



ผลของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูก

ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงดึงถอนสกรู

Effects of Antibiotic Dosage in Bone Cement
on Coefficient of Friction and Screw Pullout Strength

นายคิว

ภูซัง

นายจตุพล

นาคสัมพันธ์

นางสาวณัฐทิกา

คงปาน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2561



ใบรับรองโครงการ

หัวข้อโครงการ : ผลของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูก
ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงดึงถอนสกรู
(Effects of Antibiotic Dosage in Bone Cement on
Coefficient of Friction and Screw Pull Out Strength)

ผู้ดำเนินโครงการ : นายคิว ภูมั่ง รหัส 58362049
นายจตุพล นาคสัมพันธ์ รหัส 58362056
นางสาวณัฐทิกา คงปาน รหัส 58362230

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. ปัญญวัฒน์ ลำเพาพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์มณฑล กาฬสีห์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

 ประธานกรรมการ

(ดร. ปัญญวัฒน์ ลำเพาพงศ์)

 กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์มณฑล กาฬสีห์)

 กรรมการ

(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

 กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพรัตน์ สีทะวงษ์)

หัวข้อโครงการ	: ผลของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูก ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงดึงถอนสกรู		
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายคิว ภูข้ง		รหัส 58362049
	: นายจตุพล นาคสัมพันธ์		รหัส 58362056
	: นางสาวณัฐทิกา คงปาน		รหัส 58362230
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์มณฑล กาฬสีห์		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2561		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบ สร้างและสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเพื่อใช้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของคู่วัสดุ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V ค่าความหยาบผิวและค่าความแข็งแรงดึงถอนสกรูที่ฝังอยู่ในซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ โดยงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรก คือ การออกแบบ สร้างและสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ส่วนที่สอง หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V โดยตัวแปรควบคุมคือ ซีเมนต์กระดูกที่ไม่ผสมยาปฏิชีวนะและผสมยาปฏิชีวนะปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตนั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้น และยังพบว่าระยะเวลาการเก็บชิ้นทดสอบมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตด้วย ส่วนที่สาม การทดสอบหาค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะด้วยเครื่องทดสอบความหยาบผิว ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลระยะเวลาในการเก็บชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบนั้นส่งผลต่อค่าความหยาบผิวด้วยเช่นกัน ส่วนสุดท้าย การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนสกรู ได้ทำการศึกษาทั้งในกรณีแบบมีกระดูกเทียมและไม่มีกระดูกเทียม โดยพบว่า ทั้ง 2 กรณี เมื่อยาปฏิชีวนะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 และ 2 กรัม ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนลดลง แต่เมื่อใส่ปริมาณยาปฏิชีวนะเป็น 4 กรัม ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนเพิ่มขึ้นกว่ากรณีผสมยาปฏิชีวนะ 2 กรัม แต่ยังคงมีค่าไม่สูงกว่ากรณีผสมยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม

Project Title : Effects of Antibiotic Dosage in Bone Cement on
Coefficient of Friction and Screw Pullout Strength

Name : Mr.Khiw Phukhang
Mr.Jatuphon Naksampan
Miss Nattika Kongpan

Project Advisor : Dr.Punyawan Lumpaopong

Project Co-Advisor : Assistant Professor Dr. Monton Galassi

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2018

Abstract

The purposes of this study were as follow: (1) designed, created and validated the inclined plane tester used to test the static coefficient of friction of material pairs; (2) investigated the static coefficient of friction between antibiotic-loaded bone cement (ALBC) and Ti-6Al-4V; (3) investigated the surface roughness of ALBC and (4) tested the screw pullout strength of screw fixation in ALBC. This research divided into 4 parts. Firstly, the inclined plane tester was designed, created and validated. Secondly, the static coefficient of friction between ALBC and Ti-6Al-4V was investigated. Bone cement without antibiotics and with 0.5, 2 and 4 grams of antibiotics were tested. It was found that the static coefficient of friction significantly increased when antibiotic dosages were increased. Moreover, bone cement aging also affected the static coefficient of friction. Thirdly, the surface roughness was investigated. It was found that the surface roughness significantly increased with increased antibiotic dosage and also was affected by aging. Finally, the screw pullout strength was investigated in two cases: with foam bone and without foam bone. It was found for both cases that, the screw pullout strengths continuously decreased when the antibiotic dosages were 0.5 and 2 grams. However, in the case of 4 grams antibiotics, the strength increased from the case of 2 gram but not higher than that of 2 grams antibiotics.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการผลของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูกต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงดึง
ถอนสกรู ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงานต้องขอขอบพระคุณ ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจ
ใส่ทุกขั้นตอนเพื่อให้การเขียนโครงการฉบับนี้ออกมาสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์มณฑล กาฬสีห์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ที่
ให้ความรู้ คำแนะนำทางด้านงานศัลยกรรมกระดูกและข้อ อีกทั้งให้ความอนุเคราะห์จัดหากระดูกเทียม
และสกรูที่ใช้ในการทดสอบ

ขอขอบพระคุณกรรมการ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพรัตน์ สีหะวงษ์ และ ดร.ภาณุ พุทธวงศ์ ที่
ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของโครงการ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมี
อาจารย์เกตุขนา บุญฤทธิ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ และนางสาวอิสริย์ วัตฤภาพ
นักวิทยาศาสตร์ประจำสาขาวิศวกรรมวัสดุ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือด้านสถานที่
และอุปกรณ์ อีกทั้งได้ให้ประสบการณ์ในการทำงานร่วมกับบุคคลอื่น

นายคิวิ

ภูมิ่ง

นายจตุพล

นาคสัมพันธ์

นางสาวณัฐทิกา

คงปาน

สารบัญ

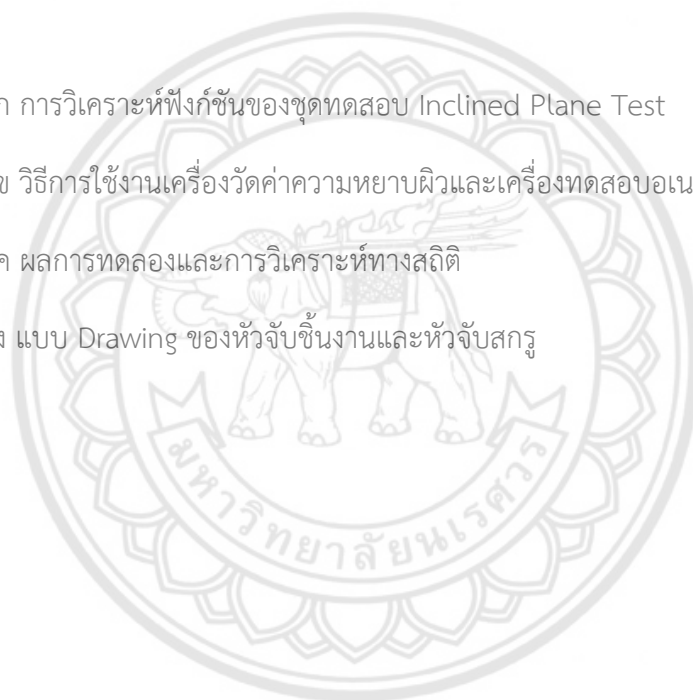
	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ซีเมนต์กระดูก (Bone Cement)	5
2.2 ซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ (Antibiotic-Loaded Bone Cement: ALBC)	7
2.3 สกรูในทางออร์โธปิดิกส์ (6)	7
2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต	11
2.5 ค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) (8)	13
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	19
3.1 ออกแบบ สร้างและสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต	19
3.1.1 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต	19
3.1.2 การสอบทวนเครื่องมือวัด	20
3.2 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V	22
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์	23
3.2.2 วิธีการทดลอง	24
3.3 การทดลองหาค่าความหยาบผิว (Surface Roughness, Ra) ของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ	26
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์	26
3.3.2 วิธีการทดลอง	26
3.4 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู	27
3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์	28
3.4.2 วิธีการทดสอบ	29
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	33
4.1 การสอบทวน (Validation) ชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต	33
4.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V	34
4.3 การทดสอบความหยาบผิว (Surface Roughness) ของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะ	35
4.4 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	40
5.1 สรุปผล	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	45
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ฟังก์ชันของชุดทดสอบ Inclined Plane Test	46
ภาคผนวก ข วิธีการใช้งานเครื่องวัดค่าความหยาบผิวและเครื่องทดสอบบอเนกประสงค์	50
ภาคผนวก ค ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ	59
ภาคผนวก ง แบบ Drawing ของหัวจับชิ้นงานและหัวจับสกรู	82



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าของแรงดึงถอนต่อมิลลิเมตรเมื่อไม่เติมซีเมนต์และเติมซีเมนต์กระดูก (13)	17
ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองค่าความแข็งแรงดึงถอนและงานที่ได้ของทั้ง 12 กลุ่ม (N = 5) (14)	18
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของกระดูกกับกระดูกในกรณีที่วางขึ้นทดสอบห่างกัน ครั้งที่ 1	60
ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของกระดูกกับกระดูกในกรณีที่วางขึ้นทดสอบห่างกัน ครั้งที่ 2	60
ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของกระดูกกับกระดูกในกรณีที่วางขึ้นทดสอบห่างกัน ครั้งที่ 3	61
ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของกระดูกกับกระดูกในกรณีที่วางขึ้นทดสอบติดกัน ครั้งที่ 1	61
ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของกระดูกกับกระดูกในกรณีที่วางขึ้นทดสอบติดกัน ครั้งที่ 2	62
ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของกระดูกกับกระดูกในกรณีที่วางขึ้นทดสอบติดกัน ครั้งที่ 3	62
ตารางที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างกระดูกกับกระดูกสำหรับการทดลอง ครั้งที่ 1	63
ตารางที่ ค.8 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างกระดูกกับกระดูกสำหรับการทดลองครั้งที่ 2	64
ตารางที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างกระดูกกับกระดูกสำหรับการทดลองครั้งที่ 3	65
ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6Al-4V ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์	66
ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6Al-4V ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.12 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA Repeated Measure ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย สถิติของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะของแต่ละระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนนำมาทดสอบ	68
ตารางที่ ค.13 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธีของ Bonferroni ของค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียหายสถิติของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะ	69
ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์	70
ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์	70
ตารางที่ ค.16 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 7 สัปดาห์	71
ตารางที่ ค.17 ผลการคำนวณสถิติพรรณนาของค่าความหยาบผิวของแต่ละช่วงเวลาเก็บก่อนการทดสอบที่ ปริมาณยาปฏิชีวนะต่างๆ	73
ตารางที่ ค.18 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA Repeated Measure ของค่าความหยาบผิวของแต่ละ ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนนำมาทดสอบ	74
ตารางที่ ค.19 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธีของ Bonferroni ของค่าความหยาบผิว	75
ตารางที่ ค.20 ค่าความแข็งแรงดึงถอนสูงสุดของสกรู กรณีไม่มีซีเมนต์กระดูก	76
ตารางที่ ค.21 ค่าความแข็งแรงดึงถอนสูงสุดของสกรูกรณีมีกระดูกเทียม	77
ตารางที่ ค.22 ผลการคำนวณสถิติพรรณนาของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีมีกระดูกเทียม	78
ตารางที่ ค.23 ผลการวิเคราะห์ One-Way ANOVA ของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีมีกระดูก เทียม	78
ตารางที่ ค.24 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธีของ Bonferroni ของค่าความแข็งแรงดึงถอน ของสกรูกรณีมีกระดูกเทียม	79
ตารางที่ ค.25 ค่าความแข็งแรงดึงถอนสูงสุดของสกรูกรณีไม่มีกระดูกเทียม	80
ตารางที่ ค.26 ผลการคำนวณสถิติพรรณนาของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีไม่มีกระดูกเทียม	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.27 ผลการวิเคราะห์ One-Way ANOVA ของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีไม่มีกระดูก
เทียม 81



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้ซีเมนต์กระดูกในทางการแพทย์	5
รูปที่ 2.2 ซีเมนต์กระดูกก่อนการผสม ประกอบด้วย 2 ส่วน 1) ส่วนที่เป็นของเหลว 2) ส่วนที่เป็นผง	6
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับ	6
รูปที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพของสกรูในทางออร์โธปิดิกส์ (6)	8
รูปที่ 2.5 การทำ Lag Screw Fixation (6)	10
รูปที่ 2.6 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตบนพื้นเอียง	11
รูปที่ 2.7 ผังวัตถุอิสระของมวลที่กระทำกับพื้นเอียง	12
รูปที่ 2.8 คำศัพท์ต่างๆ สำหรับลักษณะของพื้นผิว (8)	13
รูปที่ 2.9 ค่าต่างๆ เกี่ยวกับการคำนวณค่าความหยาบจากค่าความสูงของพื้นผิว (8)	14
รูปที่ 2.10 ภาวะสูงสุดของซีเมนต์ 4 กลุ่ม (10)	15
รูปที่ 2.11 อัตราส่วนของน้ำต่อผงและ β -TCP ต่อ MCPM ที่ถูกลดลงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกดอัด (11)	16
รูปที่ 2.12 แรงดึงหลังจากการทำนอร์มัลไลซ์ (Normalized) จากความหนาแน่นกระดูก (13)	17
รูปที่ 3.1 แบบทดสอบ Inclined Plane Test	19
รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางชิ้นงานใต้ชุดถ่วงน้ำหนัก	20
รูปที่ 3.3 การเตรียมชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต	22
รูปที่ 3.4 แม่พิมพ์ยางพารา	25
รูปที่ 3.5 ผสมซีเมนต์กระดูกส่วนที่เป็นผงกับของเหลวให้เข้ากัน	25
รูปที่ 3.6 ชิ้นรูปซีเมนต์กระดูกในแม่พิมพ์	25
รูปที่ 3.7 วางชิ้น Ti-6Al-4V แบบห่างกัน	25
รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความหยาบผิว (ยี่ห้อ Mituyoto รุ่น 480B)	26
รูปที่ 3.9 ตัวยึดขึ้นทดสอบกรณีมีกระดูกเทียม (ใช้หัวจับชิ้นงานของ UTM เป็นหัวจับสกรู)	27
รูปที่ 3.10 ตัวยึดขึ้นทดสอบกรณีไม่มีกระดูกเทียม	27
รูปที่ 3.11 การเตรียมสกรูก่อนขันลงในเนื้อซีเมนต์กระดูก	29
รูปที่ 3.12 การขันสกรูลงในซีเมนต์กระดูกกรณีมีกระดูกเทียม	30

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 การขึ้นสกรูลงในซีเมนต์กระดุกกรณีไม่มีกระดุกเทียม	31
รูปที่ 3.14 การติดตั้งขึ้นทดสอบ	32
รูปที่ 3.15 การติดตั้งขึ้นทดสอบ	32
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างกระดากกับกระดาก	33
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างซีเมนต์กระดุกและ Ti-6Al-4V โดยผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และทดสอบหลังผสม 1 และ 2 สัปดาห์	35
รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของค่าความหยابผิวของซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบหลังการผสม	36
รูปที่ 4.4 ผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตและค่าความหยابผิวโดยใช้สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation) ที่ระยะเวลาการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์	37
รูปที่ 4.5 ผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตและค่าความหยابผิวโดยใช้สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation) ที่ระยะเวลาการทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์	37
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยแรงดึงถอนสูงสุดกรณีมีกระดุกเทียม	38
รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงถอนสูงสุดกรณีไม่มีกระดุกเทียม	39
รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความหยابผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 480B (Accertech, Japan)	51
รูปที่ ข.2 ชิ้นงานทดสอบ	51
รูปที่ ข.3 กระดากความร้อน	51
รูปที่ ข.4 ชิ้นงานมาตรฐานสำหรับสอบเทียบ	51
รูปที่ ข.5 หน้าจอการตั้งวันที่และเวลา	52
รูปที่ ข.6 ไฟแสดงผลปรับระดับความสูงตามสัญญาณไฟ	52
รูปที่ ข.7 แผงควบคุมคำสั่ง	53
รูปที่ ข.8 ทดสอบวัดความหยابผิวชิ้นงานจริง	54
รูปที่ ข.9 ผลการทดลองความหยابผิวที่แสดงในรูปแบบตัวเลขและกราฟ	54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.10 หน้าต่างการตั้งค่าการ Export ไฟล์	55
รูปที่ ข.11 หน้าต่างการเขียน Command Line ในการควบคุมการนำข้อมูลออก	56
รูปที่ ข.12 การตั้งค่า Insert MVL data	57
รูปที่ ข.13 การตั้งค่า Insert Grafic	57
รูปที่ ข.14 ตัวอย่าง Command Line ที่ใช้ในการ Export File	58
รูปที่ ค.1 ตัวอย่างกราฟค่าความแข็งแรงดึงถอนเทียบกับเวลา กรณีไม่มีซีเมนต์กระดูก	76
รูปที่ ค.2 ตัวอย่างกราฟค่าความแข็งแรงดึงถอนเทียบกับเวลากรณีมีกระดูกเทียม	77
รูปที่ ค.3 ตัวอย่างกราฟค่าความแข็งแรงดึงถอนเทียบกับเวลากรณีไม่มีกระดูกเทียม	80
รูปที่ ค.4 ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบหลังการผสม	72
รูปที่ ง.1 ตัวยึดขึ้นทดสอบกรณีมีกระดูกเทียม	83
รูปที่ ง.2 หัวจับสกรู	84
รูปที่ ง.3 แบบ Drawing ตัวยึดขึ้นทดสอบ	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

กระบวนการออกแบบสกรูที่ใช้ในงานศัลยกรรมกระดูกจำเป็นต้องออกแบบให้มีลักษณะเฉพาะให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยในการออกแบบมักประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญในการออกแบบ เช่น รูปทรงของสกรู วัสดุที่ใช้ในการทำสกรูหรือฟังก์ชันการทำงาน เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรง ความทนทานและความปลอดภัยในการใช้งาน โดยเฉพาะในการผ่าตัดศัลยกรรมกระดูก เช่น การต่อยึดกระดูกหักด้วยสกรู ศัลยแพทย์จะใช้สกรูในการยึดกระดูกและเมื่อต้องการเพิ่มความแน่นให้กับสกรูกับกระดูก ศัลยแพทย์มักจะเพิ่มซีเมนต์กระดูกลงไปด้วยเพื่อช่วยให้สกรูยึดกับกระดูกได้แน่นหนามากยิ่งขึ้น และบ่อยครั้งเพื่อป้องกันการติดเชื้อเฉียบพลันในช่วง 1 – 2 วันแรกหลังการผ่าตัด ศัลยแพทย์จะเพิ่มยาปฏิชีวนะเข้าไปด้วย โดยจะผสมยาปฏิชีวนะลงในซีเมนต์กระดูกก่อนการใส่สกรู

ในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการออกแบบสกรูให้ตามความต้องการใช้งานของศัลยแพทย์จำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองด้วยระเบียบวิธีซึ่งรวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่กระทำระหว่างกระดูกกับสกรู อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าผู้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6Al-4V ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และนำไปสู่การออกแบบสกรูที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด แต่ไม่ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะที่เพิ่มขึ้นต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าความแข็งแรงดึงถอนสกรู ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกเมื่อมีการผสมยาปฏิชีวนะกับวัสดุที่ใช้ในการทำสกรูรวมทั้งศึกษาผลกระทบของการผสมยาปฏิชีวนะต่อค่าความแข็งแรงดึงถอนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของคู่วัสดุ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูกต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6Al-4V
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูกต่อค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูก
- 1.2.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูกต่อความแข็งแรงดึงถอนของสกรูยึดด้วยการเติมซีเมนต์กระดูก

1.3 ขอบเขตของโครงการ

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนที่ 1 ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน-สถิตของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตสกรูในงานออร์โธปิดิกส์ โดยทำการออกแบบ สร้างและสอบทวน (Validation) ชุดทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจากหลักการทดสอบด้วยพื้นเอียง (Inclined Plane Test) ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ และส่วนที่ 3 คือการทดสอบความแข็งแรงดึงถอนของสกรูที่ยึดด้วยซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine: UTM) ทำการทดสอบ 2 กรณี คือกรณียึดสกรูโดยมีกระดูกเทียมและไม่มีกระดูกเทียม โดยใช้ Cortical Screw ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ความยาว 32 มิลลิเมตร ทั้งนี้ในทุกการทดสอบใช้ซีเมนต์กระดูกยี่ห้อ DePuy CMW รุ่น SmartSet HV (Johnson & Johnson, USA) โดยศึกษาเปรียบเทียบกรณีไม่ผสมยาปฏิชีวนะและกรณีผสมยาปฏิชีวนะ Vancomycin ในปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ตามลำดับ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ชุดทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของคู่วัสดุ
- 1.5.2 ได้เข้าใจถึงแนวโน้มของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดุกที่ผสมยาปฏิชีวนะ
- 1.5.3 ได้เข้าใจถึงแนวโน้มของค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกที่ผสมยาปฏิชีวนะ
- 1.5.4 ได้เข้าใจถึงผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดุกที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงถอนของสกรูยึดกระดุกแบบเดิมซีเมนต์กระดุก
- 1.5.5 วิศวกรสามารถนำผลข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดุกที่ผสมยาปฏิชีวนะ กับ Ti-6Al-4V ไปออกแบบสกรูเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม
- 1.5.6 ศัลยแพทย์สามารถพิจารณานำผลข้อมูลจากการทดสอบดึงสกรูที่ยึดด้วยซีเมนต์กระดุกที่ผสมยาปฏิชีวนะเพื่อนำไปใช้ต่อได้ในงานออร์โธปิดิกส์

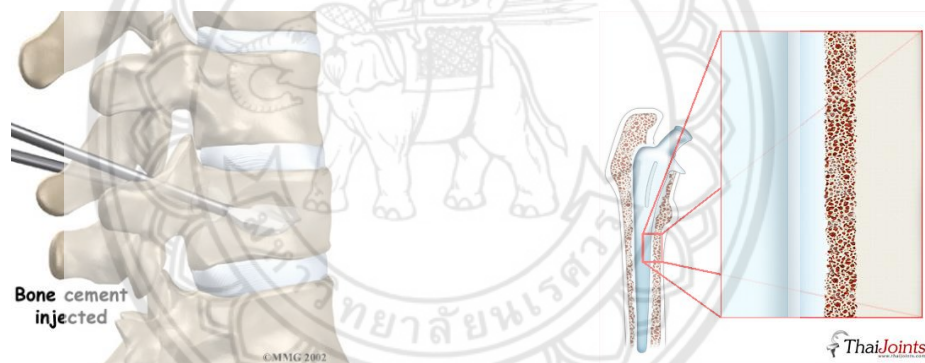


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซีเมนต์กระดูก (Bone Cement)

เป็นวัสดุในทางการแพทย์ที่ใช้เพื่อการรักษาในการช่วยเติมเต็มโพรงกระดูก ดังรูปที่ 2.1 ก) และช่วยยึดข้อเทียมที่อยู่ในโพรงกระดูกได้ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการและไม่มีการเคลื่อนไหว โดยการยึดติดของซีเมนต์กับกระดูกหรือซีเมนต์กับข้อเทียมจะเป็นการยึดติดเชิงกล เกิดจากการไหลตัวของซีเมนต์กระดูกเข้าไปยังรูพรุนต่างๆ และโลหะที่เป็นข้อเทียม ดังรูปที่ 2.1 ข) โดยซีเมนต์กระดูกไม่ได้ทำหน้าที่เป็นกาวประสานแต่เป็นตัวกลางที่ช่วยส่งผ่านแรงหรือความเค้นที่ข้อเทียมไปยังกระดูกโดยรอบเพื่อช่วยให้ข้อเทียมมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ช่วยการรักษากระดูกหัก (Bone Fracture Fixation) อีกด้วย



ก) การใช้ซีเมนต์กระดูก ช่วยเติมเต็มโพรงกระดูกสันหลัง (1) ข) การไหลตัวของซีเมนต์กระดูกเข้าไปยังรูพรุนต่างๆ และโลหะที่เป็นข้อเทียม (2)

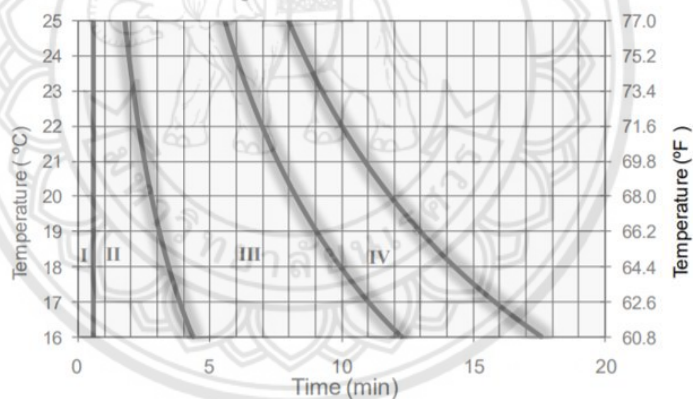
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้ซีเมนต์กระดูกในทางการแพทย์

