



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัยในส่วนของฮาร์ดแวร์

Mechanical design for security robot in hardware function

นายณัฐพงศ์ สิ้นศุภฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การออกแบบหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัยในส่วนของฮาร์ดแวร์

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายณัฐพงศ์ สิ้นศุภฤกษ์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายชูศักดิ์ ชูแสงสุนทร

สถานประกอบการ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

รายงานเล่มนี้นำเสนอการสร้งหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1.ศึกษาโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่ใช้ภายนอกอาคาร 2.เพื่อเป็นแนวทางการผลิตหุ่นยนต์ในอนาคต 3.เพื่อนำมาช่วยดูแลความปลอดภัยภายนอกอาคาร โดยโครงการในครั้งนี้ปฏิบัติร่วมกับบริษัทซีเกท เริ่มต้นด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากลูกค้าและผู้เกี่ยวข้อง แล้วนำความต้องการของลูกค้ามาใช้ในการออกแบบเพื่อให้ตอบโจทย์มากที่สุด และหลังจากออกแบบแล้ว จะทำการส่งแบบให้ผู้รับเหมาผลิตชิ้นส่วนต่างๆ มาให้ จากนั้นเมื่อได้ชิ้นส่วนต่างๆมาแล้วจะทำการประกอบ และเริ่มทดสอบการทำงานในระบบต่างๆ ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า 1.โครงหลัก(structure) สามารถรับน้ำหนักอื่นๆได้โดยไม่เกิดความเสียหาย 2.กันชนสามารถลดแรงกระแทกจากการชนได้ 3.ระบบกันสะเทือนสามารถลดระดับการสั่นสะเทือนจากพื้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายจากความล่าช้าในบริเวณชิ้นส่วนที่รับความเค้นมากที่สุด

คำสำคัญ : การออกแบบหุ่นยนต์, หุ่นยนต์ที่ใช้ภายนอกอาคาร, หุ่นยนต์รักษาความปลอดภัย

Cooperative Title: Design hardware for security robot

Student intern name: Mr. Natthaphong Sinsupharoek

Faculty: Engineering **Department:** mechanical

Advisor name: Dr.Akapot Tantrapiwat

Mentor name: Mr.Chousak Chousangsuntorn

Company: Seagate Technology (Thailand) Company

Abstract

This cooperative report presents the design of a security robot. The report consists of 3 objectives which are 1) to study the structure of robots that are used for building exterior 2) to be a guideline for robot production in the future 3) to help to maintain safety outside the building. This project is conducted with Seagate Technology (Thailand) Ltd. It starts by collecting information from customers and relevant people. Then, we use the obtained information to design in order to meet the needs of the customers. After the design is finish, we send the design to the contractor to produce component parts. After we receive the component parts from the contractor, we assemble the component parts and begin testing in various systems. The results of the tests showed that 1) the structure can support the weight without any damage 2) the bumper can reduce shocks from collisions 3) the suspension system can reduce the level of vibration from the floor without causing fatigue damage in the area of the most stressed parts.

Keywords: Robot design, the robot used for building exterior, security robot

กิติการประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ ไม่ใช่เกิดจากตัวผมแต่เพียงคนเดียว แต่เกิดจากความช่วยเหลือของ
หลายๆ คน

ขอขอบคุณ พี่ไครียด ที่ได้เริ่มโครงการนี้ขึ้นมาและได้มอบหมายหน้าที่นี้ให้กับผม

ขอขอบคุณพี่ๆ ทีม AME Development ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำอยู่เสมอ และยัง
มอบบรรยากาศดีๆ ในการทำงานให้อยู่เสมอ

ขอขอบคุณพี่พีช ที่มารับเด็กฝึกงานที่สถาบันในวันนั้น ทำให้ผมได้มีโอกาสดีๆ ได้มาทำสหกิจอยู่ที่
บริษัทแห่งนี้ และ คอยติดตามการเป็นอยู่ของผมอยู่เสมอ

ขอขอบคุณ นายธีรภัทร วรรณราช ที่แนะนำไอเดียในการออกแบบรูปลักษณ์ภายนอก

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่มาฝึกงานที่นี่ทุกคนที่คอยอยู่ด้วยกัน เล่นด้วยกัน กินข้าวด้วยกัน และคอย
ช่วยเหลือกัน

ขอขอบคุณอาจารย์เอกพจน์ที่ให้คำแนะนำ ในการนำเสนองาน

ณัฐพงศ์ สิ้นสุภฤกษ์

สารบัญ

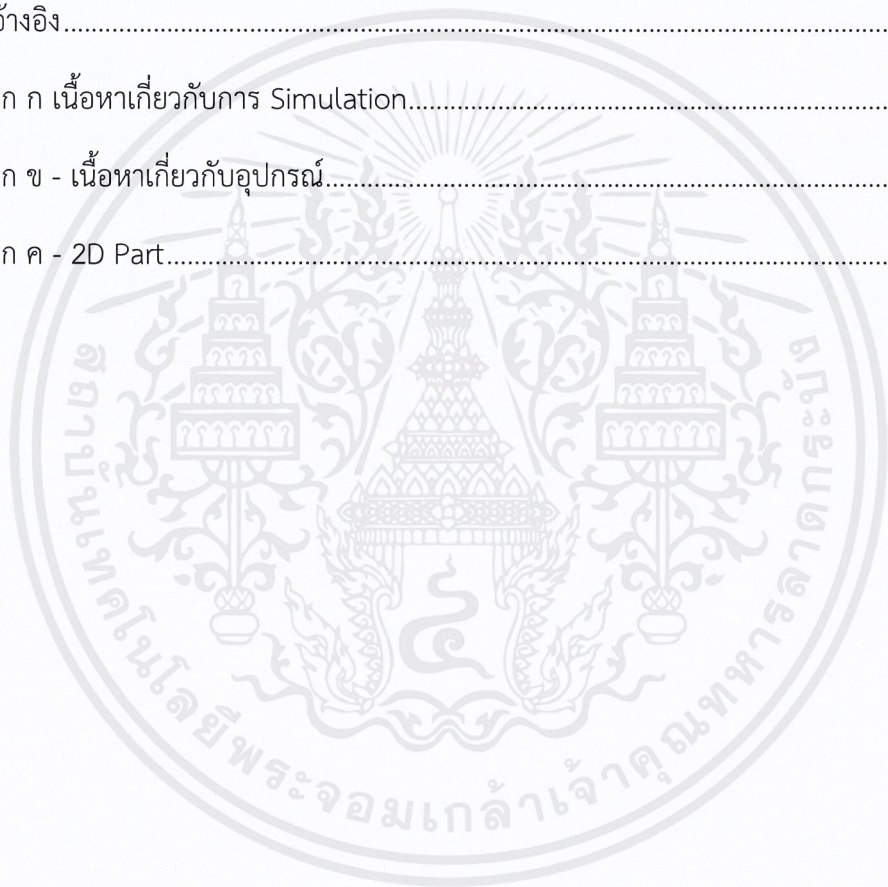
| | |
|---|-----|
| บทคัดย่อ..... | i |
| Abstract | ii |
| กิตติการประกาศ..... | iii |
| สารบัญ | iv |
| สารบัญภาพ | vii |
| สารบัญตาราง | xi |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัท..... | 1 |
| 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ความเป็นมาของหุ่นยนต์ | 3 |
| 2.2 ประเภทการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์..... | 4 |
| 2.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ล้อ | 6 |
| 2.4 ระบบกันสะเทือน (Suspension System)..... | 9 |
| 2.5 การใช้งาน Solidworks..... | 11 |
| 2.5.1 หมวดการทำงานในโปรแกรม..... | 11 |
| 2.5.2 หน้าจอการทำงาน (Interface)..... | 12 |
| 2.5.3 หมวดเครื่องมือการทำงานต่างๆ..... | 12 |
| 2.5.4 การทำ Simulation (Linear Static) | 16 |
| 2.5.5 การทำ Motion Study..... | 19 |
| 2.6 การควบคุมการสันสะเทือน | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ iv ย่างอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|----|
| 2.7 แรงต้านการเคลื่อนที่ | 23 |
| 2.7.1 แรงต้านการหมุนของล้อ | 23 |
| 2.7.2 แรงต้านอากาศ..... | 25 |
| 2.7.3 แรงต้านจากทางลาดชัน | 27 |
| 2.8 การหาแรงในการขับเคลื่อน..... | 27 |
| 2.9 การดูความแข็งแรงของวัสดุ..... | 28 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน | 32 |
| 3.1 การขอความต้องการจากลูกค้า (Get voice of customer, VOC) | 32 |
| 3.2 การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Development, QFD)..... | 33 |
| 3.3 การกำหนดขอบเขตของโครงการ | 34 |
| 3.4 แนวคิดในการออกแบบ | 34 |
| 3.5 การออกแบบผ่านโปรแกรม Solidworks และการเลือกวัสดุ อุปกรณ์..... | 36 |
| 3.5.1. การออกแบบตัวโครงหลัก | 36 |
| 3.5.2. การเลือกล้อประกอบ..... | 40 |
| 3.5.3. การออกแบบระบบกันสั่น | 41 |
| 3.5.4 การเลือกมอเตอร์ไฟฟ้า (Hub motor) | 47 |
| 3.5.5 การออกแบบกล่องแบตเตอรี่..... | 50 |
| 3.5.6 การออกแบบระบบตรวจวัดสิ่งแวดล้อม..... | 52 |
| 3.5.7 การออกแบบตัวกันชน | 53 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน | 54 |
| 4.1 ผลการออกแบบรูปลักษณะภายนอก..... | 54 |
| 4.2 ผลการออกแบบโครงหลัก..... | 54 |
| 4.3 ผลการออกแบบระบบกันสะเทือน..... | 56 |
| 4.4การออกแบบลิ้นชักกล่องแบตเตอรี่และกล่องควบคุม..... | 59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ Vong อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|----|
| 4.5 การออกแบบระบบกันชน..... | 61 |
| 4.7 ผลงาน CAD | 62 |
| บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ..... | 63 |
| 5.1 สรุปผล..... | 63 |
| 5.2 ปัญหาและการแก้ปัญหา..... | 63 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 63 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 65 |
| ภาคผนวก ก เนื้อหาเกี่ยวกับการ Simulation..... | 66 |
| ภาคผนวก ข - เนื้อหาเกี่ยวกับอุปกรณ์..... | 70 |
| ภาคผนวก ค - 2D Part..... | 72 |



สารบัญญภาพ

| | |
|---|----|
| รูปที่1.1 โรงงานซีเกท สาขาเทพารักษ์ | 1 |
| รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของหุ่นยนต์ | 3 |
| รูปที่2.2 รูปหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อในการเคลื่อนที่ (DJI Robomaster S1) | 4 |
| รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์ที่ใช้สายพานในการเคลื่อนที่ (Anki Vector) | 5 |
| รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ที่ใช้ขาในการเคลื่อนที่ (Boston Dynamics Spot) | 5 |
| รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยการบิน (DJI Mavic 2 Pro) | 5 |
| รูปที่ 2.6 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ใต้น้ำ (Boxfish ROV) | 6 |
| รูปที่ 2.7 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Holonomic และ Non-holonomic | 6 |
| รูปที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Differential drive | 7 |
| รูปที่ 2.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Skid steer | 7 |
| รูปที่ 2.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Ackerman steering | 8 |
| รูปที่ 2.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Articulate drive | 8 |
| รูปที่ 2.12 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Synchro drive | 8 |
| รูปที่ 2.13 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Swerve drive | 8 |
| รูปที่ 2.14 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Omni drive | 9 |
| รูปที่ 2.15 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Mecanum drive | 9 |
| รูปที่2.16 รูปร่างของระบบแม็คเฟอร์สันสตรัท | 10 |
| รูปที่2.17 รูปร่างของระบบปีกนกอิสระ 2ชั้น | 10 |
| รูปที่2.18 หน้าจอแสดงหมวดการทำงาน | 11 |
| รูปที่2.19 หน้าจอการทำงาน | 12 |
| รูปที่2.20 Sketch Toolbar | 12 |
| รูปที่2.21 Feature Toolbar | 14 |
| รูปที่2.22 Assembly Toolbar | 15 |

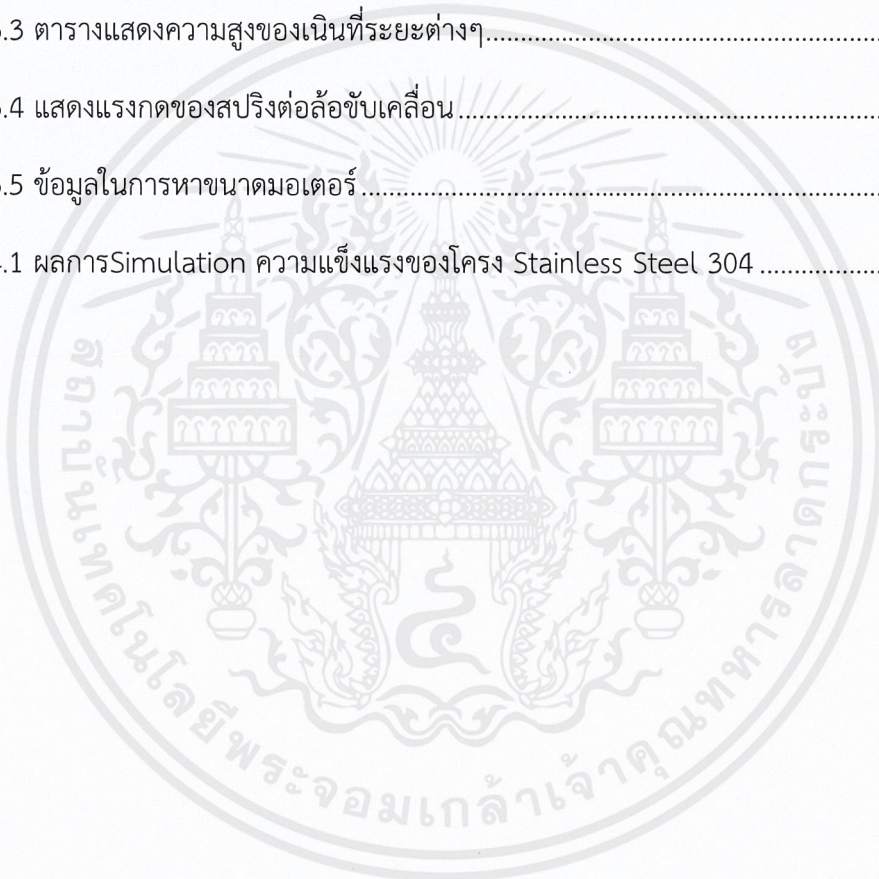
| | |
|--|----|
| รูปที่2.23 Evaluate Toolbar | 16 |
| รูปที่2.24 หัวข้อในการกำหนดชิ้นงาน..... | 16 |
| รูปที่2.25 การกำหนด Material ให้กับชิ้นงาน..... | 17 |
| รูปที่2.26 การกำหนดจุดจับยึด..... | 17 |
| รูปที่2.27 แรงต่างๆที่สามารถกำหนดให้กับชิ้นงานได้ | 17 |
| รูปที่2.28 การMeshชิ้นส่วนออกเป็นชิ้นเล็กๆ..... | 18 |
| รูปที่2.29 ผลการแสดงผล Displacement | 19 |
| รูปที่2.30 การเข้าฟังก์ชัน Motion Analysis..... | 20 |
| รูปที่2.31 เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการกำหนดชิ้นงาน | 20 |
| รูปที่2.32 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟ..... | 20 |
| รูปที่2.33 ผลจากการทดสอบความแข็งแรง | 21 |
| รูปที่2.34 การควบคุมการสั่นสะเทือนจากพื้นสู่เครื่องจักร | 21 |
| รูปที่2.35 แบบจำลองการสั่นสะเทือนจากการสั่นสะเทือนของพื้น และ FBD..... | 21 |
| รูปที่2.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Displacement transmissibility และค่าความถี่ต่างๆ.... | 22 |
| รูปที่2.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Force transmissibility ที่ความถี่ต่างๆ..... | 23 |
| รูปที่2.38 แสดงแรงต้านการหมุนของล้อ..... | 24 |
| รูปที่2.39 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่บนแนวราบ | 24 |
| รูปที่2.40 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน..... | 25 |
| รูปที่2.41 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ..... | 26 |
| รูปที่2.42 แสดงแรงต้านจากทางลาดชัน | 27 |
| รูปที่2.43 อธิบายลักษณะของความเค้นแต่ละแบบ | 29 |
| รูปที่2.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด..... | 30 |
| รูปที่2.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบการใช้งาน..... | 31 |
| รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานในการออกแบบหุ่นยนต์..... | 32 |

| | |
|---|----|
| รูปที่3.2 Outlook design NO.1-2-3-4 ตามลำดับ..... | 36 |
| รูปที่3.3 ผลการออกแบบโครงของหุ่นยนต์..... | 37 |
| รูปที่3.4 แสดงการใส่ค่าต่างๆลงในการทดสอบ | 38 |
| รูปที่ 3.5แสดงผลการทดสอบระหว่างวัสดุStainless Steel(ช้าย)และAluminum Alloy(ขาว)ของ โครงหลัก..... | 39 |
| รูปที่3.6 ข้อมูลของล้อประกอบ..... | 40 |
| รูปที่3.7 แผ่นกันสั่น(Antivibration Pads) | 41 |
| รูปที่3.8 การเลือกแผ่นกันสั่น | 42 |
| รูปที่3.9 เลือกขนาดตามโหลดที่ต้องรองรับ..... | 42 |
| รูปที่3.10 ระบบกันสั่นสำหรับล้อขับเคลื่อน | 43 |
| รูปที่3.11 แบบจำลองตัวหุ่นยนต์..... | 44 |
| รูปที่3.12 ตำแหน่งการวัดเนิน | 44 |
| รูปที่3.13 การจำลองเนินบนโปรแกรม Solidworks..... | 45 |
| รูปที่3.14 การเคลื่อนที่ใน Motion Analysis..... | 45 |
| รูปที่3.15 กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ของ Stroke..... | 46 |
| รูปที่3.16 ระยะการหดตัวของสปริงขณะอยู่บนพื้นราบ | 46 |
| รูปที่ 3.17 ระยะStrokeของระบบกันสั่นที่ล้อขับเคลื่อน..... | 46 |
| รูปที่3.18 ตารางแสดงลักษณะของสปริงแต่ละอย่าง | 47 |
| รูปที่ 3.19 ข้อมูลของ ZLLG80ASM250 | 50 |
| รูปที่3.20 กล่องลั่นชักแบตเตอรี่ที่ออกแบบ..... | 51 |
| รูปที่3.21 สกรู M4 ที่ใช้ในการจับยึด..... | 51 |
| รูปที่3.22 การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบ | 51 |
| รูปที่3.23 เซ็นเซอร์ที่นำมาใช้ | 52 |
| รูปที่3.24 การออกแบบระบบตรวจจับสิ่งแวดล้อม..... | 52 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.25 ระบบกันชนของหุ่นยนต์..... | 53 |
| รูปที่4.1 Final outlook design..... | 54 |
| รูปที่4.2 ภาพประกอบผลการ Simulation ความแข็งแรง..... | 55 |
| รูปที่4.3 ผลจากการดูความแข็งแรงและการโก่งงอของโครงหลัก..... | 55 |
| รูปที่4.4 กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ของ Stroke..... | 56 |
| รูปที่4.5 รูประบบกันสะเทือนที่ออกแบบและขึ้นงานจริง..... | 56 |
| รูปที่4.6 การทดสอบวิ่งบนพื้นราบ..... | 57 |
| รูปที่4.7 หุ่นยนต์วิ่งบนพื้นเอียง..... | 57 |
| รูปที่4.8 ลักษณะของล้อและระบบกันสะเทือนขณะขึ้นเนิน..... | 58 |
| รูปที่4.9 กราฟการสันสะเทือนขณะวิ่งบนพื้นราบ พื้นเอียง และขึ้นเนินตามลำดับ..... | 58 |
| รูปที่4.10 ความเร่งของการสั่นที่มากที่สุด..... | 59 |
| รูปที่4.11 กล้องลั่นชั๊กแบตเตอรี่ที่ออกแบบ..... | 59 |
| รูปที่4.12 การทดสอบความแข็งแรงของสกรู M4 ในการรับแรง..... | 59 |
| รูปที่4.13 ผลการทดลองความล้าจากการ Fatigue Simulation และดูกราฟ SN-Curve..... | 60 |
| รูปที่4.14 กล้องแบตเตอรี่..... | 60 |
| รูปที่4.15 กล้องระบบควบคุม..... | 60 |
| รูปที่4.16. ระบบกันชนเทียบระหว่างของจริงและการออกแบบ..... | 61 |
| รูปที่4.17 การตรวจวัดแรงขณะเกิดการชน..... | 61 |
| รูปที่4.18 ผลงาน CAD โดยมีชื่อเราเป็นผู้ออกแบบ..... | 62 |

สารบัญตาราง

| | |
|---|-------------------------------|
| ตารางที่ 1.1 ตารางการปฏิบัติงาน | ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก |
| ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพพื้นผิวต่างๆ..... | 25 |
| ตารางที่ 3.1 กระบวนการทำ Quality Function Development (QFD)..... | 33 |
| ตารางที่ 3.2 แสดงขอบเขตและเนื้อหาของหุ่นยนต์..... | 34 |
| ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Stainless Steel 304 และ Aluminum Alloys 6061-T6 | 38 |
| ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงความสูงของเนินที่ระยะต่างๆ..... | 44 |
| ตารางที่ 3.4 แสดงแรงกดของสปริงต่อล้อขับเคลื่อน..... | 47 |
| ตารางที่ 3.5 ข้อมูลในการหาขนาดมอเตอร์..... | 48 |
| ตารางที่ 4.1 ผลการSimulation ความแข็งแรงของโครง Stainless Steel 304 | 55 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัท

บริษัท ซีเกต เทคโนโลยี จำกัด เป็นบริษัทด้านฮาร์ดแวร์ ก่อตั้งขึ้นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2522 ที่ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและจำหน่าย อุปกรณ์บันทึกข้อมูล หรือ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

บริษัท ซีเกต เทคโนโลยี ในประเทศไทยเริ่มก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2526 เพื่อผลิตและส่งออก ส่วนประกอบขั้นต้นและขั้นสุดท้ายของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

โดยโรงงานผลิตในประเทศไทยมี 2 สาขาคือ

- 1) โรงงานสาขาเทพารักษ์ จ.สมุทรปราการ เป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนบางขั้นตอนที่เกี่ยวกับหัวบันทึกและอ่านข้อมูล ซึ่งจะรับวัตถุดิบมาผลิตมาจากโคราช เพื่อประกอบเป็น Head Gimbal Assembly (HGA) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และส่งออกให้โรงงานในเครือของซีเกต



รูปที่ 1.1 โรงงานซีเกต สาขาเทพารักษ์

- 2) โรงงานสาขาโคราช จ.นครราชสีมา เป็นโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ โดยผลิต Slider ส่งไปยังโรงงานเทพารักษ์และรับ Head Gimbal Assembly (HGA) จากโรงงานเทพารักษ์มาประกอบเป็น Head Stack Assembly (HSA) เพื่อประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงการครั้งนี้เกิดขึ้นจากผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมมีความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้าอยู่เสมอและทางบริษัท ซีเกทมีความใส่ใจในการรักษาความปลอดภัยเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีความต้องการเพิ่มความปลอดภัยโดยรอบโรงงาน แต่การที่จะจ้างหน่วยรักษาความปลอดภัยเพิ่มก็มาค่าใช้จ่ายที่เยอะ และจะเป็นการเพิ่มภาระในการทำงานของบุคลากร อีกทั้งการใช้คนในการตรวจสอบมักจะมีข้อผิดพลาดและความล่าช้าจากหลายๆปัจจัย หรือถ้าจะทำระบบรักษาความปลอดภัยเป็นจุดๆ เนื่องจากโรงงานเราเป็นโรงงานขนาดใหญ่ การจะทำให้ระบบนี้ครอบคลุมจำเป็นต้องใช้งบประมาณที่สูงรวมถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอีกด้วย

และด้วยทางทีม AME development กำลังพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขนย้ายอุปกรณ์ในสายการผลิต ซึ่งทางผู้ผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมเล็งเห็นว่าสามารถนำมาปรับปรุงให้สามารถใช้งานในด้านอื่นๆมากขึ้นด้วย

จึงเกิดเป็นโครงการในการสร้างหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัยขึ้นขึ้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบบริเวณโดยรอบโรงงานที่ทำงานได้ในทุกสภาพแวดล้อมไม่ว่าจะเจอแสงแดด หรือฝนตก ก็ยังสามารถทำงานได้ และสามารถที่จะตรวจสอบสถานะของสภาพแวดล้อมแต่ละจุดได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1 เพื่อศึกษาและออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานภายนอกอาคาร
- 2 เพื่อทดสอบและปรับปรุงการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง
- 3 เพื่อเป็นแนวทางการผลิตหุ่นยนต์ในอนาคต ที่จะใช้งานภายนอกอาคาร
- 4 เพื่อเพิ่มความปลอดภัยโดยรอบโรงงาน
- 5 เพื่อสนับสนุนทีมรักษาความปลอดภัย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โดยโครงการในครั้งนี้จะทำการออกแบบในส่วนของระบบฮาร์ดแวร์ โดยเริ่มต้นตั้งแต่การออกแบบรูปลักษณ์ภายนอก โครงสร้างภายใน การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ การจับยึดอุปกรณ์ต่างๆ และระบบต่างๆ ที่ส่งเสริมการทำงานให้มีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

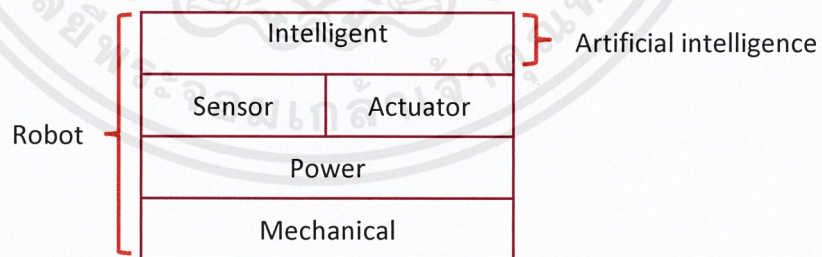
2.1 ความเป็นมาของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ (Robotics) เป็นการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์สำหรับพัฒนาเครื่องจักรให้มีความสามารถและฉลาดพอที่จะทำหน้าที่แทนมนุษย์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยเป็นการทำให้เครื่องจักรมีระบบการทำงานแบบอัตโนมัติที่มีความสามารถใกล้เคียงมนุษย์ โดยทั่วไปนิยมใช้กับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับทำงานในด้านต่างๆแทนมนุษย์เพื่อความปลอดภัยจากงานที่เสี่ยงอันตราย หรืองานที่ต้องการเพิ่มปริมาณการผลิต

องค์ประกอบของหุ่นยนต์

องค์ประกอบพื้นฐานของหุ่นยนต์ แบ่งได้เป็น 5 ส่วน

1. เครื่องจักรกล (Mechanical) เป็นส่วนทางด้านฮาร์ดแวร์ ซึ่งก็คือชิ้นส่วนต่างๆที่นำมาประกอบกันเป็นหุ่นยนต์
2. กำลัง (Power) หุ่นยนต์จะทำงานหรือเคลื่อนไหวได้ ต้องมีกำลังในการขับเคลื่อน
3. ส่วนการรับรู้ (Sensor) จะมีหน้าที่รับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมภายนอก
4. ส่วนตอบสนอง (Effector) ทำหน้าที่ตอบสนองหรือส่งผลกลับไปยังสภาพแวดล้อม
5. ส่วนของความฉลาด (Intelligent) หรือก็คือสมองของหุ่นยนต์ เพื่อเป็นตัวควบคุมพฤติกรรมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยใช้เทคนิคต่างๆ



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของหุ่นยนต์

ประเภทของหุ่นยนต์

ลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์ จะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ รวมทั้งข้อต่อที่ช่วยให้บางส่วนของหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวได้ ปัจจุบันหุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นมีหลายรูปแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) และหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่

นับเป็นหุ่นที่มีความนิยมอย่างมากในด้านอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น แขนกล (Robotic Arm) หน้าที่ส่วนใหญ่จะนำมาใช้เชื่อมโลหะ กรอกสารเคมีและหยิบสิ่งของต่างๆ เป็นต้น

2. หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้

การเคลื่อนที่ (locomotion) หมายถึง การเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ส่วนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะออกแบบตามวัตถุประสงค์ของการทำงานเป็นสำคัญ อย่างเช่น หากหุ่นยนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานที่ทำในขอบเขตจำกัด การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ก็ไม่ต้องมีความจำเป็น จึงออกแบบให้มีลักษณะเป็นแขนกลชนิดติดตั้งอยู่กับที่ แต่หากเป็นงานเชิงสำรวจ ที่มีขอบเขตการทำงานที่กว้างและต้องเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ก็จะต้องออกแบบหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้

ความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) หมายถึง ความสามารถของระบบขับเคลื่อนที่จะนำพาหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นผิว และผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ

2.2 ประเภทการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

1. **การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อ (Wheel-drive locomotion)** คือหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อในการเคลื่อนที่ เหมาะกับการใช้งานบนพื้นราบซึ่งมีข้อได้เปรียบคือ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว และมีการควบคุมง่าย แต่ข้อจำกัดคือ หุ่นยนต์ไม่สามารถไปในพื้นที่ต่างระดับได้และการเดินทางในพื้นที่ขรุขระเป็นไปได้ค่อนข้างยากลำบาก



รูปที่ 2.2 รูปหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อในการเคลื่อนที่ (DJI Robomaster S1)

2. **การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อสายพาน (Track-drive locomotion)** คือหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อสายพานในการเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้งานในพื้นที่ขรุขระหรือพื้นที่ที่มีความต่างระดับ และการควบคุมสามารถทำได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และ

อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นผิวบริเวณที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเนื่องจากการตะกุกของล้อ
สายพาน



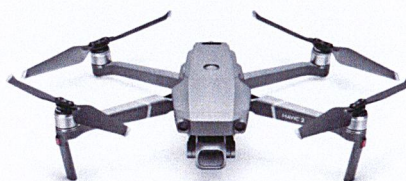
รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์ที่ใช้สายพานในการเคลื่อนที่ (Anki Vector)

3. การเคลื่อนที่โดยใช้ขา (Legged locomotion) คือหุ่นยนต์ที่ใช้ขาในการเคลื่อนที่ ข้อ
ได้เปรียบคือ หุ่นยนต์สามารถไปได้ในทุกที่หรือทุกสภาพพื้นผิว สามารถก้าวข้ามผ่านสิ่งกีด
ขวางต่างๆได้ ส่วนข้อจำกัดคือการเคลื่อนที่ช้า การควบคุมทำได้ยากลำบาก และต้องมีการ
การรักษาสสมดุล โดยเฉพาะหุ่นยนต์ที่ใช้ 2 ขาในการเคลื่อนที่



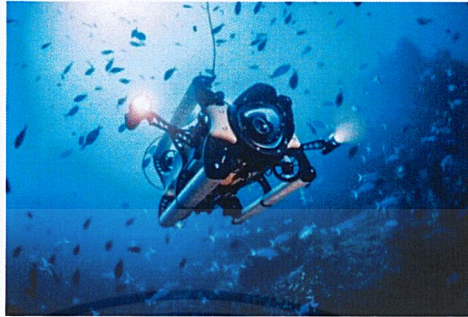
รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ที่ใช้ขาในการเคลื่อนที่ (Boston Dynamics Spot)

