



การประยุกต์เทคนิคไบโอมิเมติกส์

เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน

APPLICATION OF BIOMIMETIC TECHNIQUE FOR REDUCING ADHESIVE
FORCE BETWEEN SOIL AND AUGER BLADE OF DRILLING MACHINE

ธนพล สุทธิศรีกุล

THANAPOL SUTTHISRIKUL

ธานี สุขเสริม

THANI SUKSROEM

มานิตา อุทุมรัตน์

MANITA UTUMRAT

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์เทคนิคไบโอมิเมติกส์

เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน

APPLICATION OF BIOMIMETIC TECHNIQUE FOR REDUCING ADHESIVE
FORCE BETWEEN SOIL AND AUGER BLADE OF DRILLING MACHINE



ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF BIOMIMETIC TECHNIQUE FOR REDUCING ADHESIVE
FORCE BETWEEN SOIL AND AUGER BLADE OF DRILLING MACHINE



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHONE CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การประยุกต์เทคนิคไบโอมิเมติกส์เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรู
ของเครื่องเจาะดิน

Project Title APPLICATION OF BIOMIMETIC TECHNIQUE FOR REDUCING
ADHESIVE FORCE BETWEEN SOIL AND AUGER BLADE OF DRILLING
MACHINE

ชื่อนักศึกษา นายธนพล สุทธิศรีกุล รหัสนักศึกษา 61512044
นายธานี สุขเสริม รหัสนักศึกษา 61512046
นางสาวมานิตา อุทุมรัตน์ รหัสนักศึกษา 61512066

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

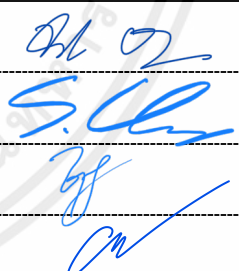
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์

ปริญญาานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.จรัสชัย	เย็นพยัค	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ศรีรัตน์	ช่วยบุญ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ชมพูนุช	กุลเกตุวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ผศ.ดร.ดิษฐพร	ตุงโสธานนท์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เวลา 13.00 - 17.00 น.

สถานที่สอบ ห้องสอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2565

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์เทคนิคไบโอมิเมติกส์เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน	
ชื่อนักศึกษา	นายธนพล สุทธิศรีกุล	รหัสประจำตัว 61512044
	นายธานี สุขเสริม	รหัสประจำตัว 61512046
	นางสาวมานิตา อุทุมรัตน์	รหัสประจำตัว 61512066
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสมานนท์	
ปริญญานิพนธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

เทคนิคไบโอมิเมติกส์เป็นศาสตร์ของการลอกเลียนแบบทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเพื่อนำข้อดีมาผนวกใช้งานร่วมกับหลักการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำหลักการที่ได้เรียนรู้จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบใบสกรูเจาะดินชนิดไบโอมิเมติกส์ โดยการทดสอบได้ทำการแบ่งใบสกรูเจาะดินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ใบสกรูแบบปกติที่ขึ้นรูปโดยวิธีการรีดและดัด และใบสกรูแบบพื้นผิวไบโอมิเมติกส์ชนิดติดตั้งด้านบนและชนิดอยู่ด้านล่าง การทดสอบเจาะดินร่วนปนทรายในภาคสนาม ดำเนินการภายใต้เงื่อนไข ความเร็วรอบการเจาะเริ่มต้น 300 rpm และค่าน้ำหนักถ่วง 38, 48 และ 58 kg จากการทดลองพบว่าใบสกรูขึ้นรูปแบบดัดมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน พื้นผิวไบโอมิเมติกส์ชนิดติดตั้งด้านล่างใบสกรูส่งผลดีต่อความสามารถในการเจาะดินที่มากกว่าแบบอื่นอย่างมีนัยยะสำคัญ มีค่าแรงบิดในการเจาะดินน้อยกว่าแบบปกติ 35 % มีค่าอัตราเร่งในแนวตั้งมากกว่าแบบธรรมดา 17% และผันแปรโดยตรงกับค่าน้ำหนักถ่วง

คำสำคัญ: ใบสกรู, ดินร่วนปนทราย, แรงบิด

Thesis	Application of Biomimetic Technique for Reducing Adhesive Force between Soil and Auger Blade of Drilling Machine	
Student	Mr.Thanapol Sutthisrikul	Student ID 61512044
	Mr.Thani Suksroem	Student ID 61512046
	Miss Manita Utumrat	Student ID 61512066
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Dithaporn Thungsotanon	
Co-Advisor	Asst.Prof.Dr.Chompoonud Kulketwong	

ABSTRACT

Biomimetics is the subject of biological mimic of the creature for combining the advantages and principles of science and technology. This project aimed to study the natural principle to apply to design the biomimetics types of soil screws. In the experiment, the soil screws were divided into 2 groups: the common screw blades that were formed by cold rolling and cold drawing, and the screws that had biomimetics patterns on the top side and another on the bottom side. The field testing was performed with the sandy clay under the conditions of the initial drilling speed of 300 rpm, and the load of 38, 48 and 58 kg. The results found that the drawing screw was proper for application. The screw with the bottom side of biomimetics pattern was able to drill soil and showed more significant than the others. The torque while drilling was less than the normal screw around 35%. The horizontal acceleration was more than the common about 17% and the values directly varied by the loads.

Keywords: Screw, Sandy loam, Torque

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เพราะมีความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวคือ อาจารย์ดิษฐพร ตุงโสมานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญาานิพนธ์ ที่ให้ความใส่ใจ ให้คำปรึกษา คำแนะนำแนวคิด ความรู้ต่างๆทั้งในตำราเรียนและนอกตำรา อีกทั้งประสบการณ์ชีวิตที่มาเล่าสู่กันฟังและช่วยเหลือเสมอมา ขอขอบคุณ อาจารย์ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ปริญญาานิพนธ์ และขอขอบคุณอาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนเพื่อน ๆ ต่างกลุ่มทุก ๆ คน ที่มีน้ำใจมาช่วยเหลือ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณและกราบขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ธนพล สุทธิศรีกุล
ธานี สุขเสริม
มานิตา อุทุมรัตน์
19 กรกฎาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.7 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	18
3.1 การออกแบบเครื่องเจาะดิน	18
3.2 การสร้างเครื่องเจาะ	19
3.3 การออกแบบและสร้างใบสกรูของเครื่องเจาะดิน	33
3.4 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาประเภทของดิน	37
3.5 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความต้านทานการแทงทะลุดิน	40
3.6 วิธีการทดสอบภาคสนาม	44
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	47
4.1 ผลการวิเคราะห์เนื้อดิน	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการหาความชื้นและความหนาแน่นของดิน	48
4.3 ผลของการหาความสามารถในการแทงทะลุดิน	48
4.4 ผลการลำเลียงและกระจายตัวของดิน	49
4.5 ผลลักษณะการคงรูปของหลุมที่ทำการเจาะ	51
4.6 ผลลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของใบสกรู	52
4.7 ผลของแรงบิดและรอบเทียบกับเวลา	54
4.8 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับรอบต่อเวลาของแต่ละโหลด	55
4.9 ผลของแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินของใบสกรู	57
4.10 ผลของแรงปฏิกิริยา	58
4.11 ผลของความเร่ง	60
4.12 ผลของแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินของใบสกรูจากการวิเคราะห์สถิติ	64
4.13 ผลของแรงปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์สถิติ	64
4.14 ผลของความเร่งจากการวิเคราะห์สถิติ	65
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ปัญหาที่พบ	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก แบบอุปกรณ์และชุดทดลอง	71
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต	96
ภาคผนวก ค โปรแกรม LabVIEW 2015	98
ภาคผนวก ง ตารางผลการทดลอง	102
ประวัติผู้เขียน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนดำเนินการประยุกต์เทคนิคไปโอมิเมติกส์เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบ สกรูของเครื่องเจาะดิน	4
4.1 ค่าของตัวแปรที่เกิดขึ้นเมื่อเจาะดินในพื้นที่ทดลองด้วยใบสกรูชนิดต่างๆ	62
ข.1 ต้นทุนการผลิต	97
ข.2 ต้นทุนขายทางการตลาด	97
ง.1 ชนิดของใบและค่าทอร์กสูงสุด (N.m) จากสถานที่ A	103
ง.2 ชนิดของใบและค่าทอร์กสูงสุด (N.m) จากสถานที่ B	103
ง.3 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน x ในสถานที่ A	104
ง.4 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน x ในสถานที่ B	104
ง.5 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน y ในสถานที่ A	105
ง.6 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน y ในสถานที่ B	105
ง.7 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน z ในสถานที่ A	106
ง.8 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน z ในสถานที่ B	106
ง.9 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 38 kg ในสถานที่ A	107
ง.10 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 38 kg ในสถานที่ B	107
ง.11 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 48 kg ในสถานที่ A	108
ง.12 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 48 kg ในสถานที่ B	108
ง.13 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 58 kg ในสถานที่ A	109
ง.14 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 58 kg ในสถานที่ B	109

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานการประยุกต์เทคนิคไบโอเมตริกส์เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน	3
2.1	มุมมองตัดของดอกสว่าน	7
2.2	โครงสร้างลายเกล็ดปลาฉลาม	9
2.3	โครงสร้างร่องรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยม	10
2.4	ลวดลายจากผิวหนังของฉลามและโครงสร้างของดิน	10
2.5	โครงสร้างการออกแบบจานไถ	11
2.6	จานไถหมายเลข 3	12
2.7	กรงเล็บหมี	12
2.8	พื้นผิวหน้าท้องของตัวมูลสัตว์	13
2.9	แบบจำลองส่วนประกอบของล้อลาก	14
2.10	ตัวมูลสัตว์และแบบจำลองพื้นผิว เปลือกหอยและแบบจำลองพื้นผิว กิ่งก่าและแบบจำลองพื้นผิว	15
2.11	แบบจำลองใบสกรูเจาะดินแบบเกลียว	15
2.12	กรงเล็บด้านหน้าของจิ้งจก	16
2.13	ปลายนิ้วเท้าหรือกรงเล็บของตัวตุ่น	17
3.1	เครื่องเจาะดินที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SOLIDWORK 2019	18
3.2	โครงแทนทดลอง	20
3.3	ปลายเหล็กด้านล่าง ปลายเหล็กด้านบน	21
3.4	เพลาล้อ	21
3.5	เชื่อมเพลาล้อติดกับโครงแทนทดลอง	22
3.6	แกนสไลด์	22
3.7	แกนโซ่	23
3.8	ชุดสไลด์บาร์	23
3.9	มาร์คตำแหน่งและเจาะรูยึดตลับลูกปืนตุ๊กตา	24
3.10	ตีาปเกลียวเหล็กเพลาด้าน	24
3.11	เจาะรูทำช่องสายสัญญาณไหลดเซลล์	25
3.12	ติดตั้งแผ่นเหล็กเข้ากับชุดสไลด์บาร์	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.13	กล่องยึดโพลดเซลล์	26
3.14	เชื่อมกล่องยึดโพลดเซลล์กับแผ่นเหล็ก	26
3.15	เชื่อมคريبเสริมความแข็งแรง	27
3.16	แผ่นซิม	27
3.17	คว้านรูเหล็กแผ่นสำหรับยึดเครื่องยนต์	28
3.18	เชื่อมต่อ Swivel pin load cell กับเหล็กแผ่น	28
3.19	เจาะรูยึดกล่องโพลด	29
3.20	ฐานรองรับโพลดและบล็อกยึดทอร์ค	29
3.21	กล่องใส่โพลด	30
3.22	เหล็กรัดกล่องโพลด	30
3.23	ข้อต่อระหว่างเพลลาเกียร์ของเครื่องยนต์	31
3.24	ทอร์คเซ็นเซอร์ประกอบเข้ากับบล็อกยึดทอร์ค	31
3.25	ข้อต่อระหว่างเพลลาทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรู	32
3.26	ข้อต่อระหว่างแกนใบสกรูเข้ากับเพลลาทอร์คเซ็นเซอร์	32
3.27	แท่นทดสอบที่ใช้ในงาน	33
3.28	เหล็กแผ่นลายตีนไก่	33
3.29	ใบสกรูแบบ Conventional Rolling Screw (CVRS)	34
3.30	ใบสกรูแบบ Conventional Rolling Screw (CVRS)	35
3.31	ใบสกรูแบบ Bottom Biomimetic Welding Screw (BBWS)	36
3.32	ใบสกรูแบบ Top Biomimetic Welding Screw (TBWS)	37
3.33	วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาประเภทของดิน	38
3.34	ชุดหลุมรูปปลายลูกศรหรือรูปตัว V	38
3.35	แซะดินบริเวณข้างหลุม	39
3.36	เก็บตัวอย่างดิน	39
3.37	Cone Penetrometer	40
3.38	วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความต้านทานการแทงทะลุดิน	41
3.39	วัดการแทงทะลุดินด้วยเครื่องวัดการแทงทะลุดิน	41
3.40	Core Sampler	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.41	เก็บตัวอย่างดิน	42
3.42	ซั่งน้ำหน้าดิน	43
3.43	นำไปอบ	43
3.44	แท่นทดสอบ	44
3.45	จัดเตรียมอุปกรณ์	44
3.46	ระดับความลึกที่ไบสกรูลงไปดิน	45
3.47	ยกหัวเจาะขึ้น	45
3.48	ดินที่ติดไบสกรู ความลึกของหลุม ความกว้างของปากหลุม	46
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดกับความลึกของแปลง A	48
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดกับความลึกของแปลง B	49
4.3	การกระจายตัวของดิน CVWS	49
4.4	การกระจายตัวของดิน BBWS	50
4.5	การกระจายตัวของดิน TBWS	50
4.6	ลักษณะการคงรูปของหลุม CVWS	51
4.7	ลักษณะการคงรูปของหลุม BBWS	51
4.8	ลักษณะการคงรูปของหลุม TBWS	52
4.9	ลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของไบสกรู CVWS	52
4.10	ลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของไบสกรู BBWS	53
4.11	ลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของไบสกรู TBWS	53
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบ 4 แบบ	54
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบแต่ละ Load ใน CVWS	55
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบแต่ละ Load ใน BBWS	55
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบแต่ละ Load ใน TBWS	56
4.16	แรงบิดสูงสุดเฉลี่ย 3 ครั้ง แปลง A	57
4.17	แรงบิดสูงสุดเฉลี่ย 3 ครั้ง แปลง B	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	มุมมองในการมองของ Load cell	58
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาเทียบกับเวลาของไบสกรูแบบ CVWS 38 kg แปลง A	58
4.20	แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อ Load cell ในแต่ละใบ	59
4.21	ผลของความเร่งในแนวแกน x	60
4.22	ผลของความเร่งในแนวแกน y	60
4.23	ผลของความเร่งในแนวแกน z	61
4.24	กราฟผลของความเร่งลัพธ์	61
ก.1	แท่นทดสอบ	72
ก.2	แท่นทดสอบ (ต่อ)	73
ก.3	องค์ประกอบในส่วนต่าง ๆ ของแท่นทดสอบ	74
ก.4	โครงแท่นทดสอบ	75
ก.5	เพลาล้อ	76
ก.6	ล้อ	77
ก.7	ชุดสไลด์บาร์	78
ก.8	ตัลบลูกปืนตุ้กตา	79
ก.9	โซ่ค	80
ก.10	คานยึดโหลด	81
ก.11	กล่องสำหรับยึดโหลดเซลล์	82
ก.12	โหลดเซลล์	83
ก.13	แผ่นซีม	84
ก.14	แผ่นยึดเครื่องยนต์	85
ก.15	แผ่นล้อคตัวยึดเครื่องยนต์	86
ก.16	มอเตอร์	87
ก.17	ฐานตั้งเครื่องยนต์	88
ก.18	ข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซนเซอร์กับไบสกรู	89
ก.19	ทอร์คเซนเซอร์	90
ก.20	ข้อต่อระหว่างไบสกรูกับทอร์คเซนเซอร์	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.21	กล่องใส่โพลด	92
ก.22	เหล็กรัดกล่องโพลด	93
ก.23	เพลายึดบล็อกใช้คสไลด์	94
ก.24	เซนเซอร์วัดความเร่ง	95
ค.1	หน้าโปรแกรม LabVIEW 2015 ที่ใช้เก็บผลการทดลอง	99
ค.2	หน้า Block Diagram โปรแกรม LabVIEW 2015 ที่ใช้เก็บผลการทดลอง	100
ค.3	หน้า Block Diagram โปรแกรม LabVIEW 2015 ที่ใช้เก็บผลการทดลอง (ต่อ)	101



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากปัญหาการใช้เครื่องเจาะดินพบว่า การเจาะลงไปถึงความลึกประมาณหนึ่ง เมื่อนำไบสกรูเจาะดินขึ้นมา พบว่ามีดินบางส่วนที่ยังติดอยู่กับไบสกรูเจาะดิน ปัญหาที่เกิดขึ้นอาจส่งผลให้เครื่องเจาะดินทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และต้องใช้แรงบิดในการเจาะมากขึ้น จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยได้ศึกษาหลักการ การลอกเลียนแบบทางชีววิทยาของสัตว์ ที่อาศัยอยู่ในโพรงดินโดยการสังเกตพฤติกรรม, เปลือก, ผิวหนัง และ โครงสร้าง เพื่อนำข้อมูลจากการศึกษาลักษณะเชิงกายภาพของสัตว์ที่มุดดิน และนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องมือกลศาสตร์ด้านดิน ซึ่งหลักการดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า “Biomimetic” [1]

มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการใช้งานเครื่องจักรและการไหลพรวนอย่างมีประสิทธิภาพ ได้รับแรงบันดาลใจจากโครงสร้างจากลายเกล็ดปลาฉลาม ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบที่ลดการลาก เพื่อแก้ปัญหาค่าต้านทานการไหลพรวน [2] และได้มีการนำมาใช้ในโครงสร้างใบมีด ฟันเลื่อย โดยใช้โครงสร้างในการออกแบบพื้นผิวในดิน เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพดีขึ้น [3] อีกทั้งยังมีเครื่องเปิดร่อง เพื่อลดความต้านทานและการใช้พลังงานของตัวเปิดร่องจานไถ ได้รับแรงบันดาลใจจากการขุดของสัตว์ (เปลือกหอย ตัวงูมูลสัตว์ และเกล็ดสันหลังของมัน) [4] ส่วนทรงเล็บหมีก็นำมาออกแบบให้มีโครงสร้างที่สมบูรณ์แบบและปรับให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม [5] และได้ศึกษาการอัดแน่นของดินโดยใช้ลูกกลิ้งแบบไบโอเมติกส์ มีโครงสร้างที่ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะทางเรขาคณิตของพื้นผิวหน้าท้องของตัวงูมูลสัตว์ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการอัด [6] ในห้องปฏิบัติการมีวิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพของล้อลาก โดยมีพฤติกรรมการยึดเกาะสุทธิที่คล้ายคลึงกันกับการลื่นของล้อในการวิเคราะห์ 3 มิติ ด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ [7] และวิเคราะห์กลไกของการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอของโลหะผสมอลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075 ได้รับแรงบันดาลใจจากพื้นผิวที่ไม่เรียบของสัตว์บางชนิด [8] และวิเคราะห์ไบสกรูเกลียวใหม่กับปฏิกิริยาในทราย เพื่อตรวจสอบกลไกพื้นฐานที่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของไบสกรูเจาะดิน [9] ในส่วนของการออกแบบและการทดลองเครื่องตัดต่อซังแบบไบโอเมติกส์ ได้รับการออกแบบจากทรงเล็บด้านหน้าของจิ้งจก โดยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ [10] และมีการทดสอบใบมีด จากโครงสร้างทางเรขาคณิตของปลายนิ้วเท้าหรือทรงเล็บของตัวตุ่น [11] ดังนั้นการลอกเลียนแบบทางชีววิทยาของสัตว์เพื่อออกแบบเครื่องมือการเกษตร จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาข้างต้น เพื่อลดค่าแรงบิดที่ใช้ในการเจาะดินและการอัดแน่นของดินที่เกิดจากการคายดินที่ถูกลำเลียงบนเกลียวใบสกรูในขณะเจาะดินระหว่างยอดเกลียวสกรูหนึ่งถึงอีกยอดเกลียวสกรูหนึ่ง จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการไปโอมิเมติกส์และนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นผิวของใบสกรูเจาะดินเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษา ออกแบบและประยุกต์ใช้หลักการไปโอมิเมติกส์กับใบสกรูเจาะดิน

1.2.2 เพื่อศึกษาค่าแรงบิด (Torque) ระหว่างใบสกรูเจาะดินแบบมาตรฐานและใบสกรูเจาะดินแบบไปโอมิเมติกส์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ใบสกรูที่ใช้หลักการไปโอมิเมติกส์ สามารถลดการใช้แรงบิดและแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 ความเร็วรอบของสกรูเจาะดินขณะทดสอบอยู่ที่ 300 rpm

1.4.2 การทดสอบเจาะดินภาคสนามเป็นดินร่วนปนทราย สถานที่ A มีอนุภาคทราย 58.97% ทรายแป้ง 35.00% และดินเหนียว 6.03% ความชื้น $11.16 \pm 1.51\%$ d.b. และ สถานที่ B มีอนุภาคทราย 72.30% ทรายแป้ง 25.00% และดินเหนียว 2.70% ความชื้น $10.51 \pm 1.19\%$ d.b.

1.4.3 ใบสกรูมีขนาดความยาว 70 cm แกนใน 2.54 cm แกนนอก 10.16 cm ระยะพิตซ์ 10 cm

1.4.4 ความต่างของพื้นผิวสกรูต้องไม่เกิน 13%

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

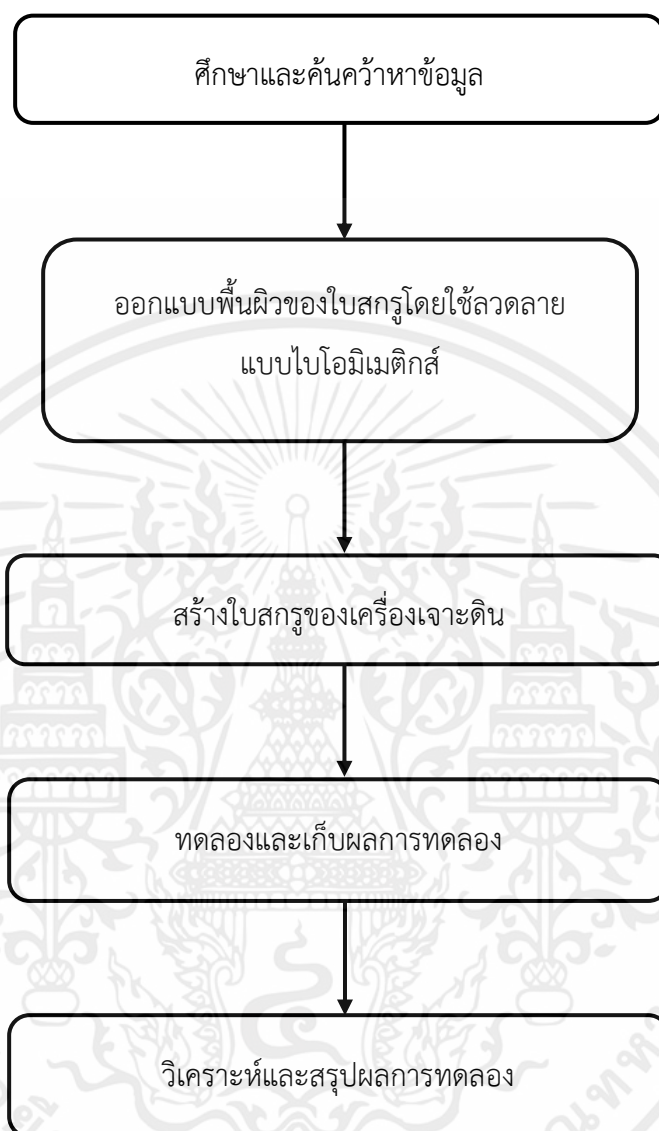
1.5.1 ใช้แรงบิดจากเครื่องยนต์น้อยลง

1.5.2 ลดแรงยึดเกาะของดินบนพื้นผิวใบสกรู

1.5.3 ลดเวลาและแรงงานในการเตรียมดินเพาะปลูกพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการประยุกต์เทคนิคไปโอมิเมติกส์เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินการประยุกต์เทคนิคไบโอเมตริกส์ เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ 2564-2565									
	2564					2565				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.รวบรวมและศึกษาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←→									
2.ออกแบบใบสกรูโดยการใช้งานไบโอเมตริกส์	←→									
3.สร้างเครื่องทดลองและตัดแปลงใบสกรูให้มีพื้นผิวแบบไบโอเมตริกส์	←→									
4.ทดลองและวิเคราะห์ผล	←→									
5.สรุปผลการทดลอง	←→									
6.ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	←→									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง การศึกษาแนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรม และหลักการต่าง ๆ จากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับโครงการนี้

2.1 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ไบโอมิเมติกส์

ไบโอมิเมติกส์ (biomimetics) เกิดจากการรวมกันของภาษากรีกระหว่างคำว่า “bio” แปลว่า “ชีวิต” และ “mimesis” แปลว่า “การเลียนแบบ” ฉะนั้นไบโอมิเมติกส์ คือ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการลอกเลียนแบบทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็น ด้านโครงสร้าง พื้นผิว หรือ แม้แต่การเลียนแบบพฤติกรรม เช่น การสร้างเครื่องเปิดร่องดินแบบแผ่นเรียบ โดยเลียนแบบ โครงสร้างที่ยื่นออกมาของเกล็ดหลังตัวนิ่มมาเป็นองค์ประกอบไบโอมิเมติกส์ ได้ดำเนินการ จำลองความต้านทานโดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับเครื่องเปิดร่องแบบแผ่นเรียบทั่วไป เพื่อ ปรับปรุงก่อนจะนำมาวิเคราะห์การลดแรงต้านของตัวเปิดร่องงานไถ ในการทดสอบ ผลปรากฏว่าลดแรงต้านได้ดีที่สุดภายใต้ความเร็วและความชื้นภายในดินที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์เหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบเครื่องเปิดร่องงานไถที่มีประสิทธิภาพเพื่อลด ความต้านทานภายในดิน [4] และในช่วงแรกของการศึกษาการเลียนแบบทางชีววิทยาได้ ทำการศึกษาลักษณะการบินของนก เพื่อที่จะให้มนุษย์สามารถบินได้ แม้ว่าจะยังไม่ประสบความสำเร็จในการสร้างเครื่องบิน ต่อมาจึงได้ศึกษากายวิภาคศาสตร์และลักษณะการบินของ นก ทำการบินที่ทึบและสังเกตภาพจากการสังเกต และได้ประสบความสำเร็จในการออกแบบ เครื่องบินเป็นครั้งแรกของโลก ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจจากการบินของนกพิราบ ในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ได้มีการพัฒนาแนวคิดการเลียนแบบจากธรรมชาติ เพื่อมาสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ มีคุณสมบัติเดียวกับต้นแบบ [12]

2.1.2 แรงบิด

แรงบิด (Torque) คือ แรงที่ทำให้เกิดการหมุนหรือการบิดรอบแกนของเพลลา มอเตอร์ เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังให้เคลื่อนที่ไปได้ แรงบิดจะมีค่าแตกต่างกันไปที่ความเร็ว รอบของมอเตอร์ต่างๆ หาได้จากสมการที่ (2.1) [13]

$$T = F \times R \quad (2.1)$$

โดยที่ T คือ แรงบิด (N.m)

F คือ แรง (N)

R คือ รัศมี (m)

2.1.3 แรงปฏิกิริยา

แรงปฏิกิริยา (Reaction) คือ เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นก็จะออกแรงโต้ตอบ ในทิศทางตรงข้ามกับแรงที่มากระทำ ซึ่งแรงทั้งสองแรงนี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ เราเรียกแรงที่ มากระทำต่อวัตถุว่า "แรงกิริยา" (action force) และเรียกแรงที่วัตถุโต้ตอบต่อแรงที่มากระทำว่า "แรงปฏิกิริยา" (reaction force) แรงทั้งสองนี้จึงเรียกรวมกันว่า "แรงกิริยา-แรงปฏิกิริยา" (action-reaction) จึงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกิริยากับแรงปฏิกิริยาได้เป็นกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ได้ว่า "แรงกิริยาทุกแรงต้องมีแรงปฏิกิริยา ซึ่งมีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงข้ามกันเสมอ" หรือ action = reaction หมายความว่า เมื่อมีแรงกิริยากระทำต่อวัตถุใดก็จะมีแรงปฏิกิริยาจากวัตถุนั้นโดยมีขนาดแรงเท่ากันแต่กระทำกับวัตถุคนละก้อนเสมอ จึงนำแรงกิริยามาหักล้างกับแรงปฏิกิริยาไม่ได้ เช่น กรณีรถชนสุนัข แรงกิริยา คือ แรงที่รถชนสุนัข จึงทำให้สุนัขกระเด็นไป ในขณะที่เดียวกันจะมีแรงปฏิกิริยา คือ แรงที่สุนัขชนรถ จึงทำให้รถบอบ จะเห็นว่าเสียหายทั้ง 2 ฝ่าย แสดงว่าแรงไม่หักล้างกัน [14]

2.1.4 ความแข็งของดิน

ความแข็งของดิน (Soil Strength, σ) คือ ความหนาแน่นของการเกาะตัวกันของอนุภาคเม็ดดินในสถานะที่สามารถต้านทานต่อแรงกระทำ ความแข็งแรงของดินอาจให้ความหมายอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสามารถของดินที่จะต้านทานต่อการเปลี่ยนรูป หรือความเครียด [15] ความแข็งแรงของดินจะเปลี่ยนไปเมื่อถูกแรงกระทำ ซึ่งจะทำให้อนุภาคของเม็ดดินเกิดการเคลื่อนที่ในการหาค่าความแข็งแรงของดิน จากการทดสอบภาคสนามด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ กับดินชนิดเดียวกันแต่ต่างสถานที่กัน พบว่าจะให้ค่าความแข็งแรงแตกต่างกันออกไป เนื่องจากว่าดินจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปตามเวลา ซึ่งเป็นผลจากสภาพดินฟ้าอากาศ หาได้จากสมการที่ (2.2) [16]

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \quad (2.2)$$

โดยที่

F คือ แรง (N)

A คือ แรงกระทำต่อพื้นที่ (m^2)

m คือ มวล (kg)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

2.1.5 อัตราการลำเลียงวัสดุ

อัตราการลำเลียงวัสดุ (Material Conveying Rate) หาได้จากสมการที่ (2.3) [17]