องค์ประกอบของซีเมนต์กระดูก ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลว (Monomer) และส่วนที่เป็นผง (Polymer Powder) ดังรูปที่ 2.2 มาผสมเข้าด้วยกันจะเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจนกลายเป็นวัสดุเหนียวคล้ายดินน้ำมัน (Dough) สามารถปั้นขึ้นรูปได้และกลายเป็นของแข็งในที่สุด (3) การผสมซีเมนต์กระดูกมีระยะเวลาที่แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้ ช่วงผสม (Mixing Phase) ช่วงรอ (Waiting Phase) ช่วงใช้งาน (Application Phase) และช่วงแข็งตัว (Setting Phase)

ช่วงระยะของเฟสต่างๆ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของห้องระหว่างการผสม ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นในการผ่าตัด อุณหภูมิห้องจะอยู่ในช่วง 18 - 23 องศาเซลเซียส เพื่อให้แพทย์จะได้มีระยะเวลาในการปรับสภาพซีเมนต์ให้เหมาะสมกับกระดูกและการใช้งาน นอกจากนี้ในการผสมซีเมนต์มีผลต่อกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลและลักษณะทางกายภาพของซีเมนต์กระดูกอาจทำให้ซีเมนต์กระดูกมีระยะเวลาการใช้งานลดลง



รูปที่ 2.2 ซีเมนต์กระดูกก่อนการผสม ประกอบด้วย 2 ส่วน 1) ส่วนที่เป็นของเหลว 2) ส่วนที่เป็นผง



I = Mixing Phase II = Waiting Phase III = Application Phase IV = Setting Phase

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับ

ช่วงระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงเฟสของการผสมซีเมนต์กระดูกยี่ห้อหนึ่ง (4)

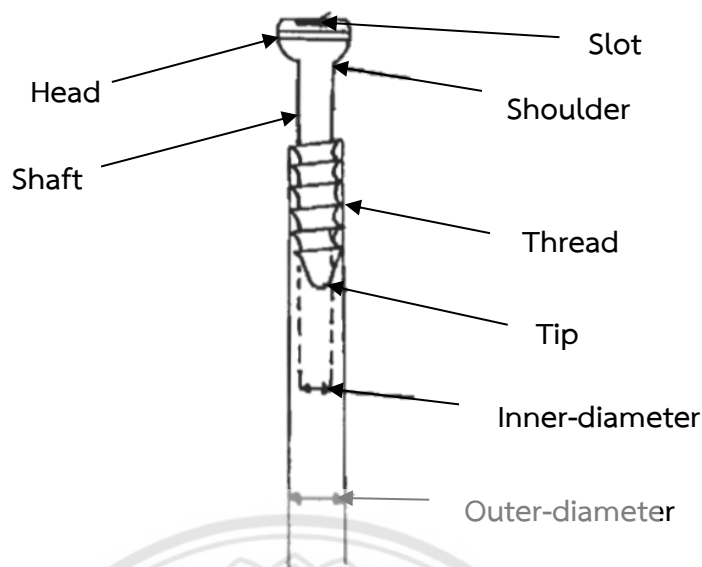
2.2 ซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ (Antibiotic-Loaded Bone Cement: ALBC)

ในการผ่าตัดรักษาด้านกระดูกและข้อ ศัลยแพทย์จะผสมยาปฏิชีวนะกับซีเมนต์กระดูกเพื่อป้องกันการติดเชื้อหรือช่วยลดโอกาสที่แผลจะติดเชื้อ โดยยาปฏิชีวนะ (Antibiotics) มาจากรากศัพท์ คำว่า Anti ที่หมายถึงต่อต้านและ Bio ที่หมายถึงสิ่งมีชีวิต อาจเรียกรวมได้ว่าเป็นยาที่ใช้ยับยั้งฆ่าเชื้อหรือต้านการติดเชื้อ โดยทั่วไปมักเป็นเชื้อแบคทีเรีย ยาปฏิชีวนะแบ่งออกได้หลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น แบ่งตามการออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น

การแบ่งยาปฏิชีวนะตามฤทธิ์ของยาต่อเชื้อแบคทีเรีย สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่ 1 ยาปฏิชีวนะที่ออกฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรียโดยตรง (Bactericidals) โดยจะออกฤทธิ์ขัดขวางการสร้างผนังเซลล์ (Cell Wall) ของแบคทีเรีย ยาปฏิชีวนะกลุ่มนี้ได้แก่ กลุ่มเพนนิซิลลิน (Penicillin) กลุ่มเซฟาโลสปอริน (Cephalosporin) กลุ่มอะมิโนไกลโคไซด์ (Aminoglycoside) แวนโคไมซิน (Vancomycin) และอื่นๆ ชนิดที่ 2 ยาปฏิชีวนะที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Bacteriostatics) โดยยาปฏิชีวนะจะออกฤทธิ์ขัดขวางการสร้างโปรตีนของแบคทีเรียที่กำลังเจริญเติบโตหรือกำลังแบ่งตัว ยาปฏิชีวนะ กลุ่มนี้ได้แก่ กลุ่มเตตราไซคลิน (Tetracyclines) กลุ่มคลินดามัยซิน (Clindamycin) กลุ่มอีริโทรไมซิน (Erythromycin) และอื่นๆ อย่างไรก็ตามหากใช้ยาปฏิชีวนะกลุ่มที่ 1 ด้วยกันจะออกฤทธิ์เสริมกัน และหากใช้ยาปฏิชีวนะกลุ่มที่ 2 ด้วยกันจะไม่ส่งผลให้ฤทธิ์ของยาเพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่หากใช้ยาปฏิชีวนะแบบออกฤทธิ์ฆ่าแบคทีเรียโดยตรงร่วมกับยาปฏิชีวนะแบบที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะทำให้ฤทธิ์ของยาลดลงหรือต้านฤทธิ์กัน (5) ทั้งนี้ในปัจจุบันศัลยแพทย์มักเติมยาปฏิชีวนะในการรักษาจึงทำให้บริษัทผลิตซีเมนต์กระดูกมีการผลิตซีเมนต์กระดูกชนิดผสมยาปฏิชีวนะมาเรียบร้อยแล้ว แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องชนิดของยาปฏิชีวนะและปริมาณของยาปฏิชีวนะที่จำกัด ซึ่งมักพบในปริมาณไม่เกิน 1 กรัม

2.3 สกรูในทางออร์โธปิดิกส์ (6)

สกรูหรือตะปูควงในทางออร์โธปิดิกส์เป็นเครื่องมือกลที่เปลี่ยนแรงบิดหมุนเป็นแรงอัด จัดเป็นวัสดุยึดตรึงกระดูกที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการซ่อมแซมกระดูกที่เกิดการแตกหักทั้งการยึดตรึงกระดูกโดยตรงหรือใช้ร่วมกับแผ่นโลหะตามกระดูกและเป็นที่ยอมรับในทางออร์โธปิดิกส์อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยทั่วไปส่วนประกอบของสกรูที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพของสกรูในทางออร์โธปิดิกส์ (6)

1. ส่วนหัวสกรู (Head) จะมีร่อง (Slot) ซึ่งสกรูที่ออกแบบโดยทางสถาบัน ASIF (Association For The Study of Internal Fixation) จะมีร่องเป็นหกเหลี่ยมด้านเท่าเสมอ ในส่วนรูปทรงของหัวสกรูจะเป็นครึ่งทรงกลมเพื่อเหมาะกับการใช้งานร่วมกับรูของแผ่นตามโลหะและใช้ไขควง (Screw Driver) เพื่อใส่สกรูลงไปในกระดูกหรือวัสดุ

2. ส่วนด้ามสกรู (Shaft or Shank) คือส่วนที่อยู่ระหว่างส่วนหัวและส่วนเกลียว มีลักษณะเป็นผิวเรียบในกรณีที่สกรูเป็นชนิดเกลียวตลอดความยาวหมายความว่าไม่มีส่วนของด้ามสกรูนั่นเอง

3. ส่วนเกลียว (Thread) คือส่วนที่ถัดลงมาจากหัวสกรูและด้ามสกรู เป็นส่วนที่มีหน้าที่ทำให้เกิดแรงอัดตามแนวแกนจากแรงไขสกรู โดยอาศัยลักษณะของเกลียวที่ฝังเข้าไปในเนื้อกระดูกโดย ทุกครั้งที่มีการไขสกรูครบ 1 รอบ หรือ 360 องศา เกลียวจะฝังลงไปกระดูก 1 เกลียวเช่นกัน ซึ่งลักษณะของเกลียวต่างๆ สามารถระบุได้คือ

3.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวสกรู (Outer-Diameter) คือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบเกลียวภายนอกสุด มีหน้าที่บ่งบอกถึงแรงต้านการดึงถอน (Pullout Strength) ของสกรู คือ หากมีเส้นผ่านศูนย์กลางมาก เกลียวจะสามารถฝังเข้าไปในเนื้อกระดูกได้มาก สกรูก็จะยึดตรึงแน่น

3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนสกรู (Inner-Diameter) คือสิ่งบ่งบอกถึงความแข็งแรงต้านการดัดงอ (Bending) ของสกรู คือสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนสกรูมากจะสามารถต้านการดัดงอได้มาก

3.3 ระยะระหว่างเกลียว (Pitch) คือระยะระหว่างเกลียวกับเกลียวถัดไปมีค่าเท่ากับความยาวของส่วนที่เป็นเกลียวหารด้วยจำนวนเกลียว

3.4 ระยะนำ (Lead) คือระยะการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของการหมุนสกรู 1 รอบ หรือ 360 องศา โดยสกรูจะฝังเข้าไปในเนื้อวัสดุ 1 เกลียว เป็นระยะเท่ากับค่าความห่างในแต่ละเกลียวหากเป็นเกลียวชนิดเกลียวคู่หมายความว่าสกรูจะฝังเข้าไปในเนื้อวัสดุ 2 เกลียว

3.5 ลักษณะของเกลียว (Pattern of Thread) คือรูปแบบเกลียวที่ใช้ในการยึดกับกระดูกโดยสกรูในทางออร์โธปิดิกส์จะใช้ลักษณะเกลียวเป็นค้ำยัน (Buttress Thread)

4. ส่วนปลาย (Tip) คือ ส่วนท้ายสุดของสกรู มี 2 ลักษณะคือ

4.1 ลักษณะปลายกลมมน (Round) โดยต้องอาศัยเครื่องมือทำเกลียว (Pre-Tapping) ก่อนจึงจะใส่เกลียวชนิดนี้ลงไปได้

4.2 ลักษณะปลายแหลม (Flute หรือ Trocar) โดยสามารถใส่สกรูได้เลยภายหลังการเจาะรูในเนื้อวัสดุโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือทำเกลียว (Pre-Tapping)

สกรูในทางออร์โธปิดิกส์เป็นสกรูที่มีทั้งจำเป็นต้องทำเกลียวตัวเมียให้กระดูกก่อนใส่สกรู (Non-Self-Tapping Screw) และไม่จำเป็นต้องทำเกลียวตัวเมียให้กระดูกก่อนใส่สกรู (Self-Tapping Screw) โดยสามารถแบ่งสกรูได้เป็น 5 ชนิดคือ

1. Cancellous Screw เป็นสกรูที่มีเกลียวค่อนข้างใหญ่ระยะห่างระหว่างเกลียวค่อนข้างมากมีทั้งชนิดเกลียวตลอดความยาวและเกลียวไม่ตลอดความยาว เหมาะสำหรับกระดูกที่มีลักษณะรูพรุนคล้ายฟองน้ำ
2. Cortex Screw เป็นสกรูที่มีลักษณะคล้าย Cancellous Screw แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนสกรูค่อนข้างใหญ่กว่า ทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวสกรุน้อยกว่า เหมาะสำหรับกระดูกที่มีลักษณะแข็ง
3. Cortical Screw เป็นสกรูที่มีขนาดเกลียวและระยะห่างระหว่างเกลียวน้อยกว่า Cancellous Screw เป็นสกรูชนิดเกลียวตลอดความยาว (เกลียวถี่) เหมาะสำหรับกระดูกที่มีลักษณะเนื้อแน่น แข็ง

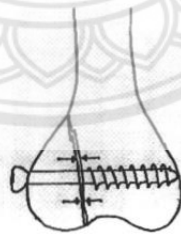
4. Malleolar Screw เป็นสกรูที่มีเกลียวคล้าย Cortical Screw แต่ส่วนปลายจะเป็นปลายแหลม เหลี่ยมคม เพื่อที่สามารถใส่สกรูได้ทันทีภายหลังการเจาะรูโดยไม่ต้องทำเกลียวก่อน

5. Shaft Screw เป็นสกรูชนิด Cortical Screw ที่มีเกลียวไม่ตลอดความยาว (Partial Thread) เพื่อง่ายต่อการทำ Lag Screw Fixation

เทคนิคการใส่สกรูในทางออร์โธปิดิกส์ขั้นตอนการใส่สกรูได้แก่

1. การทำรูบนกระดูก (Drill)
2. การทำเกลียวในรูกระดูก (Tapping) โดยใช้เครื่องมือทำเกลียวตัวเมีย แต่ถ้าหากเป็นสกรูชนิด Self-Tapping Screw สามารถข้ามขั้นตอนนี้ไปได้
3. การใส่สกรู (Screw Insertion)

โดยทั่วไปการใส่สกรูจะต้องให้ได้ (Lag Effect) ซึ่งก็คือการไม่ให้เกิดช่องว่าง (Gap) ระหว่างกระดูกที่หัก โดยการอัดกระดูกเข้าที่หักหากันโดยใช้แรงบิดของสกรุนั้นเอง ซึ่งมีหลักการคือ เกลียวของสกรูจะไม่ยึดติดหรือฝังในชั้นกระดูกที่ใกล้กับหัวสกรู และเกลียวสกรูจะต้องยึดติดหรือฝังในชั้นกระดูกชั้นไกลเท่านั้น หลักการนี้สามารถทำได้โดยการทำรูกระดูกชั้นไกลให้ใหญ่กว่าเกลียวสำหรับการไถล (Gliding Hole) ส่วนกระดูกชั้นไกลมีรูเล็กกว่าเกลียวเพื่อยึดติด จึงจะทำให้เกิดการอัดของชั้นใกล้เข้าหาชั้นไกล ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 การทำ Lag Screw Fixation (6)

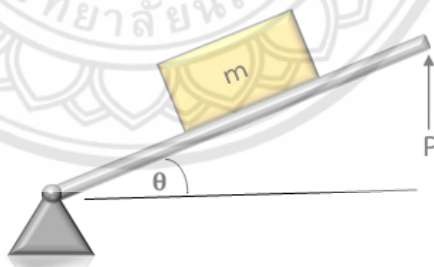
2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างพื้นผิวสัมผัสของวัตถุสองพื้นผิว เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ ตั้งแต่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ จากการทดลองพบว่าแรงเสียดทานสถิต (F_s) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับวัตถุในแนวตั้งฉาก (N) สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้คือ

$$F_s = \mu_s N \quad (2.1)$$

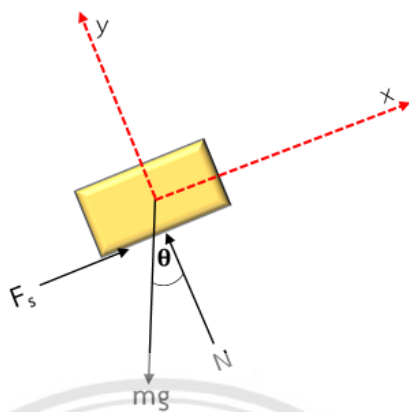
เมื่อ	μ_s	คือ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต
	F_s	คือ	แรงเสียดทานสถิต
	N	คือ	แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับวัตถุในแนวตั้งฉาก

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งวิธีการทดลองจะนำมวล m ที่ทำจากวัสดุที่กำหนดไว้ วางบนแท่นที่ปรับมุมได้ ซึ่งพื้นแท่นจะวางวัสดุที่กำหนดไว้เช่นกัน จากนั้นค่อยๆ เอียงแท่นให้มีมุมเอียงเพิ่มมากขึ้น จนสังเกตเห็นมวล m เริ่มเกิดการลื่นไถล ให้บันทึกค่ามุมเอียง (θ) นั้นไว้แล้วทำการวิเคราะห์ต่อไปดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตบนพื้นเอียง

เมื่อพิจารณาผังวัตถุอิสระ (Free Body Diagram: FBD) ของมวล m ในขณะเริ่มขึ้นไถล ดังรูปที่ 2.7 จะพบว่า



รูปที่ 2.7 ผังวัตถุอิสระของมวลที่กระทำกับพื้นเอียง

$$\left(\sum F_y = 0\right); \quad N = mg \cos \theta \quad (2.2)$$

$$\left(\sum F_x = 0\right); \quad F_s = mg \sin \theta \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.1)

$$F_s = \mu_s N$$

จัดรูปใหม่ได้ว่า

$$\mu_s = \frac{F_s}{N}$$

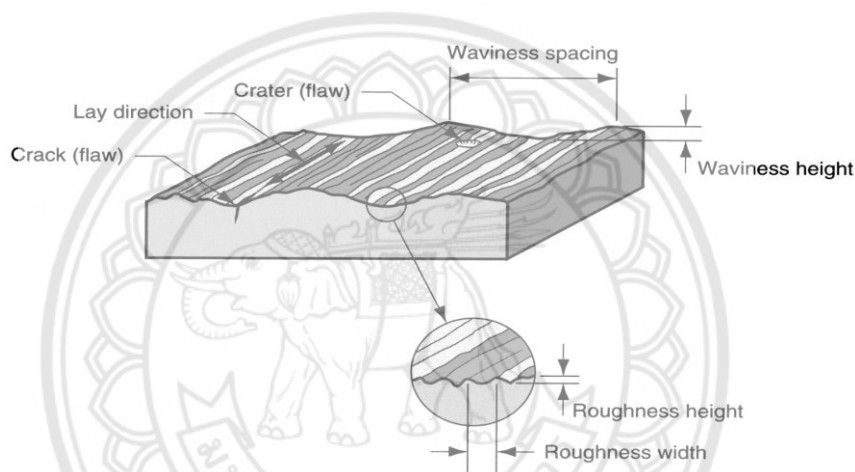
แทนสมการที่ (2.2) และ (2.3) ลงในสมการที่ (2.1) จะได้ว่า

$$\mu_s = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta} \quad \text{หรือ} \quad \mu_s = \tan \theta \quad (2.4)$$

สมการที่ (2.4) นี้ สามารถใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (μ_s) จากค่ามุมเอียงของแท่นทดสอบ (θ) ที่ได้จากการทดลอง

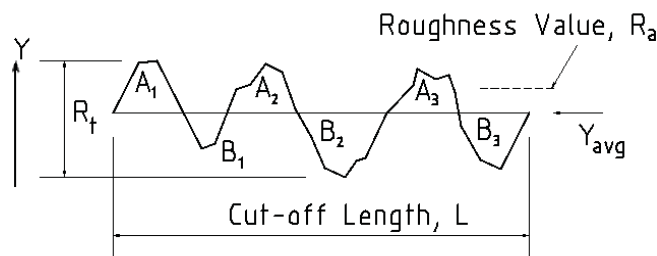
2.5 ค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) (8)

ความหยาบของผิวเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการผลิตแบบหนึ่ง ความหยาบเกิดขึ้นจากรูปร่างของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน และกรรมวิธีการขึ้นรูป สำหรับการวัดความหยาบจะวัดลักษณะที่เกิดจากความขรุขระของพื้นผิวที่ความยาวคลื่นน้อย ดังนั้นในการวัดจะต้องจำกัดระยะในการวัดให้ต่ำลักษณะความเป็นคลื่น ระยะนี้เรียกว่า Cut-Off Length ดังแสดงในรูปที่ 2.8 Cut-Off Length มีค่ามาตรฐานที่ใช้กันมากคือ 0.25 mm, 0.8 mm, และ 2.5 mm ความหยาบของพื้นผิวมีความสำคัญต่อการใช้งานหลายๆ อย่าง เช่น แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว การสึกหรอจากการเสียดสี ความสวยงาม (Looks) ความรู้สึกในการสัมผัส (Feels) ความสามารถในการป้องกันการรั่วซึม (Sealing Property) เป็นต้น



รูปที่ 2.8 คำศัพท์ต่างๆ สำหรับลักษณะของพื้นผิว (8)

ค่าความหยาบของพื้นผิวนั้นมีผลโดยตรงต่อความเงาของผิวชิ้นงาน สามารถประมาณค่าความหยาบได้จากความเป็นเงา ถ้าต้องการความแม่นยำจำเป็นต้องกำหนดค่าความหยาบเป็นตัวเลข เช่น ใช้เครื่องวัดความหยาบผิวด้วยเข็มลากซึ่งเป็นเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ หลักการเป็นการแสดงพื้นผิวจริงที่ถูกขยายขึ้นเป็นเส้นโปรไฟล์ มีความละเอียดเที่ยงตรงสูงเพราะเป็นการส่งสัญญาณผ่านจากหัวเข็มลาก (Stylus) ที่เคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ไปบนผิวหน้าของวัสดุที่ทำการวัดและตามความสูงต่ำของพื้นผิวเครื่องขยายสัญญาณจะขยายสัญญาณจากการเคลื่อนที่ของเข็มลากมาเป็นลักษณะเส้นโปรไฟล์ของพื้นผิวและแสดงบนชุดแสดงผล ได้แก่ Roughness Profile (R-Profile) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ Primary Profile (P-Profile) ซึ่งแสดงลักษณะความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานและลักษณะพื้นผิวหลักของชิ้นงานตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงค่าความหยาบเฉลี่ย (R_a) ได้อีกด้วย



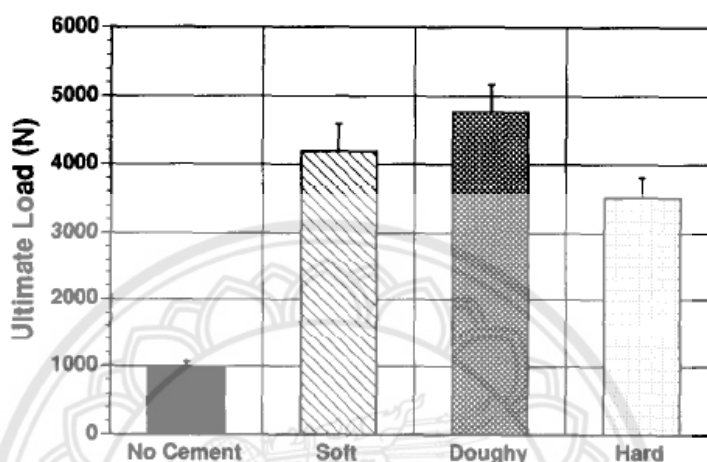
รูปที่ 2.9 ค่าต่างๆ เกี่ยวกับการคำนวณค่าความหยาบจากค่าความสูงของพื้นผิว (8)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.6.1 การศึกษาของ Nuño N. และคณะ (9) กล่าวว่า การหาค่าที่ถูกต้องของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่าง Ti-6Al-4V กับซีเมนต์กระดูกมีความสำคัญอย่างยิ่งในการหาสถานะของผิวสัมผัสสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการออกแบบสะโพกเทียมแบบใช้ซีเมนต์ จึงได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6Al-4V ในสถานะพื้นผิวแห้ง พื้นผิวมีสารละลายของริงเงอร์ (Ringer's Solution) และโบไวน์เซรัม (Bovine Serum) โดยไม่ได้มีการผสมยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูก ในการทดสอบใช้การทดสอบมาตรฐานบนพื้นเอียง (Standard Inclined Plane Test) ตามมาตรฐาน ASTM 4516-91 "Standard Test Methods for Measuring Static Friction of Coating Surface" ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานสถิต โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาทุกการทดสอบค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะอยู่ระหว่าง 0.17 ถึง 0.32 ทั้ง 3 สถานะคือ พื้นผิวแห้ง พื้นผิวมี Ringer's Solution และพื้นผิวที่มี Bovine Serum สำหรับความความขรุขระของพื้นผิวที่เหมือนกัน โดยทั่วไปแล้วค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ใช้ Ringer's Solution มีค่าแตกต่างกับพื้นผิวแห้งเล็กน้อย ในทางตรงกันข้าม Bovine Serum มีแรงดึงผิวที่สูงมากส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