4. การเคลื่อนที่โดยการบิน (Flight locomotion) คือหุ่นยนต์ที่ใช้ปีกหรือใบพัดในการ
เคลื่อนที่ ข้อได้เปรียบคือ เคลื่อนที่ได้รวดเร็ว และสามารถเข้าไปในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก ซึ่ง
งานส่วนใหญ่จะใช้ในการสำรวจหรือการตรวจการณ์ โดยมีข้อควรระวังคือเรื่องของการคุม
ระยะไกล ต้องมีความสามารถเพียงพอต่อการใช้งาน



รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยการบิน (DJI Mavic 2 Pro)

5. การเคลื่อนที่ใต้น้ำ (Swimming locomotion) คือหุ่นยนต์ที่ใช้ใบพัดหรือครีบในการเคลื่อนที่และมีระบบควบคุมสมดุลให้แก่หุ่นยนต์ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในงานสำรวจ โดยการทำงานใต้น้ำจำเป็นต้องมีระบบนำทาง เช่น ระบบการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง



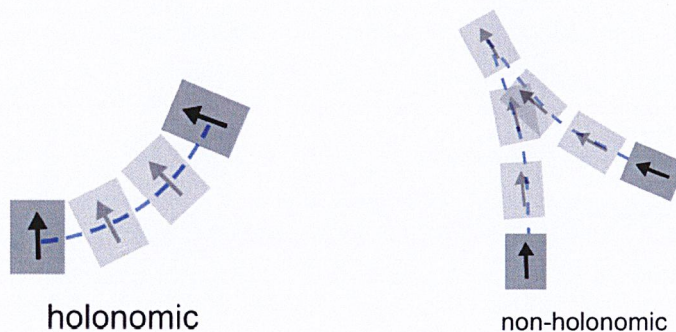
รูปที่ 2.6 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ใต้น้ำ (Boxfish ROV)

6. การเคลื่อนที่รูปแบบอื่น (Other locomotion) คือหุ่นยนต์ที่ไม่ใช้ขาและล้อในการเคลื่อนที่ เช่น หุ่นยนต์งูจะใช้การรวมแรงลัพธ์ที่เกิดจากการบิดเคลื่อนที่ไปมาในแต่ละข้อขั้วดันให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ข้อดีของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือ สามารถไปได้ในทุกสภาพพื้นผิว ทั้งยังสามารถขึ้นที่สูง และเข้าไปในที่แคบๆ ได้จึงสามารถปฏิบัติงานได้อย่างหลากหลาย

2.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ล้อ

โดยหลักๆแล้ว จะมีการเคลื่อนที่อยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

1. **Holonomic locomotion** คือหุ่นยนต์ที่มีองศาอิสระที่ควบคุมได้ (controllable degree of freedom) เท่ากับองศาอิสระทั้งหมดของหุ่นยนต์ (total degree of freedom) หุ่นยนต์ที่เป็น holonomic จะสามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศทางใดๆ ก็ได้
2. **Non-holonomic locomotion** คือหุ่นยนต์ที่มีองศาอิสระที่ควบคุมได้ (controllable degree of freedom) น้อยกว่าองศาอิสระทั้งหมดของหุ่นยนต์ (total degree of freedom) หุ่นยนต์ที่เป็น non-holonomic จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศทางใดๆ ก็ได้






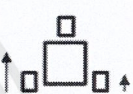








รูปที่ 2.7 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Holonomic และ Non-holonomic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 6 อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบัน ระบบขับเคลื่อนที่ใช้ล้อ สามารถจำแนกได้ทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่

1. Differential drive

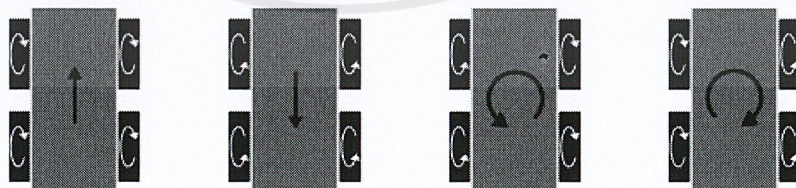
การเคลื่อนที่ชนิดนี้เป็นระบบที่นิยมนำมาใช้กับพาหนะขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Automated Guide Vehicle, AGV) โดยจะมีล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อนด้วยกันสองล้อโดยอยู่คนละข้างกัน ในการเคลื่อนที่ในทางตรงจะควบคุมให้ความเร็วของล้อทั้งสองมีความเร็วเท่ากัน การเลี้ยวจะสามารถทำได้โดยการควบคุมความเร็วของล้อทั้งสองข้างให้แตกต่างกัน และถ้าต้องการให้หมุนรอบตัวเองก็ควบคุมให้ความเร็วของล้อเท่ากันแต่ให้มีทิศทางตรงข้ามกัน ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้ ป้องกันไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองจากการเลี้ยวโค้ง และจะมีล้อประคองที่รองรับน้ำหนักและทำให้หุ่นนั้นไม่ล้มไปข้างหน้าและข้างหลัง

| ทิศทางการเคลื่อนที่ | ทิศทางของล้อ | ทิศทางการเคลื่อนที่ | ทิศทางของล้อ |
|---|---|---|---|
| เดินหน้า  |  | เลี้ยวขวา  |  |
| ถอยหลัง  |  | หมุนซ้าย  |  |
| เลี้ยวซ้าย  |  | หมุนขวา  |  |

รูปที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Differential drive

2. Skid steer

มีรูปแบบคล้ายกับ differential drive ต่างกันตรงที่รูปแบบนี้ใช้กับหุ่นยนต์ที่มีมากกว่า 2 ล้อ เนื่องด้วยจำนวนล้อที่มาก ในตอนที่หมุนหรือเลี้ยว นั้น จะเกิดการสิ้นเปลือง ทำให้ต้องใช้พลังงานมากกว่าแบบ differential drive ส่วนข้อดีคือได้แรงขับที่มากกว่า เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสพื้นมากกว่า

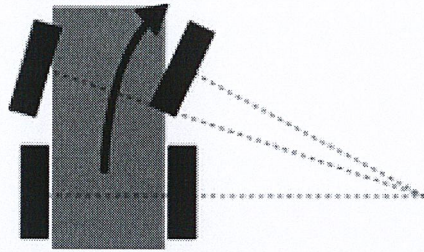


รูปที่ 2.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Skid steer

3. Ackerman steering

เป็นการเคลื่อนที่ ที่มีล้อเลี้ยวและล้อขับเคลื่อนหรือล้อเลี้ยวกับล้อขับเคลื่อนอาจรวมอยู่ด้วยกันก็ได้ โดยขณะเลี้ยว ล้อเลี้ยวจะตั้งฉากกับแนวเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของแนวโค้ง โดยระบบนี้จัดอยู่ในรูปแบบ Non-holonomic

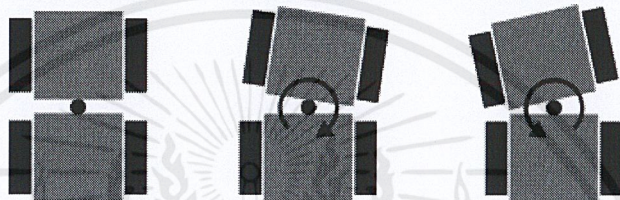
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 7 ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Ackerman steering

4. Articulate drive

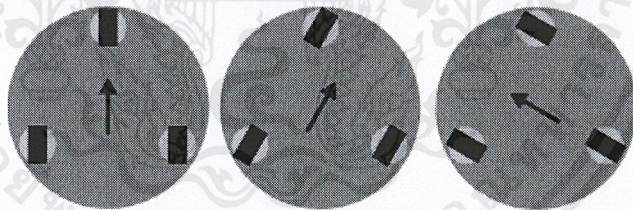
จะคล้ายคลึงกับระบบ Ackerman steering โดยส่วนที่แตกต่างคือ จุดหมุนของล้อเลี้ยวจะเป็นจุดเดียวกัน และเป็นการเคลื่อนที่ในรูปแบบ Non-holonomic



รูปที่ 2.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Articulate drive

5. Synchro drive

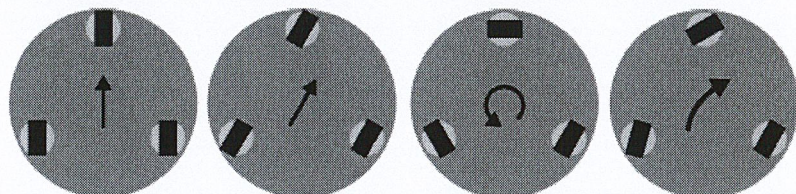
ระบบนี้ล้อทุกล้อจะทำงานด้วยความเร็วที่เท่ากัน และมีกลไกบังคับเลี้ยวล้อทุกล้อไปในทิศทางเดียวกันทุกล้อ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ในทุกทิศทาง แต่จะไม่สามารถหมุนรอบตัวเองได้ จึงจัดเป็นแบบ semi-holonomic



รูปที่ 2.12 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Synchro drive

6. Swerve drive

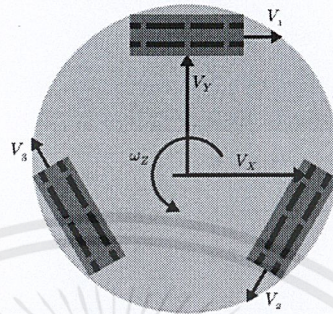
เป็นระบบที่ล้อทุกล้อเป็นอิสระต่อกัน ในด้านทิศทางและความเร็ว ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทาง และหมุนรอบตัวเองได้ จัดเป็นแบบ holonomic



รูปที่ 2.13 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Swerve drive

7. Omni drive

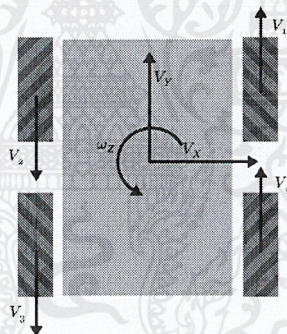
ระบบนี้ จำเป็นต้องใช้ล้ออย่างน้อย 3 ล้อวางตัวทำมุมกัน โดยแต่ละล้อจะมี roller อยู่รอบๆในทิศทางตั้งฉากกับแนวการหมุนของล้อ ทำให้ล้อนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้สองแกนพร้อมๆกัน คือทั้งแนวการหมุนของล้อและของ roller จัดอยู่ในแบบ holonomic



รูปที่ 2.14 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Omni drive

8. Mecanum drive

ลักษณะคล้าย Omni drive ต่างกันตรงที่ Roller จะวางทำมุม 45 องศากับแนวการหมุนของล้อ และล้อแต่ละล้อสามารถวางแบบขนานกันได้ ไม่จำเป็นต้องวางทำมุมกัน



รูปที่ 2.15 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Mecanum drive

2.4 ระบบกันสะเทือน (Suspension System)

หน้าที่หลักของระบบกันสะเทือนคือการลดแรงกระแทกที่เกิดจากความไม่เรียบของพื้นและทำให้ล้อนั้นสัมผัสกับพื้นอยู่ตลอดเวลา ในปัจจุบันระบบกันสะเทือนมีด้วยกัน 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

1. ช่วงล่างแบบตายตัว (Dependent suspension)

เป็นระบบที่เก่าแก่อาศัยน้ำหนักในการทำให้เกาะถนน มักจะออกแบบมาควบกับเพลลาแข็ง โดยมีข้อดีคือ ติดตั้งง่าย การบำรุงรักษาน้อย และจะทำงานได้ดีเมื่อรับน้ำหนักมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ9องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วงล่างแบบกึ่งอิสระ (Semi dependent suspension)

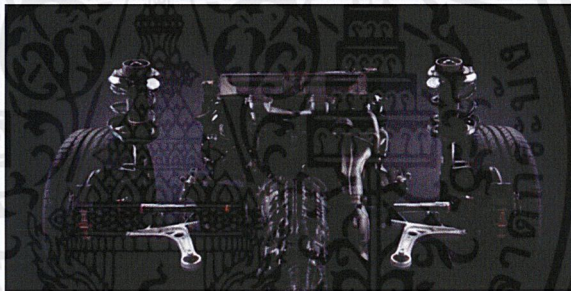
จะใช้คานแข็งคล้ายกับระบบช่วงล่างแบบตายตัว โดยจะมีตัวขับเฟรมเข้ามาแทนชุดเพลาแบบเดิม แล้วติดโช้คไว้ที่ส่วนปลายแกนของขับเฟรม โดยมีข้อดีตรงที่ต้นทุนนั้นถูก แต่ด้วยมีระยะการให้ตัวที่จำกัด จึงยังไม่นิยมเท่ากับแบบอิสระ

3. ช่วงล่างอิสระ (Independent suspension)

เป็นระบบที่ปัจจุบันมีความนิยมใช้กันมากที่สุด โดยมีข้อดีตรงที่ระบบนี้สามารถทำให้ล้อแต่ละล้อ ทำงานอิสระจากกันได้ ทำให้ได้รับแรงสั่นสะเทือนน้อยกว่าแบบตายตัว โดยสามารถแบ่งย่อยได้อีกเป็น 2 ประเภท

3.1 แม็คเฟอร์สันสตรัท (Macpherson Strut)

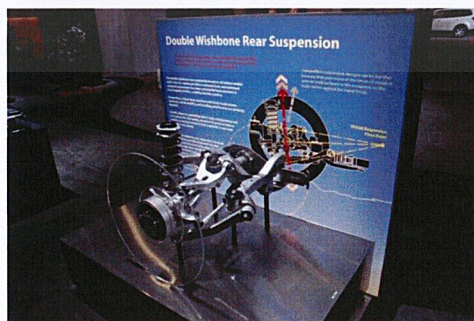
โดยจะติดตั้งหัวโช้คไว้กับตัวถัง และด้านล่างจะต่อเข้ากับชุดล้อ พบบ่อยในรถเก๋ง และรถอเนกประสงค์ มีข้อดีตรงที่เป็นระบบที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.16 รูปร่างของระบบแม็คเฟอร์สันสตรัท

3.2 แบบปีกนกอิสระ 2 ชั้น (Double wish bond)

ระบบนี้ที่ตัวค่อม่าจะมีแกนอิสระยึดกับตัวถัง ซึ่งช่วยลดแรงกระแทกที่ส่งไปยังโช้คและสปริงได้ ทำให้มีความสามารถในการซับแรงที่ดีกว่า แต่ก็ตามมาด้วยค่าบำรุงรักษาที่มากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.17 รูปร่างของระบบปีกนกอิสระ 2 ชั้น

2.5 การใช้งาน Solidworks

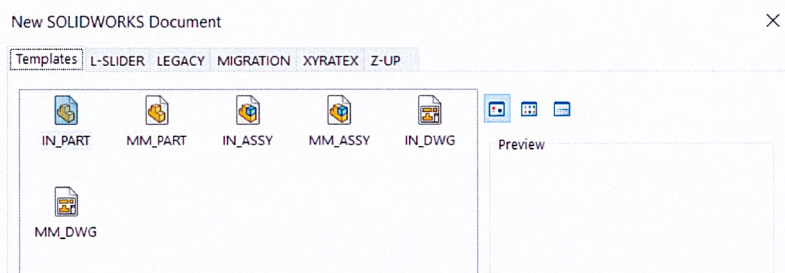
เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบงานไม่ว่าจะเป็นงานเชิงสถาปัตยกรรม หรืองานเชิงวิศวกรรม 3มิติ โดยมีหลากหลายหมวดการใช้งานดังนี้

- Part Solid การขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้วิธีการและเทคโนโลยีของ Surface Modeling(NURBS)
- Assembly Modeling การประกอบประกอบชิ้นส่วน 3มิติ
- Drawing สร้างรูป 2มิติจาก 3มิติ โดยอัตโนมัติ
- Simulation ใช้เพื่อทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ
- Animator สร้างภาพเคลื่อนไหวแสดงการทำงานของเครื่องจักร
- Sheet Metal สร้างงานพับและงานคลี่แบบต่างๆ
- และ Module การใช้งานอื่นๆ เช่น Flow Simulation เพื่อดูข้อมูลของของไหล

2.5.1 หมวดการทำงานในโปรแกรม

เราสามารถเริ่มการทำงานได้โดยใช้ File menu > New จากนั้นจะมีหมวดการทำงานให้เราเลือกตามลักษณะงานที่เราต้องการจะทำ

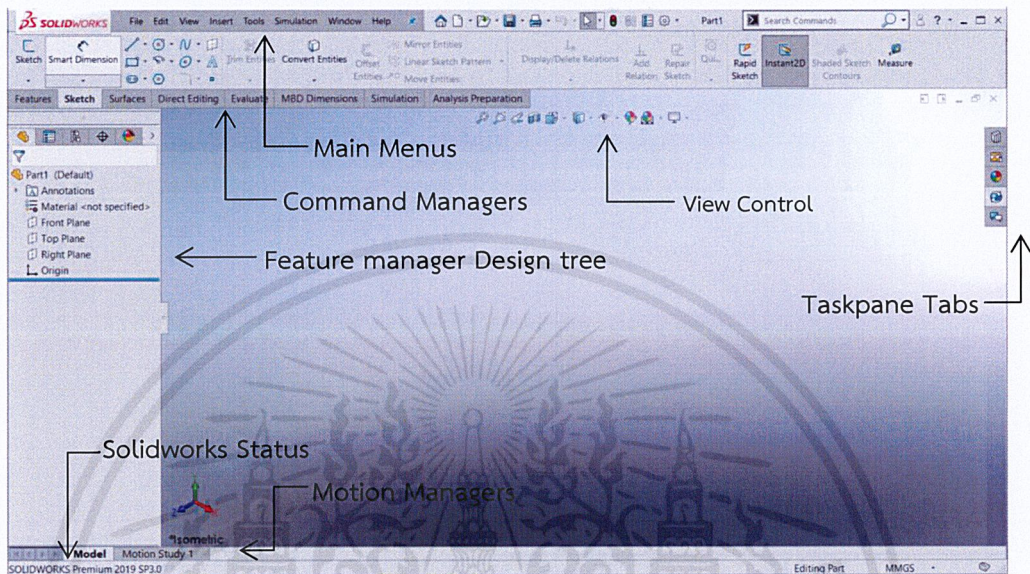
- Part คือเมนูในการสร้างชิ้นส่วน 1ชิ้น จะสร้างเป็น 2มิติหรือ 3มิติก็ได้
- Assy คือเมนูในการนำชิ้นส่วน(Part) แต่ละชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน
- DWG คือเมนูในการสร้างงานเขียนแบบ(Drawing) โดยจะวาดเอง หรือจะทำการแปลงจากไฟล์ Part หรือ ไฟล์ Assy ก็ย่อมาได้ เพื่อนำงานเขียนแบบไปส่งงานผลิตตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่2.18 หน้าจอแสดงหมวดการทำงาน

2.5.2 หน้าจอการทำงาน (Interface)

เมื่อเลือกโหลดแล้ว โปรแกรมจะพาเข้าสู่หน้าจอปฏิบัติการโดยบนหน้าจอจะมีแถบเมนู และ เครื่องมือต่างๆ โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.19

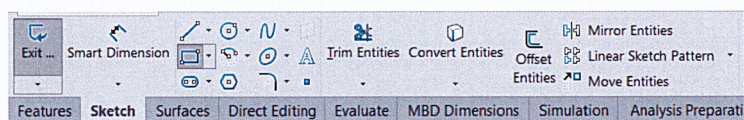


รูปที่ 2.19 หน้าจอการทำงาน

| | |
|-------------------|---|
| Main Menu | เป็นแถบเริ่มต้นการทำงานและเก็บเครื่องมือต่างๆ |
| Command Managers | เป็นส่วนที่แสดงเครื่องมือและเลือกใช้ในการทำงานต่างๆ |
| View Control | ใช้ปรับมุมมองของสิ่งที่เราสร้างขึ้น |
| Feature manager | เป็นส่วนแสดงขั้นตอนการทำงานและแสดงชิ้นส่วนต่างๆ ในงานประกอบ |
| Task pane Tabs | แถบเครื่องมืออื่นๆที่ใช้ในโปรแกรมเช่น การเปิดงาน Drawing |
| Motion Managers | คำสั่งในการเข้าโหมด Motion Study |
| Solidworks Status | แสดงสถานะของโปรแกรม |

2.5.3 หมวดเครื่องมือการทำงานต่างๆ










- Sketch Toolbar



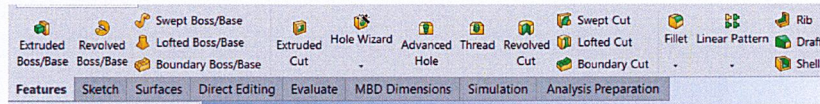
รูปที่ 2.20 Sketch Toolbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 12 อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือโหมดเครื่องมือที่ใช้ในการวาดรูป 2มิติ ลงบนพื้นผิวที่ต้องการ ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างชิ้นงาน โดยมีเครื่องมือต่างๆ เช่น

| สัญลักษณ์ | ชื่อ | การใช้งาน |
|---|---------------------|---|
|  | Line | ใช้ในการสร้างเส้นตรงและเส้นโค้งที่ออกจากเส้นตรง |
|  | Spline | ใช้ในการสร้างเส้นอิสระไปตามจุดต่างๆที่เรากำหนด |
|  | Two-point rectangle | ใช้ในการสร้างรูปสี่เหลี่ยม โดยการกำหนดจุดสองจุดที่เป็นส่วนของเส้นทแยงมุม |
|  | Fillet | ใช้ในการลบมุมให้กลายเป็นส่วนโค้งโดยมีรัศมีตามที่เรากำหนด |
|  | Mirror | ใช้ในการคัดลอก ลายเส้นให้ออกมามีความสมมาตร คลายการใช้กระจกเงา |
|  | Offset | ใช้ในการคัดลอกเส้นให้ออกมาขนานกับเส้นเดิมโดยสามารถกำหนดระยะห่างได้ |
|  | Trim | ใช้ในการลบเส้นที่ไม่ต้องการออก โดยคลิกที่เส้นหรือลากผ่านเส้นที่เลือก |
|  | Add relation | ใช้กำหนดความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตหรือการบังคับลักษณะต่างๆเช่น ให้เส้นสองเส้นตั้งฉากกัน ให้เส้นสัมผัสที่เส้นรอบวงของวงกลม ฯลฯ |
|  | Smart dimension | ใช้ในการกำหนดความยาว รัศมี มุม ระยะห่าง ของสิ่งที่เราวาด |




- Feature Toolbar






รูปที่ 2.21 Feature Toolbar


เป็นเครื่องมือที่ใช้กับงานสามมิติ โดยสามารถจำแนกได้สองชนิด คือเครื่องมือในการสร้างเนื้อขึ้นมา และเครื่องมือในการตัดแต่งรูปทรงต่างๆ

1. Base Feature คือเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเนื้อวัตถุหนึ่งจากที่เราสร้างภาพสองมิติเสร็จแล้ว หรือจะเป็นการเพิ่มเนื้อจากงานสามมิติที่มีอยู่แล้ว เช่น

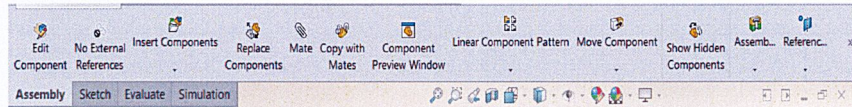
| สัญลักษณ์ | ชื่อ | การใช้งาน |
|---|---------|--|
|  | Extrude | ใช้ยืดเนื้อออกมาตรงๆ จากรูปปิดที่เราได้สเกตไว้ |
|  | Revolve | ใช้ยืดเนื้อออกมาแบบหมุนรอบแกนที่เรากำหนด โดยมีหน้าตัดเป็นรูปที่เราได้วาดเอาไว้ |
|  | Sweep | ใช้สร้างเนื้อวัตถุ โดยให้เนื้อนั้นวิ่งไปตามเส้นที่เราวาดไว้ |

2. Placed Feature คือเครื่องมือที่ใช้ในการตัดแต่งเนื้อวัตถุที่เรามีอยู่ โดยมีเครื่องมือต่างๆ เช่น

| สัญลักษณ์ | ชื่อ | การใช้งาน |
|---|-------------|--|
|  | Extrude cut | ใช้ตัดเนื้อออกตามรูปที่วาดลงบนพื้นผิวอื่นๆ |
|  | Chamfer | ใช้ในการลบมุมชิ้นงานให้กลายเป็นขอบเรียบๆ |
|  | Hole wizard | ใช้ในการเจาะรูแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นรูเกลียว รูผ่าน ฯลฯ |


| | | |
|---|-------|--|
|  | Shell | ใช้ในการลบผิวชิ้นงานที่เราไม่ต้องการออกได้ โดยจะเหลือเพียงเปลือกนอกที่มีความหนาตามที่เรากำหนดไว้ |
|---|-------|--|

- Assembly Toolbar

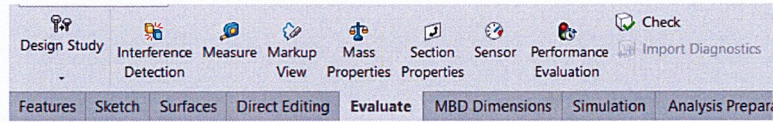


รูปที่2.22 Assembly Toolbar

คือโหมดเครื่องมือในการนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันด้วยเครื่องมือต่างๆ โดยมีคำสั่งที่หลากหลายเพื่อให้ง่ายต่อการทำงาน เช่น



| สัญลักษณ์ | ชื่อ | การใช้งาน |
|---|--------------------|---|
|  | Insert components | เป็นการนำชิ้นงานต่างๆเข้ามาเพื่อทำการประกอบ |
|  | Replace components | เป็นการแทนที่ชิ้นส่วนที่เลือกไว้ด้วยอีกชิ้นส่วนที่เราต้องการ |
|  | Mate | เป็นฟังก์ชันที่ใช้งานมากที่สุดในโหมดนี้ โดยจะมีเครื่องมือมากมายให้เลือกใช้ เช่น |
|  | Coincident | ใช้ในการทำให้สิ่งที่เราเลือกมาแนบชิดติดกัน |
|  | Concentric | ใช้ในการกำหนดให้วงกลม 2วง ใช้ศูนย์กลางร่วมกัน |
|  | Distance | ใช้กำหนดระยะห่างระหว่าง 2วัตถุ |
|  | Width | ใช้ทำให้พื้นผิวที่เราเลือกอยู่ระหว่างกลางกับอีก2พื้นผิว |

- Evaluate Toolbar



รูปที่ 2.23 Evaluate Toolbar

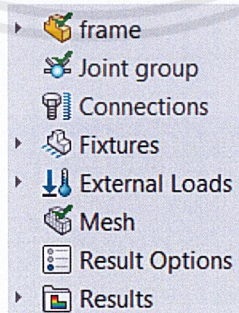
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานของเรา โดยสามารถดูได้หลากหลาย เช่น

| สัญลักษณ์ | ชื่อ | การใช้งาน |
|---|-----------------|---|
|  | Measure | เป็นเครื่องมือวัดขนาดชิ้นงานของเรา ความห่างระหว่างผิวหนึ่งกับอีกผิวหนึ่ง จุดหนึ่งกับอีกจุดหนึ่ง หรือจะเป็นขนาดของพื้นที่นั้นๆ |
|  | Mass Properties | ใช้ในการดูน้ำหนัก จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง ฯลฯ |

2.5.4 การทำ Simulation (Linear Static)

เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงทางวิศวกรรมของชิ้นงาน ที่ได้ออกแบบมาแล้วเพื่อประเมินและปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงาน โดยสามารถกำหนดสภาวะและแรงกระทำต่างๆ ก่อนที่จะทำการสั่งผลิตจริง จึงทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพมาได้

เมื่อเข้าสู่หน้าการ Simulation ทางด้านขวามือเราจะพบกับหัวข้อที่เราจำเป็นต้องกำหนดให้กับชิ้นงานของเรา

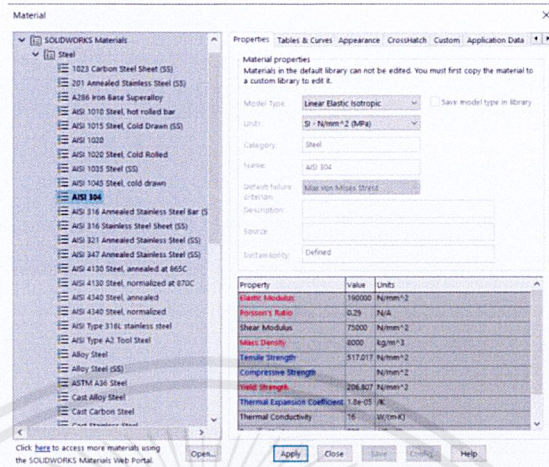


รูปที่ 2.24 หัวข้อในการกำหนดชิ้นงาน

ในการทำงานนั้นมีข้อแนะนำคือให้กำหนดไปที่ละหัวข้อ จากบนลงล่าง

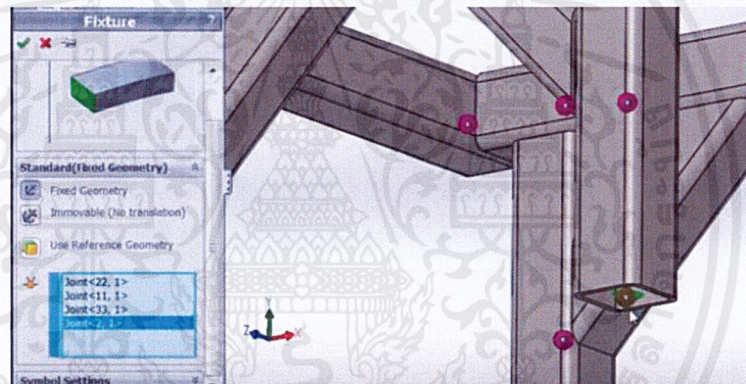
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Frame เป็นการกำหนดวัสดุให้กับชิ้นงานของเรา ซึ่งรวมถึงค่าคุณสมบัติของวัสดุด้วย



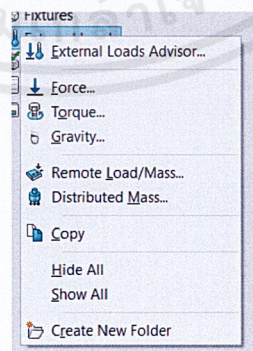
รูปที่ 2.25 การกำหนด Material ให้กับชิ้นงาน

2. Fixtures เป็นการกำหนดจุดจับยึด เสมือนให้จุดๆนั้นอยู่กับที่



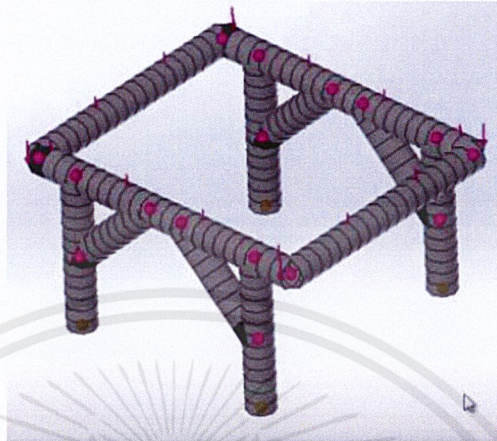
รูปที่ 2.26 การกำหนดจุดจับยึด

3. External load คือการใส่ค่าแรงจำลองต่างๆที่กระทำกับวัตถุ ไม่ว่าจะเป็น แรง แรงบิด แรงโน้มถ่วง หรือภาระที่รองรับ



รูปที่ 2.27 แรงต่างๆที่สามารถกำหนดให้กับชิ้นงานได้

4. Mesh เป็นการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็กๆเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงในชิ้นนั้นๆ ซึ่งเราสามารถกำหนดความละเอียดของชิ้นงานได้ โดยโปรแกรมจะทำให้เราโดยอัตโนมัติ