ดังรูปที่ 2.1

$$V = pNA \quad (2.3)$$

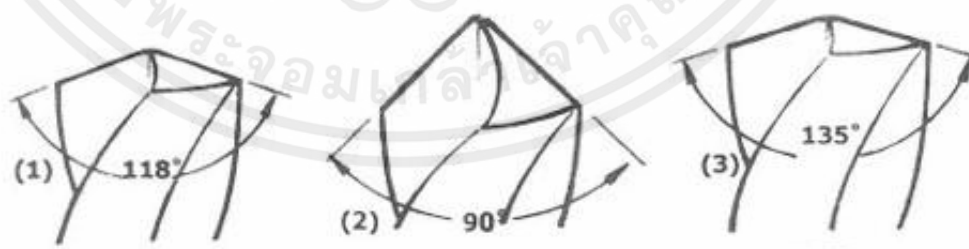
โดยที่

V คือ อัตราการลำเลียงวัสดุเชิงปริมาตร (m^3/s)

P คือ ระยะพิตช์ของสกรู (mm)

N คือ ความเร็วรอบของสกรู (rpm)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของไบสกรู (m^3)



รูปที่ 2.1 มุมคมตัดของดอกสว่าน [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นในดิน

ปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นในดิน (Water Content หรือ Moisture Content, ω) คือ ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้ ทำให้น้ำที่แทรกซึมลงในดินยังคงค้างอยู่ตามช่องของเนื้อดิน หาได้จากสมการที่ (2.4) [18]

$$\omega = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (2.4)$$

โดยที่ W_w คือ ความชื้นฐานเปียก (g)

W_d คือ ความชื้นฐานแห้ง (g)

2.1.7 ความหนาแน่นมวลรวม

ความหนาแน่นมวลรวม (Bulk Density, D_b) หมายถึงสัดส่วนระหว่างมวลดินขณะที่ดินแห้งสนิทกับปริมาตรทั้งหมดของดินนั้น ความหนาแน่นรวมของดินที่ยังไม่เคยทำการเกษตรหรือเพาะปลูก (Virgin Soil) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 1.6 g/cm³ ความผันแปรนี้เป็นเพราะดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่แตกต่างกัน โดยปกติดินที่มีการเพาะปลูกแล้วจะมีความหนาแน่นรวมของดินมากขึ้น ถ้าความหนาแน่นรวมของดินมีค่ามากกว่า 2 g/cm³ เป็นดินที่มีการอัดตัวแน่นทำให้รากของพืชไม่สามารถงอกขึ้นได้ง่ายพืชจึงเจริญเติบโตได้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากการเพาะปลูกจะทำให้ดินเกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุไป ซึ่งในการคำนวณความหนาแน่นรวมของดินด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ทำลายโครงสร้างดิน ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่มีปริมาตร 100 cm³ หาได้จากสมการที่ (2.5) [19]

$$D_b = \frac{W_d}{V} \quad (2.5)$$

โดยที่ W_d คือ น้ำหนักดินที่อบแห้ง (g)

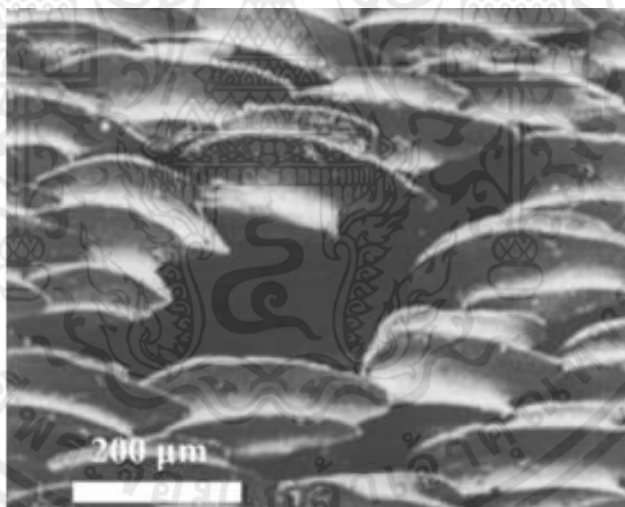
V คือ ปริมาตรของกระบอก (cm³)

2.1.8 ความต้านทานการแทงทะลุดิน

ความต้านทานการแทงทะลุดิน (Soil penetration resistance) คือ การประเมินการอัดแน่นของดิน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงชั้นดินที่มีการขีดขวางของรากพืชในดิน และสามารถเปรียบเทียบความแข็งแรงของดินระหว่างประเภทดินที่คล้ายคลึงกัน รวมถึงอัตราความต้านทานการกดทับของดินยังสามารถใช้เพื่อระบุชั้นดินที่แข็ง บริเวณที่มีการอัดแน่นของดินหรือชั้นดินที่หนาแน่นได้ [20]

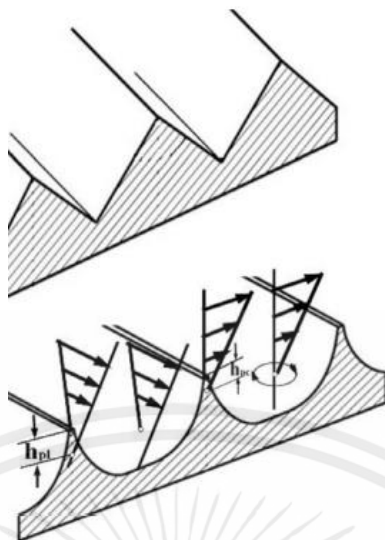
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sun et al. [2] ศึกษาการใช้งานเครื่องจักรและการไถพรวน เห็นถึงความจำเป็นและมีผลต่อความลึกของการไถที่มากกว่า 40 cm โดยใช้วิธีการออกแบบไปโคนิคเพื่อลดการใช้พลังงานของพื้นผิวที่อยู่ใต้ดิน ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับกลไกการวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็ประโยชน์สำหรับการออกแบบที่ลดการลาก มีการเจริญเติบโตของรากและต้านทานความเครียดของพืชผลที่ดีขึ้นจึงสามารถแก้ปัญหาการต้านทานการไถพรวนได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบโครงสร้าง คือ ปริซึมสามเหลี่ยมและวงกลม ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากโครงสร้างจากลายเกล็ดปลาฉลาม ดังรูปที่ 2.2



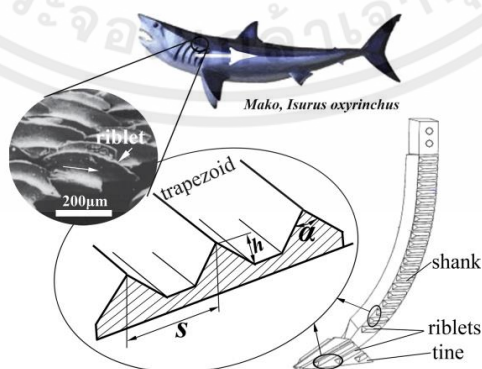
รูปที่ 2.2 โครงสร้างลายเกล็ดปลาฉลาม [2]

จากนั้นจึงนำองค์ประกอบเหล่านี้ไปใช้กับดินเพื่อลดการใช้พลังงานการสร้างแบบจำลององค์ประกอบแบบไม่ต่อเนื่อง (DEM) ผลการวิจัยพบว่าพื้นผิวที่อยู่ใต้ดิน โดยซีที่มีรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยมมีการใช้พลังงานต่ำกว่าแบบอื่นๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างร่องรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยม [2]

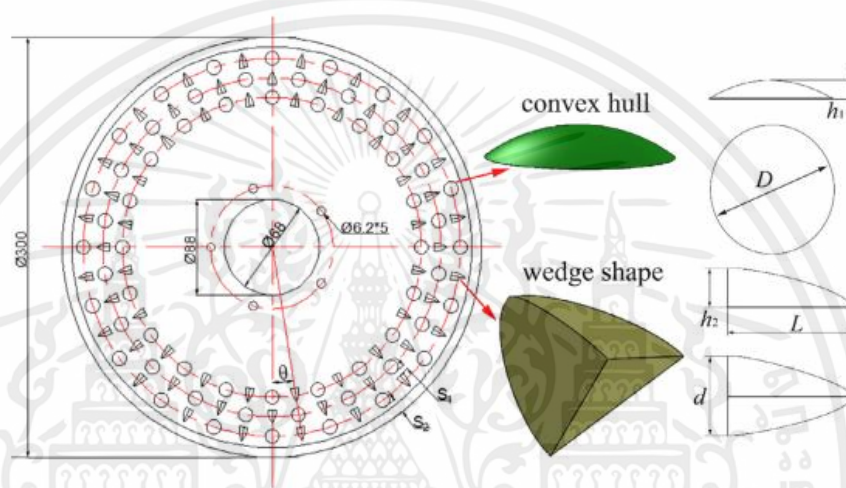
Wang et al. [3] ศึกษาการแก้ปัญหาการต้านทานการไหลพรวน โดยใช้โครงสร้างในการออกแบบพื้นผิวในดิน เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพดีขึ้น การอัดแน่นของดินจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งยังสามารถนำไปใช้กับการออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตรได้ และได้รับแรงกดดันจากผิวหนังของฉลาม สำหรับพื้นผิวที่ลดแรงต้านทำให้ฉลามว่ายน้ำเร็วขึ้น ซึ่งมีลักษณะเป็นลอนยาวเรียงกันเป็นแถวเป็นแนวขนานกัน นำมาใช้ในโครงสร้างใบมีดฟันเลื่อย ลักษณะที่เหมาะสมที่สุดคือร่องรูปตัว v การลดความต้านทานสูงถึง 8% ในพื้นที่การทดลองกับดินสำหรับปลุกข้าวโพด โครงสร้างของดินถูกเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างสี่เหลี่ยมคางหมูแคบด้านล่าง ระยะห่างและความสูงส่งผลต่อพื้นที่สัมผัส ทำให้เกิดการแทรกซึมของน้ำและลดการสูญเสียน้ำ พื้นผิวในดินส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากได้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและสารอาหารของราก ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มผลผลิตได้ดี ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลวดลายจากผิวหนังของฉลามและโครงสร้างของดิน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wang et al. [4] ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องเปิดร่อง เพื่อลดความต้านทานและการใช้พลังงานของตัวเปิดร่องงานไถ เครื่องเปิดร่องที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการขุดของสัตว์ (เปลือกหอย ตัวงมูลสัตว์ และเกล็ดสันหลังของน้มี) เพื่อการไถพรวนอย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องเปิดร่องมีความสำคัญในการทำงานร่วมกันกับเครื่องหว่านเมล็ดแบบไม่ไถพรวน เครื่องเปิดแบบดั้งเดิมมักจะยึดติดกับดินระหว่างการไถร่อง ซึ่งจะเปลี่ยนวิธีการทำงานและเพิ่มความต้านทานการยึดเกาะ ร่องหว่านเมล็ดมักจะไม่ใช่ไปตามข้อกำหนดของเมล็ด ซึ่งลดอัตราการงอกของพืช การใช้งานระบบไถพรวนทางการเกษตรแบบดั้งเดิม (เช่น เครื่องเปิดร่องและไถพรวน) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการออกแบบงานไถ [4]

ในการศึกษานี้ โครงสร้างที่ยื่นออกมาของเกล็ดหลังตัวน้มีถูกเลียนแบบและใช้เป็นองค์ประกอบไบโอเมตริกส์ ได้ดำเนินการจำลองความต้านทานโดยใช้วิธีองค์ประกอบแบบไม่ต่อเนื่องและเปรียบเทียบ เครื่องเปิดร่องแบบแผ่นเรียบทั่วไป (CFDFO) ในการทดสอบเปลือกของหอย ตัวงมูลสัตว์ และเกล็ดสันหลังของน้มีถูกใช้เป็นต้นแบบไบโอเมตริกส์ เพื่อปรับปรุงก่อนจะนำมาวิเคราะห์การลดแรงต้านของตัวเปิดร่องงานไถที่มีพื้นผิวไม่เรียบ โดยใชการออกแบบการทดลองปรับให้เหมาะสม ซึ่ง งานไถหมายเลข 3 (ทำมุม 7.2° , ระยะห่าง 6 mm, ความสูง 1 mm, เส้นผ่าศูนย์กลาง 14 mm) แสดงภายใต้ความเร็วที่ 0.6 m/s และความชื้น 22% เพราะฉะนั้น งานไถหมายเลข 3 ลดแรงต้านที่ดีที่สุดภายใต้ความเร็วและความชื้น ในดินที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์เหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบ เครื่องเปิดร่องงานไถที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดความต้านทานด้วยการรบกวนของดินต่ำ ดังรูปที่ 2.6



DISC 3

รูปที่ 2.6 จานไถหมายเลข 3 [4]

Li et al. [5] ในการศึกษาได้ทำการศึกษากรงเล็บหมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบและออกแบบเครื่องมือสำหรับผิวที่อยู่ใต้ดิน แบบจำลองเชิงตัวเลขได้รับการพัฒนาโดยใช้วิธีองค์ประกอบแบบไม่ต่อเนื่อง ในการจำลองการทำงานร่วมกันของกรงเล็บหมีกับดิน มีการลองวิธีต่างๆ ในการใช้งานโดยใช้หลักการทางชีววิทยาในการแก้ปัญหาให้มีโครงสร้างที่สมบูรณ์แบบและปรับให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม แต่วิธีที่เลือกใช้งานมากที่สุด คือ แบบไบโอนิคได้รับการพัฒนาจากการเลียนแบบหมีดำซึ่งมีกรงเล็บที่แข็งแรงและแหลมคมสำหรับปีนต้นไม้ ขุดดินเพื่อหาอาหาร และทำรัง โครงสร้างของกรงเล็บถูกพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับดิน ที่มีความคล้ายคลึงกันบางประการกับเครื่องมือไถพรวน คุณสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการออกแบบเครื่องมือเพื่อการเกษตรได้

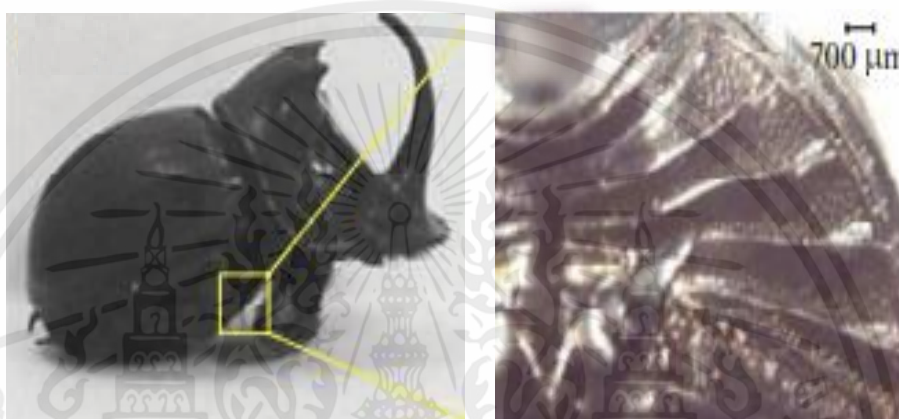
ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้รูปทรงของกรงเล็บหมีเพิ่มความลึกในการทำงานของกรงเล็บเมื่อขุดเจาะลงไปใต้ดิน จาก 3 mm ไปเป็น 18 mm แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความยาวของกรงเล็บนั้นมีมากกว่าที่ทำการทดสอบ เมื่อพิจารณาแล้ว มุมที่ทำงานได้ดีที่สุดคือมุมคาง 30° แนะนำให้ใช้มุมนี้สำหรับเครื่องมือที่เจาะลงไปใต้ดิน ส่วนความพรุนของดินเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าการทำปฏิกิริยาระหว่างดินกับกรงเล็บเป็นผลที่ดีในการทดสอบ วิธีนี้ไม่สามารถทำได้ง่ายๆ เนื่องจากกรงเล็บของสัตว์มีขนาดเล็กเกินไปที่จะทดสอบในดินซึ่งมีมวลรวมของดินขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังยากที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์กับกรงเล็บของสัตว์เนื่องจากมีรูปร่างที่ซับซ้อน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กรงเล็บหมี [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tong et al. [6] ได้ศึกษาลักษณะการบดอัดของลูกกลิ้งแบบไบโอมิเมติกส์ มีโครงสร้างที่ ได้รับแรงบันดาลใจจากลักษณะทางเรขาคณิตของพื้นผิวหน้าท้องของด้วงมูลสัตว์ การทดสอบ ดำเนินการที่ถ่วงน้ำหนักสามแบบ (300 N, 500 N และ 700 N) และความเร็วสองความเร็ว ($0.64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ และ $1.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) โดยใช้ลูกกลิ้งแบบไบโอมิเมติกส์ และลูกกลิ้งแบบธรรมดา เพื่อตรวจสอบ ประสิทธิภาพในการอัดแน่นของดิน การวัดความต้านทานการหมุน ความหนาแน่นของมวลดิน ปริมาณความชื้นในดิน ดังรูปที่ 2.8

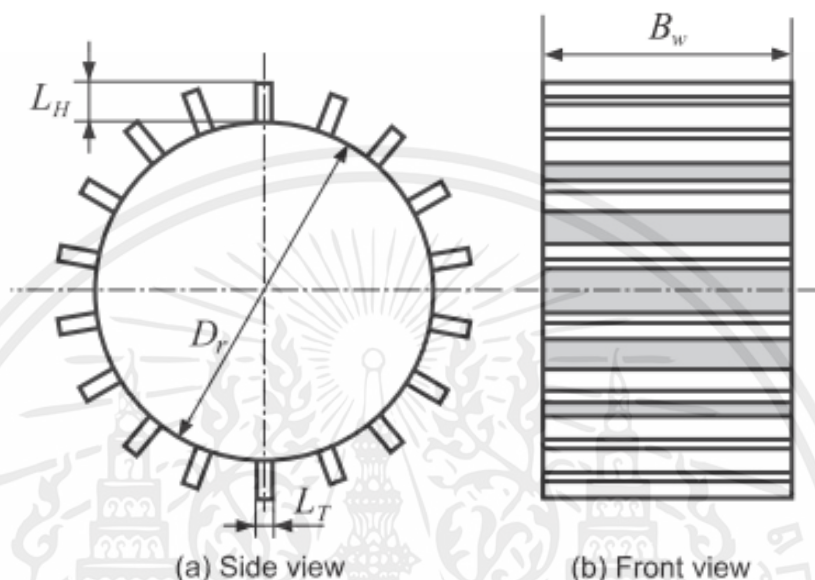


รูปที่ 2.8 พื้นผิวหน้าท้องของด้วงมูลสัตว์ [6]

จากการศึกษาประสิทธิภาพการอัดแน่นของดินโดยลูกกลิ้งแบบไบโอมิเมติกส์ เปรียบเทียบกับ ลูกกลิ้งแบบธรรมดา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลูกกลิ้งแบบไบโอมิเมติกส์ มีความต้านทานต่ำกว่า ลูกกลิ้งทั่วไปในสภาวะการทดสอบเดียวกัน และช่วยให้ดินสามารถเก็บความชื้นได้มากขึ้น เนื่องจาก โครงสร้างที่อยู่ติดกันของลูกกลิ้งแบบไบโอมิเมติกส์ สามารถจำกัดการไหลของดินในระหว่าง กระบวนการบดอัดดินได้เป็นอย่างดี และออกแรงดันไปยังดินที่สูงขึ้น การอัดแน่นของก้อนดินมากขึ้น โดยเพิ่มดิน และลดความพรุนของดินด้านบนด้วยน้ำหนักลูกกลิ้ง 700 N ความเร็ว $0.64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ นอกจากนี้พื้นที่สัมผัสของลูกกลิ้งแบบไบโอมิเมติกส์ กับดินจะมีขนาดเล็กกว่าของลูกกลิ้งทั่วไป

Nakanishi et al. [7] ศึกษาวิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพของล้อลากด้วยซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส (OSS) แนวคิดของแบบจำลองการควบคุมตามสัดส่วน ปริพันธ์ ส่วนต่าง ถูกนำไปใช้เพื่อให้ทราบถึง การหมุนของล้ออย่างต่อเนื่อง การทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของล้อขนาดเล็กบนการจำลองดินบน ดวงจันทร์ ถูกวิเคราะห์และพบว่าผลลัพธ์ในเชิงคุณภาพคล้ายกับผลการทดลองที่ได้รับ เมื่อพิจารณา ถึงผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลางล้อ ความสูงและความหนาของดอกยาง ด้วยการวิเคราะห์ ที่มีความกว้างของกระเบดินและความกว้างของล้อเท่ากัน จากการคำนวณประสิทธิภาพของล้อลาก จะลดลงได้ถึง 36.8% โดยมีพฤติกรรมการยึดเกาะสุทธิที่คล้ายคลึงกันกับการลื่นของล้อในการ

วิเคราะห์ 3 มิติ ด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิธีการเชิงตัวเลขภายใต้การกระทำของล้อแบบดิ่งสลัก เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของล้อย่างแม่นยำมากขึ้น ถึงผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลางขององค์ประกอบทรงกลมและรูปร่างที่ไม่เป็นทรงกลม ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แบบจำลองส่วนประกอบของล้อลาก [7]

Yuan et al. [8] ศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานการสึกหรอของโลหะผสมอลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075 ได้รับแรงบันดาลใจจากพื้นผิวที่ไม่เรียบของสัตว์บางชนิด จึงได้เตรียมการทดลองแบบไบโอเมตริกส์ ที่มีรูปร่างต่างๆ บนพื้นผิวของอลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075 และได้รับการตรวจสอบความต้านทานการสึกหรอผ่านการทดลอง พบว่าพื้นผิวที่ไม่เรียบแบบไบโอเมตริกส์ ส่งผลในทางบวกต่อความต้านทานการสึกหรอของโลหะผสมอลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075 จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในอัตราส่วนรูปร่างและเปลี่ยนตำแหน่งพื้นที่การกระจายความเค้นบนพื้นผิว และกลไกของการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอด้วย

การตรวจสอบเพิ่มเติมพบว่าพื้นผิวที่ไม่เรียบสลักกันระหว่างโครงสร้าง มีส่วนเสริมความแข็งแรง ดังนั้น ในการศึกษาก่อนหน้านี้ วิธีการใช้เลเซอร์กับแบบไบโอเมตริกส์จึงถูกเลือก เพื่อเลียนแบบจากพื้นผิวของตัวมูลสัตว์ เปลือกหอย และกิ่งก่า การศึกษารูปร่างที่มีต่อความต้านทานการสึกหรอพบว่าผู้ศึกษาในส่วนนี้น้อยมาก ดังนั้นในงานนี้ จึงถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยเลเซอร์ จากนั้นจึงวัดความแข็งแรงในแต่ละระดับ และดำเนินการทดสอบการสึกหรอในเครื่องทดลองที่อุณหภูมิต้อง การ

กระจายความเค้นจะถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จากนั้นจึงพิจารณากลไกการสึกหรอ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 (ก) ตัวงมุลสัตว์และแบบจำลองพื้นผิว (ข) เปลือกหอยและแบบจำลองพื้นผิว (ค) กิ้งก่าและแบบจำลองพื้นผิว [8]

Tokhi et al. [9] ศึกษาในห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวัดของไบสกรูเกลียวใหม่และปฏิกิริยาในทราย เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไบสกรูเจาะดินแบบเกลียว ด้วยการนำเสนอขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวัด วัตถุประสงค์ของการวิจัยในปัจจุบันคือทำการทดสอบไบสกรูเจาะดินแบบเกลียวหลายแผ่น เพื่อตรวจสอบกลไกพื้นฐานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของไบสกรูเจาะดิน ดังรูปที่ 2.11

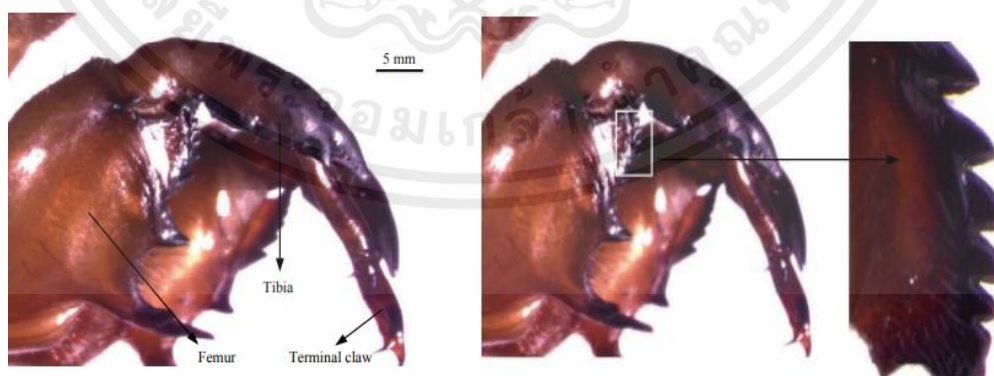


รูปที่ 2.11 แบบจำลองไบสกรูเจาะดินแบบเกลียว [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบบ่งชี้ว่ากลไกการเลื่อนซึ่งควบคุมพฤติกรรมการดึงออก ค่อนข้างแตกต่างจากการทำงานในใบสกรูเจาะดินทั่วไป และความสามารถในการดึงผลลัพธ์จะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบสกรูเจาะดินประเภทนี้ ทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงใบสกรูออกจากดินเหมาะกับการเสริมแรงทุกสภาพพื้นดิน รวมทั้งทรายและกรวด สาเหตุเกิดจากรูปร่างเรขาคณิตของใบสกรูเจาะดินแบบเกลียว อีกทั้งยังมีกระบวนการติดตั้งที่ส่งผลให้เกิดความเค้นของดินรอบๆ ใบสกรูเจาะดิน แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดึงใบสกรูเจาะดินแบบเกลียวออกนั้นขึ้นอยู่กับแรงดันภายในดิน และจะเพิ่มขึ้นเมื่อใบสกรูถูกดึงออก แรงก็จะค่อยๆ กดทับไปที่โพลดเซลล์

Chang et al. [10] ศึกษาการออกแบบและการทดลองเครื่องตัดต่อซังแบบไบโอเมตริกส์ เครื่องไถพรวนดินใช้ในงานเกษตรกร สำหรับการเพาะปลูกบนดิน เครื่องไถพรวนดินประเภทหนึ่งประกอบด้วยรถเกี่ยวตอซังข้าวโพดที่ทำงานโดยการขุดและไถดินเพื่อรวบรวมตอซังข้าวโพด ซึ่งช่วยลดความต้องการแรงงานได้ในที่สุด อาจมีการเก็บตอซัง ข้าวโพดเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นพลังงานชีวมวลซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อหลีกเลี่ยงการเผาไหม้ของตอซังข้าวโพด ซึ่งส่งผลต่อความต้านทานการทำงานของเครื่อง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องตัดแบบทั่วไปกับเครื่องตัดต่อซังข้าวโพดแบบไบโอเมตริกส์ ที่มีความสูงของฟันต่างกัน (5 mm และ 2.5 mm) ได้รับการออกแบบ จากกรงเล็บด้านหน้าของจิ้งจัน โดยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติถูกออกแบบวิเคราะห์ กลไกการตัดดิน ผลการทดสอบประสิทธิภาพคือความสูงของฟัน 2.5 mm และมุมของคมตัด 40° มีคุณสมบัติต้านทานการตัดต่อซังข้าวโพดที่ต่ำกว่าการออกแบบทั่วไปภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน ส่งผลให้มีการปรับปรุงที่โดดเด่นสำหรับประสิทธิภาพของเครื่องตัดต่อซังข้าวโพดโดยรวมหัวแบบไบโอเมตริกส์ สามารถตัดได้ง่ายกว่าหัวแบบทั่วไป ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กรงเล็บด้านหน้าของจิ้งจัน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tong et.al [11] ได้ออกแบบและการทดสอบไบเมตไบโอเมตริกส์ สำหรับการไถพรวนดิน และการทำลายต่อซังข้าวโพด โดยไบเมตไบโอเมตริกส์ ได้รับการออกแบบจากโครงสร้างทางเรขาคณิตของกรงเล็บของตัวตุ่น และมุมศูนย์กลางของ โครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของไบเมตไบโอเมตริกส์ จึงถูกกำหนดให้นำมาใช้เป็นปัจจัยในการทดสอบ โดยการทดสอบการทำลายต่อซังข้าวโพดในกระบะดิน การผสมผสานที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างแบบไบโอเมตริกส์ คือ ฟันเว้าโค้ง 3 ซึ่งถูกจัดเรียงอย่างเท่าเทียมกันที่คมตัดด้านหน้าด้วยมุมศูนย์กลาง 60° การทดสอบสำหรับการไถพรวนดินลึกกว่า 80 mm ผลการทดสอบเปรียบเทียบที่เหมาะสมที่สุดระหว่างไบเมตไบโอเมตริกส์กับไบเมตตัดแบบมาตรฐาน แสดงให้เห็นถึงแรงบิดจะสูงกว่าในระหว่างการไถพรวนดินและที่กระทำต่อต่อซังข้าวโพด เครื่องมือแบบไบโอเมตริกส์ไม่เพียงลดการใช้พลังงานและการยึดเกาะของดิน แต่ยังช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพการทำงานของไบเมตในการตัดต่อซังอีกด้วย ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ปลายนิ้วเท้าหรือกรงเล็บของตัวตุ่น [11]

จากที่กล่าวมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลักการ biomimetic สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับดินได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการออกแบบและประยุกต์ใช้หลักการไบโอเมตริกส์กับไบสกรูเจาะดิน โดยศึกษาค่าแรงบิด (Torque) ระหว่างไบสกรูเจาะดินแบบมาตรฐานและไบสกรูเจาะดินแบบไบโอเมตริกส์

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบ สร้างเครื่องเจาะดิน และวิธีการดำเนินงาน เพื่อศึกษาการใช้หลักการไบโอมิเมติกส์ไบสกรูเจาะดิน

3.1 การออกแบบเครื่องเจาะดิน

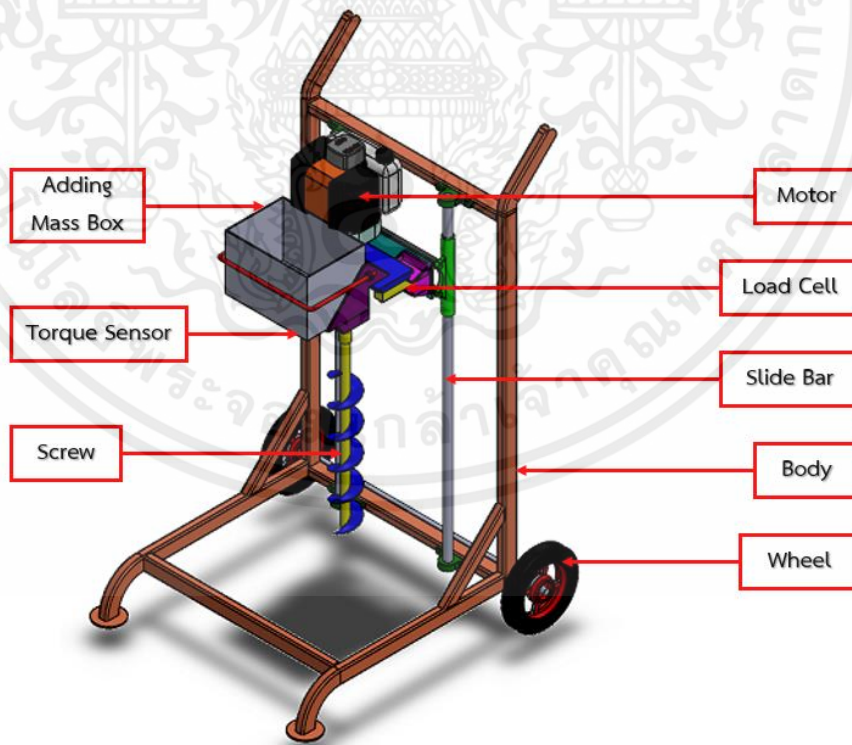
3.1.1 วิธีการออกแบบเครื่อง

3.1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม SOLIDWORKS 2020

3.1.1.2 วิธีดำเนินการ

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาสร้างเครื่องเจาะดิน
2. เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2020 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องเจาะดินที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสร้างเครื่องเจาะ