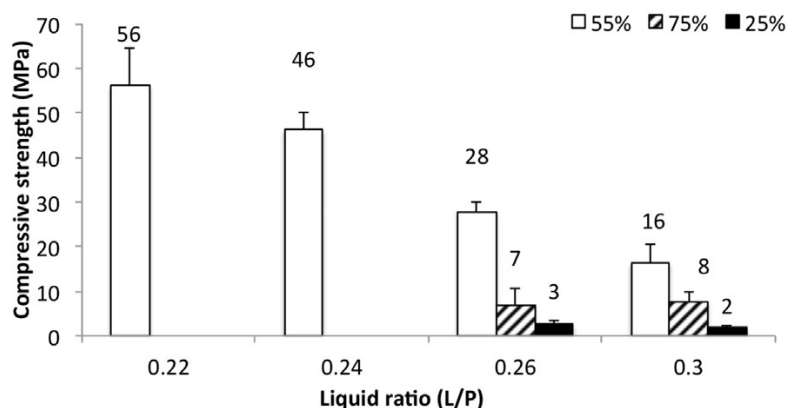
2.6.2 งานวิจัยของ Flahiff C. M. และคณะ (10) เรื่องความแข็งแรงดึงถอนของการยึดของสกรูกับซีเมนต์กระดูกประเภทโพลีเมทิลเมทาไครเลต (Polymethylmethacrylate: PMMA) ทำการทดสอบความแข็งแรงดึงถอนโดยทำการทดสอบกับกระดูกเทียมโดยศึกษาความแข็งแรงในขณะที่ซีเมนต์อยู่ในระหว่างการแข็งตัวในช่วงต่างๆ โดยทำการทดสอบแรงดึงถอน 4 กลุ่มได้แก่ สกรูในกระดูกที่ 1) ไม่เติม

ซีเมนต์ 2) เต็มซีเมนต์ในขณะที่มีสภาวะเป็น Soft PMMA (หลังผสมประมาณ 5 นาที) 3) เต็มซีเมนต์ในขณะที่มีสภาวะเป็น Doughy Cement (หลังผสมประมาณ 8-10 นาที) และ 4) เต็มซีเมนต์ในขณะที่มีสภาวะเป็น Hard Cement (หลังผสมประมาณ 20 นาที) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.10 จากผลการทดลองพบว่า การเต็มซีเมนต์ในขณะที่อยู่ใน Doughy Cement มีความแข็งแรงถึงถอนสูงสุด



รูปที่ 2.10 ภาระสูงสุดของซีเมนต์ 4 กลุ่ม (10)

2.6.3 งานวิจัยของ Palmer M. P. และคณะ (11) ซึ่งได้มีการทดสอบความแข็งแรงของพันธะระหว่างสกรูและซีเมนต์ (ไม่รวมกระดูกเทียม) โดยในการผสมซีเมนต์จะใช้สารโมโนโซเดียมฟอสเฟต โมโนไฮเดรต (Monocalcium Phosphate Monohydrate: MCPM) และ เบต้า-ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (β -Tricalcium Phosphate: β -TCP) ในอัตราส่วน 0.45:0.55% โดยโมล กับ โซเดียมไพโรฟอสเฟต (Sodium Pyrophosphate) 0.1% โดยน้ำหนักและกรดซิตริก (Citric Acid) 2.1% โดยน้ำหนัก ผสมกันด้วยอัตราส่วนของเหลวต่อผงเป็น 0.22, 0.26 และ 0.3 mL \cdot g⁻¹ ซึ่งก่อนผสมจะร่อนส่วนผสมที่เป็นผงเพื่อให้อนุภาคของ MCPM ที่มีขนาดใหญ่ มีขนาดเล็กกลโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25-50 μ m เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายให้ดียิ่งขึ้น จากนั้นทดลองแปรค่าอัตราส่วนของเหลวต่อผง (L/P) ที่ 0.22 - 0.30 อัตราส่วนของ β -TCP: MCPM เป็น 25%, 55% หรือ 75% และปริมาตรของการฉีดเป็น 0.5, 1 หรือ 2 mL เพื่อลักษณะความแข็งแรงของซีเมนต์กระดูก ผลปรากฏว่าค่าความแข็งแรงกอดอัดของแต่ละการทดสอบนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของของเหลวกับผง (L/P) ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งค่าความแข็งแรงกอดอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อรูพรุนลดลง



รูปที่ 2.11 อัตราส่วนของน้ำต่อผงและ β -TCP ต่อ MCPM ที่ถูกลดลงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกดอัด (11)

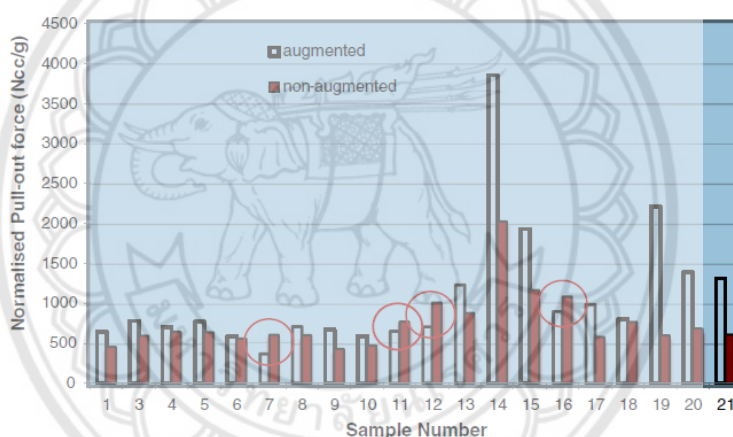
2.6.4 งานวิจัยของ Hou และคณะ (12) ได้ทำการตรวจสอบกำลังของการยึดเกาะกระดูกของเกลียวล๊อคที่ใช้กับกระดูกหน้าแข้ง (Tibia) โดยการประเมินข้อมูลจากการทดสอบทางกลและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการทดสอบทางกลจะทำการทดสอบสกรูล๊อค (Locking Screw) กระดูกที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน 6 ประเภท เกลียวยึด 5 ประเภทแรกเป็นเกลียวยึดแบบเกลียวเต็มที่มีขายทั่วไปและสุดท้ายคือเกลียวยึดแบบเกลียวที่ปลายของทั้ง 2 ด้าน จากนั้นใส่เข้าไปในท่อโฟมพอลิยูรีเทน (Polyurethane Foam) ความหนาแน่นต่ำที่จำลองกระดูกที่มีลักษณะพรุน เกลียวล๊อคหรือเกลียวยึดจะถูกดึงออกจากโฟมกระดูกโดยแรงตามแนวแกน ควบคุมระยะขจัด 2.5 มิลลิเมตร/นาทีก่อนขึ้นไป 5 มิลลิเมตร ผลการทดสอบทางกลเกลียวยึดถูกถอนออกจากโฟมกระดูกปราศจากการเสียรูปของเกลียวยึด โดยผลจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับผลจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างมาก

2.6.5 การวิจัยของ Procter P. และคณะ (13) เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกระดูกที่มีการเติมซีเมนต์กระดูกประเภทแคลเซียมฟอสเฟตแบบชนิด โดยทำการทดสอบ 2 ส่วน คือการทดสอบโดยใช้กระดูกที่ได้รับบริจาคมาโดยใช้ซีเมนต์ยึดและไม่ใช้ซีเมนต์ยึด และการทดสอบความไว (Sensitivity) ของสกรูต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของสกรูโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์-เอลิเมนต์ สรุปได้ว่าความแข็งแรงเนื่องจากแรงดึงโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ซีเมนต์กระดูก ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าของแรงดึงถอนต่อมิลลิเมตรเมื่อไม่เติมซีเมนต์และเติมซีเมนต์กระดูก (13)

	Non-augmented	Augmented
Mean Pull-out force (N)	14.05	17.91
Minimum pull-out force (N)	2.85	5.97
Maximum pull-out force (N)	42.58	54.01
Median pull-out force (N)	11.55	130.8

จากการทดลองการดึงถอนสกรูในกระดูกจริง โดยปกติจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้ภาระดึงถอนแต่อย่างไรก็ตามบางชุดการทดสอบมีผลที่แตกต่างไปจากแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แรงดึงหลังจากการทำนอร์มัลไลซ์ (Normalized) จากความหนาแน่นกระดูก (13)

2.6.6 งานวิจัยของ Yang S.C. (14) ได้ทำการศึกษาการทดลองเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงถอนของ Pedicle Screw ต่างชนิดกันโดยมีการเติมซีเมนต์กระดูกในการรักษาโรคกระดูกสันหลังพรุนอย่างรุนแรง เนื่องจากสกรูแบบเก่าที่ใช้ในการรักษาไม่สามารถให้ความแข็งแรงระหว่างสกรูกับกระดูกได้เพียงพอสำหรับกระดูกพรุนใน Cancellous Bone และทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนเนื่องจากการหลวมหรือความเสียหายของของกระดูกที่เกิดจากสกรูที่ใส่เข้าไปในกระดูกซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในกระบวนการรักษา ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู 3 ประเภท ได้แก่ สกรูแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการรักษาทั่วไป สกรูที่มีแกนกลางกลวง (Cannulated Pedicle Screw) แบบเพิ่มพินและไม่เพิ่มพิน โดยใช้กระดูกเทียมที่มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับกระดูกพรุน ซึ่งในการทดสอบหาค่าแรงดึงจะมี

การปรับค่าปริมาตรของซีเมนต์กระดูกที่เติมลงไปกระดูกเทียมด้วย ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ A, B และ C ตามประเภทของสกรูที่ใช้ในการทดลองโดยไม่ได้มีการเพิ่มซีเมนต์กระดูก และ กลุ่มที่เติมซีเมนต์ในกระดูกพูนเทียมแบ่งเป็น D1, D2, D3, E1, E2, E3, F1, F2 และ F3 ซึ่งเป็นตัวแทนของสกรูที่มีการเพิ่มซีเมนต์ 3 ประเภทโดยปรับปริมาตรของซีเมนต์กระดูกที่ใช้เป็น 2, 3 และ 4 มิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงดึงถอนของกลุ่มที่มีการเพิ่มซีเมนต์มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ไม่เพิ่มซีเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้น ค่าสมรรถนะของของค่าความแข็งแรงดึงถอนที่ดีคือ กลุ่มของ Cannulated Pedicle Screw แบบเพิ่มพินตรงกลางที่ปริมาตรของซีเมนต์ที่ 4 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งจากการศึกษานี้ทำให้ทราบว่ากลุ่มของ Cannulated Pedicle Screw แบบเพิ่มพินตรงกลางสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงถอนได้โดยในการรักษาผู้ป่วยที่เป็นกระดูกพูนชนิดรุนแรงสามารถเติมซีเมนต์เข้าไปได้จนกว่าจะไม่สามารถเติมซีเมนต์ลงไปได้

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองค่าความแข็งแรงดึงถอนและงานที่ได้ของทั้ง 12 กลุ่ม (N = 5) (14)

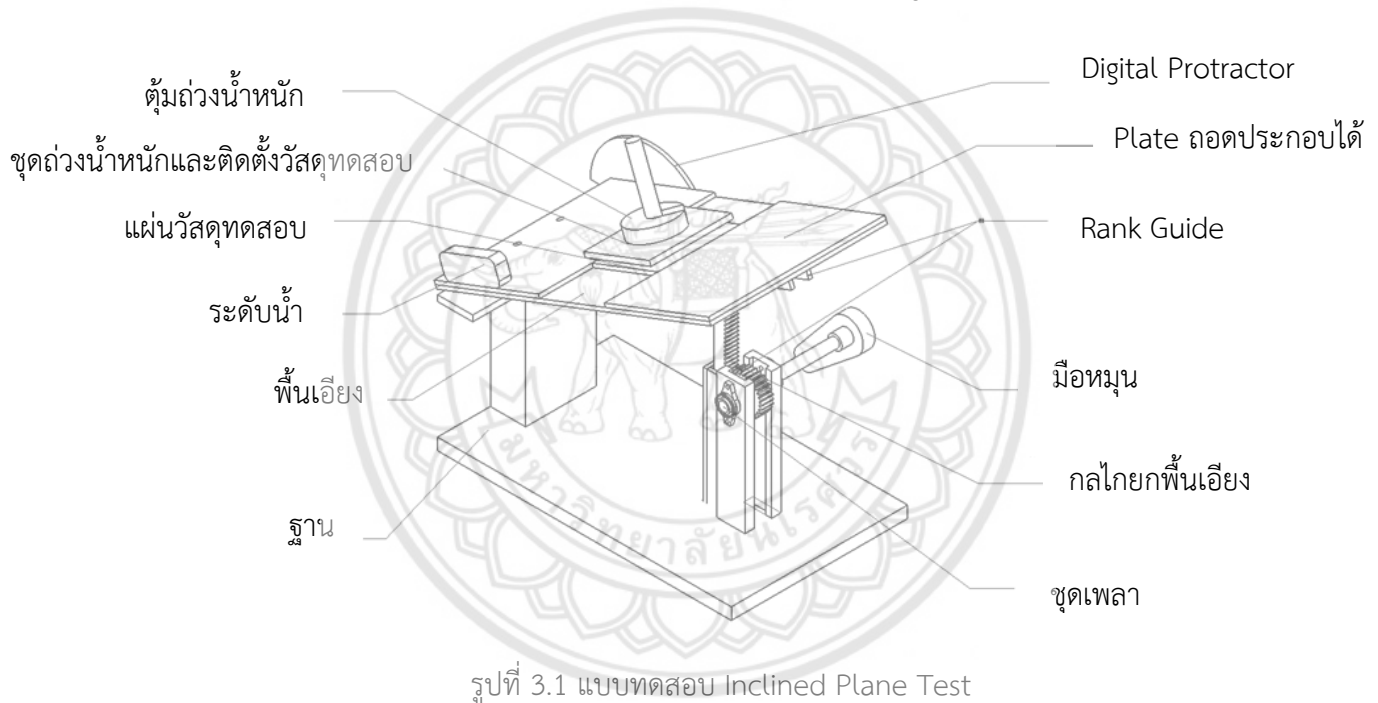
	Force [N]	Work [N-mm]	Force [N]	Work [N-mm]	Force [N]	Work [N-mm]
	Group A		Group B		Group C	
Mean ± SD	25.2 ± 7.2	13.55 ± 2.3	14.8 ± 6.3	5.94 ± 2.0	16 ± 3.7	7.75 ± 1.9
	Group D1		Group D2		Group D3	
Mean ± SD	183 ± 18.4	80.48 ± 13.5	215 ± 18.4	144.6 ± 17.4	272 ± 20.2	169 ± 37.8
	Group E1		Group E2		Group E3	
Mean ± SD	153.6 ± 19.2	65.4 ± 10.7	204.2 ± 16.6	109.2 ± 16.5	229.4 ± 20.3	134 ± 26.9
	Group F1		Group F2		Group F3	
Mean ± SD	173.6 ± 30.0	94.6 ± 24.4	209.2 ± 29.3	124 ± 11.6	275.4 ± 26.0	168.2 ± 18.5

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 ออกแบบ สร้างและสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

3.1.1 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

การออกแบบได้วิเคราะห์ฟังก์ชันและเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหา ดังแสดงใน (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1) โดยจากการวิเคราะห์ฟังก์ชันทั้งหมดสามารถออกแบบการทำงานของอุปกรณ์ ได้เป็นชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (Inclined Plane Test) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบทดสอบ Inclined Plane Test

ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (Inclined Plane Test) ดังรูปที่ 3.1 แบ่งหลักการทำงานได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. การยกพื้นเอียง

ในการยกพื้นเอียงจะใช้หลักการกลไก Rack and Pinion โดยการแปลงการเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นในการยกพื้นเอียง เครื่องทดสอบจะติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำเพื่อกำหนดพื้นเอียง

ให้อยู่ในแนวระดับและเครื่องมือวัดมุมแบบดิจิตอล (Digital Protractor) ความละเอียด 0.1 องศา เพื่อทำการวัดมุม (θ) ซึ่งมีความละเอียดเท่ากับ 0.1

2. การลื่นไถลระหว่างคู่วัสดุที่ทำการทดสอบ

แผ่นพื้นเอียงและ Plate ถอดประกอบได้มีหน้าที่ในการยึดจับแผ่นซีเมนต์กระดุกให้อยู่กับที่ และคู่วัสดุจะวางไว้ด้านบนของซีเมนต์กระดุกโดยใส่ชุดถ่วงน้ำหนัก เมื่อค่อยๆ ยกพื้นเอียงขึ้นจนเริ่มเกิดการลื่นไถลระหว่างคู่สัมผัส จึงทำการบันทึกภาพและบันทึก ค่ามุม (θ) เพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.1.2 การสอบทวนเครื่องมือวัด

การสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดสามารถวัดค่าออกมาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในการการสอบทวนนี้ใช้กระดาษกับกระดาษเป็นคู่วัสดุอ้างอิงในการทดสอบ (15) โดยวิธีการทดลองจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งทำการศึกษามวลของค่าน้ำหนักกดทับ (Contact Pressure) และลักษณะการวางของชิ้นทดสอบใต้ชุดถ่วงน้ำหนักของเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เพื่อดูผลกระทบของการวางชิ้นทดสอบแบบติดกันและวางห่างกัน ตามงานวิจัยของ Nuño N. และคณะ (9) ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตก่อนทำการวางแผนการทดสอบกับซีเมนต์กระดุกจริงที่มีราคาสูง



(ก) วางชิ้นทดสอบติดกัน

(ข) วางชิ้นทดสอบห่างกัน

รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางชิ้นงานใต้ชุดถ่วงน้ำหนัก

สำหรับในการศึกษาผลของค่า Contact Pressure ใช้น้ำหนักกดทับ เพื่อให้คู่ทดสอบเกิด Contact Pressure ในช่วง 1.5 kPa ถึง 15 kPa (9) โดยทำการเปลี่ยนน้ำหนักทั้งหมด 4 การทดสอบแต่ละการทดสอบมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 200 กรัม 400 กรัม 600 กรัม และ 800 กรัม ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) และทำการ

เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ได้กับผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของกระดาษกับกระดาษจากการวิจัยของ Instron (15)

3.1.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

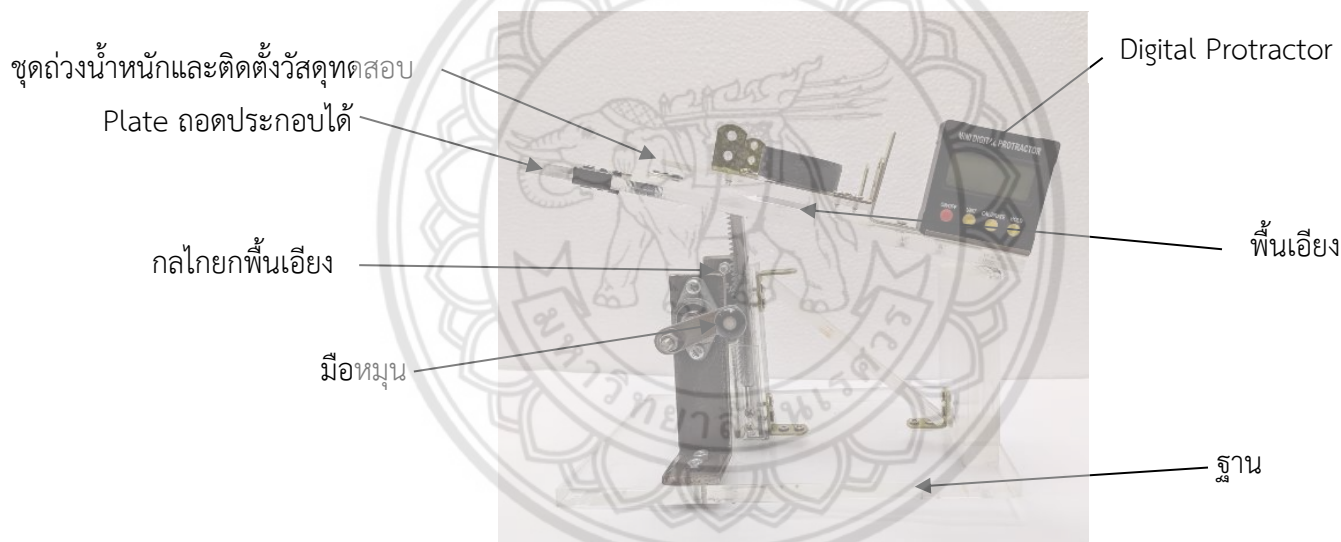
1. ชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต	จำนวน	1	ชุด
2. แผ่นอะคริลิกใส ขนาด 30 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตร หน้า 3 มิลลิเมตร	จำนวน	4	ชิ้น
3. แผ่นอะคริลิกใส ขนาด 60 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร หน้า 3 มิลลิเมตร	จำนวน	1	ชิ้น
4. แผ่นกระดาษหนา 80 แกรม ยี่ห้อ Double A	จำนวน	1	แผ่น
5. ตุ่มน้ำหนักขนาด 100 กรัม	จำนวน	1	อัน
6. ตุ่มน้ำหนักขนาด 200 กรัม	จำนวน	3	อัน
7. ผ้าทำความสะอาด	จำนวน	1	ผืน
8. แอลกอฮอล์ทำความสะอาด	จำนวน	1	ขวด
9. กาวลาเท็กซ์	จำนวน	1	ขวด

3.1.2.2 วิธีการสอบทวน

- เตรียมอะคริลิกขนาด 30 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตร หน้า 3 มิลลิเมตร 2 ชิ้น และ ขนาด 60 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร 1 ชิ้น จากนั้นเตรียมกระดาษที่มีขนาดเท่ากับอะคริลิกแต่ละแผ่นทำด้วยกาวลาเท็กซ์ติดลงบนอะคริลิกที่เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2
- นำแผ่นกระดาษที่ติดบนอะคริลิกขนาด 60 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร วางลงบนพื้นเอียงของชุดทดสอบจากนั้นใช้ตัวล็อก ล็อกไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการลื่นไถล
- ไต่ชุดถ่วงน้ำหนักมีช่องใส่อะคริลิกขนาด 30 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร เพื่อใช้วางขึ้นทดสอบชิ้นเล็กโดยวางขึ้นทดสอบให้ติดกันโดยให้ขึ้นทดสอบขนาดเล็กติดกับขอบของช่องที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ก)
- ในการทดลองชุดแรกจะนำชุดถ่วงน้ำหนักที่เตรียมไว้วางลงบนกระดาษที่อยู่บนเครื่องทดสอบจากในขั้นตอนที่ 2 พร้อมทั้งวางตุ่มน้ำหนักขนาด 100 กรัมลงบนชุดถ่วงน้ำหนักเพื่อให้น้ำหนักในการ

ทดลองแรกประมาณ 200 กรัม (ชุดถ่วงน้ำหนักไม่รวมตุ้มน้ำหนักหนักประมาณ 100 กรัม) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

5. เปิดเครื่องวัดมุมแบบดิจิตอล ดูให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องเป็น 0 องศา จากนั้นเริ่มปรับพื้นเอียงโดยใช้มือหมุนจนกว่าชุดถ่วงน้ำหนักจะเริ่มเกิดการลื่นไถล บันทึกค่ามุมที่อ่านได้
6. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 5 จำนวน 10 ครั้ง
7. เริ่มเพิ่มขนาดมวลรวมให้เป็น 400 กรัม, 600 กรัม และ 800 กรัม ตามลำดับและทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 และ 6 จนครบทุกน้ำหนัก
8. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 แต่วางชิ้นทดสอบห่างกันดังรูปที่ 2 (ข)
9. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4 – 7
10. ทำการทดลองทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 3.3 การเตรียมชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

3.2 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V นั้นใช้วิธีการวางแบบห่างและใช้ Contact Pressure ค่าเดียว เนื่องจากผลการสอบทวน (หัวข้อ 4.1) พบว่าทั้งสองปัจจัยไม่ทำให้มีความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับซีเมนต์กระดูกจะแบ่งการทดสอบเป็น 4 สภาวะคือ ไม่ผสมยาปฏิชีวนะ ผสมยาปฏิชีวนะ

0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ขึ้นรูปซีเมนต์กระดูกแต่ละสภาวะเป็นแผ่นขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร โดยใช้แม่พิมพ์ยางพาราที่ทำขึ้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 การทดลองนี้หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะปริมาณต่างๆ กับ Ti-6Al-4V เพื่อศึกษาผลกระทบของยาปฏิชีวนะที่ใส่ลงไปนซีเมนต์กระดูกต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) นอกจากนี้ได้ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บซีเมนต์กระดูกที่ใช้ในการทดสอบอีกด้วย กล่าวคือ ทำการทดสอบหลังจากผสมและเก็บไว้ในสภาวะแห้ง (Dry Condition) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์ตามลำดับ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเมื่อมีการวัดซ้ำ (Two-Way ANOVA Repeated Measure)

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต	จำนวน	1	ชุด
2. ซีเมนต์กระดูกยี่ห้อ DePuy CMW รุ่น SmartSet HV (Johnson & Johnson, USA)	จำนวน	4	กล่อง
3. ยาปฏิชีวนะชนิด Vancomycin ยี่ห้อ Vancogen (Alkem, India) ปริมาณ 0.5 กรัม	จำนวน	13	ขวด
4. แม่พิมพ์ยางพารา ขนาด 50 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร x 3 มิลลิเมตร	จำนวน	3	อัน
5. ตุ่มน้ำหนักขนาด 100 กรัม	จำนวน	1	อัน
6. ตุ่มน้ำหนักขนาด 200 กรัม	จำนวน	3	อัน
7. ชามสแตนเลส	จำนวน	4	ใบ
8. ไม้ไอศกรีม	จำนวน	4	อัน
9. วาสลิน	จำนวน	1	กระปุก
10. นาฬิกาจับเวลา	จำนวน	1	เรือน
11. ถูชิปลิ้อค	จำนวน	4	ใบ

