

ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขึ้นสกรูของตัวหลักซ้ำกับความแนบสนิทและการหมุนของ
ตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียม

นาย พิริยะ ยาวีราช



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำรงหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-525-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**THE RELATIONSHIP OF THE NUMBER OF REPEATED TIME IN TIGHTENING THE
ABUTMENT SCREW TO THE FITNESS AND ROTATION OF THE ABUTMENT ON
THE IMPLANT ANALOG AND IMPLANT**



PIRIYA YAVIRACH

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Graduate School

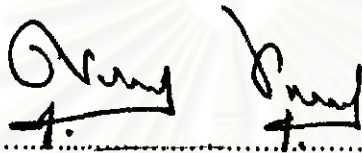
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-525-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขับสูกของตัวหลักซ้ำกับความเนบ
สนิทและการหมุนของตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียม
โดย นาย พิริยะ ยาวีราช
ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย

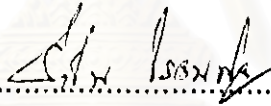
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

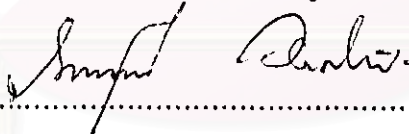
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



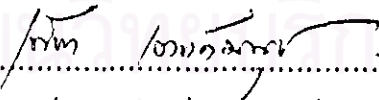
.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง รำไพ โรจนกิจ)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย)



.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ คอกเตอร์ ทันตแพทย์หญิง ท่านผู้หญิง เพ็ชรา เตชะกัมพูช)

พรียะ ชยวิราช : ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขันตกรูของตัวหลักเข้ากับความแน่นสนิทและการหมุนของ
ตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียม(THE RELATIONSHIP OF THE NUMBER OF REPEATED
TIME IN TIGHTENING THE ABUTMENT SCREW TO THE FITNESS AND ROTATION OF THE
ABUTMENT ON THE IMPLANT ANALOG AND IMPLANT.) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ทพ. ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย,
166 หน้า. ISBN 974-639-525-4.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขันตกรูของตัวหลักเข้ากับความแน่นสนิท
และการหมุนของตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียมระบบ Spline(Calcitek, Carlsbad, CA) จำนวน 3 ชุดที่ยึดในแบบ
จำลองที่ทำจากพลาสติกชนิดที่ IV และหาจำนวนครั้งของการขันตกรูเพื่อไม่ให้มีช่องว่างระหว่างตัวหลัก กับ ตัวราก
เทียมจำลอง, ตัวรากเทียม และระยะที่ตัวหลักหมุนบนตัวรากเทียมจำลอง, ตัวรากเทียมมีค่าคงที่

วิธีการทดลองเริ่มจากการประดิษฐ์แบบจำลองพลาสติกชนิดที่ IV ที่ยึดตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียม
ตรงกึ่งกลางด้านบนจำนวน 6 แห่ง จากนั้นทำการขันตกรูของตัวหลักขึ้นเพื่อยึดตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลอง 20 ครั้งด้วยประแง
ควบคุมแรงบิดที่ระดับแรง 28.2 นิวตัน/ซ.ม. ในการขันตกรูแต่ละครั้ง วัดช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองและ
ระยะ ในแนวระนาบที่ตัวหลักหมุนบนตัวรากเทียมจำลองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2000 เท่า
ในบริเวณที่ทำเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำข้อประแงควบคุมแรงบิด, ตัวหลัก และตกรูของตัว
หลัก แล้วยึดตัวหลักกับตัวรากเทียมและทำการทดลองในลักษณะเดียวกันเพียงแต่เพิ่มจำนวนการขันตกรูขึ้นเป็น 25 ครั้ง นำ
ข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพการกระจายและศึกษาความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า
ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขันตกรูของตัวหลักเข้ากับ ความแน่นสนิทของตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองทั้ง 3 ตัวมี
ลักษณะเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นโค้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และจำนวนครั้งในการขันตกรูเพื่อ
ไม่ให้มีช่องว่างคือ 28 ครั้ง ในขณะที่ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขันตกรูของตัวหลักเข้ากับ ความแน่นสนิทของตัว
หลักกับตัวรากเทียมทั้ง 3 ตัวมีลักษณะเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และจำนวนครั้งของการขัน
ตกรูเพื่อไม่ให้มีช่องว่างคือ 90, 31 และ 67 ครั้ง ในรากเทียมตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ของการขันตกรูของ
ตัวหลักเข้ากับ การหมุนของตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียมมีลักษณะเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นโค้งแบบโพลิ
โนเมียลที่มีกำลังสูงสุดเป็น 3 ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ เฉพาะบนด้านเท่านั้น ด้วยความสัมพันธ์ลักษณะดังกล่าวจึงไม่
สามารถหาจำนวนครั้งของการขันตกรูเพื่อทำให้ระยะที่ตัวหลักหมุนบนตัวรากเทียมจำลอง และตัวรากเทียมมีค่าคงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์
สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาอื่น -

