การออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SLACK ADJUSTER TEST BENCH

ณัฏฐ์ชัย ธนรัตเธียรชัย

เจษฎา ผลพานิช

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SLACK ADJUSTER TEST BENCH

NATCHAI THANARATTEINCHAI
JEDSADA PONPANICH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

นาย ณัฏฐ์ชัย ธนรัตเธียรชัย 59010402

นาย เจษฎา ผลพานิช 59010236

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาเครื่องทดสอบอุปกรณ์ร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ปัจจุบันเครื่องทดสอบเดิมมีการใช้งานที่จำกัดสามารถทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติได้เพียงรุ่นเดียวและมีความยุ่งยากในการใช้งาน เครื่องที่สร้างขึ้นมาใหม่จะออกแบบให้สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ร่นห้ามล้อสองรุ่นประกอบด้วย DRV 2A 450 และ 600 มีความสะดวกในการใช้งานและสามารถลดขั้นตอนการทดสอบ วิธีออกแบบจะใช้หลักการการออกแบบเครื่องจักรกลโดยใช้โปรมแกรม SOLIDWORKS และ MSC Adams ช่วยในการออกแบบเพื่อช่วยคำนวณหาขนาดชิ้นงานที่เหมาะสม จากผลการออกแบบ พบว่า ชิ้นส่วนของเครื่องทดสอบ มีตัวประกอบความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 1.3 และจากการทดสอบการใช้งานเครื่องพบว่า สามารถทำงานทดสอบการทำงานอุปกรณ์ร่นห้ามล้ออัตโนมัติได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SLACK ADJUSTER TEST BENCH

Natchai Thanaratteinchai 59010402

Jedsada Ponpanit 59010236

Asst.Prof.Dr. Monsak Pimsarn Adviser

Year 2562

Abstract

This project presents design and development of a slack adjuster test bench. Nowadays, the original slack adjuster testing machine has limited usage since it is only be able to test one model of slack adjuster and it is not ease to use. Therefore, in this project, the new slack adjuster test bench was proposed and it can be used to test the two models of a slack adjuster, DRV 2A 450 and DRV 2A 600. This machine is easy to use and can reduce testing procedures. In the design process, the SOLIDWORKS program and MSC Adams program were employed to analyze the appropriate structure component dimensions. From the design, it was found that the new slack adjuster test bench has a factor of safety not less than 1.3. In addition, from the tested results, it showed that the machine had performed very well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท คณิตอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ทุนที่ใช้ในโครงงานนี้

ขอขอบคุณ การรถไฟแห่งประเทศไทยที่ให้ศึกษาดูงานของจริงที่โรงงานซ่อมบำรุงมักกะสัน

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ณัฏฐ์ชัย ธนรัตเธียรชัย

นาย เจษฎา ผลพานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีความเค้นดัดในคาน	4
2.2 ระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์	6
2.2.1 บทนำ	6
2.2.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	6
2.3 ทฤษฎีความเสียหาย	9
2.4 ตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety, FOS)	9
2.5 ค่าคงที่สปริง	10
2.6 เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600	12
2.6.1 คุณสมบัติของเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ	13
2.6.2 หลักการทำงานของ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600	13
2.7 การทำงานของเครื่องทดสอบเดิม	32
บทที่ 3 การดำเนินงาน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1 บทนำ	33
3.2 แบบโครงเครื่องทดสอบ	33
3.3 การออกแบบกลไก	35
3.3.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นของแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก	37
3.3.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนของตัวช่วยดึง	40
3.3.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของก้านดึงหมายเลข 3	42
3.3.4 การหาความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานของก้านดึงหมายเลข 2	46
3.4 การประกอบเครื่องทดสอบ	50
3.4.1 ขั้นตอนการประกอบโครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ	50
3.4.2 ขั้นตอนการประกอบกลไกเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ	52
3.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสปริง	54
3.5 การติดตั้งต้นกำลัง	59
บทที่ 4 ทดสอบการใช้งานของเครื่อง	61
4.1 บทนำ	61
4.2 วิธีใช้งานเครื่องทดสอบและการทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600	61
4.3 ผลการทดสอบ	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดสอบ	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของสปริงกดที่มีปลายสปริงต่างกัน 11

2.2 ตารางแสดงระยะต่างๆของแผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติและแผนผังระบบเบรกลมในรถไฟ 31

3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติเหล็ก SS400 33

3.2 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุทำสปริง 34

3.3 ตารางบันทึกผลแรงที่กดและระยะหดของสปริง 56

4.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบ ระยะ A , ระยะ B และ การหมุนของกระบอกเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 65

5.1 ตารางองค์ประกอบของเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 67

5.2 ตารางแสดงค่าความเค้นวอนมิสเซสและตัวประกอบความปลอดภัยในแต่ละชิ้น 68

5.3 ตารางแสดงเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องทดสอบ 69

5.4 ตารางแสดงราคาวัสดุของเครื่องทดสอบ 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ตำแหน่งเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ 1
1.2 เครื่องทดสอบเครื่องร่นระยะอัตโนมัติรุ่นเก่า 2
2.1 โมเมนต์ดัดและความเค้นที่กระทำต่อแท่งเหล็ก 4
2.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนระนาบของแท่งเหล็ก 5
2.3 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่างๆ 6
2.4 ชนิดเอลิเมนต์พื้นฐาน 6
2.5 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อโดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ ณ ตำแหน่งที่จุดตัด 7
2.6 ส่วนประกอบของสปริง 10
2.7 แสดงลักษณะปลายสปริง 4 ประเภทที่นิยมใช้งาน 10
2.8 แผนผังอุปกรณ์ภายในเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 12
2.9 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟ 12
2.10 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะก่อนทำการเบรก 14
2.11 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะก่อนทำการเบรก 14
2.12 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะระยะเริ่มทำการเบรก 15
2.13 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะระยะเริ่มทำการเบรก 15
2.14 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะทำการเบรกสุด 16
2.15 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะทำการเบรกสุด 16
2.16 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะทำการคลายเบรก 17
2.17 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะทำการคลายเบรก 18
2.18 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะก่อนทำการเบรก 19
2.19 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะก่อนทำการเบรก 19
2.20 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะเริ่มทำการเบรก 20
2.21 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะเริ่มทำการเบรก 20
2.22 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะทำการเบรกสุด 21
2.23 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะทำการเบรกสุด 22
2.24 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะทำการคลายเบรก 23
2.25 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะทำการคลายเบรก 23
2.26 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะก่อนทำการเบรก 24
2.27 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะก่อนทำการเบรก 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.24 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะทำการคลายเบรก 23
2.25 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะทำการคลายเบรก 23
2.26 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะก่อนทำการเบรก 24
2.27 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะก่อนทำการเบรก 24
2.28 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรก 25
2.29 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรก 25
2.30 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุด 26
2.31 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุด 26
2.32 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะทำการคลายเบรก 27
2.33 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการคลายเบรก 27
2.34 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรกครั้งที่สอง 28
2.35 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรกครั้งที่สอง 28
2.36 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุดครั้งที่สอง 29
2.37 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุดครั้งที่สอง 29
2.38 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะระยะทำการคลายเบรก 30
2.39 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการคลายเบรก 31
2.40 เครื่องทดสอบเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ 32
3.1 แบบโครงเครื่องทดสอบ 33
3.2 ขนาดสปริง 34
3.3 กลไกการดึงของเครื่อง และตำแหน่งข้อต่อของชิ้นงาน 35
3.4 ระยะหดตัวสปริง และแรงสปริงจากคำนวณโดยโปรแกรม MSC Adams 36
3.5 แรงกระทำข้อต่อที่ 1 37
3.6 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก 39
3.7 แรงข้อต่อที่ 2 40
3.8 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของตัวช่วยดึง 42
3.9 แรงที่กระทำข้อที่ 4 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ 43
3.10 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของก้านดึงหมายเลข 3 45
3.11 แรงที่กระทำข้อที่ 5 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ 46
3.12 แรงที่กระทำข้อที่ 6 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.13 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของก้านดึงหมายเลข 2 49
3.14 โครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่มีหมายเลขกำกับ 50
3.15 โครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่มีขนาด 51
3.16 โครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 51
3.17 แบบโครงเครื่องทดสอบ 53
3.18 ภาพอุปกรณ์ประกอบกลไกของเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 53
3.19 แท่นอัดไฮดรอลิก 54
3.20 หน้าปัดแสดงค่าแรงกด 55
3.21 การวัดระยะก่อนกดสปริง 55
3.22 วัดระยะหดของสปริงที่แรง 9,810 นิวตัน 55
3.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดของสปริงกับแรงกด 56
3.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมการเส้นตรงจากการทดลองกับสมการเส้นตรงจากข้อมูลโปรแกรม MSC Adams 57
3.25 สปริงที่ใส่เพิ่มเข้าไป 58
3.26 เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่ติดตั้งเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 58
3.27 แผนผังระบบลม 59
3.28 ภาพประกอบระบบลมมุมที่ 1 60
3.29 ภาพประกอบระบบลมมุมที่ 2 60
4.1 ระยะ A 62
4.2 ระยะ B 62
4.3 ระบบต้นกำลัง 63
4.4 เครื่องทดสอบก่อนการสั่งใช้งาน 63
4.5 เครื่องทดสอบขณะทำงาน 64
5.1 เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

M	โมเมนต์ดัด
E	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ
σ_x	ค่าความเค้นหลักในแนวแกน X
σ_y	ค่าความเค้นหลักในแนวแกน Y
σ_z	ค่าความเค้นหลักในแนวแกน Z
σ_m	ค่าความเค้นหลักสูงสุด
σ_{von}	ความเค้นวอนมิสเซส
τ_{xy}	ความเค้นเฉือนระนาบ XY
τ_{zx}	ความเค้นเฉือนระนาบ ZX
τ_{yz}	ความเค้นเฉือนระนาบ YZ
$\in_x$	ความเครียดในแนวแกน X
I	โมเมนต์เฉื่อย
$\lfloor N \rfloor$	เมทริกซ์ฟังชันการประมาณภายในเอลิเมนต์
$\{\phi\}$	เวกเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์
$\{F\}$	เมทริกซ์ของโหลดที่จุดต่อ
K	ค่าคงที่สปริง
d	เส้นผ่านศูนย์กลางลวดใช้ทำสปริง
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดสปริง
N	จำนวนขดสปริง
G	โมดูลัสแรงเฉือน
FOS	ตัวประกอบความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบห้ามล้อรถไฟเป็นหนึ่งในระบบที่สำคัญ หากระบบห้ามล้อเกิดขัดข้องอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร หรือการขนส่งสินค้า รถจักรดีเซลไฟฟ้าของการรถไฟแห่งประเทศไทยในปัจจุบันเป็นระบบห้ามล้อแบบลมอัด ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชิ้น ซึ่งหนึ่งในอุปกรณ์ที่สำคัญคือ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่คอยปรับระยะห่างระหว่างล้อกับผ้าเบรกรถไฟให้อยู่ในระยะที่เหมาะสม หากเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ชำรุดผ้าเบรกจะจับกับล้อไม่คลายออก หรือเมื่ออัดลมเบรกผ้าเบรกก็ไม่สามารถจับกับล้อได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเช็คสภาพ และทำการซ่อมบำรุงตามอายุการใช้งาน ซึ่งตำแหน่งของเครื่องร่นระยะแสดงดังตามรูปที่ 1.1

รูปที่ 1 . 1 ตำแหน่งเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ

เมื่อ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติผ่านการซ่อมบำรุงแล้วขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติก่อนนำไปติดตั้งบนรถไฟ โดยจะใช้เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติเป็นเครื่องทดสอบการทำงานของเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ เพื่อดูว่าสามารถทำงานได้สมบูรณ์หรือไม่ หลักการทำงานของเครื่องทดสอบจะทำงานคล้ายระบบเบรกบนรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเครื่องเดิมจะใช้คนคอยเปิด/ปิดวาล์วเพื่อสั่งการทำงานของเครื่องให้อัดลมเข้า และคลายลมออกจากระบบ ในการทำงานของเครื่องแต่ละครั้งตรวจสอบการใช้งานได้แค่กรณีเดียว และไม่สามารถทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV ชนิด 600 ได้ เพราะฉะนั้นเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นใหม่จะออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น ลดกระบวนการทดสอบ สามารถทดสอบการเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติได้ทั้งสองรุ่นประกอบไปด้วย DRV 2A 450 และ 600

รูปที่ 1 . 2 เครื่องทดสอบเครื่องร่นระยะอัตโนมัติรุ่นเก่า

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติให้สามารถใช้งานได้ และไม่เกิดการเสียหาย

1.2.2 เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่สร้างขึ้นใหม่มีการใช้งานได้ง่ายขึ้น

1.2.3 สามารถนำความรู้จากภาคทฤษฎีนำมาออกแบบโครงสร้างได้จริง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การสร้างเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ สร้างสำหรับใช้ทดสอบ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ชนิด DRV 2A 450 และ 600 เป็นหนึ่งในอุปกรณ์เบรกที่ใช้งานกับขบวนรถไฟขนส่งสินค้าและขนส่งผู้โดยสารของการรถไฟแห่งประเทศไทย ทดสอบโดยจำลองการเบรกของรถไฟใช้ลมความดัน 5 บาร์ตามมาตรฐาน International Union of Railway (UIC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติเครื่องเก่า

1.4.2 ศึกษาข้อมูลการซ่อมบำรุง เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

1.4.3 วัดขนาด และ ออกแบบเครื่องทดสอบแต่ละชิ้นส่วน ลงบนโปรแกรม Solid works และตรวจสอบการทำงานด้วยโปรแกรม MSC Adams

1.4.4 ประมาณการสั่งซื้อ

1.4.5 ประกอบเครื่องทดสอบ

1.4.6 ทดสอบการทำงาน และเก็บข้อมูล

1.4.7 สรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถใช้ความรู้ตามทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบได้

1.5.2 สามารถใช้ทักษะความรู้ทางวิศวกรรม มาสร้างชิ้นงานได้ตามต้องการ

1.5.3 เครื่องที่สร้างขึ้นมา สามารถใช้งานได้จริงตามต้องการ

1.5.4 กระบวนการและขั้นตอนการสร้างเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องทดสอบเครื่องต่อไปในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีความเค้นดัดในคาน