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เหล็กกล่องขนาด 1" x 2" ยาว 700 cm
2. เหล็กเพลตตันขนาด 1" ยาว 90.50 cm จำนวน 1 เส้น
3. ครอบปากโซ้คหน้าแบบมีหูยึดปั้มเบรกข้างขวา wave-125 จำนวน 1 คู่
4. เหล็กเพลตตันขนาด 1" ยาว 38 cm จำนวน 2 เส้น
5. เหล็กแผ่นขนาด 43.10 x 12.00 x 0.5 cm จำนวน 1 แผ่น
6. เหล็กตัวซีรางน้ำขนาด $3\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 0\frac{13}{64}$ in ยาว 70 cm จำนวน 2 ชิ้น
7. เหล็กแผ่นขนาด 10 x 6.30 x 0.5 cm จำนวน 2 แผ่น
8. เหล็กแผ่นขนาด 5.40 x 6.80 x 0.9 cm จำนวน 2 แผ่น
9. เหล็กแผ่นครีบสามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรงขนาด 2 x 5.5 x 0.5 cm จำนวน 8 ชิ้น
10. เหล็กแผ่นขนาด 13.0 x 37.50 x 0.9 cm จำนวน 1 แผ่น
11. เหล็กฉากขนาด 3" ยาว 30.80 cm จำนวน 2 แผ่น
12. เหล็กฉากขนาด 1½ in ยาว 7 cm จำนวน 4 ชิ้น
13. เหล็กแผ่นขนาด 18 x 15.50 x 0.3 cm จำนวน 2 แผ่น
14. เหล็กแผ่นครีบสามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรงขนาด 9.50 x 15.40 x 0.3 cm จำนวน 2 ชิ้น
15. เหล็กแผ่นครีบสามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรงขนาด 7.6 x 7.5 x 0.6 cm จำนวน 2 ชิ้น
16. เหล็กแผ่นครีบสามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรงขนาด 22.50 x 15 x 0.6 cm จำนวน 2 ชิ้น
17. เหล็กแผ่นขนาด 15.30 x 7.1 x 0.3 cm จำนวน 1 แผ่น
18. เหล็กเพลตตันขนาด 1¼ in ยาว 8 cm จำนวน 2 ชิ้น
19. น๊อต,แหวนสปริง,สลักเกลียวครึ่งหัวหกเหลี่ยมขนาด M13 x 2.0 ยาว 3½ in จำนวน 12 ชุด
20. น๊อต,แหวนอีแปะ,สลักเกลียวตลอดหัวหกเหลี่ยมขนาด M13 x 2.0 ยาว 1½ in จำนวน 2 ชุด
21. น๊อต,สลักเกลียวตลอดหัวหกเหลี่ยมขนาด M6 x 1.5 ยาว 3½ in จำนวน 4 ชุด
22. น๊อต,สลักเกลียวตลอดหัวหกเหลี่ยมขนาด M8 x 1.5 ยาว 1½ in จำนวน 2 ชุด

23. สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมขนาด M6 x 1.25 ยาว 1¼ in จำนวน 6 ตัว
24. ตลับลูกปืนตุ้กตาขนาด 1” ยี่ห้อ UCF205-16 จำนวน 4 ตลับ
25. น็อต, สลักเกลียวตลอดขนาด M10 x 1.5 ยาว 82 cm จำนวน 1 เส้น
26. แหวนอีแปะ, สกรู M8 x 1.25 ยาว 1 cm จำนวน 8 ชุด
27. เครื่องยนต์ยี่ห้อ นิปปอนด์ 2 จังหวะ ขนาด 4 แรงม้า 52 ซีซี จำนวน 1 เครื่อง
28. โหลดเซลล์มาตรฐาน ยี่ห้อ ZEGA - Single End Shear Beam รุ่น KBQS, 250kg
29. อะแดปเตอร์วัดทอร์คดิจิตอล 0-200 nm
30. ทอร์คเซนเซอร์ รุ่น DYN-200
31. เซนเซอร์วัดอัตราเร่งและอุณหภูมิ Graphtec GS-3AT

3.2.2 วิธีการสร้างเครื่องเจาะ

1. ตัดเหล็กกล่อง 1”x 2” ตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้และนำมาเชื่อมต่อกัน เพื่อสร้างโครงหรือแท่นทดลอง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงแท่นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. งดปลายเหล็กกล่องด้านล่าง 90 องศา เพื่อทำเป็นขาตั้ง จากนั้นงอปลายเหล็กกล่องด้านบน 45 องศาเพื่อทำเป็นมือจับ และมนเหล็กที่ปลายมือจับเพื่อป้องกันอันตรายจากคมเหล็กที่ถูกตัด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 (ก) ปลายเหล็กด้านล่าง (ข) ปลายเหล็กด้านบน

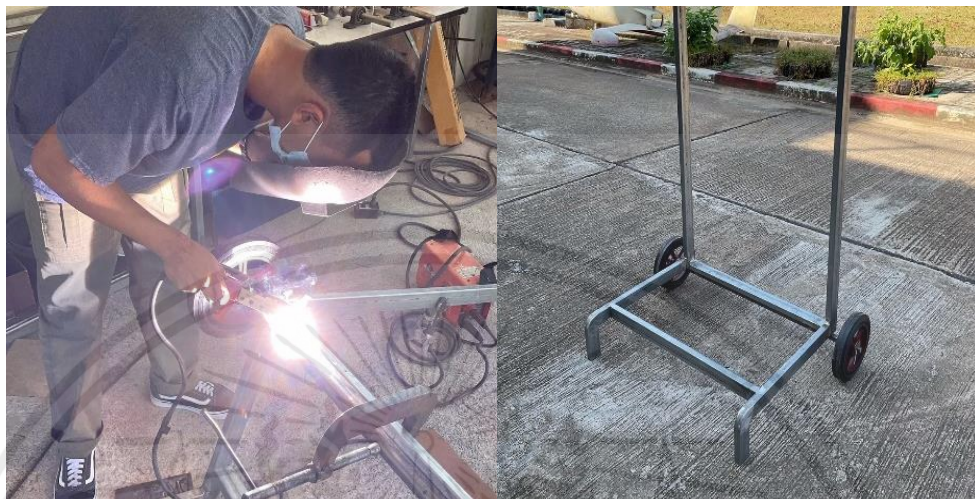
3. ตัดเหล็กเพลาด้านขนาด 1" ยาว 900 mm เพื่อทำแกนล้อ และกลึงปลายเพลาทิ้งสองข้างให้เหลือขนาด 20 mm โดยมีระยะห่างจากปลายเพลาช้างละ 60 mm จากนั้นทำการเจาะรูขนาด 3 mm ทั้งสองข้าง โดยมีระยะห่างจากปลายเพลา 11 mm เพื่อใส่สลักล๊อคล้อ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เพลาล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำแกนล้อยี่ทำการ Machine เสร็จแล้วมาเชื่อมติดกับโครงฝั่งตรงข้ามขาเค้า และทำการประกอบล้อ แหวนรอง และสลักล้อยี่คล้อย ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เชื่อมเพลาล้อยี่ติดกับโครงแทนทดลอง

5. ตัดเหล็กเพลากลวงขนาด 1" ยาว 1,210 mm จำนวน 2 จากนั้นกลึงปลอกผิวปลายเพลาทิ้งสองด้านออก 0.4 mm และกลึงเข้ามา 35 mm โดยวัดจากปลายเพลาดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แกนสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำกระบอกลูกสูบทั้งสองข้างมาดัดแปลงตัดท้ายออก เพื่อให้แกนเพลาสไลด์ผ่านได้ และกลึงปากกระบอกลูกสูบออกจนถึงซีลกันน้ำมันโซ๊ค โดยกระบอกลูกสูบมีความยาวรวมเท่ากับ 250 mm ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แกนโซ๊ค

7. ประกอบชุดสไลด์บาร์โดยเริ่มจาก การนำกระบอกลูกสูบที่ดัดแปลงเสร็จแล้วในขั้นตอนที่ 6 สวมเข้ากับแกนสไลด์ และนำตลับลูกปืนตึกตาที่เตรียมไว้ทั้งหมด 4 ตลับ มาสวมที่ปลายแกนเพลาสไลด์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชุดสไลด์บาร์

8. นำชุดสไลด์บาร์มาวางบนแท่นทดลองที่เชื่อมไว้ก่อนหน้า เพื่อมาร์คตำแหน่งรูยึดตลับลูกปืนตึกตาโดยให้ริมฐานตลับลูกปืนตึกตาห่างจากโครงด้านใน 80 mm ทำวิธีนี้ทั้ง 4 ตลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะเหลือระยะห่างระหว่างแกนสไลด์ 415 mm วัดจากจุด Center ของแกนสไลด์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 (ก) มาร์คตำแหน่ง (ข) เจาะรูยึดตลับลูกปืนตึกตา

9. ตัดเหล็กเพลาดันขนาด 1" ยาว 380 mm จำนวน 2 ชิ้น จากนั้นทำการกลึงปาดหน้าให้เรียบ และทำการเจาะรูตลับเกลียวขนาด M8 x 1.25 ทั้งสองด้าน โดยทำแบบนี้ทั้งสองชิ้น ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตลับเกลียวเหล็กเพลาดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตัดเหล็กแผ่นขนาด 120 x 430 mm จากนั้นทำการเจาะรูทะลุเพื่อเป็นทางผ่านของสายสัญญาณโพลดเซลล์ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เจาะรูทำช่องสายสัญญาณโพลดเซลล์

11. นำเหล็กเพลาดัน 1” ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 9 มายึดกับรูยึดดิสเบรคของกระบอกลูกสูบ ที่เป็นชุดสไลด์บาร์ เมื่อติดตั้งครบทั้งคู่แล้ว ให้นำแผ่นเหล็กที่เตรียมไว้ในข้อ 10 มาวางบนเหล็กเพลาดัน 1” ที่ยึดกับกระบอกลูกสูบไว้แล้ว จากนั้นจัดระยะให้เข้ากึ่งกลาง ทั้งซ้ายและขวาโดยใช้ระดับน้ำและฉาก เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการมาร์คตำแหน่งเชื่อม ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ติดตั้งแผ่นเหล็กเข้ากับชุดสไลด์บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ตัดเหล็กตัวซีรางน้ำขนาด $3\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 0\frac{13}{64}$ in ยาว 70 cm จำนวน 2 ชั้น จากนั้นทำการตัดเหล็กแผ่นขนาด $10 \times 6.30 \times 0.5$ cm จำนวน 2 แผ่น และนำมาเชื่อมปิดเหล็กตัวซีรางน้ำทั้งสองชั้น และทำการเจาะรูขนาด 12 mm 2 รู ต่อ 1 ชั้น โดยรูแรกมีระยะห่างจากขอบเหล็กตัวซีรางน้ำด้านนอกเข้ามา 13 mm รูที่สองห่าง 25 mm วัดจากจุดศูนย์กลางของรูแรก เพื่อให้เป็นกล่องสำหรับยึดโพลดเซลล์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กล่องยึดโพลดเซลล์

13. เชื่อมเหล็กตัวซีรางน้ำที่เสร็จจากขั้นตอนที่ 12 แล้ว ติดกับเหล็กแผ่นจากขั้นตอนที่ 10 โดยวางตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นเหล็ก และชิดขอบทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เชื่อมกล่องยึดโพลดเซลล์กับแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ตัดเหล็กแผ่นครีบสามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรงขนาด $2 \times 5.5 \times 0.5$ cm จำนวน 8 ชิ้น แล้วเชื่อมติดระหว่างเหล็กตัวซีรางน้ำกับเหล็กแผ่นในขั้นตอนที่ 10 ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เชื่อมครีบเสริมความแข็งแรง

15. ตัดเหล็กแผ่นขนาด $54 \times 68 \times 6$ mm และทำการเจาะรูขนาด 12 mm 2 รู ต่อ 1 ชิ้น โดยรูแรกมีระยะห่างจากขอบเข้ามาด้านใน 13 mm รูที่สองห่าง 25 mm โดยวัดจากจุดศูนย์กลางของรูแรก เพื่อใช้เป็นแผ่นซึมสำหรับรองโพลดเซลล์ให้พอดีกับช่องใส่โพลดเซลล์ที่ทำด้วยเหล็กตัวซีรางน้ำในขั้นตอนที่ 12 ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผ่นซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ตัดเหล็กแผ่นขนาด $13.0 \times 37.50 \times 0.9$ cm จากนั้นทำการคว้านรูกลางขนาด 55 mm ด้วยเครื่องกัด และเจาะรูขนาด $M6 \times 1.25$ จำนวน 5 รูรอบวงกลมขนาด 55 mm โดยแต่ละรูทำมุม 72 องศา เพื่อใช้เป็นเหล็กแผ่นสำหรับยึดเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 คว้านรูเหล็กแผ่นสำหรับยึดเครื่องยนต์

17. ทำการตัดชุด Swivel pin load cell ที่มีการเชื่อมติดกับเหล็กแผ่นไว้แล้วมาตัดให้ได้ขนาด 104×110 mm จากนั้นนำมาเชื่อมติดกับเหล็กแผ่นยึดเครื่องยนต์ในขั้นตอนที่ 16 เพื่อให้สามารถยึดติดกับปลายโหลดเซลล์ที่ยื่นออกมา ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เชื่อมติด Swivel pin load cell กับเหล็กแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. ทำการเจาะรูเหล็กแผ่นตามแบบที่เขียนไว้ เพื่อยึดฐานรองรับกล่องโพลดและตัวยึด
ทอร์คเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เจาะรูยึดกล่องโพลด

19. ทำการสร้างฐานรองรับโพลดและบล็อกยึดทอร์คเซ็นเซอร์ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้
ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ฐานรองรับโพลดและบล็อกยึดทอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. สร้างข้อต่อระหว่างเพลากีเยร์ของเครื่องยนต์กับทอร์คเซ็นเซอร์ โดยตัดเหล็กเพลานขนาด 1¼ in ยาว 8 cm จากนั้นทำการเจาะรูตามขนาดที่กำหนดไว้ทั้งสองด้าน โดยด้านที่สวมกับเครื่องยนต์ทำการเจาะรูใส่สลัก และด้านที่สวมกับทอร์คเซ็นเซอร์ ทำการเจาะรูวงกลม ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 กล่องใส่ไหลด

21. นำทอร์คเซ็นเซอร์ประกอบเข้ากับบล็อกยึดทอร์คเซ็นเซอร์ตามที่ได้ทำไว้ขั้นตอนที่ 19 ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 เหล็กรัดกล่องไหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. สร้างข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรู โดยตัดเหล็กเพลาขนาด 1¼ in ยาว 8 cm โดยด้านที่สวมกับเพลาทอร์คเซ็นเซอร์ ทำการเซาะร่องลิ้ม และเจาะรูตามขนาดที่กำหนดไว้ ส่วนอีกด้านทำการกลึงให้เหลือขนาด 19.65 mm โดยมีความยาวจากปลายเพลาเข้ามา 35 mm ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ข้อต่อระหว่างเพลากีเยอร์ของเครื่องยนต์

23. ทำการประกอบข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรูเข้ากัน ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ทอร์คเซ็นเซอร์ประกอบเข้ากับปลีอคยัดทอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. สร้างข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรู โดยตัดเหล็กเพลาขนาด 1¼ in ยาว 8 cm โดยด้านที่สวมกับเพลาทอร์คเซ็นเซอร์ ทำการเซาะร่องลิ้น และเจาะรูตามขนาดที่กำหนดไว้ ส่วนอีกด้านทำการกลึงให้เหลือขนาด 19.65 mm โดยมีความยาวจากปลายเพลาเข้ามา 35 mm ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรู

25. ทำการประกอบข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรูเข้ากัน ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ข้อต่อระหว่างแกนใบสกรูเข้ากับเพลาทอร์คเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. แทนทดสอบพร้อมใช้งานสำหรับการทดลอง ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แทนทดสอบที่ใช้งาน

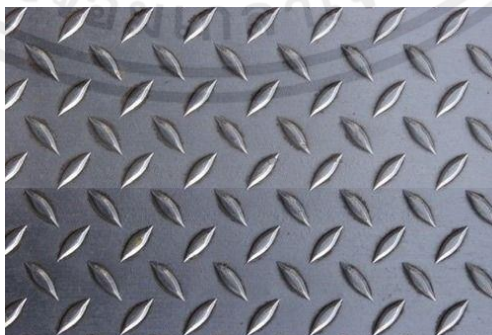
3.3 การออกแบบและสร้างใบสกรูของเครื่องเจาะดิน

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นเหล็กลายตีนไก่ ขนาด กว้าง 122 cm ยาว 244 cm หนา 3 cm จำนวน 1 แผ่น

ดังรูป 3.28

2. เหล็กเพลตตันขนาด 1 $\frac{1}{4}$ in ยาว 3.5 cm จำนวน 3 ชิ้น
3. ดอกสว่านเจาะปูน ขนาด 9 mm
4. เหล็กแผ่นเรียบ กว้าง 29 mm ยาว 50 mm



รูปที่ 3.28 เหล็กแผ่นลายตีนไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วิธีการออกแบบและสร้างไบสกูเจาะดิน

2.1 แบบ Conventional Welding Screw (CWWS)

1. ตัดไบสกูออกจากแกนของไบสกู
2. นำดอกสำเร็จรูปไปทำการ Machine ผิดด้วยการเชื่อมและดึง ให้มีขนาดแกนใน 2.54 cm ไบด้านนอก มีขนาด 10.16 cm ระยะพิตช์ (Pitch) 10 cm
3. นำมาเจียรเก็บปลายละเอียด และประกอบไบสกูเข้ากับแกนของไบสกู
4. เก็บรายละเอียดชิ้นงาน และพ่นสี ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ไบสกูแบบ Conventional Welding Screw (CWWS)

2.2 แบบ Conventional Rolling Screw (CVRS)

1. ใช้เหล็กแผ่นเรียบ ขนาดความหนา 6 mm ความกว้าง 38 mm และความยาว 150 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำเหล็กที่ทำการ Machine โดยแกนใน มีขนาด 2.54 cm ใบดี้านนอก มีขนาด 10.16 cm ระยะพิตช์ (Pitch) 10 cm นำไปขึ้นรูป
3. นำเหล็กที่รีดขึ้นรูปเป็นใบสกรู มาเชื่อมติดกับแกนของใบสกรู
4. ชัดพื้นผิว เก็บรายละเอียด และพ่นสี ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ใบสกรูแบบ Conventional Rolling Screw (CVRS)

2.3 แบบ Bottom Biomimetic Welding Screw (BBWS)

1. ใช้เหล็กกล้าตีขึ้นไก่ ดังรูป 3.28 มีขนาดความหนา 6 mm ความกว้าง 38 mm และความยาว 150 cm
2. นำเหล็กมาทำการ Machine โดยแกนใน มีขนาด 2.54 cm ใบดี้านนอก มีขนาด 10.16 cm. ระยะพิตช์ 10 cm
3. นำเหล็กมาเชื่อมและดึงติดกับแกนของใบสกรู โดยให้ปลายของใบสกรูอยู่ด้านล่าง
4. ชัดพื้นผิว เก็บรายละเอียด และพ่นสี ดังรูปที่ 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ไบסקรูแบบ Bottom Biomimetic Welding Screw (BBWS)

2.4 แบบ Top Biomimetic Welding Screw (TBWS)

1. ใช้เหล็กกล้าตีขึ้นไก่ ขนาดความหนา 6 mm กว้าง 38 mm ยาว 150 cm
2. นำเหล็กมาทำการ Machine โดยแกนใน มีขนาด 2.54 cm ไบด้านนอก มีขนาด 10.16 cm. ระยะพิตช์ 10 cm
3. นำเหล็กมาเชื่อมและดึงติดกับแกนของไบסקรู โดยให้ปลายของไบסקรูอยู่ด้านบน
4. ชัดพื้นผิว เก็บรายละเอียด และพ่นสี ดังรูปที่ 3.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 ไบสกรูแบบ Top Biomimetic Welding Screw (TBWS)

ข้อต่อของแบบ BBMS กับ TBWS ทำการตัดเหล็กเพลาด้านขนาด $1\frac{1}{4}$ in ยาว 35 mm และทำการเจาะรูทะลุขนาด 20 mm จากนั้นทำการคว้านรูด้านใดด้านหนึ่งให้ได้ขนาด 25.4 mm ลึก 5 mm เพื่อให้สามารถสวมกับแกนของไบสกรูและเชื่อมติดได้ง่ายและได้ศูนย์ร่วมกัน

3.4 การเก็บตัวอย่างดินหาประเภทของดิน

3.4.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เสียม
2. ปากกาเมจิก
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Electronic Compact Scale รุ่น SF-400C
4. ถังพลาสติก
5. จอบ
6. สपाตุลา
7. ถุงซิปล็อคพลาสติกใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิธีเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาประเภทของดิน

1. แบ่งพื้นที่บริเวณที่จะเก็บตัวอย่างดิน
2. เลือกสุ่มเก็บตัวอย่างดิน ที่ความลึกประมาณ 15 cm กระจายทั่วพื้นที่การทดลอง 15 จุด โดยใช้รูปแบบซิกแซ็กหรือการสลับฟันปลา ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาประเภทของดิน

3. ใช้จอบถากสิ่งปกคลุมผิวดินบริเวณนั้นออก ขุดหลุมเป็นรูปปลายลูกศร หรือรูปตัว V ลึกประมาณ 15 cm ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ขุดหลุมรูปปลายลูกศรหรือรูปตัว V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้เสียมแซะดินบริเวณข้างหลุมจนถึงก้นหลุมหนาประมาณ 0.5 in โดยระยะห่างระหว่างหลุม 1 m ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 แซะดินบริเวณข้างหลุม

5. ปาดดินบริเวณด้านข้างเสียมออก เก็บดินเฉพาะส่วนกลางของเสียมแล้วใส่ในถังสะอาด ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 เก็บตัวอย่างดิน

6. ทำจนครบ 15 หลุม แล้วนำตัวอย่างดินที่เก็บจากแต่ละจุดมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ในถังสะอาด จากนั้นแบ่งดินออกมา 0.5 kg ใส่ถุงซิปล็อคใส

7. ส่งตัวอย่างดินไปยังห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความต้านทานการแทงทะลุดิน

3.5.1 วัสดุอุปกรณ์

1. Cone Penetrometer
2. จอบ
3. เสียมขุดดิน
4. Core Sampler
5. ค้อนปอนด์
6. ตาชั่งน้ำหนักดิจิทัล Electronic Compact Scale รุ่น SF-400C
7. ปากกาเมจิก
8. สपाตุลา
9. ถุงพลาสติกใสขนาด 5x9 in
10. ยางวง

3.5.2 วิธีเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความต้านทานการแทงทะลุดิน

2.1 การวัดค่าความแข็งของดิน

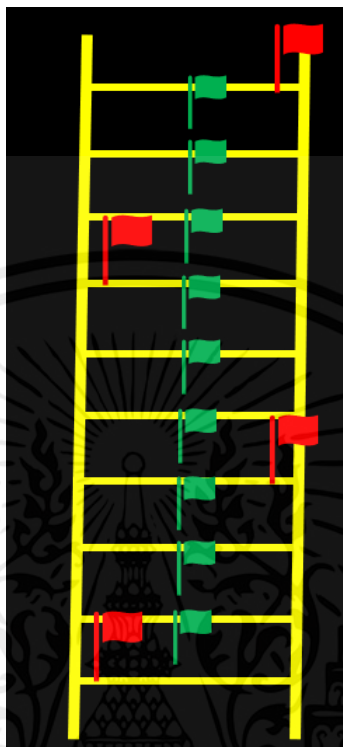
1. ใช้ Cone Penetrometer ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 Cone Penetrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใน 1 แถวที่ทำการทดสอบห่างกัน 1 m จะทำการวัดแวลละ 1 ครั้งต่อ 1 สถานที่การทดลอง โดยใช้สัญลักษณ์รูปแบบธงสีเขียว ดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความต้านทานการแทงทะลุดิน



รูปที่ 3.39 วัดการแทงทะลุดินด้วยเครื่องวัดการแทงทะลุดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การหาค่าความชื้นภายในดิน

1. ใช้ Core Sampler เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ของการทดลองเจาะดิน ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 Core Sampler

2. จากกระบอกเก็บดินขนาด 100 cm^3 จำนวน 4 ครั้ง ต่อ 1 สถานที่การทดลอง ด้วยระดับความลึกที่ 15 30 และ 45 cm ต่อ 1 หลุม ใช้สัญลักษณ์รูปแบบธงสีแดง ดังรูปที่ 3.37

3. ใช้จอบถากสิ่งปกคลุมผิวดินบริเวณนั้นออก ขุดหลุมลึก 15 cm

4. ใช้ Core Sampler เก็บตัวอย่างดินใน 1 กระบอก ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 เก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชั่งน้ำหนักของดินใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงไว้ ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ชั่งน้ำหนักดิน

6. ขุดหลุมเดิมต่อให้ได้ความลึกที่ 30 และ 45 cm แล้วทำวิธีเดียวกันกับข้อ 4
7. นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 105°C ในตู้อบ (Hot air oven) เป็นเวลา 24 hr ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 นำไปอบ

8. นำตัวอย่างดินออกจากตู้อบแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งจากนั้นจึงคำนวณหาค่าความชื้นเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีการทดสอบภาคสนาม

1. นำแท่นทดสอบเจาะดินมาทำการทดสอบในแปลงทดสอบ A ณ บริเวณพื้นที่และพิกัดที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 แท่นทดสอบ

2. ในการทดสอบจะมีการใช้ใบสกรูทั้งหมด 4 แบบคือ CVWS, BBWS, TBWS, CVRS และมีน้ำหนักถ่วงในการทดสอบ 3 ค่าได้แก่ 38, 48, 58 โดยในการทดสอบจะเลือกลำดับการทดสอบแบบสุ่มและทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง

3. สตาร์ทเครื่องยนต์และทำการดึงชุดหัวเจาะค้างไว้เพื่อไม่ให้ปลายใบสกรูสัมผัสพื้นดิน ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 จัดเตรียมอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบคงที่ 300 rpm จากนั้นเริ่มบันทึกค่า แรงบิด, แรงปฏิกิริยาและความเร็วรอบด้วยโปรแกรม Lab View ส่วนค่าความเร่งจะทำการอ่านค่าด้วยเซนเซอร์วัดอัตราเร่ง 3 แกน และบันทึกผลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล Graphtech GL 100 ตลอดช่วงการทดลอง ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงระดับความลึกที่กำหนด ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 ระดับความลึกที่ใบสกรูลงไปในดิน

5. เมื่อเจาะได้ตามความลึกที่ต้องการ ทำการถอดใบสกรูและยกหัวเจาะขึ้น ดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 ยกหัวเจาะขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ดึงไบสกรูขึ้นและทำการเก็บข้อมูล ความกว้างและความลึกของปากหลุม และสังเกตลักษณะของหลุมเจาะ ดังรูปที่ 3.48



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.48 (ก) ดินที่ติดไบสกรู (ข) ความลึกของหลุม (ค) ความกว้างของปากหลุม

7. เมื่อทดลองใส่ไบสกรูทั้ง 4 แบบ ตามเงื่อนไขพร้อมน้ำหนักถ่วง 38 kg ให้เพิ่มน้ำหนักเป็น 48 kg จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ 3-6
8. เมื่อทดลองใส่ไบสกรูทั้ง 4 แบบ ตามเงื่อนไขพร้อมน้ำหนักถ่วง 48 kg ให้เพิ่มน้ำหนักเป็น 58 kg จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ 3-6
9. เมื่อทำการทดลองในพื้นที่แปลงทดสอบ A เสร็จแล้ว ทำการเปลี่ยนพื้นที่การทดลองเป็นพื้นที่แปลงทดสอบ B และทำตามขั้นตอนที่ 1-8 อีกครั้ง
10. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองจากวิธีดำเนินการในบทที่ 3 ได้แก่ การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์เนื้อดิน การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวัดค่าความชื้นของดินในวันที่ทำการทดลอง การวัดค่าความสามารถในการแทงทะลุดิน ค่าแรงบิด (Torque) ค่าแรงปฏิกิริยา (Load) และค่าแรงสั่นสะเทือนแบบความเร่ง (Acceleration vibration) ของใบสกรูทั้ง 4 แบบ ในพื้นที่การทดลอง 2 แบบ

1. พื้นที่การทดลองบริเวณแปลงเกษตรหลังโรงประปาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร (พิกัด GPS 10.7310306,99.3644987) (เรียกว่า แปลง A)

2. พื้นที่การทดลองบริเวณแปลงเกษตร ใกล้กับแปลงมะพร้าวบริเวณป้ายสถาบันใหม่ ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร (พิกัด GPS 10.7270457,99.3707847) (เรียกว่า แปลง B)

4.1 ผลการวิเคราะห์เนื้อดิน

สำหรับการทดสอบได้ผลของเนื้อดิน ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินและส่งตรวจในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

4.1.1) แปลง A (พิกัด GPS 10.7310306,99.3644987)

ดินทราย (Sand) = 58.97%

ทรายแป้ง (Silt) = 35.00%

ดินเหนียว (clay) = 6.03%

4.1.2) แปลง B (พิกัด GPS 10.7270457,99.3707847)

ดินทราย (Sand) = 72.30%

ทรายแป้ง (Silt) = 25.00%

ดินเหนียว (clay) = 2.70%

4.2 ผลการหาความชื้นและความหนาแน่นของดิน

หลังจากที่เราได้นำดินที่ทำการเก็บที่ระดับความลึก 15 30 และ 45 cm มาอบที่อุณหภูมิ 105 °c เป็นเวลา 24 hr เราสามารถคำนวณผลของความชื้น (Soil moisture content) และความหนาแน่นของดิน (Soil bulk density) ได้ดังนี้

4.2.1) แปลง A (พิกัด GPS 10.7310306,99.3644987)

ความชื้นเฉลี่ย (Average Soil moisture content) = 11.16±1.51% d.b.

