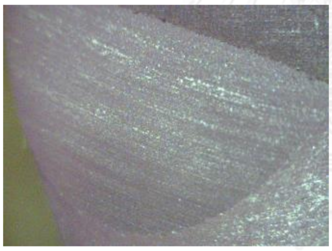
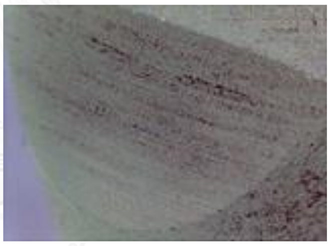
(ก) (ข)

รูปที่ ก.5 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 5 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

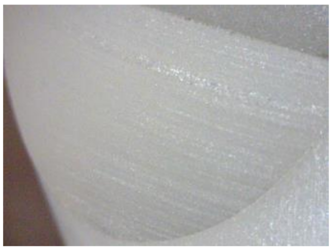
รูปที่ ก.6 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 6 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

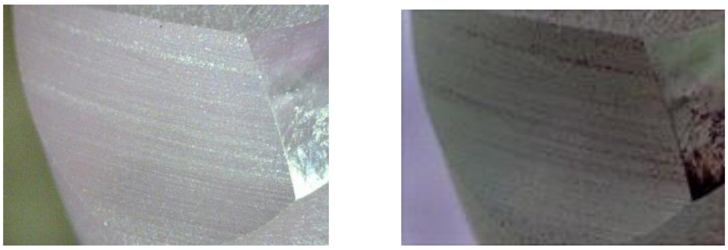
(ก) (ข)

รูปที่ ก.7 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 7 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



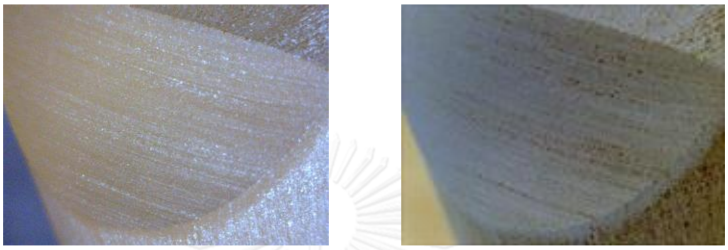
(ก) (ข)

รูปที่ ก.8 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 8 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



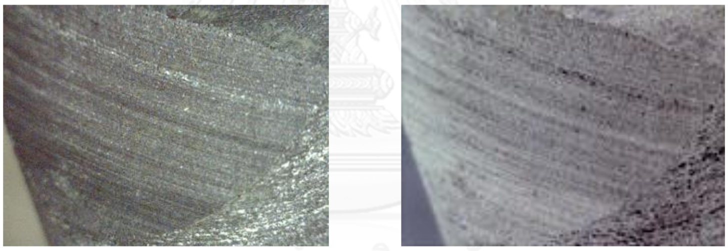
(ก) (ข)

รูปที่ ก.9 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 9 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.10 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 10 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

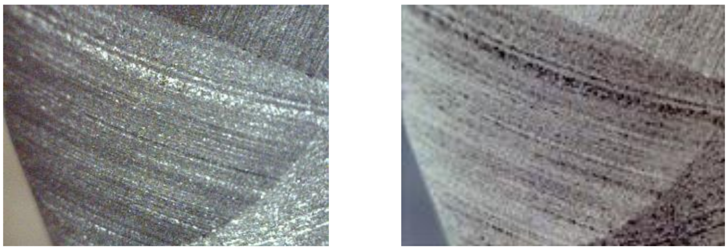


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

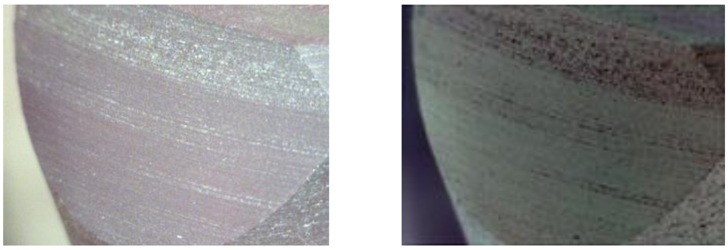
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก.11 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 11 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.12 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 12 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