3971227532 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD: PASSIVE FIT / INTERFACE FIT / PRELOAD / SCREW TIGHTENING / IMPLANT COMPONENT COMPATIBILITY

PRIYA YAVIRACH : THE RELATIONSHIP OF THE NUMBER OF REPEATED TIME IN TIGHTENING THE ABUTMENT SCREW TO THE FITNESS AND ROTATION OF THE ABUTMENT ON THE IMPLANT ANALOG AND IMPLANT. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PANUPONG WONGTHAI , 166 pp. ISBN 974-639-525-4.

The main purpose of this study is to find the relationship of the number of repeated times in tightening the abutment screws to the fitness and rotation of the abutments on the 3 Spline implant analogs and implants (Calcitek, Carlbud, CA) which are embedded in type IV dental stone models. Another purpose of this study is to find out the number of repeated tightening times which enhance no gaps and consistence rotational distances of the abutments on the implant analogs and implants.

The first step of this research methodology is to construct six dental stone models which engage each implant analog and implant at upper center part. Then the abutment screw is repeatedly tightened, so that the abutment is attached to the implant analog. The attachment is performed 20 times using torque wrench with torque value of 28.2 N/c.m.. For each tightening, the gaps between the abutment and the implant analog at the marker areas on 4 sides of the implant analog are measured with the scanning electron microscope at magnification of 2000 times. At the same time, the horizontal distances which the abutment is rotated on the implant analog are measured too. The torque wrench, the abutment and abutment screw are then sterilized and the abutment is attached to the implant. The same experimental procedures as described above is conducted with repeated tightening of 25 times. Collected data from the experiment are analyzed using scattering diagrams and regression analysis techniques. It is found that the relationship between the number of repeated tightenings of the abutment screws to the fitness of the 3 abutments and the 3 implant analogs is exponential regression equation at the significant level of $\alpha = 0.05$. The number of repeated tightenings which enhance no gaps between assembling components is 28 times. The relationship between the repeated tightenings of the abutment screws to the fitness of the 3 abutments and the 3 implants is linear regression equation at the significant level of $\alpha = 0.05$. The number of repeated tightenings which enhance no gaps between assembling components are 90, 31 and 67 times in the 1st, 2nd and the 3rd implants, respectively. The relationship between the repeated tightenings of the abutment screws to the rotation of the abutments on the implant analogs and implants is polynomial regression equation at the level of 3 degree in some sides at the significant level of $\alpha = 0.05$. According to these relations, the number of repeated tightenings which enhance consistence rotational distance of abutments on the implant analogs and implants are not found.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ทันตกรรมปริศ: ดิมจิ

สาขาวิชา ทันตกรรมปริศ: ดิมจิ

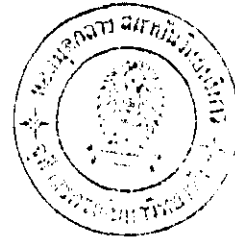
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อผู้จัดทำ Mr: G

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Imjai Reungs

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็น พร้อมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการวิจัย ตลอดจนช่วย ติดต่อบริษัท Calcitek เพื่อนำผลิตภัณฑ์รากเทียมมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นในเบื้องต้นผู้ทำการวิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและบริษัทที่กล่าวมาเป็นอย่างสูง รวมทั้งขอขอบคุณ คุณรุจิพร ประทีปเสน เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือเพื่อการวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ และศศ.ดร. อุไรวรรณ อมรมนิตร ผู้ให้คำแนะนำทางด้านสถิติเพื่อการวิจัย และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
3 ระเบียบและวิธีการวิจัย.....	51
4 รายงานการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	62
5 อภิปรายผลการวิจัย.....	121
6 บทสรุป.....	128
รายการอ้างอิง.....	131
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	144
ภาคผนวก ข.....	160
ประวัติผู้เขียน.....	166