โมเมนต์ดัด $\mathbf{M}$ ที่กระทำต่อแท่งเหล็กจะทำให้เกิดความเค้นในแนวตั้งฉากแสดงดังรูปที่ 2.1ซึ่งห้ามมีค่าเกินกำลังคลากของวัสดุ หมายความว่าความเค้นที่กระทำต่อแท่งเหล็กมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดความเป็นปฏิภาค (Proportional Limit) และขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ด้วยไม่เช่นนั้นจะทำให้แท่งเหล็กเกิดการเสียรูปถาวร และสามารใช้กฎของฮุคได้ วัสดุที่จะนำมาสร้างเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมดและให้ $\mathbf{E}$ เป็นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ σ_x เป็นค่าความเค้นในแนวแกน X และ $\in_x$ เป็นค่าความเครียดในแนวแกน X จะได้สมการ

รูปที่ 2 . 1 โมเมนต์ดัดและความเค้นที่กระทำต่อแท่งเหล็ก [4]

$$\sigma_x = \mathbf{E} \in_x \tag{2.1}$$

จากสมการการเสียรูป คูณ E ทั้งสองข้างของสมการจะได้

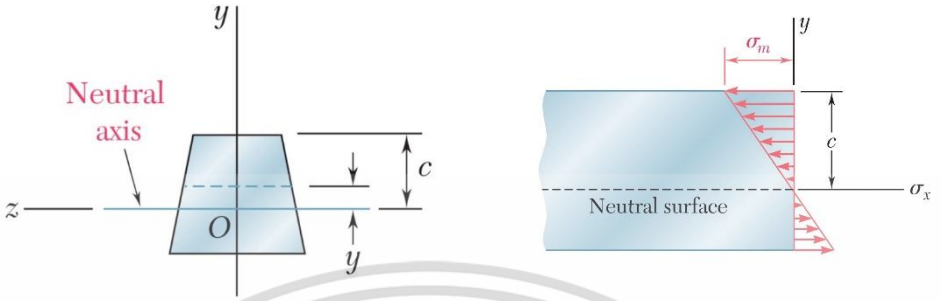
$$\mathbf{E} \in_x = -\frac{y}{c}(\mathbf{E} \in_m) \tag{2.2}$$

จัดรูปได้เป็น

$$\sigma_x = -\frac{y}{c}\sigma_m \tag{2.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ σ_m เป็นค่าสัมบูรณ์สูงสุดของความเค้น แสดงให้เห็นว่าความเค้นแปรผันเป็นเส้นตรงตามระยะทางจากระนาบสะเทินดังรูป 2.2 ต่อไปจะเป็นการหาตำแหน่งของระนาบสะเทินและค่าความเค้นสูงสุด σ_m



รูปที่ 2 . 2 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนระนาบของแท่งเหล็ก [4]

$$\int \sigma_x dA = 0 \tag{2.4}$$

$$\int (-\frac{y}{c}\sigma_m) dA = 0 \tag{2.5}$$

$$-\frac{\sigma_m}{c}\int y\, dA = 0 \tag{2.6}$$

$$\therefore \int y\, dA = 0 \tag{2.7}$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่าโมเมนต์แรกรอบแกนสะเทินของพื้นที่แสดงดังรูปที่ 2.2 จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ หรืออาจกล่าวได้ว่าสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงดัดล้วน แกนสะเทินจะผ่านจุดเซนทรอยด์ของหน้าตัดเสมอจากสมการโมเมนต์รอบแกน z คือ

$$\int (-y\sigma_x dA) = M \tag{2.8}$$

กำหนดให้แกน z ทับกันอยู่กับแกนสะเทินของหน้าตัดแทนค่า $\sigma_x = -\frac{y}{c}(\sigma_m)$

$$\int (-y)(-\frac{y}{c}\sigma_m) dA = M \tag{2.9}$$

$$\frac{\sigma_m}{c}\int y^2\, dA = M \tag{2.10}$$

เนื่องจากในกรณีของแรงดัดล้วน แกนสะเทินจะผ่านจุดเซนทรอยด์ของหน้าตัด ดังนั้น I คือโมเมนต์เฉื่อยหรือโมเมนต์ที่สองของหน้าตัด โดยเทียบกับแกนเซนเทรอยด์ซึ่งตั้งฉากกับระนาบของโมเมนต์ M ดังนั้นเมื่อแก้สมการที่ 2.10 จะได้ค่าของ σ_m คือ

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

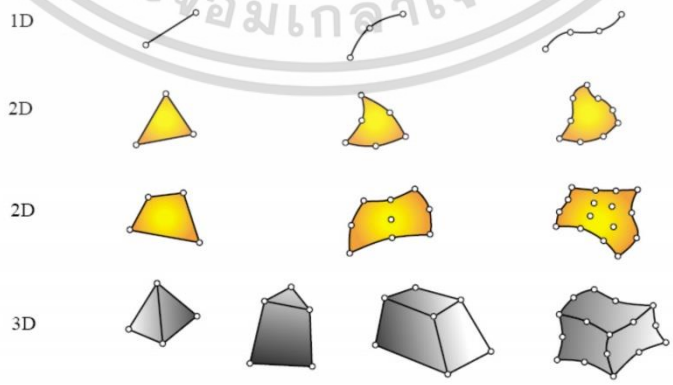
2.2.1 บทนำ

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้ โดยจะแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (elements) เอลิเมนต์เหล่านี้เชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (nodes) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาค่าตัวแปรตาม (dependent variables) ที่ต้องการ

2.2.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งขอบเขตรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่าง ๆ กันเช่น ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง (elasticity peoblem) ปัญหาที่เกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อน (thermal problem) รวมทั้งปัญหาของการไหล (fluid problem)

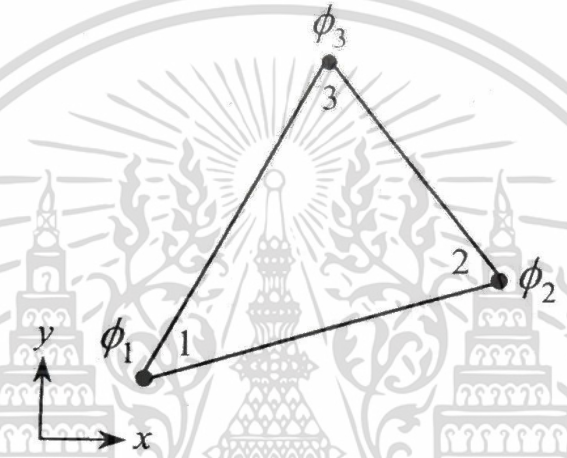
รูป 2 . 3 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่างๆกัน [3]



รูปที่ 2 . 4 ชนิดของเอลิเมนต์พื้นฐาน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (element interpolation functions) เช่น เอลิเมนต์สามเหลี่ยมเอลิเมนต์นี้ประกอบด้วย 3 จุดต่อกันที่หมายเลข 1 , 2 และ 3 ดังแสดงในรูป 2.4 โดยที่จุดต่อเป็นตำแหน่งที่ตั้งของตัวไม่รู้ค่า(nodal unknowns) สมมติให้เป็น ϕ_1, ϕ_2 และ ϕ_3 ตามลำดับ ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่ออาจเป็นค่าของการเสียรูปหาเราวิเคราะห์ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้คือ



รูป 2 . 5 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อโดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ ณ ตำแหน่งที่จุดตัด [3]

$$\phi(x,y) = \underset{(1\times3)}{\lfloor N \rfloor} \underset{(3\times1)}{\{\phi\}} = \lfloor N_1 \quad N_2 \quad N_3 \rfloor \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \tag{2.12}$$

โดยที่ $\lfloor N \rfloor$ คือ เมทริกซ์ฟังชันการประมาณภายในเอลิเมนต์

$\{\phi\}$ คือ เวกเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์เช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างดังแสดงในสมการที่ 2.13

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}_e \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}_e \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเขียนย่อได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \tag{2.14}$$

เมื่อ $[K]$ คือ เอลิเมนต์เมทริกซ์ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของปัญหานั้นๆ

$\{\phi\}$ คือ เมทริกซ์ของตัวที่ไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

$\{F\}$ คือ เมทริกซ์ของโหลดที่จุดต่อ

ขั้นตอนที่ 4 การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกัน ซึ่งจะได้สมการรวม (system of simultaneous equations) ในรูปแบบดังนี้

$$\sum(\text{element equation}) \Rightarrow [K]_{sys} \{\phi\}_{sys} = \{F\}_{sys} \tag{2.15}$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ลงในระแบบสมการรวมแล้วจึงแก้ระบบสมการรวมนี้เพื่อหา $\{\phi\}_{sys}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ (nodal unknowns) ซึ่งอาจเป็นค่าของการเคลื่อนตัวตามจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้างหรือเป็นค่าของอุณหภูมิที่จุดต่อ หากเป็นปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่างๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าอื่นๆ ที่ต้องการต่อไปได้อีก เช่นเมื่อรู้ค่าเสียรูปตามจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้างก็สามารถนำไปใช้หาค่าความเครียด และความเค้นได้ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีความเสียหาย

ทฤษฎีความเสียหายของวัสดุกล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหาย เมื่อความเค้นวอนมิสภายในชิ้นงานมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานแรงคราก ของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้งาน โดยความเค้นรวมภายในชิ้นงานประกอบด้วยความเค้นหลัก σ ในแนวแกน x, y และ z และประกอบด้วยความเค้นเฉือน τ ในระนาบ xy, xz และ zy ซึ่งความเค้นทั้งหมดสามารถรวมเข้าด้วยกันตามสมการความเค้นวอนมิส σ_{von}

$$\sigma_{von} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}{2}} \tag{2.16}$$

กรณีพิกัดไม่ใช่ xyz (ไม่ใช่ principal direction)

$$\sigma_{von} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \tag{2.17}$$

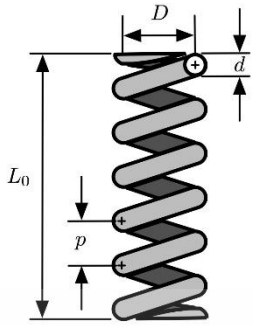
2.4 ตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety, FOS)

ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องทดสอบนั้นแรงประลัยของวัสดุจะต้องมีค่ามากกว่าแรงที่ยอมให้ชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือ ส่วนประกอบของเครื่องจักรกลรับแรงภายใต้สภาพการใช้งาน หรือบอกได้อีกอย่างว่า แรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นจะต้องน้อยกว่าแรงประลัยของวัสดุที่นำมาประกอบ ดังนั้นความสามารถในการรับแรงของวัสดุจะถูกใช้เพียงบางส่วนเท่านั้นเมื่อมีแรงมากระทำ ส่วนที่เหลือจะเผื่อไว้เพื่อความปลอดภัย

$$\text{FOS} = \frac{\text{Yield strength of material}}{\sigma_{von}} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ค่าคงที่สปริง



รูปที่ 2 . 6 ส่วนประกอบของสปริง [4]

สปริงแต่ละชิ้นจะมีค่าคงที่ที่แตกต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำ ขนาดของขดลวด ความยาวของสปริง ระยะห่างระหว่างเกลียวสปริงดังแสดงในรูปที่ 2.6 และการนำไปใช้งานแต่ละประเภทซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3 สมการการหาค่าคงที่สปริงคือ

$$K = \frac{d^4 G}{8D^3 N} \tag{2.19}$$

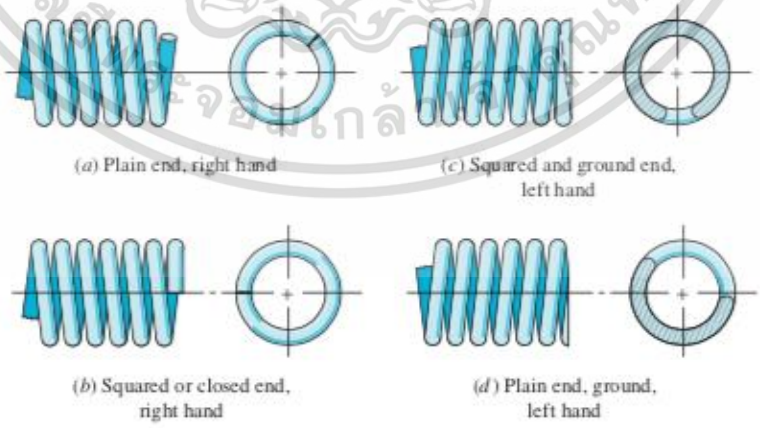
เมื่อ K คือ ค่าคงที่สปริง (N/m)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลวดใช้ทำสปริง

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดสปริง

N คือ จำนวนขดสปริง

G คือ โมดูลัสแรงเฉือน



รูปที่ 2 . 7 แสดงลักษณะปลายสปริง 4 ประเภทที่นิยมใช้งาน [4]

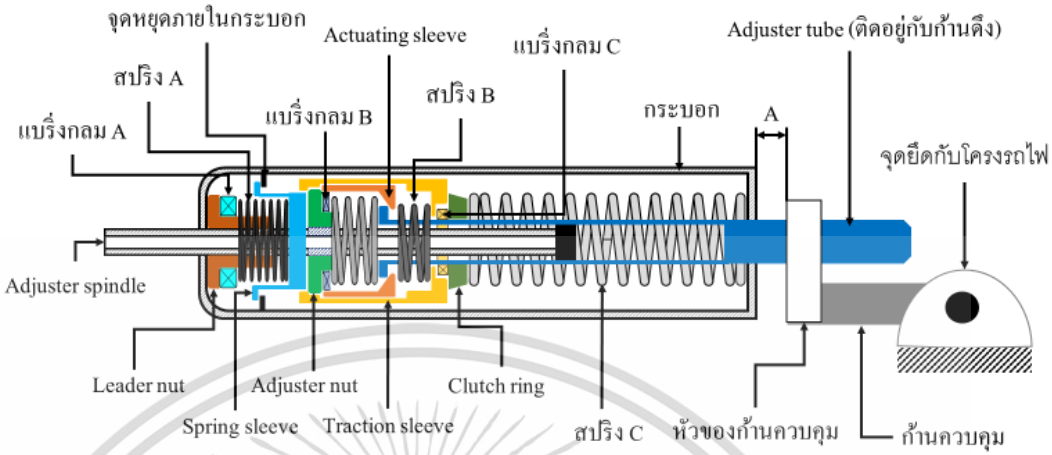
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 . 1 ตารางแสดงคุณสมบัติของสปริงกดที่มีปลายสปริงต่างกัน [4]