รูปที่2.28 การMeshชิ้นส่วนออกเป็นชิ้นเล็กๆ

5. จากนั้นให้เราเริ่มการทดลองด้วย

Run This Study

โดยผลที่ได้จากการ Solidworks Simulation จะมีอยู่หลักๆ 4 อย่างคือ

1. Stress หรือความเค้น

ใช้บอกว่าตำแหน่งต่างๆ มีแรงกระทำมากน้อยเท่าใดและส่งผลกระทบต่อชิ้นงานแต่ละจุดอย่างไร มีจุดไหนที่เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายหรือไม่

2. Displacement หรือค่าการผิดรูปไปจากเดิม

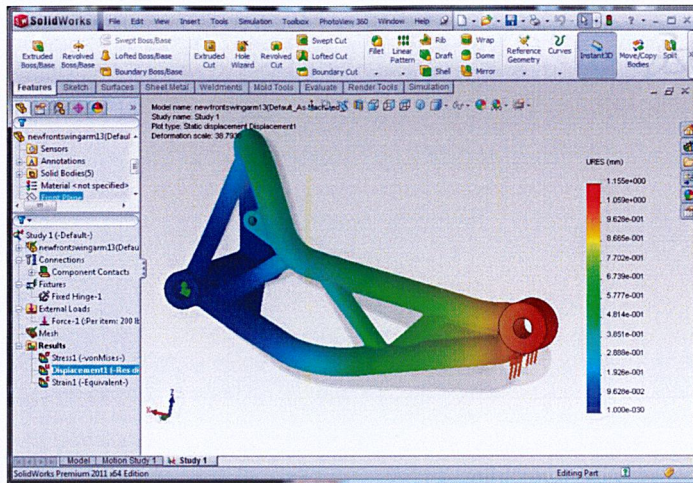
ใช้บอกว่าชิ้นงานเรามีการเสียรูปมากน้อยเพียงใดจากแรงที่กระทำ

3. Strain หรือค่าความเครียด

ใช้แสดงว่าเนื้อชิ้นงาน ณ ตำแหน่งนั้นๆยืดออกไปมากน้อยแค่ไหน โดยจะสัมพันธ์กับค่า Stress ด้วยเช่นกัน

4. Factor of safety หรือค่าความปลอดภัย

ใช้บอกว่าการออกแบบของเรามีการเผื่อให้ชิ้นงานได้รับแรงมากกว่าขีดความเสียหายเท่าใด



รูปที่ 2.29 ผลการแสดงผล Displacement

2.5.5 การทำ Motion Study

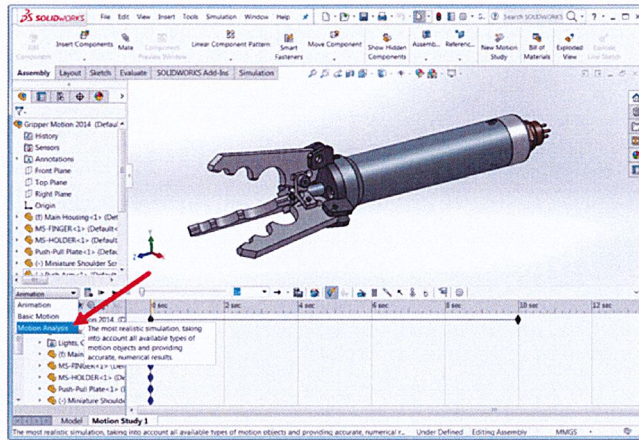
เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของสิ่งที่เราสร้างขึ้นเพื่อดูว่าสามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการได้หรือไม่ เช่น การขบกันของฟันเฟือง ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

การทำภาพเคลื่อนไหวในโปรแกรม Solidworks จะมีฟังก์ชันต่างๆให้เลือกคือ Animation และ Basic Motion นอกจากนี้ถ้าเราได้ Add-in ฟังก์ชัน Solidworks Motion เข้ามาเราจะเห็นว่า มีฟังก์ชัน Motion Analysis เพิ่มขึ้นอีกด้วย

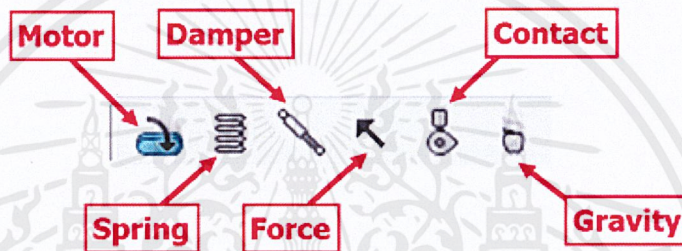
1. Animation คือการทำภาพเคลื่อนไหวโดยกำหนดเองว่าเวลาไหนชิ้นงานต่างๆจะอยู่ที่จุดไหน
2. Basic motion คือการทำภาพเคลื่อนไหวโดยกำหนดระยะทาง ความเร็ว หรือความเร่ง ความเร็วรอบ แต่จะไม่สามารถรู้ได้ว่าต้องใช้แรงบิดเท่าไร ใช้กำลังเท่าไร
3. Motion analysis คือการวิเคราะห์ชิ้นงานที่มีความเคลื่อนไหวทั้งหมด โดยสามารถรู้ผลลัพธ์ เช่น ความเร็ว ความเร่ง ทิศทาง กำลัง แรงบิดได้

Motion Analysis

จะมีเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการกำหนดชิ้นงานของเราไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์,สปริง,ตัวหน่วง, แรง,การสัมผัสของชิ้นงานและแรงโน้มถ่วง

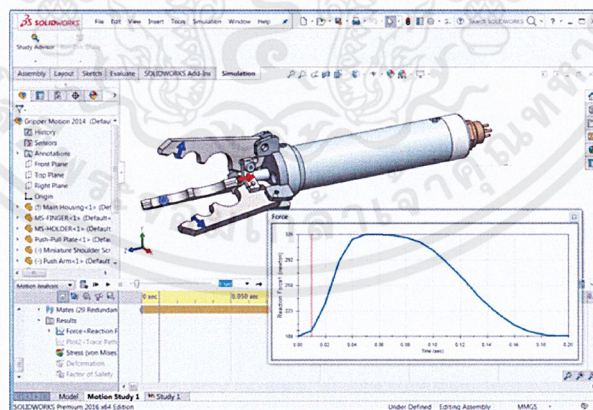


รูปที่ 2.30 การเข้าฟังก์ชัน Motion Analysis



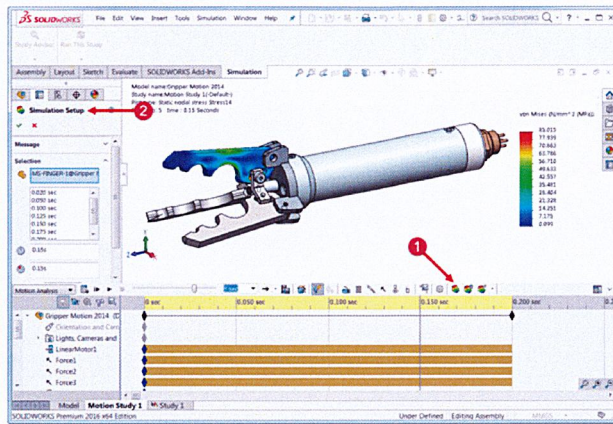
รูปที่ 2.31 เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการกำหนดชิ้นงาน

และผลที่ได้จากการทดสอบจะออกมาในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว ค่าแรง กำลัง ฯลฯ ซึ่งแสดงในรูปแบบของกราฟ



รูปที่ 2.32 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟ

นอกจากนี้เราสามารถนำผลที่ได้ไปต่อยอดในการวิเคราะห์ความแข็งแรงหรือความเสียหายได้อีกด้วย



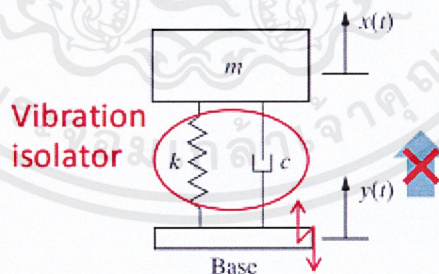
รูปที่ 2.33 ผลจากการทดสอบความแข็งแรง

2.6 การควบคุมการสั่นสะเทือน

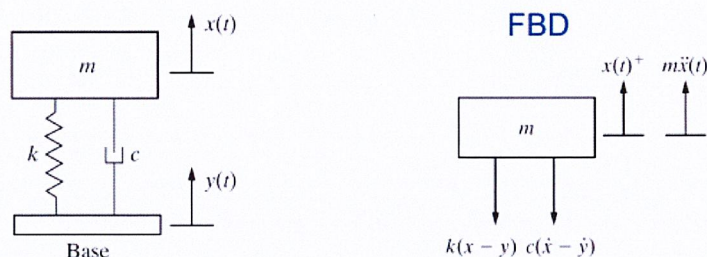
การสั่นสะเทือนมักพบเป็นประจำในเครื่องจักรกลต่างๆ ที่มีการเคลื่อนที่ อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อตัวเครื่องจักรเองหรือต่อสิ่งรอบข้างได้ การจะทำให้เครื่องจักรไม่มีการสั่นถือเป็นเรื่องทำได้ยากหรือทำไม่ได้เลย แต่ก็สามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้

การป้องกันการสั่นสะเทือนจากพื้นไม่ทำให้ไปถึงเครื่องจักร

สามารถทำได้โดยการออกแบบ Vibration isolator ซึ่งก็คือสปริงและตัวหน่วงให้มีค่าที่เหมาะสมทำให้การสั่นสะเทือนจากพื้นส่งผ่านไปยังเครื่องจักรได้น้อยลง



รูปที่ 2.34 การควบคุมการสั่นสะเทือนจากพื้นสู่เครื่องจักร



รูปที่ 2.35 แบบจำลองการสั่นสะเทือนจากการสั่นสะเทือนของพื้น และ FBD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Free-Body-Diagram เราจะได้สมการการเคลื่อนที่คือ

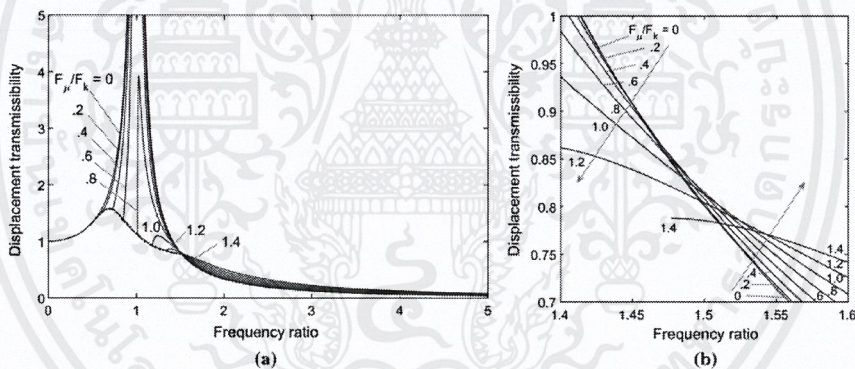
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky$$

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 2\zeta\omega_n\dot{y} + \omega_n^2y$$

โดยกำหนดให้การสั่นจากพื้นเป็นการสั่นแบบฮาร์มอนิก $y(t) = Y \cos \omega t = \text{Re}[Ye^{j\omega t}]$ และการตอบสนองในรูปแบบเชิงซ้อนคือ $z(t) = Ze^{j\omega t}$ โดย $x(t) = \text{Re}[z(t)]$ และ ให้ $r = \frac{\omega}{\omega_n}$ จากนั้นแทนลงในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{X}{Y} = |T(\omega)| = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สนใจ X กับขนาดการสั่นสะเทือนของพื้น Y และมีชื่อเรียกว่า Displacement transmissibility (T.R.) โดยอัตราส่วนนี้จะแสดงให้เห็นว่าวัตถุจะเคลื่อนที่เท่าไรเมื่อให้การกระตุ้นโดยการสั่นของพื้นที่มีความถี่ต่างๆ โดยสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 2.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Displacement transmissibility และค่าความถี่ต่างๆ

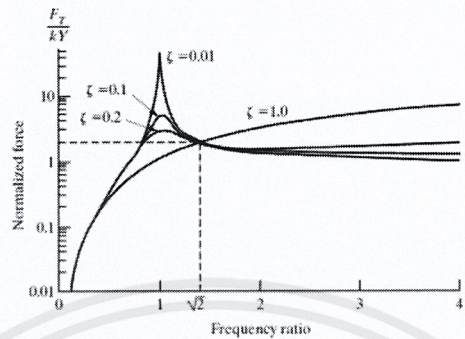
จากกราฟเราจะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่กระตุ้นมีค่าเข้าใกล้ 0 Hz ค่า T.R. จะมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการขจัดของการสั่นสะเทือนของพื้นจะมีค่าเท่ากับการสั่นสะเทือนของมวลที่เราสนใจ และจะมีค่ามากเมื่อความถี่กระตุ้นเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของระบบ ($r=1$) และช่วงที่จะทำให้เกิดการ Vibration isolation ($T.R. \leq 1$) เมื่อ $r > \sqrt{2}$ ดังนั้นหากต้องการให้การสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านไปยังมวลมีค่าน้อยต้องออกแบบให้อยู่ในช่วงนี้ การจะเพิ่มค่า r นั้นทำได้โดยการลดความถี่ธรรมชาติของระบบ ซึ่งทำได้โดยลดค่า k และเพิ่มมวล m .

และนอกจากการสั่นแล้วเรายังต้องคำนึงถึงแรงที่จะส่งผ่านขึ้นมาโดยสปริงและตัวหน่วงด้วย และจาก Equation of motion เราจะได้ว่าแรงนี้มีค่าเท่ากับ

$$F(t) = k(x - y) + c(\dot{x} - \dot{y}) = -m\ddot{x}$$

$$F(t) = m\omega^2 X \cos(\omega t + \theta) = m\omega^2 Y |T(\omega)| \cos(\omega t + \theta) = F_T \cos(\omega t + \theta)$$

$$\frac{F_T}{kY} = r^2 \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$



รูปที่ 2.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Force transmissibility ที่ความถี่ต่างๆ

2.7 แรงต้านการเคลื่อนที่

แรงต้านการเคลื่อนที่คือแรงที่ตรงข้ามกับแรงที่ส่งกำลังออกไป ซึ่งมีผลทำให้กำลังจากมอเตอร์ขับเคลื่อนไม่อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ เนื่องจากสูญเสียไปในการเอาชนะแรงต้านนี้ โดยสามารถแบ่งแรงต้านการเคลื่อนที่นี้ออกได้เป็น ดังนี้

1. แรงต้านการหมุนของล้อ
2. แรงต้านจากอากาศ
3. แรงต้านจากทางลาดชัน

โดยแรงต้านเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่ ลักษณะของสิ่งที่เคลื่อนที่ ลักษณะของพื้นผิวที่เคลื่อนไป ฯลฯ

2.7.1 แรงต้านการหมุนของล้อ

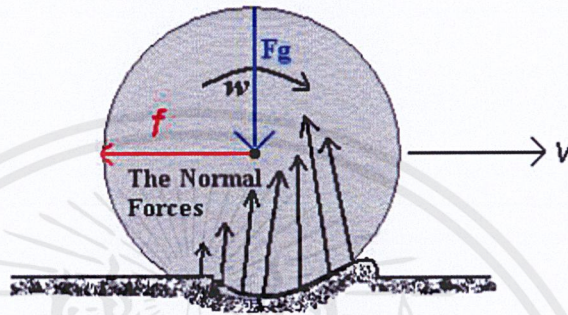
เป็นแรงที่จำเป็นเพราะแรงนี้จะเป็นตัวทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปได้ โดยอาศัยแรงเสียดทานที่ล้อกระทำกับพื้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการหมุนของล้อ ได้แก่

1. สภาพพื้นผิวของล้อ หมายถึงวัสดุที่นำมาทำ คุณสมบัติ รูปทรง และขนาด ซึ่งยิ่งขนาด

วงล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากจะส่งผลให้มีแรงต้านการหมุนของล้อน้อยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 23 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สภาพพื้นผิวที่ทำงาน ซึ่งถ้าบริเวณนั้นมีความขรุขระมากจะส่งผลให้แรงต้านการหมุนมากเช่นกัน
3. น้ำหนัก ถ้าน้ำหนักมีมากจะส่งผลให้แรงต้านการหมุนมากขึ้น
4. อัตราเร็ว โดยแรงต้านการหมุนจะมากที่สุดเมื่อเริ่มเคลื่อนที่เนื่องจากต้องเอาชนะแรงเสียดทานสถิต(Static friction) และจะน้อยลงเมื่ออัตราเร็วนั้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.38 แสดงแรงต้านการหมุนของล้อ

แรงต้านการหมุนของล้อสามารถคำนวณได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$R_r = K_r N$$

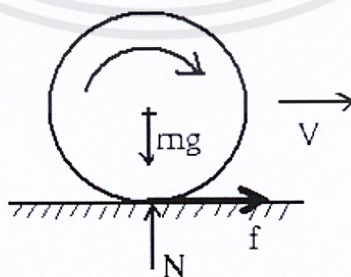
ซึ่ง R_r = แรงต้านการหมุน, N

K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

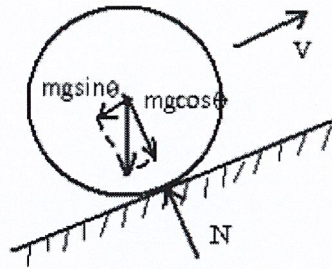
N = แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อรถ, N

โดยที่ค่า $N = mg$ ถ้ารถเคลื่อนที่บนพื้นราบ

$N = mg \cos \theta$ ถ้ารถเคลื่อนที่บนพื้นเอียง



รูปที่ 2.39 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่บนแนวราบ



รูปที่2.40 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน

ซึ่งค่า K_r เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับสภาพของผิวถนนที่ขั้วซี่ดังนี้

| ชนิด และ สภาพถนน | K_r (เฉลี่ย) |
|------------------------|----------------|
| ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต | |
| สภาพดีเยี่ยม | 0.014 - 0.018 |
| สภาพดีพอใช้ | 0.018 - 0.020 |
| ถนนปูพื้น | 0.023 - 0.030 |
| ถนนลูกรัง | 0.020 - 0.025 |
| ถนนดิน | |
| ถนนดินอัดแน่น | 0.025 - 0.035 |
| ถนนเปียกหลังฝนตก | 0.050 - 0.150 |
| ถนนทราย | 0.1 - 0.3 |

ตารางที่2.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพพื้นผิวต่างๆ

แต่โดยทั่วไปในการวิเคราะห์เราจะนำค่า K_r มาเฉลี่ยและรวมกับผลจากความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยใช้สูตร

$$K_r = avg(K_r) + 0.00016V$$

ซึ่ง K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

V = ความเร็วในการเคลื่อนที่, km/hr.

2.7.2 แรงต้านอากาศ

เป็นแรงที่เกิดจากวัตถุเคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็วทำให้เมื่อเคลื่อนที่ไปจะมีอัตราเร็วสัมพัทธ์ของอากาศมากระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่นั้น โดยจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและรูปทรงของพาหนะ

| Shape | Drag Coefficient |
|-----------------------|------------------|
| Sphere | 0.47 |
| Half-sphere | 0.42 |
| Cone | 0.50 |
| Cube | 1.05 |
| Angled Cube | 0.80 |
| Long Cylinder | 0.82 |
| Short Cylinder | 1.15 |
| Streamlined Body | 0.04 |
| Streamlined Half-body | 0.09 |

Measured Drag Coefficients

รูปที่ 2.41 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ

ในปัจจุบันการออกแบบรูปทรงตามหลักอากาศพลศาสตร์ จะส่งผลให้แรงต้านอากาศลดลงได้ ซึ่งจะส่งผลดีทำให้ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นและยังทำให้ประหยัดพลังงานอีกด้วย และปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านอากาศมีดังนี้

1. ความเร็วลม ถ้าความเร็วลมมีทิศทางสวนทางกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงต้านอากาศ แต่ถ้ามีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงเสริม
2. ลักษณะรูปทรงของพาหนะ แรงต้านที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่ความดันด้านหน้าและด้านหลังนั้นแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงกระทำจากด้านที่มีแรงดันสูงกว่า ด้านการเคลื่อนที่ของรถเอาไว้

เราสามารถคำนวณแรงต้านอากาศได้จากสมการ

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2$$

ซึ่ง R_a = แรงต้านอากาศ, N

ρ = ความหนาแน่นอากาศ, kg/m^3 ($\rho_{air} = 1.2 \frac{kg}{m^3}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแล 26 อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient)

V = ความเร็วเคลื่อนที่, m/s

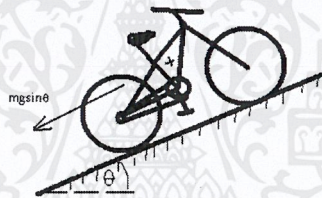
A = พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่, m^2

2.7.3 แรงต้านจากทางลาดชัน

แรงต้านจากทางลาดชันเกิดจากการที่ต้องใช้กำลังบางส่วนเพื่อเอาชนะแรงต้านซึ่งเกิดจากน้ำหนัก เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้นบนทางลาดชันได้ แต่ในกรณีที่เคลื่อนที่ลงทางลาดชันแรงที่เกิดขึ้นจะกลายเป็นแรงเสริม โดยมีปัจจัยดังนี้

1. น้ำหนัก
2. ความชันของพื้นผิว

การคำนวณแรงต้านจากทางลาดชันนั้นเกิดจากการแตกแรงออกเป็น 2 แรงคือแรงที่ตั้งฉากกับผิวทางลาดชันและแรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ซึ่งถือเป็นแรงต้านจากทางลาดชัน



รูปที่ 2.42 แสดงแรงต้านจากทางลาดชัน

$$R_g = W \sin \theta$$

ซึ่ง R_g = แรงต้านทางลาดชัน, N

W = น้ำหนัก, N

θ = องศาความชัน

จากทั้งสามแรงที่กล่าวมาข้างต้นเราสามารถหาแรงต้านการเคลื่อนที่รวมได้จาก

$$R_T = R_r + R_a + R_g$$

2.8 การหาแรงในการขับเคลื่อน

แรงขับเคลื่อนที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องคำนวณหาลำดับที่ต้องใส่เข้าไปให้มอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของมอเตอร์กับทอร์กของมอเตอร์จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแล 27 อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_m = 2\pi NT_m$$

ซึ่ง P_m = กำลังของมอเตอร์, *Watt*

N = อัตราเร็วรอบของมอเตอร์, *RPS*

T_m = แรงบิด-องมอเตอร์, $N \cdot m$

และสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อนกับทอร์กของล้อ คือ

$$F = \frac{T_w}{r}$$

และในการเคลื่อนที่ อัตราเร็วจะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วรอบของล้อโดย

$$V = 2\pi r N \frac{m}{s}$$

$$V = (3.6)2\pi r N \frac{km}{hr}$$

เมื่อเราสามารถหาอัตราเร็วและแรงต้านได้แล้ว เราจะสามารถหากำลังขับเคลื่อนของล้อจากสมการ

$$P_m = \frac{FV}{3.6n_t}$$

2.9 การดูความแข็งแรงของวัสดุ

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความเค้น(Stress) ความแข็งแรง(Strength) ความเครียด(Strain) ฯลฯ เป็นสิ่งที่บอกถึงความสามารถในการรับแรง หรือพลังงานเชิงกลที่เข้ามามีกระทำได้มากน้อยเพียงใด การที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใดๆ จะสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้นๆ

ความเค้น (Stress) หมายถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โคนเราสามารถจำแนกออกได้เป็นสามชนิดคือ

1. ความเค้นแรงดึง(Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับหน้าตัดขวาง
2. ความเค้นแรงกด(Compression Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับหน้าตัดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 28 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

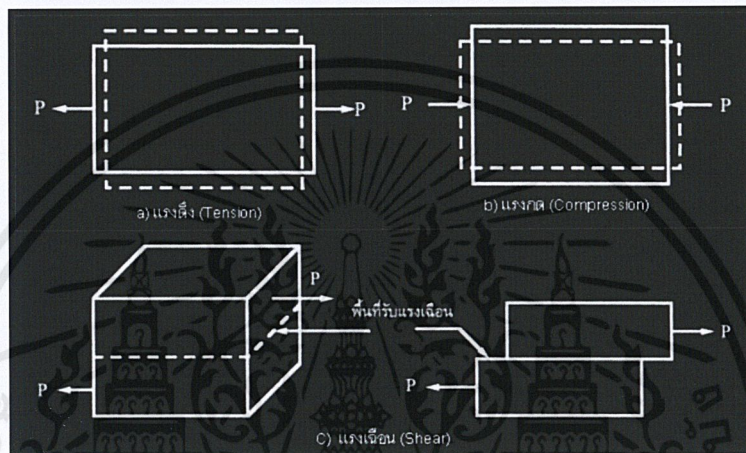
3. ความเค้นแรงเฉือน(Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำในทิศทางที่ขนานกับพื้นที่หน้าตัดขวาง

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \text{ค่าความเค้น} \left(\frac{N}{m^2}, Pa \right)$$

$$F = \text{แรงกระทำ} (N)$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัด} (m^2)$$



รูปที่ 2.43 อธิบายลักษณะของความเค้นแต่ละแบบ

ความเครียด (strain) คือการเปลี่ยนรูปของวัสดุ(Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ โดยการเปลี่ยนรูปร่างนี้มีผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงแบบคืนรูป(Elastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปที่เมื่อเอาแรงกระทำออกแล้วสามารถกลับคือสู่รูปแบบเดิมได้
2. การเปลี่ยนแปลงแบบคงรูป(Plastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปที่เมื่อเอาแรงกระทำออกแล้วไม่สามารถกลับคือสู่รูปแบบเดิมได้

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

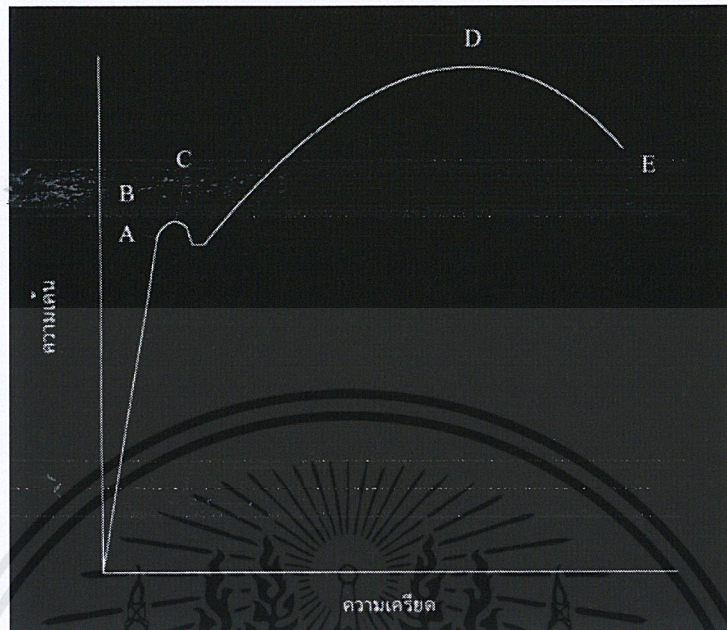
$$\epsilon = \text{ค่าความเครียด}$$

$$L = \text{ความยาวของชิ้นงานหลังรับภาระ}$$

$$L_0 = \text{ความยาวชิ้นงานเริ่มต้น}$$

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หากมีค่าไม่เกิดกว่าจุดการคืนรูปวัสดุนั้นก็ยังสามารถคืนรูปกลับไปดังเดิมได้

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

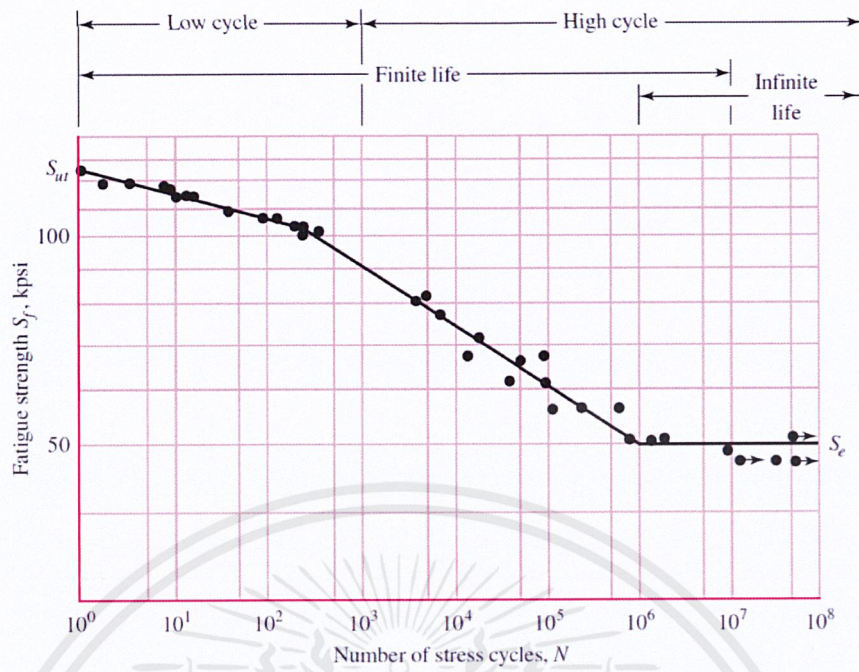


รูปที่ 2.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

โดยจะอธิบายผ่านการทดสอบแรงดึง เมื่อเราเรื่องดึงวัตถุอย่างช้าๆ ชิ้นงานก็จะค่อยๆยืดออกจนถึงจุด A ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์จะเป็นสัดส่วนคงที่ โดยเรียกจุด A นี้ว่าพิภักตสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิภักตสัดส่วนนี้วัสดุจะแสดงพฤติกรรมคือรูปเสมอ และเมื่อเราเพิ่มแรงกระทำเข้าไปจนถึงจุด B เรียกว่าพิภักตยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งเป็นจุดที่กำหนดค่าความเค้นสูงสุดที่ไม่ก่อให้เกิดการเสียรูปถาวรและเมื่อผ่านจุดนี้ไปจะก่อให้เกิดความเสียรูปอย่างถาวร โดยลักษณะการเริ่มเปลี่ยนแปลงความเครียดแบบพลาสติก จะเกิดอย่างรวดเร็วไปที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติกเรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความเค้นจุดคราก (Yield Stress หรือ Yield Strength) ซึ่งมีประโยชน์ในเชิงวิศวกรรมมาก เพราะในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

ความล้า (Fatigue) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นงานซ้ำๆ ถึงแม้แรงนั้นจะต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด วัสดุก็อาจเกิดการแตกหักได้ ซึ่งเป็นสาเหตุใหญ่ในการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ โดยจะเกิดขึ้น 2 ระยะคือระยะแรกจะเกิดเป็นรอยแตกขึ้น (crack) และระยะที่สองคือรอยแตกจะค่อยๆขยายขึ้นจนเกิดการแตกหัก โดยเรามีค่าขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) เมื่อวัสดุได้รับความเค้นน้อยกว่าความเค้นนี้จะไม่เกิดความเสียหายไม่ว่าจะรับความเค้นไปกี่รอบก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแล 30 ย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