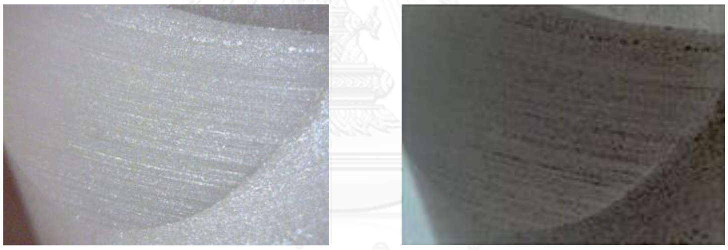


(ก) (ข)

รูปที่ ก.13 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 13 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

(ก) (ข)

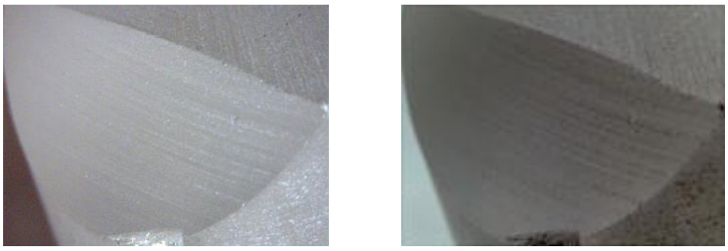
รูปที่ ก.14 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 14 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

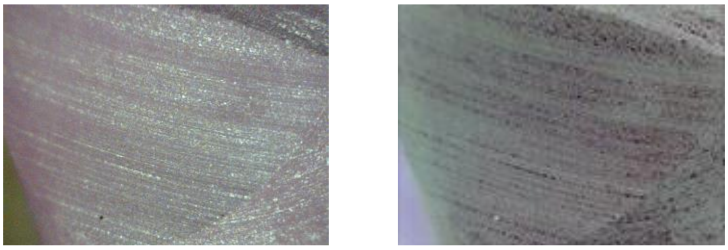
(ก) (ข)

รูปที่ ก.15 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 15 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



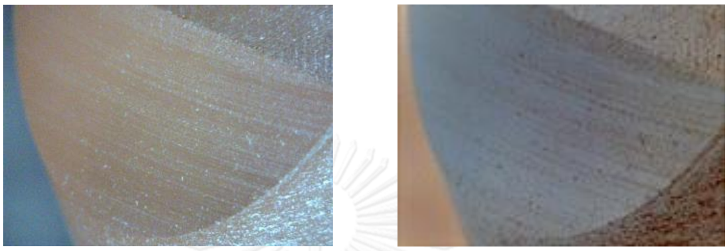
(ก) (ข)

รูปที่ ก.16 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 16 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



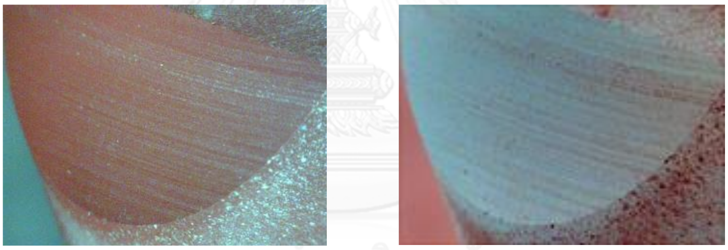
(ก) (ข)

รูปที่ ก.17 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 17 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

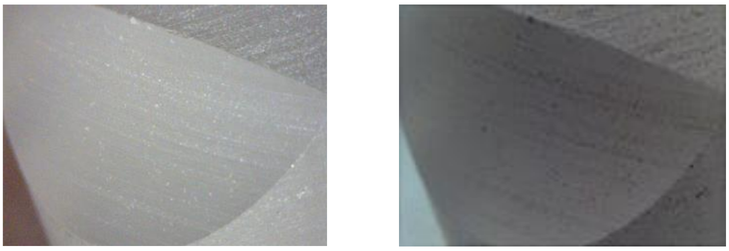
รูปที่ ก.18 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 18 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

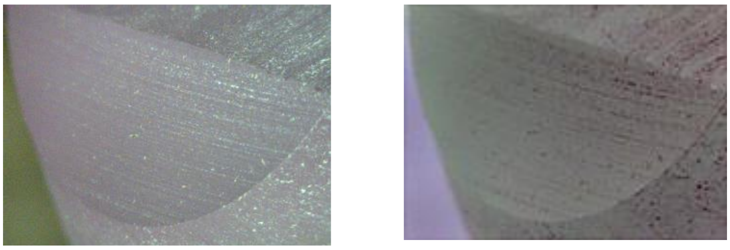
(ก) (ข)