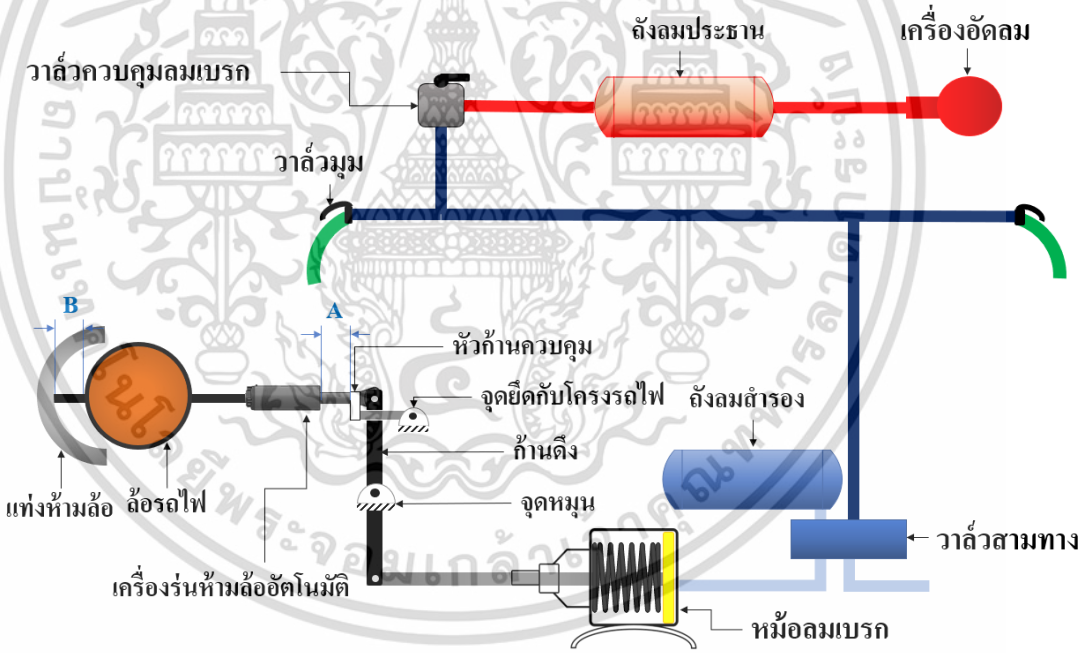
Term	Type of Spring Ends			
	Plain	Plain and Ground	Squared or Closed	Squared and Ground
End coils, N_e	0	1	2	2
Total coils, N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Free length, L_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Solid length, L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Pitch, p	$(L_0 - d)/N_a$	$L_0/(N_a + 1)$	$(L_0 - 3d)/N_a$	$(L_0 - 2d)/N_a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600



รูปที่ 2 . 8 แผนผังอุปกรณ์ภายในเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ



รูปที่ 2 . 9 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 คุณสมบัติของเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการปรับระยะระหว่างล้อกับแท่งห้ามล้อให้สมดุลกัน เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติถูกติดตั้งเข้ากับโครงเบรกคล้ายเป็นก้านดึงเชิงกล เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติเป็น Double acting (Double acting คือการทำงานปรับทั้งระยะ A และระยะ B)และ Rapid working (Rapid working คือการทำงานอย่างรวดเร็ว) ซึ่งมันสามารถปรับระยะความยาวให้มากหรือน้อยได้รวดเร็วเพื่อเตรียมกำหนดความยาว “ A “ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติต้องรักษาระยะ “ A และ B “ ให้คงที่ตลอดการใช้งาน

อุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ขนาด A เป็นตัวกำหนดการใช้งานขนาด A เป็นระยะห่างระหว่างหัวของก้านควบคุมกับกระบอก ตอนที่รถไฟคลายเบรกเรียบร้อยแล้ว กล่าวอีกนัยหนึ่งคือระยะ A จะสอดคล้องกับระยะหย่อนเมื่อรถไฟได้ทำการคลายเบรกเรียบร้อย เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติควรคงระยะห่าง A ไห้ได้ทุกสภาพการใช้งานสำหรับการทำงานของเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่ได้ประสิทธิภาพต้องสามารถทำงานภายใต้สภาพการใช้งาน 3 แบบคือ ระยะหย่อนหลังเบรกที่พอดี ระยะหย่อนหลังเบรกที่มากเกินไป ระยะหย่อนหลังเบรกที่น้อยเกินไป

2.6.2 หลักการทำงานของ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600

ตำแหน่งของ Adjuster nut บน Adjuster spindle จะเป็นตัวกำหนดของความก้านควบคุม โดย Leader nut จะปรับตำแหน่ง Adjuster nut ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องบนแกนหมุน ซึ่ง Leader nut และ Adjuster nut ถูกควบคุมโดยพวก Clutch ring ในที่นี้จะมี Nuts ตัวใดตัวหนึ่งจะล็อคแน่นบนแกนหมุน ส่วน Nuts อีกตัวหนึ่งหมุน

ระยะที่กำหนดคือ “A” ระหว่าง หัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอก ต้องเป็นระยะที่ถูกต้องตามกำหนดไว้ เมื่อมีการคลายเบรกสุด

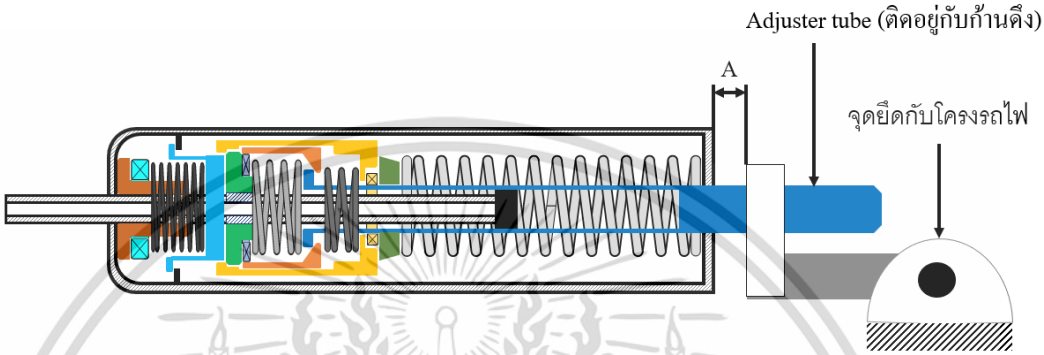
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องรั่นห้ามล้ออัตโนมัติมี 3 สภาพการดังนี้

สภาพการที่ 1 ระยะระหว่างล้อรถไฟกับเบรกบล็อกรถไฟห่างกันตามระยะที่กำหนด ซึ่งประกอบด้วย 4 ระยะดังนี้

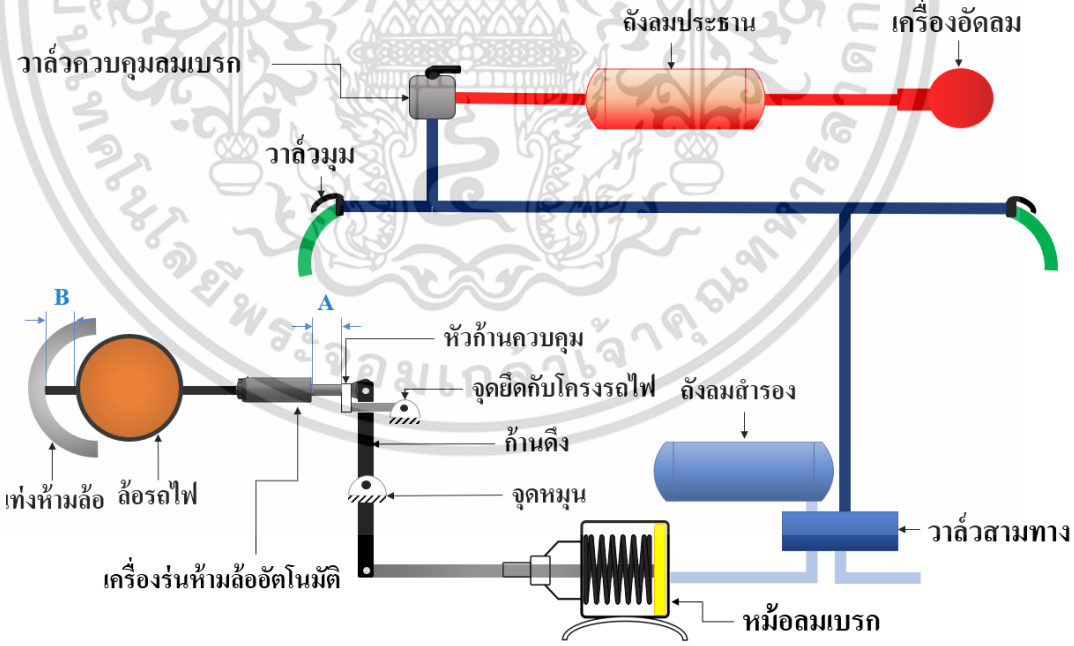
1.ระยะก่อนทำการเบรก

ก่อนทำการเบรก ระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกอยู่ที่ระยะ A ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2 . 10 แผนผังเครื่องรั่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะก่อนทำการเบรก

ก่อนทำการเบรกล้อรถไฟและผ้าเบรกรถไฟจะห่างกันเป็นระยะ B และระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกห่างกันเป็นระยะ A ดังรูปที่ 2.11



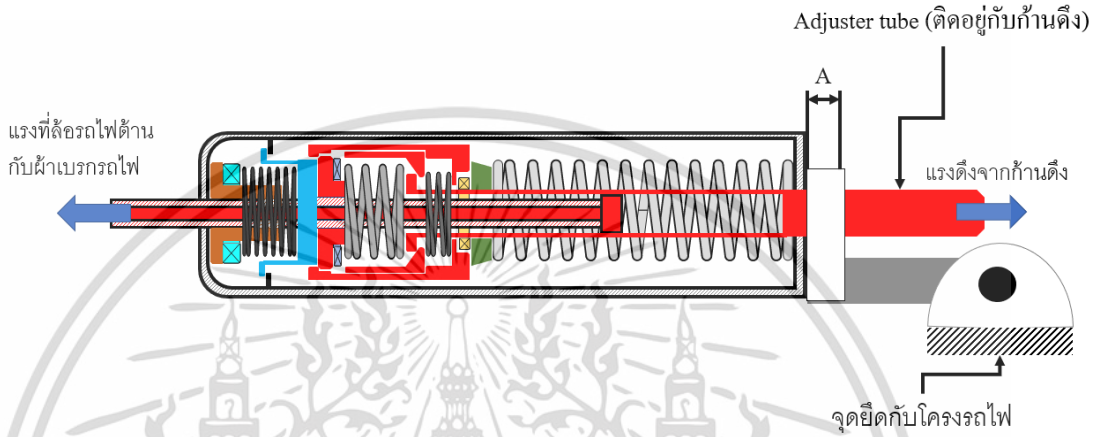
รูปที่ 2 . 11 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะก่อนทำการเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ระยะเริ่มทำการเบรก

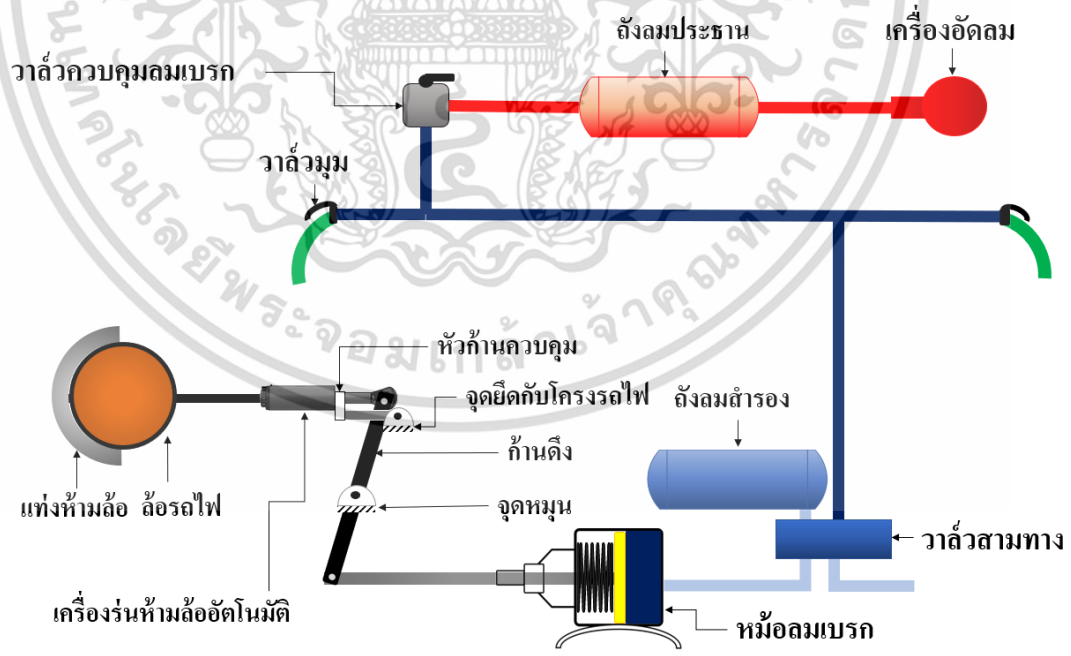
เมื่อเริ่มทำการเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.12 โดย ท้ายของกระบอกเลื่อนชนกับหัวของก้านควบคุม เป็นระยะ A

ในขณะเดียวกัน Adjuster tube ดึง Actuating sleeve ไปทางขวาด้วยแรงดึงจากหม้อลมเบรกและ Adjuster spindle ถูกดึงไปทางซ้ายด้วยแรงที่ล้อรถไฟต้านกับผ้าเบรกรถไฟ ทำให้ Adjuster nut ต้านกับ Traction sleeve (สีแดงคือกลไกภายในที่มีความเค้นของการเบรกผ่าน)



รูปที่ 2 . 12 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะระยะเริ่มทำการเบรก