3.2.2 วิธีการทดลอง

3.2.2.1 การเตรียมซีเมนต์กระดูก

1. แخذซีเมนต์กระดูกและยาปฏิชีวนะในตู้เย็นเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง
2. ตั้งค่าอุณหภูมิห้องประมาณ 23 - 25 องศาเซลเซียส
3. เตรียมอุปกรณ์สำหรับผสมซีเมนต์กระดูก คือ ชามสแตนเลสและไม้ไอศกรีม
4. แกะกล่องซีเมนต์กระดูก ซึ่งภายในกล่องประกอบด้วย หลอดบรรจุส่วนที่เป็นของเหลว และของบรรจุส่วนที่เป็นผง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 นำส่วนที่เป็นผงเทลงในชามสแตนเลสจากนั้นเตรียมจับเวลา (ตามคู่มือการใช้งาน)
5. เทส่วนที่เป็นของเหลวผสมกับผงซีเมนต์กระดูกเตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 พร้อมทั้งจับเวลาทันทีที่ส่วนผสมสัมผัสกัน จากนั้นคนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที ซึ่งในระหว่างนี้ให้เตรียมแม่พิมพ์โดยการทาวาสลินเพื่อป้องกันซีเมนต์ติดกับแม่พิมพ์ยางพารา
6. ลองใช้นิ้วแตะที่ซีเมนต์กระดูกในภาชนะ สังเกตจนกว่าจะไม่ติดมือ จากนั้นอัดลงบนแม่พิมพ์ แล้วนำมวลมากดทับเพื่อให้ผิวบนของซีเมนต์กระดูกเรียบดังแสดงในรูปที่ 3.6 รอจนซีเมนต์แข็งตัวแล้วแกะออกจากแม่พิมพ์
7. จากนั้นนำซีเมนต์กระดูกที่ได้ใส่ในถุงซิปล็อคเพื่อรอเตรียมการทดสอบ
8. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 - 6 แต่ใส่ยาปฏิชีวนะปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ตามลำดับ โดยผสมยาปฏิชีวนะ (ลักษณะเป็นผง) ให้เข้ากันดีกับผงซีเมนต์กระดูกก่อนเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลว
9. เก็บชิ้นงานไว้ในสภาวะแห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์

3.2.2.2 การทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

10. นำซีเมนต์กระดูกที่ไม่ผสมยาปฏิชีวนะที่เตรียมไว้ วางลงบนชุดทดสอบ จากนั้นใช้ตัวล๊อค ล็อคไว้เพื่อไม่ให้เกิดการลื่นไถล
11. ใต้ชุดถ่วงน้ำหนัก เพื่อใช้วาง Ti-6Al-4V ขนาด 30 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น โดยวางห่างกันให้ติดกับขอบของช่องที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7
12. นำชุดถ่วงน้ำหนักที่เตรียมไว้วางลงบนซีเมนต์กระดูกที่อยู่บนเครื่องทดสอบจากในขั้นตอนที่ 10 พร้อมทั้งวางตุ้มน้ำหนักขนาด 100 กรัมลงบนชุดถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ให้น้ำหนักในการทดลองแรกประมาณ 200 กรัม (ชุดถ่วงน้ำหนักไม่รวมตุ้มน้ำหนักหนักประมาณ 100 กรัม)

13. เปิดเครื่องวัดมุมแบบดิจิตอล ดูให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องเป็น 0 องศา จากนั้นเริ่มปรับพื้นเอียงโดยใช้มือหมุนจนกว่าชุดถ่วงน้ำหนักจะเริ่มเกิดการสั่นไถล จากนั้นบันทึกค่ามุมที่อ่านได้
14. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 12 จำนวน 10 ครั้ง
15. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 10 – 14 โดยใช้ซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ตามลำดับ
16. ทดสอบทั้งหมดซ้ำหลังจากเก็บชิ้นงานไว้ครบ 2 สัปดาห์



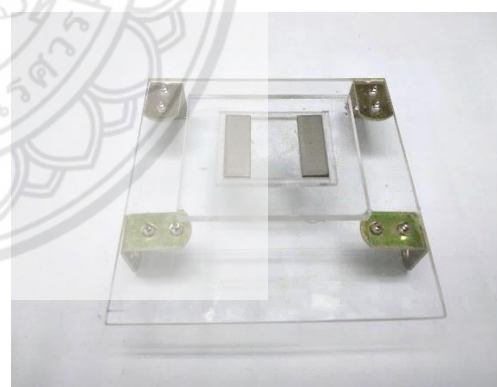
รูปที่ 3.4 แม่พิมพ์ยางพารา



รูปที่ 3.5 ผสมซีเมนต์กระดูกส่วนที่เป็นผงกับของเหลวให้เข้ากัน



รูปที่ 3.6 ขึ้นรูปซีเมนต์กระดูกในแม่พิมพ์



รูปที่ 3.7 วางชิ้น Ti-6Al-4V แบบห่างกัน

3.3 การทดลองหาค่าความหยาบผิว (Surface Roughness, Ra) ของซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะ

การทดสอบค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกมีวัตถุประสงค์เพื่อดูผลของปริมาณยาปฏิชีวนะที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุก โดยใช้ชิ้นงานทดสอบชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและทำการศึกษาผลกระทบของระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บซีเมนต์กระดุกที่ใช้ในการทดสอบด้วยเช่นเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อที่ 3.2

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- | | | |
|---|-------|-----------|
| 1. เครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 480B (Accertech, Japan) (ดังรูปที่ 3.8) | จำนวน | 1 เครื่อง |
| 2. ซีเมนต์กระดุกขนาด 50 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร (หมายเหตุ: ไม่ผสมยาปฏิชีวนะและผสมยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม อย่างละ 1 ชิ้น) | จำนวน | 4 ชิ้น |

3.3.2 วิธีการทดลอง

1. ทำการสอบเทียบเครื่องวัดความหยาบผิว ดังแสดงในภาคผนวก ข.1
2. นำซีเมนต์กระดุกไม่ผสมยาปฏิชีวนะวางที่ตำแหน่งวางชิ้นงานทดสอบ จากนั้นทำการตั้งค่าเครื่องทดสอบความหยาบผิว ให้วิเคราะห์ค่า Roughness Profile (R) และ Primary Profile (P)
3. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จำนวน 5 ครั้ง
4. เปลี่ยนชิ้นงานทดสอบเป็นซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ตามลำดับและทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนครบทุกชิ้นการทดสอบ



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความหยาบผิว (ยี่ห้อ Mituyoto รุ่น 480B)

3.4 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู

การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณยาปฏิชีวนะในซีเมนต์ กระดูกต่อค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู โดยทำการศึกษา 2 กรณี 1) กรณียึดสกรูแบบมีกระดูกเทียม และ 2) กรณียึดสกรูแบบไม่มีกระดูกเทียม โดยใช้เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ในการดึงสกรูจนกระทั่งสกรู หลุดออกจากชิ้นงาน แต่เนื่องจากชิ้นงานและสกรูค่อนข้างมีความเฉพาะเจาะจงจึงต้องออกแบบหัวจับ และตัวยึด (รายละเอียดดังรูปที่ ง.1 ง.2 และ ง.3) เพื่อให้สามารถใช้กับชิ้นงานทดสอบแต่ละกรณีและใช้ เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ได้ ซึ่งหลังจากออกแบบสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ

กรณีที่ 1) กรณียึดสกรูแบบมีกระดูกเทียม

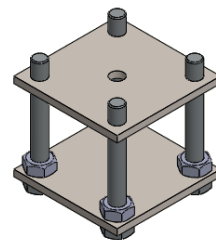


รูปที่ 3.9 ตัวยึดขึ้นทดสอบกรณีมีกระดูกเทียม (ใช้หัวจับชิ้นงานของ UTM เป็นหัวจับสกรู)

กรณีที่ 2) กรณียึดสกรูแบบไม่มีกระดูกเทียม



ก) หัวจับสกรู



ข) ตัวยึดขึ้นทดสอบ

รูปที่ 3.10 ตัวยึดขึ้นทดสอบกรณีไม่มีกระดูกเทียม

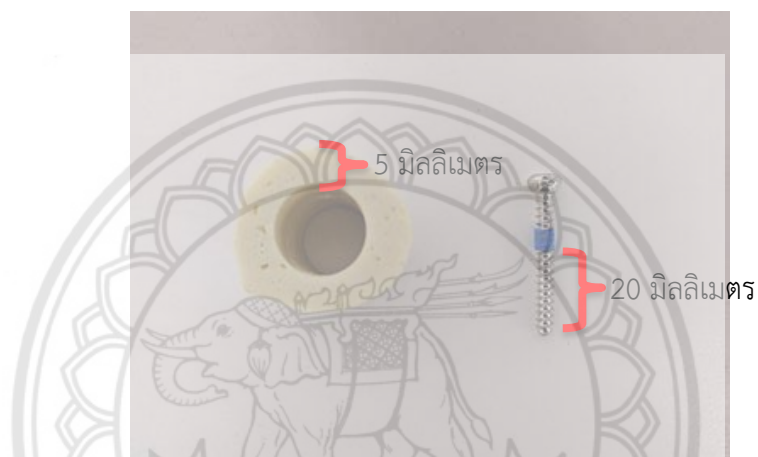
3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ รุ่น BPS Model BA-25 (BPS Instrument,Thailand)	จำนวน	1	เครื่อง
2. ซีเมนต์กระดูกยี่ห้อ DePuy CMW รุ่น SmartSet HV (Johnson & Johnson, USA)	จำนวน	8	กล่อง
3. กระดูกเทียม (Foam Bone) เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร หนา 3 – 8 มิลลิเมตร ความยาว 3 เซนติเมตร	จำนวน	20	ชิ้น
4. ยาปฏิชีวนะชนิด Vancomycin ยี่ห้อ Vancogen (Alkem, India) ปริมาณ 0.5 กรัม	จำนวน	26	ขวด
5. Cancellous Screw ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ความยาว 32 มิลลิเมตร	จำนวน	40	ตัว
6. PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร ยาว 3 เซนติเมตร	จำนวน	20	ชิ้น
7. ชุดหัวจับสกรู (รูปที่ 3.10 ก)	จำนวน	1	ชุด
8. ชุดตัวยึดชิ้นงานทดสอบ (รูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 ข)	จำนวน	2	ชุด
9. แอลกอฮอล์ทำความสะอาด	จำนวน	1	ขวด
10. เทปกาว	จำนวน	1	ม้วน
11. แท่นสว่าน	จำนวน	1	ชุด
12. หัวสว่าน	จำนวน	1	ชุด
13. ดอกสว่านขนาด 3 มิลลิเมตร	จำนวน	1	ดอก
14. ประแจล็อคอัดตามจับรูปตัวที	จำนวน	1	ชุด
15. ขามสแตนเลสสำหรับผสม	จำนวน	2	ใบ
16. ไม้สำหรับผสม	จำนวน	8	อัน

3.4.2 วิธีการทดสอบ

3.4.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบกรณีมีกระดูกเทียม

1. ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับการทดลองที่ใส่ซีเมนต์กระดูกลงในกระดูกเทียม โดยนำกระดูกเทียมที่ตัดเตรียมไว้มาเจาะรูเพื่อเตรียมใส่สกรู โดยเจาะรูทะลุขนาด 3 มิลลิเมตร
2. เตรียมสกรูทุกชิ้น โดยวัดความยาวจากปลายสกรูขึ้นมา 20 มิลลิเมตร และพันเทปขาวตรงตำแหน่งดังกล่าว แสดงในรูปที่ 3.11 เพื่อกำหนดระดับความลึกในการขันสกรูลงไปเนื้อซีเมนต์กระดูก โดยที่ยังมีระยะเพียงพอสำหรับให้หัวจับ จับหัวสกรูเพื่อทดสอบแรงดึงได้



รูปที่ 3.11 การเตรียมสกรูก่อนขันลงในเนื้อซีเมนต์กระดูก

3. ผสมซีเมนต์กระดูก (ไม่ผสมยาปฏิชีวนะ) รอจนกระทั่งอยู่ใน Doughy Phase (10) จากนั้นเติมเข้าไปในช่องว่างของกระดูกเทียมจนเต็ม แล้วจึงขันสกรูลงไปตามแนวเจาะที่เตรียมไว้ให้ได้ระดับความลึก 20 มิลลิเมตร (ฝังผ่านกระดูกเทียมหนา 5 มิลลิเมตร และลึกลงไปเนื้อซีเมนต์กระดูก 15 มิลลิเมตร) รอจนซีเมนต์กระดูกการแข็งตัว ทำครบทั้ง 5 ชิ้น ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การขันสกรูลงในซีเมนต์กระดุกกรณีมีกระดุกเทียม

4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 แต่ใส่ยาปฏิชีวนะปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัม ตามลำดับ อย่างละ 5 ชิ้น
5. เก็บชิ้นทดสอบในสภาวะแห้ง 10 วันก่อนการทดสอบ

3.4.2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบกรณีไม่มีกระดุกเทียม

1. เตรียมสกรูทุกชิ้น โดยวัดความยาวจากปลายสกรูขึ้นมา 15 มิลลิเมตร และพันเทปขาวตรงตำแหน่งดังกล่าว เพื่อกำหนดระดับความลึกในการขันสกรูลงไปในเนื้อซีเมนต์กระดุก โดยที่ยังมีระยะเพียงพอสำหรับให้หัวจับ จับหัวสกรูเพื่อทดสอบแรงดึงได้
2. ผสมซีเมนต์กระดุก (ไม่ผสมยาปฏิชีวนะ) รोजนกระทั่งอยู่ใน Doughy (10) จากนั้นเติมเข้าไปในช่องว่างของท่อ PVC ที่เตรียมไว้จนเต็ม แล้วจึงขันสกรูลงไปตรงกึ่งกลางที่เตรียมไว้ให้ได้ระดับความลึก 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.13 จากนั้นรอกวนซีเมนต์กระดุกเกิดการแข็งตัว



รูปที่ 3.13 การขันสกรูลงในซีเมนต์กระดุกกรณีไม่มีกระดุกเทียม

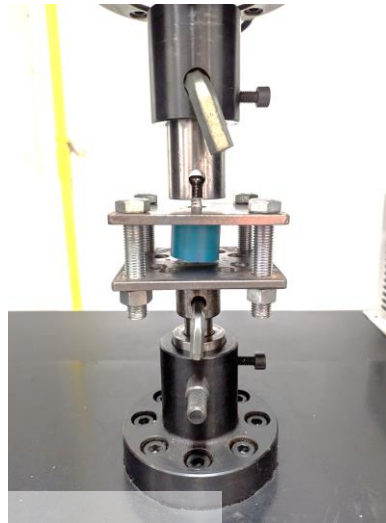
3. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 แต่ใส่ยาปฏิชีวนะปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัม และ 4 กรัมตามลำดับ อย่างละ 5 ชิ้น จากนั้นเก็บชิ้นงานไว้ 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

3.4.2.3 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอน

1. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ 1 ชิ้น นำไปล็อกกับชุดจับชิ้นทดสอบ โดยสำหรับซีเมนต์กระดุกที่อยู่ในกระดุกเทียมจะใช้ตัวยึดกระดุกเทียมดังรูปที่ 3.9 วางแนวขวางตามแนวกระดุกแล้วล็อก U-Lock ด้วยน็อตตัวเมียใต้ฐาน ดังรูปที่ 3.14 และสำหรับชิ้นทดสอบที่ซีเมนต์อยู่ในท่อ PVC ใช้ตัวยึดชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3.10 (ข) โดยวางท่อที่มีซีเมนต์กระดุกและฝังสกรูแล้วในแนวตั้ง จากนั้นใส่แผ่นประกบด้านบนเพื่อล็อกชิ้นทดสอบกับฐานล่าง ดังรูปที่ 3.15 ก่อนที่จะนำชุดทดสอบไปล็อกที่แท่นของเครื่องทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.14 การติดตั้งชิ้นทดสอบ
กรณีมีกระดุกเทียม



รูปที่ 3.15 การติดตั้งชิ้นทดสอบ
กรณีไม่มีกระดุกเทียม

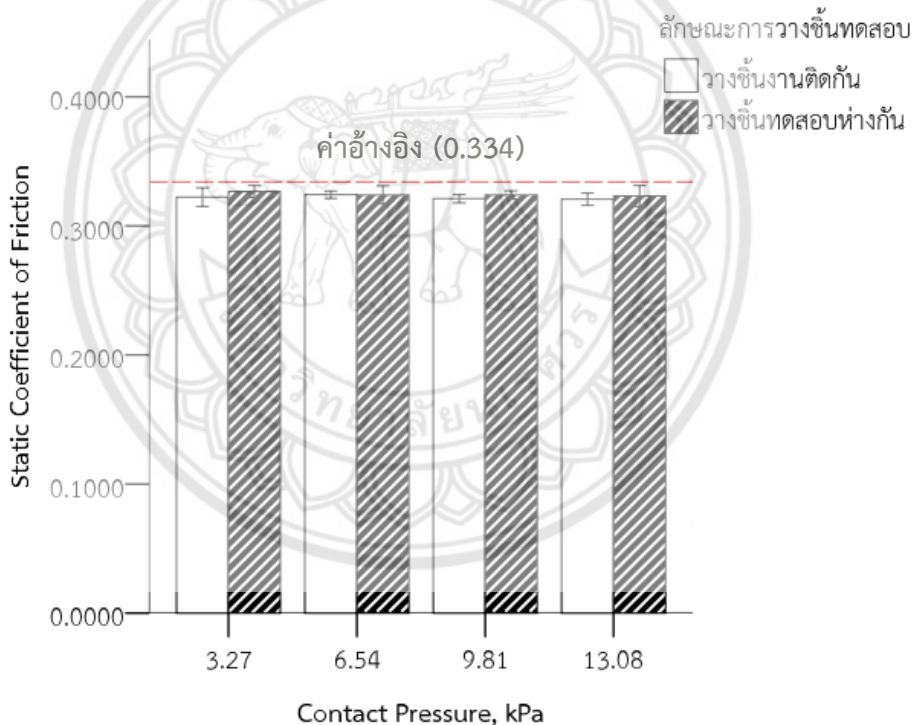
2. ติดตั้งตัวจับสกรูที่เครื่องทดสอบแรงดึง จากนั้นเลื่อนหัวจับลงมาจนกระทั่งตัวจับสกรูสามารถคล้องสกรูที่ติดอยู่กับชิ้นทดสอบ
3. จากนั้นตั้งค่าตัวเครื่องที่จอแสดงผลโดย ตั้งอัตราการดึงขึ้นงานที่ 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้แสดงผลค่าแรงดึงเทียบกับเวลาและค่าแรงดึงสูงสุด เมื่อตั้งค่าเสร็จสิ้นแล้วให้เริ่มดึงขึ้นงานจนกระทั่งสกรูหลุดออกจากชิ้นทดสอบ
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 - 3 จนกระทั่งครบทุกสภาวะ จากนั้นนำผลของค่าแรงดึงกับเวลาและค่าแรงดึงสูงสุดที่อ่านได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การสอบทวน (Validation) ชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

จากการสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตโดยใช้กระดาษและนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) พบว่า Contact Pressure และ ลักษณะการวางชั้นทดสอบนั้น ไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเมื่อนำข้อมูลไปสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับค่า Contact Pressure และลักษณะการวางของชั้นทดสอบจะได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1

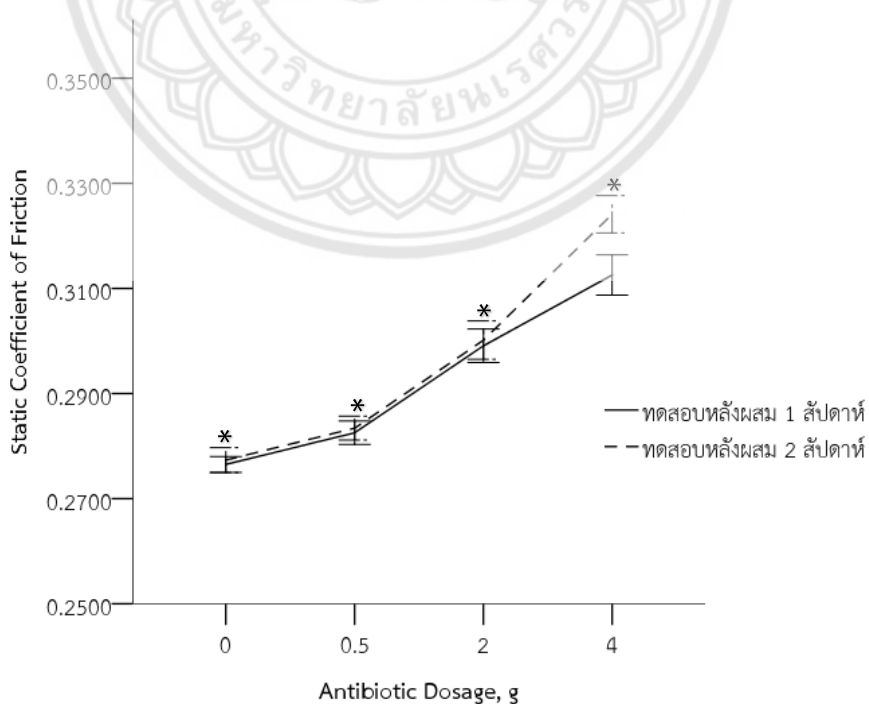


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกระดาษกับกระดาษที่ Contact Pressure และลักษณะการวางของชั้นทดสอบต่างกัน

เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยจากการทดลองศึกษาของ Instron (15) โดยเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดูกกับกระดูกที่ใช้ในเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์อยู่ที่ 0.334 ซึ่งเป็นประเภทกระดูกที่ใกล้เคียงกับกระดูกที่ใช้ในการสอบทวนเครื่องมือวัด นำค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 1 - 5 เปอร์เซ็นต์จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ค่าความเสียดทานสถิตสามารถใช้ในการวัดสัมประสิทธิ์ค่าความเสียดทานสถิตได้ใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐาน จึงมั่นใจได้ว่าจะสามารถใช้เครื่องมือทดสอบชุดนี้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของคู่วัสดุอื่นๆ ได้

4.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะปริมาณสูงกับ Ti-6Al-4V โดยทำการศึกษาผลของยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และผลกระทบของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์กระดูกที่ใช้ในการทดสอบภายใต้สภาวะแห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยนำค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการเก็บชิ้นงาน ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2



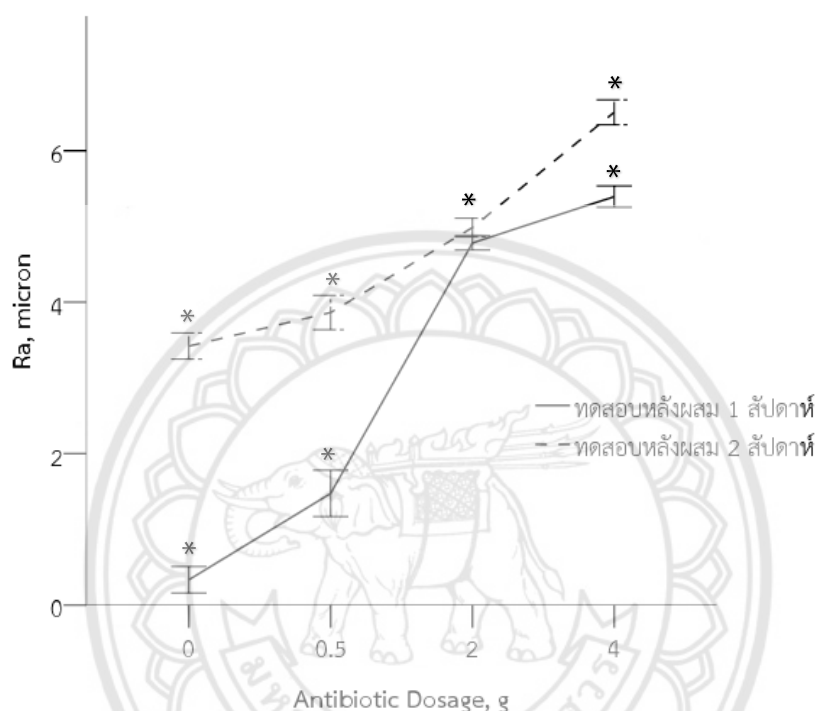
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกและ Ti-6Al-4V โดยผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และทดสอบหลังผสม 1 และ 2 สัปดาห์
 เครื่องหมาย * หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากกราฟ (รูปที่ 4.2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับปริมาณยาปฏิชีวนะ โดยกราฟแต่ละเส้นเป็นกราฟของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์ โดยเก็บไว้ 1 และ 2 สัปดาห์ ก่อนการทดสอบ เมื่อพิจารณาผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต พบว่า เมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกแบบไม่ผสมยาปฏิชีวนะไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในงานวิจัยของ Nuño N และคณะ (9) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ได้อยู่ช่วงเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อนำค่าความแตกต่างระหว่างระยะเวลาในการเก็บชิ้นงานก่อนการทดสอบไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเมื่อมีการวัดซ้ำ (Two-Way ANOVA Repeated Measure) ยังพบว่าผลของระยะเวลาการเก็บก่อนการทดสอบส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ด้วยเช่นกัน