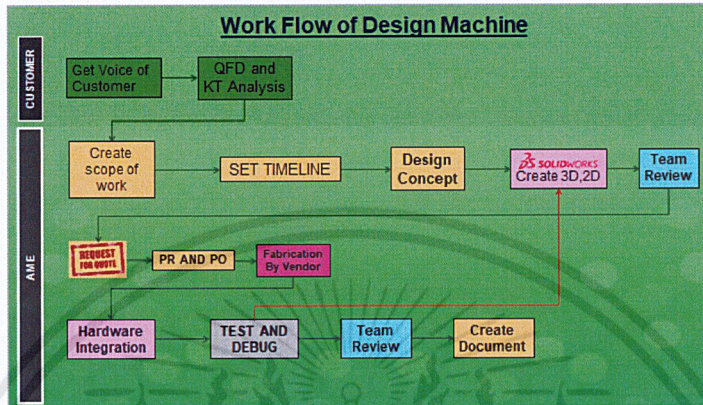
รูปที่ 2.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบการใช้งาน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานที่แผนก AME Development จะมีขั้นตอนในการออกแบบหุ่นยนต์ที่เป็นแบบแผนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานในการออกแบบหุ่นยนต์

3.1 การขอความต้องการจากลูกค้า (Get voice of customer, VOC)

ในขั้นตอนนี้เราจะจัดการประชุมกับลูกค้าในที่นี้คือ ผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมและทีมรักษาความปลอดภัย เพื่อนำความต้องการเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบเพื่อให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากที่สุด โดยจากการประชุมเราได้ความต้องการมาทั้งหมด 13 ข้อด้วยกัน ได้แก่

1. ราคาต่ำ
2. สามารถทำงานและทนต่อสภาพแวดล้อมบริเวณภายนอกอาคารได้ (แสงแดด, ความร้อน, ฝุ่น, สนิม)
3. มีความปลอดภัยสูง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผู้คนและสิ่งต่างๆ
4. สามารถขึ้นเนิน และทำงานบนพื้นผิวที่ขรุขระได้
5. สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง เช่น คน รถและอื่นๆ
6. ง่ายและรวดเร็วในการซ่อมบำรุง
7. สามารถตรวจจับสิ่งแวดล้อมได้ (อุณหภูมิ, ความชื้น, ฝุ่น, วัตถุ, และอื่นๆ)
8. มีน้ำหนักเบา
9. มีช่วงระยะเวลาการทำงานที่นาน
10. มีรูปแบบที่เป็นมิตร สวยงาม และกะทัดรัด
11. มีไฟและเสียงในการแสดงสถานะและแจ้งเตือน

12. ไม่ต้องการความเร็วในการวิ่งที่สูง
13. กล้องบันทึกภาพ
14. กันน้ำจากฝนตกหนักได้
15. แสกนบัตรพนักงานได้
16. รับ-ส่งข้อมูลของพนักงานได้

จากความต้องการ 16 ข้อที่ว่ามานี้ ทางทีมจะแบ่งข้อ 14-16 เป็นแผนสำหรับระยะการดำเนินงานถัดไป

3.2 การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Development, QFD)

กระบวนการนี้จะทำให้เรามองเห็นว่าความต้องการไหนของลูกค้าที่มีความสำคัญแล้วเราจะมีแนวทางในการทำมันได้อย่างไร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การออกแบบสามารถตอบสนองต่อกลุ่มผู้ใช้งานอุปกรณ์ และเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ในอนาคตให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้

| HOWs/Input | Kano Classification | Importance | Price | Robot Size | Speed | Modern and strenght Design | safety system | Power consumption | Suspension system | High detection | Over all mass | Varity function | Part |
|---|---------------------|------------|-------|------------|-------|----------------------------|---------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|-----------------|------|
| | | | ↓ | ↕ | ↕ | ↑ | ↑ | ↓ | ↕ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ |
| Direction of Improvement | | | ↓ | ↕ | ↕ | ↑ | ↑ | ↓ | ↕ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ |
| 1. Operate in outdoor area(Sunlight, Heat, water, Dust, Rust) | MB | 5 | | | | 3 | | 9 | | | | | |
| 2. High safety | MB | 5 | | | 3 | 9 | | | 9 | | 3 | | |
| 3. Can go up the steep slopes and run on rough surface. | MB | 5 | | | | 9 | | 9 | | 3 | | | |
| 4. Can avoid obstacles(car, human, etc) | MB | 5 | 1 | 1 | | | | | 9 | | | | |
| 5. Monitor eviroment.(Temp, Humit, Video, Dust, etc.) | MB | 5 | | | | | | | | | | 9 | |
| 6. Operate for a long times. | Att | 4 | | 3 | | | 9 | | | | | | |
| 7. Sound and Light operating | Att | 3 | | | | 3 | | | | | | 3 | |
| 8. Easy and fast for assemble and maintenance | Att | 3 | | | | 3 | | | | | | | 9 |
| 9. Friendly, Beauty and Compact design | Att | 3 | 9 | | 9 | | | | | | | 3 | |
| 10. Wild screen camera | Att | 2 | | | | | | | | | | | 9 |
| 11. Lightweight | 1D | 3 | 3 | | | | 3 | | | 9 | | | |
| 12. Low speed | 1D | 3 | | 9 | | | 3 | | | | | | |
| 13. Low cost | 1D | 5 | 9 | 3 | | | | | | | 3 | | 9 |
| Importance of the HOWs (Calculated) | | | 9 | 16 | 16 | 12 | 24 | 15 | 18 | 18 | 15 | 27 | 18 |

ตารางที่ 3.1 กระบวนการทำ Quality Function Development (QFD)

3.3 การกำหนดขอบเขตของโครงการ

โดยจากการทำการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เราจะสามารถรู้ได้ว่าเราจะทำอะไรถึงสามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้า ต่อมาเราจะกำหนดขอบเขตและความเหมาะสมของแต่ละหัวข้อ เพื่อที่จะได้รู้ขอบเขตของงานที่เราจะทำ

| Descriptions | Specification |
|---------------------|---|
| 1.Price | Less than 15K USD |
| 2.Robot Size | Max 55x60x110 cm |
| 3.Speed | 0.3m/s |
| 4.Design | Modern and Strenght Design |
| 5.Safety System | -Bumper -IR protection |
| 6.Power Consumption | -Can operate 12hr |
| 7.Suspention system | -Spring+Damper |
| 8.High Detection | |
| 9.Over all mass | Less than 50 kg |
| 10.Responsibility | |
| 11.Data storage | -Video -Employee data |
| 12.Varity function | -Line tracking(Vision base-3D cam) or Outdoor Lidar -7colors lighting to indicate machine status -Dust PM2.5 monitoring -Humidity monitoring -Temperature monitoring -Video data recoding -Battery monitoring -Sound, MIC -Light intensity monitoring -Touch screen -Night mode / Lighting system -Compass |

ตารางที่3.2 แสดงขอบเขตและเนื้อหาของหุ่นยนต์

3.4 แนวคิดในการออกแบบ

แนวคิดในการออกแบบช่วงล่างของหุ่นยนต์

จากการเริ่มศึกษาหุ่นยนต์ชนิดต่างๆ จะทราบได้ว่าหุ่นยนต์แต่ละชนิดที่มีความเหมาะสมกับ

ความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน เราจึงทำการเลือกชนิดของหุ่นยนต์ที่เราจะสร้าง โดยดูเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและดึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความต้องการของลูกค้าที่ต้องการหุ่นยนต์ที่นำมาใช้วิ่งตรวจสอบและเพิ่มความปลอดภัย บริเวณโดยรอบโรงงาน จากที่เราได้ตรวจสอบมาในเส้นทางที่เรากำหนดให้หุ่นยนต์วิ่งนั้น จัดเป็น พื้นที่ที่มีความขรุขระน้อย และพบเนินที่มีความชันอยู่ที่ 5 องศา เราจะพบว่าหุ่นยนต์ ที่มีความเหมาะสมต่องานนี้มากที่สุดคือ แบบใช้ล้อในการเคลื่อนที่เพราะนอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว หุ่นยนต์ชนิดนี้เป็นหุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการควบคุมและความเสถียรของตัวหุ่นยนต์ที่สูง จึงตอบโจทย์ในเรื่องของความปลอดภัยอีกด้วย และตัวเลือกในการออกแบบนี้จะสามารถตอบโจทย์ กับทางแผนกที่กำลังพัฒนาหุ่นยนต์ AGV โดยใช้ล้อในการขับเคลื่อนด้วยเช่นกัน โดยที่ทางแผนก จะสามารถพัฒนาหุ่นยนต์ตัวนี้ต่อไปได้โดยง่าย

ต่อมาคือแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่โดยใช้ล้อ โดยจากการศึกษาเรา พบว่ามีการเคลื่อนที่อีกหลากหลายเช่นกัน และเรามีหลักในการเลือกจากความเหมาะสมต่อการทำงาน โดยหุ่นยนต์ของเราทำงานโดยไม่มีข้อจำกัดด้านทิศทางของหุ่นยนต์เนื่องจากเส้นทางที่ใช้ปฏิบัติการนั้นเป็นทางที่ค่อนข้างกว้างจึงทำให้มีอิสระในการเคลื่อนที่ จึงเลือกการเคลื่อนที่ในหมวดของ Non-holonomic และด้วยฟังก์ชันการทำงานของหุ่นยนต์ที่ต้องการให้หุ่นของเราสามารถหมุนเลี้ยวอยู่กับที่ได้จึงเหลืออยู่สองระบบคือ Skid steer และ Differential drive และเมื่อเรากลับไปดูที่ความต้องการของลูกค้าในด้านของการทำงานได้นานนั้น การใช้ระบบ Skid steer จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่เยอะ เราจึงเลือกระบบ Differential drive ซึ่งเป็นระบบที่เรียบง่าย ใช้พลังงานน้อย แต่ด้วยล้อขับ 2 ล้อ ทำให้ยากต่อการทรงตัว เราจึงเพิ่มล้อ ประคองที่ด้านหน้า 2 ล้อ และด้านหลัง 2 ล้อ

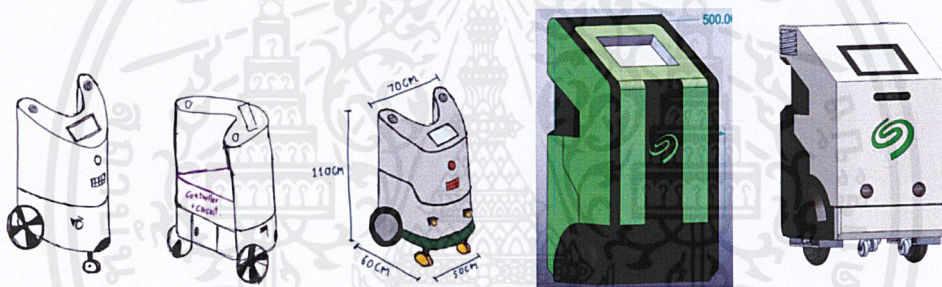
และอีกระบบคือระบบขับเคลื่อน ซึ่งในปัจจุบันหุ่นยนต์ AGV ที่ทางแผนกกำลังพัฒนาอยู่นั้น จะใช้มอเตอร์และเกียร์ในการขับเคลื่อน แต่ผมได้มีอีกแนวคิดหนึ่งขึ้นมาคือการใช้ล้อไฟฟ้ามา แทนในการขับเคลื่อนซึ่งมีข้อได้เปรียบไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกกว่าทำให้สามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้มากกว่า สามารถลดอุปกรณ์ทำให้การบำรุงรักษานั้นง่ายขึ้นและเพิ่มเนื้อที่ ทำให้การออกแบบเป็นไปได้โดยง่าย

และระบบกันสั่น ในเมื่อหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่โดยมีการสัมผัสกับพื้นอยู่ตลอดเวลา แน่นอนว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดจากความขรุขระ หรือความไม่สม่ำเสมอของพื้นนั้น ย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีระบบกันสั่นเพื่อนที่จะลดแรงสั่นสะเทือนและทำให้ล้อนั้นสัมผัสกับพื้น อยู่เสมอ โดยจากการสำรวจบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการ เราพบกับเพียงความขรุขระที่ก่อให้เกิดการ

สะเทือนอย่างละเอียดเพียงเท่านั้น และด้วยความเร็วที่เรากำหนดไว้ที่ 0.3 เมตรต่อวินาที จะทำการสั่นสะเทือนที่ได้รับเป็นเพียงการสั่นสะเทือนอย่างละเอียดที่ความถี่ต่ำ เราจึงจะใช้ระบบกันสั่นที่ล้อขับเคลื่อนเท่านั้นเพื่อให้ล้อขับเคลื่อนนั้นสัมผัสกับพื้นอยู่ตลอดเวลาและช่วยลดแรงสั่นสะเทือนด้วย และจากความต้องการของลูกค้าซึ่งต้องการราคาที่ย่อมเยา ด้วยเหตุนี้เราจึงสรุปได้ว่าระบบแมคเฟอร์สันสตรัทนั้นดูจะเหมาะสมที่สุดที่จะติดตั้งที่ล้อขับเคลื่อนและที่ล้อประกอบนั้น เราจะใช้แผ่นยางในการลดแรงที่จะส่งขึ้นสู่ตัวหุ่นยนต์

แนวคิดในการออกแบบรูปลักษณ์โดยรวม

ในการออกแบบรูปลักษณ์ภายนอกนั้น จะเป็นการออกแบบโดยให้มีรูปแบบที่สื่อถึงความทันสมัยด้วยลูกเล่นต่างๆ แต่จะต้องดูเป็นมิตรและสวยงาม เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 3.2 Outlook design NO.1-2-3-4 ตามลำดับ

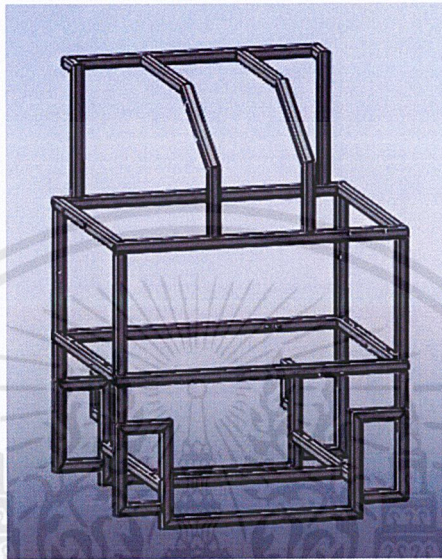
3.5 การออกแบบผ่านโปรแกรม Solidworks และการเลือกวัสดุ อุปกรณ์

เมื่อเรารู้แล้วว่างานที่เราทำนั้นจะมี รูปแบบโดยสังเขปว่าจะออกมาประมาณไหนแล้ว เราจะทำงานออกแบบส่วนต่างๆผ่านโปรแกรม Solidworks

3.5.1. การออกแบบตัวโครงหลัก

ในการออกแบบโครงหลักของหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นรากฐานในการสร้างหุ่นยนต์ อันดับแรกต้องเห็นภาพโดยสังเขปก่อนว่า ระบบอื่นๆ จะอยู่ส่วนไหนและมีรูปแบบการทำงานอย่างไร และถือเป็นส่วนหลักที่จะเชื่อมระบบอื่นๆเข้าหากันและกัน ดังนั้นในการออกแบบโครงหลักนี้ จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องความแข็งแรงเพื่อที่จะสามารถรับน้ำหนักของตัวมันเองกับระบบอื่นๆ และระยะต่างๆที่จะนำระบบทั้งหมดเข้ามาติดตั้ง

โดยโครงหลักที่วาดนี้สร้างจากการลากเส้น 3มิติ ให้เป็นลักษณะโครงขึ้นมาก่อน แล้วทำการ Insert>Structural Member โดยใช้ Standard Profile ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลตามท้องตลาดและทางผู้ผลิตว่ามีขนาดใดบ้าง ในการออกแบบนี้เราเลือก Square Tube Profile ขนาด 19.1x19.1x2 mm



รูปที่ 3.3 ผลการออกแบบโครงของหุ่นยนต์

เมื่อเราได้ลักษณะโครงโดยรวมมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิต โดยวัสดุที่จะนำมาผลิตต้องมีความสามารถ ดังนี้

1. มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักจากส่วนต่างที่เราประเมินเอาไว้ได้
2. มีความสามารถในการกันสนิม กันการกัดกร่อน

เนื่องจากทางบริษัทซีเกทจะเน้นการใช้วัสดุอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดในการผลิตหุ่นยนต์หรือเครื่องจักร คือเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ที่มีคุณสมบัติโดยทั่วไปคือใช้งานได้ทั่วไปไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อนสูง สามารถขึ้นรูปเย็นและเชื่อมได้ดี และอลูมิเนียม (Aluminum alloys) เป็นอลูมิเนียมที่มีการผสมระหว่างแมกนีเซียมและซิลิคอน ที่สามารถบ่มแข็งได้ จึงมีความแข็งแรงสูง และทนต่อการกัดกร่อนได้ และด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ จึงทำให้วัสดุ 2 ชนิดนี้เป็นที่นิยมในการผลิตโครงของหุ่นยนต์ AGV ในปัจจุบันอีกด้วย ดังนั้นเราจะเลือกใช้วัสดุสองชนิดนี้มาใช้ในการออกแบบให้เหมาะสมในแต่ละส่วนการทำงาน

เราจึงนำวัสดุสองชนิดนี้มาทำการทดลองความแข็งแรงผ่านโปรแกรม Solidworks Simulation โดยมีวิธีการทดลองและผลการทดลองดังนี้

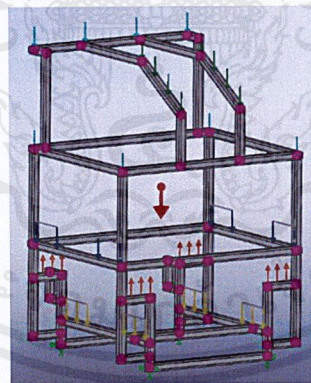
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและที่ยังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Material | γ | E | G | Tensile strength | | | Ultimate strength | | | | ν |
|-------------------------|------------------|-----------------------|---------------|------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|---------------------|-----------------|
| Unit | $\frac{kN}{m^3}$ | GPa | GPa | MPa | | | MPa | | | % | |
| | Density | Modulus of elasticity | Sheer modulus | Tens. | Comp. | Shear | Tens. | Comp. | Shear | Elongation in 2 in. | Poisson's ratio |
| Stainless steel 304 | 78.6 | 193 | 86 | 215 | 215 | - | 505 | 505 | - | 40 | 0.29 |
| Aluminum alloys 6061-T6 | 27.1 | 68.9 | 26 | 255 | 255 | 131 | 290 | 290 | 186 | 12 | 0.35 |

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Stainless Steel 304 และ Aluminum Alloys 6061-T6

วิธีการทดลอง

เมื่อเราสร้างชิ้นส่วนโครงหลักเรียบร้อยแล้วให้เข้าสู่โหมด Solidworks simulation โดยใช้การทดสอบแบบ Linear Static



รูปที่ 3.4 แสดงการใส่ค่าต่างๆลงในการทดสอบ

สิ่งที่กำหนดให้กับการทดสอบ

1. กำหนดวัสดุทั้งหมดเป็น Stainless steel เกรด 304 สำหรับการทดลองที่ 1 และ Aluminum alloy เกรด 6061-T6
2. กำหนดจุดยึดติดบริเวณ ข้อต่อด้านล่าง 4 มุม (ลูกศรสีเขียวอ่อน)
3. ใส่แรงที่กระทำกับโครงที่จุดต่างๆ

2.1 น้ำหนักจากชุดแบตเตอรี่โดยประมาณ 20 Kg (ลูกศรสีเหลือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

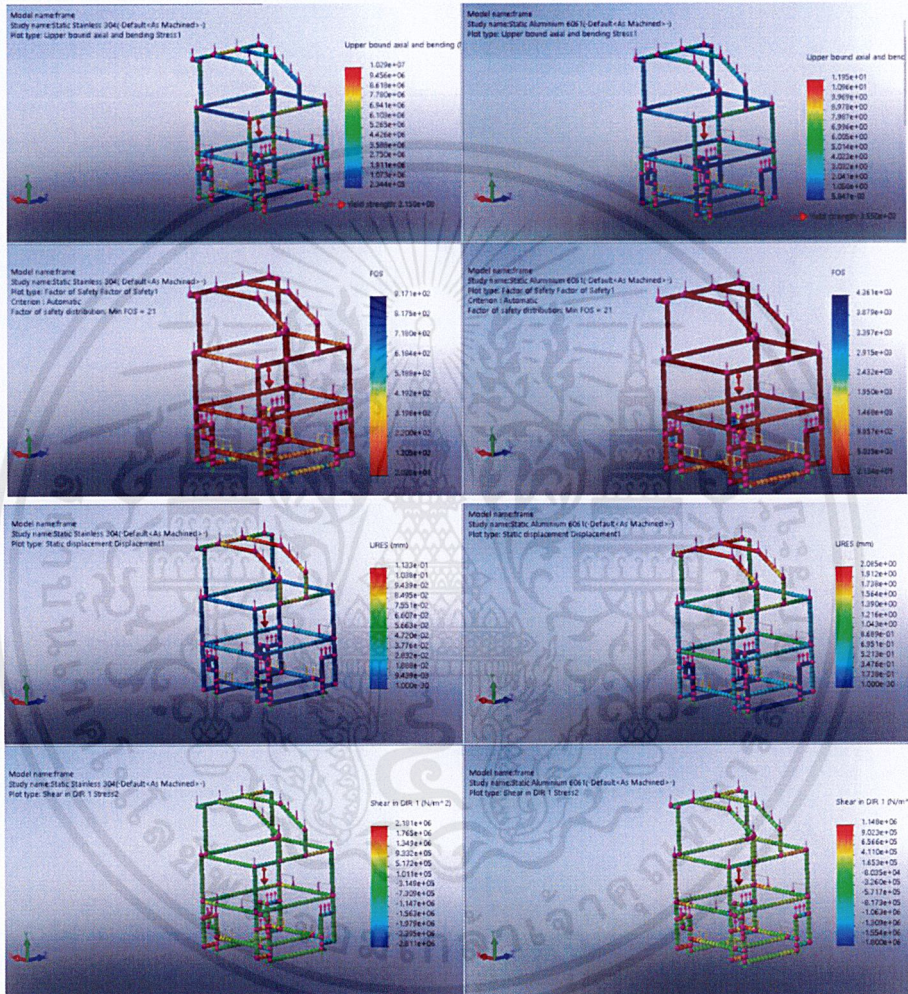
2.2 น้ำหนักจากชุดวงจรควบคุมหลัก โดยประมาณ 15 Kg (ลูกศรสีน้ำเงิน)

2.3 น้ำหนักจากชุด Computer โดยประมาณ 3 Kg (ลูกศรสีเขียวเข้ม)

2.4 น้ำหนักจากชุดปิดด้านนอก โดยประมาณ 8 Kg (ลูกศรสีฟ้า)

2.5 แรงโน้มถ่วง 9.81 m/s^2

เมื่อกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการ Mesh and Run เราจะได้ผลการทดสอบ



รูปที่ 3.5 แสดงผลการทดสอบระหว่างวัสดุ Stainless Steel (ซ้าย) และ Aluminum Alloy (ขวา) ของโครงหลัก

จากรูปที่ 3.5 ผลการจะแสดงทดลองในการดูค่า Yield strength, Factor of safety, Displacement และค่า Shear ตามลำดับ ที่เกิดขึ้น พบว่าการนำวัสดุแท่งหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้วัสดุทั้งสองมาสร้างโครงนั้นสามารถรองรับแรงจากระบบอื่นๆได้

ดังนั้นสิ่งที่เราจะพิจารณาต่อคือคุณสมบัติของวัสดุที่เหมาะสมต่อชิ้นงาน โดยวัสดุ

Aluminum มีข้อได้เปรียบ Stainless ในด้านของน้ำหนักที่เบามากกว่าทำให้สามารถลดน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ลงได้ แต่เมื่อเราให้วัสดุเป็น Stainless และน้ำหนักโดยรวมของหุ่นยนต์ก็ไม่เกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเที่ยงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าที่เรากำหนดไว้ และ Stainless นั้นมีข้อได้เปรียบในการทดการกัดกร่อนที่มากกว่าทำให้อายุการใช้งานนั้นยาวนานกว่าและในด้านการผลิตที่จะทำให้การเชื่อมในจุดต่างๆทำได้ง่ายกว่า ส่งผลให้ระยะต่างๆที่ต้องการมีความคลาดเคลื่อนต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำโครงหลักคือ Stainless steel 304

3.5.2. การเลือกล้อประกอบ

โดยล้อประกอบนั้นมีหน้าที่ในการประกอบตัวหุ่นยนต์เพื่อไม่ให้ล้อล้มและรองรับน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์เอง ดังนั้นในการเลือกเราต้องคำนึงถึงความแข็งแรงและฟังก์ชันต่างๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

การดูเรื่องของความแข็งแรงในการรองรับน้ำหนัก ได้มีการกำหนด Safety Factor ของน้ำหนักประเมินอยู่ที่ 1.5 ดังนั้นน้ำหนักที่เราจะใช้คือ

$$W = S.F. \times m \times g$$

$$W = 1.5 \times 100 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 1471.5 \text{ N}$$

ดังนั้นแรงที่แต่ละล้อต้องรับคือ

$$W = 367.875 \text{ N}$$

ส่วนในเรื่องของฟังก์ชันการใช้งานคือ ต้องเป็นล้อที่สามารถเปลี่ยนทิศทางได้ เพื่อให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่แบบ Differential drive ตัววัสดุของที่ยึดล้อนั้นต้องเป็น Stainless เพราะเป็นส่วนที่มีการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมมากจึงต้องทนต่อการกัดกร่อน และวัสดุที่มาทำตัวล้อเองต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ทนต่อการกระแทก ไม่ทำให้เกิดเสียงรบกวน ไม่ทำให้เกินความเสียหายต่อพื้น และต้องมีความสูงที่เพียงพอที่จะยกตัวหุ่นยนต์ให้พ้นเนินได้

จากนั้นนำความต้องการเหล่านี้ไปเทียบกับสินค้าในตลาด แล้วพบว่าสินค้าที่ตรงความต้องการอยู่นั้นคือ Caster – Light/Medium Load โดยมีรหัสสินค้าคือ CNSGJ65-U

| Main Body | Part Number Type | D | Wheel Material | H | A | C | F1 | F2 | G1 | G2 | d | E | r | B | Steel | Stainless Steel | Allowable Load (N) | | | | Mass (g) | | | |
|-----------|--|----------|----------------|-----|-----|-----|----|---------|---------|-----|----|-----|----------|---|-------|-----------------|--------------------|------|------|------|----------|------|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | R | U | N | R | U | N | | |
| | | 25 | | 35 | 35 | 30 | 28 | 23 | | 4.2 | 9 | 24 | 13 | | 1.5 | - | 80 | - | 100 | 36 | - | 37 | | |
| | | 36 | | 50 | 46 | 38 | 36 | 28 | | 5.3 | 13 | 34 | 18 | | 2 | - | 200 | - | 280 | 74 | - | 75 | | |
| | | 50 | | 65 | 50 | 47 | 46 | 35 | | 6.5 | 16 | 46 | 24(20+1) | | 2 | - | 500 | - | 600 | 170 | - | 140 | | |
| | | 65 | | 85 | 70 | 58 | 55 | 54 (*4) | 44 (*4) | 8.8 | 25 | 59 | 25(27★) | | 2 | 2 | 500 | 700 | 700 | 370 | 310 | 300 | | |
| | Swivel CNSGJ (Steel) CNSGJ (Stainless Steel) | 65 75 | | 93 | 70 | 58 | 55 | 54 (*4) | 44 (*4) | 8.8 | 25 | 59 | 25(27★) | | 2 | 2 | 600 | 800 | 800 | 390 | 330 | 320 | | |
| | | 100 | | 100 | 80 | 60 | 58 | 58 | 58 | 10 | 30 | 64 | 35(30★) | | 4 | 4 | 1200 | 1200 | 1200 | 1920 | 1500 | 1500 | | |
| | | 125 | | 165 | 102 | 102 | 80 | 75 | 80 | 11 | 35 | 103 | 38(30★) | | 4 | 4 | 1500 | 1500 | 1500 | 1600 | 1500 | 1350 | | |
| | | 150 | | 190 | 102 | 102 | 80 | 75 | 80 | 11 | 40 | 120 | 38(40★) | | 4 | 4 | 1600 | 1600 | 1600 | 1835 | 1750 | 1680 | | |

รูปที่ 3.6 ข้อมูลของล้อประกอบ

เราจะได้ความสูงของล้อคือ 85 มิลลิเมตร โดยมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางคือ 65 มิลลิเมตร เราจะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบระบบช่วงล่างต่อไป

3.5.3. การออกแบบระบบกันสั่น

จากการเข้าสำรวจพื้นที่เราได้ข้อมูลของพื้นที่โดยรอบ พบค่าการสั่นอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ซึ่งถือเป็นการสั่นแบบละเอียด โดยส่วนที่เราจะแยกการสั่นกับตัวหุ่นยนต์คือระหว่างล้อประคองและล้อขับเคลื่อนกับตัวโครงหลัก

ในส่วนของล้อประคองกับตัวหุ่นมีเราได้ประยุกต์การลดการสั่นด้วยการใช้แผ่นป้องกันการสั่น (Antivibration Pads) ซึ่งมีหน้าที่เปรียบเหมือนสปริงและตัวหน่วง ในการลดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากพื้น เพราะถ้าไม่มีการกันสั่นในส่วนนี้ซึ่งเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของตัวหุ่นและเป็นส่วนหลักที่ถ่ายทอดการสั่นขึ้นสู่ตัวหุ่นยนต์ได้นั้น จะมีผลทำให้ตัวหุ่นยนต์ได้รับการสั่นสะเทือนอย่างมาก



รูปที่ 3.7 แผ่นกันสั่น (Antivibration Pads)

โดยการเลือกแผ่นกันสั่นนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมต่อการใช้งานโดยสามารถศึกษาได้จากกราฟตามแคตตาล็อก

1. ความถี่ของการสั่นที่เกิดขึ้นจากพื้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 20-30 Hz
2. แอมพลิจูดการสั่นสูงที่สุดอยู่ที่ 1.5 mm
3. โหลดที่ต้องรับมากที่สุดอยู่ที่ 30 kg



รูปที่ 3.8 การเลือกแผ่นกันสั่น

ที่เราได้เลือกจากกราฟนี้มาคือเรื่องของวัสดุและรูปแบบเท่านั้น ต่อมาเราจะมาดูเรื่องของขนาดที่ต้องใช้โดยดูจากแคตตาล็อกเช่นเดิม

| Type | T | Allowable Load N (kgf)/cm ² | Deflection Characteristic N/mm (kgf/mm)/cm ² |
|-------|----|--|---|
| BPATF | 10 | 50 (5.2) | 44 (4.5) |
| | 20 | 75 (7.6) | 17.6 (1.6) |
| BPASF | 10 | 24 (2.5) | 20 (2.0) |
| | 20 | 35 (3.6) | 7.6 (0.6) |

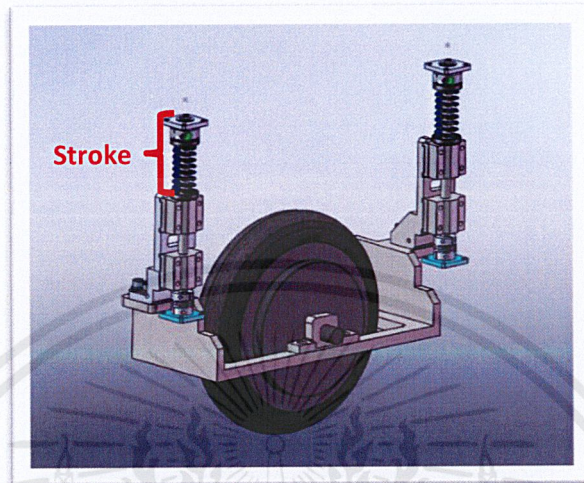
รูปที่ 3.9 เลือกขนาดตามโหลดที่ต้องรองรับ