เมื่อเริ่มทำการเบรกล้อรถไฟจะเริ่มแตะกับผ้าเบรกรถไฟดังรูปที่ 2.13

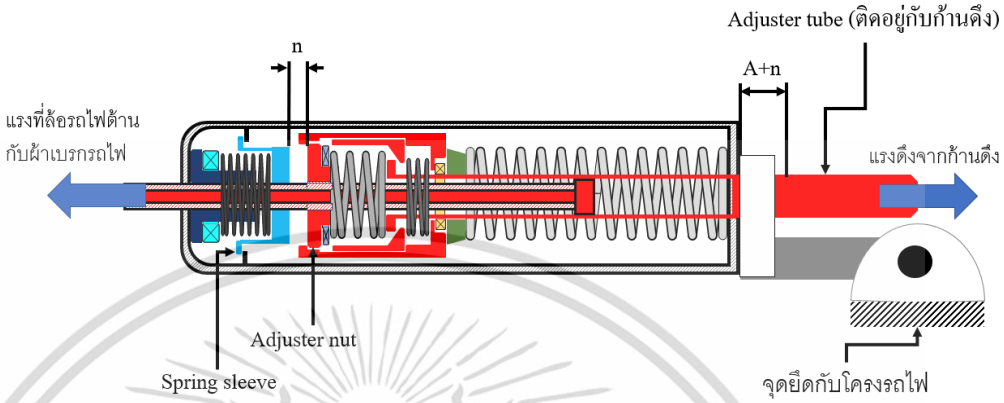


รูปที่ 2 . 13 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะระยะเริ่มทำการเบรก

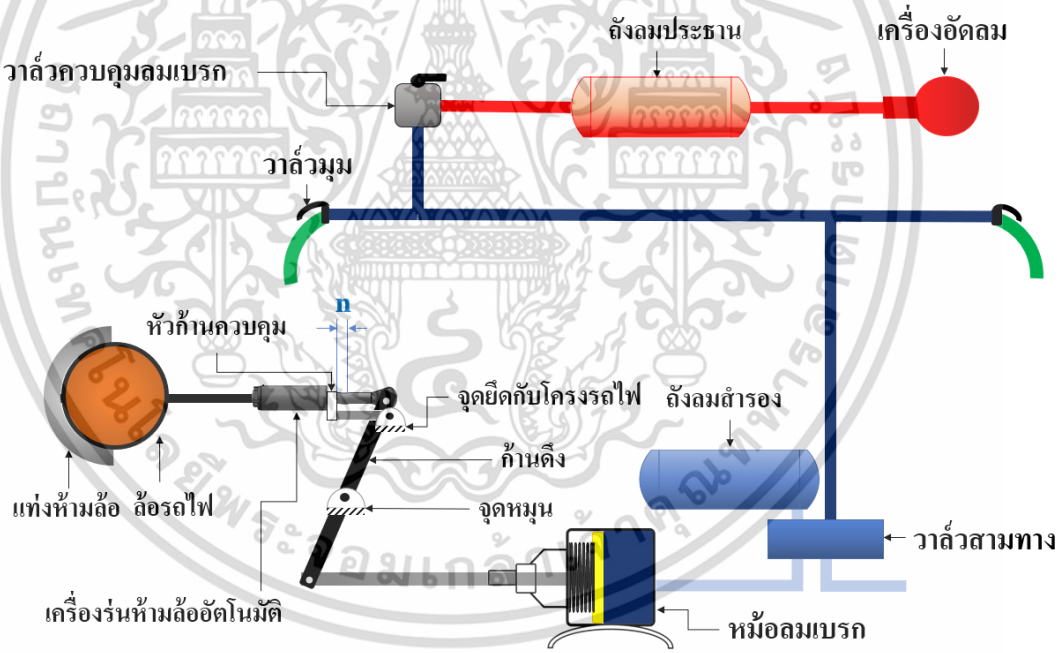
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระยะทำการเบรกสุด

เมื่อลงเบรกสุด กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.14 โดยการเบรกสุดจะทำให้เกิดระยะ m และ Adjuster spindle จะเคลื่อนที่ผ่าน Leader nut ทำให้ Leader nut หมุนบนเกลียว Adjuster spindle และ แบริ่งกลม A



รูปที่ 2 . 14 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะทำการเบรกสุด



รูปที่ 2 . 15 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะทำการเบรกสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระยะทำการคลายเบรก

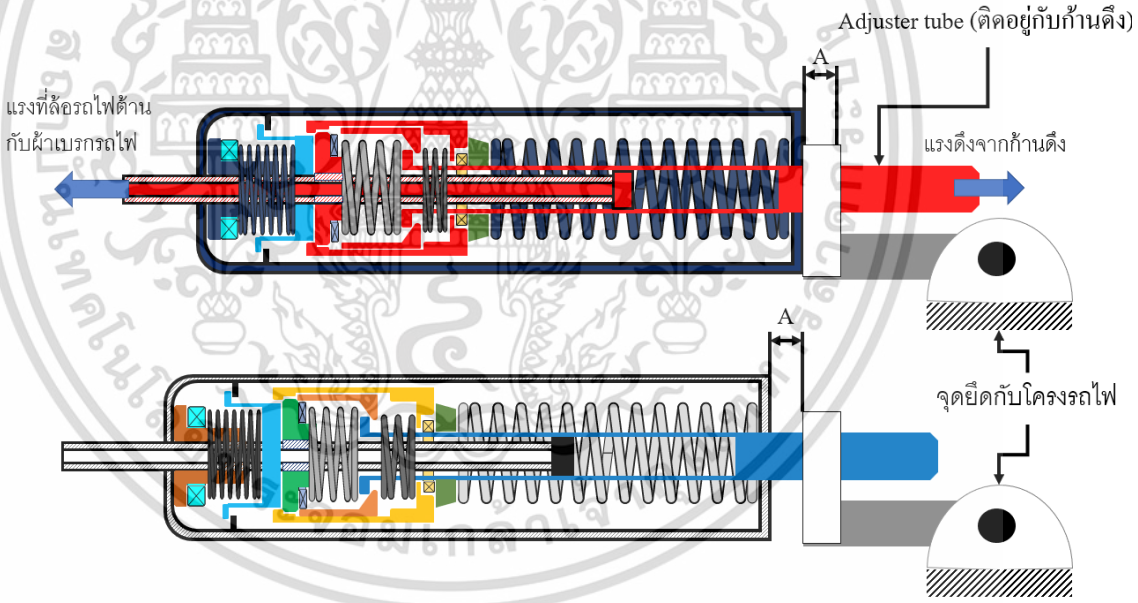
เมื่อเริ่มทำการคลายเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.16 โดยปล่อยลมออกจากหม้อลมความดันของการเบรกก็จะลดลง

ในชิ้นส่วนสีแดงจะเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ในขณะเดียวกัน Leader nut จะหมุนไปในทิศตรงข้ามของเกลียว (ทางด้านขวา)

ในส่วนชิ้นส่วนสีน้ำเงิน สปริง C และ กระบอก หมุนขยับมาทางซ้าย

เมื่อทำการคลายเบรกสุด กระบอกยังคงหมุนขยับมาทางซ้าย ส่วน Leader nut จะหยุดหมุน ขณะเดียวกัน Adjuster nut ขยับมาชนกับ Spring sleeve

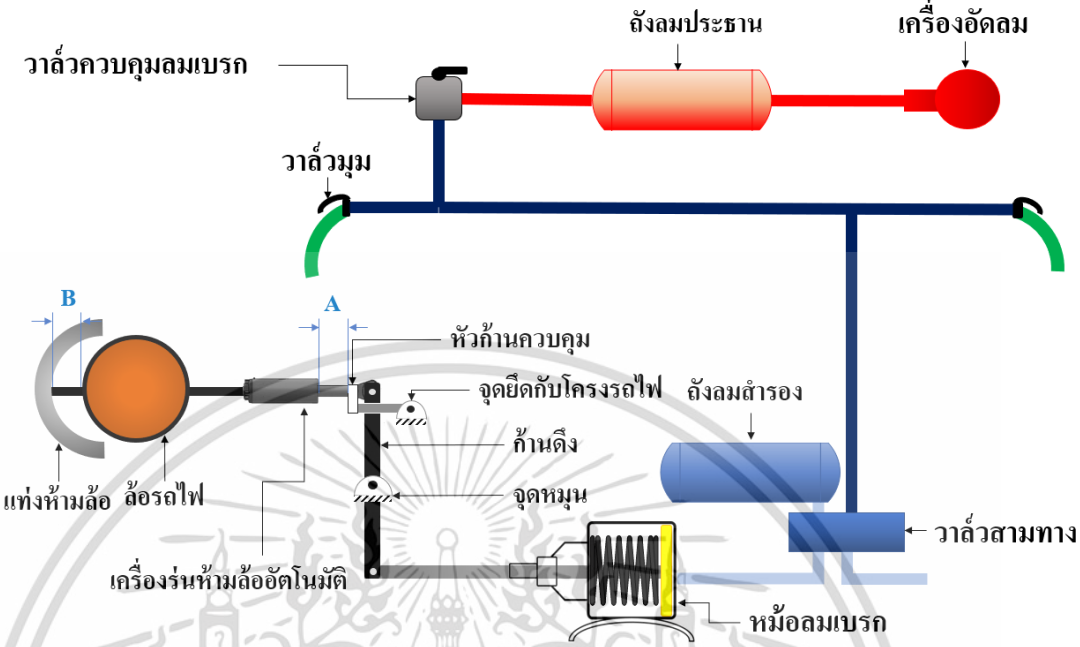
ต่อมา Adjuster tube และ Traction sleeve จะดัน Adjuster nut และ Adjuster tube กับ Traction sleeve จะล็อคหลังจากดัน Adjuster nut จากนั้นส่วนประกอบทั้งหมดจะเคลื่อนไปทางซ้ายจนคลายเบรกสุด จนระยะ A ถูกชดเชย เมื่อทำการคลายเบรกสุด โดยปล่อยลมออกจากหม้อลมทั้งหมด ความเค้นของการเบรกก็จะหายไปทั้งหมดและระยะระหว่าง หัวของก้านควบคุมกับท้ายของกระบอก จะห่างกันเป็นระยะ A อีกทั้งระยะระหว่างล้อรถไฟกับกับผ้าเบรกจะห่างกันเป็นระยะ B



รูปที่ 2 . 16 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 1 ระยะทำการคลายเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการคลายรเบรกล้อรถไฟและผ้าเบรกรถไฟจะห่างกันเป็นระยะ B และระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกห่างกันเป็นระยะ A ดังรูปที่ 2.17



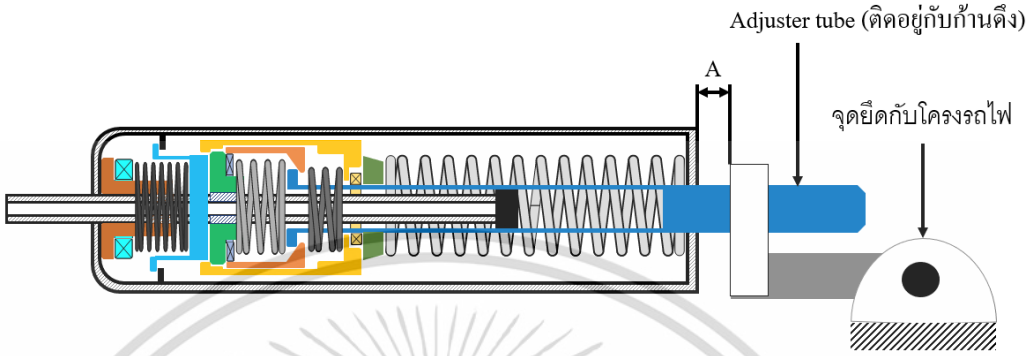
รูปที่ 2 . 17 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 1 ระยะทำการคลายเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพการที่ 2 ระยะระหว่างล้อรถไฟกับเบรกบล็อกรถไฟห่างกันมากกว่าระยะที่กำหนดซึ่งประกอบด้วย 4 ระยะดังนี้

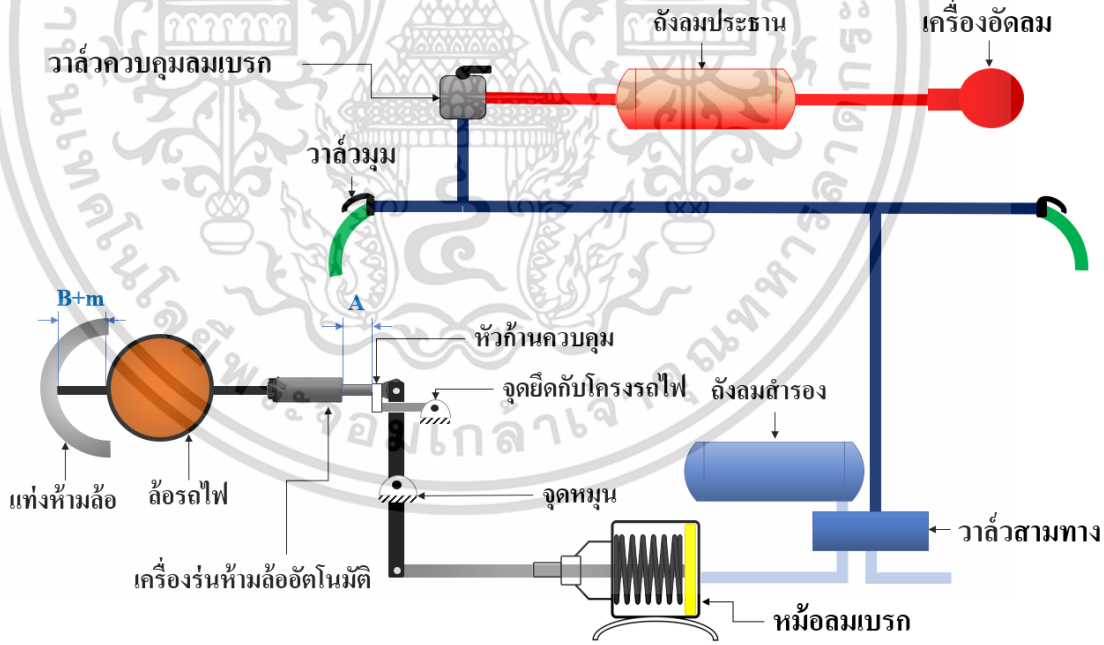
1.ระยะก่อนทำการเบรก

ก่อนทำการเบรก ระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอก อยู่ที่ระยะ A ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2 . 18 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะก่อนทำการเบรก

ก่อนทำการเบรกล้อรถไฟและผ้าเบรกรถไฟจะห่างกันเป็นระยะ B+m และระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกห่างกันเป็นระยะ A ดังรูปที่ 2.19