4.3 การทดสอบความหยาบผิว (Surface Roughness) ของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะ

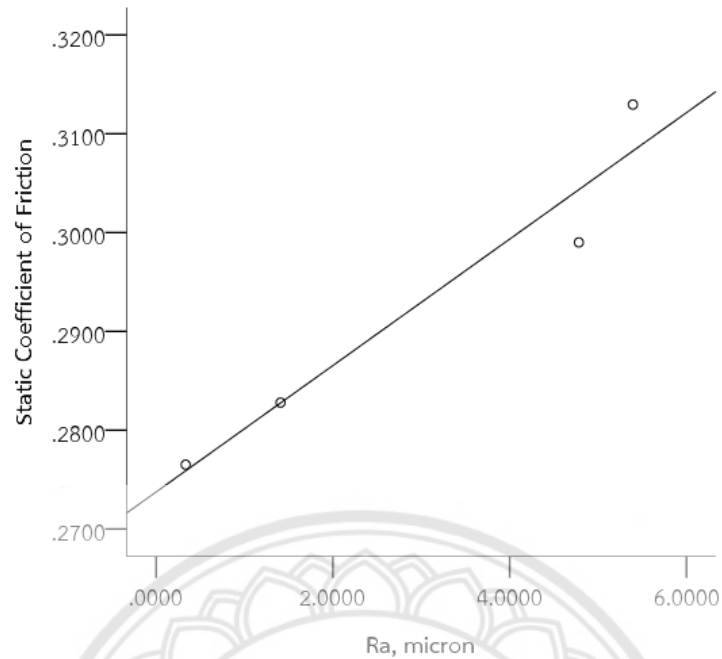
จากการทดสอบค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูก โดยทำการศึกษาผลของยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และผลกระทบของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือ 1 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์ตามลำดับ นำค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการเก็บชิ้นงาน ผลดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเทียบกับยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ โดยกราฟแต่ละเส้นเป็นกราฟของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์ โดยเก็บไว้ 1 และ 2 สัปดาห์ก่อนการทดสอบ เมื่อพิจารณาผลของยาปฏิชีวนะต่อค่าความหยาบผิว ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และนอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์กระดูกก่อนการทดสอบซึ่งจะเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนของทั้ง 2 ช่วงเวลา ยกเว้นที่ปริมาณยาปฏิชีวนะขนาด 2 กรัมที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยมือ ที่อาจส่งผลให้การควบคุมลักษณะของชิ้นทดสอบเป็นไปได้ยาก แต่ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเมื่อมีการวัดซ้ำ

(Two-Way ANOVA Repeated Measure) นั้น ผลของระยะเวลาการเก็บก่อนการทดสอบส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบของซีเมนต์กระดูกที่เก็บ 1 สัปดาห์ ก่อนการทดสอบกับเก็บที่ 2 สัปดาห์ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะเดิม

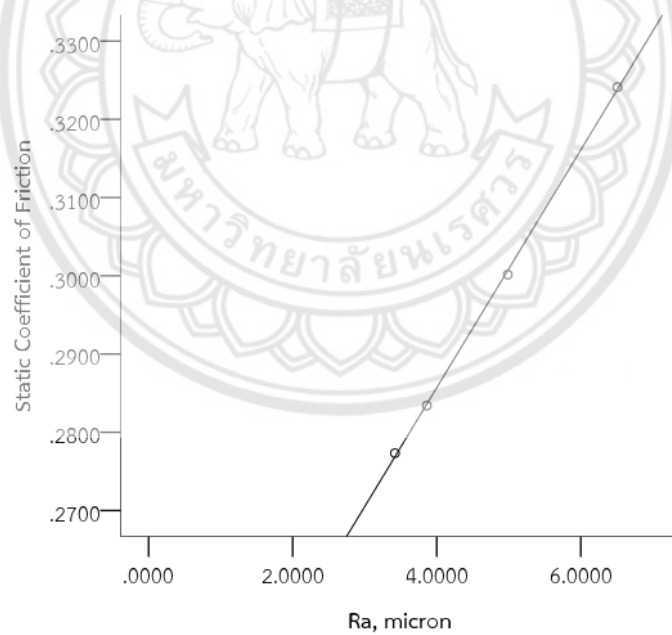


รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบหลังการผสม
เครื่องหมาย * หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาข้างต้นพบว่า ผลของระยะเวลาของการทดสอบของซีเมนต์ทดสอบหลังผสม มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าความหยาบผิว ส่วนนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าความหยาบผิวโดยใช้สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation) ของแต่ละระยะเวลาของการทดสอบหลังผสม โดยค่า Pearson's Correlation ของระยะเวลาการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์และ 2 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 0.9681 (รูปที่ 4.4) และ 0.9997 ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) จากสหสัมพันธ์นี้ของระยะเวลาของการทดสอบหลังผสมแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตกับค่าความหยาบผิวมีค่าสัมพันธ์กัน



รูปที่ 4.4 ผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าความหยาบผิว โดยใช้สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation) ที่ระยะเวลาการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์



รูปที่ 4.5 ผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าความหยาบผิว โดยใช้สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation) ที่ระยะเวลาการทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์

4.4 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู

จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูที่ฝังในซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะ โดยทดสอบทั้งกรณีมีกระดูกเทียมและไม่มีกระดูกเทียม เพื่อทำการศึกษาค่าผลของยาปฏิชีวนะต่อค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรู ซึ่งในการทดสอบทำการออกแรงดึง Cortical Screw ที่ฝังอยู่ในชั้นทดสอบจนหลุดออกจากซีเมนต์กระดูก จากนั้นนำค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดที่ปริมาณยาปฏิชีวนะต่างๆ มาเขียนกราฟ ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6

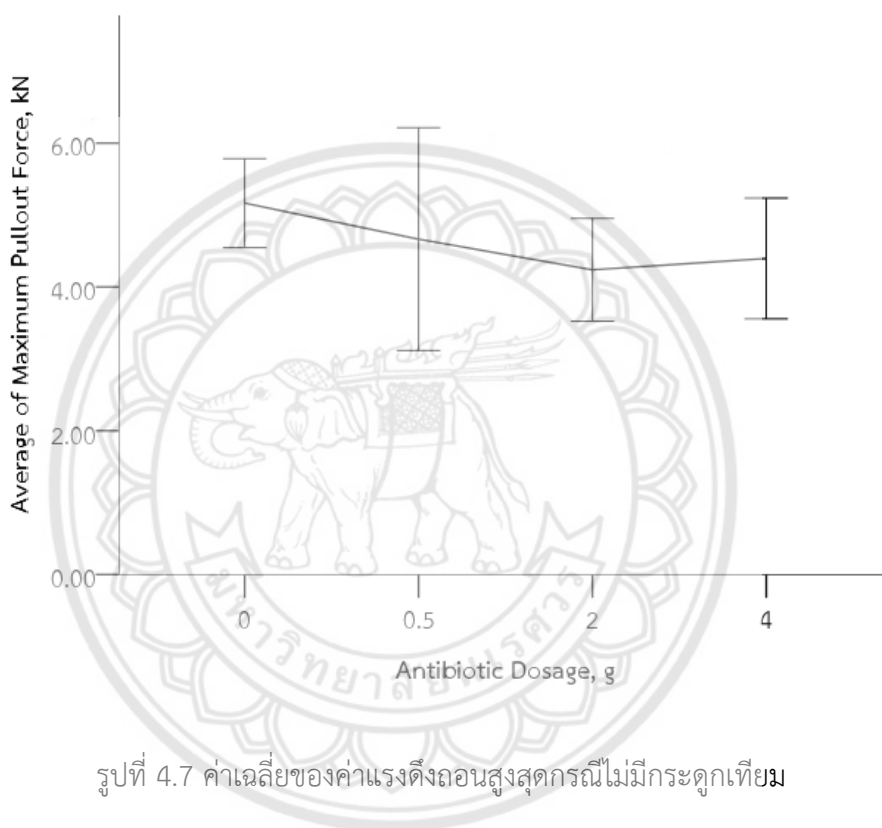


รูปที่ 4. 6 ค่าเฉลี่ยแรงดึงถอนสูงสุดกรณีมีกระดูกเทียม
เครื่องหมาย * หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากกราฟ (รูปที่ 4.6) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงถอนสูงสุดกับยาปฏิชีวนะปริมาณต่างๆ สำหรับการทดลองกรณีมีกระดูกเทียม พบว่าเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงดึงถอนลดลง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) นั้นพบว่าค่าความแข็งแรงดึงถอนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparison) พบว่ามีเพียงกลุ่มเดียวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือกลุ่มที่ไม่ผสม

ยาปฏิชีวนะเทียบกับกลุ่มที่ผสมยาปฏิชีวนะปริมาณ 2 กรัม ทั้งนี้ทุกกรณีพบว่ามีค่าแรงดึงถอนสูงกว่ากรณีดึงสกรูออกจากกระดูกเทียมที่ไม่มีการเติมซีเมนต์กระดูกซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงถอนเพียง 0.51 kN (ภาคผนวก ค.4)

สำหรับการทดลองดึงสกรูออกจากซีเมนต์กระดูก กรณีที่ไม่มีกระดูกเทียม ได้ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดที่ปริมาณยาปฏิชีวนะแต่ละกลุ่ม ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงถอนสูงสุดกรณีไม่มีกระดูกเทียม

จากกราฟ (รูปที่ 4.7) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงถอนสูงสุดกับปริมาณยาปฏิชีวนะต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงดึงถอนลดลงซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับกรณีมีกระดูกเทียม อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่าค่าความแข็งแรงดึงถอนลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ผลการทดลองดึงสกรูทั้ง 2 กรณีนั้นไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากระยะเวลาการเก็บซีเมนต์กระดูกของทั้ง 2 กรณี ไม่เท่ากัน ซึ่งจากหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าระยะเวลาการเก็บซีเมนต์กระดูกก่อนการทดสอบนั้นส่งผลต่อทั้งค่าของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าความหยาบผิว ซึ่งหากได้ผลการทดลองที่มีระยะเวลาในการ

เก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบเท่านั้น อาจทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกันมากขึ้น ซึ่งในอนาคตอาจพิจารณาศึกษาเพิ่มเติมต่อไป นอกจากนี้เมื่อพิจารณาทั้ง 2 กราฟ (รูปที่ 4.6 และ 4.7) พบว่า เมื่อยาปฏิชีวนะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 และ 2 กรัม ส่งผลทำให้ความแข็งแรงดึงถอนลดลงอย่างต่อเนื่องโดยกรณีมีกระดูกเทียม แรงดึงถอนลดลง 25.47 % และ 60.64 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับซีเมนต์กระดูกที่ไม่ผสมยาปฏิชีวนะ และกรณีไม่มีกระดูกเทียมลดลง 10.75 % และ 21.89 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณยาปฏิชีวนะเป็น 4 กรัม ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนเพิ่มขึ้นกว่ากรณี 2 กรัม แต่ยังคงมีค่าไม่สูงกว่า 0.5 กรัม ทั้งนี้อาจเป็นไปได้จากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ของกรณี 4 ที่เปลี่ยนแปลงมากกว่ากรณีอื่น (รูปที่ 4.2) อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ในกระบวนการผสมเพื่อเตรียมขึ้นทดสอบกรณีผสมยาปฏิชีวนะ 4 กรัม สังเกตได้ว่าซีเมนต์กระดูกมีความหนืดมากกว่ากรณีอื่น อาจส่งผลให้ในขณะที่ชั้นสกรูเนื้อซีเมนต์กระดูกสามารถเข้าไปแทรกอยู่ตามเกลียวได้มากกว่า เป็นเหตุให้ได้แรงดึงถอนสูงขึ้นกว่ากรณีผสมยาปฏิชีวนะ 2 กรัม



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผล

การศึกษาผลของยาปฏิชีวนะในซีเมนต์กระดูกต่อสัมประสิทธิ์ความเสียหายและแรงดึงถอนกระดูก มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตเพื่อใช้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของคู่วัสดุ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V ค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะและค่าความแข็งแรงถอนกระดูกที่ฝังอยู่ในซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะ โดยการผลดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1) การออกแบบ สร้างและสอบทวนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ฟังก์ชันของชุดทดสอบก่อนการสร้างชุดทดสอบ จากนั้นสอบทวนเครื่องมือวัดโดยเทียบกับคู่วัสดุที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้กระดาษกับกระดาษ และยังได้ศึกษาผลของค่า Contact Pressure และผลของลักษณะการวางชั้นทดสอบด้วย โดยผลการสอบทวนพบว่าค่าที่วัดได้จากชุดทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ชุดทดสอบได้อย่างมั่นใจ นอกจากนี้ทำให้ทราบว่าลักษณะการวางชั้นทดสอบและค่า Contact Pressure ไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต

2) การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6Al-4V และศึกษาผลของปริมาณยาปฏิชีวนะโดยตัวแปรควบคุม คือซีเมนต์กระดูกที่ไม่ผสมยาปฏิชีวนะและผสมยาปฏิชีวนะปริมาณ 0.5 กรัม 2 กรัมและ 4 กรัม ขึ้นรูปให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมเพื่อนำไปวางบนชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต นำผลการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตนั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามขนาดของปริมาณยาปฏิชีวนะที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าเมื่อเก็บชิ้นทดสอบ 1 และ 2 สัปดาห์ก่อนนำมาทดสอบนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของการทดลองหลังเก็บชิ้นทดสอบเป็นเวลา 2 สัปดาห์ก่อนการทดสอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการทดลองหลังเก็บชิ้นทดสอบ 1 สัปดาห์ แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตของทั้ง 2

กรณีที่กำลังมานี้ยังคงมีแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้น

3) การทดสอบหาค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกที่ผสมยาปฏิชีวนะโดยใช้ซีเมนต์กระดุกที่ผสมและขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมแล้วมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความหยาบผิวโดยทำการวัดความหยาบผิวบริเวณเดียวกัน ของแต่ละชั้นทดสอบจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผล จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเก็บชั้นทดสอบ 1 และ 2 สัปดาห์ก่อนการทดสอบพบว่าเมื่อเทียบระยะเวลาทั้ง 2 กลุ่มนั้น ค่าความหยาบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดิม และเป็นแนวโน้มเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติด้วย จากผลการวิเคราะห์นี้จึงได้หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติกับค่าความหยาบผิวของแต่ละกลุ่มเวลาก่อนการทดสอบพบว่า ทั้งสองกลุ่มมีค่าสหสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันจึงสรุปได้ว่าผลเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

4) การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงถอนสกรู ได้ทำการศึกษาทั้งในกรณีที่มีและไม่มีกระดุกเทียม จากนั้นฝังสกรูลงไปในชั้นทดสอบทั้ง 2 กลุ่มก่อนนำไปให้แรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบหัวจับสกรูและหัวยึดชั้นทดสอบเพื่อให้สามารถใช้งานด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ที่มีอยู่ได้ จากนั้นนำค่าแรงดึงสูงสุดที่ได้ไปวิเคราะห์ผล พบว่า สำหรับการทดลองที่ยึดสกรูด้วยซีเมนต์กระดุกกรณีที่มีกระดุกเทียมนั้น ค่าความแข็งแรงดึงถอนมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อวิเคราะห์ผลแบบพหุคูณ (Multiple Comparison) พบว่ามีเพียง 2 กรณีเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญคือ ซีเมนต์กระดุกที่ไม่ใส่ยาปฏิชีวนะกับซีเมนต์กระดุกที่ใส่ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม สำหรับกรณีที่ไม่มีกระดุกเทียม พบว่าเมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนมีค่าลดลง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีแรก อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยสรุป เมื่อยาปฏิชีวนะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 และ 2 กรัม ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนลดลง แต่เมื่อใส่ปริมาณยาปฏิชีวนะเป็น 4 กรัม ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนเพิ่มขึ้นกว่ากรณี 2 กรัม แต่ยังคงมีค่าไม่สูงกว่ากรณี 0.5 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิติที่เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ชุดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตสามารถปรับให้ทำงานโดยอัตโนมัติได้ โดยควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ขึ้นของพื้นเอียงและแสดงผลรวมไปถึงส่งชุดข้อมูลออกจากโปรแกรมได้ทันที เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์และเพิ่มความแม่นยำ

5.2.2 การทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูนั้น ผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงถอนลดลง แต่เมื่อปริมาณยาปฏิชีวนะสูงขึ้นกว่า 4 กรัม นั้นค่าความแข็งแรงดึงถอนเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความน่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติม เพิ่มเติมถึงผลกระทบของปริมาณยาปฏิชีวนะที่ปริมาณสูงกว่า 4 กรัม ต่อความแข็งแรงดึงถอนสกรูและความเหมาะสมในการเลือกใช้ปริมาณยาปฏิชีวนะในการรักษาต่อไป



เอกสารอ้างอิง

1. Austin N. [Internet]. Edition analyst all trending news.; c2017 [cited 2018 November 16]. Available from: <http://editionanalyst.com/worldwide-bone-cement-market-manufacturers-players-2017-stryker-zimmer-biomet-djo/>.
2. สาริต เทียงวิทยาพร [Internet]. THAIJOINTS; c2017 [cited 2018 October 13]. Available from: <https://www.thaijoints.com/ข้อสะโพกเทียม>.
3. จินตมัย สุวรรณประทีป. MTEC [อินเทอร์เน็ต]. ซีเมนต์กระดูก; c2544 [สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม 2561]. จาก: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/277_25.pdf.
4. Biomet Orthopedics. [Internet]. COBALT™ MV with gentamycin bone cement; c2010 [Cited 2018 October13]. Available from: <http://www.biomet.com/wps/wcm/connect/internet/25edbdcc-4e58-4499-b1c9-51b612139578/01-50-1195.pdf?MOD=AJPERES>.
5. Honestdocs. [Internet]; c2017 [cited 2018 October 13]. Available from: <https://www.honestdocs.co/antibiotics-pharmacy>.
6. สุรชัย แซ่จิ่ง. สกรูทางออร์โธปิดิกส์. ศรีนครินทร์เวชสาร. 2545;17(4):275-279.
7. Engineer Student. [Internet]; c2016 [cited 2018 October 13]. Available from: http://www.engineerstudent.co.uk/friction_on_an_inclined_plane.php?fbclid=IwAR1JjSaY5YscCEtZfaV0vqzY6-kY--9E3_7pth9yTedo7AndIzGL0wxWuE.
8. Pioneer Netserv Chula. [Internet]. Surface Texture. Bangkok; c2015 [cited 2019 April 20]. Available from: <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103203%20Mech%20drawing/Ch3%20surface%20texture.pdf?fbclid=IwAR1qjceaGIGZMca5qFYx1hacMxxzagLkvaIVsLtw2lbsdC5dUzT6OJw2RrQ>.
9. Nuño N, Amabili M, Groppetti R, Rossi A. Static coefficient of friction between Ti-6Al-4V and PMMA for cemented hip and knee implants. J Biomed Mater Res. 2002 Jan;59(1):191-200.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

10. Flahiff CM, Gober GA, Nicholas RW. Pullout strength of fixation screws from polymethylmethacrylate bone cement. *Biomaterials*. 1995 May;16(7):533-6.
11. Palmer MP, Celine R, Cecilia P, Procter P, Engqvist H. Influence of cement compressive strength and porosity on augmentation performance in a model of orthopedic screw pull-out. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018 Jan;77:624-633.
12. Hou SM, Hsu CC, Mou S, Wang JL, Choa CM, Lin J. Mechanical test and finite element models for bone holding power of tibial locking screws. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004 Aug;19(7):738-45.
13. Procter P, Bennani P, Brown CJ, Arnoldi J, Pioletti DP, Larsson S. Variability of the pullout strength of cancellous bone screws with cement augmentation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015 Jun;30(5):500-6.
14. Yang SC, Liu PH, Tu YK. Pullout evaluation of sawbone experiment in different types of pedicle screw combined with bone cement augmentation for severe osteoporotic spine. *Acta Bioeng Biomech*. 2018;20(2):55-64
15. Instron Industrial Products. [Internet]. Coefficient of Friction of Paper Used in a Copy Machine; c2004 [cited 2019 February 6]. Available from: <https://www.instron.us/~media/literature-library/applications/2006/03/coefficient-of-friction-of-paper-used-in-a-copy-machine.pdf?la=en>.





ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ฟังก์ชันของชุดทดสอบ Inclined Plane Test

ตารางที่ ก.1 วิเคราะห์ฟังก์ชันชุดทดสอบ Inclined Plane Test

ฟังก์ชัน	ทางเลือก	วิเคราะห์ทางเลือก	เลือกใช้
การติดตั้ง คู่มือทดสอบ	1.ช่องใส่ด้านบน	ยากต่อการเปลี่ยนคู่มือทดสอบใหม่	
	2.ช่องสไลด์จากด้านข้าง	สะดวกต่อการเปลี่ยนคู่มือทดสอบ	✓
การวัดมุม	1.ไมโครแทรกเตอร์ชนิด ครึ่งวงกลม	มีราคาถูกหาได้ง่าย	
	2.โปรแทรกเตอร์ดิจิตอล	ความแม่นยำสูงและราคาสูง	✓
	3.ใช้แอปพลิเคชัน Smart Phone	หากระบุรุ่นหรือยี่ห้อจะมีผลต่อการนำ ชุดทดสอบไปใช้งานต่อในอนาคต	
Ti-6Al-4V	1.ใช้ Specimens ขนาด 58 x 10 x 4 mm 2 ชิ้น แบ่งรับแรง 2 ฝั่ง	การกระจายน้ำหนักและเสถียรภาพ ของระบบมากกว่า	✓
	2.ใช้ Specimens ขนาด 58 x 20 x 4 mm 1 ชิ้น	การกระจายน้ำหนักและเสถียรภาพ ของระบบน้อยกว่า	
	3. ใช้ Specimens ขนาด 58 x 10 x 4 mm 2 ชิ้น วางติดกัน	การกระจายน้ำหนักและเสถียรภาพ ของระบบน้อยกว่า	
มวลถ่วงน้ำหนัก	1.ใช้แผ่นเหล็ก โดยแต่ละ แผ่นหนักประมาณ 350 กรัม	มีความหนาแน่นสูงและสามารถหาได้ ทั่วไป	
	2.เกลือหรือทรายหรือ น้ำตาล	มีความหนาแน่นน้อยจึงจำเป็นต้องใช้ ในปริมาณที่มาก เพื่อให้ได้น้ำหนักที่ ต้องการ	
	3.ตะกั่ว	ความหนาแน่นสูงกว่าเหล็ก แต่ราคา แพง	
	4. ต้มน้ำหนักแบบเสียบ	ที่ภาควิชามีอุปกรณ์อยู่แล้ว	✓

ตารางที่ ก.2 วิเคราะห์ฟังก์ชันชุดทดสอบ Inclined Plane Test (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ทางเลือก	วิเคราะห์ทางเลือก	เลือกใช้
วิธีการติดตั้งมวลบนพื้นเอียง	1.ใช้วัสดุเป็นอะคริลิกทำเป็นกล่องใส่มวลถ่วงน้ำหนัก ใต้กล่องมีร่องลึอกกับแผ่น Ti-6Al-4V	มวลถ่วงน้ำหนักต้องมีขนาดพอดีสำหรับกล่องและมีความหนาแน่นสูงมากๆ เพื่อการถ่วงให้ได้น้ำหนักที่ต้องการในปริมาตรที่จำกัด	
	2.ใช้วัสดุเป็นเหล็กทำเป็นกล่องใส่มวลถ่วงน้ำหนัก ใต้กล่องมีร่องลึอกกับแผ่น Ti-6Al-4V	มวลถ่วงน้ำหนักต้องมีขนาดพอดีสำหรับกล่องและมีความหนาแน่นสูงมากๆ เพื่อการถ่วงให้ได้น้ำหนักที่ต้องการในปริมาตรที่จำกัดและเหล็กมีค่าใช้จ่ายในการสร้างค่อนข้างสูงอีกทั้งการบำรุงรักษายาก	
	3.ใช้วัสดุเป็นอะคริลิกทำเป็นเสามีฐานใส่มวลถ่วงน้ำหนักที่เจาะรู ใต้ฐานมีร่องลึอกกับแผ่น Ti-6Al-4V	มวลถ่วงน้ำหนักชนิดสวมใส่กับเสาสามารถหาได้ในท้องตลาดและกำหนดน้ำหนักได้ และการสร้างชิ้นงานอะคริลิกมีราคาถูกและคุณภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น	
	4.ใช้วัสดุเป็นเหล็กทำเป็นเสามีฐานใส่มวลถ่วงน้ำหนักที่เจาะรู ใต้ฐานมีร่องลึอกกับแผ่น Ti-6Al-4V	การประกอบกล่อง หากไม่ใช้ความระมัดระวังอาจทำให้มวลไม่สามารถใส่ได้ เนื่องจากการขยายตัวจากการเชื่อม	
	5.ใช้วัสดุเป็นอะคริลิกทำเป็นฐาน ติดมวลเข้ากับอะคริลิกโดยใช้กาวสองหน้า ใต้ฐานมีร่องลึอกกับแผ่น Ti-6Al-4V	มวลมีขนาดเล็ก จึงไม่จำเป็นต้องใช้กระเบ	✓