ความหนาแน่นของดินเฉลี่ย (Average Soil bulk density) = 1.75±0.11 g/cm³

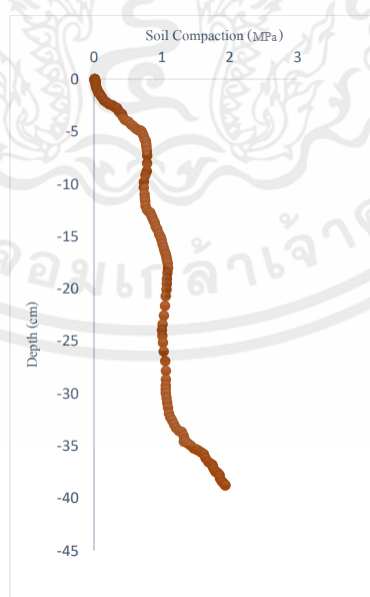
4.2.2) แปลง B (พิกัด GPS 10.7270457,99.3707847)

ความชื้นเฉลี่ย (Average Soil moisture content) = 10.51±1.90% d.b.

ความหนาแน่นของดินเฉลี่ย (Average Soil bulk density) = 1.70±0.05 g/cm³

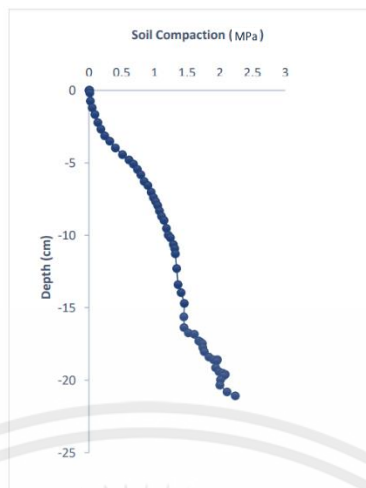
จากผลการทดลองในข้อที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าดินทั้ง 2 แปลงเป็นดินชนิดดินร่วนปนทรายทั้ง 2 บริเวณ แต่มีความแตกต่างของเนื้อดินโดยสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ของดินแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากัน และมีค่าของความชื้นและความหนาแน่นที่ต่างกัน ซึ่งเราจะนำผลของความแตกต่างของ 2 พื้นที่ที่เราทำการทดลองมาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างในการเจาะดิน เพื่อวิเคราะห์ว่าผลของเนื้อดิน ความชื้น และความหนาแน่นของดิน ที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลต่อการเจาะดินอย่างไรบ้าง

4.3. ผลของการหาความสามารถในการแทงทะลุดิน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดกับความลึกของแปลง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดกับความลึกของแปลง B

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ผลของค่าเฉลี่ยความสามารถในการแทงทะลุดินทั้ง 2 แปลง แสดงให้เห็นว่าค่าของความสามารถในการแทงทะลุดินแปรผันตามกับระดับความลึก และได้ผลสรุปว่า แปลง A มีค่าของความสามารถในการแทงทะลุดินอยู่ที่ 1.2 ถึง 2.2 MPa พื้นที่การทดลองที่ 2 มีค่าของความสามารถในการแทงทะลุดินอยู่ที่ 1.5 ถึง 2.5 MPa

4.4 ผลการลำเลียงและกระจายตัวของดิน



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของดินของใบ CVWS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของดินของใบ BBWS



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของดินของใบ TBWS

จากรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 พบว่าการกระจายดินของใบสกรูทั้ง 3 แบบมีความแตกต่างกัน ใบสกรูแบบ CVWS สามารถวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการกระจายตัวของดินได้ที่ 285 mm ใบสกรูแบบ BBWS สามารถวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการกระจายตัวของดินได้ที่ 305 mm ซึ่งมีขนาดของการกระจายดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับใบสกรูแบบ CVWS 7% และใบสกรูแบบ TBWS โดยสามารถวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง การกระจายตัวของดินได้ที่ 275 mm ซึ่งมีขนาดของการกระจายดินลดลงเมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบสกรูแบบ CVWS 3 %

แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มลวดลายใบโอมิเมติกส์บนพื้นผิวของใบสกรูมีผลในการช่วยยึดเกาะกับดินเพื่อลําเลียงดินจากใบสกรูขึ้นมาด้านบนที่บริเวณปากหลุม ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าว่าใบสกรูแบบ BBWS มีปริมาณของดินที่ถูกลําเลียงขึ้นมาบริเวณปากหลุมมากกว่าใบสกรูแบบ CVWS และ TBWS โดยการเพิ่มลวดลายใบโอมิเมติกส์ไว้ด้านล่างให้ผลการลําเลียงดินและการกระจายตัวดีกว่าใบสกรูแบบมาตรฐาน แต่การเพิ่มลวดลายใบโอมิเมติกส์ไว้ด้านบนให้ผลที่แยกว่าใบสกรูแบบมาตรฐาน

4.5 ผลลักษณะการคงรูปของหลุมที่ทำการเจาะ



รูปที่ 4.6 ลักษณะการคงรูปของหลุม CVWS



รูปที่ 4.7 ลักษณะการคงรูปของหลุม BBWS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ลักษณะการคงรูปของหลุม TBWS

จากรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าไบสกรูแต่ละแบบมีลักษณะทางกายภาพของหลุมที่ไม่เหมือนกัน โดยพบว่าหลุมของไบแบบ BBWS มีลักษณะของหลุมที่สวยงามและมีความคงรูปมากกว่าไบสกรูแบบ CVWS และ TBWS

4.6 ผลลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของไบสกรู



รูปที่ 4.9 ลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของไบสกรู CVWS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของใบสกรู BBWS

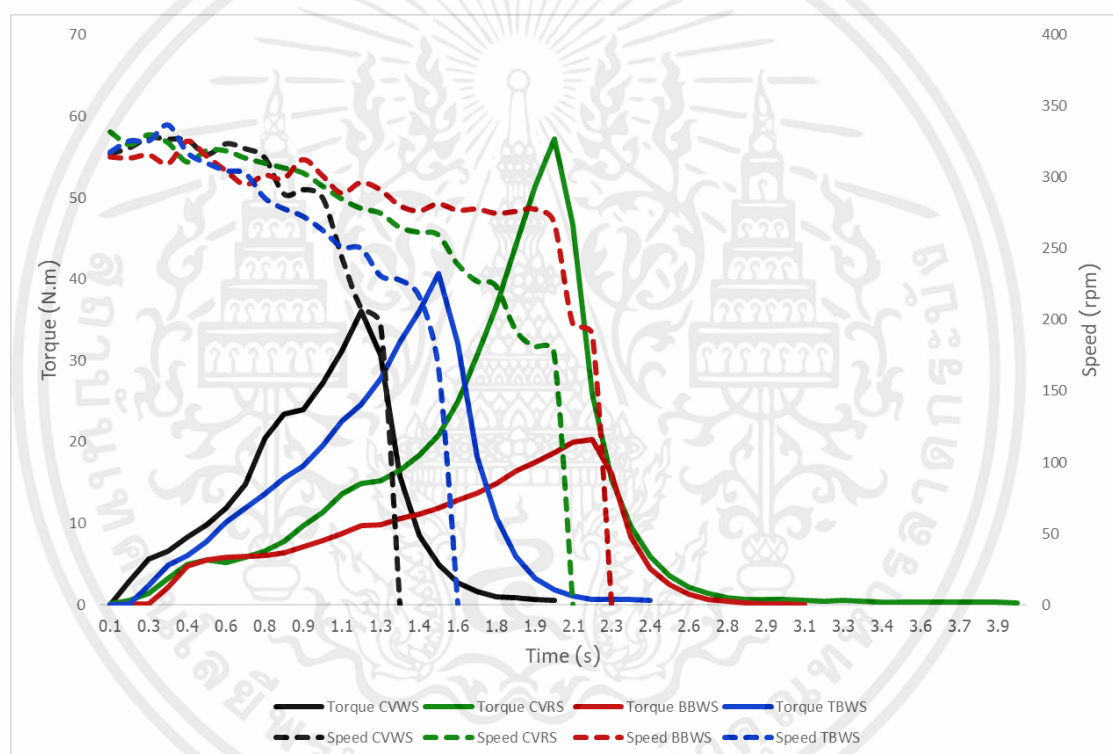


รูปที่ 4.11 ลักษณะความหนาแน่นของดินในระหว่างเกลียวของใบสกรู TBWS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11 จะสามารถสังเกตได้ว่าไบสกรูแต่ละแบบมีปริมาณการอัดแน่นของดินระหว่างเกลียวลำเลียงของไบสกรูที่ไม่เท่ากัน ซึ่งผลของการอัดแน่นของดินจะส่งผลต่อไบสกรู คือ เมื่อมีปริมาณการอัดแน่นของดินที่มากแสดงว่ามีการลำเลียงของดินออกจากผิวของไบสกรูต่ำ โดยผลจากการลำเลียงดินที่ต่ำนี้จะส่งผลทำให้ต้องใช้แรงบิดในการเจาะดินที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเพราะต้องใช้แรงบิดเพื่อเจาะดินและดันดินที่อัดแน่นเพื่อให้ดินลำเลียงขึ้นมาที่ปากหลุม โดยจากการสังเกตพบว่าไบสกรูแบบ BBWS มีการอัดแน่นของดินระหว่างเกลียวลำเลียงน้อยที่สุด

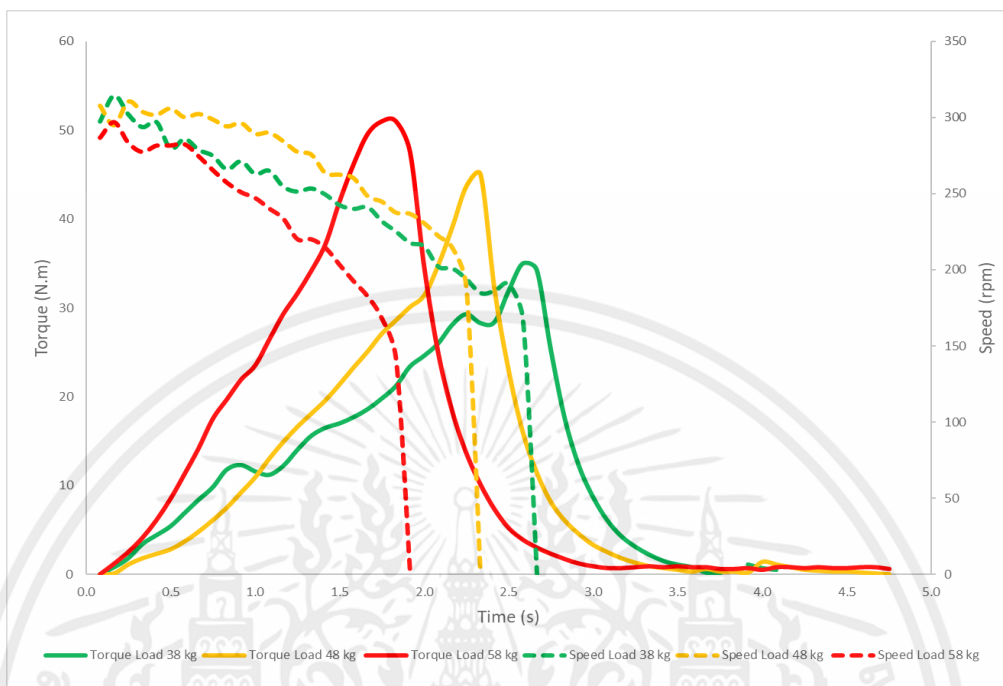
4.7 ผลของแรงบิดและรอบเทียบกับเวลา



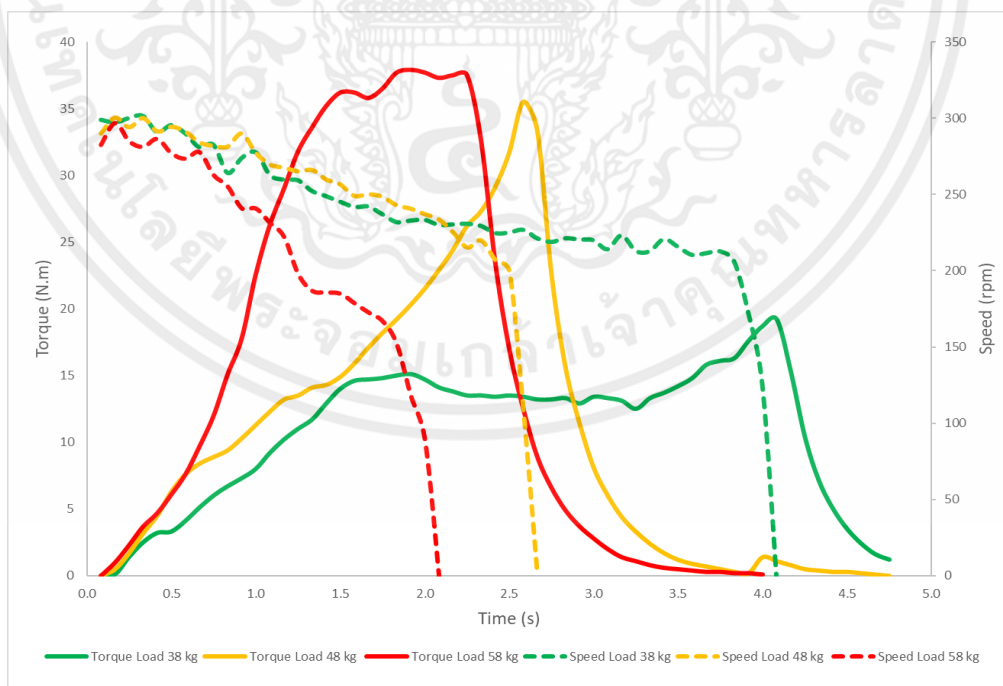
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบ 4 แบบที่โหลด 38 kg

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่าไบสกรูแต่ละแบบจะให้ผลของแรงบิดที่ใช้ในการเจาะดินที่ต่างกัน ลักษณะของดินชนิดเดียวกัน โดยสังเกตได้ว่าไบสกรูแบบ BBWS ให้ผลดีที่สุดเนื่องจากใช้แรงบิดในการเจาะดินน้อยที่สุด สามารถเรียงลำดับค่าแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินได้ คือ $BBWS < CVWS < TBWS < CVRS$

4.8 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับรอบต่อเวลาของแต่ละโหลด

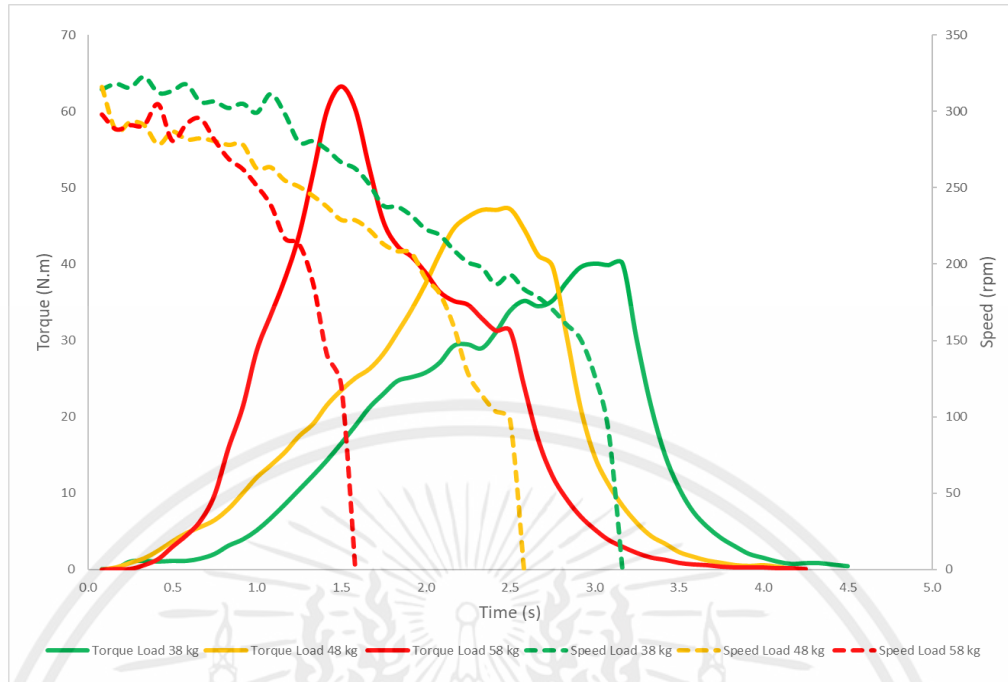


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบแต่ละ Load ใน CVWS



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบแต่ละ Load ใน BBWS

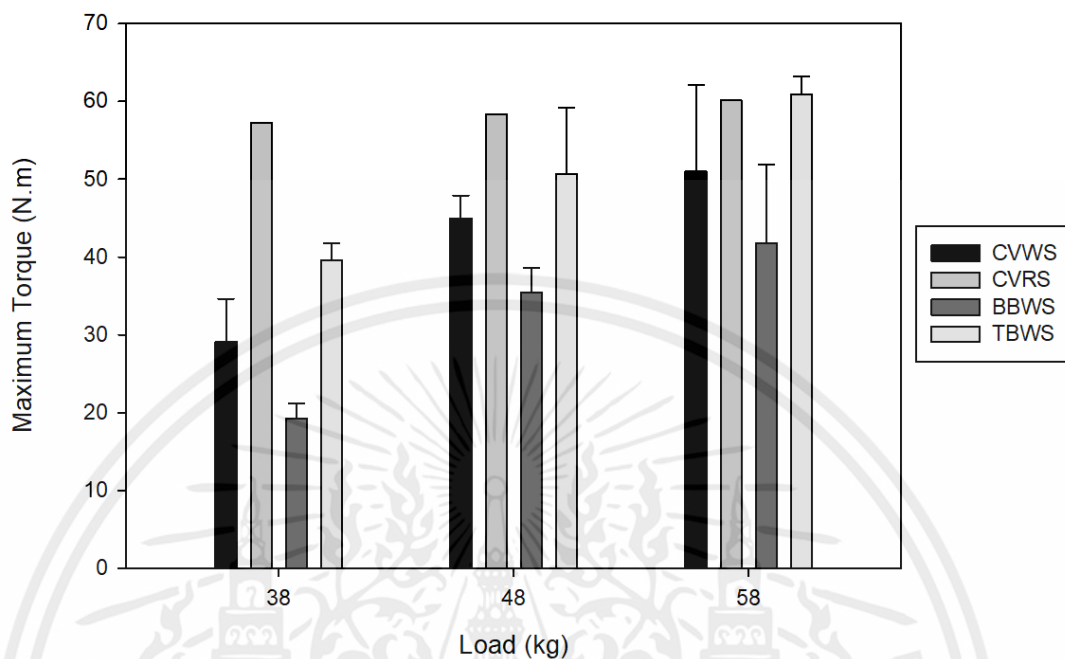
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



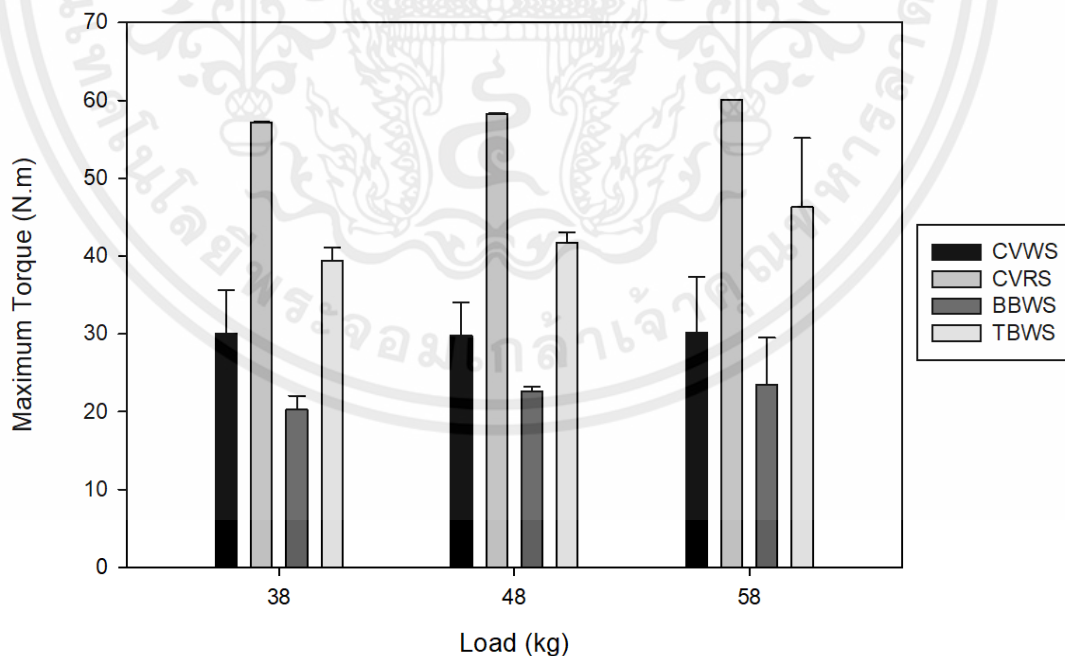
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบ ต่อเวลาเปรียบเทียบแต่ละ Load ใน TBWS

จากรูปที่ 4.13 4.14 และ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อเราทำการเพิ่มค่าของ Load จะส่งผลต่อแรงบิดและเวลาที่ใช้ในการเจาะดิน โดยแรงบิดจะแปรผันตรงกับค่าของ Load ส่วนเวลาจะแปรผกผันกับค่าของ Load ซึ่งใบสกรูทั้ง 3 แบบมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันจึงสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเราทำการเพิ่มค่าของ Load ให้มีค่ามากขึ้นทำให้ใบสกรูนั้นมีแรงกดที่กระทำต่อดินเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ใบสกรูตัดเฉือนดินเยอะขึ้นจึงทำให้ต้องใช้แรงบิดเพิ่มขึ้นในการเจาะดิน แต่จะใช้เวลาเฉลี่ยนลงเมื่อเทียบกับการเจาะดินที่มีค่าของ Load น้อยกว่า แต่เมื่อคำนึงถึงเรื่องของพลังงานที่ใช้ในช่วงที่เริ่มทำการเจาะดินไปจนถึงช่วงที่ถึงระยะความลึกที่กำหนดนั้น จะพบว่าเมื่อ Load มากขึ้นก็จะทำให้การเจาะดินนั้นใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสิ่งเราสามารถสังเกตได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ดังนั้นเรื่องนี้จึงเป็นผลเสียที่ตามมาในการเพิ่มค่าของ Load ให้มากขึ้นเพื่อแลกกับเวลาในการเจาะที่เร็วกว่า

4.9 ผลของแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินของใบสกรู



รูปที่ 4.16 แรงบิดสูงสุดเฉลี่ย 3 ครั้ง แปลง A

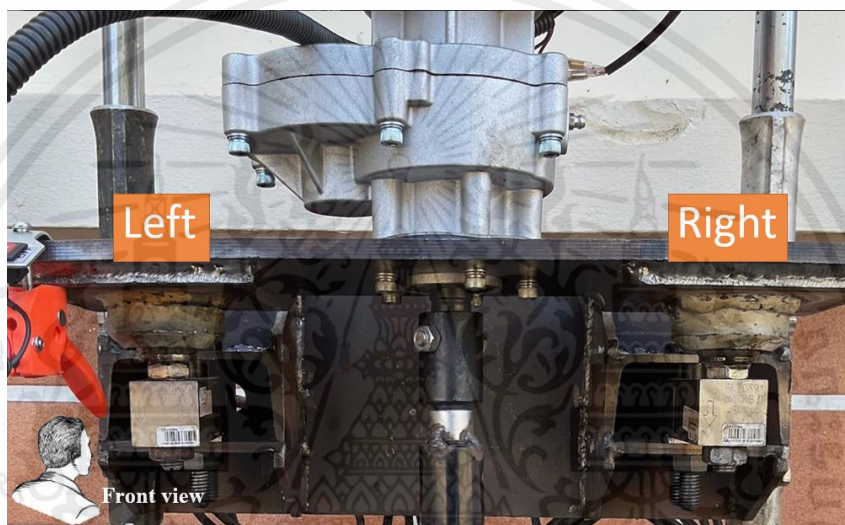


รูปที่ 4.17 แรงบิดสูงสุดเฉลี่ย 3 ครั้ง แปลง B

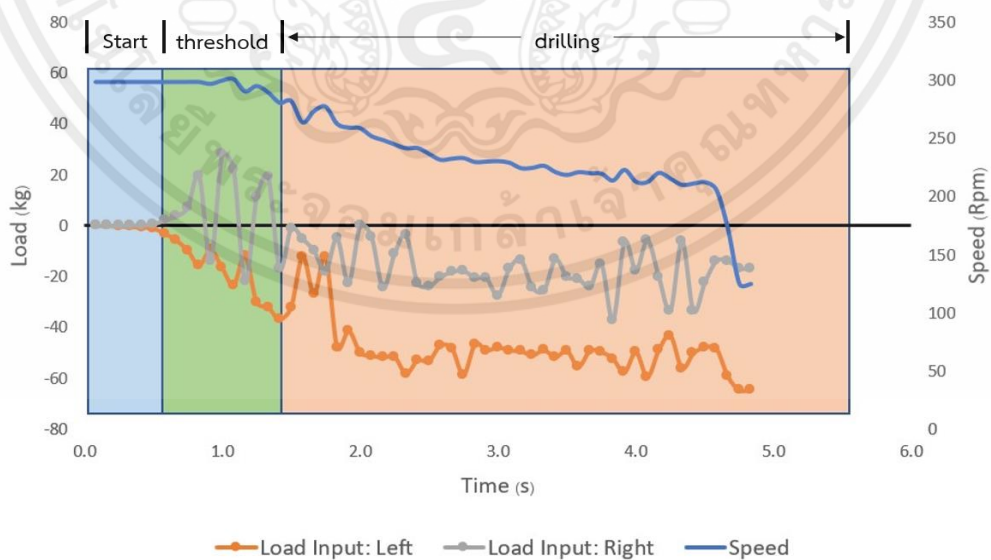
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงให้เห็นว่าใบสกรูแบบ BBWS ใช้ค่าของแรงบิดในการเจาะน้อยที่สุดทั้ง 2 พื้นที่การทดลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินของใบสกรูจากน้อยสุดไปมากที่สุด ได้ดังนี้ 1.BBWS 2.CVWS 3.TBWS 4.CVRS โดยใบสกรูแบบ BBWS ใช้แรงบิดน้อยกว่าใบสกรูแบบ CVWS 29.83 % และใบสกรูแบบ TBWS ใช้แรงบิดมากกว่าใบสกรูแบบ CVWS 23.58%

4.10 ผลของแรงปฏิกิริยา



รูปที่ 4.18 มุมในการมองของ Load cell



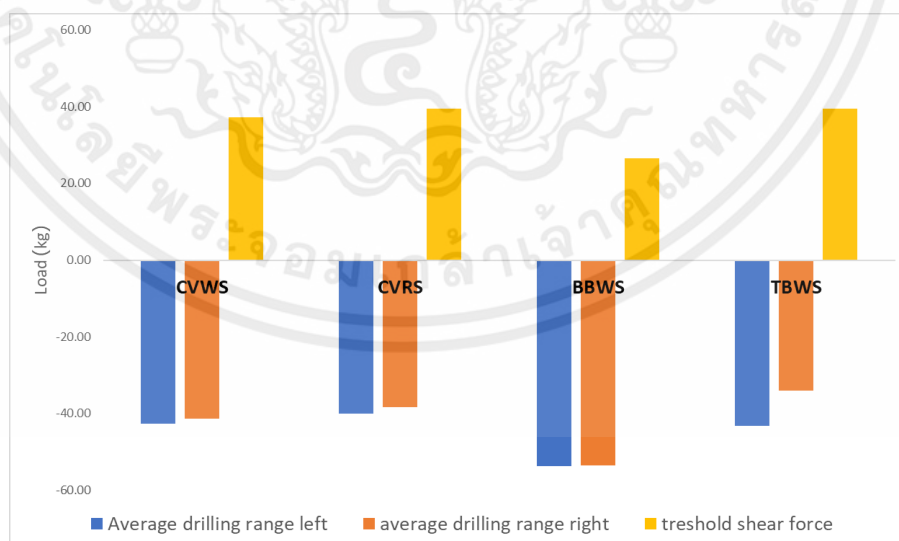
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาเทียบกับเวลาของใบสกรูแบบ CVWS 38 kg แปลง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 อธิบายมุมมองของ Load cell โดยให้ใช้มุมมองในการมองจากด้านหน้าของแท่นทดสอบ และจากรูปที่ 4.19 อธิบายการเปลี่ยนแปลงของแรงปฏิกิริยาตลอดช่วงของการทดลองของใบสกรูแบบ CVWS แพลง A โดยช่วงที่มีพื้นหลังสีฟ้าคือช่วงที่เริ่มเตรียมการทดลอง ซึ่งเราจะทำการ Reset ค่าของแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อ Load cell ให้มีค่าเป็น 0 และตั้งค่ารอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 300 rpm จากนั้นช่วงที่มีพื้นหลังสีเขียวคือ ช่วงที่เริ่มทำการทดลอง (ปล่อยสกรูลงสู่ผิวดิน) จะสังเกตได้ว่าจะเริ่มมีแรงปฏิกิริยากระทำต่อ Load cell โดยจะมีแรงกระทำอยู่ 2 แบบในช่วงนี้ คือ

1.แรง threshold shear force หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นแรงต้านในการเจาะของดินในช่วงที่ใบสกรูเริ่มทำการเจาะดิน ซึ่งจะแสดงเป็นค่าบวกเนื่องจากมีทิศทางตั้งขึ้นและแสดงอยู่ใน Load cell ด้านขวา