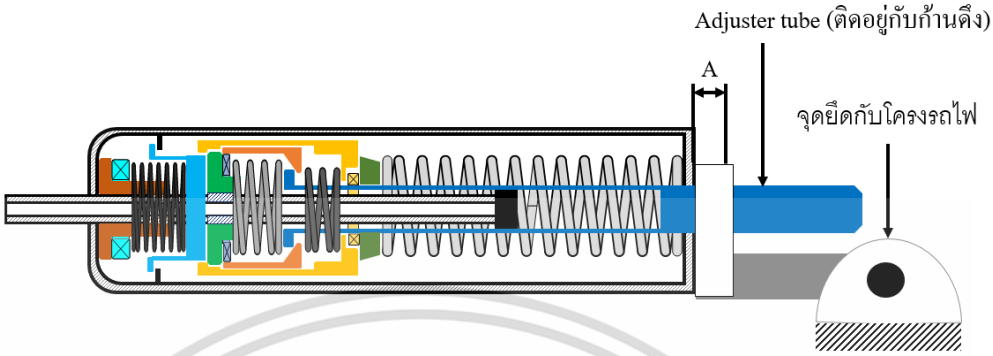


รูปที่ 2 . 19 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะก่อนทำการเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

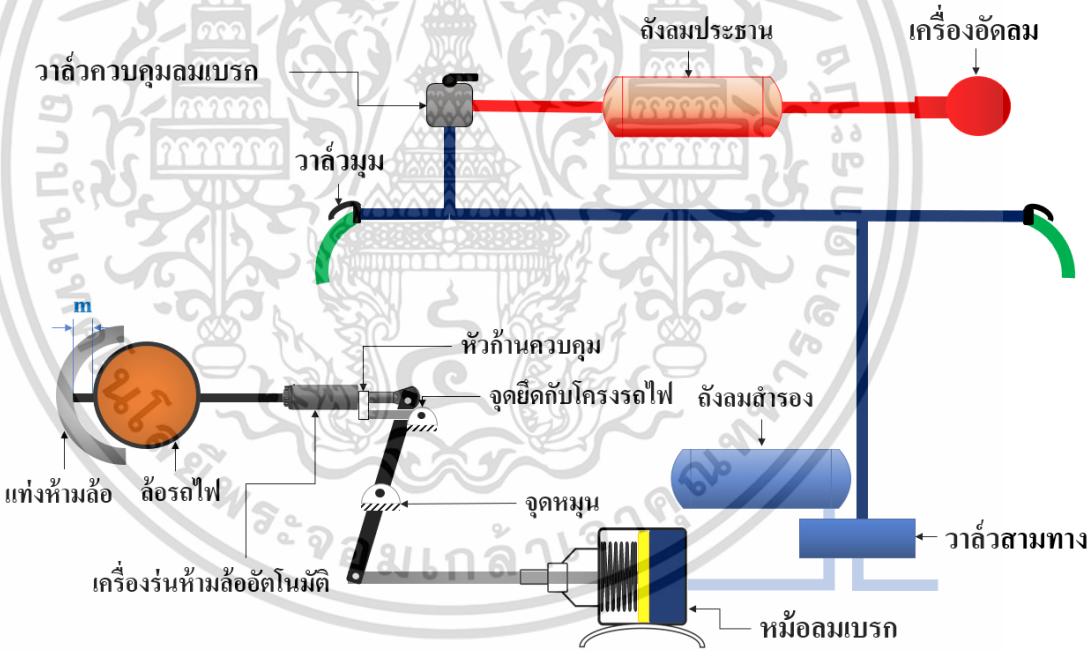
2.ระยะเริ่มทำการเบรก

เมื่อเริ่มทำการเบรกชิ้นส่วนทั้งหมดเคลื่อนที่ไปทางขวาจนท้ายของกระบอกชนกับหัวของก้านควบคุม ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2 . 20 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะเริ่มทำการเบรก

เมื่อเริ่มทำการเบรกล้อรถไฟและผ้าเบรกรถไฟจะห่างกันเป็นระยะ m ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2 . 21 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะเริ่มทำการเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ระยะทำการเบรกสุด

เมื่อทำการเบรกสุด กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.22 โดยถ้าระยะระหว่างล้อรถไฟและผ้าเบรกรถไฟน้อยกว่าระยะที่กำหนด (ระยะ A) จะทำให้ผ้าเบรกรถไฟไม่จับกับล้อรถไฟ

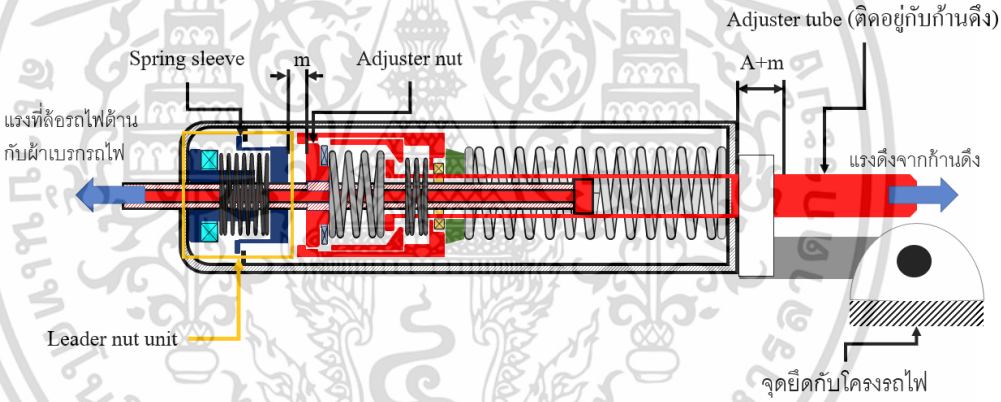
Adjuster tube จะถูกดึงออกไปทางขวาเป็นระยะ m ทำให้ Adjuster spindle ถูกดึงมาทางขวาและถูกกดไปทางซ้ายด้วยแรงกดของ สปริง C ที่ถูกส่งแรงมาจากกระบอก แล้ว Barrel ถูกกดด้วย Control rod head

ในขณะนั้น Leader nut unit ซึ่งประกอบด้วย Leader nut แบริ่งกลม A และ Spring sleeve จะหมุน เนื่องจาก Adjuster spindle เคลื่อนผ่าน Leader nut

เมื่อผ้าเบรกรถไฟจับกับล้อรถไฟความเค้นของการเบรกจะเริ่มขึ้น โดย Traction sleeve จะถูกดึงและแยกออกจาก Clutch ring

ส่วนสีแดงคือส่วนที่ความเค้นของเบรกผ่าน

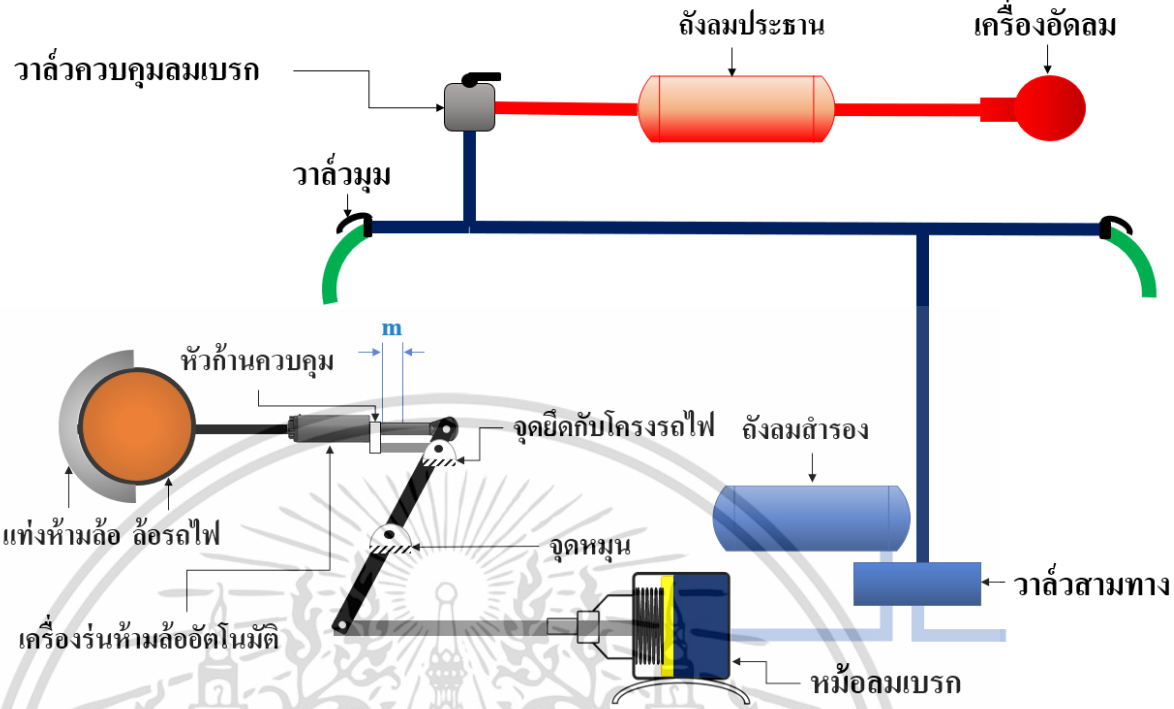
ส่วนชิ้นส่วนในกรอบสีเหลือคือชิ้นส่วนที่มีการหมุน



รูปที่ 2 . 22 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะทำการเบรกสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มทำการเบรกล้อรถไฟจะแตะกับผ้าเบรกรถไฟดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2 . 23 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะทำการเบรกสุด

4.ระยะทำการคลายเบรก

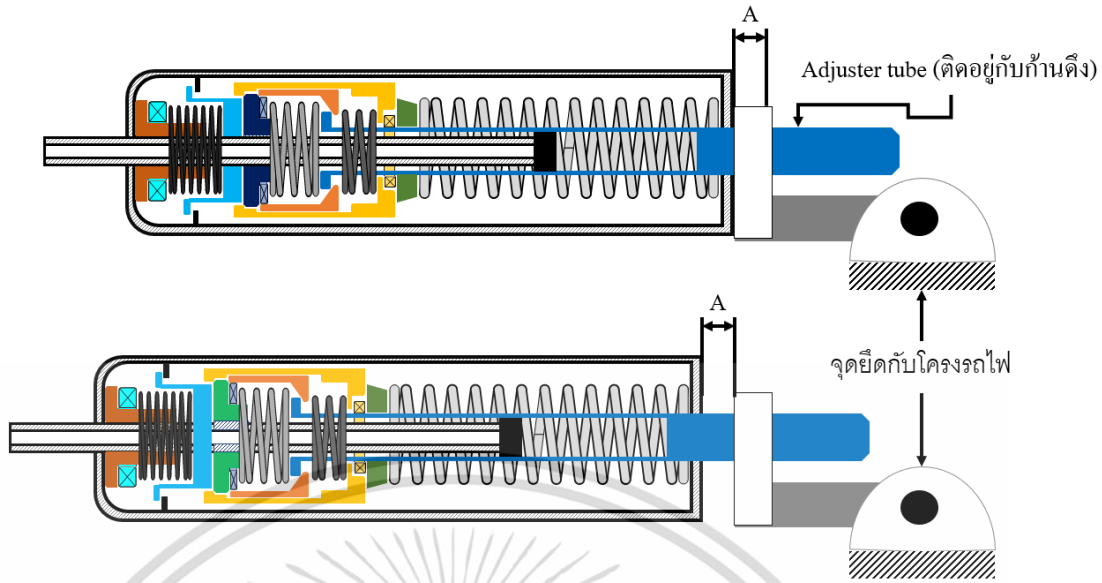
เมื่อเริ่มคลายเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.24 โดยต่อมาเกิดการหมุนกลับทิศของ Leader nut Barrel และ สปริง C ดันกลับ เพราะโครงเบรกเคลื่อนที่กลับ และ ความเค้นลดลง

ขณะเดียวกัน Adjuster tube และ Traction sleeve เคลื่อนไปทางซ้ายทำให้ สปริง B ดันแบริ่งกลม B แล้ว แบริ่งกลม B ไปดัน Adjuster nut ไปทางซ้าย โดย Adjuster nut จะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจนชนกับ Spring sleeve

ต่อมา Traction sleeve จะติดกับ Adjuster nut และ ล็อค Adjuster nut แทน Adjuster spindle

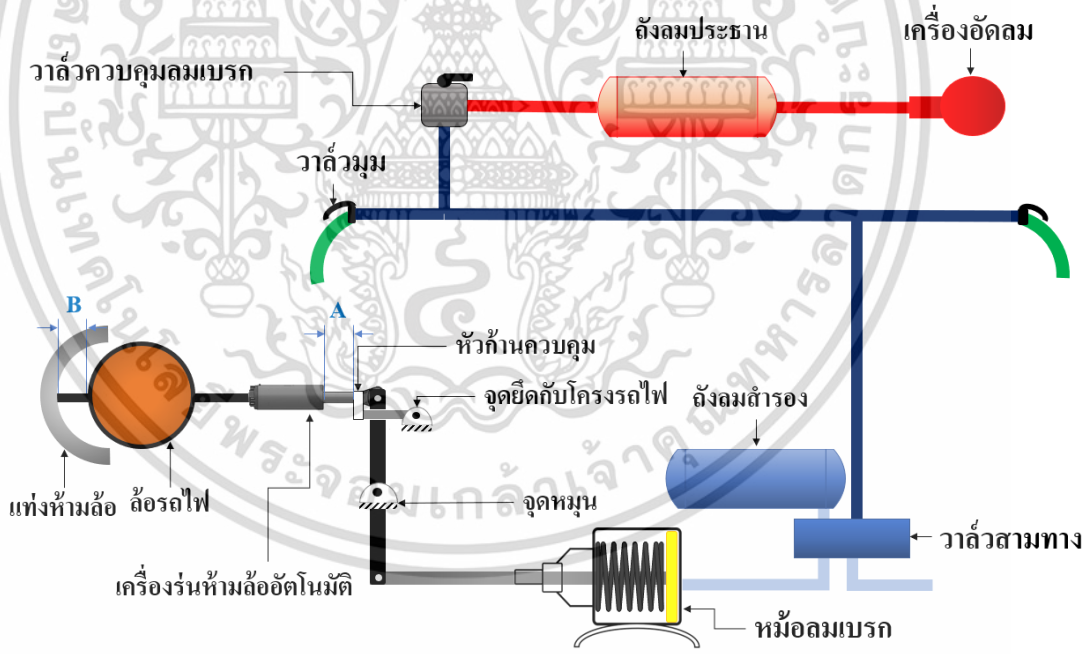
หลังจากนั้นชิ้นส่วนทั้งหมดจะเคลื่อนไปทางซ้าย กระบอกจะขยับออกจากหัวของก้านควบคุมจนคลายเบรกสุด และชดเชยระยะ A ดังรูปที่ 2.24 ชดเชย เมื่อทำการคลายเบรกสุดโดยปล่อยลมออกจากหม้อลมทั้งหมด ความเค้นของการเบรกก็จะหายไปทั้งหมดและระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมกับกระบอกจะห่างกันเป็นระยะ A อีกทั้งระยะระหว่างล้อรถไฟกับผ้าเบรก จะห่างกันเป็นระยะ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 . 24 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 2 ระยะทำการคลายเบรก