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองทั้ง 3 ตัว ในการชันสกรูแต่ละครั้ง(หน่วยเป็น ไมโครเมตร).....	63
2 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมทั้ง 3 ตัว ในการชันสกรูแต่ละครั้ง(หน่วยเป็น ไมโครเมตร).....	90



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงรายละเอียดต่างๆของผิวด้านบนของตัวรากเทียมซึ่งประกอบด้วยฟันสปราย และร่องสลักกัน(ขยาย 44เท่า).....	9
2 แสดงรายละเอียดตัวสกรูของตัวหลัก.....	10
3 แสดงการวิเคราะห์แรงของสกรู(เมื่อยกภาระงาน).....	21
4 แสดงการยึดแบบสลักเกลียว.....	22
5 แสดงการวิเคราะห์ความหุนตัวของรอยต่อที่ใช้สลักเกลียว.....	24
6 แสดงแนวแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการขันสกรู บริเวณเกลียวสกรู(1) หัวสกรู(2).....	27
7 แสดงทิศทางแรงกดที่กระทำต่อด้านบนของตัวหลัก ก.ตามแนวแกนสกรู ข.นอกแนวแกนสกรู.....	30
8 แสดงความแนบสนิทของเหลี่ยมด้านในของตัวหลัก กับ เหลี่ยมด้านนอกของตัวรากเทียม มีผลต่อความสามารถด้านทานการบิดหมุนของตัวหลัก.....	33
9 แสดงการยกตัวของตัวหลักต่อยอด เมื่อมีแรงในแนวระนาบมากระทำ.....	35
10 แสดงแรง และ โมเมนต์ของแรงภายนอกที่มากระทำต่อฟันปลอม.....	45
11 แสดงลักษณะของคานงัดชนิดที่ I ในฟันปลอมทั้งปากที่รองรับด้วยรากเทียม 2คู่ทางด้านหน้าของขากรรไกร.....	46
12 แสดงแขนของคานในฟันปลอมทั้งปากที่รองรับด้วยรากเทียมที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน.....	47
13 แสดงความแนบสนิทระหว่างตัวหลักกับตัวฟันปลอม มีผลต่อแรงเฉือนที่กระทำต่อตัวสกรูที่ยึดฟันปลอม.....	48
14 แสดงลักษณะเบ้าหล่อของแท่งพลาสติกเคอร์ฮิน.....	51
15 แสดงการจัดตำแหน่งตัวรากเทียมให้อยู่กึ่งกลางแผ่นพลาสติกใส.....	52
16 แสดงวิธีการจัดตำแหน่งตัวรากเทียมให้อยู่กึ่งกลางเบ้าหล่อ.....	52
17 แสดงตัวยึดแท่งพลาสติกเคอร์ฮิน ไม่ให้ขยับขณะที่ทำการขันสกรูยึดตัวต่อยอด ถ่ายทอดโดยตรงกับตัวรากเทียม.....	53
18 แสดงการนำตัวต่อยอดถ่ายทอดโดยตรงมายึดกับตัวรากเทียมจำลอง.....	54
19 แสดงแม่แบบทองเหลืองที่ใช้ยึดแท่งพลาสติกเคอร์ฮินในขณะที่ทำเครื่องหมายตรงรอยต่อของตัวหลัก กับตัวรากเทียม.....	56