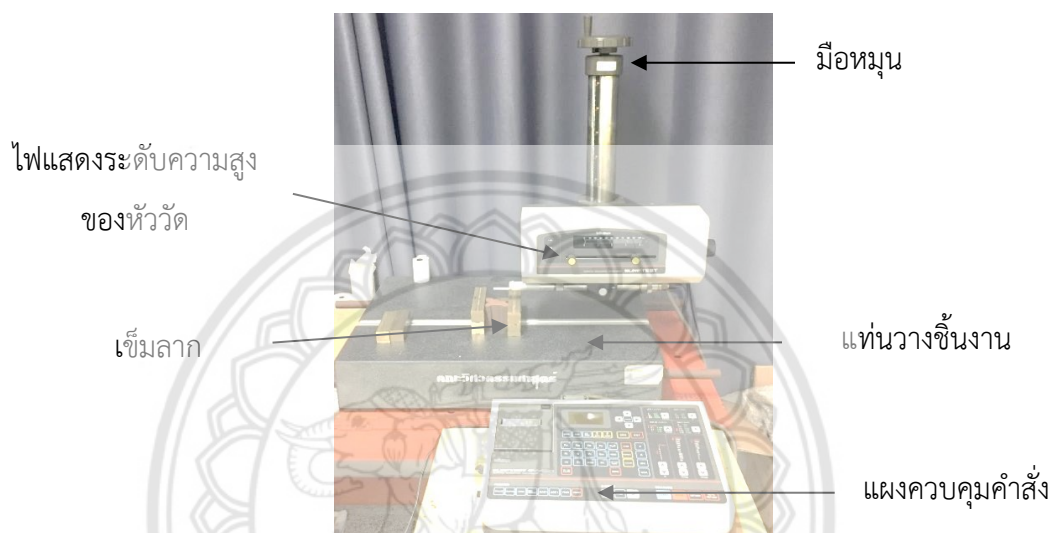
ตารางที่ ก.3 วิเคราะห์ฟังก์ชันชุดทดสอบ Inclined Plane Test (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ทางเลือก	วิเคราะห์ทางเลือก	เลือกใช้
	6.ใช้ 3D Printer ในการทำเป็นกล่องหรือฐานเสาและใต้กล่องหรือฐานเสามีร่องลึอกกับแผ่น Ti-6Al-4V	ใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปค่อนข้างนานและต้องใช้ความระมัดระวังสูง	
การยก	1.ใช้หลอดฉีดยา 2 หลอด ในการทำหน้าที่เป็นแม่แรงไฮดรอลิก	หากน้ำหนักสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการไหลย้อนกลับ ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดได้	
	2.ใช้รอกแขวนมือหมุน	เนื่องจาก ส่วนประกอบมีจำนวนมาก ซึ่งแต่ละส่วนประกอบนั้น ส่วนใหญ่ต้องใช้ความแม่นยำสูงในการประกอบและติดตั้ง เช่น การวางตำแหน่งของเพลา ตัวเก็บสลิง และตำแหน่งของ สลิง จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์กัน เพื่อให้การดึงพื้นเอียงมีความเสถียรภาพสูงที่สุด	
	3.ใช้ Rack and Pinion	Rack and Pinion มีความเสถียรในการยกค่อนข้างสูง	✓
	4.ใช้ Mini Hydraulic jack	หายาก เพราะขนาดของ Mini Hydraulic Jack ที่เหมาะสมกับงานนั้น อาจต้องสั่งจากต่างประเทศ ซึ่งใช้เวลานาน และมีราคาที่สูง แต่การยกพื้นเอียงของ Mini Hydraulic Jack นั้นจะมีเสถียรภาพมาก เนื่องจากการเลื่อนของมันจะสร้างการสั่นสะเทือนที่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น	

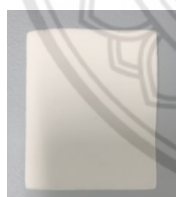


ข.1 วิธีการใช้งานเครื่องวัดค่าความหยาบผิว

เครื่องวัดความหยาบผิวดังแสดงดังรูปที่ ข.1 วัดความหยาบผิวโดยลากเข็มลากไปบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบ (รูปที่ ข.2) ซึ่งสามารถพิมพ์ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย รวมถึงลักษณะของพื้นผิว โดยในการพิมพ์จะใช้กระดาษความร้อน ดังแสดงในรูปที่ ข.3 ทั้งนี้ก่อนทำการวัดจำเป็นต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง โดยการสอบเทียบใช้ชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 480B (Accertech, Japan)



รูปที่ ข.2 ชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ ข.3 กระดาษความร้อน



รูปที่ ข.4 ชิ้นงานมาตรฐานสำหรับสอบเทียบ

ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดค่าความหยابผิว

ส่วนที่ 1 การสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องวัดความหยابผิว

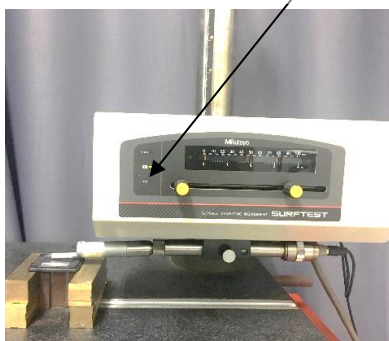
1. ติดตั้งอุปกรณ์ให้เรียบร้อยแล้วเปิดเครื่องทดสอบ ตั้งค่าวันที่และเวลาให้เป็นปัจจุบัน โดยกดปุ่ม MENU เลือกคำสั่ง DATE/TIME แล้วกรอวันที่และที่ต้องการ (ปี/เดือน/วัน) ตามลำดับ จากนั้น กด Enter (ENT) ดังแสดงในรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 หน้าจอการตั้งวันที่และเวลา

2. สอบเทียบเครื่องวัดความหยابผิว โดยกดปุ่ม MENU เลือกคำสั่ง Calibrate ป้อนจำนวนครั้งตามต้องการ (N) นำชิ้นงานมาตรฐานสำหรับสอบเทียบวางลงบนฐานวาง ขยับอุปกรณ์รับสัญญาณเล็กน้อย สังเกตจอแสดงผลด้านบนต้องขึ้นเป็นสีแดง จากนั้นปรับระดับความสูงลงมา ปล่อยให้หัววัดสัมผัสชิ้นงาน จอแสดงขึ้นเป็นสีเขียวที่ตำแหน่งศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ ข.6

ไฟแสดงความสูงของหัววัด



รูปที่ ข.6 ไฟแสดงผลปรับระดับความสูงตามสัญญาณไฟ

3. เริ่มการทดสอบกดปุ่มคำสั่งหาค่า Roughness Profile (R-Profile) และ Primary Profile (P-Profile) โดย R_a คือ ค่าความเรียบเฉลี่ยของพื้นผิวชิ้นงาน จากนั้นกำหนดระดับความละเอียด ช่วงความยาว และระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน X แล้วกดปุ่ม X/Z DISP แสดงตำแหน่ง X และ Z แล้วกดปุ่ม X ZERO และ Z ZERO แสดงค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ ข.7 จากนั้นกดปุ่ม VALUE, CURVE, COND และ AUTO RETURN เพื่อกำหนดข้อมูลที่ต้องการเมื่อทำทุกอย่างครบกดปุ่ม START เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบ

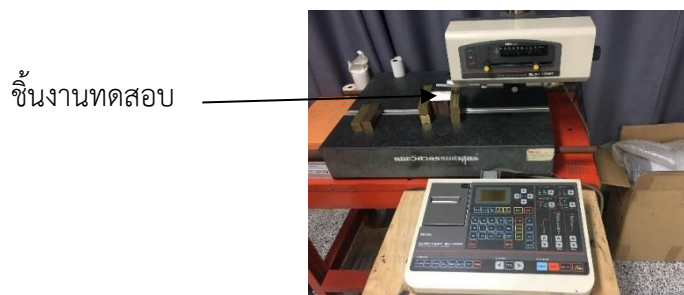


4. เมื่อผู้ทดลองทำการทดสอบเครื่องวัดความหยาบผิวจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนด เครื่องทดสอบจะใช้เวลาในการคำนวณ จากนั้นป้อนค่า R ของชิ้นงานมาตรฐานสำหรับสอบเทียบที่บริษัทผลิตกำหนด กด Enter (ENT) เครื่องจะแสดงผลการคำนวณบนจอที่แสดง เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสอบเทียบ

ส่วนที่ 2 การทดสอบกับชิ้นงานจริง

1. การทดสอบกับชิ้นงานจริง ใช้การตั้งค่าเหมือนกันกับชิ้นงานมาตรฐานสำหรับสอบเทียบทุกอย่าง โดยวางชิ้นงานทดสอบจริงแทนในตำแหน่งเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ ข.8 ก่อนเริ่มการทดสอบใหม่ในแต่ละครั้งต้องกดปุ่ม X/Z DISP ให้แสดงค่าตำแหน่ง X และ Z แล้วกดปุ่ม X ZERO และ Z ZERO เพื่อตั้งค่าจุดอ้างอิงการวัด เมื่อสิ้นสุดการคำนวณของเครื่องทดสอบสามารถกดปุ่ม

คำสั่ง PRINT เครื่องทดสอบจะทำการพิมพ์แสดงข้อมูลผลการทดสอบลงในกระดาษความร้อน ออกมาในรูปแบบตัวเลขและกราฟ ดังแสดงในรูปที่ ข.9




รูปที่ ข.8 ทดสอบวัดความหนาผิวชิ้นงานจริง

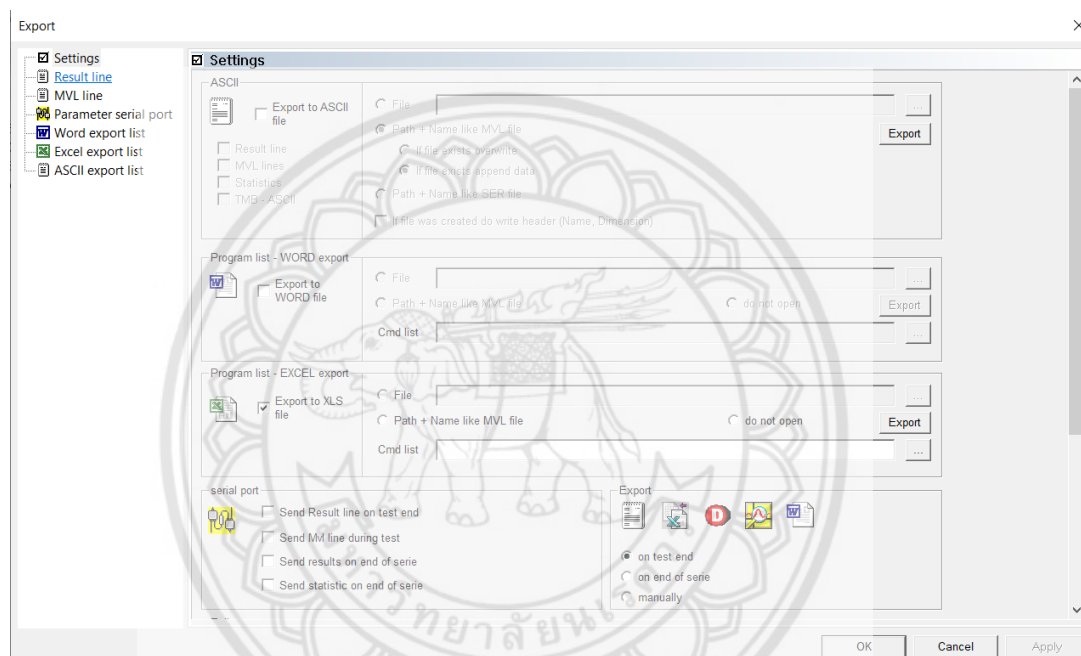


รูปที่ ข.9 ผลการทดลองความหนาผิวที่แสดงในรูปแบบตัวเลขและกราฟ

2. ปิดเครื่องและถอดปลั๊กทุกครั้งเมื่อใช้งานเสร็จเรียบร้อยแล้ว

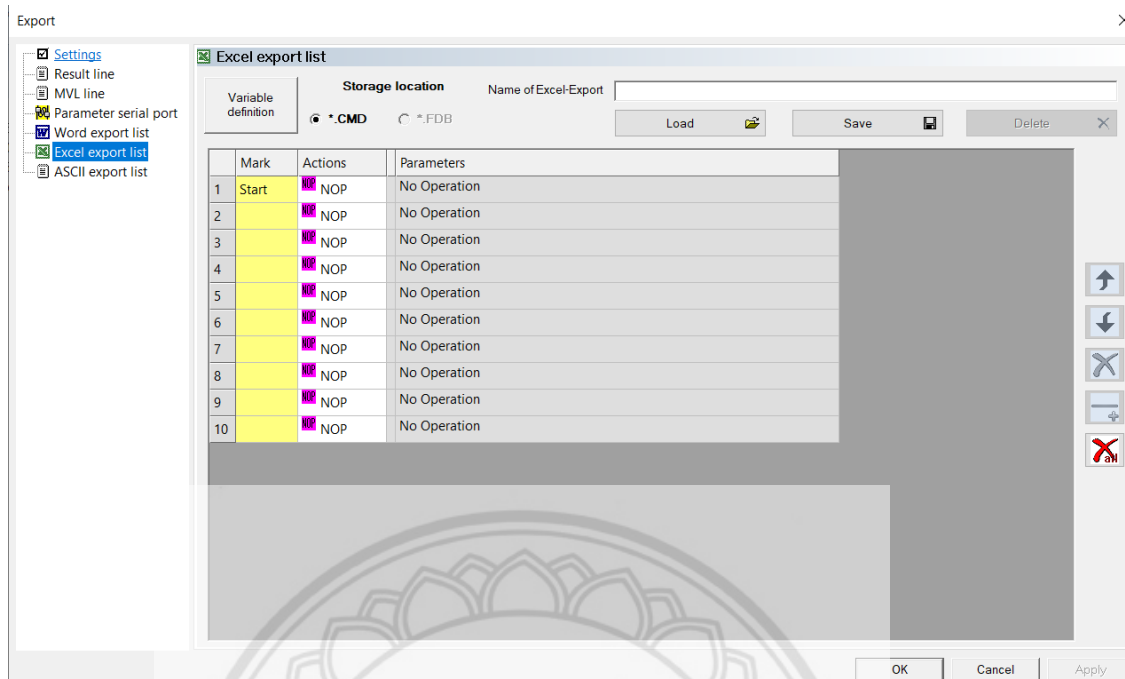
ข.2 การ Export File ข้อมูลการทดสอบออกจากโปรแกรม DOLI ของเครื่องทดสอบเบรกประสค์รุ่น รุ่น BPS Model BA-25 (BPS Instrument, Thailand)

1. ทำการตั้งค่านามสกุลของไฟล์ที่ต้องการจะนำข้อมูลออก สำหรับโปรแกรมนี้สามารถนำออกได้ 3 นามสกุลของไฟล์คือ Excel (.xlsx) Word (.doc) และ ASCII (.txt) โดยคลิกที่แท็บเมนู Administration จากนั้นคลิกที่ไอคอน Export Data  จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในรูปที่ ข.10



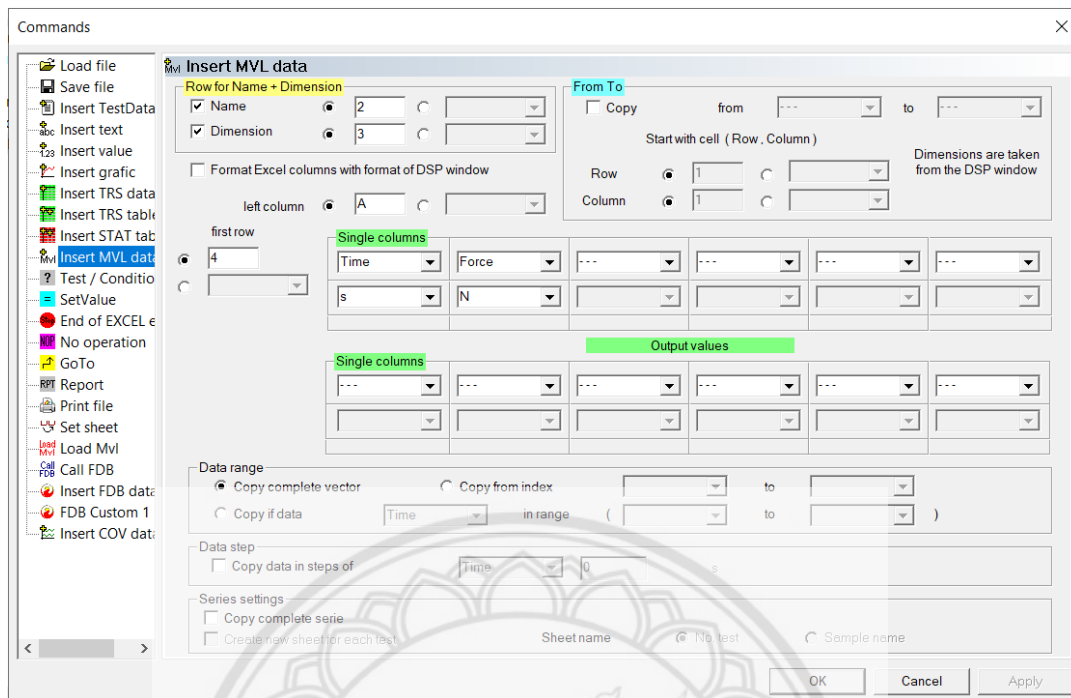
รูปที่ ข.10 หน้าต่างการตั้งค่าการ Export ไฟล์

2. จากนั้นคลิกที่ Setting แล้วทำเครื่องหมายถูกที่ช่อง Export to XLS File
3. คลิกที่ Excel Export List ด้านซ้ายของหน้าต่างการตั้งค่าจะปรากฏหน้าต่างเพื่อสร้าง Command Line ในการโปรแกรมเพื่อที่จะ Export ข้อมูลประเภทต่างๆ ไปสู่ไฟล์ Excel ดังแสดงในรูปที่ ข.11



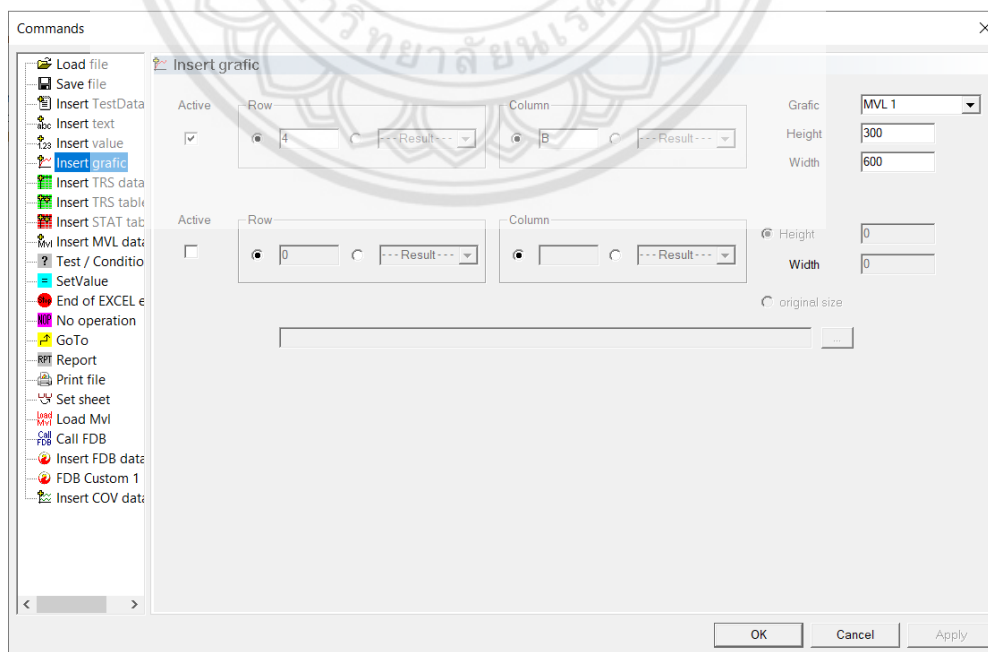
รูปที่ ข.11 หน้าต่างการเขียน Command Line ในการควบคุมการนำข้อมูลออก

4. จากนั้นเริ่มที่บรรทัดที่ 1 Start ดับเบิลคลิกที่ช่อง Action จากนั้นคลิกที่ Load File Command แล้วทำเครื่องหมายถูกที่ Generate Empty File เพื่อสร้างไฟล์ใหม่เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วคลิก OK
5. บรรทัดที่ 2 ดับเบิลคลิกที่ช่อง Action จากนั้นคลิกที่ แล้วทำเครื่องหมายถูกที่ Add เพื่อสร้างหน้ากระดาษใน Excel แล้วทำเครื่องหมายวงกลมที่บรรทัดถัดมาเพื่อเปิดช่องการตั้งชื่อและตั้งชื่อหน้ากระดาษเมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วคลิก OK
6. บรรทัดที่ 3 ไม่เลือก จะขึ้นสัญลักษณ์ NOP หรือสามารถลบออกได้โดยคลิกที่บรรทัดนั้นๆ แล้วกดเครื่องหมายกากบาทสีแดงที่ด้านขวาของหน้าต่าง
7. บรรทัดที่ 4 ดับเบิลคลิกที่ช่อง Action จากนั้นคลิกที่ Insert MVL data Command จากนั้นให้เลือกข้อมูลที่ต้องการตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ข.12 เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วคลิก OK



รูปที่ ข.12 การตั้งค่า Insert MVL data

8. บรรทัดที่ 5 ดับเบิลคลิกที่ช่อง Action จากนั้นคลิกที่ Insert Graphic Command จากนั้นให้เลือกข้อมูลที่ต้องการตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ข.13 เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วคลิก OK



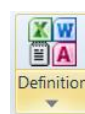
รูปที่ ข.13 การตั้งค่า Insert Graphic

9. บรรทัดที่ 6 บรรทัดที่ 3 ไม่เลือก จะขึ้นสัญลักษณ์ NOP หรือสามารถลบออกได้โดยคลิกที่บรรทัดนั้นๆ แล้วกดเครื่องหมายกากบาทสีแดงที่ด้านขวาของหน้าต่าง
10. บรรทัดที่ 7 ดับเบิลคลิกที่ช่อง Action จากนั้นคลิกที่ Save Command จากนั้นทำเครื่องหมายวงกลมที่ Path + Name Like MVL File เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วคลิก OK
11. บรรทัดที่ 8 7 ดับเบิลคลิกที่ช่อง Action จากนั้นคลิกที่ Stop Command เพื่อหยุดการโปรแกรม จากนั้น คลิก OK
12. เมื่อกรอกข้อมูลการเขียน Command Line ครบตามต้องการแล้ว จะได้ดังแสดงในรูปที่ ข.14

	Mark	Actions	Parameters
1	Start	Load	Generate empty file
2		Sheet	Add sheet Graph
3	NOP	NOP	No Operation
4	Mvl	rs.MVL dat	copy Time, Force
5		Insert graphic	(4, 2) MVL 1 height(300), width(600)
6	NOP	NOP	No Operation
7		Save	like Mvl
8		STOP	
9	NOP	NOP	No Operation
10	NOP	NOP	No Operation

รูปที่ ข.14 ตัวอย่าง Command Line ที่ใช้ในการ Export File

13. จากรูปที่ ข.11 สังเกตบริเวณมุมขวาของหน้าต่าง หากยังไม่มีไฟล์โปรแกรมให้กด save โดยในครั้งต่อไปหากต้องการใช้โปรแกรมที่เขียนไว้ข้างต้นให้กด load เพื่อมาใช้ใหม่ได้ จากนั้นกดให้คลิกที่ setting อีกครั้งเพื่อไปตั้งค่าเพื่อเรียกโปรแกรมที่เขียนเสร็จแล้วไปใช้ในการ Export File
14. จากนั้นคลิกที่จุด 3 จุด หลังช่อง Cmd List แล้วเลือกไฟล์โปรแกรมที่เขียนไว้แล้วกด open แล้วคลิก OK



15. ที่แถบเมนู Administration จากนั้นคลิกที่ไอคอน Definition แล้วเลือก Export Excel จะปรากฏหน้าต่าง Path + Name
16. จากนั้นดับเบิลคลิกที่บรรทัดที่ 1 แล้วเลือกไฟล์โปรแกรมที่เขียนไว้ จากนั้นกด open
17. เมื่อต้องการ Export File ให้คลิกที่แถบเมนู Test จากนั้นคลิกที่ Export gglh;เลือกคลิกที่ไอคอน Excel จากนั้นรอโปรแกรมทำงานเป็นอันเสร็จขั้นตอนการ Export