รูปที่ ก.19 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 19 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



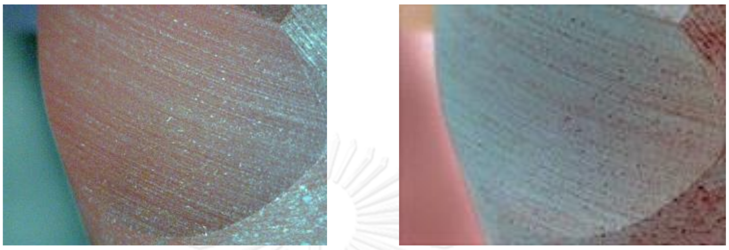
(ก) (ข)

รูปที่ ก.20 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 20 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



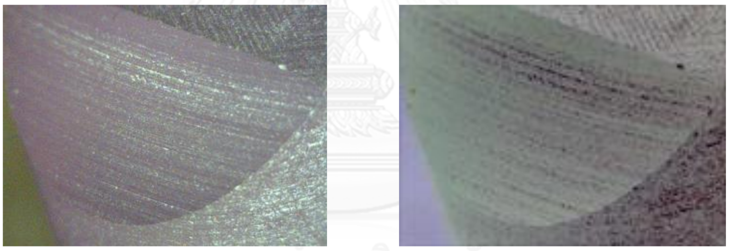
(ก) (ข)

รูปที่ ก.21 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 21 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

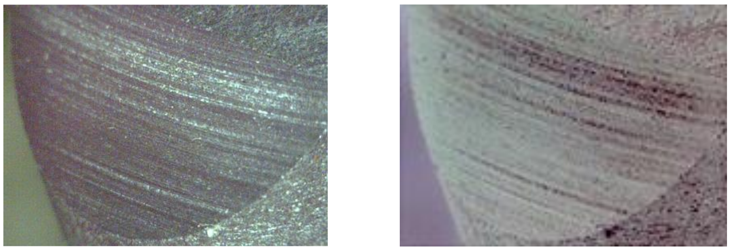
รูปที่ ก.22 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 22 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

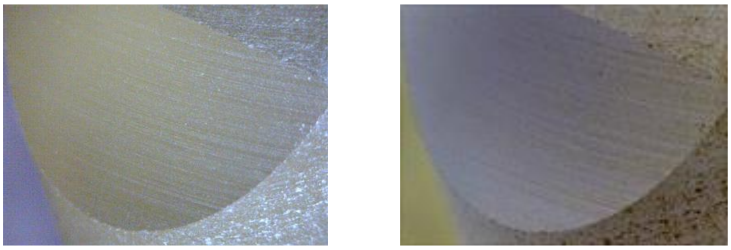
(ก) (ข)

รูปที่ ก.23 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 23 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



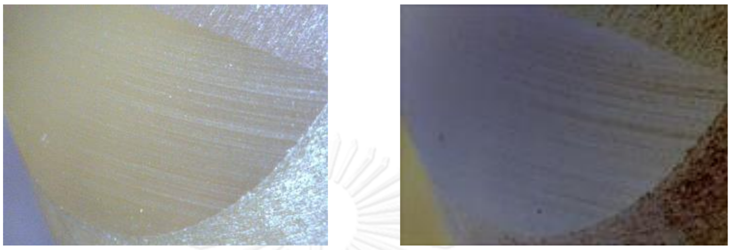
(ก) (ข)

รูปที่ ก.24 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 24 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.25 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 25 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



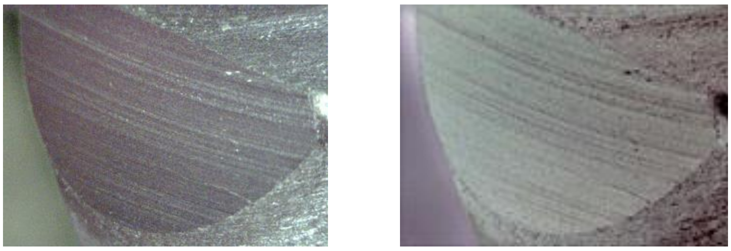
(ก) (ข)

รูปที่ ก.26 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 26 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