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
20 แสดงตัวจับใบมีดที่ทำขึ้นมาเฉพาะ และใบมีดที่ใช้ทำเครื่องหมาย.....	56
21 แสดงการใช้ใบมีดทำเครื่องหมายบนตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลอง.....	57
22 แสดงตัวจับอูมิเนียมที่เป็นแผ่นทรงกลมใช้จับแท่งพลาสติกอินให้ขนานกับพื้นราบทุกๆครั้งที่ทำการวัด.....	58
23 แสดงแนวเส้นตรงที่ขีดในจอคอมพิวเตอร์จากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองไปตัดกับรอยคำหนดาวที่อยู่ในรอยเครื่องหมายบนตัวหลัก.....	58
24 แสดงช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองเมื่อชันสกรูครั้งที่ 20(ขยาย 2000เท่า).....	62
25 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 1(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	64
26 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 2(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	65
27 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	65
28 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองทั้ง 3ตัว(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	66
29 แสดงตัวแบบสมการถดถอยของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 1(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	67
30 แสดงตัวแบบสมการถดถอยของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 2(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	68
31 แสดงตัวแบบสมการถดถอยของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3(GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	69
32 แสดงตัวแบบสมการถดถอยของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองทั้ง 3ตัว (GAP) กับจำนวนครั้งของการชันสกรู(NUMBER).....	72

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
42 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 2 ด้านที่ 4(HOR) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	81
43 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 1(HOR) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	83
44 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 2(HOR) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	83
45 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 3(HOR) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	84
46 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 4(HOR) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	84
47 แสดงตัวแบบสมการถดถอยระหว่างระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 1 (HOR) กับจำนวนครั้งในการขึ้นสกรู(NUMBER).....	85
48 แสดงตัวแบบสมการถดถอยระหว่างระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 2 (HOR) กับจำนวนครั้งในการขึ้นสกรู(NUMBER).....	86
49 แสดงตัวแบบสมการถดถอยระหว่างระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 3 (HOR) กับจำนวนครั้งในการขึ้นสกรู(NUMBER).....	87
50 แสดงตัวแบบสมการถดถอยระหว่างระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองตัวที่ 3 ด้านที่ 4 (HOR) กับจำนวนครั้งในการขึ้นสกรู(NUMBER).....	88
51 แสดงช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมเมื่อขึ้นสกรูครั้งที่ 25 (ขยาย 2000เท่า).....	89

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
52 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ตัวที่ 1(GAPT) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	91
53 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ตัวที่ 2(GAPT) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	92
54 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ตัวที่ 3(GAPT) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	92
55 แสดงแผนภาพการกระจายของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ทั้ง 3ตัว(GAPT) กับจำนวนครั้งของการขึ้นสกรูในรูปเดียวกัน.....	93
56 แสดงตัวแบบสมการลดทอนของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ตัวที่ 1(GAPT) กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	94
57 แสดงตัวแบบสมการลดทอนของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ตัวที่ 2(GAPT) กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	95
58 แสดงตัวแบบสมการลดทอนของช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม ตัวที่ 3(GAPT) กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	96
59 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมาย บนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ 1 (HORT)กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	98
60 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมาย บนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ 2 (HORT)กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	99
61 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมาย บนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ 3 (HORT)กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	99
62 แสดงแผนภาพการกระจายของระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมาย บนตัวหลักขยับออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ 4 (HORT)กับ จำนวนครั้งของการขึ้นสกรู(NUMBER).....	100

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
81 แสดงตัวแบบสมการถดถอยระหว่างระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมตัวที่ 3 ด้านที่ 3(HORT) กับจำนวนครั้งในการขึ้นสกรู(NUMBER).....	118
82 แสดงตัวแบบสมการถดถอยระหว่างระยะในแนวระนาบที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมตัวที่ 3 ด้านที่ 4(HORT) กับจำนวนครั้งในการขึ้นสกรู(NUMBER).....	119
83 แสดงรอยตำหนิที่บริเวณขอบของตัวหลัก ที่ทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมมีขนาดประมาณ 3 ไมโครเมตร.....	123
84 แสดงการเหลื่อมกันของขอบตัวหลักกับขอบตัวรากเทียมจำลองทั้ง 4 ด้าน.....	125
85 แสดงตำแหน่งของเครื่องหมายบนตัวหลักทั้ง 4 ด้าน(a,b,c,d) เมื่อเทียบกับเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองทั้ง 4 ด้าน(A,B,C,D)เมื่อมองด้านบนในเงื่อนไขที่สมมุติว่าขอบของตัวหลักพอดีกับขอบของตัวรากเทียมจำลอง.....	126
86 แสดงทิศทางที่เครื่องหมายบนตัวหลักเคลื่อนออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลอง.....	126