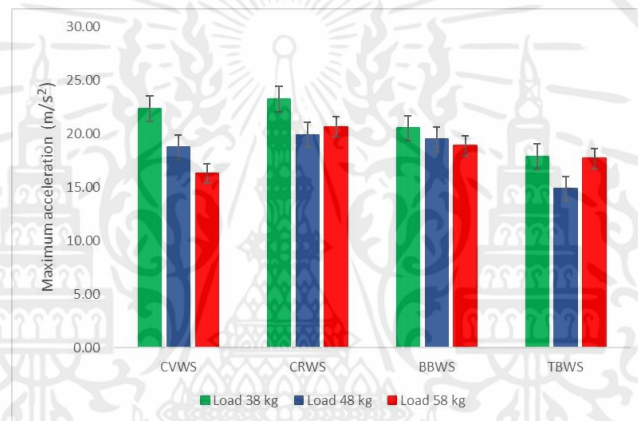
2.แรง drilling range หรือแรงดึงที่เกิดจากการตัดเฉือนและลำเลียงดินของใบสกรู ซึ่งจะแสดงเป็นค่าลบเนื่องจากมีทิศทางตกลงและแสดงอยู่ใน Load cell ด้านซ้ายเนื่องจากใบสกรูหมุนตามเข็มนาฬิกาทำให้เกิดแรงกระทำที่ด้านซ้ายเมื่อใช้มุมมองจากด้านหน้าของตัวเครื่อง และจากนั้นช่วงที่มีพื้นหลังสีส้มคือ ช่วงที่ใบสกรูตัดเฉือนละเอียดลงไปในเนื้อดินแล้ว ในช่วงนี้จะสังเกตเห็นความแตกต่างได้ว่าแรงปฏิกิริยาที่กระทำ จะเหลือเพียงแค่ 1 แบบ คือ แรง drilling range เนื่องจากใบสกรูได้ทำการเจาะลงไปในเนื้อดินสำเร็จแล้ว และยังสามารถสังเกตเห็นได้อีกว่าเมื่อใช้มุมมองจากด้านหน้าของตัวเครื่องนั้น แรงปฏิกิริยาที่กระทำทางด้านซ้ายก็จะมากกว่าด้านขวามือเนื่องจากผลของใบสกรูหมุนตามเข็มนาฬิกา



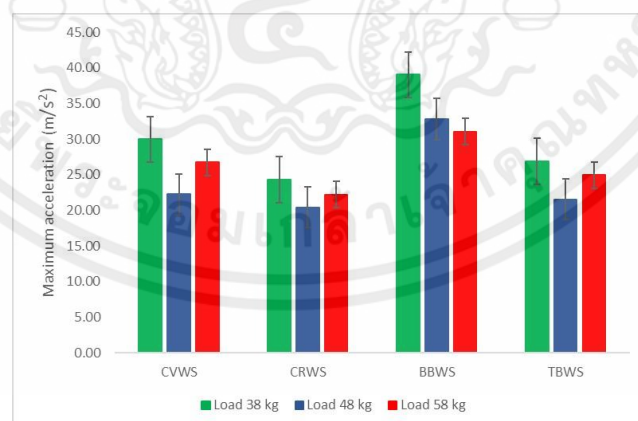
รูปที่ 4.20 แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อ Load cell ในแต่ละใบ

จากรูปที่ 4.20 จะพบว่าแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อ Load cell ในทิศทางเดียวกันกับการเจาะของไบสกรูแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน โดยไบสกรูที่ดีที่สุดคือ BBWS พบว่ามีแรง threshold shear force น้อยที่สุดถัดมาคือ CVWS TBWS และ CVRS ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไบสกรู BBWS มีการตัดเฉือนของดินที่ดีทำให้แรงที่ต้านในการเจาะของผิวดินมีค่าน้อย และยังพบว่าไบสกรูแบบ BBWS จะมีแรง drilling range มากที่สุดถัดมาคือ CVWS TBWS และ CVRS ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไบสกรู BBWS มีแรงปฏิกิริยาของไบสกรูที่เกิดในขณะการเจาะดินช่วยดึงไบสกรูให้ตกลงในขณะทำการเจาะดินได้ดี

4.11 ผลของความเร่ง

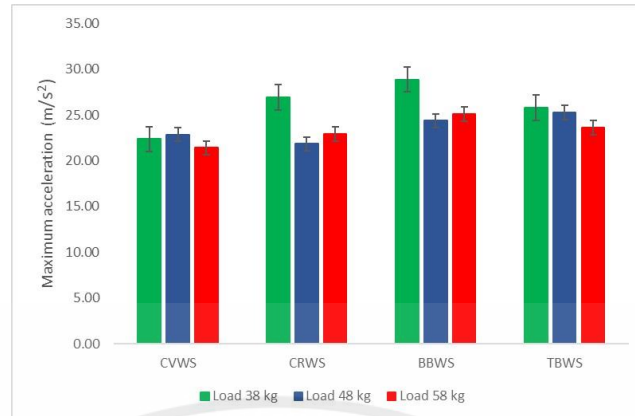


รูปที่ 4.21 ผลของความเร่งในแนวแกน x



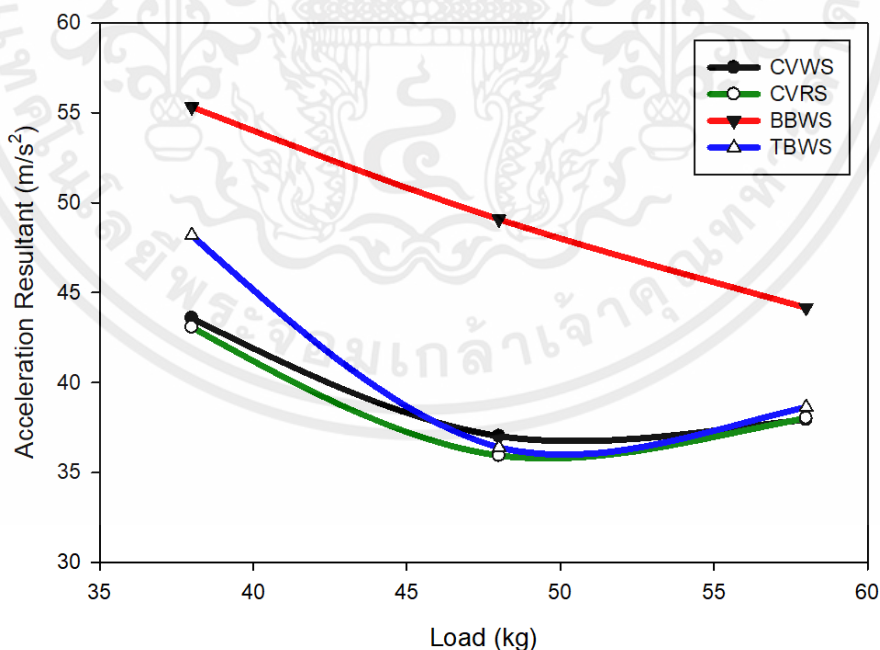
รูปที่ 4.22 ผลของความเร่งในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ผลของความเร่งในแนวแกน z

จากรูปที่ 4.21 4.22 และ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าของความเร่งในแนวแกน x และ z ของไบสกูทั้ง 4 แบบมีความใกล้เคียงกันแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าความเร่งใน 2 แนวแกนนี้ของไบสกูทั้ง 4 แบบไม่มีความแตกต่างซึ่งกันและกัน แต่เมื่อเราสังเกตในแนวแกน y จะพบว่าไบสกูแบบ BBWS มีความเร่งที่แตกต่างจากไบสกูแบบอื่น โดยมีค่าของความเร่งมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไบสกูแบบ BBWS สามารถเจาะดินได้ถึงระดับความลึกที่กำหนดได้เร็วกว่าไบสกูแบบอื่นเพราะมีอัตราเร่งที่สูงกว่าทำให้เคลื่อนที่ลงได้เร็วกว่า



รูปที่ 4.24 กราฟผลของความเร่งลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราเร่งลัพท์ของใบสกรูทั้ง 4 แบบ แล้วพบว่า ใบสกรูแบบ BBWS มีผลของอัตราเร่งลัพท์มากกว่าใบสกรูแบบอื่นๆ เนื่องจากมีอัตราเร่งในแนวแกน y มากกว่าเมื่อเทียบกับใบสกรูแบบอื่น

ตารางที่ 4.1 ค่าของตัวแปรที่เกิดขึ้นเมื่อเจาะดินในพื้นที่แปลงทดสอบด้วยใบสกรูชนิดต่างๆ

Field	Parameters	Types of screw	Mass (kg)			
			38	48	58	
A	Maximum torque (Nm)	CVWS	29.93 ^{B,a} (4.71)	44.70 ^{AB,b} (3.16)	54.60 ^{B,c} (7.48)	
		BBWS	19.60 ^{A,a} (1.54)	36.33 ^{A,b} (2.27)	44.13 ^{A,b} (7.67)	
		TBWS	37.30 ^{B,a} (4.42)	52.60 ^{B,b} (6.56)	61.27 ^{B,b} (1.88)	
	Maximum Acceleration (m/s ²)	x-axis	CVWS	19.03 ^{B,a} (0.76)	22.08 ^{A,a} (1.70)	22.97 ^{A,a} (1.46)
			BBWS	23.19 ^{C,a} (1.98)	27.18 ^{B,b} (3.22)	22.24 ^{A,a} (0.72)
			TBWS	14.53 ^{A,a} (0.66)	24.88 ^{AB,b} (1.36)	24.36 ^{A,b} (3.06)
		y-axis	CVWS	26.64 ^{A,b} (2.16)	22.27 ^{A,a} (2.42)	23.42 ^{A,ab} (2.08)
			BBWS	32.37 ^{B,a} (3.10)	32.81 ^{B,a} (2.40)	34.40 ^{B,a} (2.93)
			TBWS	23.55 ^{A,a} (0.41)	21.53 ^{A,a} (2.43)	24.94 ^{A,a} (2.26)
	z-axis	CVWS	32.36 ^{AB,b} (1.16)	20.52 ^{A,a} (1.19)	21.40 ^{A,a} (0.73)	
		BBWS	30.54 ^{A,b} (0.84)	24.36 ^{A,a} (2.19)	25.07 ^{AB,a} (4.02)	
		TBWS	35.78 ^{B,c} (0.99)	22.28 ^{A,a} (3.11)	26.95 ^{B,b} (1.40)	
	Threshold shear force (kg _f)	CVWS	39.17 ^{B,a} (1.11)	37.97 ^{B,a} (1.80)	56.20 ^{B,b} (3.10)	
		BBWS	21.90 ^{A,a} (2.69)	23.20 ^{A,a} (1.23)	44.73 ^{A,b} (1.52)	
		TBWS	38.73 ^{B,a} (1.89)	44.20 ^{C,b} (2.81)	59.83 ^{B,c} (1.50)	
	Drilling force (kg _f)	Left	CVWS	56.83 ^{A,a} (3.00)	85.00 ^{B,b} (1.64)	99.53 ^{A,c} (1.50)
			BBWS	63.17 ^{B,a} (1.91)	88.87 ^{B,b} (2.03)	107.13 ^{B,c} (3.15)
			TBWS	52.67 ^{A,a} (0.80)	75.37 ^{A,b} (0.91)	98.73 ^{A,c} (4.20)
Right		CVWS	46.70 ^{A,a} (3.48)	63.60 ^{B,b} (3.48)	72.63 ^{A,c} (2.59)	
		BBWS	61.40 ^{B,a} (1.73)	58.20 ^{A,a} (1.83)	86.43 ^{B,b} (2.14)	
		TBWS	49.50 ^{A,a} (1.15)	63.63 ^{B,b} (3.17)	73.87 ^{A,c} (3.84)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Field	Parameters	Types of screw	Mass (kg)		
			38	48	58
torque (Nm)	Maximum	CVWS	31.13 ^{B,a} (4.51)	30.17 ^{B,a} (3.86)	31.83 ^{B,a} (5.53)
		BBWS	20.07 ^{A,a} (1.96)	22.17 ^{A,a} (1.02)	23.13 ^{A,a} (6.36)
		TBWS	38.70 ^{B,a} (2.43)	41.50 ^{B,ab} (1.51)	48.27 ^{B,b} (6.86)
Maximum Acceleration (m/s ²)	x-axis	CVWS	30.38 ^{A,b} (1.58)	24.53 ^{A,a} (2.34)	32.99 ^{A,b} (0.64)
		BBWS	31.52 ^{A,ab} (1.57)	28.04 ^{A,a} (0.89)	33.09 ^{A,b} (2.30)
		TBWS	29.25 ^{A,b} (2.36)	24.96 ^{A,a} (3.11)	30.84 ^{A,b} (1.55)
	y-axis	CVWS	40.03 ^{A,b} (1.24)	35.01 ^{A,a} (0.98)	36.66 ^{B,a} (0.64)
		BBWS	47.56 ^{B,b} (1.02)	39.79 ^{B,a} (1.70)	55.15 ^{C,c} (1.88)
		TBWS	38.90 ^{A,c} (1.01)	32.89 ^{A,b} (1.42)	26.99 ^{A,a} (1.19)
	z-axis	CVWS	22.38 ^{A,a} (2.03)	21.60 ^{A,a} (3.13)	28.45 ^{A,b} (1.09)
		BBWS	26.06 ^{A,ab} (2.38)	23.25 ^{A,a} (0.88)	28.99 ^{A,b} (1.03)
		TBWS	23.51 ^{A,ab} (2.54)	20.29 ^{A,a} (0.94)	27.27 ^{A,b} (1.92)
Threshold shear force (kg _f)	CVWS	38.77 ^{B,a} (0.65)	46.73 ^{B,b} (1.54)	55.27 ^{B,c} (2.02)	
	BBWS	27.77 ^{A,a} (1.61)	35.57 ^{A,b} (2.30)	42.20 ^{A,c} (2.48)	
	TBWS	39.63 ^{B,a} (0.95)	48.77 ^{B,b} (1.05)	61.50 ^{C,c} (2.21)	
Drilling force (kg _f)	Left	CVWS	41.43 ^{B,a} (1.70)	52.13 ^{A,b} (1.47)	84.90 ^{B,c} (3.65)
		BBWS	53.73 ^{C,a} (3.16)	63.53 ^{B,b} (3.65)	92.77 ^{C,c} (1.89)
		TBWS	36.53 ^{A,a} (2.06)	49.50 ^{A,b} (1.35)	73.67 ^{A,c} (0.55)
	Right	CVWS	39.37 ^{B,a} (1.53)	42.47 ^{A,b,a} (0.61)	75.63 ^{B,b} (2.84)
		BBWS	43.43 ^{B,a} (0.91)	47.07 ^{B,a} (2.21)	81.37 ^{C,b} (1.10)
		TBWS	34.10 ^{A,a} (2.75)	41.73 ^{A,b} (1.72)	64.57 ^{A,c} (1.24)

หมายเหตุ: ตัวอักษรใหญ่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน (พิจารณาใบสกรูต่างกันที่น้ำหนักเดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

ตัวอักษรเล็กเหมือนกันในแถวเดียวกัน (พิจารณาใบสกรูเดียวกันที่น้ำหนักต่างกัน) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธี Bonferroni correction ดังตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่เกิดขึ้นในแปลงทดลอง A และแปลงทดลอง B พบว่ามีผลสรุปไปในทิศทางเดียวกันกับผลสรุปที่ได้สรุปไว้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ แต่ผลสรุปจากการวิเคราะห์สถิติจะสามารถสังเกตความแตกต่างได้แบบละเอียดและแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

4.12 ผลของแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินของใบสกรูจากการวิเคราะห์สถิติ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลของแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการเจาะดินของใบสกรูทั้ง 3 แบบ เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักเดียวกันพบว่าแรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนใบสกรูแบบ BBWS ที่น้ำหนัก 38 48 และ 58 kg มีค่าน้อยกว่าใบสกรูแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบสกรูแบบ BBWS ดีที่สุดเมื่อเทียบกับใบสกรูแบบอื่น แต่จะพบว่าใบสกรูแบบ TBWS ใช้แรงบิดมากกว่าใบสกรูแบบ CVWS ก็จริง แต่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับใบสกรูแบบ CVWS ซึ่งก็คือไม่มีความแตกต่างกันจากการวิเคราะห์ทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบที่ใบสกรูชนิดเดียวกันที่ความแตกต่างของโหลด 38 48 และ 58 kg ที่แปลง A ใบสกรูทั้ง 3 แบบ ที่โหลด 38 48 และ 58 kg สามารถแยกความแตกต่างกันได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่แปลง B ค่าของแรงบิดสูงสุดของใบสกรูแบบ CVWS และ BBWS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเป็นเช่นนี้อาจเกิดจากที่ผลของโหลดที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถชนะความแข็งของดินได้เพราะแปลง B มีค่าความสามารถในการแทงทะลุดินที่สูงกว่าแปลง A ค่าของโหลดที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลให้ใบสกรูตัดเฉือนดินเพิ่มขึ้นมากนักเอง ส่วนใบสกรูแบบ TBWS ค่าแรงบิดสูงสุดที่โหลด 38 และ 58 kg มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่ที่โหลด 48 kg ก็ไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้

4.13 ผลของแรงปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์สถิติ

4.12.1 Threshold shear force

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลของแรงปฏิกิริยา Threshold shear force ในการเจาะดินของใบสกรูทั้ง 3 แบบ เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักเดียวกันพบว่า Threshold shear force ที่เกิดขึ้นจากใบสกรูแบบ BBWS ที่น้ำหนัก 38 48 และ 58 kg มีค่าน้อยกว่าใบสกรูแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบสกรูแบบ BBWS ทำให้ผลของแรงปฏิกิริยา Threshold shear force ซึ่งเป็นแรงที่ส่งผลมาจากการต้านการเจาะของดินมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับใบสกรูแบบอื่น แต่จะพบว่าใบสกรูแบบ TBWS มี Threshold shear force มากกว่าใบสกรูแบบ CVWS อยู่ก็จริงแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบที่ใบสกรูชนิดเดียวกันที่ความแตกต่างของโหลด 38 48 และ 58 kg ที่แปลง A ใบสกรูแบบ CVWS และ BBWS ที่โหลด 38 และ

48 kg ไม่สามารถแยกความแตกต่างทางสถิติได้ แต่ที่โหลด 58 kg มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนไบสกรูแบบ TBWS ที่โหลด 38 48 และ 58 kg สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างมีนัยสำคัญ ที่แปลง B ไบสกรูทั้ง 3 แบบ ที่โหลด 38 48 และ 58 kg สามารถแยกความแตกต่างกันได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.12.2 Drilling range

1. Left Drilling range

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลจากการวิเคราะห์สถิติของทั้ง 2 พื้นที่การทดลองไบสกรูแบบ BBWS มีค่าของแรง Drilling range มากกว่าไบสกรูแบบ CVWS และ TBWS อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากไบสกรูแบบ BBWS สามารถสร้างแรงดิ่งในการเจาะทำให้ไบสกรูเคลื่อนที่ลงสู่ดินได้ดีกว่าไบสกรูแบบอื่น

2. Right Drilling range

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลจากการวิเคราะห์สถิติของทั้ง 2 พื้นที่การทดลองไบสกรูแบบ BBWS มีค่าของแรง Drilling range มากกว่าไบสกรูแบบ CVWS และ TBWS อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากไบสกรูแบบ BBWS สามารถสร้างแรงดิ่งในการเจาะทำให้ไบสกรูเคลื่อนที่ลงสู่ดินได้ดีกว่าไบสกรูแบบอื่น

4.14 ผลของความเร่งจากการวิเคราะห์สถิติ

4.13.1 แกน x

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลจากการวิเคราะห์สถิติแปลง A ที่โหลด 48 และ 58 kg ไบสกรูแต่ละแบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่โหลด 38 kg ไบสกรูทั้ง 3 แบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดย ไบสกรูแบบ BBWS มีค่ามากที่สุด แปลง B ไบสกรูทั้ง 3 แบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.13.2 แกน y

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลจากการวิเคราะห์สถิติทั้งแปลง A และแปลง B ไบสกรูแบบ BBWS มีค่าของความเร่งสูงสุดและแตกต่างจากไบสกรูแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

4.13.3 แกน z

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลจากการวิเคราะห์สถิติแปลง A ที่โหลด 48 kg ไบสกรูแต่ละแบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่โหลด 38 และ 58 kg ไบสกรูทั้ง 3 แบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยไบสกรูแบบ TBWS มีค่ามากที่สุด แปลง B ไบสกรูทั้ง 3 แบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการประยุกต์เทคนิคไบโอมิเมติกส์ เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างดินกับใบสกรูของเครื่องเจาะดิน

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า หลักการไบโอมิเมติกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับใบสกรูเครื่องเจาะดินสามารถลดการใช้แรงบิดและดินที่ติดแน่นบนใบสกรูได้ โดยใบสกรูแต่ละชนิดให้ผลลัพธ์แตกต่างกันดังนี้

ใบสกรูแบบ (BBWS) ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด เมื่อเทียบกับใบสกรูแบบ (CVWS) และ (TBWS) สังเกตได้จาก รัศมีการกระจายตัวของดินบริเวณปากหลุมที่กว้างกว่าใบสกรูแบบ (CVWS) 20 mm ใช้แรงบิดในการเจาะดินน้อยกว่าใบสกรูแบบ (CVWS) 35% และ (TBWS) 20% อีกทั้งยังลดแรงต้านและเพิ่มแรงดึงให้ใบสกรูในขณะเจาะดิน มีอัตราเร่งในแนวตั้งมากกว่าใบสกรูแบบ (CVWS) 17% และ (TBWS) 22% และสามารถรักษาความคงรูปของผนังหลุมได้ดีและคงทน เนื่องจากใบสกรูแบบ (BBWS) ที่มีการออกแบบลายให้อยู่ด้านล่างของผิวใบ เมื่อใบสกรูทำงานเศษดินที่ถูกตัดเฉือน จะถูกลำเลียงขึ้นไปตามเกลียวด้านบนของใบสกรู เมื่อดินกำลังจะอัดแน่นระหว่างเกลียวใบสกรู ลวดลายที่อยู่ด้านล่างของอีกเกลียวจะทำการพาดินที่กำลังจะอัดแน่นให้ลำเลียงไปตามเกลียวใบสกรูขึ้นสู่พื้นดิน จึงไม่เกิดการอัดแน่นระหว่างเกลียวใบสกรูแบบ (BBWS) ทำให้ใช้แรงบิดในการเจาะน้อย และเจาะได้ลึก

ใบสกรูแบบ (CVWS) ให้ผลลัพธ์รองลงมา จากใบสกรูแบบ (BBWS) โดยใบสกรูแบบ (CVWS) มีรัศมีการกระจายดินบริเวณปากหลุมอยู่ที่ 285 mm ใช้แรงบิดในการเจาะมากกว่าใบสกรูแบบ (BBWS) 15% สามารถลดแรงต้านและเพิ่มแรงดึงในขณะเจาะดิน และมีอัตราเร่งในแนวตั้งน้อยกว่าใบสกรูแบบ (BBWS) 10% แต่ผนังหลุมมีความคงรูปน้อยลง เนื่องจากพื้นผิวใบสกรูแบบมาตรฐานมีความเรียบทั้งด้านบนและด้านล่าง

ใบสกรูแบบ (TBWS) ให้ผลลัพธ์เป็นอันดับสุดท้าย เมื่อเทียบกับใบสกรูแบบ (CVWS) และ (BBWS) โดยมีรัศมีการกระจายตัวของดินบริเวณปากหลุมอยู่ที่ 275 mm ในการเจาะดินทั้งสองพื้นที่ การทดลอง ใบสกรูแบบ (TBWS) ไม่สามารถทำความลึกตามที่กำหนดได้ มีแรงต้านมากขึ้นและเพิ่มแรงดึงใบสกรูในขณะเจาะดินลดลง ใช้แรงบิดในการเจาะดินมากกว่าใบสกรูแบบ (CVWS) 20% และ (BBWS) 48% อีกทั้งการคงรูปของผนังดินในหลุมหลังจากการเจาะนั้นมีความคงทนและความสวยงามลดลง เนื่องจากใบสกรูแบบ (TBWS) ที่มีการออกแบบลายให้อยู่ด้านบนของผิวใบ เมื่อใบสกรูทำงานเศษดินที่ถูกตัดเฉือน จะถูกลำเลียงขึ้นไปตามเกลียวของใบสกรูขึ้นสู่พื้นดิน แต่เนื่องด้วยพื้นผิวด้านบน

ของใบสกรูนั้นมีความขรุขระของลาย ทำให้เศษดินที่ถูกตัดเฉือนเกิดการยึดเกาะบนผิวใบสกรูอย่างหนาแน่น เมื่อเศษดินสะสมมากขึ้น ผิวใบสกรูไม่สามารถสไลด์ผ่านหน้าสัมผัสเศษดินได้ อีกทั้งพื้นผิวด้านล่างใบอีกเกลียวเป็นแบบเรียบ ไม่สามารถเอาชนะแรงยึดเกาะของดินและพาเศษดินขึ้นสู่ผิวดินด้านบนได้ จึงทำให้เกิดการอัดแน่นของดินระหว่างเกลียวใบสกรู และใบสกรูต้องหมุนนำดินที่อัดแน่นไปพร้อมกันขณะที่เจาะ ทำให้แรงบิดในการเจาะเพิ่มขึ้น และไม่สามารถทำความลึกตามที่กำหนดได้ เนื่องจากไม่สามารถคายเศษดินที่เจาะมาแล้วได้ เพราะดินเกิดการอัดแน่นระหว่างเกลียว และผลการทดลองทั้งหมดสามารถดูได้จากใน CD หลังเล่มปริญญาานิพนธ์

5.2 ปัญหาที่พบ

- 5.2.1 แท่นทดสอบเจาะดินมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เป็นอุปสรรคในการเคลื่อนย้ายและการทดลอง
- 5.2.2 ข้อต่อแข็งระหว่างแกนทอร์คเซ็นเซอร์กับใบสกรูเกิดการหลวม ทำให้ใบสกรูเกิดการแกว่ง อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานและบุคคลรอบข้าง
- 5.2.3 ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์เกิดการชำรุดเนื่องจากความถี่การใช้งาน
- 5.2.4 สภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความชื้นและความหนาแน่นของดิน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 ควรสร้างระบบผ่อนแรงในการยกหัวเจาะ เพื่อลดจำนวนคนในการทดลอง
- 5.3.2 ควรสร้างข้อต่อสวมระหว่างแกนทอร์คเซ็นเซอร์กับแกนใบสกรูให้มีความพอดี เพื่อลดการสั่นและการแกว่งของใบสกรู
- 5.3.3 ซ่อมระบบสตาร์ทเครื่องยนต์และโซลีนอยด์ที่แกนสไลด์ก่อนการใช้งานครั้งถัดไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ไทยเทคมแมชชีนดิไซน์ จำกัด. (2565). “การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรจะทำให้เกิดประโยชน์” **เครื่องจักรกลการเกษตร**. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2565. เข้าถึงได้จาก <https://ttmdthailand.com/เครื่องจักรกลเกษตร/>
- [2] Sun, Jiyu. et al. (2018). “DEM simulation of bionic subsoilers (tillage depth >40 cm) with drag reduction and lower soil disturbance characteristics” **Advances in Engineering Software** 119, (May): 30-37.
- [3] Nakanishi, Ryota. et al. (2020). “Tractive performance analysis of a lugged wheel by open-source 3D DEM software” **Journal of Terramechanics** 92, (December): 51-65.
- [4] Wang, Yueming. et al. (2019). “DEM and soil bin study on a biomimetic disc furrow opener” **Computers and Electronics in Agriculture** 156, (January): 209-216.
- [5] Chang, Zhiyong. et al. (2016). “Design and Experiments of Biomimetic Stubble Cutter” **Journal of Bionic Engineering** 13, 2 (April): 335-343.
- [6] Tokhi, H., G. Ren, and J. Li. (2016). “Laboratory study of a new screw nail and its interaction in sand” **Computers and Geotechnics** 78, (September): 144-154.
- [7] Wang, Yueming. et al. (2020). “Field experiments evaluating a biomimetic shark-inspired (BioS) subsoiler for tillage resistance reduction” **Soil & Tillage Research** 196, (February): 104432.
- [8] Tong, Jin. et al. (2015). “Design and Tests of Biomimetic Blades for Soil-rototilling and Stubble-breaking” **Journal of Bionic Engineering** 12, 3 (July): 495-503.
- [9] Tong, Jin. et al. (2015). “Compaction Performance of Biomimetic Press Roller to Soil” **Journal of Bionic Engineering** 12, (January): 152-159.
- [10] Yuan, Yuhuan. et al. (2020). “Effects of shapes of biomimetic coupling units on wear resistance of 7075 aluminum alloy” **Optics & Laser Technology** 121, (January): 105786.