ค.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติของการสอบทวนชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดาษกับกระดาษในกรณีทีวางชั้นทดสอบห่างกัน ครั้งที่ 1

ครั้งที่	Contact Pressure			
	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa
1	0.3288	0.3230	0.3191	0.3096
2	0.3134	0.3211	0.3211	0.3191
3	0.3249	0.3211	0.3249	0.3269
4	0.3115	0.3269	0.3249	0.3269
5	0.3269	0.3191	0.3288	0.3134
6	0.3307	0.3191	0.3211	0.3269
7	0.3424	0.3288	0.3153	0.3153
8	0.3134	0.3249	0.3172	0.3191
9	0.3172	0.3269	0.323	0.3211
10	0.3134	0.3307	0.3153	0.3288

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดาษกับกระดาษในกรณีทีวางชั้นทดสอบห่างกัน ครั้งที่ 2

ครั้งที่	Contact Pressure			
	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa
1	0.3288	0.3172	0.3230	0.3269
2	0.3153	0.3115	0.3153	0.3172
3	0.3346	0.3115	0.3134	0.3288
4	0.3288	0.3172	0.3249	0.323
5	0.3115	0.3115	0.3346	0.3153
6	0.3269	0.3076	0.3172	0.3249
7	0.3115	0.3269	0.3249	0.3269
8	0.3134	0.3096	0.3211	0.3191
9	0.3153	0.3134	0.3288	0.3269
10	0.3191	0.3288	0.3076	0.3211

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดาษกับกระดาษในกรณีที
วางชั้นทดสอบห่างกัน ครั้งที่ 3

ครั้งที่	Contact Pressure			
	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa
1	0.3288	0.3230	0.3172	0.3327
2	0.3249	0.3327	0.3269	0.3172
3	0.3211	0.3191	0.3327	0.3134
4	0.3269	0.3172	0.3172	0.3424
5	0.3288	0.3307	0.3288	0.3115
6	0.3307	0.3038	0.3288	0.3307
7	0.323	0.3134	0.3211	0.3211
8	0.3153	0.3269	0.3307	0.3153
9	0.3249	0.3191	0.3191	0.3288
10	0.3076	0.3172	0.323	0.3096

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดาษกับกระดาษในกรณีที
วางชั้นทดสอบติดกัน ครั้งที่ 1

ครั้งที่	Contact Pressure			
	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa
1	0.3096	0.3191	0.323	0.3153
2	0.3249	0.3385	0.3211	0.3365
3	0.3269	0.3269	0.3153	0.3327
4	0.3249	0.3211	0.3288	0.3153
5	0.3307	0.323	0.3307	0.3269
6	0.3288	0.3057	0.3269	0.3327
7	0.3327	0.323	0.3211	0.3191
8	0.3288	0.3365	0.3211	0.3365
9	0.3307	0.3307	0.3269	0.3134
10	0.3288	0.3153	0.3249	0.3038

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดาษกับกระดาษในกรณีที
วางชั้นทดสอบติดกัน ครั้งที่ 2

ครั้งที่	Contact Pressure			
	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa
1	0.3230	0.3307	0.3327	0.3153
2	0.3249	0.3211	0.3249	0.3153
3	0.3115	0.3249	0.3211	0.3307
4	0.3211	0.3249	0.3134	0.3288
5	0.3249	0.3096	0.3096	0.3327
6	0.3288	0.3211	0.3211	0.3134
7	0.323	0.3191	0.3211	0.3211
8	0.3249	0.3211	0.3269	0.3249
9	0.3288	0.3249	0.3172	0.323
10	0.3269	0.3211	0.3134	0.3191

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของกระดาษกับกระดาษในกรณีที
วางชั้นทดสอบติดกัน ครั้งที่ 3

ครั้งที่	Contact Pressure			
	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa
1	0.3346	0.3172	0.3385	0.3307
2	0.3307	0.3249	0.3211	0.3307
3	0.3211	0.3269	0.323	0.3211
4	0.3288	0.3191	0.3249	0.3172
5	0.3327	0.3115	0.3191	0.3076
6	0.3153	0.3269	0.3153	0.3096
7	0.3249	0.323	0.3191	0.3172
8	0.3057	0.323	0.3134	0.3191
9	0.3346	0.3249	0.3153	0.3211
10	0.3327	0.3134	0.3172	0.3288

ตารางที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่าง
กระดาษกับกระดาษสำหรับการทดลอง ครั้งที่ 1

Contact Pressure	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa	รวม
วางห่างกัน					
Count	10	10	10	10	40
Sum	3.2226	3.2416	3.2107	3.2071	12.882
Average	0.32226	0.32416	0.32107	0.32071	0.32205
Variance	0.000103	1.68E-05	1.98E-05	4.35E-05	4.41E-05
วางติดกัน					
Count	10	10	10	10	40
Sum	3.2668	3.2398	3.2398	3.2322	12.9786
Average	0.32668	0.32398	0.32398	0.32322	0.324465
Variance	4.22E-05	9.61E-05	2.08E-05	0.000129	6.83E-05
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
ลักษณะการวาง	0.000117	1	0.000117	1.980428	0.163648
Contact Pressure	8.67E-05	3	2.89E-05	0.490948	0.689668
ผลกระทบรวม	5.5E-05	3	1.83E-05	0.311498	0.817002
Within	0.004241	72	5.89E-05		
Total	0.004499	79			

ตารางที่ ค.8 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่าง
กระดาษกับกระดาษสำหรับการทดลองครั้งที่ 2

Contact Pressure	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa	รวม
วางห่างกัน					
Count	10	10	10	10	40
Sum	3.2052	3.1552	3.2108	3.2301	12.8013
Average	0.32052	0.31552	0.32108	0.32301	0.320033
Variance	7.18E-05	5.14E-05	6.27E-05	2.16E-05	5.57E-05
วางติดกัน					
Count	10	10	10	10	40
Sum	3.2378	3.2185	3.2014	3.2243	12.882
Average	0.32378	0.32185	0.32014	0.32243	0.32205
Variance	2.48E-05	2.96E-05	4.88E-05	4.63E-05	3.63E-05
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
ลักษณะการวาง	8.14E-05	1	8.14E-05	1.824282	0.181034
Contact Pressure	0.000196	3	6.52E-05	1.461918	0.232132
ผลกระทบรวม	0.000178	3	5.94E-05	1.330956	0.271036
Within	0.003213	72	4.46E-05		
Total	0.003668	79			

ตารางที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่าง
กระดาษกับกระดาษสำหรับการทดลองครั้งที่ 3

Contact Pressure	3.27 kPa	6.54 kPa	9.81 kPa	13.08 kPa	รวม
วางห่างกัน					
Count	10	10	10	10	40
Sum	3.232	3.2031	3.2455	3.2227	12.9033
Average	0.3232	0.32031	0.32455	0.32227	0.322583
Variance	4.99E-05	7.27E-05	3.31E-05	0.000118	6.55E-05
วางติดกัน					
Count	10	10	10	10	40
Sum	3.2611	3.2108	3.2069	3.2031	12.8819
Average	0.32611	0.32108	0.32069	0.32031	0.322048
Variance	9.1E-05	3.04E-05	5.21E-05	6.51E-05	6.08E-05
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
ลักษณะการวาง	5.72E-06	1	5.72E-06	0.089437	0.765756
Contact Pressure	0.000185	3	6.16E-05	0.962789	0.415104
ผลกระทบรวม	0.000133	3	4.44E-05	0.694135	0.558618
Within	0.004608	72	6.4E-05		
Total	0.004932	79			

ค.2 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะกับ Ti-6AL-4V

ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6AL-4V ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์

ครั้งที่	ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม			ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม			ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม			ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
1	0.2754	0.272	0.2811	0.2792	0.2773	0.2849	0.3057	0.306	0.3115	0.3134	0.3076	0.323
2	0.2792	0.275	0.2736	0.2717	0.2886	0.2792	0.2981	0.308	0.2962	0.3404	0.3172	0.3191
3	0.2773	0.27	0.2754	0.2867	0.2886	0.283	0.2886	0.296	0.3172	0.323	0.2981	0.3365
4	0.283	0.272	0.2754	0.2792	0.2849	0.2849	0.3019	0.287	0.2811	0.3211	0.3057	0.3076
5	0.2754	0.275	0.2773	0.2924	0.2773	0.283	0.3096	0.294	0.3038	0.3115	0.3115	0.3038
6	0.2717	0.274	0.283	0.2849	0.2736	0.283	0.2905	0.308	0.2811	0.3134	0.3096	0.3134
7	0.2736	0.275	0.2792	0.283	0.2886	0.2773	0.3019	0.302	0.3	0.3076	0.3038	0.3019
8	0.2736	0.283	0.283	0.2849	0.2754	0.2754	0.3019	0.298	0.3019	0.3038	0.3038	0.2981
9	0.2849	0.275	0.2717	0.2792	0.2962	0.2792	0.2962	0.308	0.2924	0.3	0.3249	0.3096
10	0.2736	0.279	0.2773	0.2886	0.2943	0.2792	0.2981	0.291	0.2981	0.3249	0.3172	0.3172

ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดูกกับ Ti-6Al-4V ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์

ครั้งที่	ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม			ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม			ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม			ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
1	0.2698	0.2717	0.2773	0.2981	0.283	0.283	0.2924	0.2962	0.3191	0.3269	0.3076	0.323
2	0.2811	0.2717	0.283	0.2905	0.2792	0.2773	0.2981	0.3096	0.3076	0.3288	0.3057	0.3115
3	0.2886	0.2642	0.2717	0.2811	0.283	0.2962	0.2943	0.3	0.3	0.3076	0.3134	0.3327
4	0.2773	0.2886	0.2754	0.2962	0.2886	0.2773	0.2924	0.3191	0.2981	0.3172	0.3076	0.3269
5	0.2754	0.2867	0.2867	0.2717	0.2867	0.2867	0.3038	0.2981	0.3019	0.3327	0.3096	0.3134
6	0.2849	0.2867	0.2754	0.2849	0.2849	0.2886	0.2981	0.3019	0.3134	0.3404	0.3424	0.323
7	0.2849	0.2698	0.2717	0.2867	0.2924	0.2717	0.3115	0.3096	0.3172	0.3191	0.323	0.3115
8	0.2679	0.2736	0.2792	0.2754	0.2698	0.2849	0.3057	0.2905	0.2981	0.3096	0.3269	0.3327
9	0.2792	0.2849	0.2736	0.2849	0.2924	0.2905	0.2886	0.2962	0.2886	0.3385	0.3115	0.3269
10	0.2886	0.2717	0.2886	0.2792	0.283	0.2849	0.2981	0.3057	0.3172	0.3365	0.3307	0.3134

ตารางที่ ค.12 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA Repeated Measure ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดุกที่ผสมยาปฏิชีวนะของแต่ละระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนนำมาทดสอบ

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบ ก่อนการทดสอบ	Sphericity Assumed	.001	1	.001	11.078	.001	.087
	Greenhouse-Geisser	.001	1.000	.001	11.078	.001	.087
	Huynh-Feldt	.001	1.000	.001	11.078	.001	.087
	Lower-bound	.001	1.000	.001	11.078	.001	.087
ผลกระทบร่วม	Sphericity Assumed	.001	3	.000	6.090	.001	.136
	Greenhouse-Geisser	.001	3.000	.000	6.090	.001	.136
	Huynh-Feldt	.001	3.000	.000	6.090	.001	.136
	Lower-bound	.001	3.000	.000	6.090	.001	.136
Error(ระยะเวลาการเก็บขึ้น ทดสอบก่อนการทดสอบ)	Sphericity Assumed	.008	116	6.959E-5			
	Greenhouse-Geisser	.008	116.000	6.959E-5			
	Huynh-Feldt	.008	116.000	6.959E-5			
	Lower-bound	.008	116.000	6.959E-5			

ตารางที่ ค.13 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธีของ Bonferroni ของค่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของซีเมนต์กระดูกที่ผสมยาปฏิชีวนะ

(I) ปริมาณยา	(J) ปริมาณยา	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 กรัม	0.5 กรัม	-.006052*	.0013419	.000	-.009654	-.002450
	2 กรัม	-.022692*	.0013419	.000	-.026294	-.019090
	4 กรัม	-.041417*	.0013419	.000	-.045019	-.037815
0.5 กรัม	0 กรัม	.006052*	.0013419	.000	.002450	.009654
	2 กรัม	-.016640*	.0013419	.000	-.020242	-.013038
	4 กรัม	-.035365*	.0013419	.000	-.038967	-.031763
2 กรัม	0 กรัม	.022692*	.0013419	.000	.019090	.026294
	0.5 กรัม	.016640*	.0013419	.000	.013038	.020242
	4 กรัม	-.018725*	.0013419	.000	-.022327	-.015123
4 กรัม	0 กรัม	.041417*	.0013419	.000	.037815	.045019
	0.5 กรัม	.035365*	.0013419	.000	.031763	.038967
	2 กรัม	.018725*	.0013419	.000	.015123	.022327

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 388504.330.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ค.3 การทดสอบเพื่อหาค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะ

ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะโดยเก็บชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์

ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม			
P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile	
Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry
2.92	7.1	0.58	3.7	14.07	29.2	1.74	11.4	16.7	41.1	4.81	30.8	5.88	37.7	5.38	35.2
1.63	5.1	0.31	3.2	12.18	25.7	1.64	14.7	16.6	38.3	4.69	28.8	6.01	38.7	5.39	35.6
1.48	4.8	0.29	3.2	9.78	18.8	1.56	10.2	16.7	38.7	4.87	28.7	5.35	29.5	5.22	28.1
1.35	4.6	0.26	3.1	8.15	17.1	1.26	8.8	16.6	38.8	4.82	29	5.7	30.4	5.53	28.9
1.2	4.3	0.23	2.9	8.62	21.2	1.17	9.9	16.3	39.5	4.72	29.4	5.66	29.7	5.45	28.8

ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะโดยเก็บชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์

ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม			
P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile	
Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry
3.56	19.4	3.25	18.3	4.27	24.4	3.87	23.7	5.34	33	5.13	30.4	10.76	43.9	6.68	40
3.59	20.6	3.34	18.7	4.34	25.7	3.89	24.5	5.07	29.9	4.85	29.9	20.28	43.1	6.37	38.5
3.92	22.2	3.5	20.4	3.71	22.4	3.56	21.7	5.35	33.5	4.99	30.8	10.13	43.7	6.39	38.5
3.92	21.1	3.61	20.6	4.31	29.2	4.04	26.8	5.35	32.3	4.99	31.8	10.03	46.7	6.6	40.7
3.92	22.5	3.4	20.8	4.26	29.2	3.96	27.2	5.34	34.2	4.97	32.3	10.58	433.7	6.5	39.4

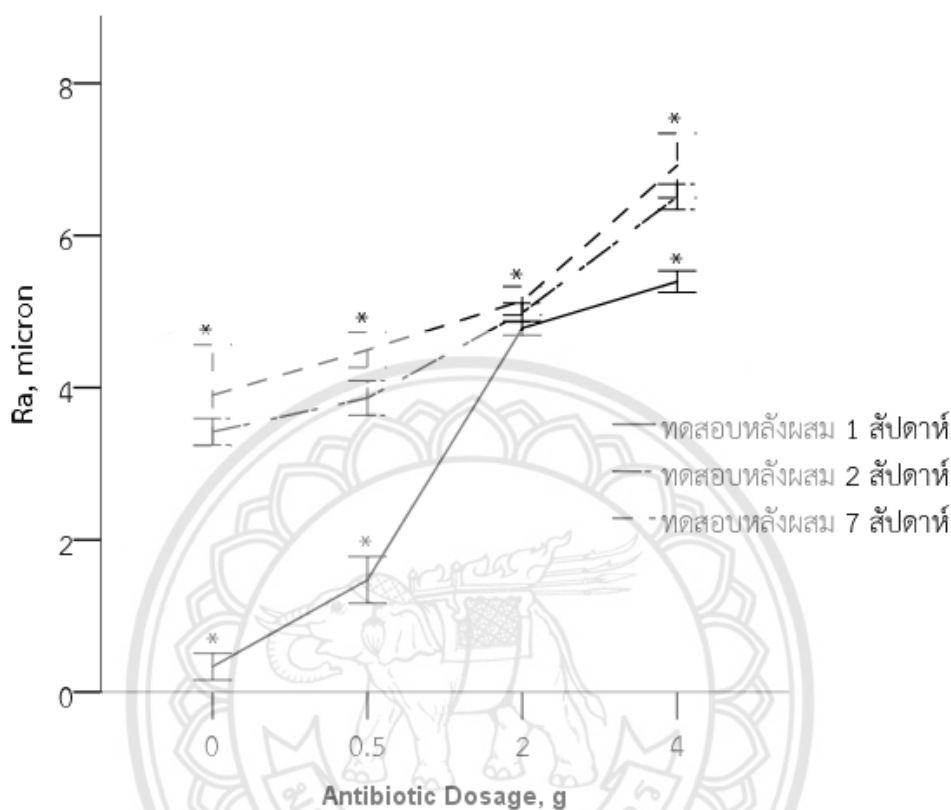
ผลการวิเคราะห์ค่าความหยาบผิวโดยเก็บชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ 7 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณยาปฏิชีวนะ 2 กรัมมีค่าความหยาบผิวใกล้เคียงกันมาก จึงได้มีการวัดซ้ำโดยเก็บชิ้นทดสอบไว้เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ จากนั้นทำการทดสอบอีกครั้งเพื่อดูลักษณะของค่าความหยาบผิว โดยทำการทดสอบทั้งหมดกรณีละ 12 ครั้ง ผลดังแสดงในตารางที่ ค.16

ตารางที่ ค.16 ผลการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยเก็บชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบหลังผสม 7 สัปดาห์

ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม				ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม			
P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile		P-Profile		R-Profile	
Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry	Ra	Ry
5.23	23.3	3.66	21.1	5.77	32.2	4.2	23.3	5.91	31.6	5	28.7	9.25	39.8	6.76	33.2
4.75	26.2	4.21	24.3	5.65	31.8	4.56	24.6	5.72	31.9	5.17	28.4	8.7	38.7	6.42	31.3
3.44	22	3.09	20.7	6.12	35.3	4.68	27.2	5.68	33.5	5.09	28.9	9.7	40.1	6.98	33
5.67	24.3	4.12	20.7	5.39	30.7	4.44	24.6	6.56	38.9	5.39	29.8	9.97	42.3	7.29	34.7
6	26.2	4.43	21.8	5.58	31.2	4.6	24.5	5.49	31.8	5.06	28.1	10.01	40.5	7.14	33.3
5.11	28.5	4.03	24.2	5.61	29.5	4.22	22.2	6.05	34.4	5.39	29.7	9.57	39.4	7	33.1
4.64	25.7	3.95	22.6	6.11	32.7	4.8	24.5	5.5	31.9	5.06	28	8.64	37.8	6.44	30.9
4.29	26.2	3.46	17.6	5.91	32.4	4.71	25.1	6.06	37.2	5.21	28.1	9.69	43.1	7.19	34.9
4.1	25.4	3.36	17.3	7.36	37.5	5.05	29.7	5.37	31.7	5.12	28.6	8.71	38.3	6.51	31.4
4.56	26.7	3.8	20	5.81	31.5	4.61	24.8	5.31	32.7	5	26.9	8.49	35.4	6.5	31.4
4.47	27.6	3.56	19.8	5.66	30.9	4.52	24.5	5.57	33.4	5.17	28.4	8.51	37.6	6.36	30.8
4.6	27.9	3.67	18.6	5.63	31.1	4.55	24.4	5.77	34.8	5.13	27.3	8.92	38.9	6.64	31.9

จากนั้นนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เทียบกับข้อมูลที่ระยะเวลาการเก็บชิ้นงานก่อนการทดสอบ ทั้ง 1 และ 2 สัปดาห์ เพื่อดูแนวโน้มของกราฟผลดังแสดงในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดูกผสมยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ และในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบหลังการผสม
เครื่องหมาย * หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากรูปที่ ค.1 แสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเทียบกับยาปฏิชีวนะในปริมาณต่างๆ โดยกราฟแต่ละเส้นเป็นกราฟของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์ โดยเก็บไว้ 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์และได้ทำการทดสอบเพิ่มที่ 7 สัปดาห์ก่อนการทดสอบตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะเวลาในการเก็บซีเมนต์กระดูกก่อนการทดสอบซึ่งจะเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนของทั้ง 2 ช่วงเวลา ยกเว้นที่ปริมาณยาปฏิชีวนะขนาด 2 กรัม ที่มีค่าใกล้เคียงกัน (หัวข้อที่ 4.3) แต่เมื่อวิเคราะห์ที่ระยะเวลาการเก็บชิ้นทดสอบ 2 และ 7 สัปดาห์ก่อนการทดสอบ พบว่าค่าของความหยาบผิวกลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไม่ได้เพิ่มขึ้นแบบ

รวดเร็วดังผลการทดลองของระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบ 1 สัปดาห์ก่อนการทดสอบ จึงสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นอาจส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวของซีเมนต์กระดุกเริ่มคงที่ กล่าวคือ ค่าความหยาบผิวมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าตามปริมาณยาปฏิชีวนะที่เพิ่มขึ้นและผลของการวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาดังแสดงในตารางที่ ค.17

ตารางที่ ค.17 ผลการคำนวณสถิติพรรณนาของค่าความหยาบผิวของแต่ละช่วงเวลาเก็บก่อนการทดสอบที่ปริมาณยาปฏิชีวนะต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบ	ปริมาณยาปฏิชีวนะ	Mean	Std. Deviation	N
ทดสอบหลังผสม 1 สัปดาห์	0 กรัม	.334000	.1408190	5
	0.5 กรัม	1.474000	.2469413	5
	2 กรัม	4.782000	.0746324	5
	4 กรัม	5.394000	.1141490	5
	Total	2.996000	2.2018208	20
ทดสอบหลังผสม 2 สัปดาห์	0 กรัม	3.4200	.13982	5
	0.5 กรัม	3.8640	.18257	5
	2 กรัม	4.9860	.09940	5
	4 กรัม	6.5080	.13330	5
	Total	4.6945	1.23035	20
ทดสอบหลังผสม 7 สัปดาห์	0 กรัม	3.9020	.53364	5
	0.5 กรัม	4.4960	.18676	5
	2 กรัม	5.1420	.15156	5
	4 กรัม	6.9180	.34076	5
	Total	5.1145	1.20012	20

ตารางที่ ค.18 ผลการวิเคราะห์ Two-Way ANOVA Repeated Measure ของค่าความหยาดผิวของแต่ละระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบก่อนนำมาทดสอบ

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
ระยะเวลาการเก็บขึ้นทดสอบ ก่อนการทดสอบ	Sphericity Assumed	50.994	2	25.497	442.273	.000	.965
	Greenhouse-Geisser	50.994	1.579	32.301	442.273	.000	.965
	Huynh-Feldt	50.994	2.000	25.497	442.273	.000	.965
	Lower-bound	50.994	1.000	50.994	442.273	.000	.965
ผลกระทบร่วม	Sphericity Assumed	18.590	6	3.098	53.743	.000	.910
	Greenhouse-Geisser	18.590	4.736	3.925	53.743	.000	.910
	Huynh-Feldt	18.590	6.000	3.098	53.743	.000	.910
	Lower-bound	18.590	3.000	6.197	53.743	.000	.910
Error(ระยะเวลาการเก็บขึ้น ทดสอบก่อนการทดสอบ)	Sphericity Assumed	1.845	32	.058			
	Greenhouse-Geisser	1.845	25.259	.073			
	Huynh-Feldt	1.845	32.000	.058			
	Lower-bound	1.845	16.000	.115			

ตารางที่ ค.19 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธีของ Bonferroni ของค่าความหยาบผิว

(I) ปริมาณยา	(J) ปริมาณยา	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 กรัม	0.5 กรัม	-.726000*	.0775048	.000	-.959160	-.492840
	2 กรัม	-2.444000*	.0775048	.000	-2.677160	-2.210840
	4 กรัม	-3.721333*	.0775048	.000	-3.954494	-3.488173
0.5 กรัม	0 กรัม	.726000*	.0775048	.000	.492840	.959160
	2 กรัม	-1.718000*	.0775048	.000	-1.951160	-1.484840
	4 กรัม	-2.995333*	.0775048	.000	-3.228494	-2.762173
2 กรัม	0 กรัม	2.444000*	.0775048	.000	2.210840	2.677160
	0.5 กรัม	1.718000*	.0775048	.000	1.484840	1.951160
	4 กรัม	-1.277333*	.0775048	.000	-1.510494	-1.044173
4 กรัม	0 กรัม	3.721333*	.0775048	.000	3.488173	3.954494
	0.5 กรัม	2.995333*	.0775048	.000	2.762173	3.228494
	2 กรัม	1.277333*	.0775048	.000	1.044173	1.510494