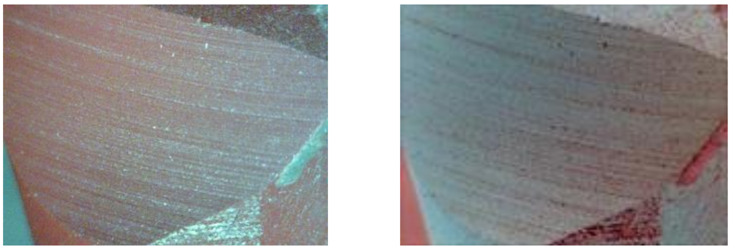
(ก) (ข)

รูปที่ ก.27 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 27 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



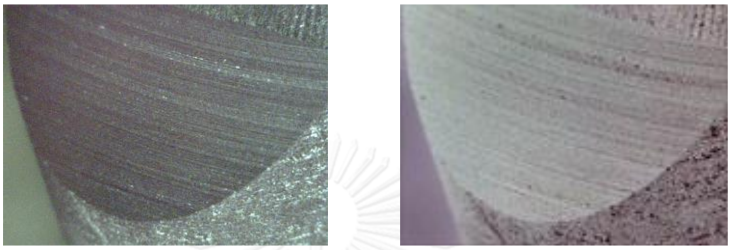
(ก) (ข)

รูปที่ ก.28 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 28 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



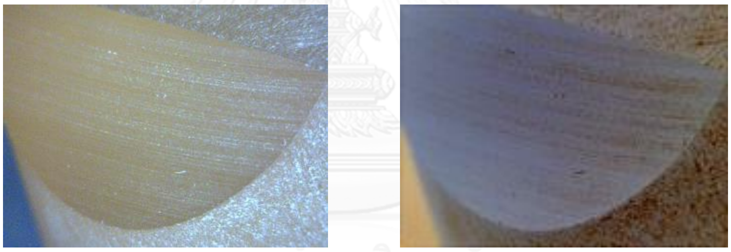
(ก) (ข)

รูปที่ ก.29 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 29 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

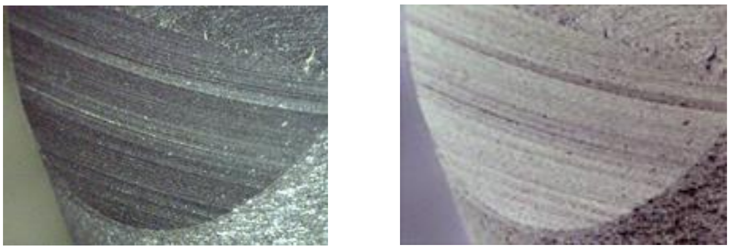
รูปที่ ก.30 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 30 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

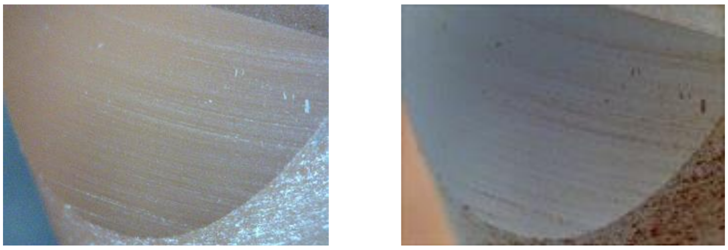
(ก) (ข)

รูปที่ ก.31 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 31 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



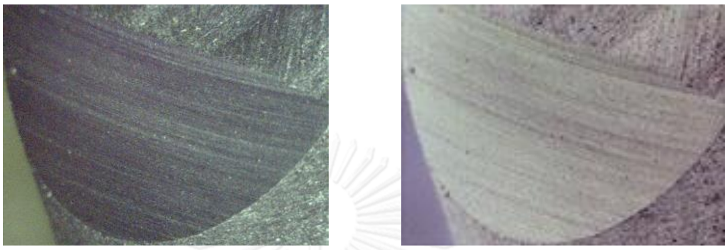
(ก) (ข)

รูปที่ ก.32 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 32 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



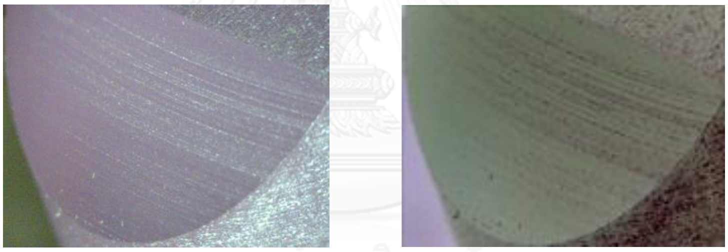
(ก) (ข)