เมื่อคลายเบรกระยะระหว่างล้อรถไฟกับผ้าเบรกรถไฟห่างกันเป็นระยะ B และระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกห่างกันเป็นระยะ A ดังรูปที่ 2.25



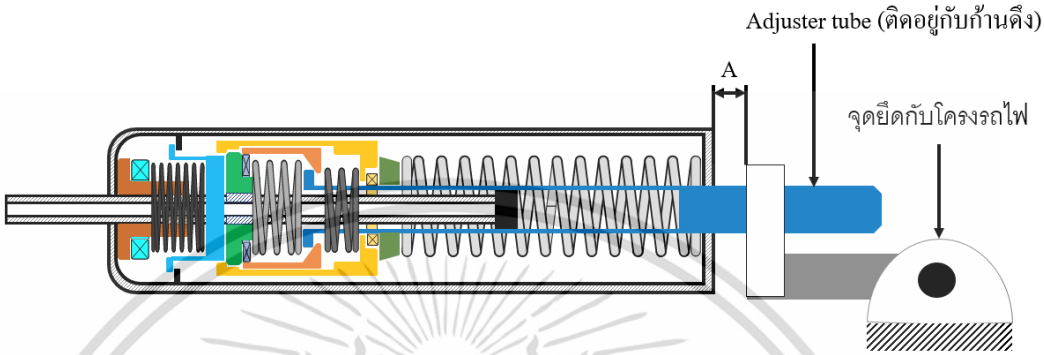
รูปที่ 2 . 25 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 2 ระยะทำการคลายเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพการที่ 3 ระยะระหว่างล้อรถไฟกับเบรกบล็อกรถไฟห่างกันน้อยกว่าระยะที่กำหนดซึ่งประกอบด้วย 7 ระยะดังนี้

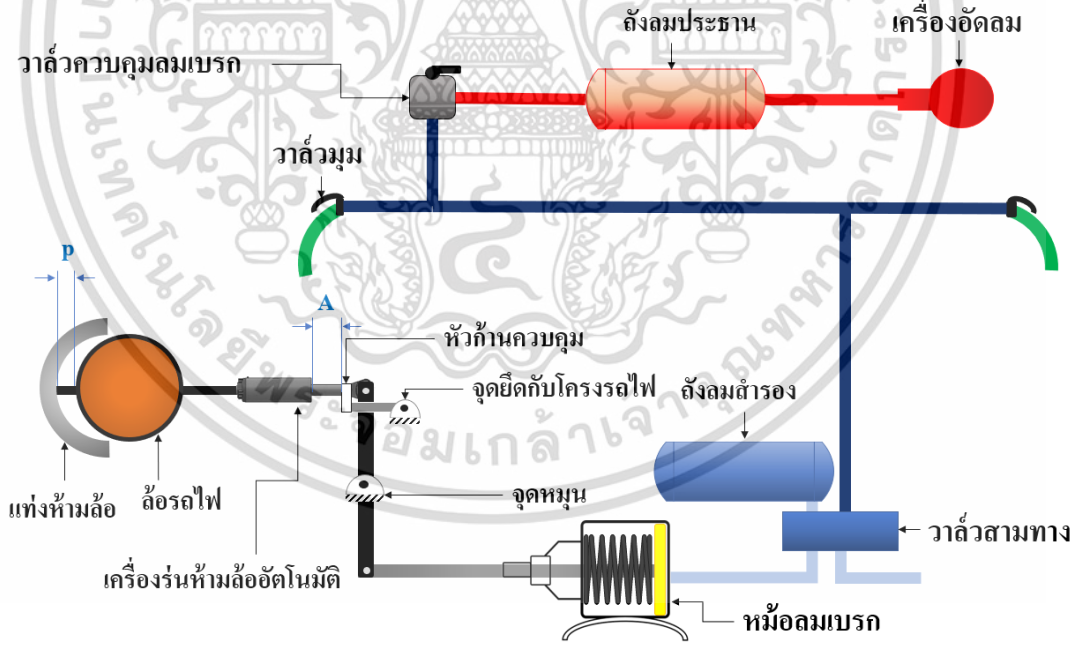
1.ระยะก่อนทำการเบรก

ก่อนทำการเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.26 โดยระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมกับกระบอกอยู่ที่ระยะ A ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2 . 26 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะก่อนทำการเบรก

ก่อนทำการเบรกระยะระหว่างล้อรถไฟกับผ้าเบรกรถไฟห่างกันเป็นระยะ p และระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกห่างกันเป็นระยะ A ดังรูปที่ 2.27



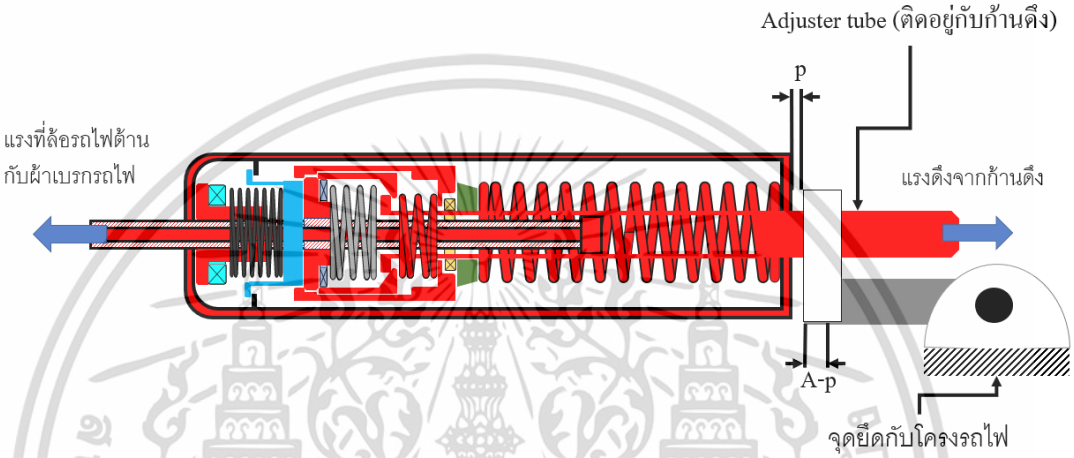
รูปที่ 2 . 27 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะก่อนทำการเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ระยะเริ่มทำการเบรก

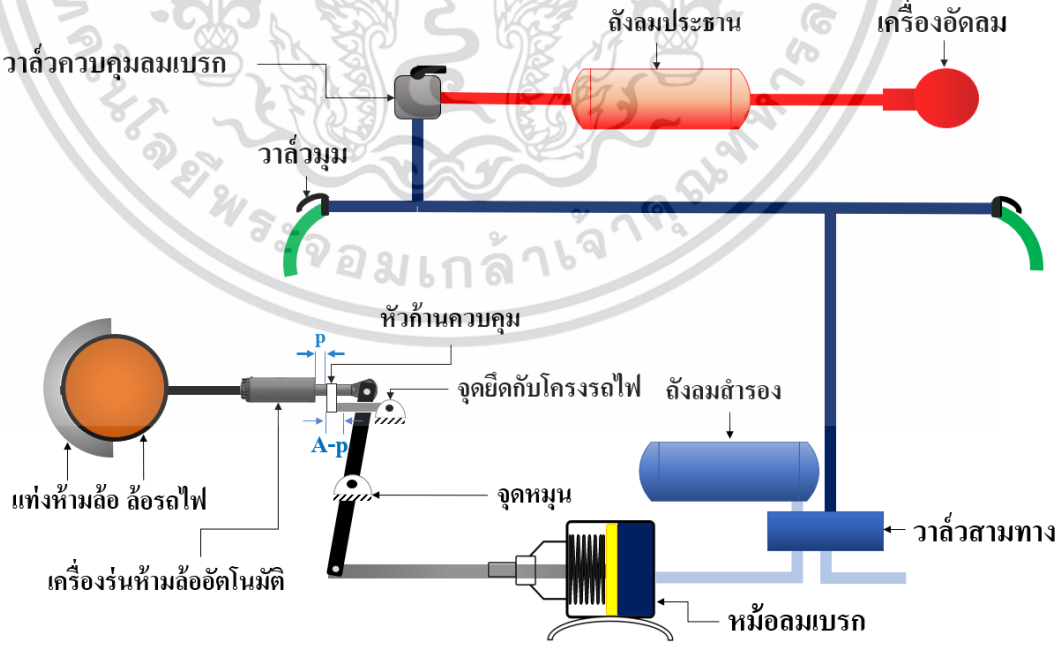
เมื่อเริ่มทำการเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.28 โดยชิ้นส่วนทั้งหมดจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันทางขวา จนกระทั่งแท่งห้ามล้อแตะกับล้อจะทำให้ adjuster spindle ถูกหยุด ซึ่งท้ายของกระบอกจะยังไม่ชนกับ Control rod head และห่างกันเป็นระยะ m ซึ่งจะสอดคล้องกับระยะคลาดเคลื่อนของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ

ขณะเดียวกัน Traction sleeve ถูกดึงต้านกับ Adjuster nut โดย Traction sleeve จะล็อค Adjuster nut แทนที่ Adjuster spindle



รูปที่ 2 . 28 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรก

ระยะเริ่มทำการเบรกล้อรถไฟแตะกับผ้าเบรกรถไฟดังรูป 2.29



รูปที่ 2 . 29 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรก

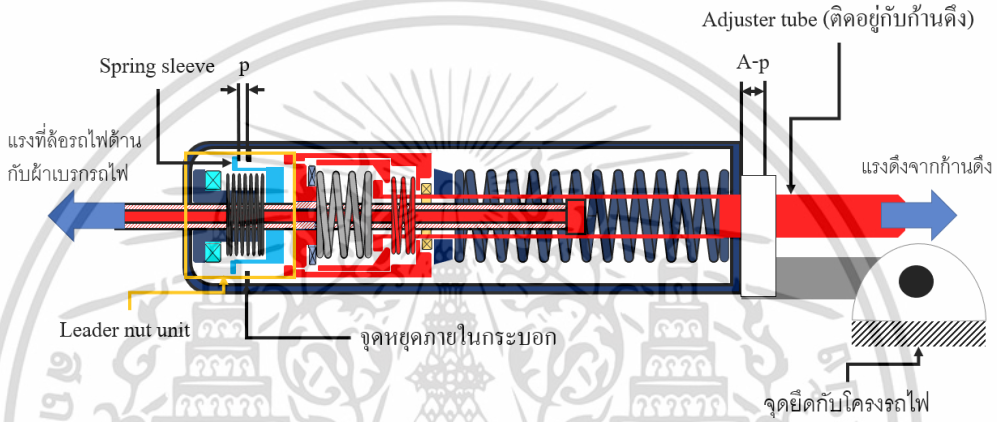
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ระยะทำการเบรกสุด

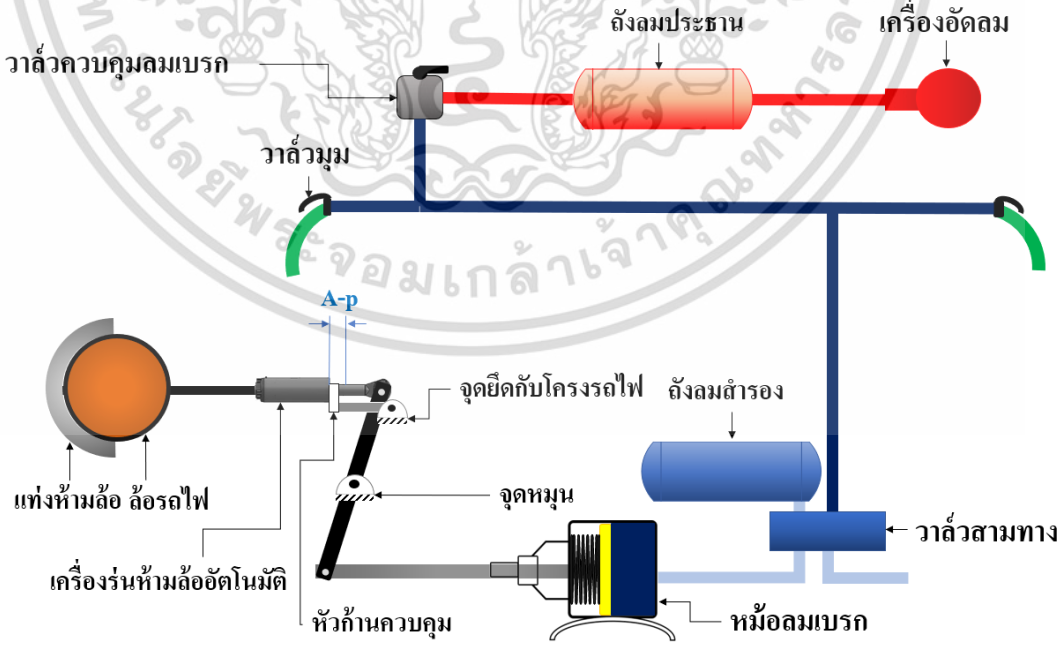
เมื่อทำการเบรกสุด กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.30 โดยความเค้นของเบรกสะสมถูกส่งผ่านโดยชิ้นส่วนสีแดง Spring B จะถูกกดโดยชิ้นส่วนสีแดง เป็นผลให้ Clutch ring ถูกแยกออกและทำให้สปริง C ดันกระบอกไปทางขวาจนชิดกับหัวของก้านควบคุม

ขณะเดียวกัน Leader nut และ Spring C จะหมุนบน Ball bearing C ดังสีในรูปน้ำเงิน

ขณะชักเครื่องร่นระยะอัตโนมัติออก Spring A จะถูกกดอย่างสอดคล้องกันเป็นระยะ p ดังรูปที่ 2.30 สปริง C และ สปริง A จะส่งแรงกดมายังภายในของ Leader nut unit คือชิ้นส่วนในกรอบสีเหลือง