- [11] Li, Bo, Chen Ying, and Jun Chen. (2016). “Modeling of soil–claw interaction using the discrete element method (DEM)” **Soil & Tillage Research** 158, (May): 177-185.
- [12] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2564). **ไบโอมิเมติกส์**. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก [https:// th.wikipedia.org/wiki/ไบโอมิเมติกส์](https://th.wikipedia.org/wiki/ไบโอมิเมติกส์)
- [13] Oriental motor. (2543). **การคำนวณเลือกมอเตอร์**. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.orientalmotor.co.th/om/technical/general/motor-sizing-calculations.html>
- [14] นายวิฑูร สุจิตติธรรการ. (2555). เอกสารประกอบการสอนวิทยาศาสตร์. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <http://203.159.169.9/34/Pages/Content.aspx?cid=ff07a421-b238-4d84-9f12-74a58d057eb6&mode=c>
- [15] นายปรีดี สีดา. (2552). **ความแข็งแรงของดิน**. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก http://ton-civil89.blogspot.com/2009/11/blog-post_24.html
- [16] วรจกร ไม้เรียง และนงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์. (2547). “ความแข็งแรงของดินไม่อิมตัวเพื่อการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขา.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17] อภิชาติ ศรีชาติ. (2562). “เกลียวลำเลียงหรือสกรูขนถ่าย.” เอกสารประกอบการสอน ME 41409 วิชาการขนถ่ายวัสดุ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
- [18] อนุรัตน์ ศฤงคารภาษิต. (2554). **ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช**. เข้าถึงเมื่อ 5 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก http://www.arcims.tmd.go.th/Research_files/ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช.pdf
- [19] พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี. (2560). “สมบัติทางกายภาพของดิน.” เอกสารประกอบการสอน รายวิชาปฐพีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- [20] Ronald Vargas Rojas (FAO-GSP). (2545). **แนวปฏิบัติการประเมินการจัดการดินอย่างยั่งยืน**. เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.lds.go.th/WEB_Lancang/TH/Manual/TH/ProtocolfortheassessmentofSustainableSoilManagement.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



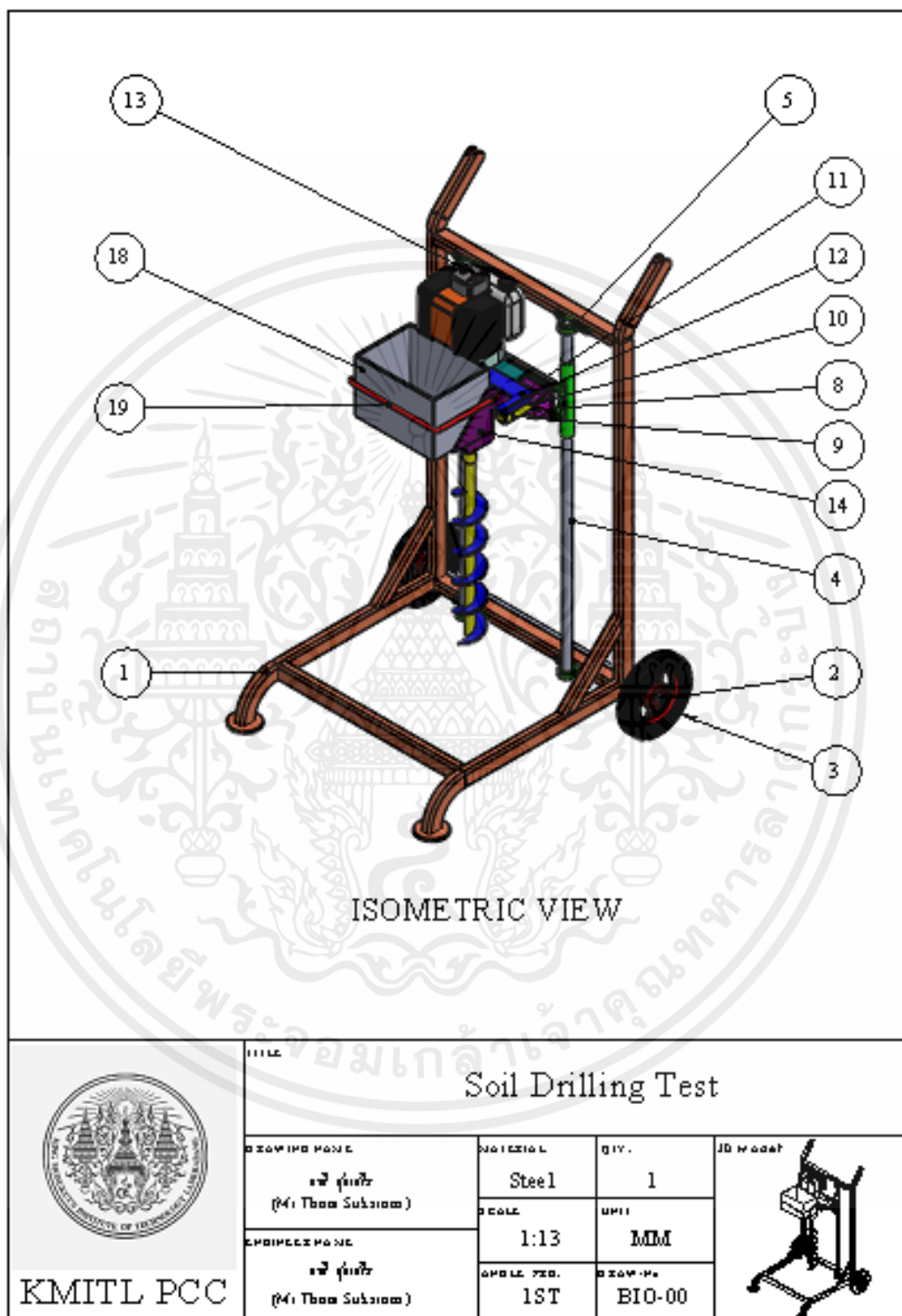
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



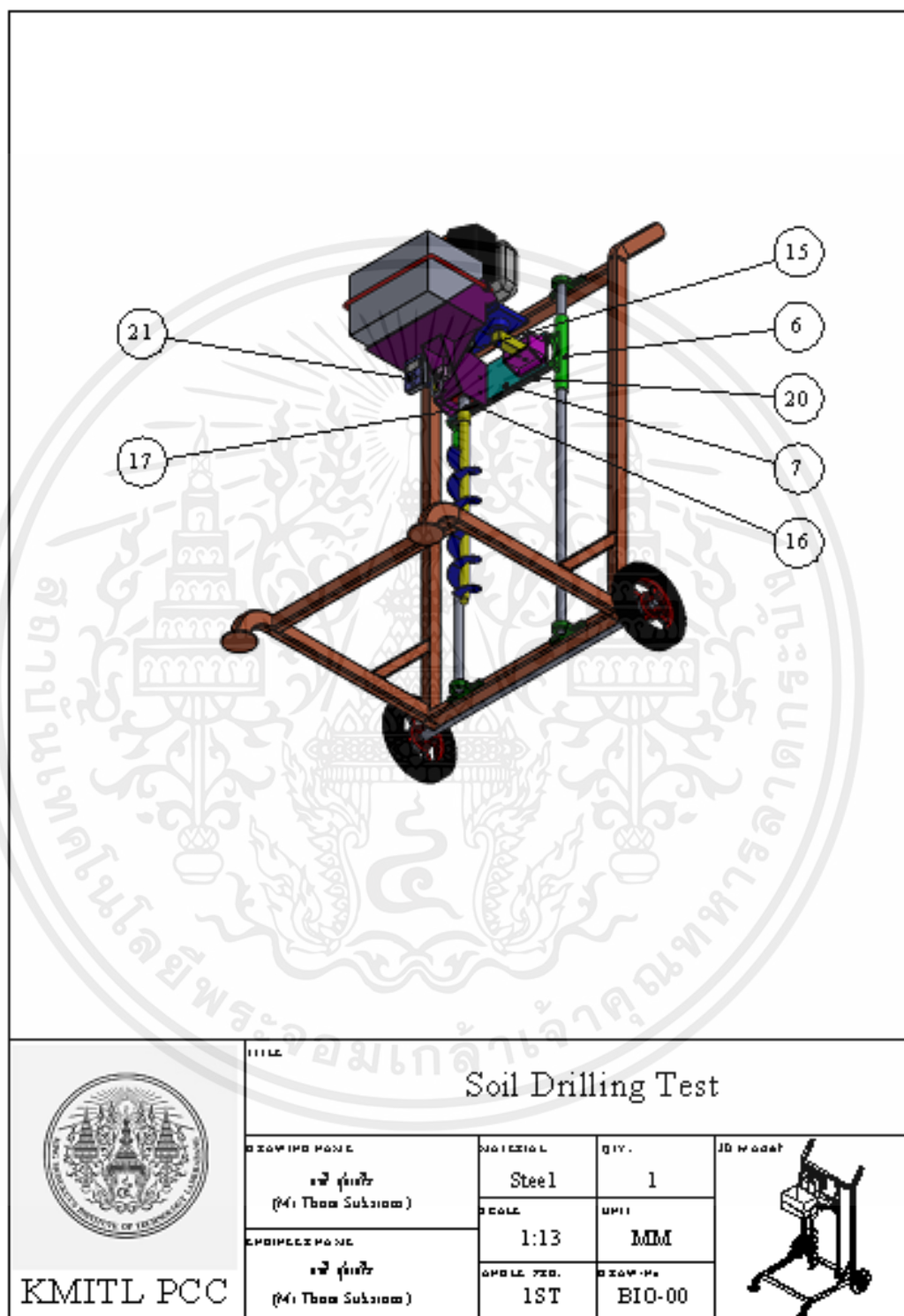
ภาคผนวก ก
แบบอุปกรณ์และชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 แท่นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แท่นทดสอบ (ต่อ)

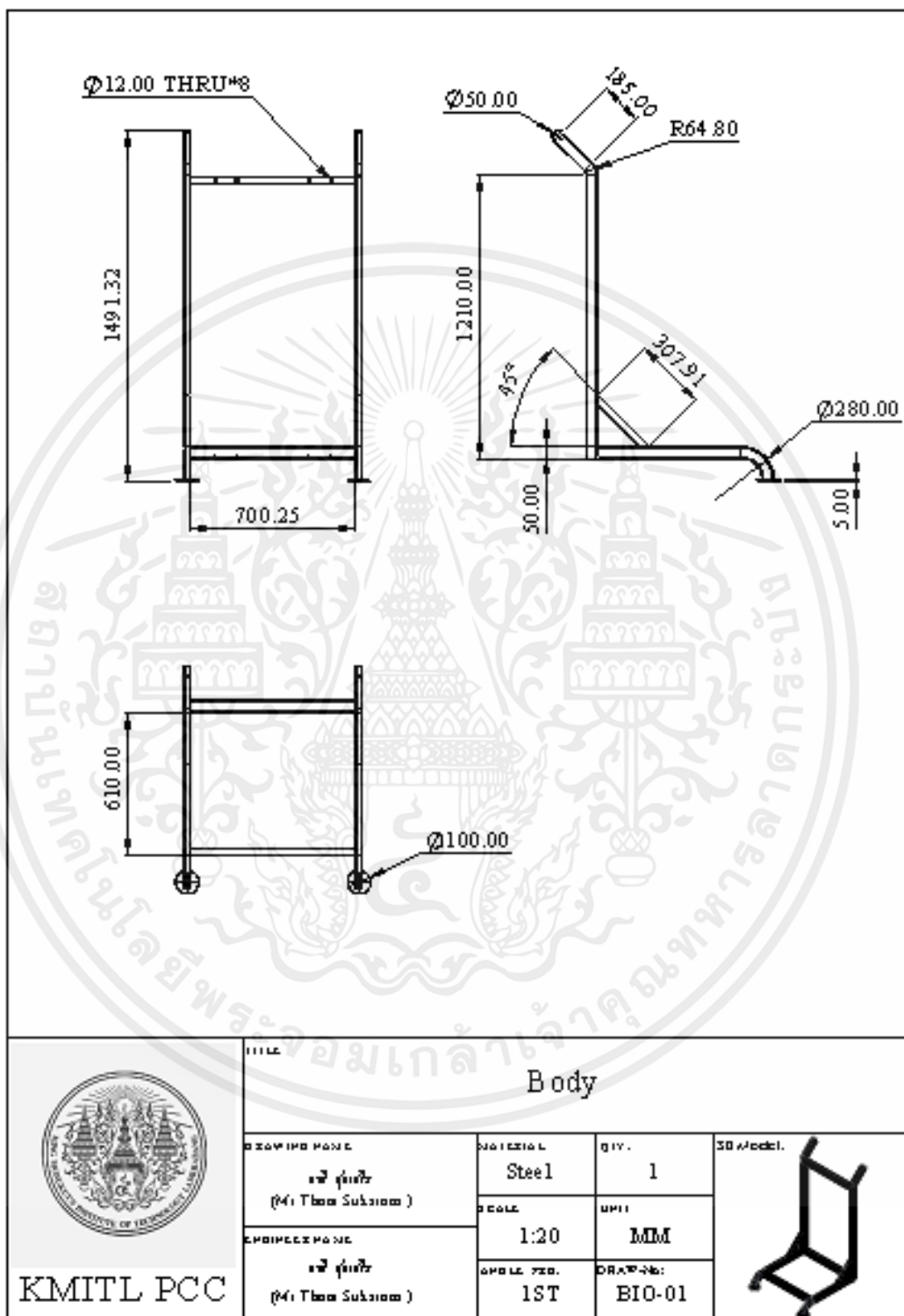
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO	TITLE	DRAW NO
1	Body	BIO-01
2	Shaft Wheel	BIO-02
3	Wheel	BIO-03
4	Slide Bar	BIO-04
5	Bearing Unit	BIO-05
6	Smoke Cylinder	BIO-06
7	Forced Beam	BIO-07
8	Adapter	BIO-08
9	Load Cell	BIO-09
10	Shim	BIO-10
11	Engine Mounting Plate	BIO-11
12	Lock Engine Mounting Plate	BIO-12
13	Engine	BIO-13
14	Mounting Base	BIO-14
15	Adapter To Torque Sensor	BIO-15
16	Torque Sensor	BIO-16
17	Adapter To Blad	BIO-17
18	Load Box	BIO-18
19	Camp Lock	BIO-19
20	Shaft Force	BIO-20
21	Graphtec	BIO-21

 KMITL PCC	TITLE Parts list			
	DRAWING NO. รหัส คู่มือ (4:1300 Sub:000)	MATERIAL Steel	QTY. 1	
	DRAWING NO. รหัส คู่มือ (4:1300 Sub:000)	SCALE 1:13	UNIT MM	
	DRAWING NO. รหัส คู่มือ (4:1300 Sub:000)	MODEL NO. 1ST	DRAWING NO. BIO-00	

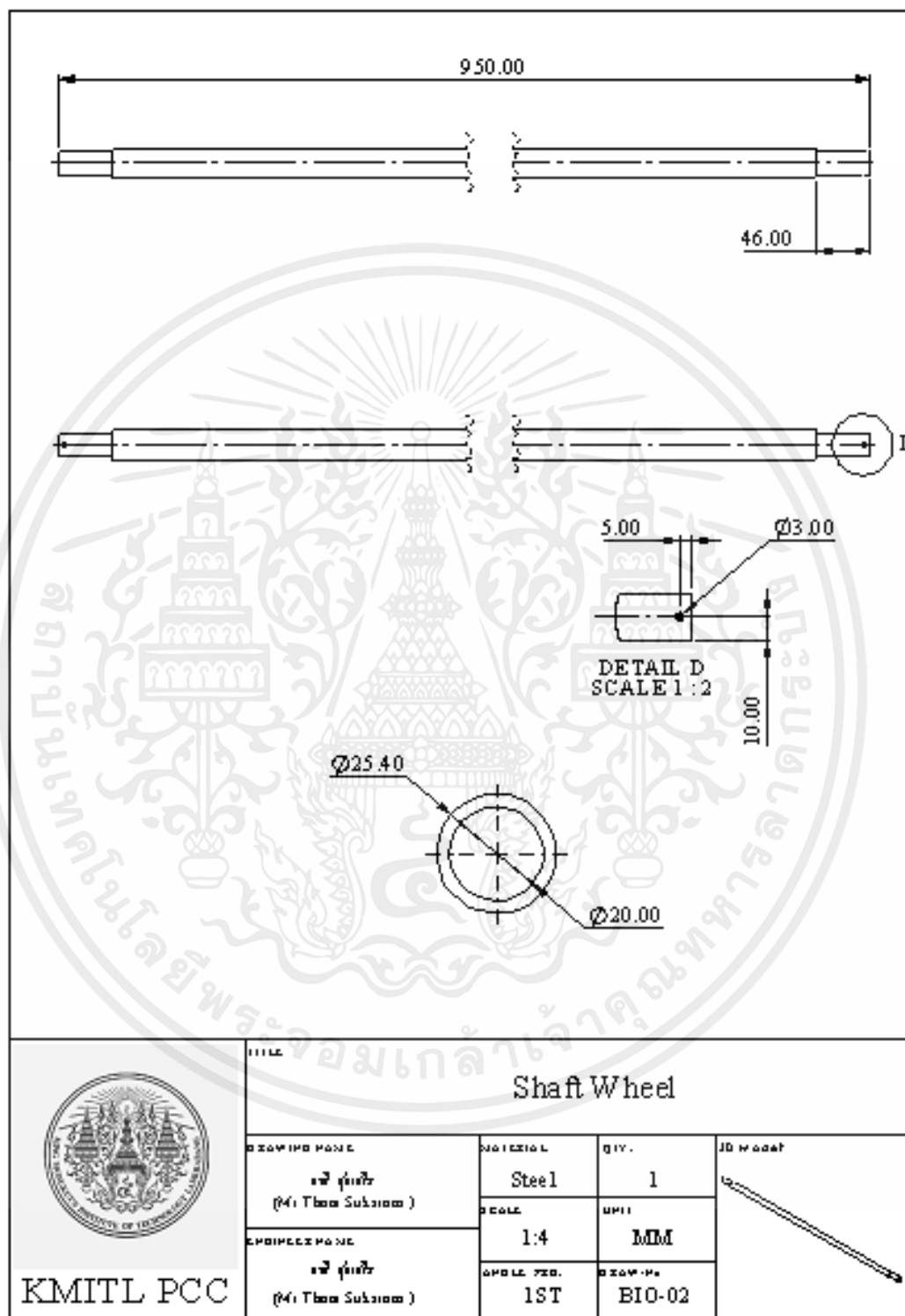
รูปที่ ก.3 องค์ประกอบในส่วนต่าง ๆ ของแท่นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






รูปที่ ก.4 โครงแท่นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



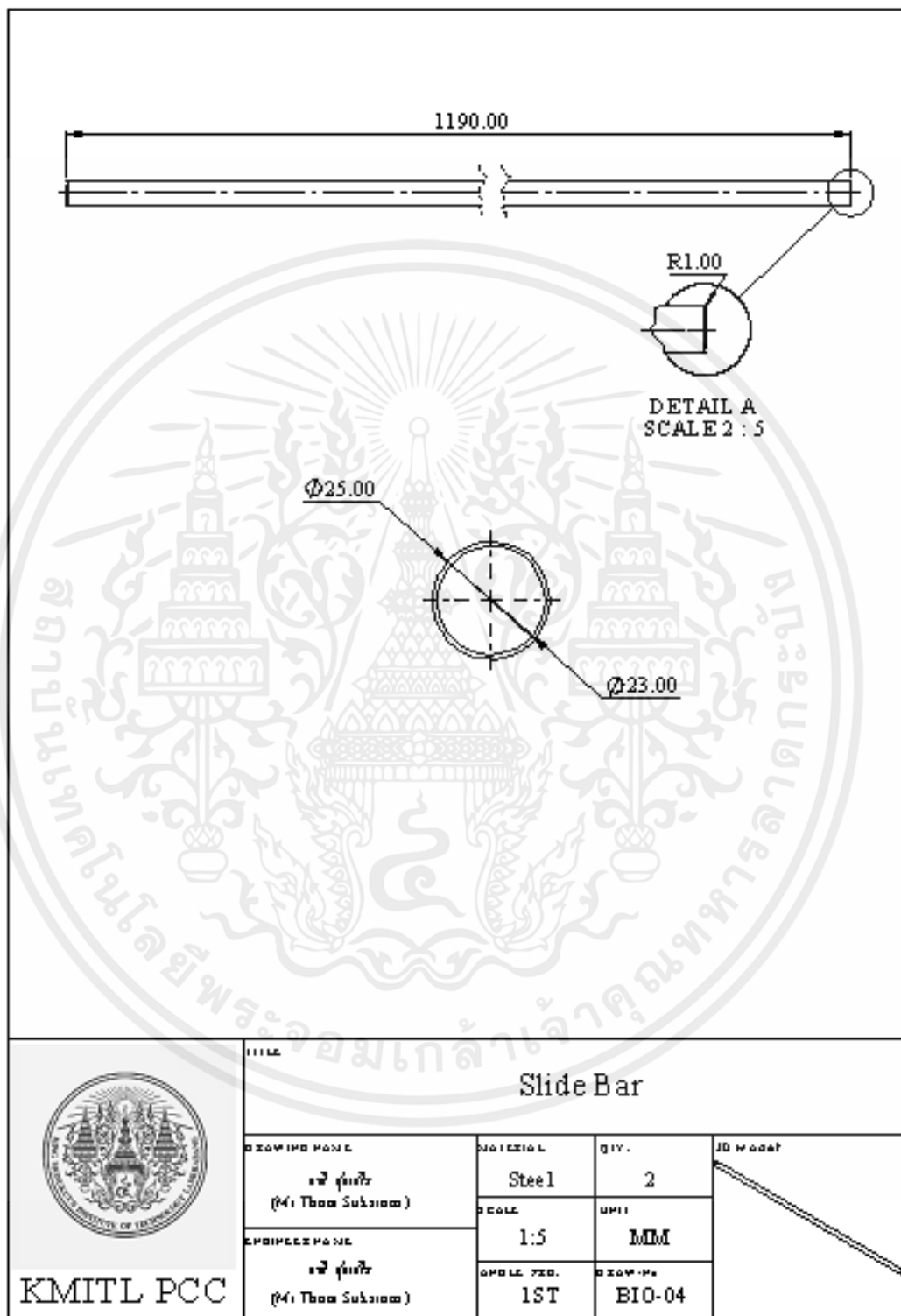
รูปที่ ก.5 เพลาล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				
Details	Materials	Size		
Diameter	-	250 mm		
Shaft Wheel	Steel	20 mm		
Bearing	Bearing Steel	6304		
Maximum Load	-	200 Kg.		
Wheel	Cast Iron	-		
 KMITL PCC	Wheel			
	DESIGNER NAME	MATERIAL	QTY.	
	EMPLOYEE NAME	Cast Iron	2	
		SCALE	UNIT	
X:X		MM		
DATE DES.	DATE PR.			
1ST	BIO-03			

รูปที่ ก.6 ล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



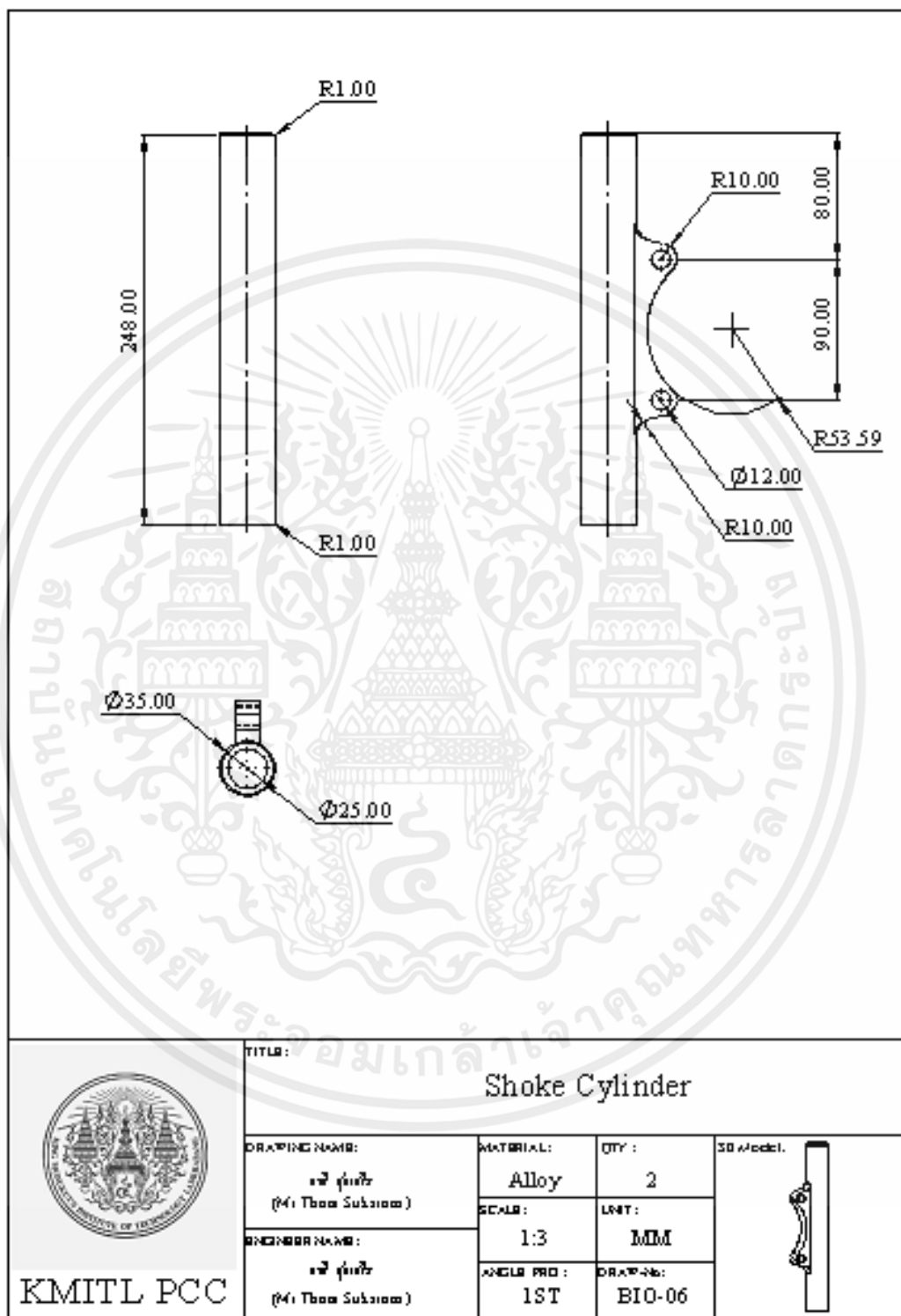
รูปที่ ก.7 ชุดสไลด์บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



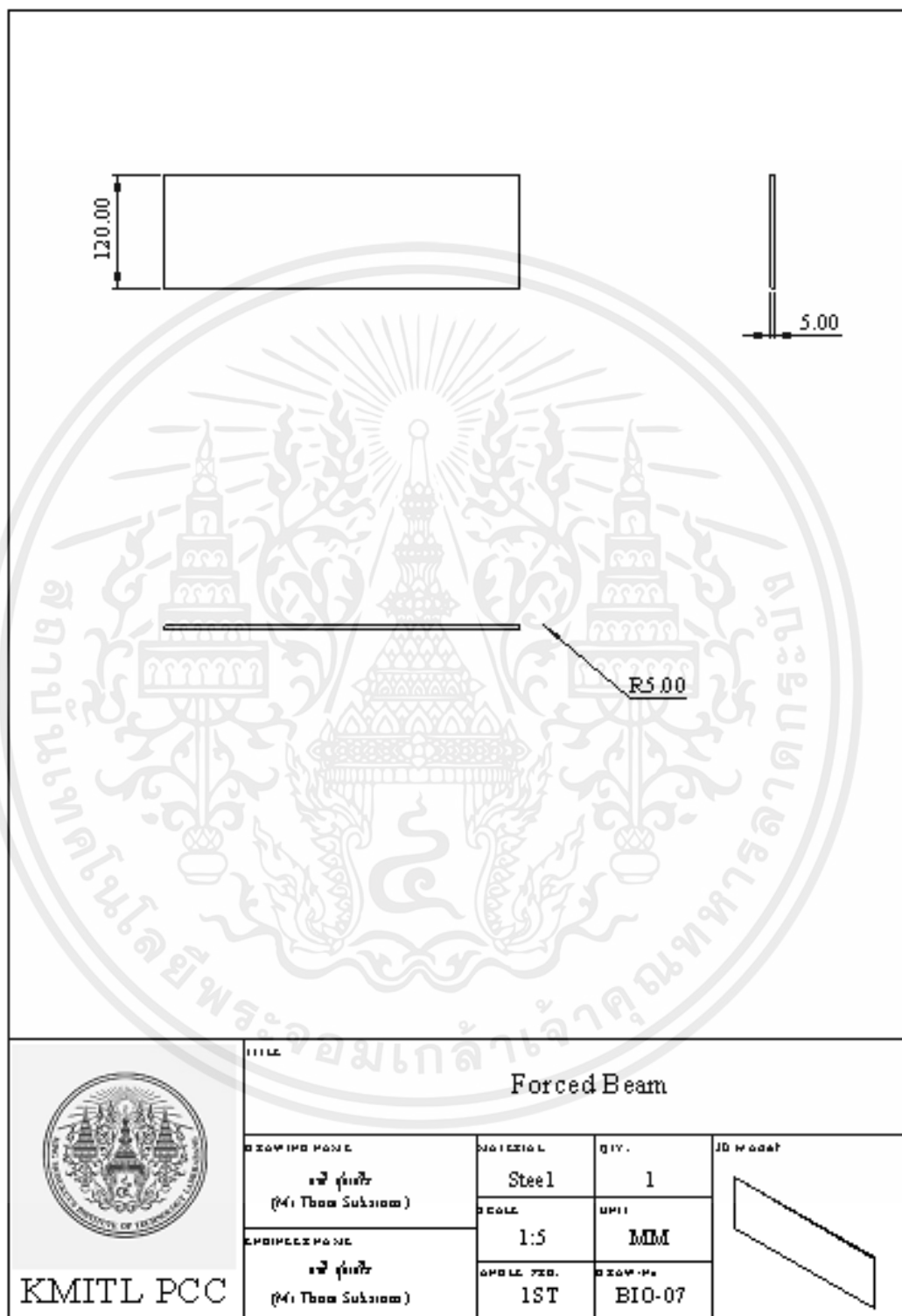
รูปที่ ก.8 ตลับลูกปืนตุ๊กตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



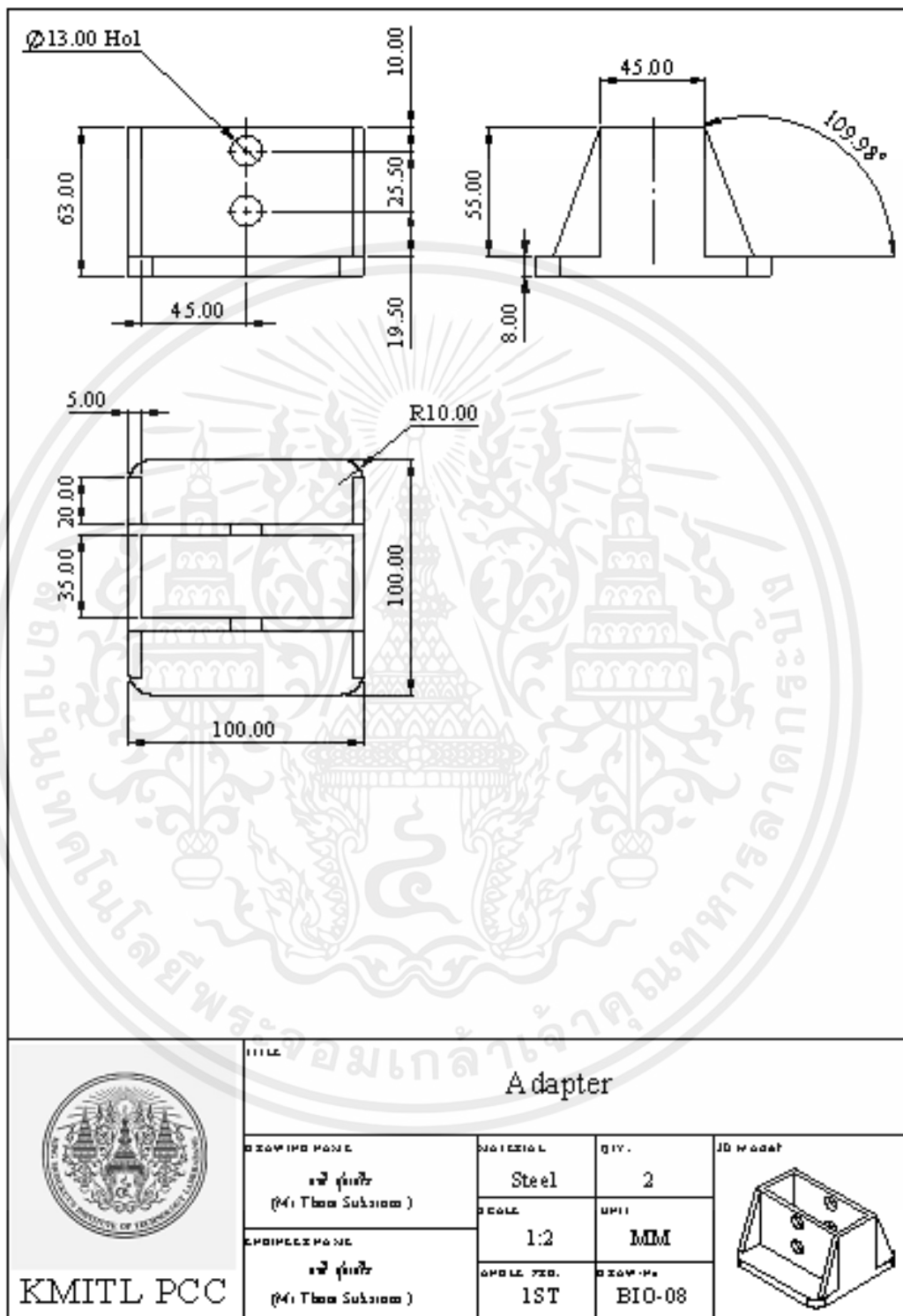
รูปที่ ก.9 โฉล็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 คานยึดโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 กล่องสำหรับยึดโพลดเซลล์