รูปที่ ก.33 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 33 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

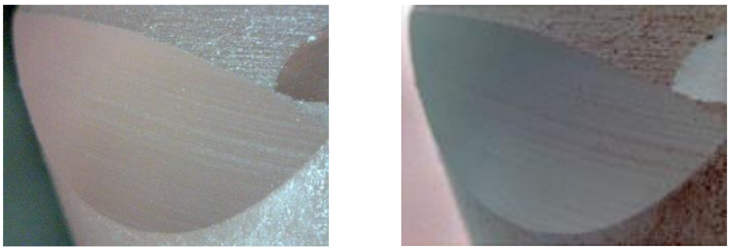
รูปที่ ก.34 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 34 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

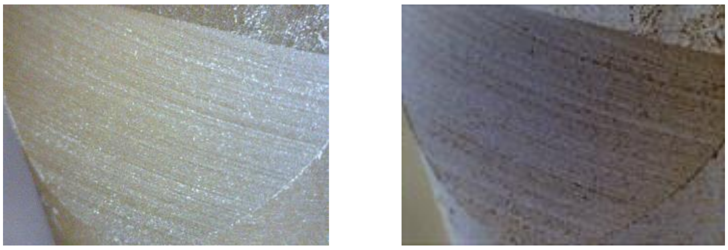
(ก) (ข)

รูปที่ ก.35 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 35 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



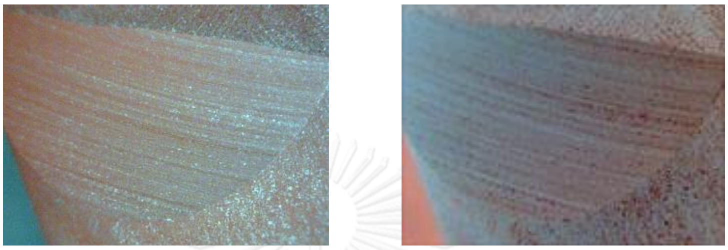
(ก) (ข)

รูปที่ ก.36 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 36 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.37 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 37 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



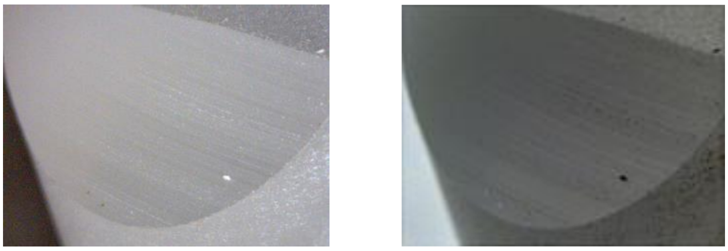
(ก) (ข)

รูปที่ ก.38 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 38 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

(ก) (ข)

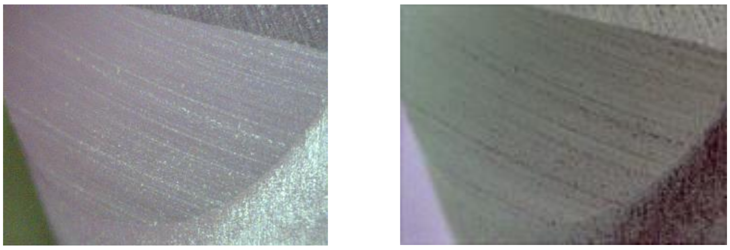
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก.39 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 39 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



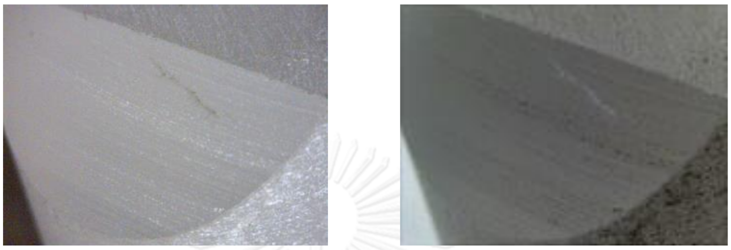
(ก) (ข)

รูปที่ ก.40 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 40 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