โดยชิ้นส่วนที่เราเลือกมาจะมีค่า TR อยู่ที่ 1/3 ซึ่งหมายถึงว่าสามารถลดกระดับการสั่นที่เกิดจากพื้นได้ประมาณ 4 เท่า

ต่อมามีระบบกันสั่นในส่วนของล้อขับเคลื่อน โดยมีต้นแบบมาจากหุ่น AGV จากทางทีม ซึ่งล้อขับเคลื่อนมีหน้าที่หลักในการทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ และเป็นตัวกำหนดทิศทางที่จะเคลื่อนที่ไปด้วย ดังนั้นล้อทั้งสองข้างนี้จำเป็นจะต้องสัมผัสกับพื้นอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าสถานการณ์ไหนๆ เช่น ขึ้นเนิน ลงเนิน เอียง หรือแม้แต่ตกหลุมเพราะถ้ามีล้อใดล้อหนึ่งลอยจากพื้นจะทำให้เราไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้เลย และจากการที่เราให้น้ำหนักของหุ่นยนต์เราลงไปที่ล้อประคองทำให้ล้อขับเคลื่อนไม่ต้องรับภาระจากน้ำหนักด้วย ดังนั้นการออกแบบระบบกันสั่น ณ จุดนี้ จะมีหน้าที่ด้วยกันดังนี้

1. แยกการสั่นจากพื้นที่จะขึ้นมาสู่ตัวรถ
2. ทำให้ล้อติดพื้นอยู่เสมอ

และจากระบบกันสั่นแบบ แม็คเฟอร์สันสตรัท (Macpherson Strut) แต่ละล้อจะมีชุดกันสั่นของตัวเอง โดยที่จะไม่สัมพันธ์กับอีกล้อ โดยจากการออกแบบ ซึ่งอ้างอิงจากระบบกันสั่นของหุ่นยนต์ AGV ที่ทำบริษัทกำลังใช้อยู่ เราจะได้ออกมาตามรูปที่3.14



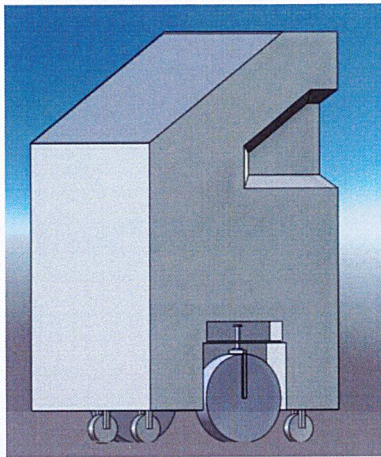
รูปที่3.10 ระบบกันสั่นสำหรับล้อขับเคลื่อน

ต่อมาเราต้องทำการวิเคราะห์หาระยะที่ให้สปริงยืดหรือหด(Stroke) และแรงที่เกิดขึ้นจากสปริง

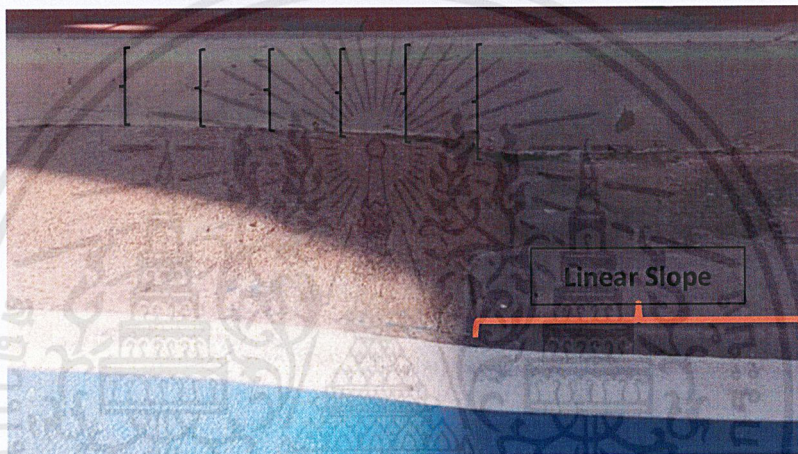
การหาระยะยืด-หดของสปริง

เราหาระยะนี้จากการจำลองผ่านโปรแกรม Solidworks โดยใช้โหมด Motion Analysis โดยอันดับแรกเราต้องสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อให้ในการทดลอง

การสร้างแบบจำลองตัวหุ่นยนต์เพื่อดูระยะ Stroke และเนินที่มีความชันมากที่สุดโดยใช้การวัดความสูงในระยะ ต่างๆ แล้วนำมาจำลองสร้างเนินในโปรแกรม Solidworks และจำลองตัวหุ่นยนต์เพื่อดูระยะ Stroke



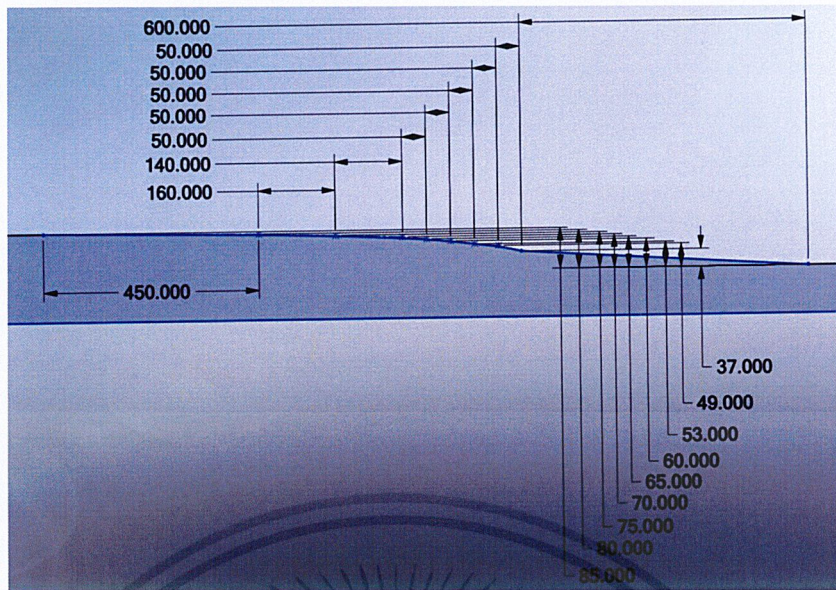
รูปที่3.11 แบบจำลองตัวหุ่นยนต์



รูปที่3.12 ตำแหน่งการวัดเนิน

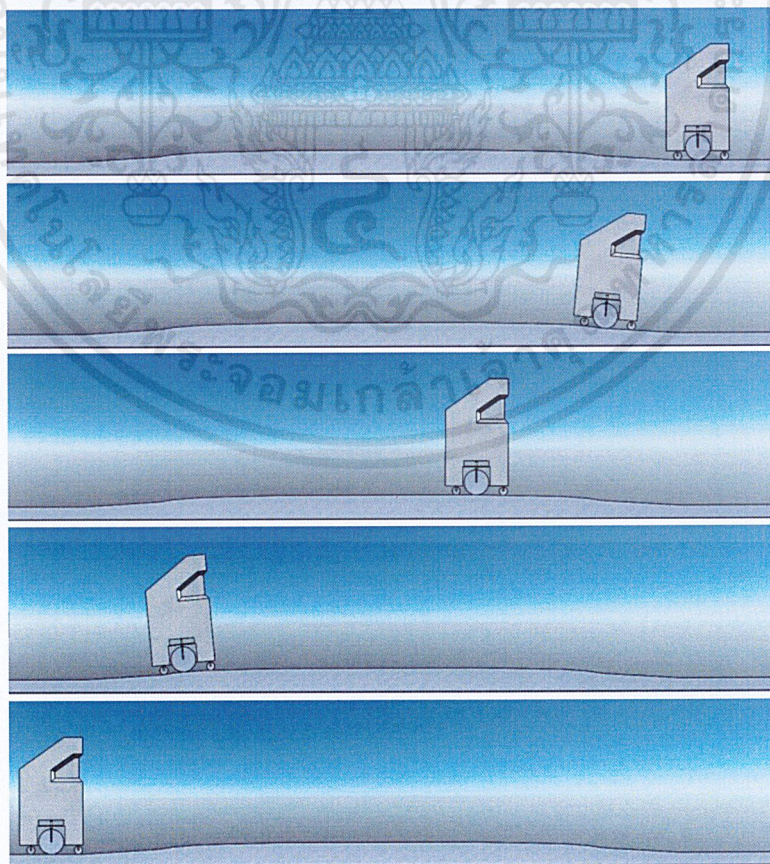
| | | | | | | | | | | |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| ระยะ | 0 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 104 | 120 |
| ความสูง | 0 | 37 | 49 | 53 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 |

ตารางที่3.3 ตารางแสดงความสูงของเนินที่ระยะต่างๆ



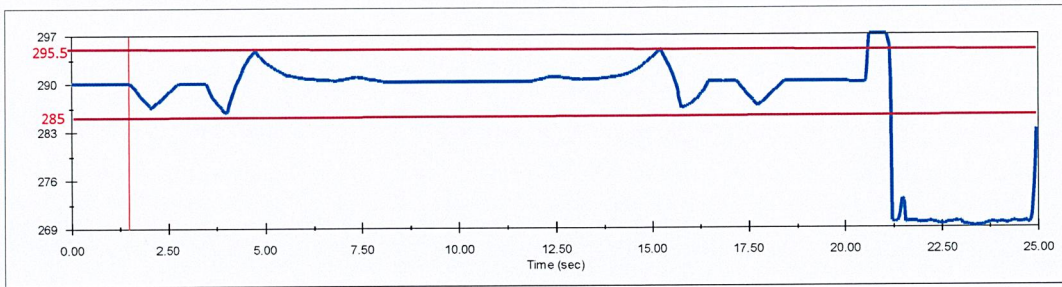
รูปที่3.13 การจำลองเนินบนโปรแกรม Solidworks

จากนั้นเมื่อเราได้แบบจำลองมาเรียบร้อยแล้ว เราจะเข้าสู่การทำ Motion Analysis เพื่อหาระยะ Stoke ที่ต้องการ



รูปที่3.14 การเคลื่อนที่ใน Motion Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเที่ยงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

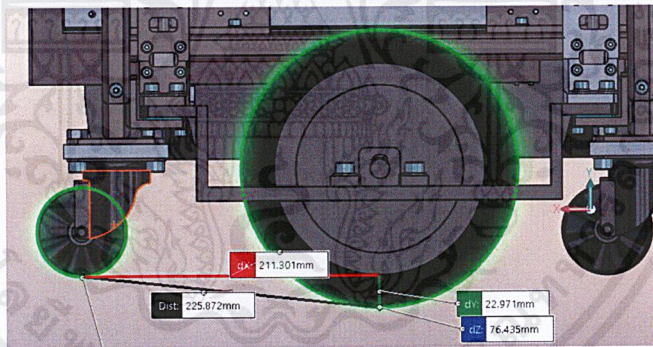


รูปที่ 3.15 กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ของ Stroke

จากกราฟระยะStroke เราได้ช่วงการเคลื่อนที่ของสปริงอยู่ที่ +5.5/-5.0 mm จากระยะเริ่มต้น ดังนั้นช่วง Stroke ที่เราจะออกแบบนั้นควรมีค่ามากกว่า 10.5 mm

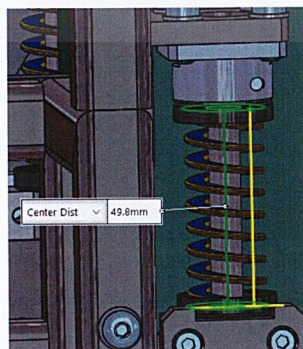
และนอกจากระยะการยืดหดของสปริงแล้ว เราต้องคำนึงถึงระยะคงตัวขณะอยู่บนผิวเรียบ ด้วยเพราะระยะนี้จะเป็นระยะอ้างอิงหลักที่จะเป็นแรงที่ทำให้ล้อสัมผัสกับพื้นและทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้

โดยมีระยะหดตัวของสปริงอยู่ที่ประมาณ 23 mm ขณะอยู่บนพื้นราบ เราจะได้ระยะหดตัวมากที่สุดที่ 28.5mm และน้อยสุดอยู่ที่ 18mm



รูปที่ 3.16 ระยะการหดตัวของสปริงขณะอยู่บนพื้นราบ

โดยเราได้ออกแบบช่วงระยะ Stroke ไว้อยู่ที่ 49.8mm



รูปที่ 3.17 ระยะStrokeของระบบกันสั่นที่ล้อขับเคลื่อน

จากนั้นเราจะมาเลือกสปริงที่ใช้ โดยค่าคงที่ของสปริงที่เราเลือกจะเป็นตัวกำหนดแรงที่กดลงบนล้อขับเคลื่อนซึ่งถ้าแรงนี้มากเกินไปก็จะทำให้รถนั้นล้อยได้ หรือถ้าน้อยเกินไปจะทำให้ล้อนั้นไหล เป็นเหตุให้รถไม่สามารถวิ่งตามปกติได้ โดยสปริงที่เราเลือกมาใช้จะเป็น SWC18-50

| D | d | L | Spring constant | | | Catalog No. | Base unit price | |
|-----------------|----|-----|-----------------|---------|---------|-------------|-----------------|----------|
| | | | F=LX50% | F=LX55% | F=LX60% | | | |
| Operation count | | | 1,000,000 | 500,000 | 300,000 | Type D-L | 1~19 pieces | |
| 18 | 11 | 25 | 10.46 | 11.07 | 12.5 | 13.8 | Out of range | SWC18-25 |
| | | 30 | 8.72 | 0.89 | 15.0 | 16.5 | 18.0 | 30 |
| | | 35 | 7.47 | 0.76 | 17.5 | 19.3 | 21.0 | 35 |
| | | 40 | 6.54 | 0.67 | 20.0 | 22.0 | 24.0 | 40 |
| | | 45 | 5.81 | 0.59 | 22.5 | 24.8 | 27.0 | 45 |
| | | 50 | 5.23 | 0.53 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 50 |
| | | 55 | 4.75 | 0.48 | 27.5 | 30.3 | 33.0 | 55 |
| | | 60 | 4.36 | 0.44 | 30.0 | 33.0 | 36.0 | 60 |
| | | 65 | 4.02 | 0.41 | 32.5 | 35.8 | 39.0 | 65 |
| | | 70 | 3.74 | 0.38 | 35.0 | 38.5 | 42.0 | 70 |
| | | 75 | 3.49 | 0.36 | 37.5 | 41.3 | 45.0 | 75 |
| | | 80 | 3.27 | 0.33 | 40.0 | 44.0 | 48.0 | 80 |
| | | 90 | 2.91 | 0.30 | 45.0 | 49.5 | 54.0 | 90 |
| | | 100 | 2.62 | 0.27 | 50.0 | 55.0 | 60.0 | 100 |
| | | 125 | 2.09 | 0.21 | 62.5 | 68.8 | 75.0 | 125 |

รูปที่ 3.18 ตารางแสดงลักษณะของสปริงแต่ละอย่าง

โดนสปริงตัวนี้จะให้ค่าคงที่ของสปริง (Spring constant, k) อยู่ที่ 5.23N/mm และจากสูตรแรงสปริง เราจะได้แรงกดที่กระทำกับล้อดังนี้

| ระยะกดของสปริง | ระยะกดย่นสุด | ระยะปกติ 23mm | ระยะกดมากที่สุด |
|---|--------------|---------------|-----------------|
| | 18mm | | 28.5mm |
| แรงที่กระทำกับล้อแต่ละข้าง (จากสปริง 2 ตัว) | 188.28 N | 240.58 N | 298.11 N |

ตารางที่ 3.4 แสดงแรงกดของสปริงต่อล้อขับเคลื่อน

และด้วยแรงเหล่านี้เราจะนำไปพิจารณาในการเลือกใช้ล้อขับเคลื่อนต่อไป

3.5.4 การเลือกมอเตอร์ไฟฟ้า (Hub motor)

ในการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้านั้นเราจะดูที่กำลังของมอเตอร์ว่าสามารถใช้งานกับหุ่นยนต์ของเราได้หรือไม่ และดูที่ฟังก์ชันการใช้งานต่างๆด้วยเช่น การกั้นน้ำ การเบรก เป็นต้น

การหาค่ากำลัง, แรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์

| ข้อมูล | ตัวแปร | ปริมาณ | หน่วย |
|-----------------|--------|--------|-------|
| น้ำหนักหุ่นยนต์ | m | 100 | kg |

| | | | |
|--|----------|----------------------------|--------|
| แรงที่กดล้อขับเคลื่อน | N_s | 300 | N |
| อัตราเร็วออกแบบ | V | 1.08 | km/hr |
| พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ | A | 0.111(Cone) 0.244(Cube) | m^2 |
| รัศมีล้อ | r | 0.1 | m |
| สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ | C_D | 0.5(Cone) 1.05(Cube) | N/A |
| มุมมองศาความชัน | θ | 9 | degree |

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลในการหาขนาดมอเตอร์

หาค่าแรงต้านทานการเคลื่อนที่

หาค่าแรงต้านการหมุน

จากสูตร

$$R_r = K_r N$$

แรงต้านการหมุนที่ล้อประกอบ 4 ล้อ

$$R_r = 0.02 \times 100 \times 9.81 = 19.62 \text{ N}$$

แรงต้านการหมุนที่ล้อขับเคลื่อน

$$R_r = 0.02 \times 298.11 \times 2 = 11.92 \text{ N}$$

ดังนั้นเราจะได้แรงต้านการหมุนรวมอยู่ที่

$$R_r = 21.582 + 11.92 = 31.54 \text{ N}$$

หาค่าแรงต้านอากาศ

จากสูตร

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2$$

$$R_a = \left(\frac{1}{2} \times 1.2 \times 0.5 \times 0.111 \times 1.08^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 1.2 \times 1.05 \times 0.244 \times 1.08^2 \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและให้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_a = 0.218 \text{ N}$$

หาค่าแรงต้านจากทางลาดชัน

จากสูตร

$$R_g = W \sin \theta$$

$$R_g = 100 \times 9.81 \times \sin 9$$

$$R_g = 153.46 \text{ N}$$

หาค่าแรงต้านรวม

จากสูตร

$$R_T = R_r + R_a + R_g$$

เราจะได้แรงต้านรวม ขณะวิ่งบนทางเรียบเป็น $R_T = 31.758 \text{ N}$

และแรงต้านรวม ขณะวิ่งขึ้นเนินเป็น $R_T = 185.22 \text{ N}$

เมื่อเราได้ค่าแรงต้านแล้วเราจะสามารถหาค่ากำลังที่ใช้ และแรงบิดที่ต้องการได้

ขณะวิ่งบนพื้นราบ

หาค่ากำลังของมอเตอร์

จากสมการ $P_m = \frac{FV}{3.6n_t}$

ขณะวิ่งบนพื้นราบ $P_m = \frac{31.758 \times 1.08}{3.6}$

$$P_m = 9.5274 \text{ w}$$

หาความเร็วรอบของมอเตอร์

จากสมการ $V = 2\pi r N \frac{m}{s}$

$$N = \frac{V}{3.6 \times 2 \times \pi \times r} \text{ rps}$$

$$N = \frac{1.08}{3.6 \times 2 \times \pi \times 0.1} \text{ rps}$$

$$N = 0.4775 \text{ rps}$$

$$N = 28.64 \text{ rpm}$$

หาค่าแรงบิดของมอเตอร์

$$P_m = 2\pi N T_m$$

$$T_m = \frac{P_m}{2\pi N}$$

$$T_m = \frac{9.5274}{2 \times \pi \times 0.4775}$$

$$T_m = 3.175 \text{ N} \cdot \text{m}$$

ขณะวิ่งบนเนิน

หาค่ากำลังของมอเตอร์

จากสมการ $P_m = \frac{FV}{3.6n_t}$

ขณะวิ่งขึ้นทางชัน $P_m = \frac{185.22 \times 1.08}{3.6}$

$$P_m = 55.56 \text{ w}$$

หาค่าแรงบิดของมอเตอร์

$$P_m = 2\pi N T_m$$

$$T_m = \frac{P_m}{2\pi N}$$

$$T_m = \frac{55.56}{2 \times \pi \times 0.4775}$$

$$T_m = 18.52 \text{ N} \cdot \text{m}$$

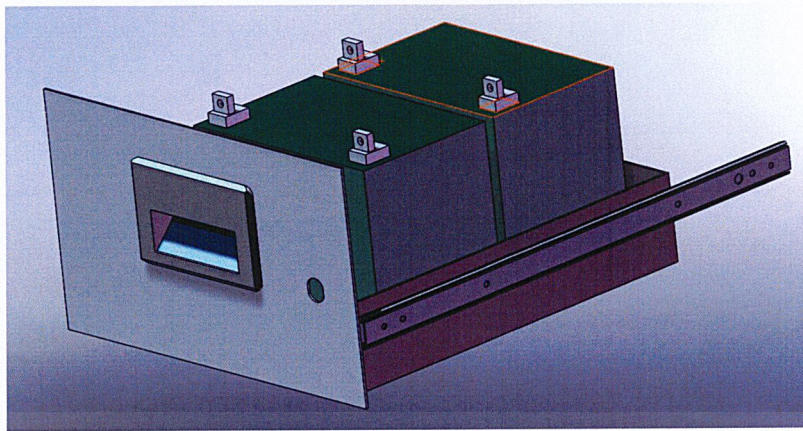
และจากการที่เราใช้ล้อขับเคลื่อน 2 ตัว แสดงว่าล้อแต่ละข้างต้องสามารถสร้างแรงบิดได้ไม่ต่ำกว่า 9.26 นิวตัน-เมตร และต้องมีฟังก์ชัน เกี่ยวกับการเบรกและการกันน้ำด้วย จากการไปหาในท้องตลาดได้เลือก Hub motor ZLLG80ASM250

| Rated Voltage | Rated Output power | Rated Torque | Maximum Torque | Rated Speed | Maximum Speed | Rated Current | Maximum |
|---------------|--------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|
| 24-48VDC | 50-350W | 5N.m | 10N.m | 400RPM | 600RPM | 3-17A | 34A |
| Tire Diameter | Weight | Shaft Type | Encoder Wire | Tire | Brake Type | Protection Level | Suggested Load |
| 200mm | 3.45KG | Double shaft | 1024 wires | Rubber pattern | Electric brake | IP54 | ≤100KG |

รูปที่ 3.19 ข้อมูลของ ZLLG80ASM250

3.5.5 การออกแบบกล่องแบตเตอรี่

ซึ่งเป็นระบบที่มีน้ำหนักมากที่สุด โดยมีน้ำหนักอยู่ที่ 30 kg และยึดจับกับตัวโครงหลักโดยใช้ สกรู M4 ในการยึด



รูปที่3.20 กล่องลั่นชั๊กเบตเตอร์ที่ออกแบบ

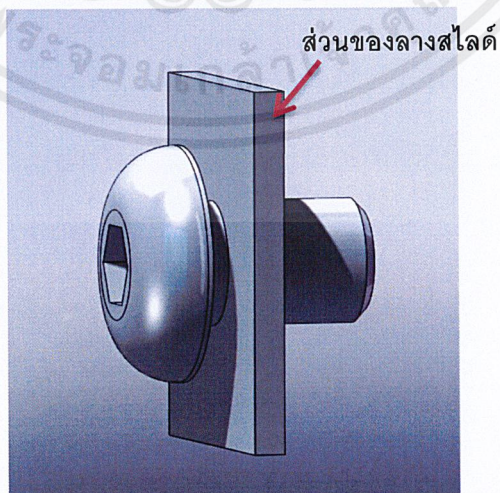


รูปที่3.21 สกรู M4 ที่ใช้ในการจับยึด

โดยเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะเกิดการสั่นในแนวแรงโน้มถ่วงของโลกเกิดขึ้น ทำให้เกิดความล้ากับตัวสกรูซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวสกรูได้ เราจึงจำเป็นต้องทดสอบความเสียหายที่เกิดขึ้น

วิธีการทดสอบ

โดยการใช้ Solidworks Simulation เริ่มต้นจากการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบ



รูปที่3.22 การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบ

สิ่งที่กำหนดให้กับการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัสดุเป็น Stainless steel 304
- แรงที่กระทำผ่านรางสไลด์ มากกว่าน้ำหนักของชุดแบตเตอรี่ 30 kg และเราใช้สกรู 2 ตัวในการยึด เราจะได้ภาระที่สกรูแต่ละตัวจะรับคือ 15 kg จากการวัดการสั่นสะเทือนเราพบความเร่งสูงสุดอยู่ที่ 12.24 เมตร/วินาที²

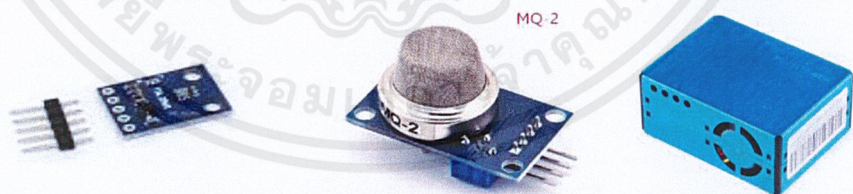
จากสูตร $\Sigma F = ma$

$$F = 15 \times 12.24 = 183.6 \text{ N}$$

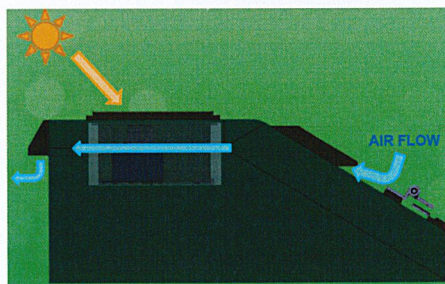
ผลที่ได้จากการทดลองความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าเท่ากับ 96 MPa จากนั้นนำผลการทดลองไปเข้าสู่การวิเคราะห์ความล้า ผลที่ได้ออกมาคือสกรูไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งจะสรุปผลอีกทีในบทที่ 4

3.5.6 การออกแบบระบบตรวจวัดสิ่งแวดล้อม

ในการออกแบบระบบนี้เราใช้เซ็นเซอร์ด้วยกันสามตัวคือ เซ็นเซอร์วัดแสง(GY-2561 TSL2561) เซ็นเซอร์วัดแก๊ส(MQ-2) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ,ความชื้นและฝุ่น(PMS5003ST) และเนื่องจากเซ็นเซอร์เหล่านี้ไม่สามารถป้องกันน้ำได้ จึงต้องอยู่ภายในของตัวหุ่นยนต์ ด้วยเหตุนี้จะทำให้ไม่สามารถวัดสภาพแวดล้อมภายนอกได้ เราจึงออกแบบให้อากาศและแสงสามารถที่จะผ่านเข้ามาเพื่อที่จาสามารถวัดได้โดยทางที่เข้ามานั้นต้องสามารถกันฝนได้



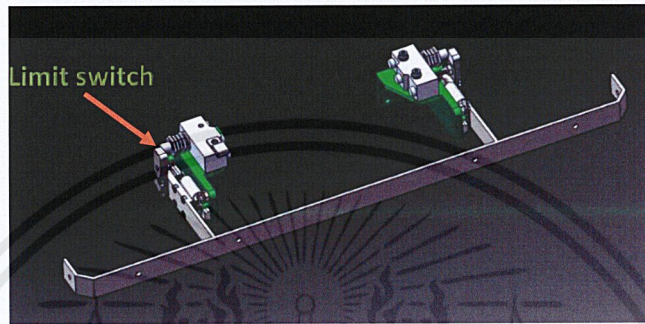
รูปที่3.23 เซ็นเซอร์ที่นำมาใช้



รูปที่3.24 การออกแบบระบบตรวจจับสิ่งแวดล้อม

3.5.7 การออกแบบตัวกันชน

ด้วยหุ่นยนต์ AVG นั้นเป็นหุ่นยนต์อัตโนมัติ ถ้าหากเกิดความผิดพลาด จำเป็นต้องมีตัวกันชนที่จะสั่งให้หุ่นยนต์หยุดโดยทันทีเมื่อมีการชนเกิดขึ้นเพื่อลดความเสียหายให้ได้มากที่สุด โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อเกิดการชนขึ้น จะทำให้คานไปแตะสวิทช์ที่จะไปสั่งให้หยุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.25 ระบบกันชนของหุ่นยนต์

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ผลการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด แผนก AME Development ซึ่งมีหน้าที่ในการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ตั้งแต่วันที่ 4มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 16 ธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยได้รับมอบหมายงานในการออกแบบหุ่นยนต์ที่ใช้ในการรักษาความปลอดภัย ในส่วนของฮาร์ดแวร์ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบรูปลักษณ์ภายนอก



รูปที่4.1 Final outlook design

การออกแบบนี้จะสื่อให้เห็นถึงความทันสมัย ด้วยรูปร่างที่เรียบง่ายแต่ก็มีส่วนที่เว้า โค้ง ทำให้ดูแปลกตา และเราใช้สีเขียวเพื่อที่จะแสดงถึงความเป็นซีเกท และการใช้สีดำจะแสดงถึงความแข็งแกร่ง และลูกค้ามีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์

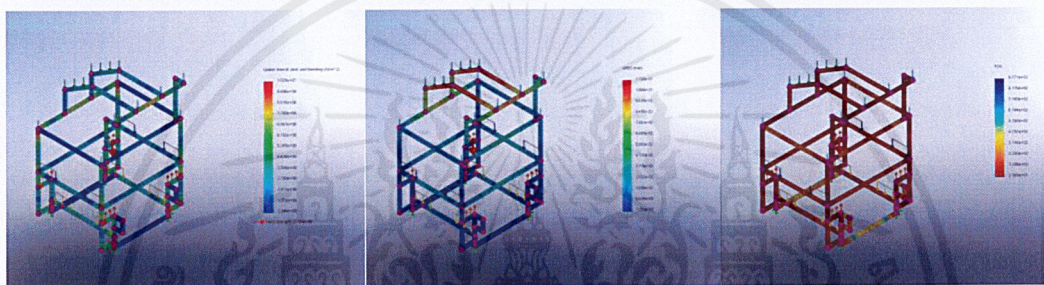
4.2 ผลการออกแบบโครงหลัก

เมื่อออกแบบชิ้นส่วนมาเรียนร้อยแล้ว ได้นำไปผ่านกระบวนการ Simulation เพื่อดูความแข็งแรงของโครงหลักว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ โดยผลที่ได้ออกมาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและหึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