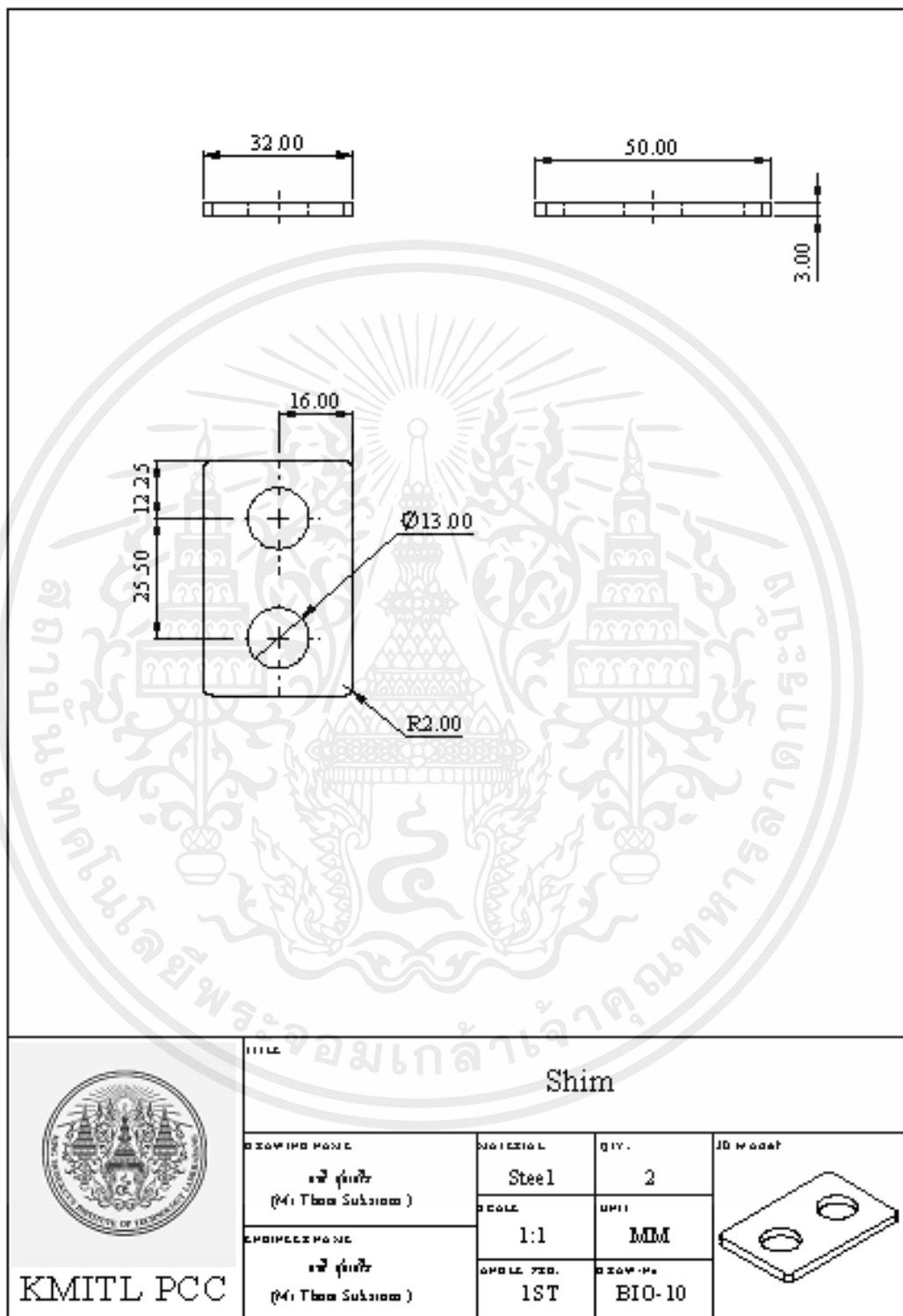
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Capacity	250kg		
Material	Alloy steel/stainless steel		
Rated Output(mV/V)	2.0±0.005 3.0±0.005		
Nonlinearity	±0.02% FS		
Hysteresis	±0.02% FS		
Repeatability	±0.01% FS		
 KMITL PCC	TITLE Load Cell Shear Beam		
	DRAWING NO.	MATERIAL Stainless	QTY. 1
	EMPIECE NO.	SCALE X:X	UNIT MM
		AMPLE NO. 1ST	DRAWING NO. BIO-09

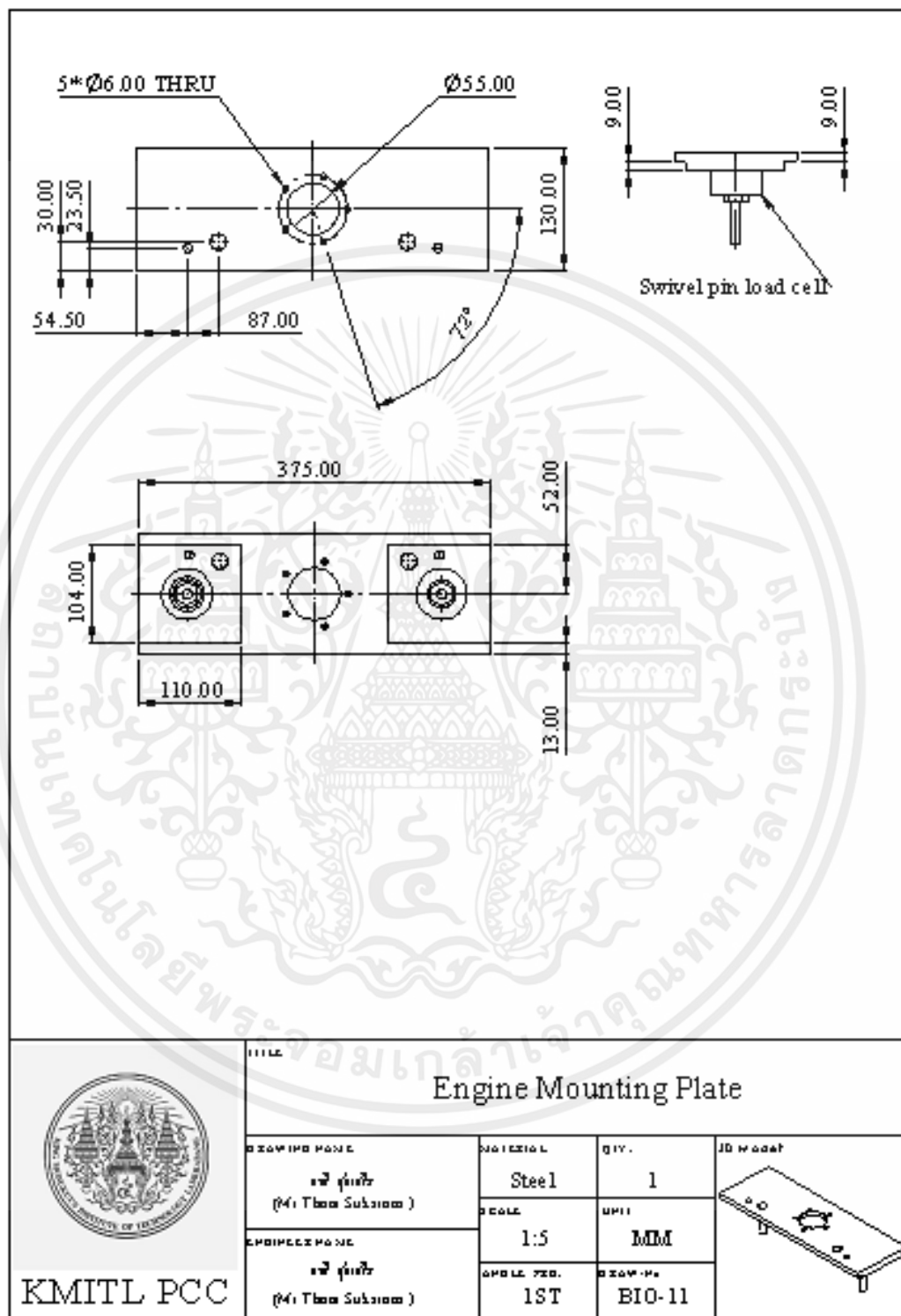
รูปที่ ก.12 โหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



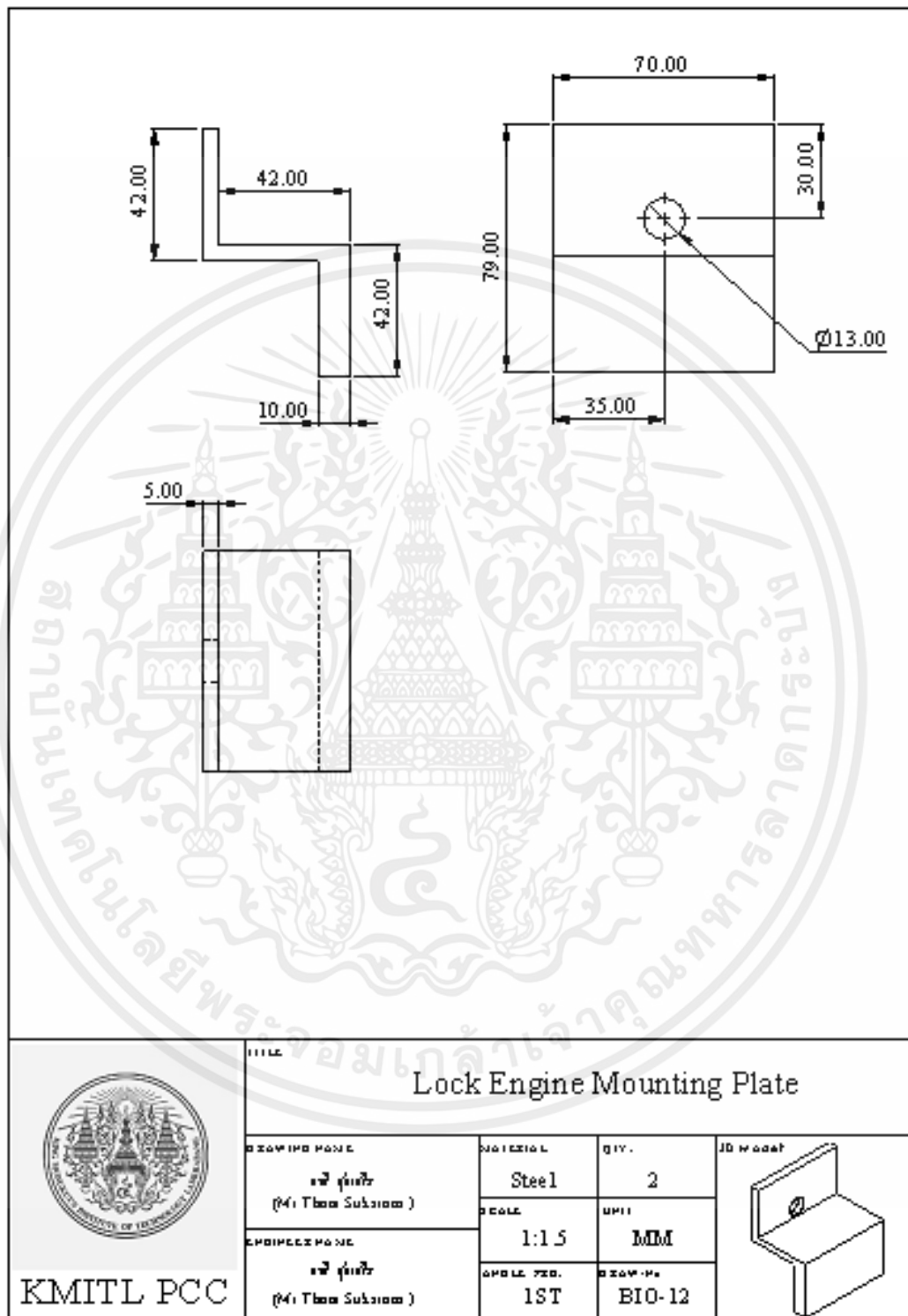
รูปที่ ก.13 แผ่นชิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



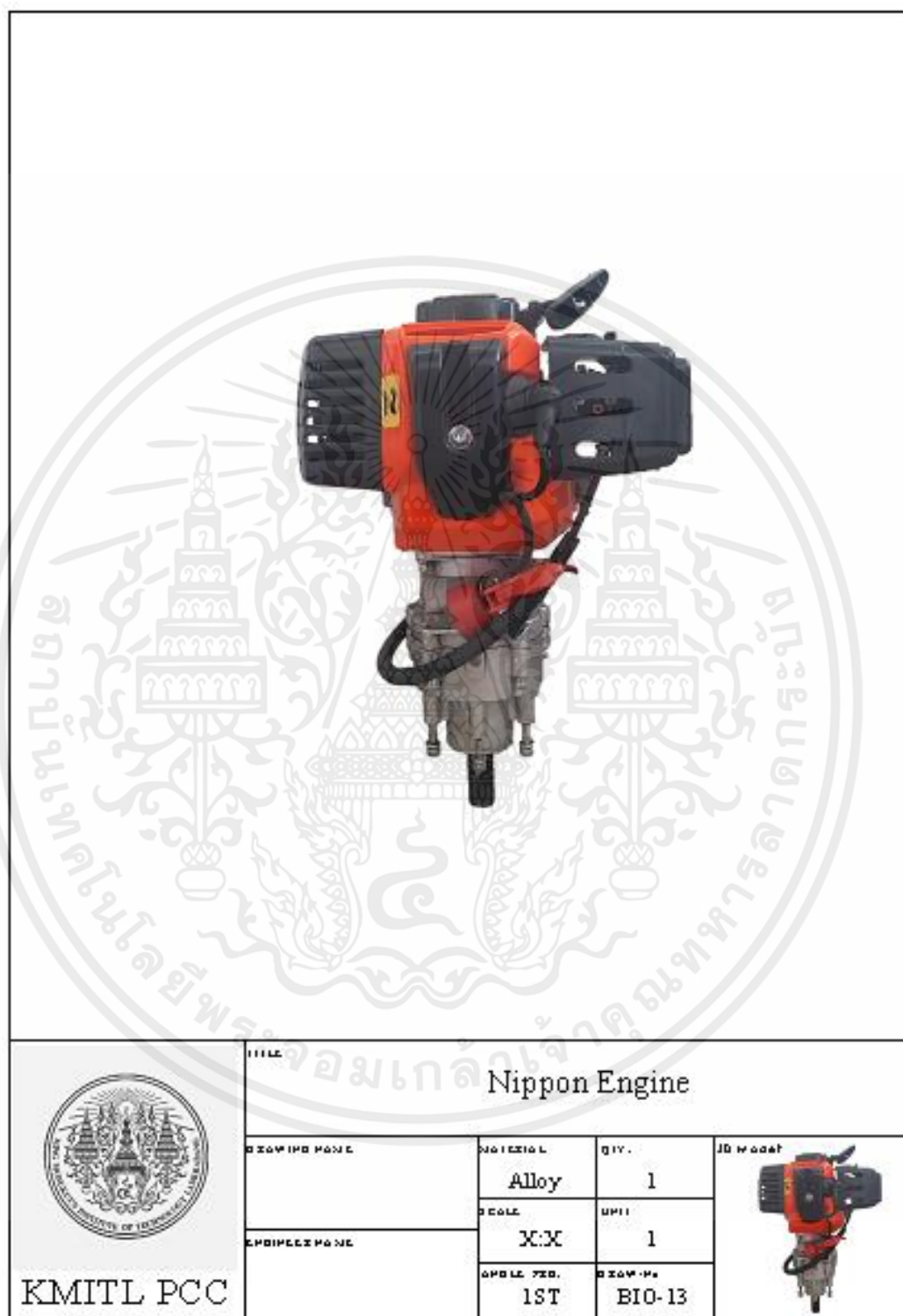
รูปที่ ก.14 แผ่นยึดเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



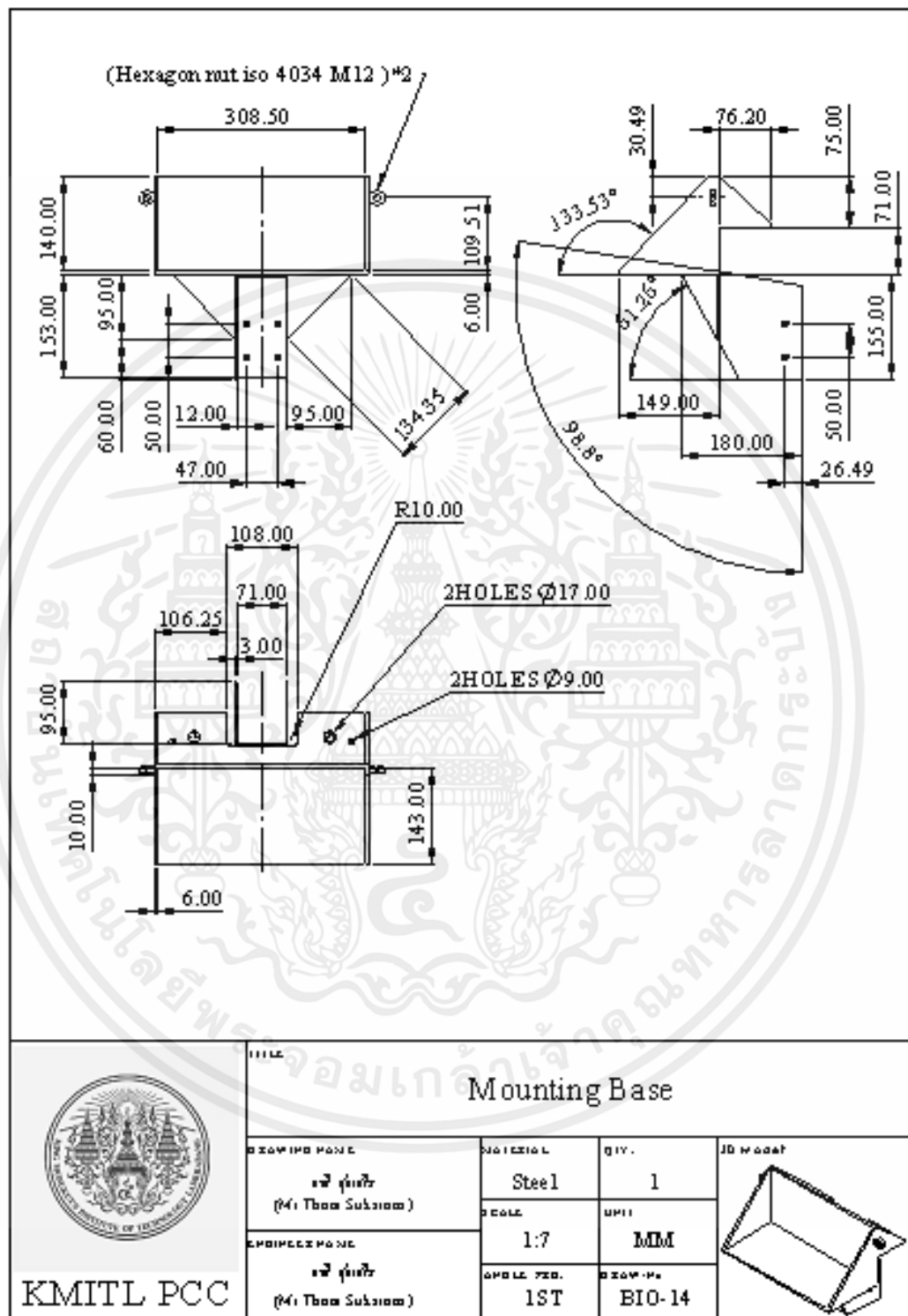
รูปที่ ก.15 แผ่นล๊อคตัวยึดเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



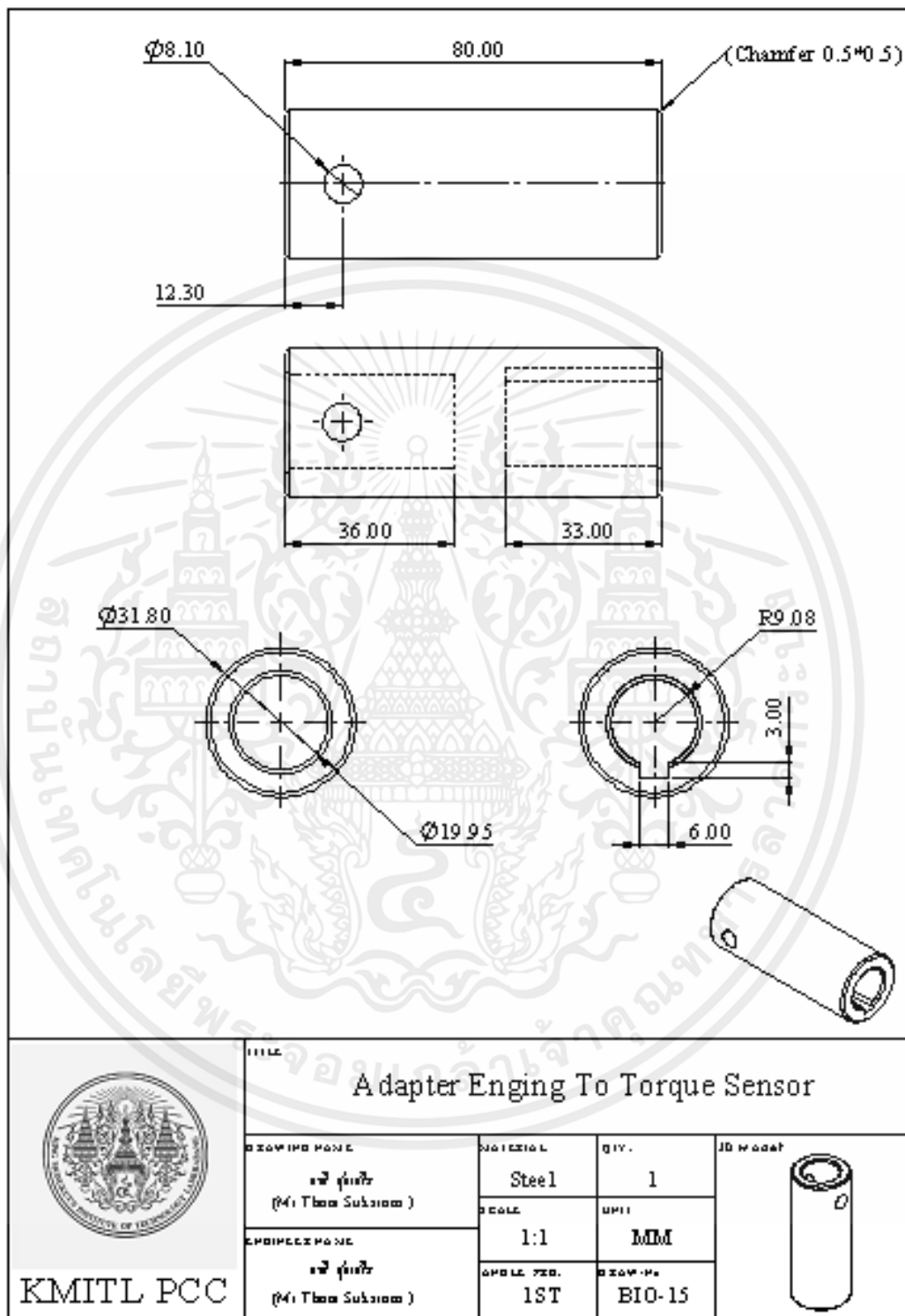
รูปที่ ก.16 มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 ฐานตั้งเครื่องยนต์


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ก.18 ข้อต่อระหว่างเพลาทอร์คเซนเซอร์กับใบสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

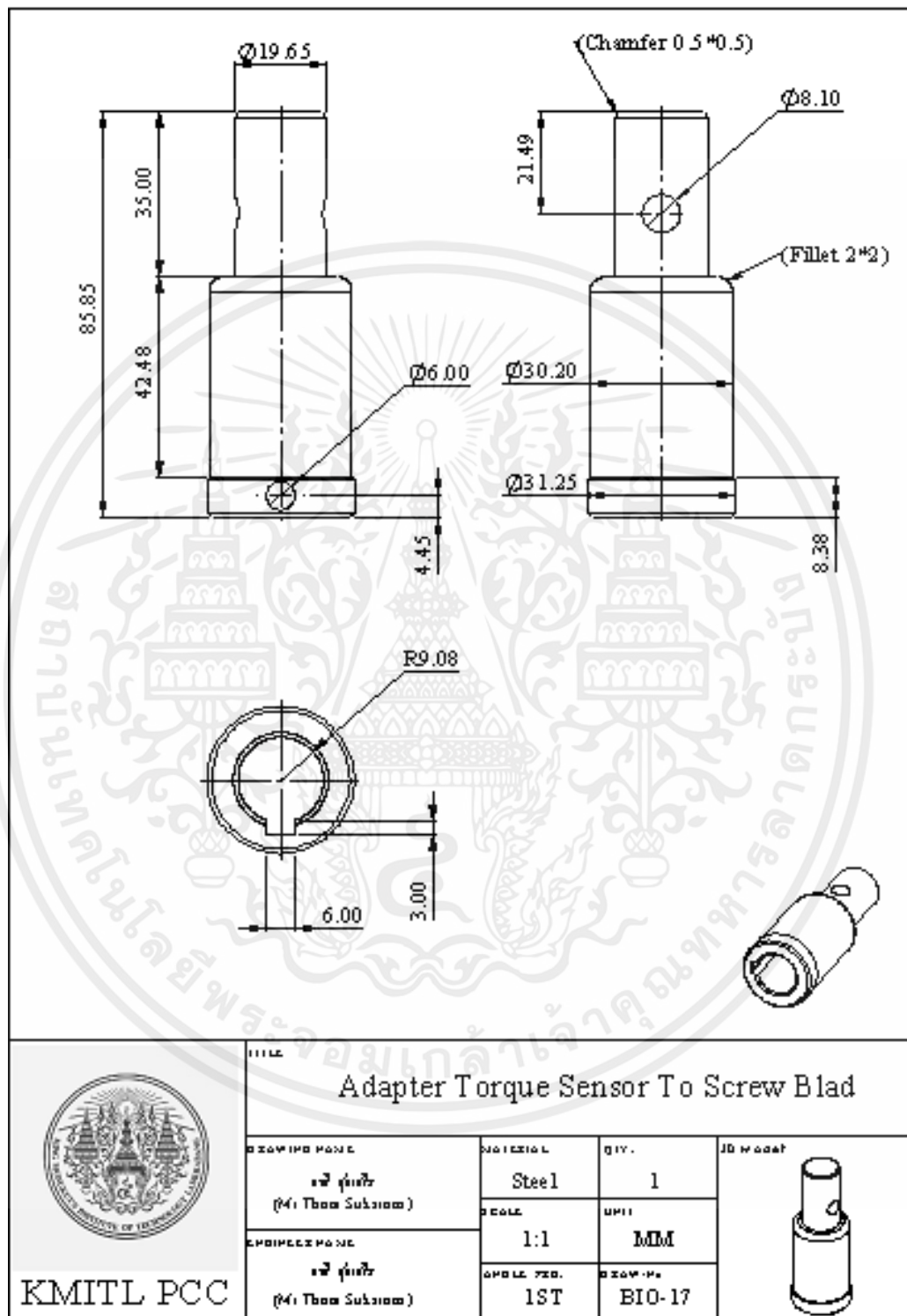
Model: DYN - 200	Range: 100 N.m
Voltage 24 VDC	Out: 0-10 V
Number: 60H95H	Date: 02.12.2022



 KMITL PCC	TITLE Torque Sensor			
	DESIGNER NAME	SUBJECTUAL Alloy	QTY. 1	
	EMPLOYEE NAME	SCALE X:X	UNIT MM	
		APPROL. NO. 1ST	DESIGN. No. B10-16	

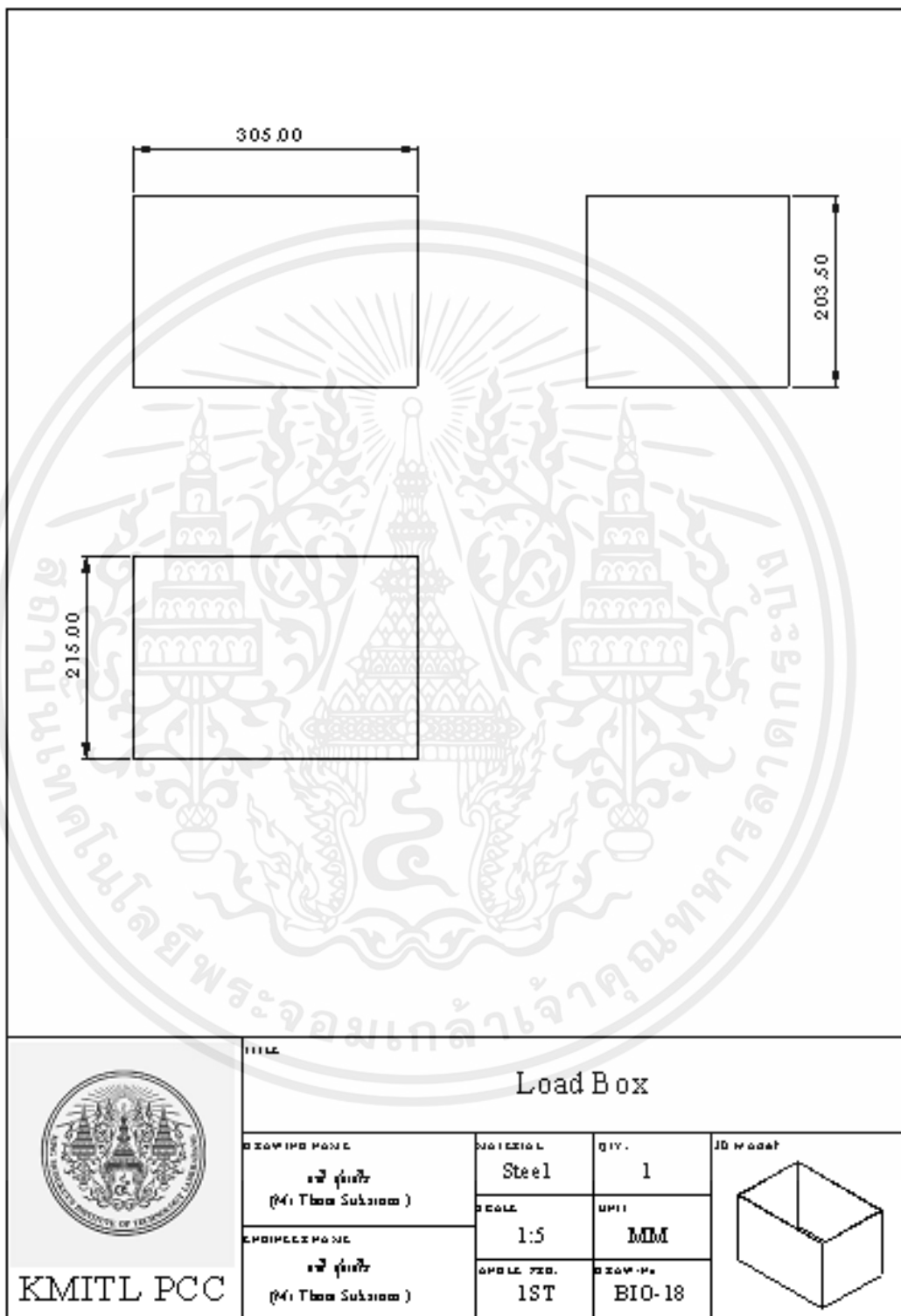
รูปที่ ก.19 ทอร์คเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