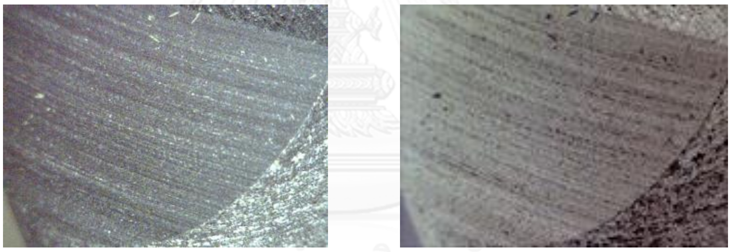
(ก) (ข)

รูปที่ ก.41 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 41 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

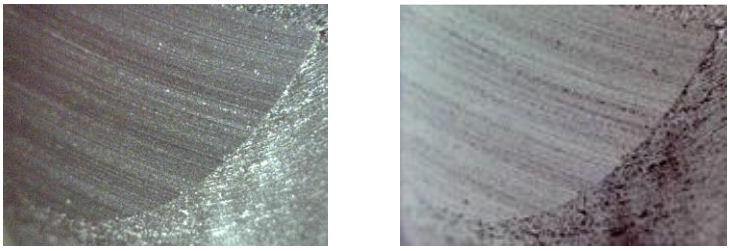
รูปที่ ก.42 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 42 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

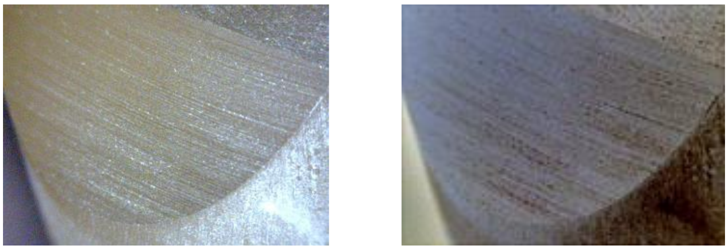
(ก) (ข)

รูปที่ ก.43 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 43 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



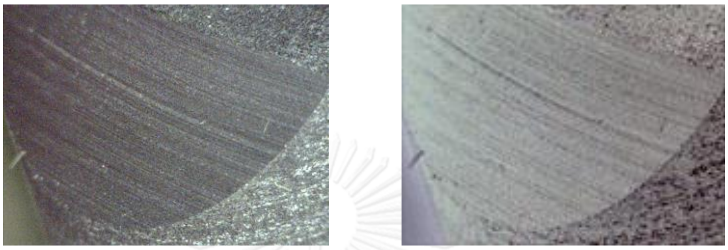
(ก) (ข)

รูปที่ ก.44 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 44 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.45 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 45 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



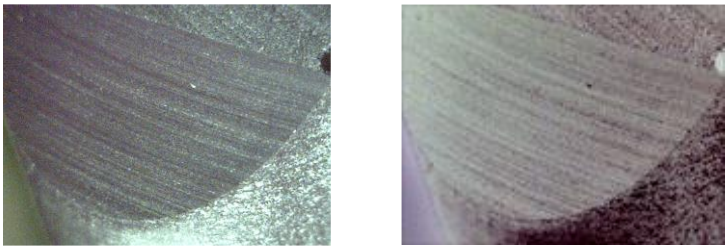
(ก) (ข)

รูปที่ ก.46 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 46 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

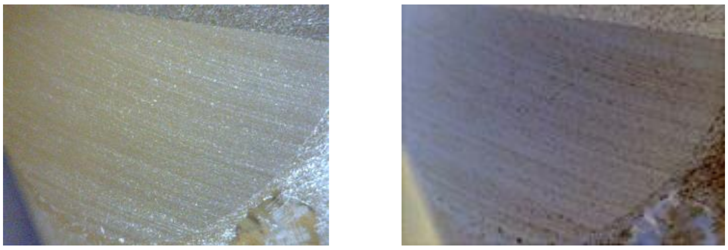
(ก) (ข)

รูปที่ ก.47 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 47 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



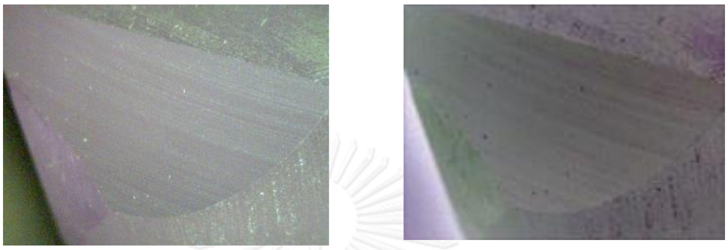
(ก) (ข)