รูปที่ 2 . 30 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุด



รูปที่ 2 . 31 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุด

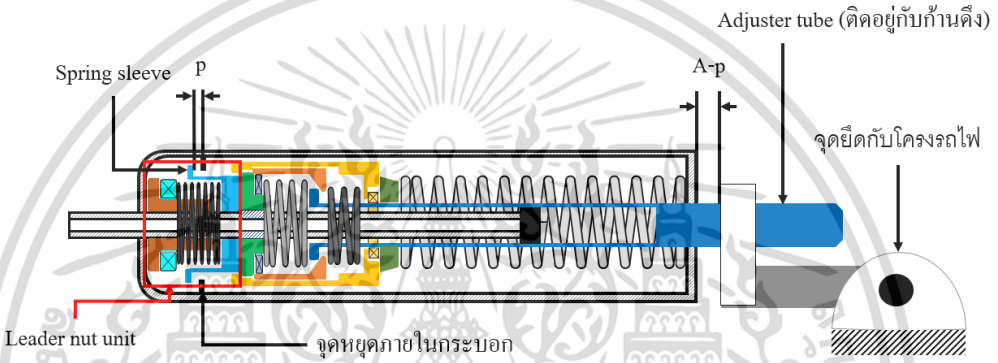
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ระยะทำการคลายเบรก

เมื่อทำการคลายเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.32 โดยหลังจากการหยุดเคลื่อนไหว Leader nut กลับไปมา ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่อีกครั้งเมื่อความเค้นของเบรกหายไป และ สปริงทุกชิ้น ดันล็อค Clutch ring

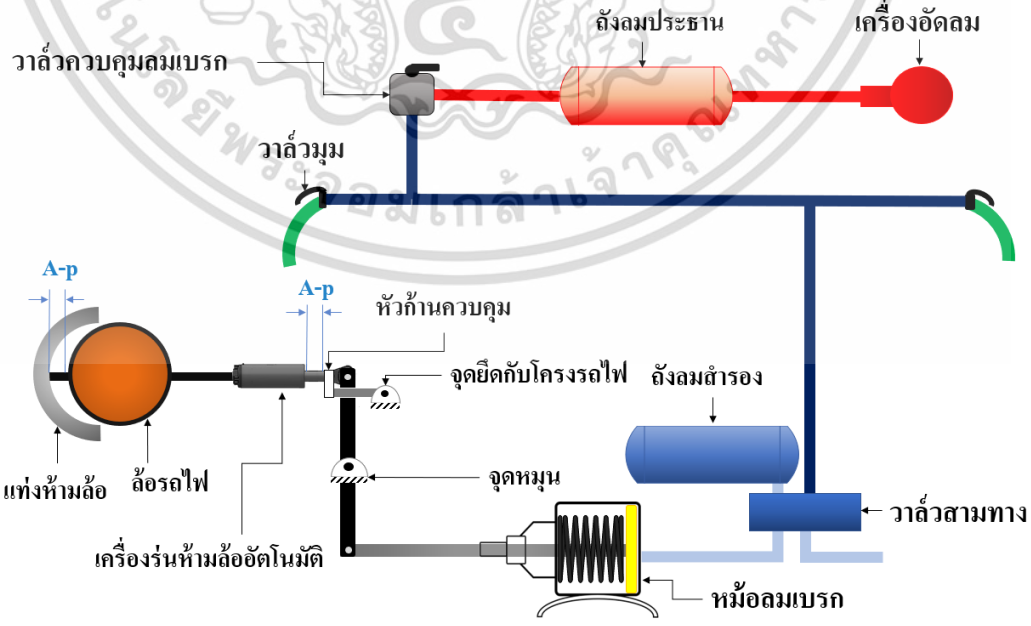
ขณะเดียวกัน Barrel และ Leader nut จะเริ่มหยุดหมุน เมื่อ Adjuster spindle ถูกหยุดไว้ชั่วคราว และ Traction sleeve เคลื่อนมาชิดกับ Adjuster nut

ต่อมาชิ้นส่วนทั้งหมดจะเคลื่อนไปทางซ้ายเป็นระยะที่สอดคล้องกับระยะคลาดเคลื่อนของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ เป็นผลให้กระบอกเคลื่อนที่เข้าออกเพียงระยะ A-p จากหัวของก้านควบคุม โดยระยะ p ขึ้นอยู่กับ leader nut unit



รูปที่ 2 . 32 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะทำการคลายเบรก

เมื่อทำการคลายเบรกระยะระหว่างล้อรถไฟกับผ้าเบรกรถไฟห่างกันเป็นระยะ A-p ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2 . 33 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการคลายเบรก

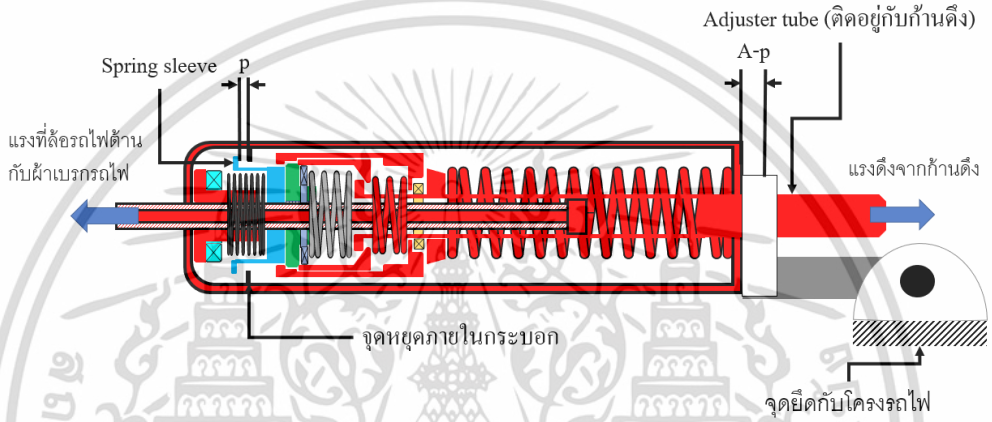
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ระยะเริ่มทำการเบรกครั้งที่สอง

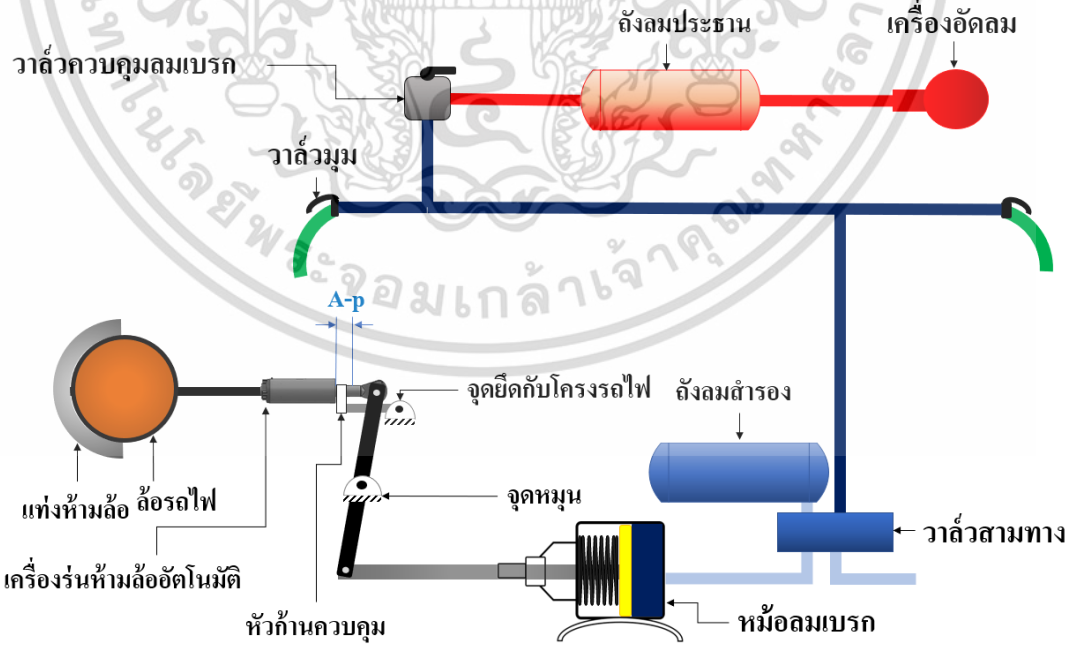
เมื่อเริ่มทำการเบรกครั้งที่สอง กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.34 โดยทุกชิ้นเคลื่อนไปทางขวา จนเมื่อแท่งห้ามล้อแตะกับล้อ ทำให้การเคลื่อนที่ของ Adjuster spindle ถูกหยุด

ในส่วนท้ายของ Barrel เกือบจะชนกับ Control rod head

ขณะเดียวกัน Barrel ถูกดึงกลับโดย Adjuster spindle และ Adjuster spindle ยังคงล็อก Clutch ring



รูปที่ 2 . 34 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรกครั้งที่สอง



รูปที่ 2 . 35 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะเริ่มทำการเบรกครั้งที่สอง

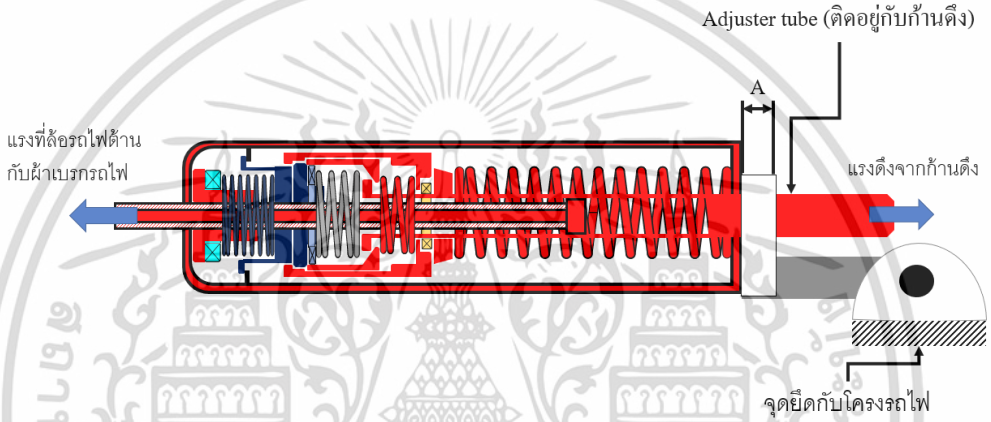
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.ระยะทำการเบรกสุดครั้งที่สอง

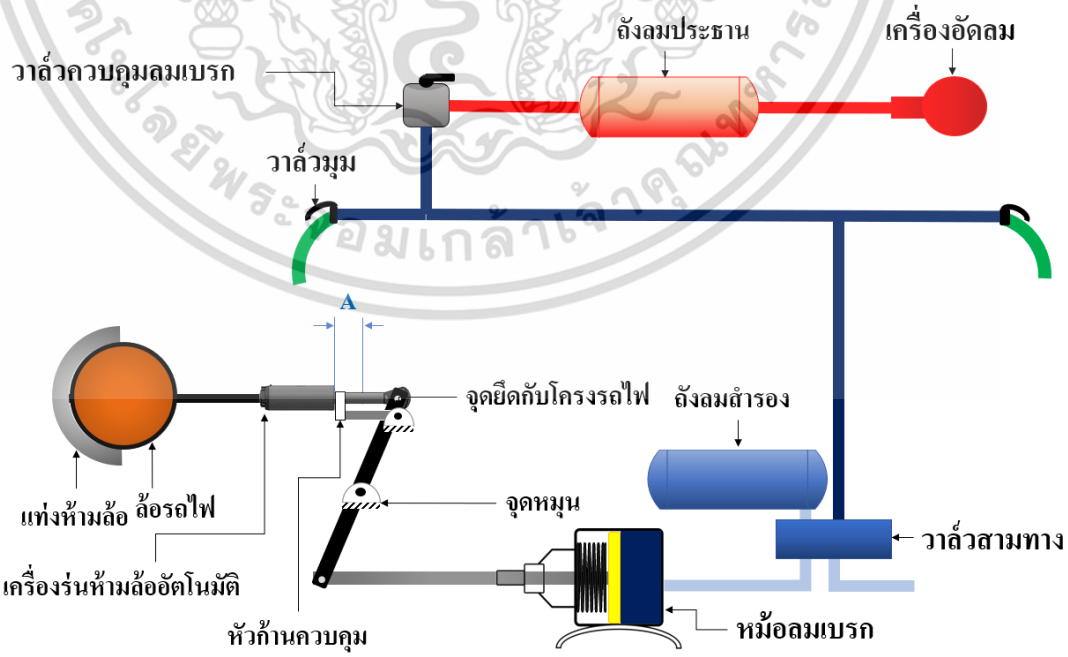
เมื่อทำการเบรกสุดครั้งที่สอง กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.36 โดย Adjuster tube และ Traction sleeve เคลื่อนที่ไปทางขวา ทำให้ Traction sleeve และ Adjuster nut ถูกคลายออกและถูกดันโดย สปริง A ที่ขยายออก ตามด้วย Adjuster spindle โดย Adjuster nut หมุนบนแบริ่งกลม B และ แบริ่งกลม A

ต่อมา Traction sleeve ขยับออกดังในรูปที่ 2.36 เมื่อเคลื่อนผ่านเป็นระยะ p โดย Spring sleeve ถูกหยุดที่ Stop point in Barrel และ Spring sleeve ดันให้ Adjuster nut หยุด

ทางด้านซ้ายมือของ Traction sleeve ติดและล็อกกับ Adjuster nut และการทำงานของเบรกต่อไปอธิบายโดยรูปที่ 2.12 และ รูปที่ 2.14