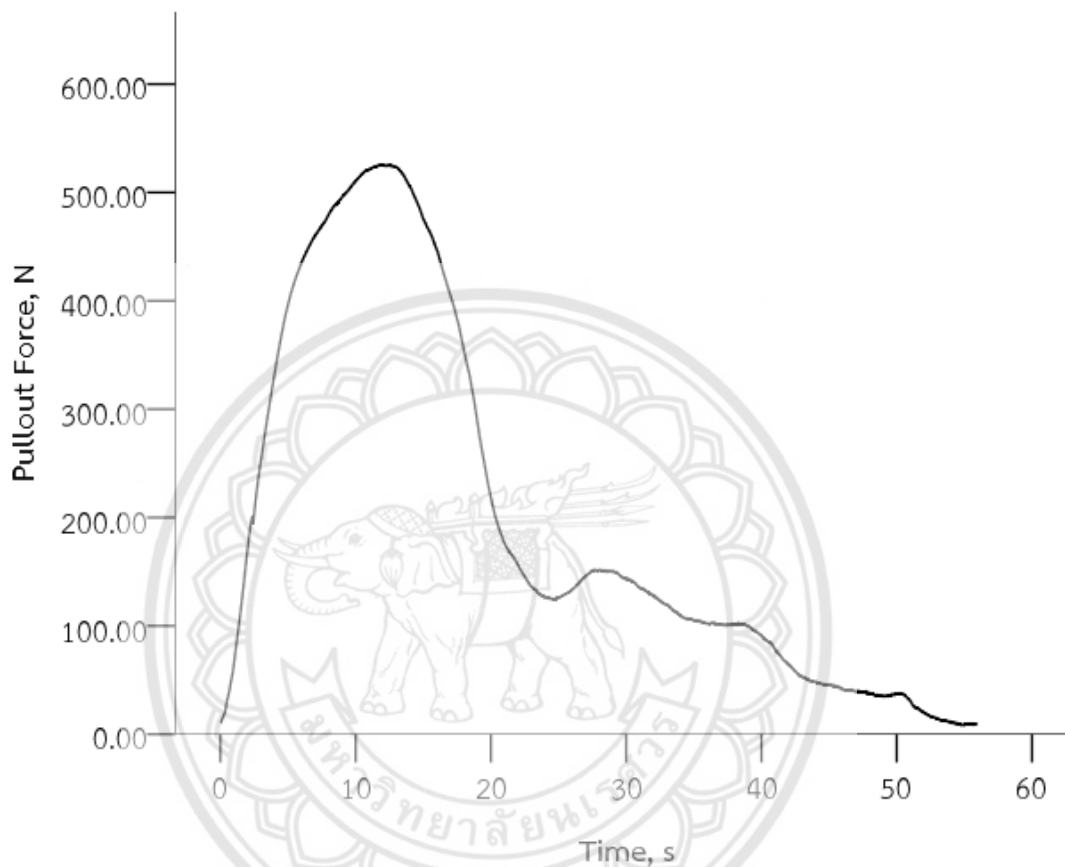
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 388504.330.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ค.4 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างซีเมนต์กระดุกผสมยาปฏิชีวนะ
ตัวอย่างกราฟแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึงถอนของสกรู กรณีไม่มีซีเมนต์กระดุกดังแสดงในรูปที่

ค.2

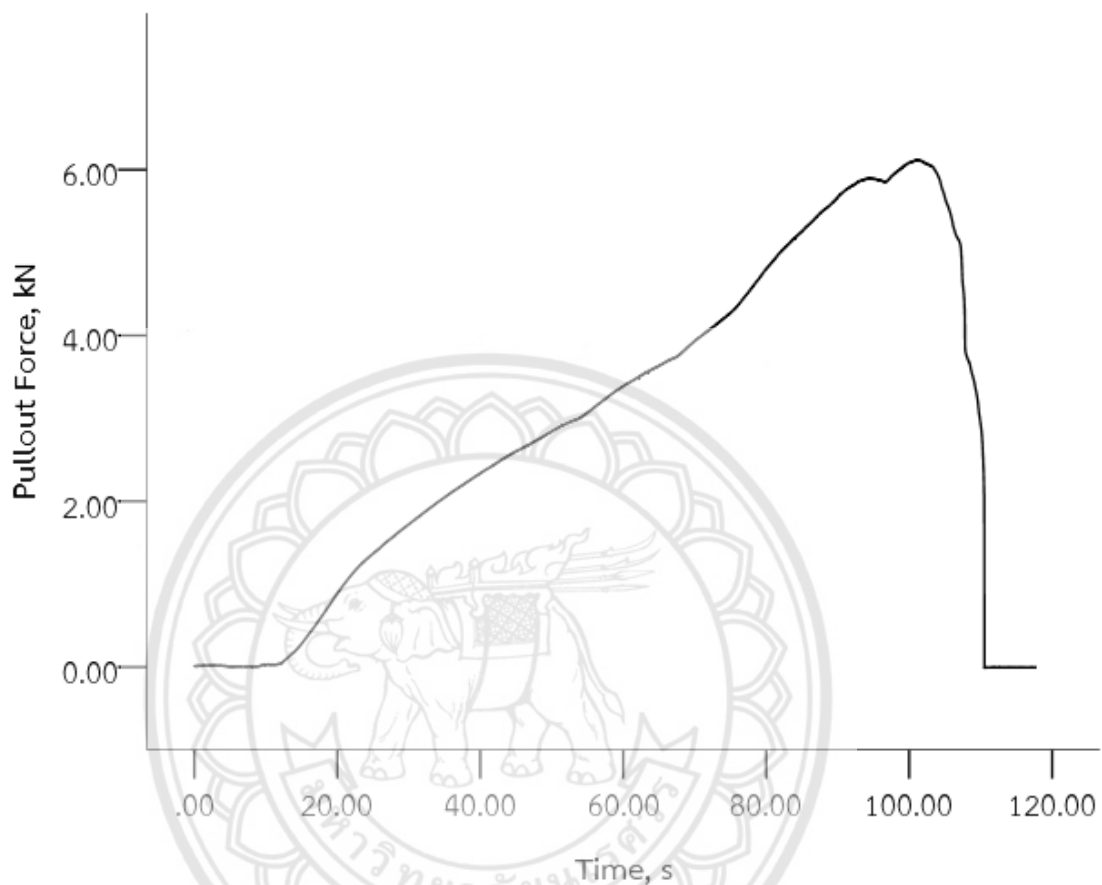


รูปที่ ค.2 ตัวอย่างกราฟค่าความแข็งแรงดึงถอนเทียบกับเวลา กรณีไม่มีซีเมนต์กระดุก

ตารางที่ ค.20 ค่าความแข็งแรงดึงถอนสูงสุดของสกรู กรณีไม่มีซีเมนต์กระดุก

ครั้งที่	แรงดึงถอนสูงสุด (N)
1	525.31
2	537.71
3	474.84
4	512.83
ค่าเฉลี่ย	512.68

ตัวอย่างกราฟแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของสกรู กรณีที่มีกระดุกเทียมดังแสดงในรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 ตัวอย่างกราฟค่าความแข็งแรงดึงเทียบกับเวลากรณีมีกระดุกเทียมที่ปริมาณยาปฏิชีวนะ 0 กรัม

ตารางที่ ค.21 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของสกรูกรณีมีกระดุกเทียม

ครั้งที่	แรงดึงสูงสุด (N)			
	ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม	ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม	ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม	ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม
1	5,287.78	4,930.89	4,251.69	4,240.29
2	5,067.93	2,968.29	3,490.05	4,186.40
3	5,313.83	4,992.55	2,719.41	3,962.65
4	6,111.09	4,467.04	3,096.92	4,330.15

ตารางที่ ค.22 ผลการคำนวณสถิติพรรณนาของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีมีกระดุกเทียม

ปริมาณยาปฏิชีวนะ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวน
ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม	5,445.1569	457.45190	4
ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม	4,339.6937	943.87511	4
ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม	3,389.5181	655.26181	4
ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม	4,179.8700	156.48268	4
Total	4,338.5597	940.34517	16

ตารางที่ ค.23 ผลการวิเคราะห์ One-Way ANOVA ของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีมีกระดุกเทียม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8601683.561 ^a	3	2867227.854	7.380	.00462
Intercept	301169601.200	1	301169601.200	775.203	.000
ปริมาณยาปฏิชีวนะ	8601683.561	3	2867227.854	7.380	.00462
Error	4662051.959	12	388504.330		
Total	314433336.700	16			
Corrected Total	13263735.520	15			

a. R Squared = .649 (Adjusted R Squared = .561)

ตารางที่ ค.24 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธีของ Bonferroni ของค่าความแข็งแรงดึงถอน
ของสกรูกรณีมีกระดุกเทียม

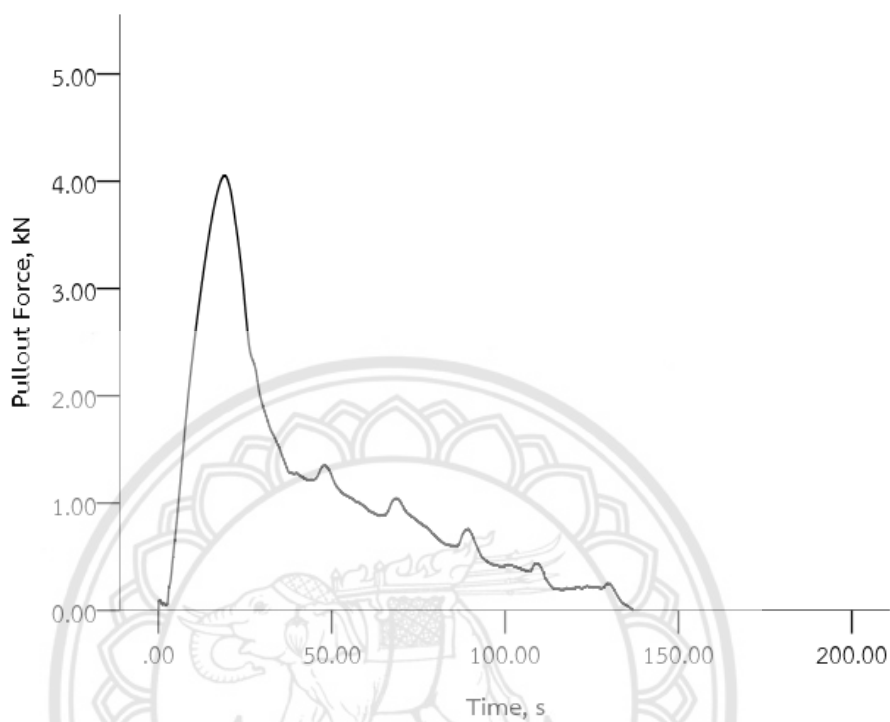
(I) ปริมาณยา	(J) ปริมาณยา	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 กรัม	0.5 กรัม	1105.463	440.740	.165	-284.051	2494.977
	2 กรัม	2055.639*	440.740	.003	666.125	3445.153
	4 กรัม	1265.287	440.740	.084	-124.228	2654.801
0.5 กรัม	0 กรัม	-1105.463	440.740	.165	-2494.977	284.051
	2 กรัม	950.176	440.740	.313	-439.339	2339.69
	4 กรัม	159.824	440.740	1.000	-1229.691	1549.338
2 กรัม	0 กรัม	-2055.639*	440.740	.003	-3445.153	-666.125
	0.5 กรัม	-950.176	440.740	.313	-2339.69	439.339
	4 กรัม	-790.352	440.740	.589	-2179.866	599.162
4 กรัม	0 กรัม	-1265.287	440.740	.084	-2654.801	124.227
	0.5 กรัม	-159.824	440.740	1.000	-1549.338	1229.691
	2 กรัม	790.352	440.740	.589	-599.162	2179.866

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 388504.330.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตัวอย่างกราฟแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึงถอนของสกรู กรณีไม่มีกระดุกเทียมดังแสดง
ในรูปที่ ค.4



รูปที่ ค.4 ตัวอย่างกราฟค่าความแข็งแรงดึงถอนเทียบกับเวลากรณีไม่มีกระดุกเทียม
ที่ปริมาณยาปฏิชีวนะ 4 กรัม

ตารางที่ ค.25 ค่าความแข็งแรงดึงถอนสูงสุดของสกรูกรณีไม่มีกระดุกเทียม

ครั้งที่	แรงดึงถอนสูงสุด (N)			
	ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม	ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม	ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม	ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม
1	4,485.45	3,096.19	4,290.75	4,436.46
2	4,927.94	5,986.83	4,221.27	3,938.51
3	5,110.93	4,765.90	4,311.06	5,552.83
4	5,665.93	5,736.22	3,373.20	3,996.41
5	5,637.91	3,736.75	4,993.93	4,053.60

ตารางที่ ค.26 ผลการคำนวณสถิติพรรณนาของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีไม่มีกระดุกเทียม

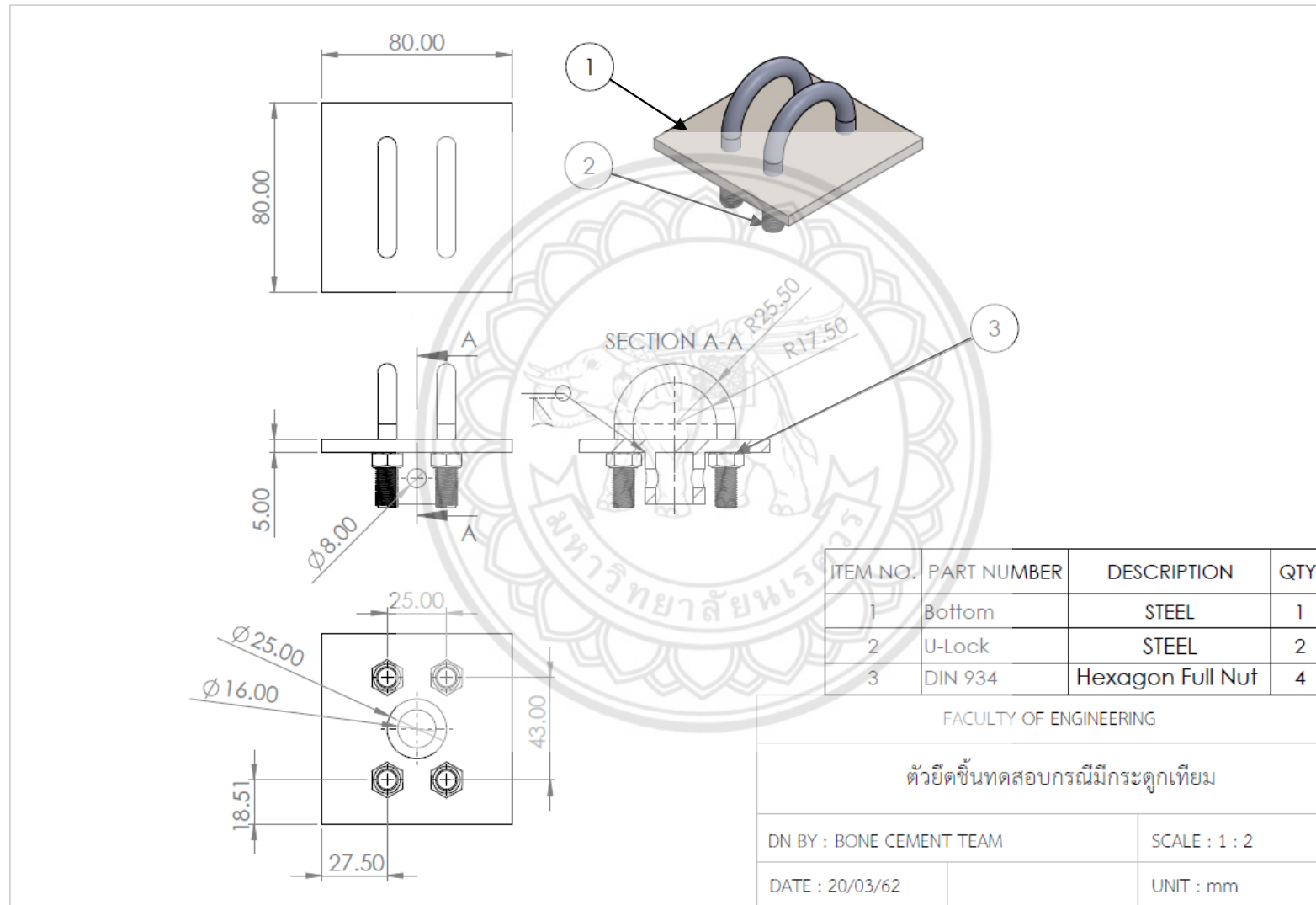
ปริมาณยาปฏิชีวนะ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวน
ยาปฏิชีวนะ 0 กรัม	5165.833	498.871	5
ยาปฏิชีวนะ 0.5 กรัม	4664.376	1247.769	5
ยาปฏิชีวนะ 2 กรัม	4238.039	576.131	5
ยาปฏิชีวนะ 4 กรัม	4395.562	675.668	5
Total	4615.902	822.59	20

ตารางที่ ค.27 ผลการวิเคราะห์ One-Way ANOVA ของค่าความแข็งแรงดึงถอนของสกรูกรณีไม่มีกระดุกเทียม

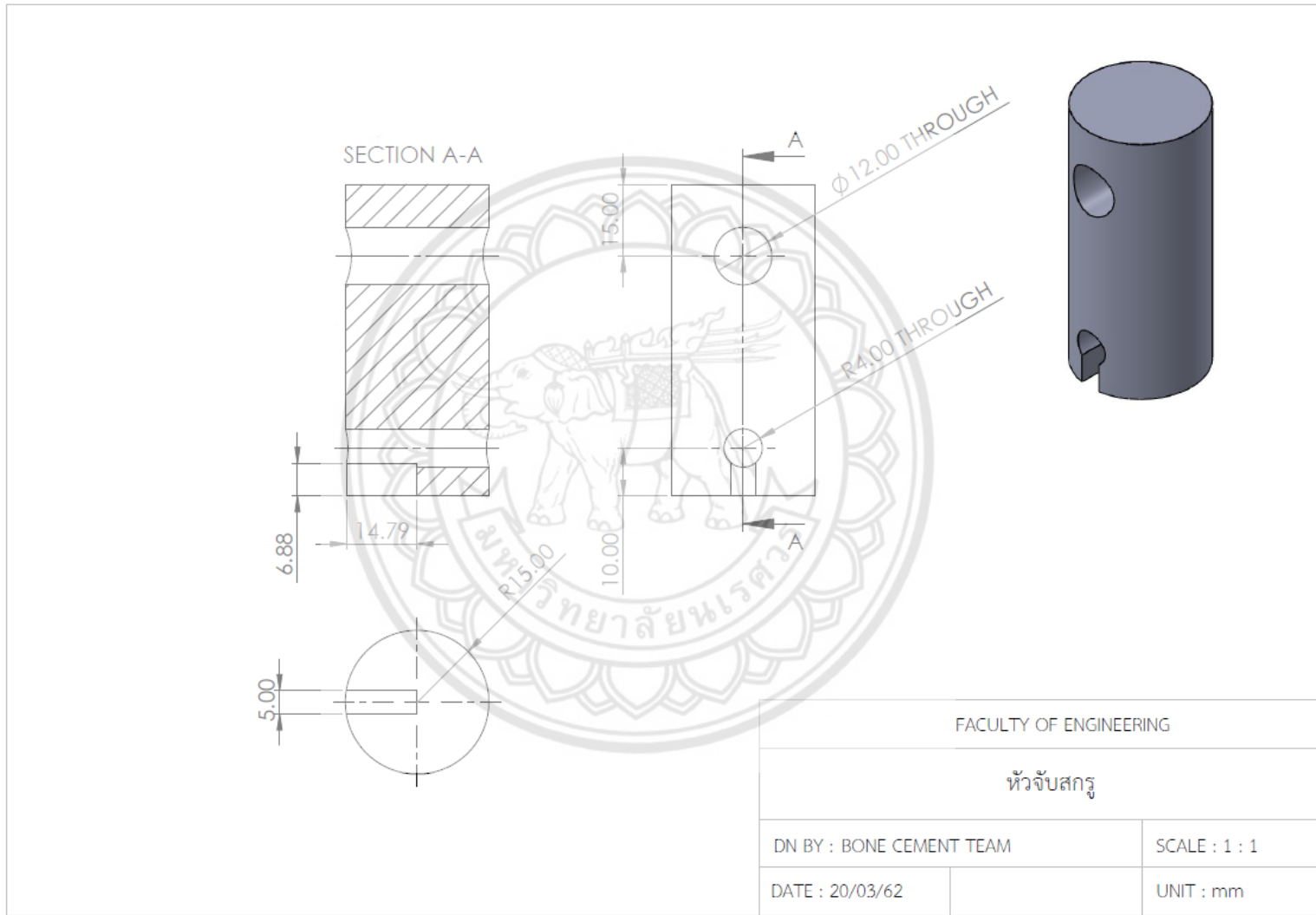
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2479421.51 ^a	3	826473.838	1.274	.317
Intercept	426131062.4	1	426131062.4	657.038	.000
ปริมาณยาปฏิชีวนะ	2479421.513	3	826473.838	1.274	.317
Error	10377020.52	16	648563.783		
Total	438987504.4	20			
Corrected Total	12856442.04	19			

a. R Squared = .193 (Adjusted R Squared = .042)

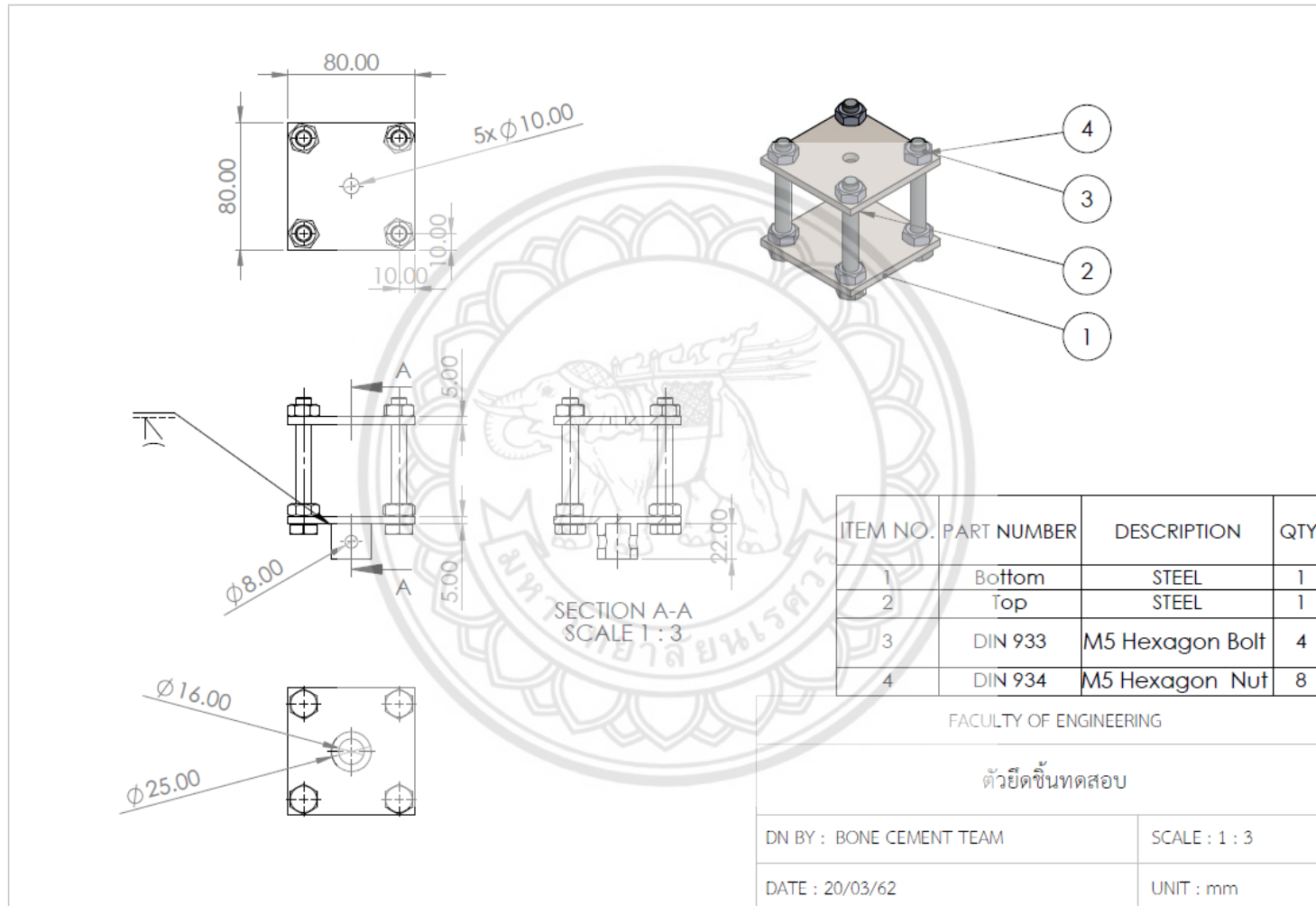




รูปที่ ง.1 ตัวยึดชั้นทดสอบกรณีมีกระดูกเทียม



รูปที่ ง.2 หัวจับสกรู



รูปที่ ง.3 แบบ Drawing ตัวยึดขึ้นทดสอบ