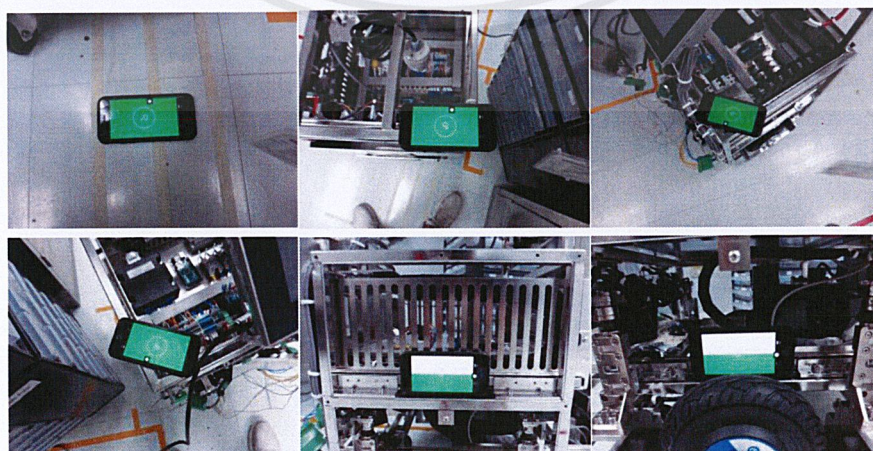
| Name | Type | Min | Max |
|--------------------------|-------------------------------|--|--|
| Stress1 | Upper bound axial and bending | 2.344e+05 N/m ² Element: 264 | 1.029e+07 N/m ² Element: 109 |
| Displacement1 | URES: Resultant Displacement | 0.000e+00 mm Node: 178 | 1.133e-01 mm Node: 143 |
| Factor of Safety1 | Automatic | 2.088e+01 Node: 118 | 9.171e+02 Node: 268 |

ตารางที่4.1 ผลการSimulation ความแข็งแรงของโครง Stainless Steel 304



รูปที่4.2 ภาพประกอบผลการ Simulation ความแข็งแรง

จากผลการ Simulation เราพบว่าเกิดค่าความเค้น(Stress) สูงสุดอยู่ที่ 10.29 MPa โดยคุณสมบัติของวัสดุ Stainless Steel มีค่าความเค้นคราก(Yield Stress) อยู่ที่ 205 MPa แสดงว่าโครงชิ้นนี้สามารถรับน้ำหนักตามที่ได้กำหนดไว้โดยที่ไม่เกิดความเสียหาย ผลการเสียรูปที่มากที่สุดอยู่ที่ 0.1133 mm ซึ่งถือว่าน้อยมาก และมีค่าความปลอดภัย(Factor of safety)อยู่ที่ 20.88 และเมื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆเรียบร้อยแล้ว และหลังจากนำไปลงพื้นที่ วิ่งรอบโรงงานพบว่า โครงหลักมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ ไม่เกิดการแตกหัก, การโก่งงอและการเอียง

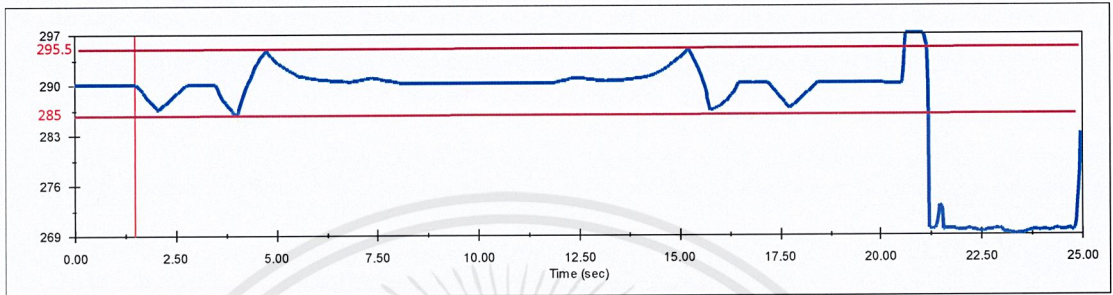


รูปที่4.3 ผลจากการดูความแข็งแรงและการโก่งงอของโครงหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

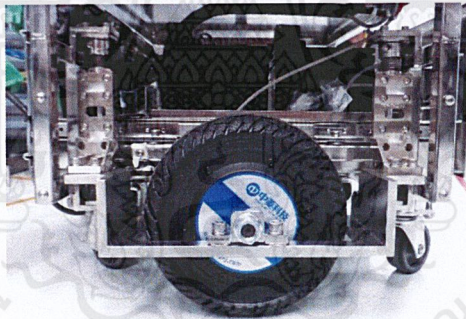
4.3 ผลการออกแบบระบบกันสะเทือน

ในการออกแบบระบบกันสะเทือน ซึ่งมีหน้าที่ในการลดการสั่นสะเทือนและบังคับให้ล้อขับเคลื่อนสัมผัสกับพื้นอยู่เสมอ เราจะเป็นต้องหาระยะยืดหดของสปริง เพื่อใช้ในการกำหนดระยะของช่องสปริงทั้งหมด



รูปที่4.4 กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ของ Stroke

จากกราฟระยะStoke เราได้ช่วงการเคลื่อนที่ของสปริงอยู่ที่ +5.5/-5.0 mm หรือก็คือ 10.5 mm ซึ่งต้องรวมกับระยะกดปกติขณะอยู่บนพื้นเรียบคือ 22.3 mm และระยะการหดตัวมากที่สุดของสปริง จนสุดท้ายระยะที่ได้ออกแบบไว้คือ 49.8 mm

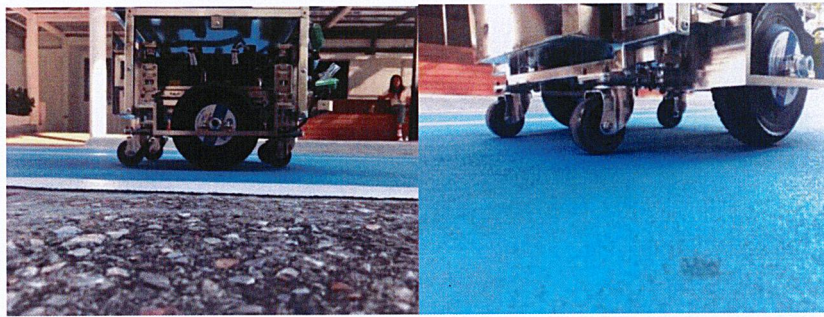


รูปที่4.5 รูประบบกันสะเทือนที่ออกแบบและชิ้นงานจริง

จากนั้นเมื่อผลิตและประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้ทดสอบด้วยการนำหุ่นยนต์ไปจำลองการวิ่งที่จุดต่างๆพบว่า

บนพื้นราบ

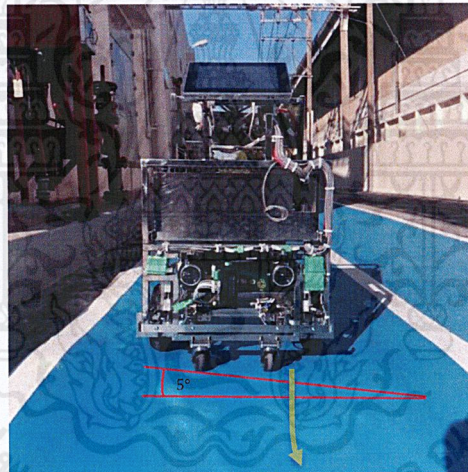
พบว่าเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ล้อทุกล้อสัมผัสกับพื้นได้ปกติ ไม่มีอาการล้อลอยเกิดขึ้น ช่วงของระยะสปริงขยับได้ตามปกติ



รูปที่4.6 การทดสอบวิ่งบนพื้นراب

วิ่งบนพื้นเอียง

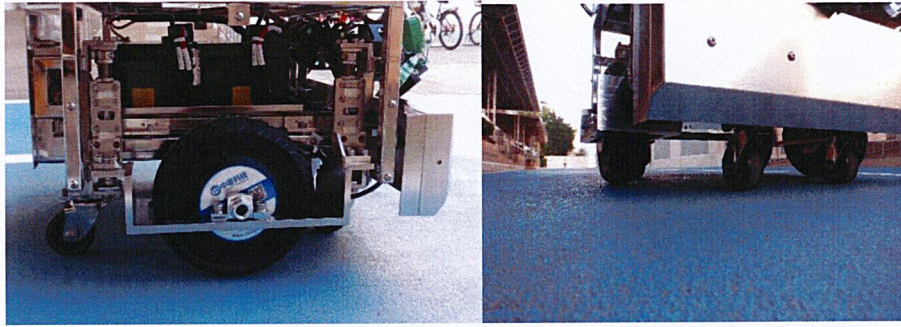
ในการวิ่งบนพื้นเอียงโดยเคลื่อนที่ไปด้านหน้าอย่างเดียวพบว่าล้อทุกล้อสัมผัสกับพื้นอยู่เสมอ และเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะไม่เป็นเส้นตรงโดยจะมีแนวโน้มไปทางที่ต่ำกว่าที่ละเล็ก ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการที่ล้อประกอบเกิดการเอียงไปตามแนวของพื้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยซอฟต์แวร์ในการเคลื่อนที่บังคับทิศทางของหุ่นยนต์



รูปที่4.7 หุ่นยนต์วิ่งบนพื้นเอียง

วิ่งขึ้นเนิน และลงเนิน

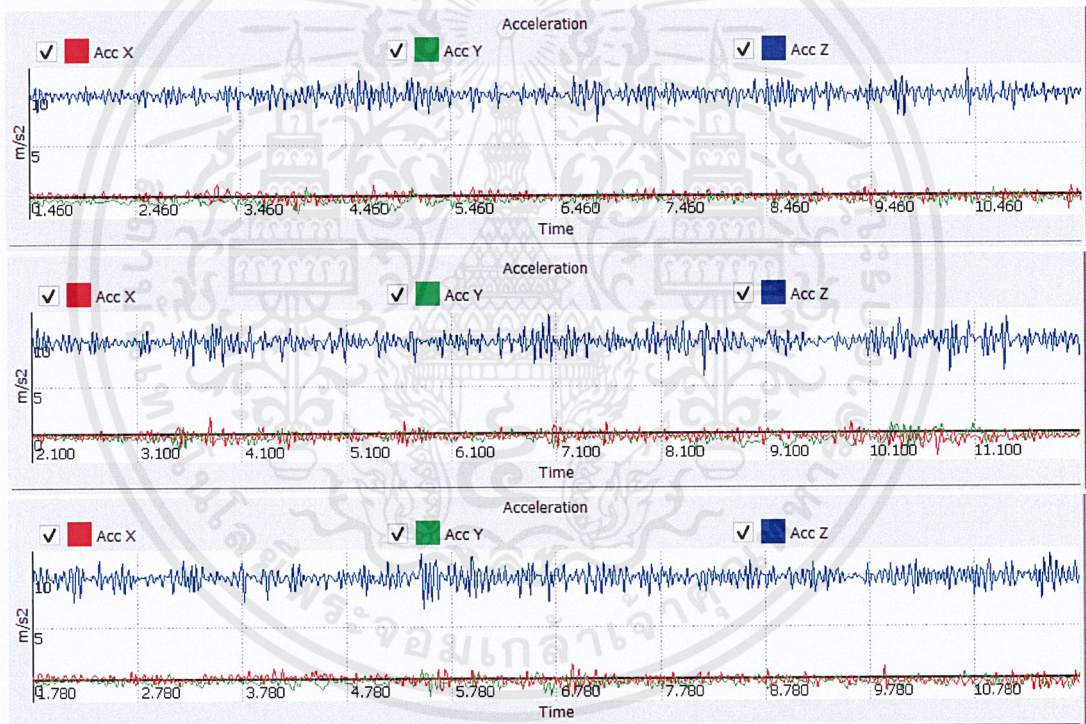
พบว่าระยะช่วงสปริงที่ได้ออกแบบไว้สามารถหดและยืดได้ตามปกติ และล้อทุกล้อสัมผัสกับพื้นอยู่เสมอ



รูปที่4.8 ลักษณะของล้อและระบบกันสะเทือนขณะขึ้นเนิน

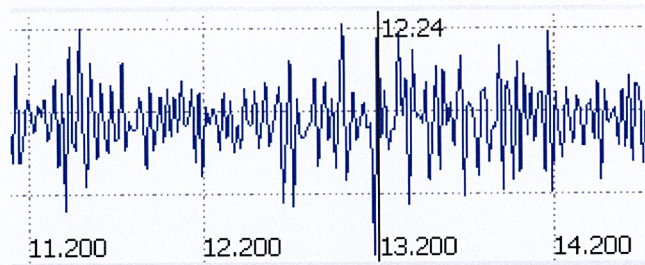
ทดสอบการสั่นสะเทือน

เราตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยใช้เครื่องมือ Xsens MTI30-series ซึ่งเป็น Accelerometer โดยแสดงผลออกมาเป็นกราฟระหว่างความเร่งและเวลา



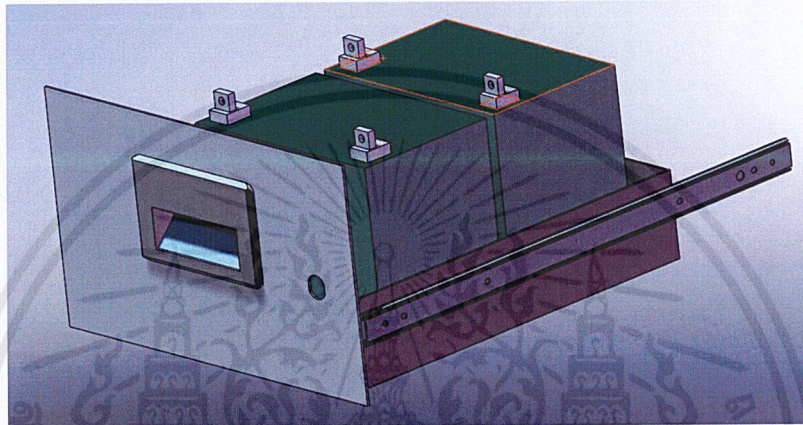
รูปที่4.9 กราฟการสั่นสะเทือนขณะวิ่งบนพื้นราบ พื้นเอียง และขึ้นเนินตามลำดับ

จากกราฟเราได้ค่าความถี่อยู่ที่ 20.83 Hz ซึ่งถือเป็นความถี่ของหุ่นยนต์ซึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 0.3 เมตรต่อวินาที และพบความเร่งในการสั่นมากที่สุดอยู่ที่ 12.24 เมตร/วินาที²



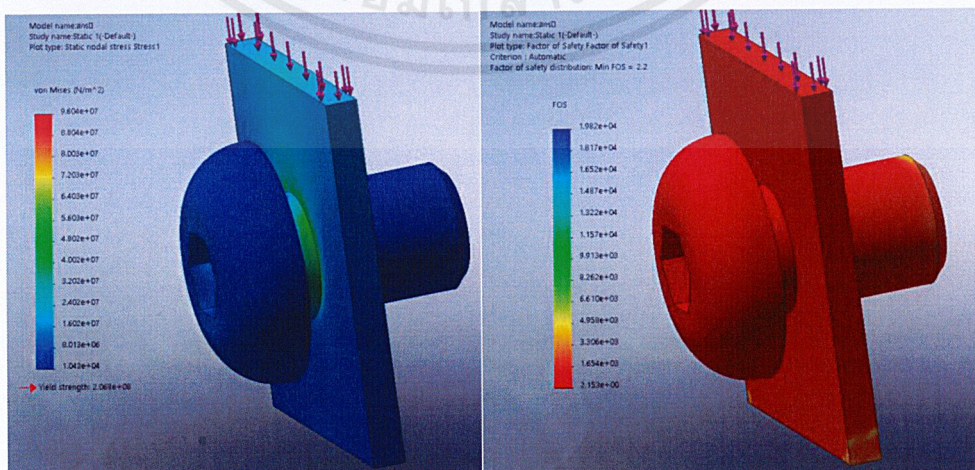
รูปที่4.10 ความแรงของการสปริงที่มากที่สุด

4.4การออกแบบลิ้นชักกล่องแบตเตอรี่และกล่องควบคุม



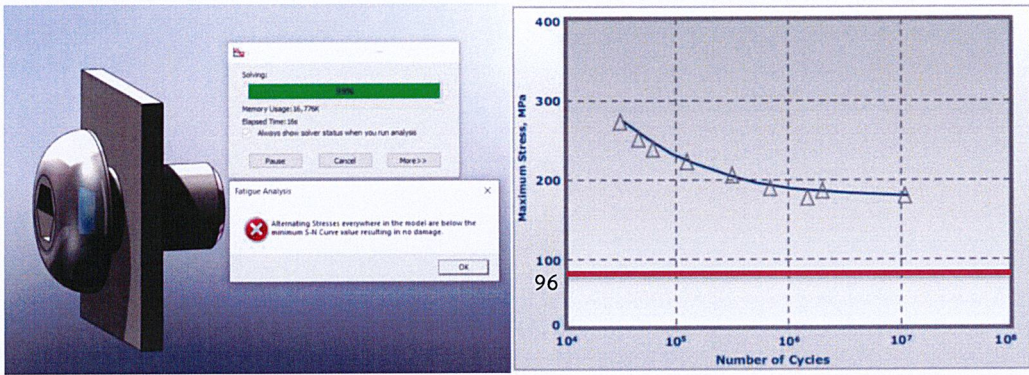
รูปที่4.11 กล่องลิ้นชักแบตเตอรี่ที่ออกแบบ

ในส่วนในระบบแบตเตอรี่นั้นเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุดมากกว่าระบบอื่นๆ ดังนั้นสกรูที่ยึดที่จุดนี้จะเป็นส่วนที่มีการรับแรงมากที่สุด เราจึงต้องทดสอบความแข็งแรงของสกรู ณ จุดนี้ และผลที่ได้จากการทดลองคือ จากการสั่นที่เกิดขึ้นทำให้เกิดแรงกระทำกับสกรูอยู่ที่ 91.8 นิวตัน และเมื่อทำงานทดสอบความล้าจากการสั่นผ่านการ Simulation พบว่าเกิดความเค้นอยู่ที่ 96 MPaและไม่มีความเสียหายจากความล้าเกิดขึ้นกับตัวสกรู



รูปที่4.12 การทดสอบความแข็งแรงของสกรู M4 ในการรับแรง

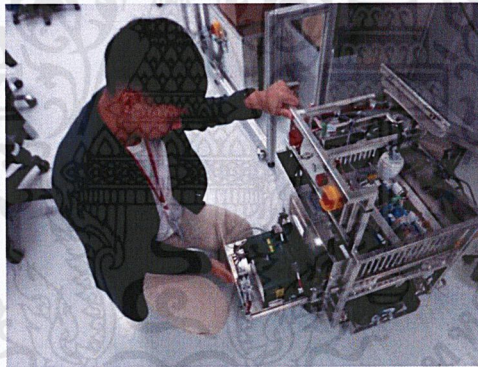
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.13 ผลการทดลองความล้าจากการ Fatigue Simulation และดูกราฟ SN-Curve

และเพื่อให้ง่ายต่อการดูแลรักษาและตรวจเช็ค โดยส่วนของแบตเตอรี่จะสามารถดึงกล่องออกมาเพื่อเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้เพียงไขกุญแจที่ฝากล่อง ก็สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้เลย

พบว่าหลังจากประกอบเข้ากับตัวโครงหลักแล้ว ไม่เกิดความเสียหายเมื่อรับน้ำหนักแบตเตอรี่ แต่ไม่สามารถเลื่อนเข้าออกได้เนื่องจากการขัดกับส่วนโครงหลักทำให้ต้องแก้ไขโดยการปรับระยะให้สูงขึ้น จนสามารถใช้งานได้



รูปที่4.14 กล่องแบตเตอรี่

และในส่วนของกล่องควบคุมจำเป็นต้องถอดโครงด้านนอกออกก่อน จึงจะสามารถเข้าถึงกล่องได้ เพื่อป้องกันบุคคลภายในการเข้าถ้ำกล่องควบคุม

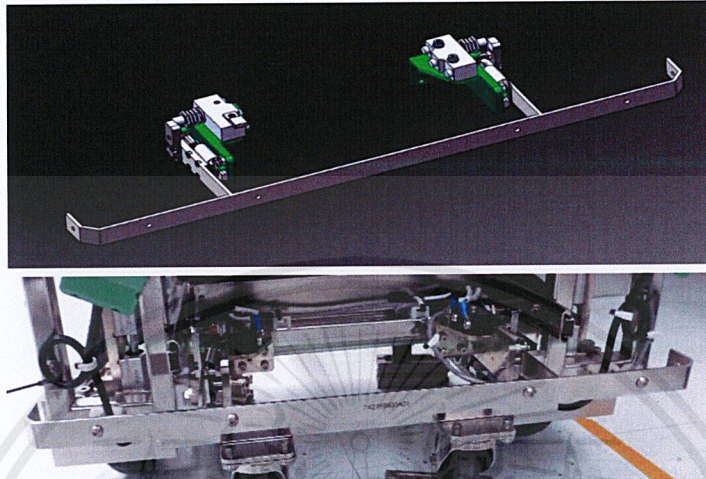


รูปที่4.15 กล่องระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การออกแบบระบบกันชน

หุ่นยนต์จะมีระบบกันชน โดยเมื่อมีการชนเกิดขึ้นจะคันจะขยับเข้าไปชนสวิตซึ่งจะคอยตัดการทำงานไม่เกิดความเสียหายต่อไป



รูปที่4.16. ระบบกันชนเทียบระหว่างของจริงและการออกแบบ

หากไม่มีตัวกันชน การจะทำให้มวล 100 kg ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.08 km/hr ให้หยุดใน 0.5 วินาทีจะต้องใช้แรงเท่ากับ

จากสูตรแรงดล

$$\Sigma F t = m(v - u)$$

$$F \equiv \frac{100(0 - 0.3)}{0.5} = 60N$$

แต่ถ้าให้กันชนสั่งให้หยุดการทำงานเมื่อชนจะเกิดแรงเพียง 15-16 นิวตัน



รูปที่4.17 การตรวจวัดแรงขณะเกิดการชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลงาน CAD

ในการออกแบบหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัย ผลงานชิ้นนี้จะถูกส่งไปยังระบบของ บริษัท ซี เกท ทั่วโลก โดยมีชื่อของเราเป็นผู้ออกแบบ



รูปที่ 4.18 ผลงาน CAD โดยมีชื่อเราเป็นผู้ออกแบบ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

สามารถสรุปผลการทดลองได้ 3 ส่วนคือ

1. **Productivity** คือการได้ออกแบบหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัย ในส่วนของฮาร์ดแวร์ตามหลักกลศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นระบบกันสะเทือน ระบบขับเคลื่อน ระบบกันชน การออกแบบชิ้นงานให้มีความแข็งแรงและความสวยงาม เป็นต้น โดยออกแบบระบบการทำงานต่างๆ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าที่ได้ขอมา ถือว่าสามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้สำหรับในส่วนของฮาร์ดแวร์
2. **Quality** คือการทำงานของระบบต่างๆที่ได้ผ่านการทดสอบแล้วถือว่าสามารถทำงานได้ตามความต้องการ และยังมีอีกบางระบบที่ยังต้องมีการทดลองผลการทำงาน ทั้งนี้ไม่สามารถทำงานทดสอบได้เลยเนื่องจากอุปกรณ์บางส่วนที่ยังไม่ได้รับ และยังขาดโปรแกรมในการควบคุมหรือสั่งการ
3. **Knowledge** ได้รับความรู้ในเรื่องการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์, เรื่องระบบทางกลต่างๆที่ได้ออกแบบและเรียนรู้ระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

5.2 ปัญหาและการแก้ปัญหา

1. ปัญหาของชิ้นส่วนที่ผลิตมาแล้วไม่ตรงตามแบบ เป็นปัญหาที่ทำให้ชิ้นส่วนที่ไม่ตรงแบบนั้นไม่สามารถที่จะประกอบเข้ากับตัวหุ่นยนต์ได้ โดยแก้ปัญหาได้โดยที่ชิ้นไหนผิดพลาดมากก็จำเป็นต้องส่งกลับให้ผู้ผลิต และชิ้นไหนที่ผิดพลาดไม่มากก็สามารถแก้ไขได้ด้วยเครื่องมือที่เรามีเช่น เจาะ ตะไบ เป็นต้น
2. ปัญหาที่ไม่สามารถทดสอบฮาร์ดแวร์ได้ เกิดจากหลายปัจจัยเช่นชิ้นส่วนที่มาไม่ครบ, การขาดความรู้ด้านการทำซอฟต์แวร์ทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องซอฟต์แวร์เองได้ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความล่าช้าของโปรเจค แก้ปัญหาด้วยการเรียนรู้ในด้านซอฟต์แวร์เบื้องต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบหุ่นยนต์นั้นสิ่งสำคัญอันดับต้นๆเลยคือการหาว่าหุ่นยนต์ที่เราจะออกแบบนั้นจะมีหน้าที่ทำอะไรบ้าง และผู้ออกแบบควรจะต้องมีความรู้พื้นฐานของการออกแบบ, ความ

เข้าใจในกลไกการทำงานที่หลากหลายและจิตนาการ เนื่องจากหุ่นยนต์เกิดจากหลายระบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมกัน อย่างในการออกแบบหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัยนี้ ประกอบด้วยระบบขับเคลื่อน (Drive System),ระบบกันสั่นหรือกันสะเทือน(Suspension System),และระบบอื่นๆอีกมากมายเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการ และต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานเสมอ

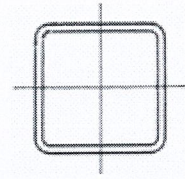
2. การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา เพราะในทุกๆงานมักจะมีปัญหาอยู่เสมอ สิ่งที่เราต้องทำคือ วิเคราะห์ปัญหานั้น หาสาเหตุ ความผิดปกติ แล้วจะสามารถแก้ไขมันได้อย่างไร
3. ในการทำงานกับผู้คน เราต้องรู้จักปรับตัวให้เข้ากับกลุ่มคนหรือองค์กรนั้นให้ได้อย่างรวดเร็ว และมีความกล้าที่จะสื่อสาร เพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพ



เอกสารอ้างอิง

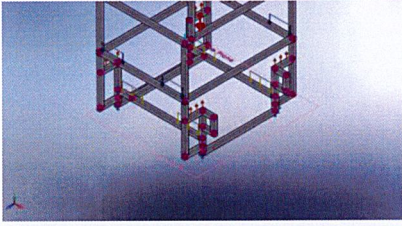
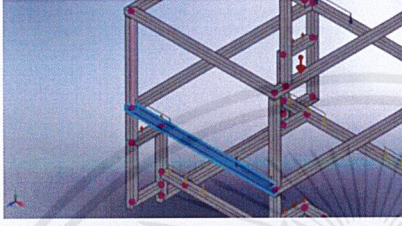
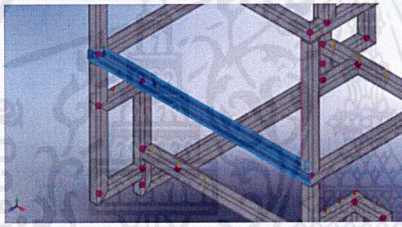
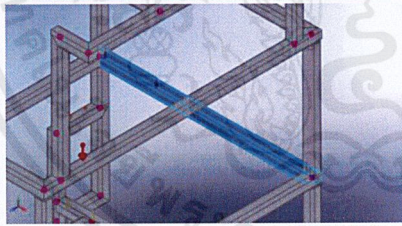
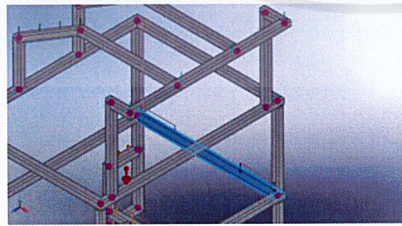
1. ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัท ซีเกท
<https://www.jobtopgun.com/article/บริษัท-ซีเกท-เทคโนโลยี-ป/>
2. พื้นฐานของหุ่นยนต์
http://dusithost.dusit.ac.th/~juthawut_cha/download/Lesson%2010%20Robotics.pdf
3. การเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพาน By Kamolc
<https://www.thairobotics.com/2013/10/11/byob-wheel-and-track/?fbclid=IwAR1Xb-vvgBWby4WUFNJ8sISK170sk4FOJupwtFmgAwXGuoHqnOOXHSpqed4>
4. คัมภีร์”ระบบกันสะเทือน”..พึ่งพาประจำแล้วมันทำงานอย่างไร โดยคุณณัฐยศ ชูบรรจง
<https://www.ridebuster.com/complete-guide-car-suspension/>
5. คู่มือการใช้งานโปรแกรม Solidworks ขั้นพื้นฐาน โดย ผศ.ดร. จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
6. การออกแบบเครื่องจักรด้วย Solidworks Motion Analysis
<https://www.applicadthai.com/articles/article-mi/article-simulation/จากแบบเครื่องจักรด้วย-solidworks-motion-analysis/>
7. คุณสมบัติทั่วไปของเหล็กกล้าไร้สนิม และอลูมิเนียม <http://www.siamintertech.co.th/content>
8. Mechanical of Materials By ผศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์
9. Mechanical of Materials - SI Version : McGraw-Hill Higher Education
10. Mechanical Engineering Design – Tenth Edition in SI Unit : Richard G.BUDYNAS – J. Keith NISBETT
11. Engineering Vibration /Daniel J.Inman-3rd Ed.