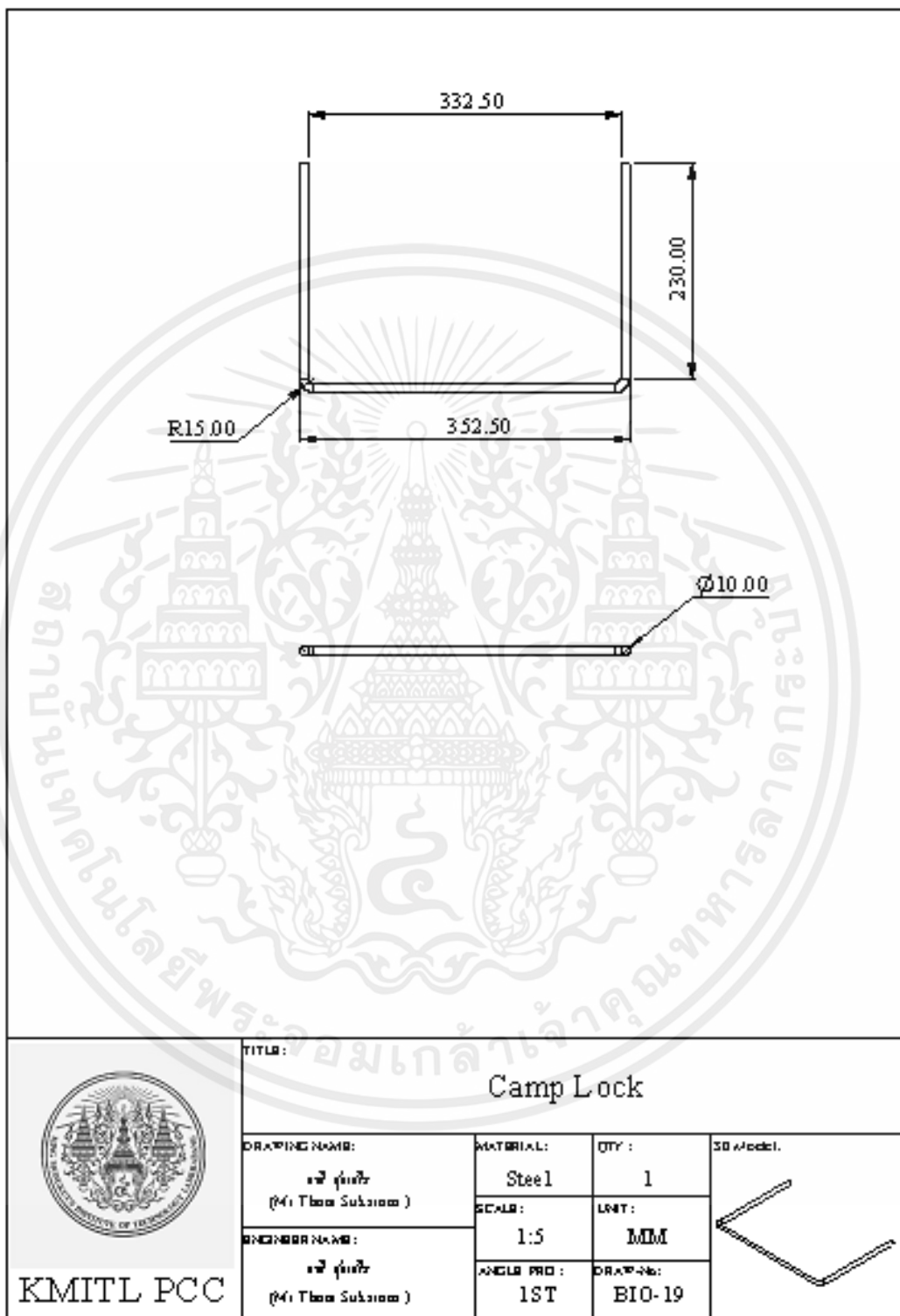
รูปที่ ก.20 ข้อต่อระหว่างใบสกรูกับทอร์คเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



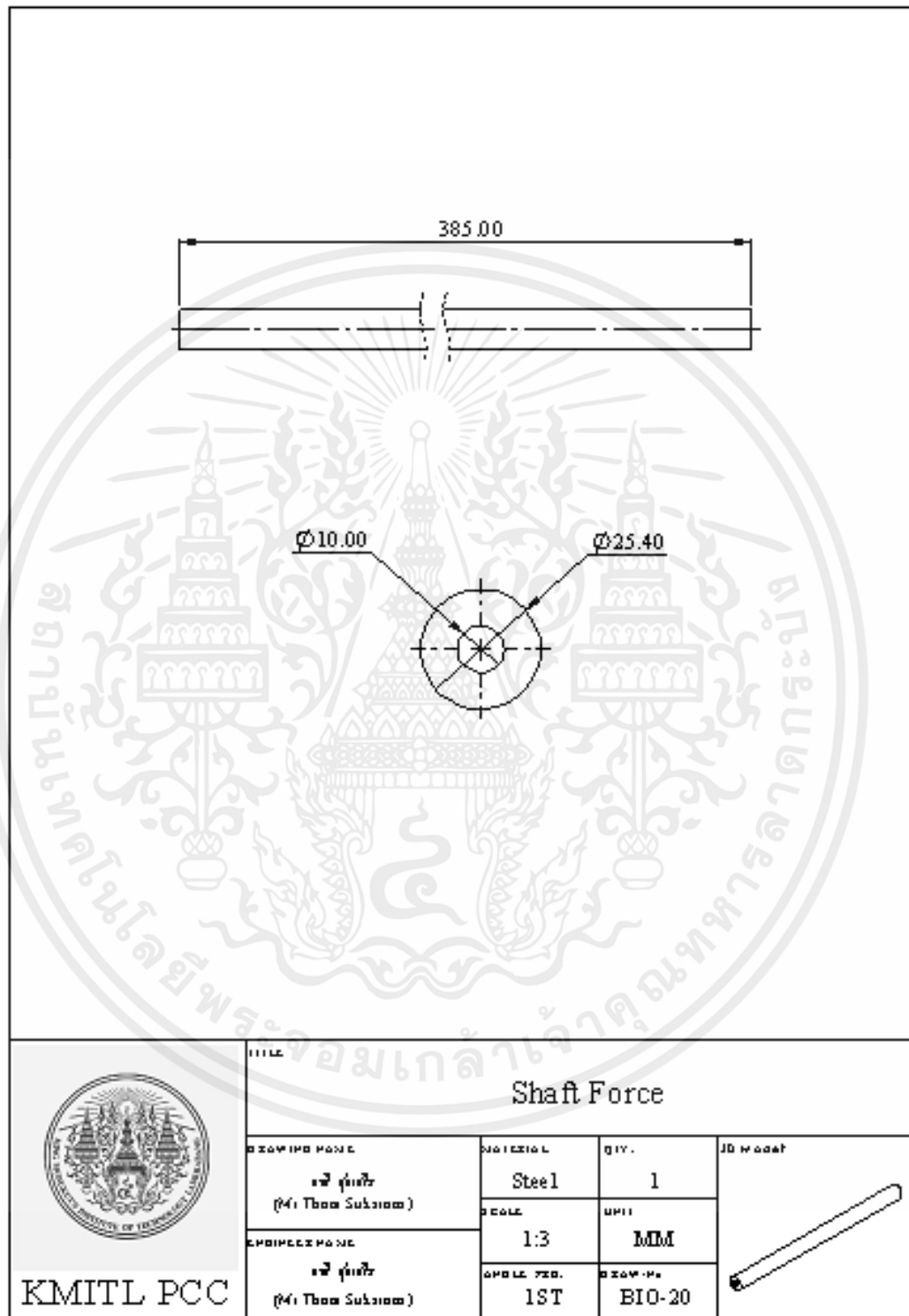
รูปที่ ก.21 กล่องใส่โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ก.22 เหล็กรัดกล่องโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.23 เพลายึดปลอกโซ่คสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				
MODEL	GS-3AT			
Measurement Data	x y z Acceleration, Temperature			
Acceleration Measurement Degree of Accuracy	±2% of F.S. (including non-linearity)			
Noise	25mG RMS			
Acceleration	±2 G (20m/s ²), ±5 G (50m/s ²), ±10 G (10m/s ²)			
Temperature Measurement Range	-10°C to 50°C (C-MOS Sensor)			
Temperature	-10 ≤ TS < 50: ± 1.0 °C			
Sampling Intervals	Memory Mode 5 10 20 50 100 ms Direct Mode 0.5 1 2 5 10 20 30 sec 1 2 5 10 20 30 60 min			
Operating Environment	-10° to 50°C, 80% RH and below (non-condensed)			
 KMITL PCC	TITLE: Graphtec GS-3AT			
	DRAWING NAME:	MATERIAL: Plastic	QTY : 1	3D Model.
	MEMBER NAME:	SCALE: X:X	UNIT: MM	
		ANGLE PRO: 1ST	DRAWING: BIO-21	

รูปที่ ก.24 เซนเซอร์วัดความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต (Cost Analysis)

Total cost = Fixed cost + Variable Cost

ตาราง ข.1 ต้นทุนการผลิต (Fixed Cost)

ต้นทุนคงที่	ราคา (บาท)
แผ่นเหล็กกลายตีนไก่ต่อ 1 ใบ	143
ดอกสว่านเจาะปูน	70
ค่าแรง	100
รวม	313

ตาราง ข.2 ต้นทุนขายทางการตลาด (Variable Cost)

ต้นทุนผันแปร	ราคา (บาท)
ขนส่งและการเดินทาง	50
รับประกันความเสียหายของใบสกรู (1ปี)	100
รวม	150

ดังนั้นต้นทุนการผลิตทั้งหมด (Total Cost) = 313 + 150 = 463 บาท

การตั้งราคาขาย = ต้นทุนการผลิตทั้งหมด + กำไรที่ต้องการ (100%)

ราคาขาย = 463 + 35 = 498 บาท

ดังนั้น ราคาขายที่ตั้งไว้คือ 500 บาท

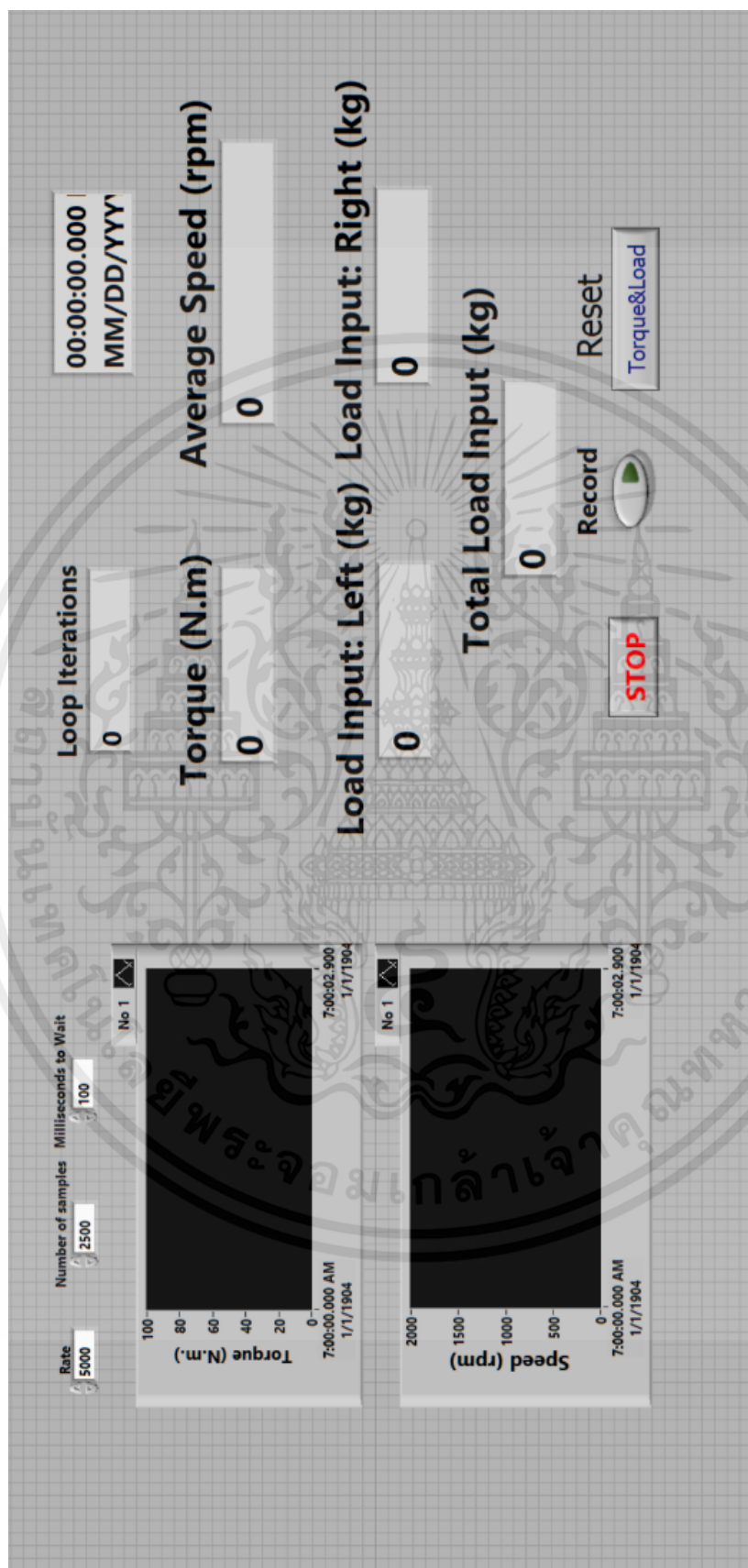
หมายเหตุ ราคาเหล็กที่ใช้ต่อใบสกรูแบบมาตรฐาน 105 บาท

ราคาเหล็กที่ใช้ต่อใบสกรูแบบไปโอมิเมติกส์ 143 บาท

ราคาต่างกันอยู่ที่ 31.22%

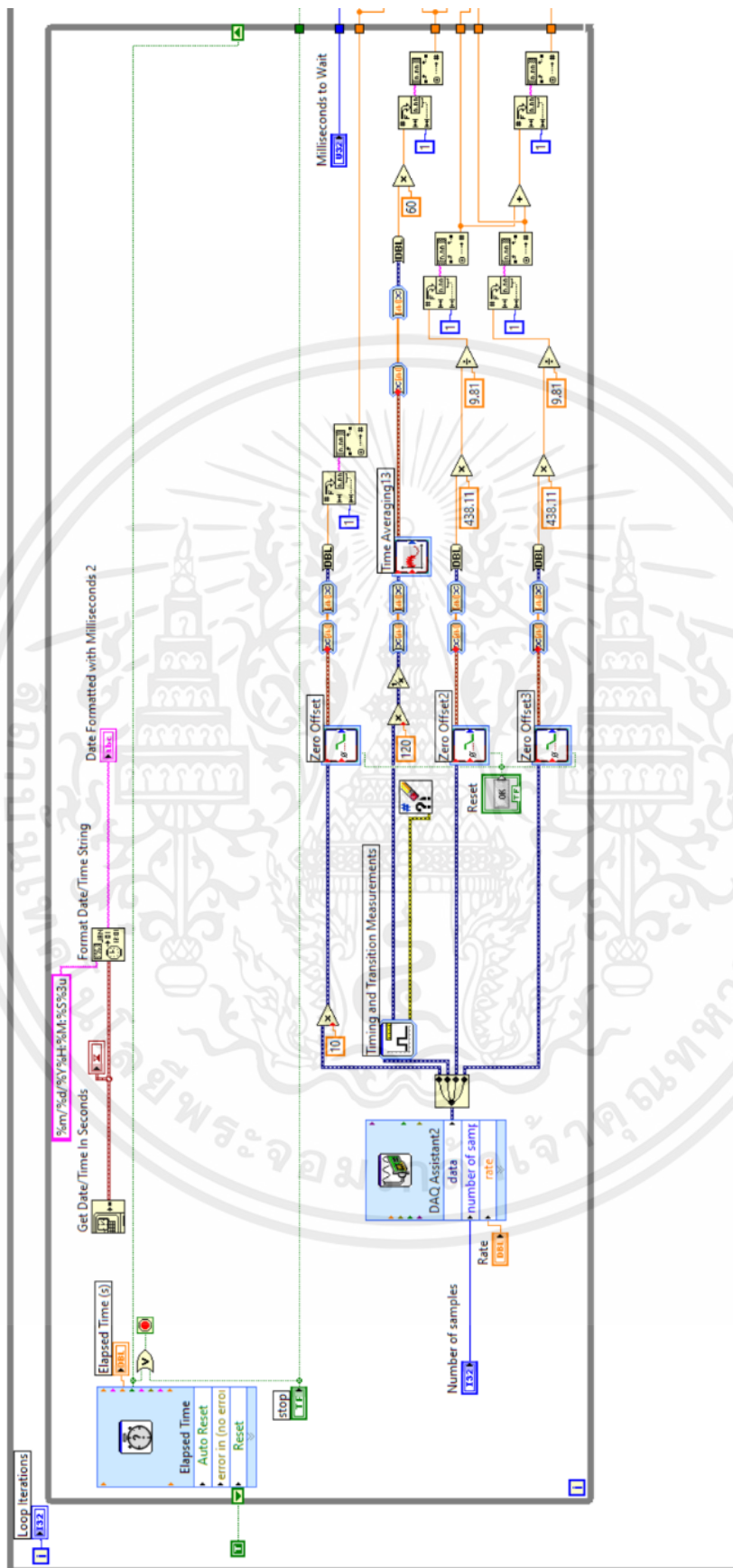


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



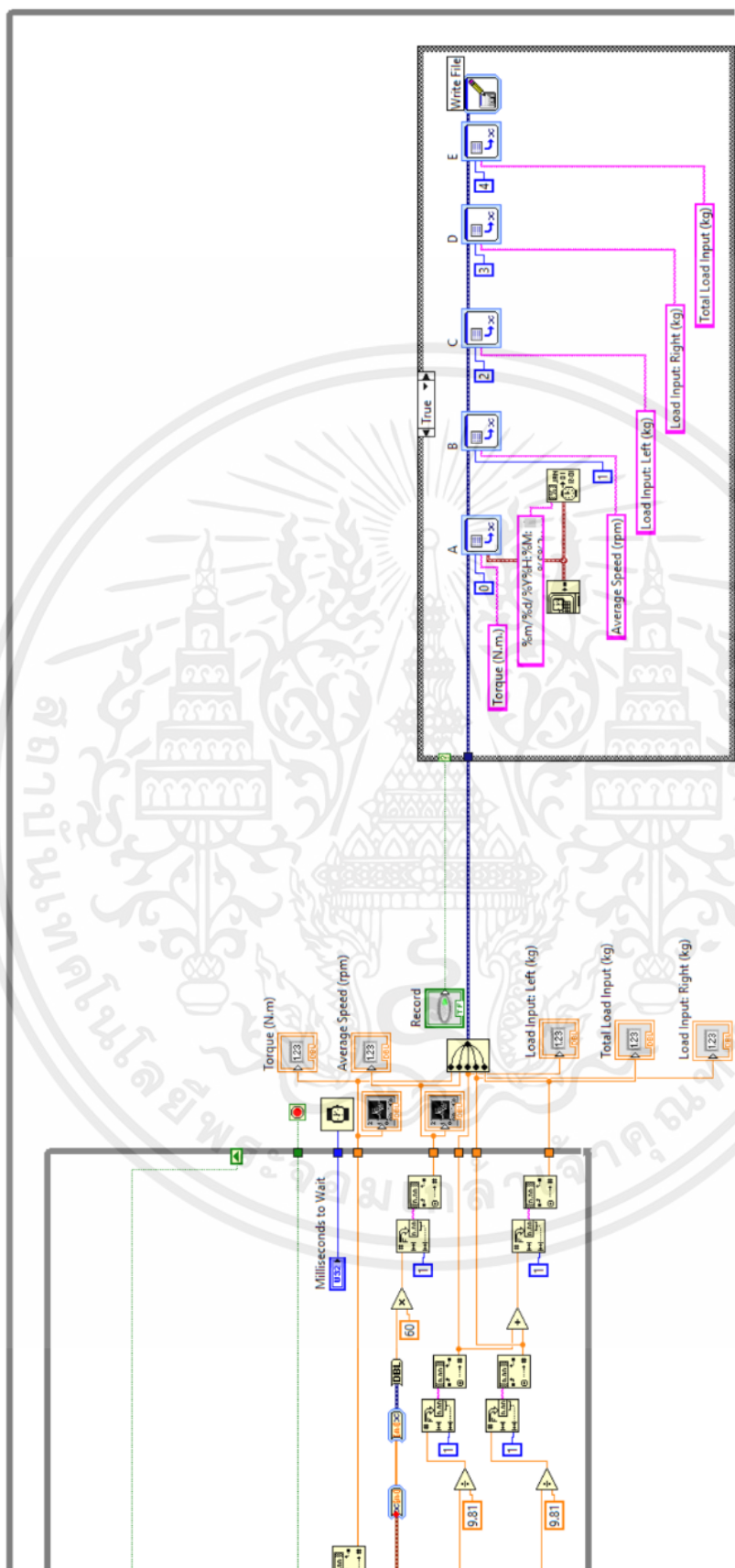
รูปที่ ค.1 หน้าโปรแกรม LabVIEW 2015 ที่ใช้เก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 หน้า Block Diagram โปรแกรม LabVIEW 2015 ที่ใช้เก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 หน้า Block Diagram โปรแกรม LabVIEW 2015 ที่ใช้เก็บผลการทดลอง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ชนิดของใบและค่าทอร์คสูงสุด (N.m) จากสถานที่ A

ชนิดของใบ	Load	Torque (N.m)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	29.1	35	25.7
	48	45	41.4	47.7
	58	51	49.6	63.2
BBWS	38	21.3	19.2	18.3
	48	38.9	35.5	34.6
	58	41.8	37.9	52.7
TBWS	38	32.2	40.1	39.6
	48	59.9	50.7	47.2
	58	60.9	59.6	63.3

ตารางที่ ง.2 ชนิดของใบและค่าทอร์คสูงสุด (N.m) จากสถานที่ B

ชนิดของใบ	Load	Torque (N.m)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	36.1	30	27.3
	48	29.8	34.2	26.5
	58	30.2	38	27.3
BBWS	38	20.3	21.9	18
	48	22.6	22.9	21
	58	23.5	29.3	16.6
TBWS	38	40.7	36	39.4
	48	42.9	41.7	39.9
	58	46.3	55.9	42.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน x ในสถานที่ A

ชนิดของใบ	Load	Acceleration (m/s^2)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	18.44	19.88	18.76
	48	20.45	21.95	23.85
	58	24.45	22.94	21.53
BBWS	38	21.02	23.66	24.89
	48	28.63	29.41	23.49
	58	23.05	21.98	21.68
TBWS	38	14.85	14.97	13.77
	48	25.38	25.92	23.34
	58	27.81	23.26	22

ตารางที่ ง.4 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน x ในสถานที่ B

ชนิดของใบ	Load	Acceleration (m/s^2)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	29.88	32.15	29.12
	48	27.15	23.81	22.63
	58	32.33	33.61	33.03
BBWS	38	32.71	29.74	32.11
	48	27.03	28.4	28.69
	58	31.95	35.74	31.59
TBWS	38	27.07	31.76	28.93
	48	25.99	21.47	27.42
	58	29.61	32.58	30.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน y ในสถานที่ A

ชนิดของใบ	Load	Acceleration (m/s^2)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	26.58	24.52	28.83
	48	21.79	24.89	20.12
	58	25.3	23.77	21.19
BBWS	38	32.11	29.41	35.6
	48	35.02	33.15	30.26
	58	35.71	31.04	36.44
TBWS	38	23.62	23.93	23.11
	48	24.33	19.99	20.27
	58	26.05	22.34	26.43

ตารางที่ ง.6 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน y ในสถานที่ B

ชนิดของใบ	Load	Acceleration (m/s^2)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	41.25	40.07	38.78
	48	35.51	35.65	33.88
	58	36.08	36.56	37.34
BBWS	38	48.73	46.92	47.02
	48	41.44	38.05	39.87
	58	55.59	53.09	56.77
TBWS	38	38.89	39.91	37.9
	48	33.13	31.36	34.17
	58	26.08	26.55	28.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน z ในสถานที่ A

ชนิดของใบ	Load	Acceleration (m/s^2)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	32.23	33.58	31.28
	48	19.65	21.88	20.04
	58	22.24	21.04	20.92
BBWS	38	31.47	30.29	29.85
	48	23.95	22.4	26.73
	58	29.5	21.66	24.06
TBWS	38	35.56	34.92	36.87
	48	21.76	19.46	25.61
	58	25.33	27.83	27.69

ตารางที่ ง.8 ชนิดของใบและค่าความเร่งสูงสุด (m/s^2) จากแกน z ในสถานที่ B

ชนิดของใบ	Load	Acceleration (m/s^2)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
CVWS	38	24.51	22.17	20.47
	48	24.37	18.21	22.22
	58	27.29	29.46	28.61
BBWS	38	26.8	27.99	23.4
	48	23.76	23.76	22.24
	58	29.71	27.81	29.46
TBWS	38	20.58	24.83	25.13
	48	21.36	19.86	19.64
	58	27.16	29.24	25.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 38 kg ในสถานที่ A

ชนิดของใบ	ครั้งที่	Threshold shear force (kg)	Average drilling range (kg)	
			Left	Right
CVWS	1	40.2	59.9	45
	2	38	56.7	44.4
	3	39.3	53.9	50.7
BBWS	1	20.5	61	59.5
	2	25	64.6	61.8
	3	20.2	63.9	62.9
TBWS	1	36.6	52.6	50.8
	2	39.4	51.9	48.6
	3	40.2	53.5	49.1

ตารางที่ ง.10 ชนิดของใบและค่าโหลดที่ 38 kg ในสถานที่ B

ชนิดของใบ	ครั้งที่	Threshold shear force (kg)	Average drilling range (kg)	
			Left	Right
CVWS	1	38.1	43.4	37.6
	2	38.8	40.4	40.3
	3	39.4	40.5	40.2
BBWS	1	26.6	56.3	44.1
	2	29.6	50.2	43.8
	3	27.1	54.7	42.4
TBWS	1	38.7	34.2	31.1
	2	40.6	37.3	36.5
	3	39.6	38.1	34.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 ชนิดของใบและค่าไหลดที่ 48 kg ในสถานที่ A

ชนิดของใบ	ครั้งที่	Threshold shear force (kg)	Average drilling range (kg)	
			Left	Right
CVWS	1	38.1	83.6	67.6
	2	39.7	86.8	61.9
	3	36.1	84.6	61.3
BBWS	1	23.7	90.5	58.6
	2	24.1	86.6	59.8
	3	21.8	89.5	56.2
TBWS	1	41.5	74.7	65.1
	2	47.1	76.4	65.8
	3	44	75	60

ตารางที่ ง.12 ชนิดของใบและค่าไหลดที่ 48 kg ในสถานที่ B

ชนิดของใบ	ครั้งที่	Threshold shear force (kg)	Average drilling range (kg)	
			Left	Right
CVWS	1	45.7	51	42.6
	2	46	51.6	43
	3	48.5	53.8	41.8
BBWS	1	33.2	64.5	49.6
	2	37.8	59.5	46.1
	3	35.7	66.6	45.5
TBWS	1	48.8	48	40.5
	2	49.8	49.9	41
	3	47.7	50.6	43.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 ชนิดของใบและค่าไหลดที่ 58 kg ในสถานที่ A

ชนิดของใบ	ครั้งที่	Threshold shear force (kg)	Average drilling range (kg)	
			Left	Right
CVWS	1	52.7	101	75.6
	2	58.6	98	71.5
	3	57.3	99.6	70.8
BBWS	1	46.1	109.1	84
	2	45	103.5	88
	3	43.1	108.8	87.3
TBWS	1	58.3	97.1	72.5
	2	59.9	95.6	70.9
	3	61.3	103.5	78.2

ตารางที่ ง.14 ชนิดของใบและค่าไหลดที่ 58 kg ในสถานที่ B

ชนิดของใบ	ครั้งที่	Threshold shear force (kg)	Average drilling range (kg)	
			Left	Right
CVWS	1	57.1	83.1	73.7
	2	53.1	82.5	74.3
	3	55.6	89.1	78.9
BBWS	1	40.3	90.7	80.3
	2	45	94.4	82.5
	3	41.3	93.2	81.3
TBWS	1	59.4	74.2	63.9
	2	61.3	73.1	66
	3	63.8	73.7	63.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นาย ธนพล สุทธิศรีกุล
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 12 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดราชบุรี
 ที่อยู่ 67/1 หมู่ 6 ตำบลน้ำพุ อำเภอเมือง
 จังหวัดราชบุรี 70000
 E-mail Thanapol5897@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2560 จากโรงเรียนครูราษฎร์รังสฤษดิ์
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในแผนกซ่อมบำรุง บริษัท บางกอกแล็ป แอนด์ คอสเมติก จำกัด จังหวัดราชบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นาย ธานี สุขเสริม
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 15 เดือน มกราคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
 ที่อยู่ 287/7 หมู่ 7 ตำบลปากหมาก
 อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
 84110
 E-mail Kfthani2543@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ ปีการศึกษา 2560 จากวิทยาลัยการอาชีพไชยา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผ่านการฝึกงานในแผนกกองซ่อมเครื่องยนต์ โรงงานมักกะสัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ผลงานและกิจกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นางสาว มานิตา อุทุมรัตน์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 31 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 15 หมู่ 12 ตำบลบางหมาก
 อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร 86000
 E-mail Manita8486@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2560 จากโรงเรียนสอาดเผดิมวิทยา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในแผนกยานพาหนะและเครื่องมือกล หน่วยงาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคใต้ จังหวัดเพชรบุรี (กฟต.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้