รูปที่ ก.48 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 48 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



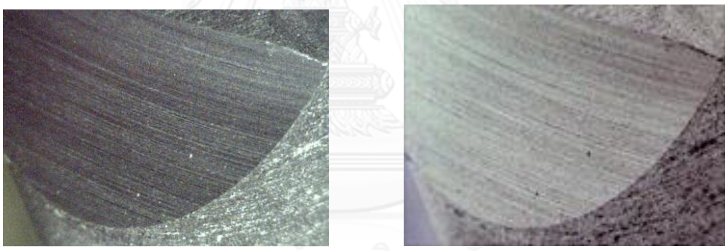
(ก) (ข)

รูปที่ ก.49 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 49 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

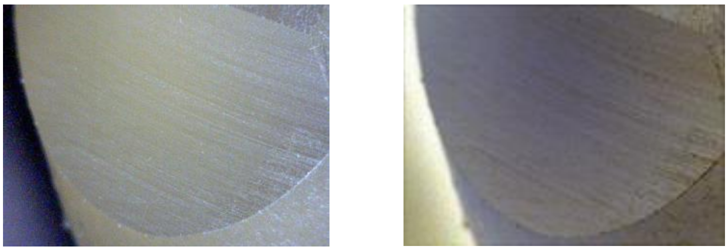
รูปที่ ก.50 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 50 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

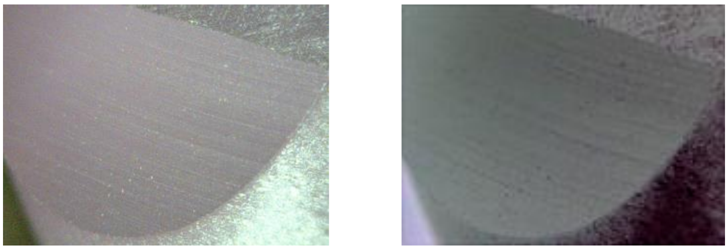
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ ก.51 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 51 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



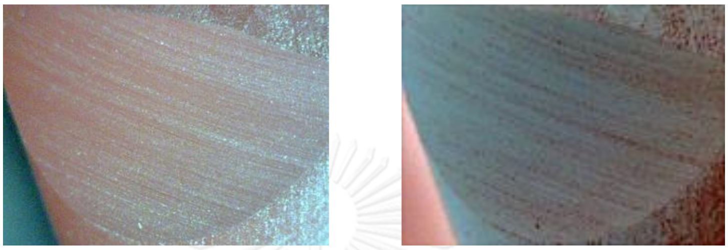
(ก) (ข)

รูปที่ ก.52 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 52 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.53 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 53 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี



(ก) (ข)

รูปที่ ก.54 ผลการทดลองเจียระไนพลอยผลการทดลองที่ 54 (ก) ภาพจริง (ข) ภาพกลับสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.กล้องถ่ายรูปดิจิตอล

รูปที่ ข.1 กล้องถ่ายรูปดิจิตอล

กล้องถ่ายรูปดิจิตอลที่ใช้ในการถ่ายรูปพลอยในการทดลอง Dino Pro Model : AM-4113T ความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล ติดตั้งโปรแกรม Full Functions และโปรแกรมสอบเทียบสำหรับวัดสเกลกำลังขยาย 10x-50x,200 เท่า โดยกล้องมีสมบัติที่สำคัญดังนี้

- Resolution : 1280x1024 pixels
- Interface : USB 2.0
- Magnification 10x ~ 50x, 200x
- Sensor : 1/3" Color CMOS
- Video frame Rate : up to 30 frame-per-second, 15fps at 1.3M
- Ilumination : built-in 8 White LED’s

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชุมพล เหมพรหมราช เกิดวันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ.2530 เป็นชาวกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนนฤมลทิน ธนบุรี เมื่อสำเร็จการศึกษาประถมชั้นที่ 6 ได้ทำการสอบเข้าศึกษาต่อชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนทวีธาภิเศก หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยสยาม และได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยสยาม เมื่อ พ.ศ.2551

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University