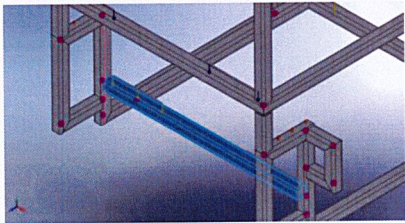
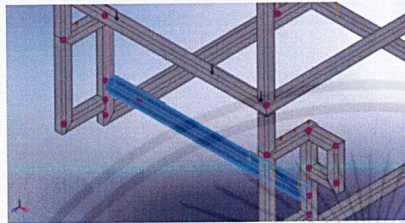
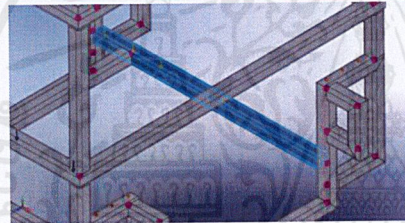
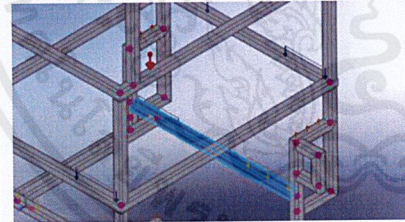
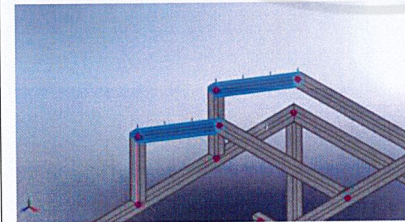
ภาคผนวก ก
เนื้อหาเกี่ยวกับการ Simulation



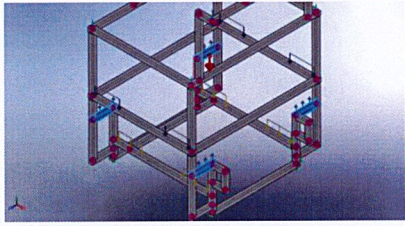
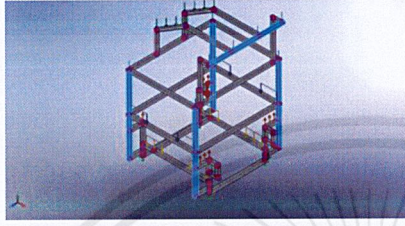
คุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

| ชื่อขนาด | ความหนา (<i>t</i>) mm | น้ำหนัก (<i>w</i>) kg/m | พื้นที่หน้าตัด (<i>A</i>) cm ² | Moment of Inertia (<i>I</i>) cm ⁴ | Section Modulus (<i>S</i>) cm ³ | Radius of Gyration (<i>r</i>) cm |
|-----------|-------------------------------|---------------------------------|---|--|--|--|
| 25 × 25 | 1.6 | 1.12 | 1.432 | 1.28 | 1.02 | 0.34 |
| 38 × 38 | 1.6 | 1.78 | 2.264 | 4.92 | 2.59 | 1.47 |
| 50 × 50 | 1.6 | 2.38 | 3.032 | 11.71 | 4.68 | 1.96 |
| | 2.3 | 3.34 | 4.252 | 15.86 | 6.34 | 1.93 |
| 60 × 60 | 1.6 | 2.88 | 3.672 | 20.68 | 6.89 | 2.37 |
| | 2.3 | 4.06 | 5.172 | 28.31 | 9.44 | 2.34 |
| 75 × 75 | 2.3 | 5.14 | 6.552 | 57.10 | 15.23 | 2.95 |
| | 3.2 | 7.01 | 8.927 | 75.53 | 20.14 | 2.91 |
| 90 × 90 | 2.3 | 6.23 | 7.932 | 100.79 | 22.40 | 3.56 |
| | 3.2 | 8.51 | 10.847 | 134.51 | 29.89 | 3.52 |
| 100 × 100 | 2.3 | 6.95 | 8.852 | 139.73 | 27.95 | 3.97 |
| | 3.2 | 9.52 | 12.127 | 187.28 | 37.46 | 3.93 |
| 125 × 125 | 3.2 | 12.03 | 15.327 | 375.64 | 60.10 | 4.95 |
| | 4.0 | 14.87 | 18.948 | 457.23 | 73.16 | 4.91 |
| 150 × 150 | 5.0 | 22.26 | 28.356 | 982.12 | 130.95 | 5.89 |
| | 6.0 | 26.40 | 33.633 | 1145.90 | 152.79 | 5.84 |
| 175 × 175 | 5.0 | 26.18 | 33.356 | 1590.86 | 181.81 | 6.91 |
| | 6.0 | 31.11 | 39.633 | 1864.02 | 213.03 | 6.86 |
| 200 × 200 | 6.0 | 36.82 | 45.633 | 2832.74 | 283.27 | 7.88 |
| | 8.0 | 46.94 | 59.793 | 3621.62 | 362.16 | 7.78 |
| 250 × 250 | 6.0 | 45.24 | 57.633 | 5671.99 | 453.76 | 9.92 |
| | 8.0 | 59.50 | 75.793 | 7315.63 | 585.25 | 9.82 |
| 300 × 300 | 6.0 | 54.66 | 69.633 | 9963.65 | 664.24 | 11.96 |
| | 8.0 | 72.06 | 91.793 | 12925.05 | 861.67 | 11.87 |

| Load name | Load Image | Load Details |
|-----------|---|--|
| Gravity-1 |  | <p>Reference: Top Plane Values: 0 0 -9.81 Units: m/s²</p> |
| Force-1 |  | <p>Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load Table Driven Load options: Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 417) (0.1, 417)</p> |
| Force-2 |  | <p>Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load Table Driven Load options: Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 417) (0.1, 417)</p> |
| Force-3 |  | <p>Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load Table Driven Load options: Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 417) (0.1, 417)</p> |
| Force-4 |  | <p>Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load Table Driven Load options: Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 417) (0.1, 417)</p> |

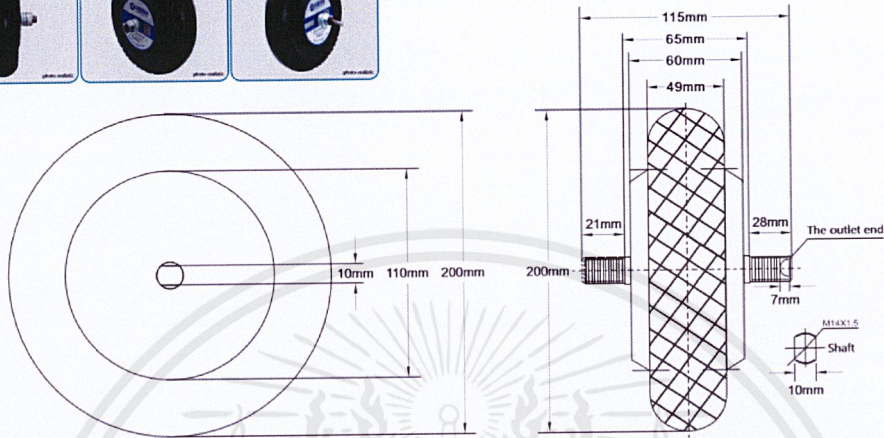
| Load name | Load Image | Load Details |
|-----------|---|---|
| Force-5 |  | Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load options: Table Driven Load Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 555) (0.1, 555) |
| Force-6 |  | Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load options: Table Driven Load Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 555) (0.1, 555) |
| Force-7 |  | Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load options: Table Driven Load Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 555) (0.1, 555) |
| Force-8 |  | Entities: 1 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Values: Table Driven Non uniform load options: Table Driven Load Distribution (Distance) Values: (m, N/m) (0.01, 555) (0.1, 555) |
| Force-9 |  | Entities: 2 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, 15 N Moments: ---, ---, --- N.m |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Load name | Load Image | Load Details |
|-----------|---|---|
| Force-10 |  | Entities: 4 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, 120 N Moments: ---, ---, --- N.m |
| Force-11 |  | Entities: 13 Beam (s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, 5 N Moments: ---, ---, --- N.m |



ภาคผนวก ข - เนื้อหาเกี่ยวกับอุปกรณ์



| Rated Voltage | Rated Output power | Rated Torque | Maximum Torque | Rated Speed | Maximum Speed | Rated Current | Maximum | Motor Wire Sequence | Encoder Pin Sequence |
|---------------|--------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|--------------------------|---|
| 24-48VDC | 50-350W | 5N.m | 10N.m | 400RPM | 600RPM | 3-17A | 34A | Color: Yellow Green Blue | Color: Green Yellow Blue Red Black Purple White |
| Tire Diameter | Weight | Shaft Type | Encoder Wire | Tire | Brake Type | Protection Level | Suggested Load | Signal U V W | Signal V W U +5V GND A+ B+ |
| 200mm | 3.45KG | Double shaft | 1024 wires | Rubber pattern | Electric brake | IP54 | ≤100KG | | |

| | | | | | | | |
|---|---------------|---|------|--|------------|-------|--|
| 中菱科技 ZHONGLING TECHNOLOGY | Design change | 1 | View | | Design: | Date: | Company Name: 深圳中菱科技有限公司 Shen Zhen Zhong Ling Technology Co., Ltd |
| | | 2 | | | Proofread: | Date: | Product Name: Hub Servo Motor |
| | | 3 | | | Approve: | Date: | Product P/N: ZLLG80ASM250(Double shaft) |
| | | 4 | | | ERP: | | |

■ Stainless Steel, Two-Step

SSRY27
SSRP27
(Hold-Open Latch Type)

RoHS 10

Stroke = 3
Rail Length = 1

Rail Disassembly: Not Possible

■ Hold-Open Latch Type

- SSRY27 does not have a position-locking function.
- Lock is released by applying force of 0.5kg or more (reference value) in store direction.
- When the rail is fully pulled out, the tab fits in the leaf spring to lock rails tentatively in the retracting direction. Convenient when operating with the drawer open.
- To use slide rails in vertical or inclined arrangements, use additional external structures to prevent rails from falling.

Material: Rail: SUS304
Ball: SUS440C

| Part Number | Rail Length | Stroke | A | B | C | D | E | Load Rating (N/2 pcs.) | SSRY27 | | SSRP27 | |
|--------------------------------|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| | | | | | | | | | Unit Price | Volume Discount Rate | Unit Price | Volume Discount Rate |
| Type | No. | | | | | | | | 1 - 5 pcs(s). | 6 - 20 pcs | 1 - 5 pcs(s). | 6 - 20 pcs |
| SSRY27 SSRP27 | 08 | 203.2 | 136.1 | 143.2 | 163.2 | - | 143.2 | 163.2 | 255 | | | |
| | 10 | 254 | 186.9 | 194 | 214.0 | 154 | 194 | 214 | 235 | | | |
| | 12 | 304.8 | 225.0 | 244.8 | 264.8 | 194.8 | 244.8 | 264.8 | 235 | | | |
| | 14 | 355.6 | 263.1 | 295.6 | 315.6 | 230.6 | 295.6 | 315.6 | 225 | | | |
| | 16 | 406.4 | 301.2 | 346.4 | 366.4 | 271.4 | 346.4 | 366.4 | 206 | | | |
| | 18 | 457.2 | 339.3 | 397.2 | 417.2 | 307.2 | 397.2 | 417.2 | 196 | | | |
| | 20 | 508 | 377.4 | 448 | 468.0 | 345 | 448 | 468 | 176 | | | |

For horizontal installation, the target value of load rating is 25% (Reference Value).




The rails can not be pulled apart. Use M4 Recessed Truss Machine Screws (PZ-186) or Cross Recessed Pan Head Screws (PZ-226) to mount rails.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Casters

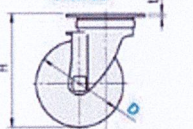
Light / Medium Load

■ Casters used for small / medium-size carriages.

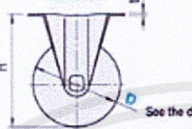




(Rubber Wheel) (Urethane Wheel) (Nylon Wheel) RoHS 10

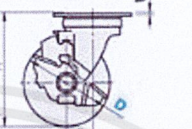
Swivel
CNGJ
CNSGJ



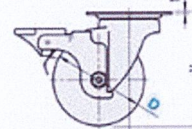
Fixed
CNGK
CNSGK



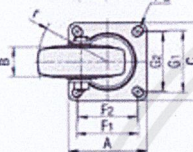
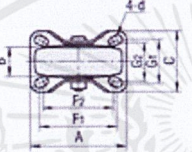
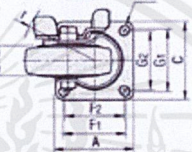
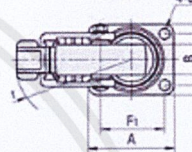
Swivel with Stopper
CNSG 50 / 65 / 75 / 100 / 125 / 150
CNSGS 100 / 125 / 150



CNSGS 65 / 75



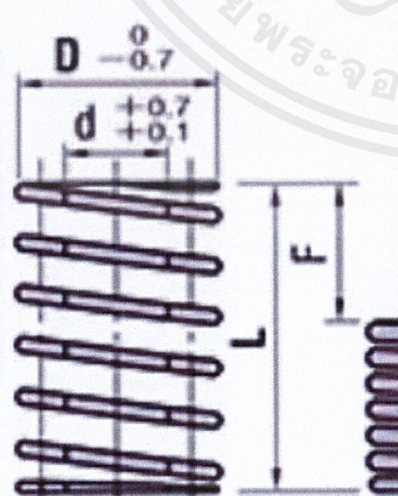
See the diagram below.

| Type | Main Body | | Wheel | | | Bearing | |
|------|-----------|-----------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|--|
| | Material | Surface Treatment | Material (Color) | Swiveling Part | Wheel | | |
| CNGJ | SPHC | Electrolytic Chromate | Synthetic Rubber (Black) | Incorporated | Provided for C19L, C25, C30 | | |
| CNSG | SUS304 | Barrel Grinding | Urethane (Gray), Nylon (White) | Incorporated | | | |

↓D100 Nylon wheel has no bearing in the wheel.
 ↓025 and 38 rubber wheel color is gray.

| Main Body | Part Number | Wheel Material | H | A | C | F1 | F2 | G1 | G2 | d | E | r | B | Allowable Load (N) | | | | | | Mass (g) | | | | |
|-----------|-------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|---------|---------|--------------------|-----------------|------|------|------|------|----------|------|-----|-----|---|
| | | | | | | | | | | | | | | Steel | Stainless Steel | R | U | N | R | U | N | | | |
| Swivel | 25 | R | 35 | 35 | 30 | 28 | - | 23 | - | 4.2 | 9 | 24 | 13 | 1.5 | - | 80 | 100 | 36 | - | - | 37 | - | - | |
| | 38 | (Rubber) | 50 | 46 | 38 | 36 | - | 28 | - | 5.3 | 13 | 34 | 18 | - | - | 200 | - | 280 | 74 | - | - | 75 | - | |
| | 50 | U | 65 | 58 | 47 | 46 | - | 35 | - | 6.5 | 16 | 46 | 21(20*) | 2 | - | 500 | 600 | 600 | 170 | - | - | 140 | - | |
| | 65 | (Urethane) | 75 | 70 | 58 | 55 | 54 | (*) | 42 | 44 | 8.8 | 25 | 59 | 25(27*) | 2.3 | 2 | 500 | 700 | 700 | 370 | 310 | 300 | 190 | - |
| | 100 | N | 130 | 90 | 90 | 71 | 68 | 71 | 68 | 10.5 | 30 | 84 | 38(35*) | 2.9 | 3 | 1200 | 1200 | 1200 | 1655 | 930 | 900 | 500 | - | |
| | 125 | (Nylon) | 155 | 102 | 102 | 80 | 75 | 80 | 75 | 11 | 35 | 103 | 38(35*) | 4 | 4 | 1500 | 1500 | 1500 | 1600 | 1500 | 1350 | 850 | - | |
| 150 | | 180 | 102 | 102 | 80 | 75 | 80 | 75 | 11 | 40 | 120 | 35(40*) | 4 | 4 | 1600 | 1500 | 1600 | 1835 | 1750 | 1680 | 1000 | - | | |
| Fixed | 25 | R | 35 | 37 | 19 | 20 | - | - | - | 4.2 | - | - | 13 | 1.5 | - | 80 | 100 | 36 | - | - | 37 | - | - | |
| | 38 | (Rubber) | 50 | 46 | 25 | 26 | - | 15 | - | 5.3 | - | - | 18 | - | - | 200 | - | 280 | 51 | - | - | 52 | - | |
| | 50 | U | 65 | 58 | 44 | 45 | - | 25 | - | 6.5 | - | - | 21(20*) | 2 | - | 500 | 600 | 600 | 130 | - | - | 110 | - | |
| | 65 | (Urethane) | 75 | 70 | 52 | 55 | 54 | (*) | 28 | 28 | 8.8 | - | 25(27*) | 2.3 | 2 | 500 | 700 | 700 | 260 | 200 | 190 | 190 | - | |
| | 100 | N | 130 | 110 | 70 | 90 | 80 | 50 | 45 | 10.5 | - | - | 35(30*) | 2.6 | - | 1200 | 1200 | 1200 | 770 | 645 | 615 | 500 | - | |
| | 125 | (Nylon) | 155 | 140 | 80 | 112 | 100 | 56 | 53 | 11 | - | - | 38(35*) | 4 | 2.5 | 1500 | 1500 | 1500 | 1100 | 1000 | 850 | 850 | - | |
| 150 | | 180 | 140 | 80 | 112 | 100 | 56 | 53 | 11 | - | - | 35(40*) | 4 | 2.5 | 1600 | 1600 | 1600 | 1400 | 1315 | 1245 | 1000 | - | | |



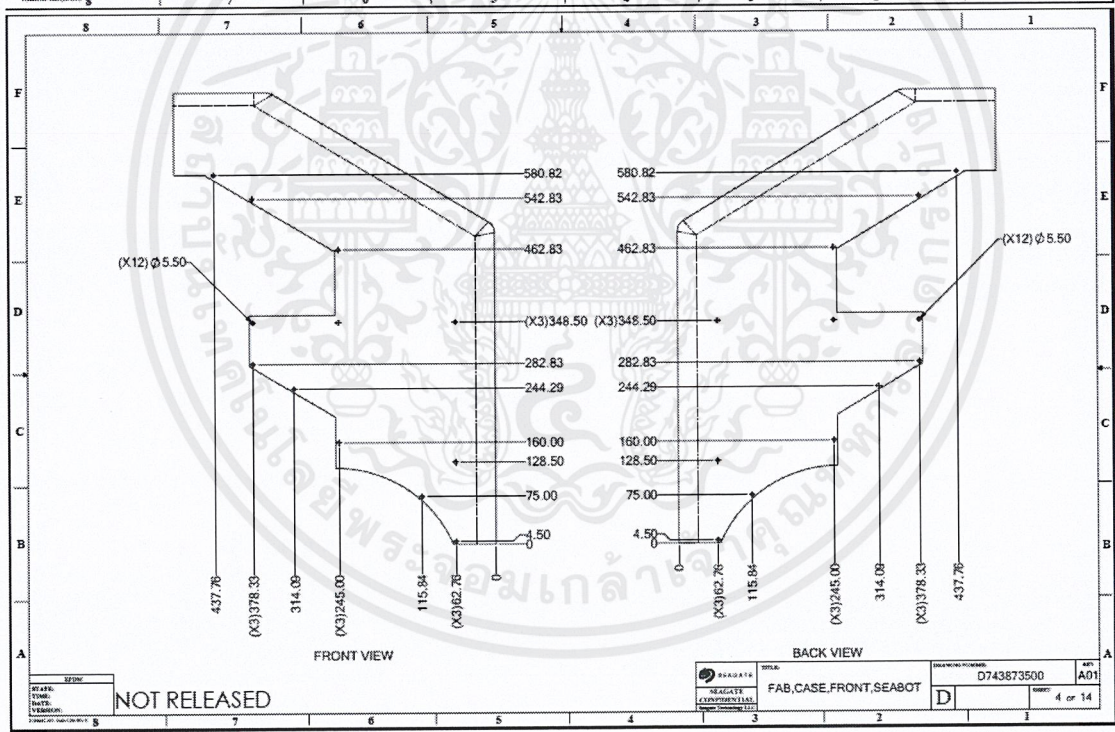
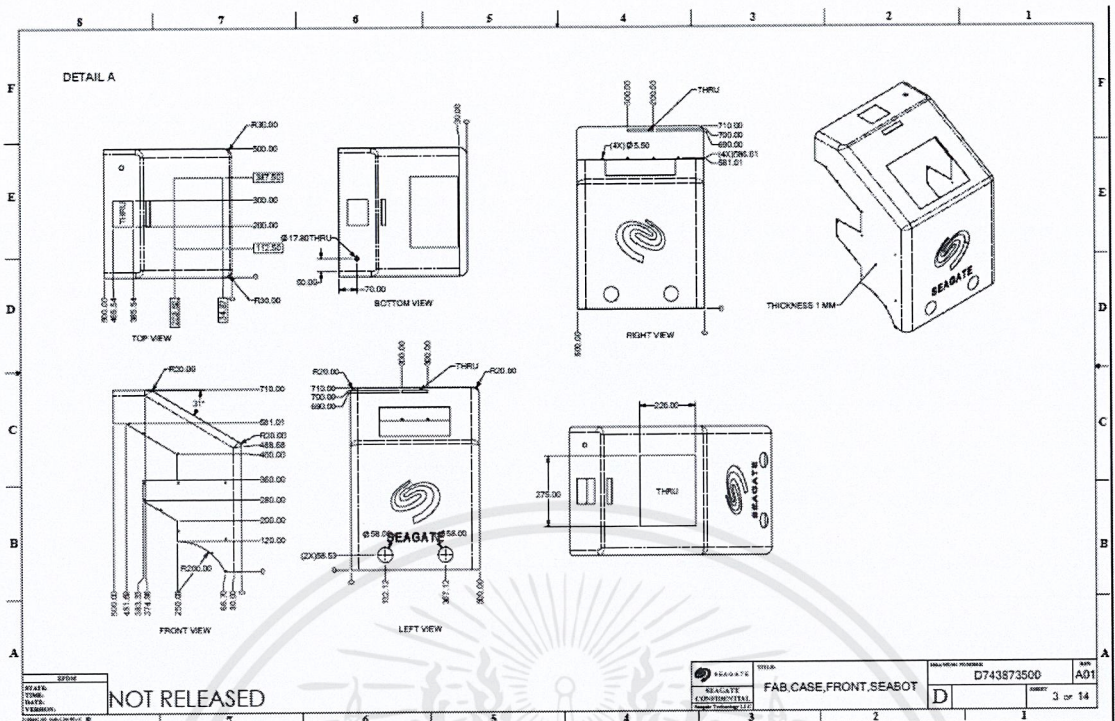
Load ±10% RoHS

Perpendicularity 2° or less

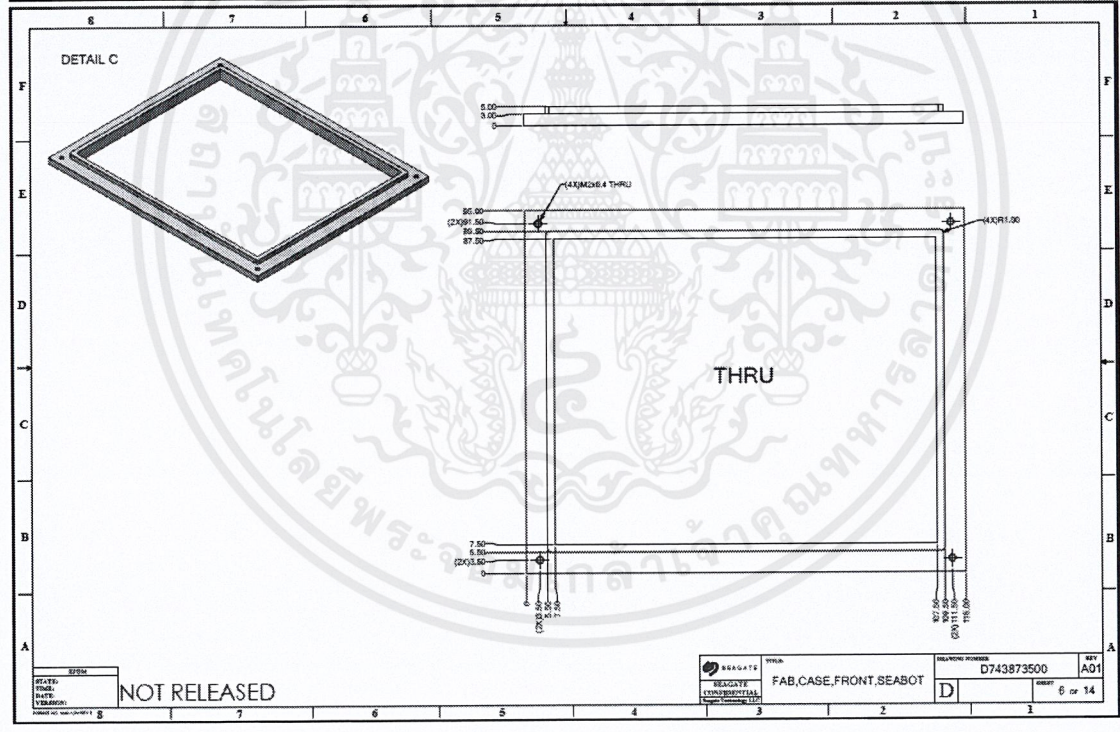
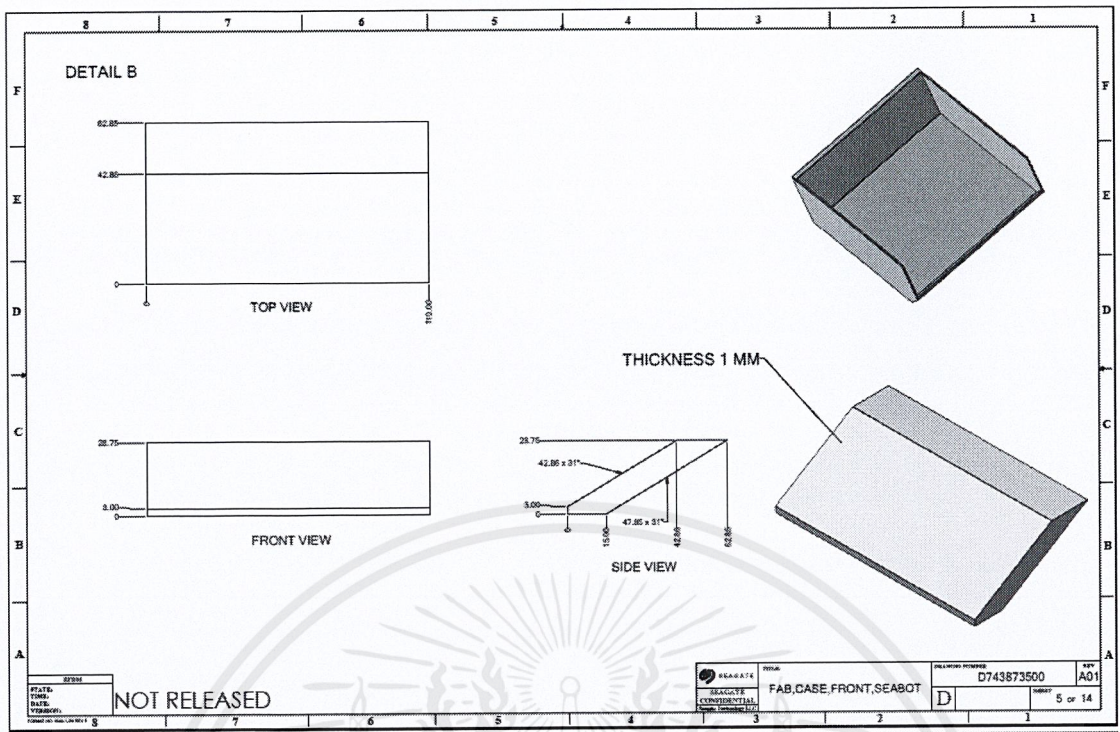
Free length L 50 or less ±0.5mm

55 or more ±1%

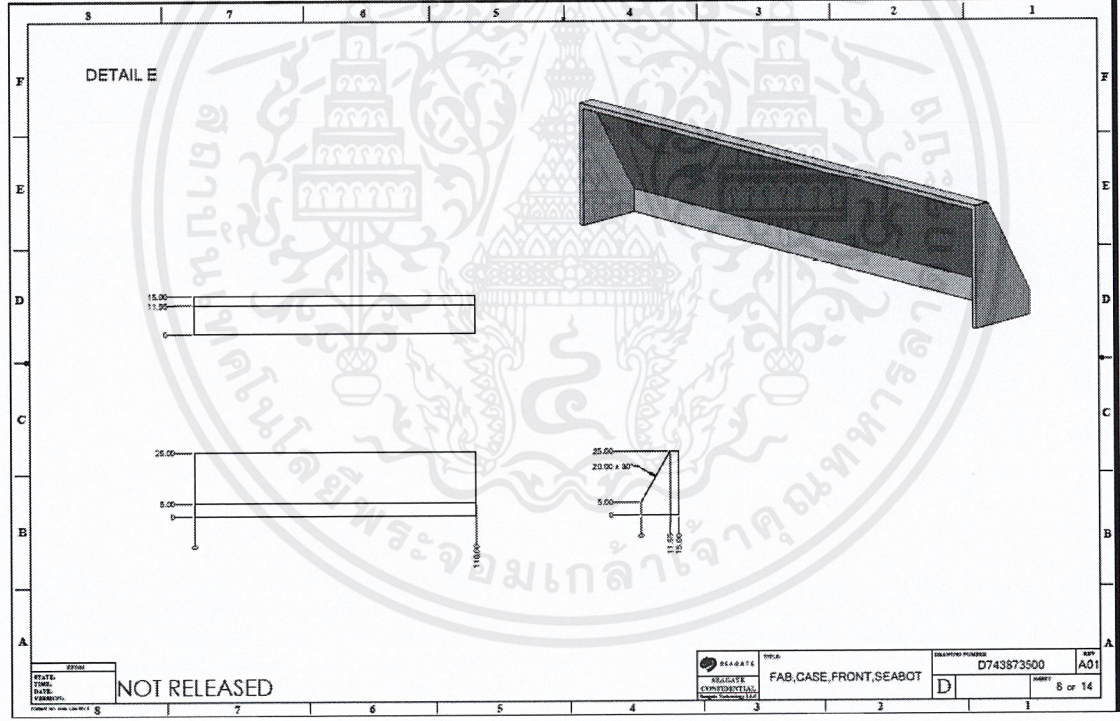
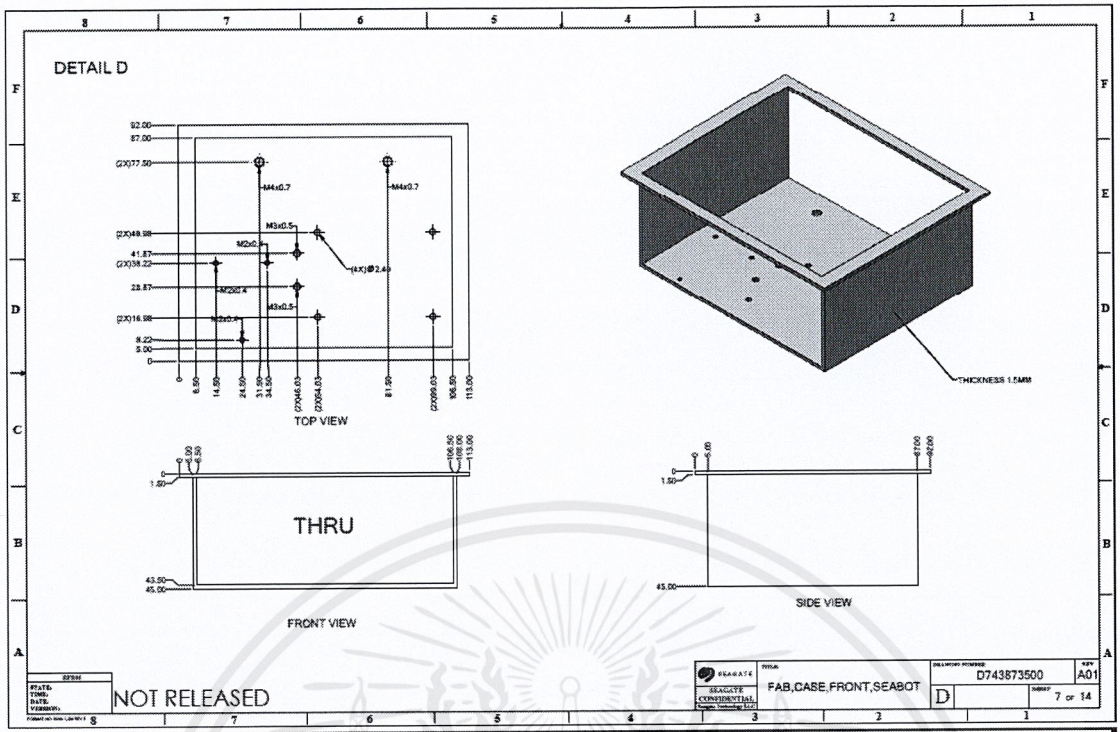
Winding direction: right



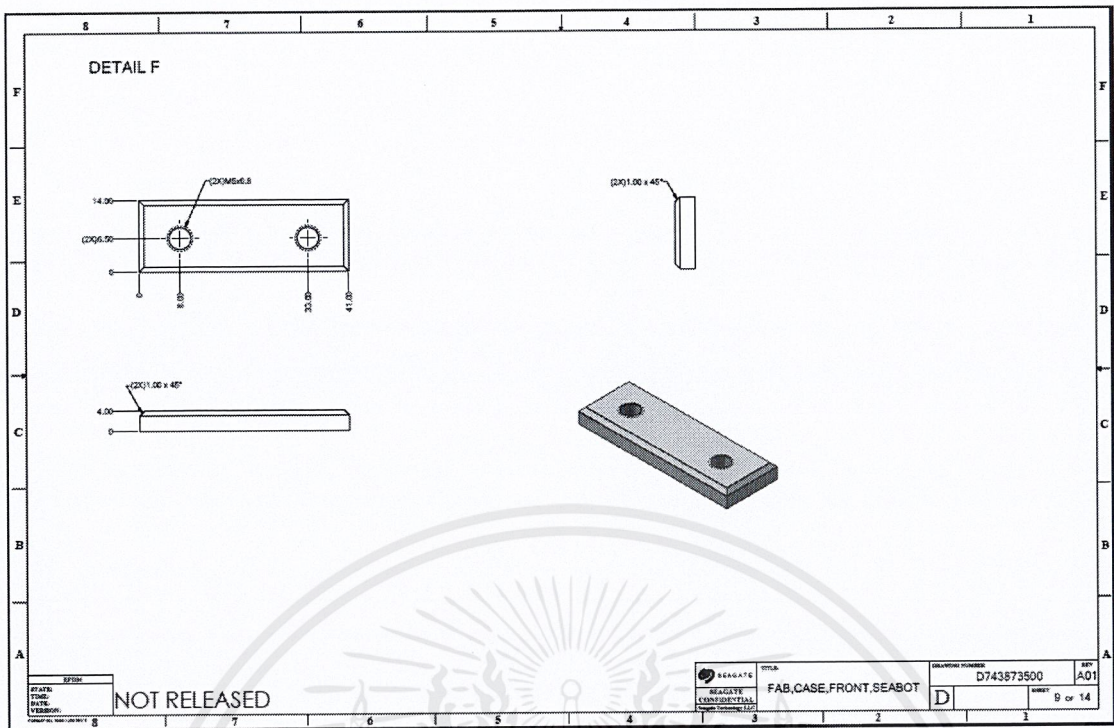
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



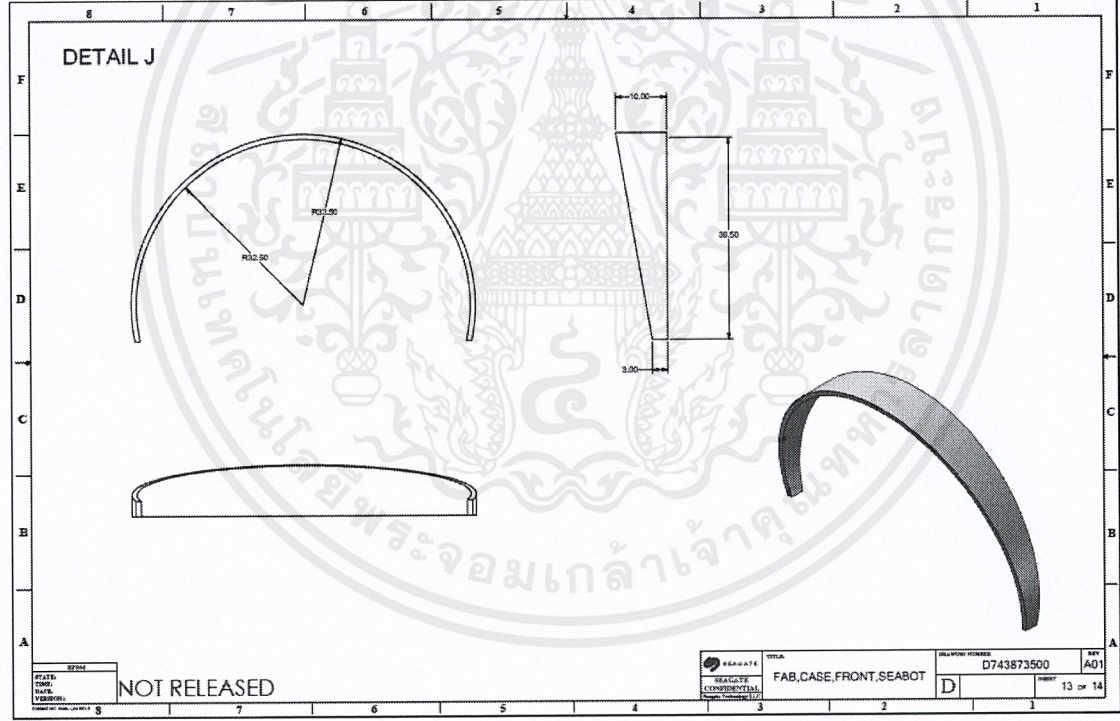
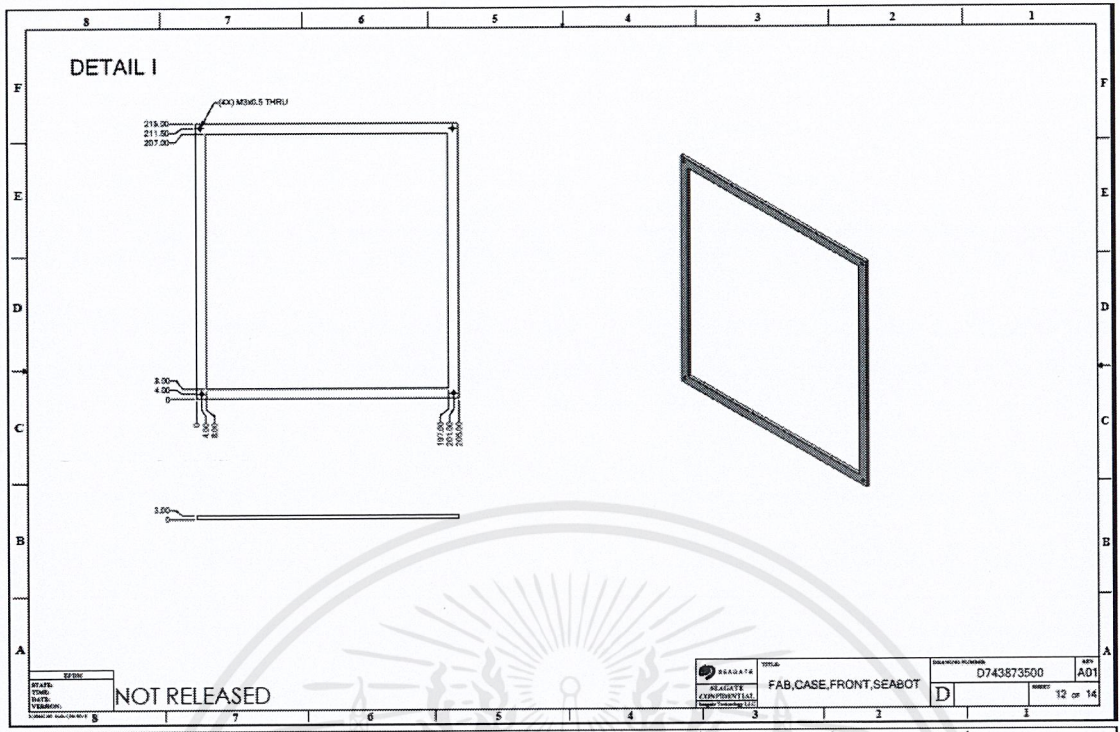
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



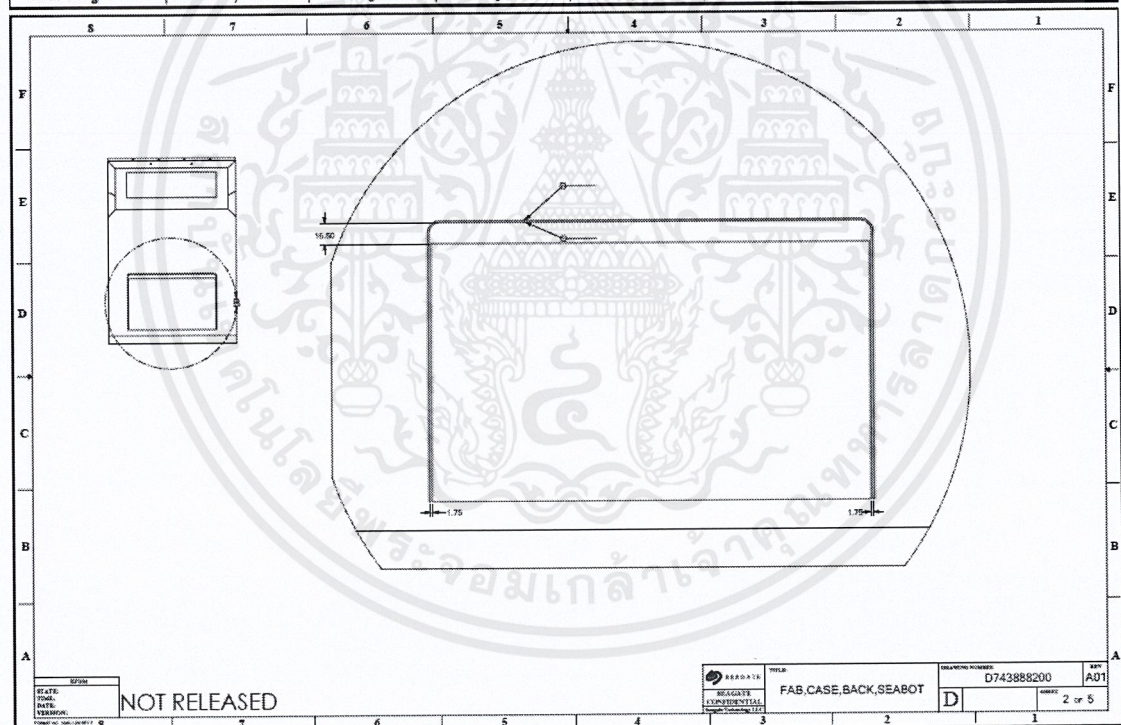
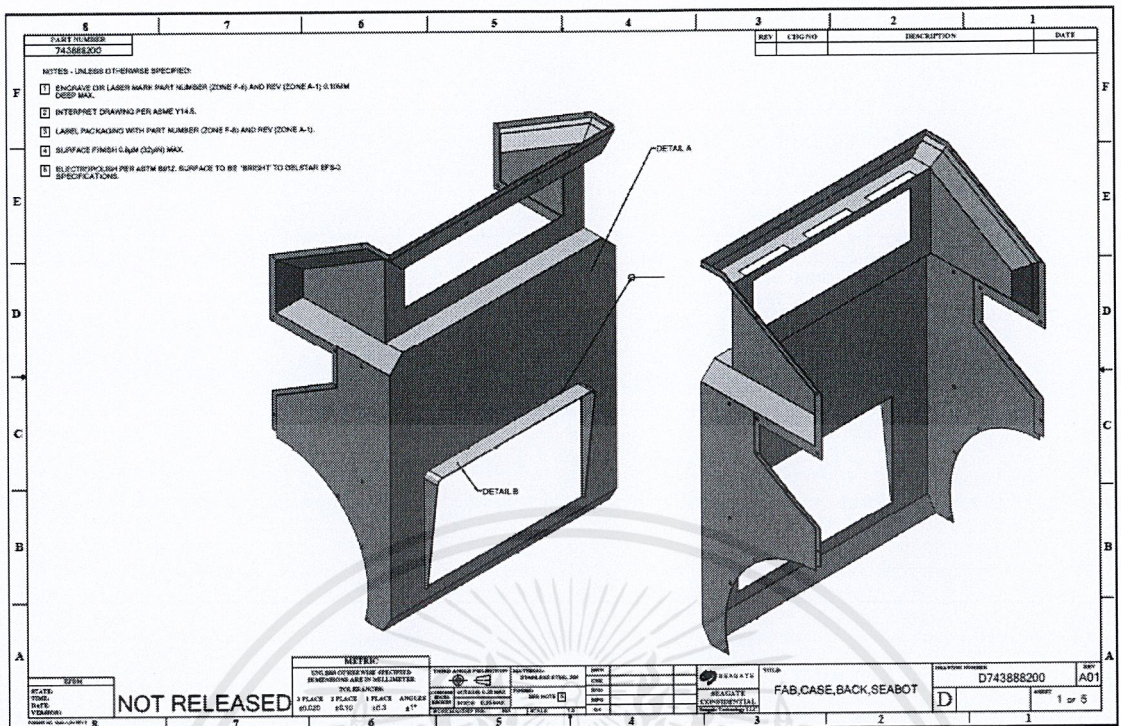
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



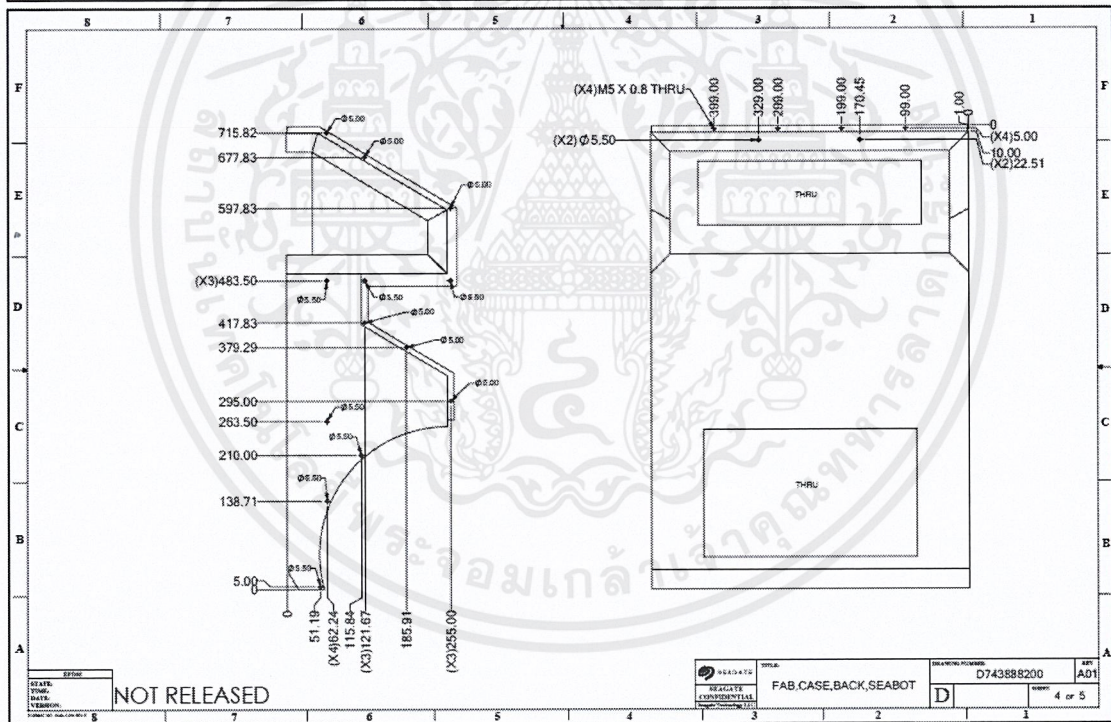
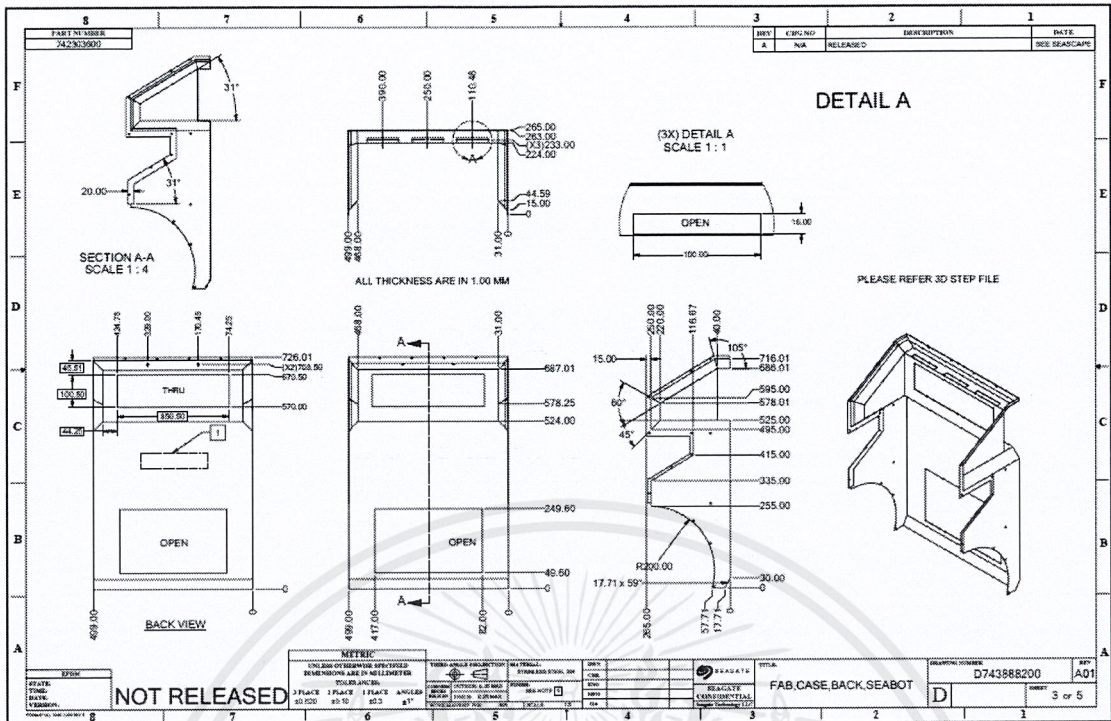
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



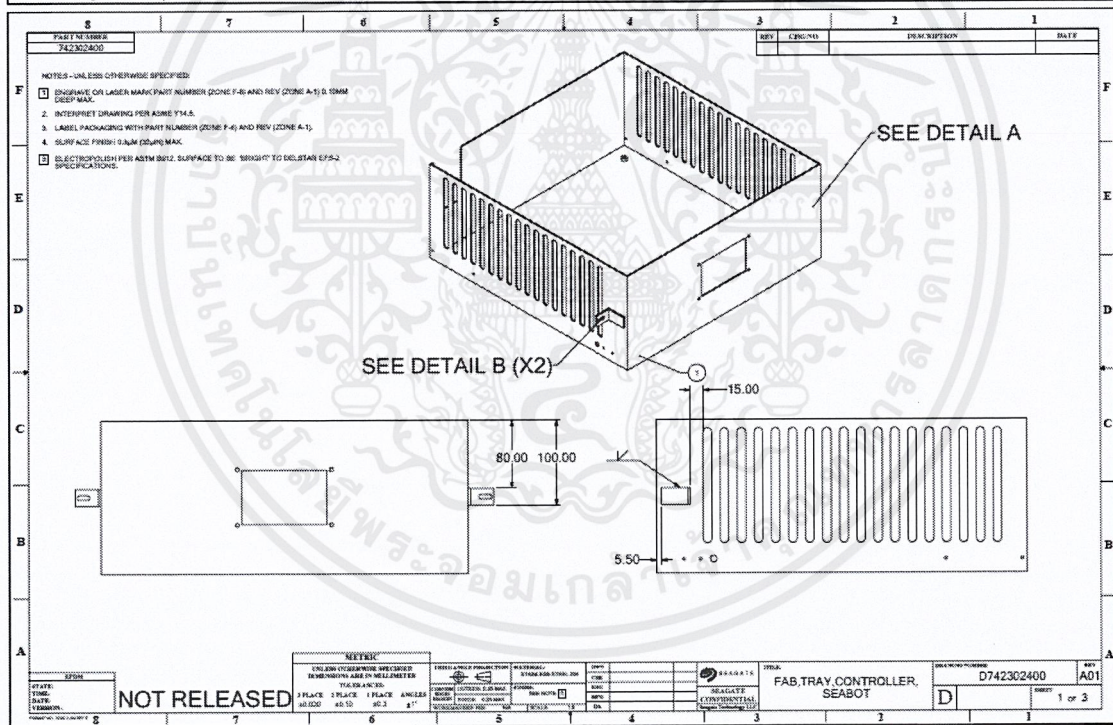
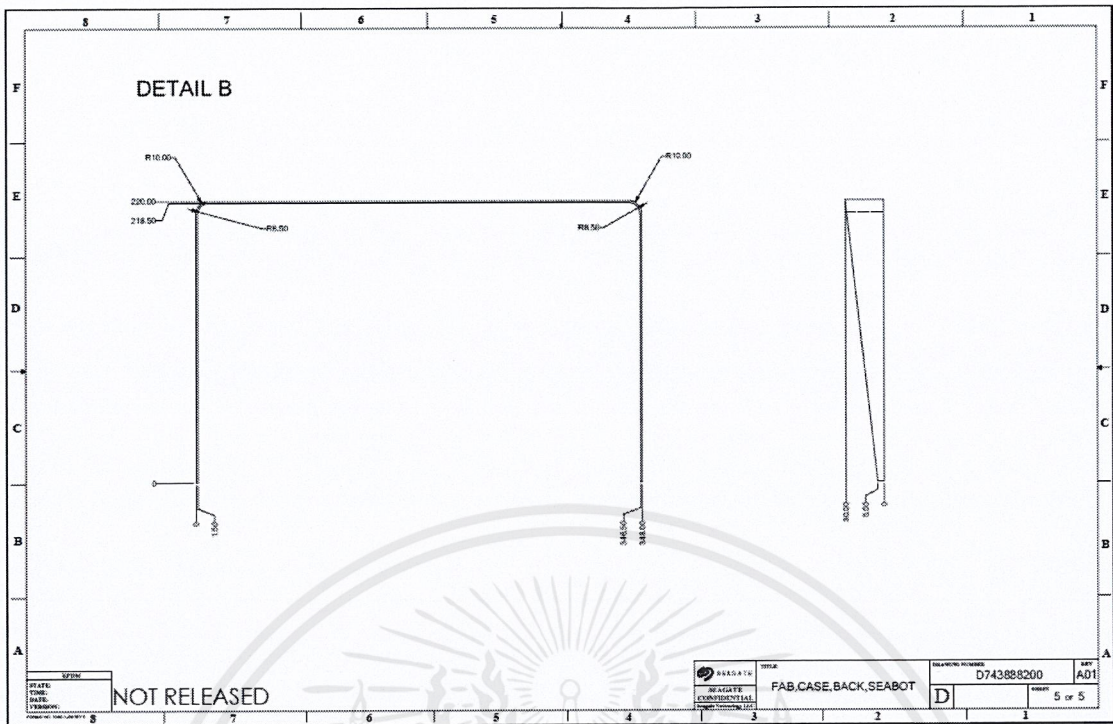
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



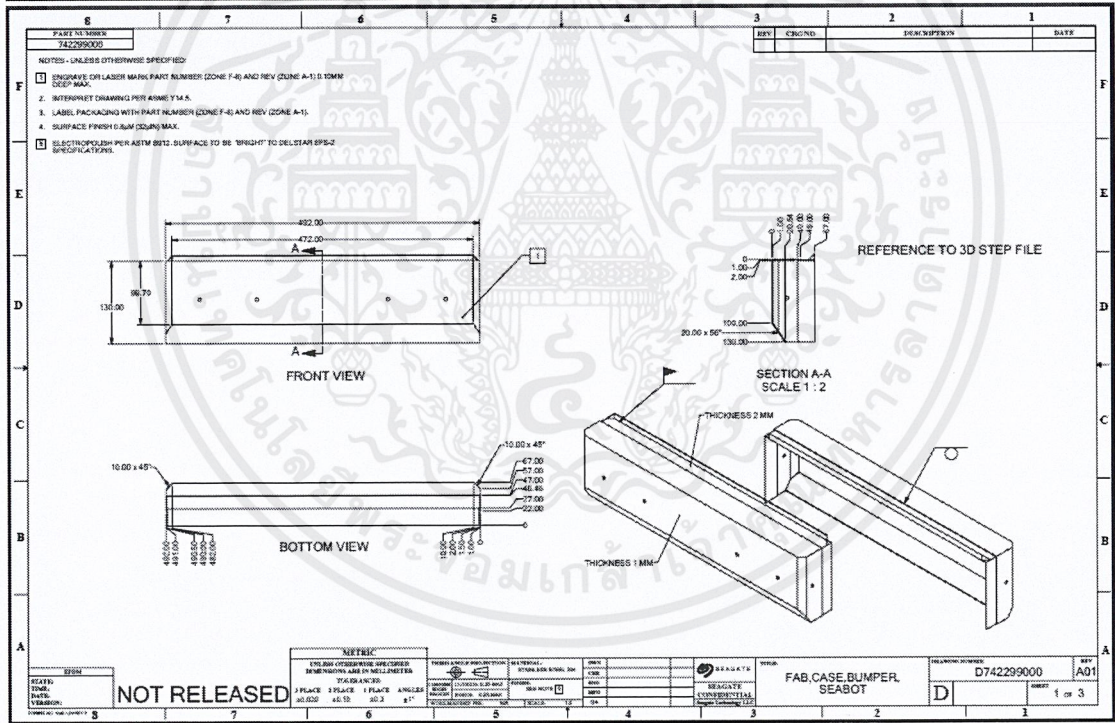
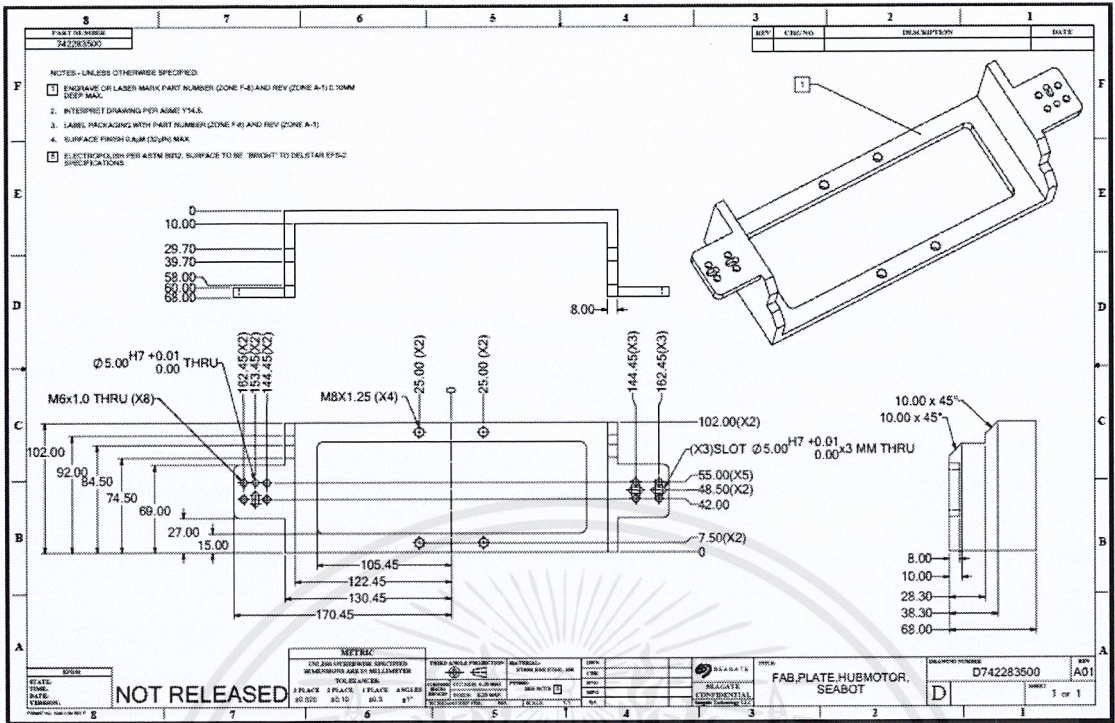
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



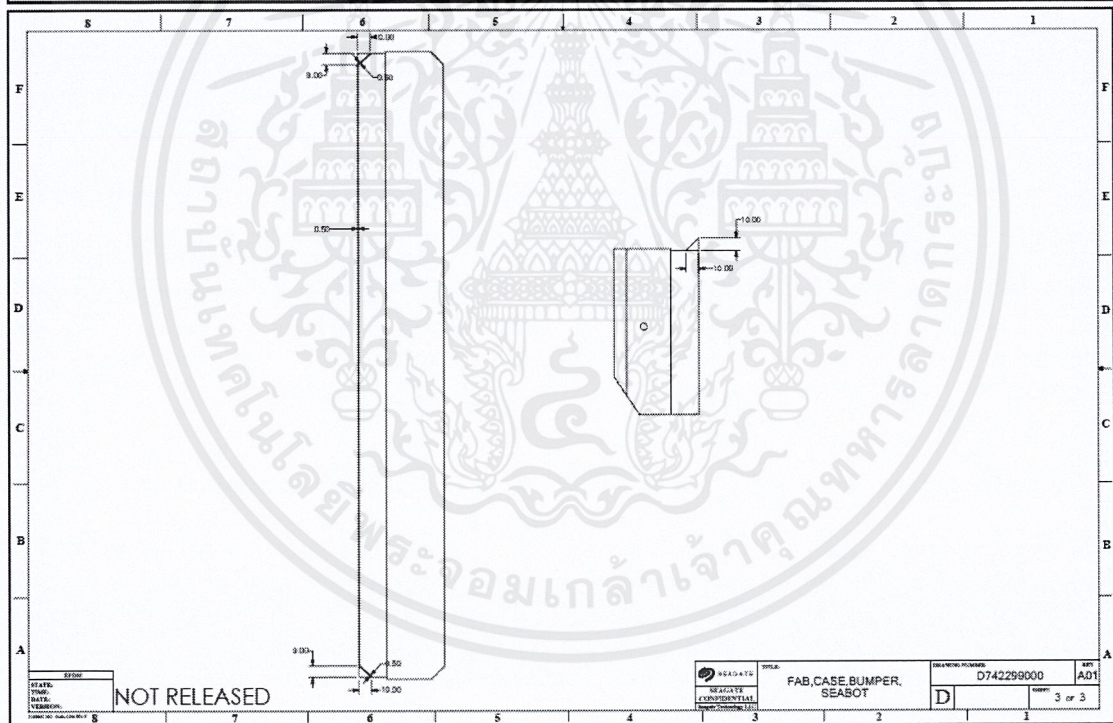
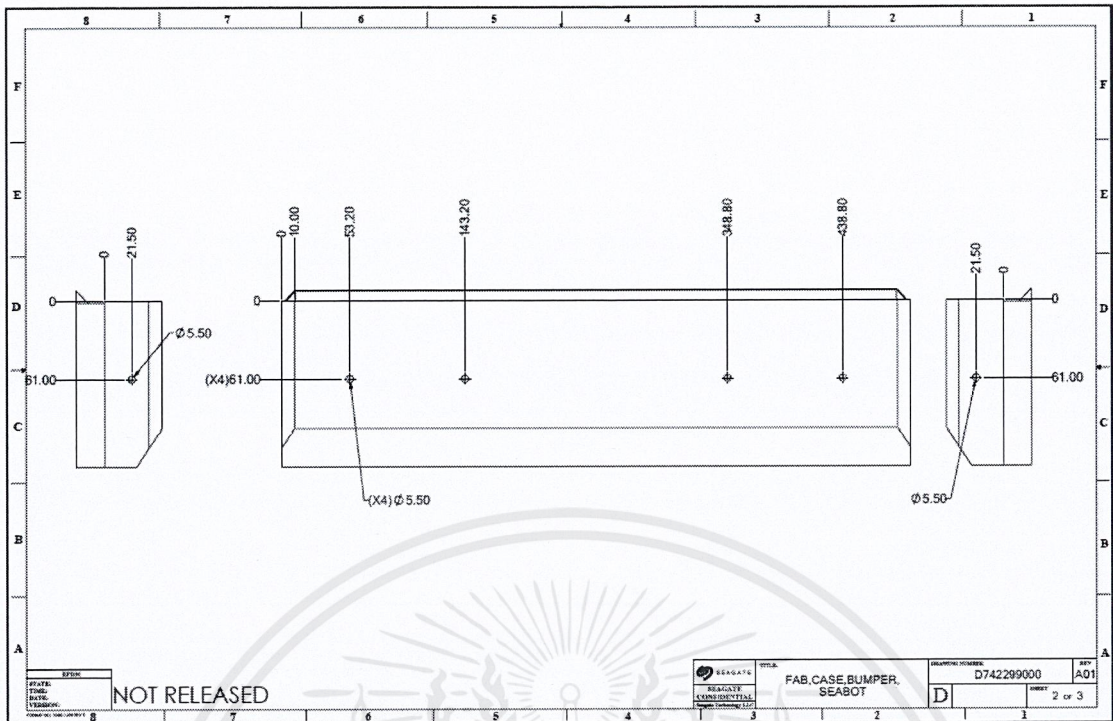
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้