รูปที่ 2 . 36 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุดครั้งที่สอง

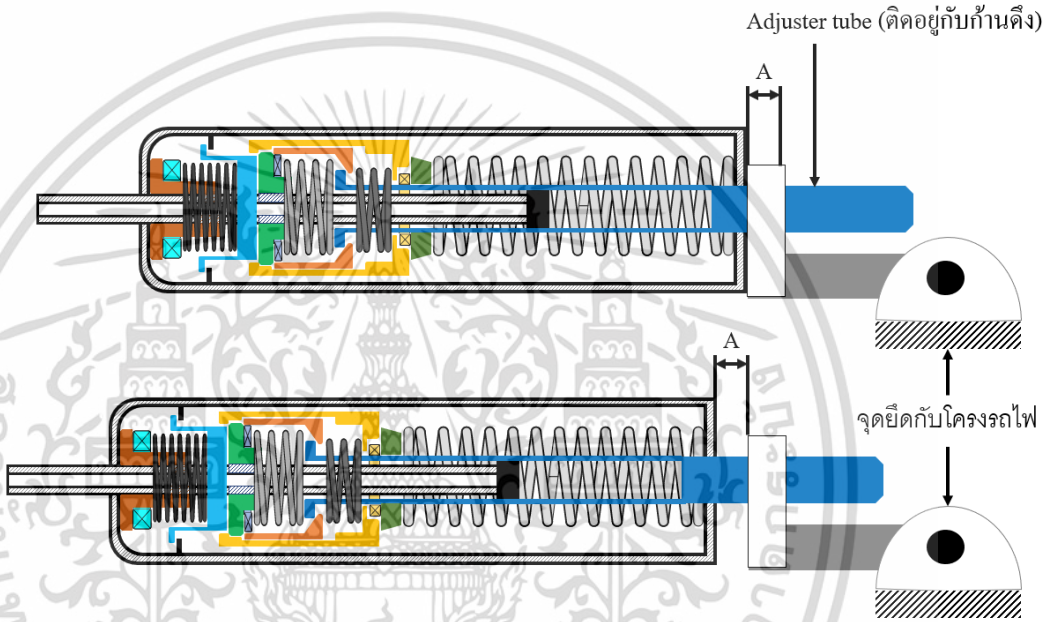


รูปที่ 2 . 37 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการเบรกสุดครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.ระยะทำการคลายเบรก

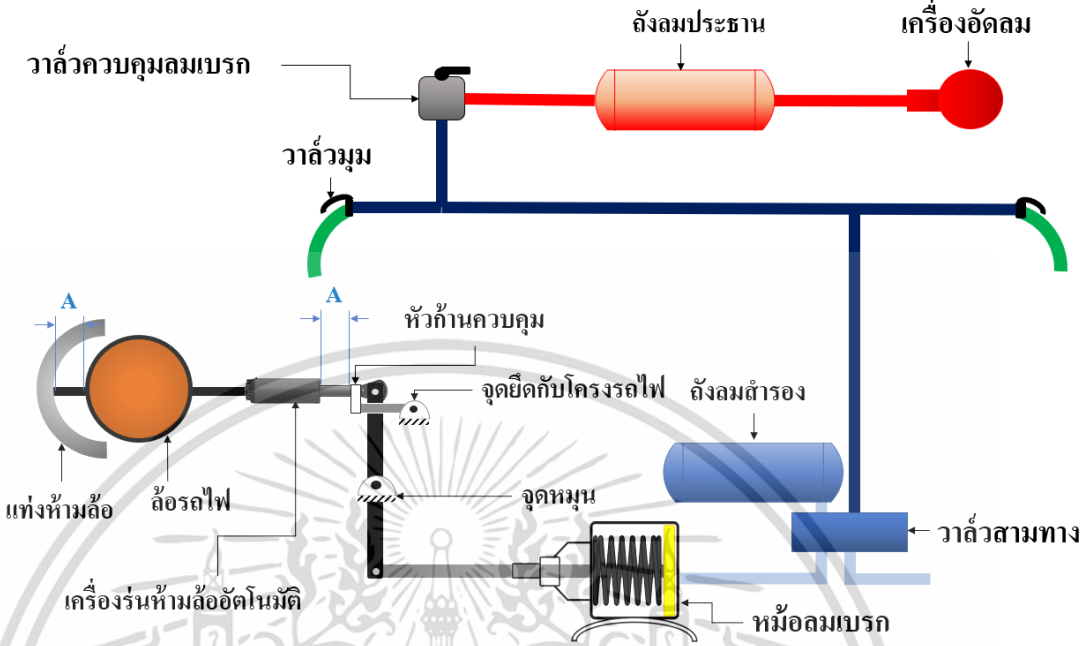
เมื่อทำการคลายเบรก กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องร่นระยะอัตโนมัติอธิบายได้ดังรูปที่ 2.36 โดยระยะความยาวของเครื่องร่นระยะเพิ่มขึ้นอย่างสอดคล้องกับระยะ p ที่คลาดเคลื่อน เป็นตัวชี้ให้เห็นดังรูปที่ 3.38 และการเคลื่อนของกลไลภายในจะชดเชยระยะขณะนั้น ชดเชย เมื่อทำการคลายเบรกสุด โดยปล่อยลมออกจากหม้อลมทั้งหมด ความเค้นของการเบรกก็จะหายไปทั้งหมด และระยะระหว่าง control rod head กับ Barrel จะห่างกันเป็นระยะ A อีกทั้งระยะระหว่างล้อรถไฟกับกับผ้าเบรก จะห่างกันเป็นระยะ B



รูปที่ 2 . 38 แผนผังเครื่องร่นระยะอัตโนมัติสภาพการที่ 3 ระยะระยะทำการคลายเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการคลายเบรกสุดระยะห่างระหว่างล้อรถไฟและผ้าเบรกรถไฟจะห่างกันเป็นระยะ B และระยะระหว่างหัวของก้านควบคุมและท้ายกระบอกห่างกันเป็นระยะ A ดังรูปที่ 2.39



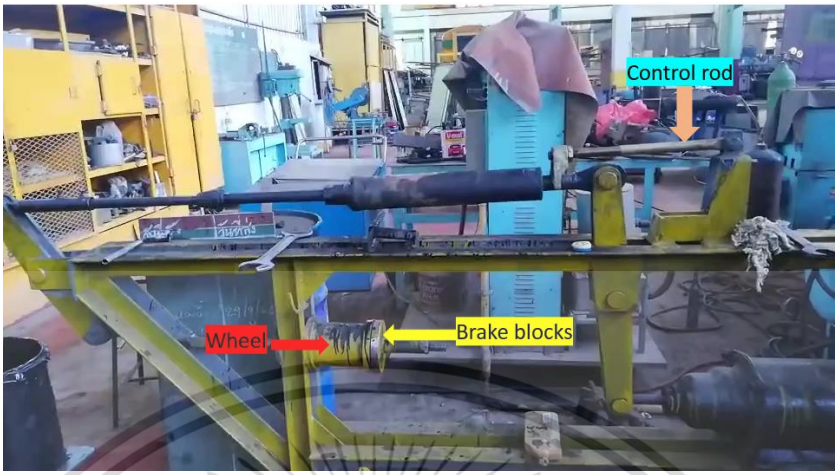
รูปที่ 2 . 39 แผนผังระบบเบรกลมในรถไฟสภาพการที่ 3 ระยะทำการคลายเบรก

ตารางที่ 2 . 2 ตารางแสดงระยะต่างๆของแผนผังเครื่องรั่นระยะอัตโนมัติและแผนผังระบบเบรกลมในรถไฟ [2]

ระยะ	คำอธิบาย	ความยาว (cm)
A	ระยะระหว่างผ้าเบรกกับท้านกระบอกกับหัวก้านควบคุม	4.0
B	ระยะระหว่างแท่งห้ามล้อกับล้อรถไฟ	4.0
M	ระยะระหว่าง Spring sleeve กับ Adjuster nut	2.0-2.5
N	ระยะระหว่าง Spring sleeve กับ Adjuster nut	2.0-2.5
P	ระยะระหว่าง Spring sleeve กับ จุดหยุดภายในกระบอก	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การทำงานของเครื่องทดสอบเดิม



รูปที่ 2 . 40 เครื่องทดสอบเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ

ในการทดสอบเครื่องร่นระยะอัตโนมัติมีการทดสอบทั้งหมดอยู่ 2 กรณีคือ 1.กรณีที่ผ้าเบรกและล้อห่างกันน้อยกว่า 4 cm 2.กรณีผ้าเบรกและล้อห่างกันมากกว่า 4 cm ซึ่งเครื่องทดสอบเดิมจะมีขั้นตอนในการทดสอบหลักๆมี 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบกรณีผ้าเบรกและล้อห่างกันน้อยกว่าปกติ

1. ปรับระยะหัวก้านควบคุมกับกระบอกเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ (ระยะ A) เป็นระยะห่างกัน 4 cm
2. ปรับระยะผ้าเบรกเข้าหาตัวล้อ (ระยะ B) ให้ห่างกันเป็นระยะ 2 cm
3. เปิดการใช้งานเครื่องทดสอบโดยเปิดวาล์วขาลมเข้า ปิดวาล์วขาลมเข้า เมื่อล้อสัมผัสกับกับผ้าเบรกแล้ว ตัวกระบอกเครื่องร่นระยะอัตโนมัติจะทำการหมุนเข้าหาจนชนหัวก้านควบคุม
4. เมื่อตัวกระบอกเครื่องร่นระยะอัตโนมัติชนกับหัวก้านควบคุมแล้ว ให้ปิดการใช้งานโดยเปิดวาล์วขาลมออก และปิดวาล์วขาลมเข้า

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบกรณีผ้าเบรกและล้อห่างกันมากกว่าปกติ

1. ปรับระยะหัวก้านควบคุมกับกระบอกเครื่องร่นระยะอัตโนมัติ (ระยะ A) เป็นระยะห่างกัน 4 cm
2. ปรับระยะผ้าเบรกกับตัวล้อ (ระยะ B) ให้ห่างกันมากกว่า 4 cm เป็นการจำลองกรณีมื่อผ้าเบรกผ่านการใช้งานเป็นเวลานานจนสึก
3. เปิดการใช้งานเครื่องทดสอบโดยเปิดวาล์วขาลมเข้า ปิดวาล์วขาลมเข้า กรณีนี้หัวก้านควบคุมจะชนกับกระบอกเครื่องร่นระยะอัตโนมัติก่อนซึ่งในขณะนั้นผ้าเบรกกับล้อยังไม่สัมผัสกัน แต่แกนกลางของตัวเครื่องร่นระยะอัตโนมัติจะถูกดึงออกจนล้อสัมผัสกับผ้าเบรก
4. เมื่อล้อกับผ้าเบรกสัมผัสกันแล้ว ให้ปิดการใช้งานโดยเปิดวาล์วขาลมออก และปิดวาล์วขาลมเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

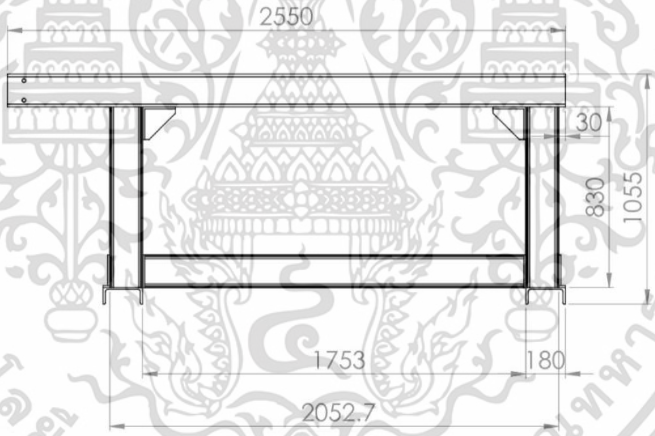
การดำเนินงาน

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนการประกอบเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ โดยจะเริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์โครงสร้างโดยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์

3.2 แบบโครงเครื่องทดสอบ

การสร้างเครื่องทดสอบแบบได้เป็น 2 องค์ประกอบสำคัญคือส่วนโครงเครื่อง และส่วนกลไกที่ใช้ในการดึงตัวชิ้นงาน ในส่วนโครงเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อ้างอิงจากเครื่องทดสอบของโรงซ่อมบำรุงมักกะสัน และวัสดุที่เลือกใช้คือเหล็ก SS400 คุณสมบัติตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3 . 1 แบบโครงเครื่องทดสอบ

ตารางที่ 3 . 1 ตารางแสดงคุณสมบัติเหล็ก SS400 [6]

มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1479-2541 และ มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น JIS G3101-2004											
คุณสมบัติทางกล (Mechanical Property)							ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition)				
Grade	Y.S. (Mpa)			T.S. (Mpa)	%EL		%C	%Mn	%Si	%P	%S
	THK ≤ 16 mm	16 mm < THK ≤ 40 mm	THK > 40 mm		THK (mm)	%EL (min)				max	max
SS400	245 min.	235 min.	215 min.	400 - 510	≤ 5 5 < THK ≤ 16 16 < THK ≤ 50 > 50	21 17 21 23	-	-	-	0.050	0.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนเครื่องที่สร้างขึ้นใหม่ได้มีการออกแบบใส่สปริงเพิ่งตรงระหว่างล้อกับผ้าเบรกจำลอง วัสดุที่ใช้ทำสปริงคือ music wire A228 คุณสมบัติดังแสดงในรูปที่ 3.2

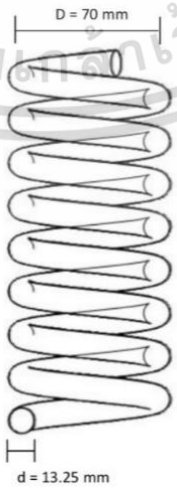
ตารางที่ 3 . 2 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุทำสปริง [4]

Mechanical Properties of Some Spring Wires

Material	Elastic Limit, Percent of S_u, Tension	Torsion	Diameter d, in	E Mpsi	E GPa	G Mpsi	G GPa
Music wire A228	65–75	45–60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033–0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064–0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
HD spring A227	60–70	45–55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033–0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064–0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Oil tempered A239	85–90	45–50		28.5	196.5	11.2	77.2
Valve spring A230	85–90	50–60		29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-vanadium A231	88–93	65–75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88–93			29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-silicon A401	85–93	65–75		29.5	203.4	11.2	77.2
Stainless steel							
A313*	65–75	45–55		28	193	10	69.0
17-7PH	75–80	55–60		29.5	208.4	11	75.8
414	65–70	42–55		29	200	11.2	77.2
420	65–75	45–55		29	200	11.2	77.2
431	72–76	50–55		30	206	11.5	79.3
Phosphor-bronze B159	75–80	45–50		15	103.4	6	41.4
Beryllium-copper B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50–55		19	131	7.3	50.3
Inconel alloy X-750	65–70	40–45		31	213.7	11.2	77.2

*Also includes 302, 304, and 316.

Note: See Table 10–6 for allowable torsional stress design values.



รูปที่ 3 . 2 ขนาดสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าคงที่สปริง

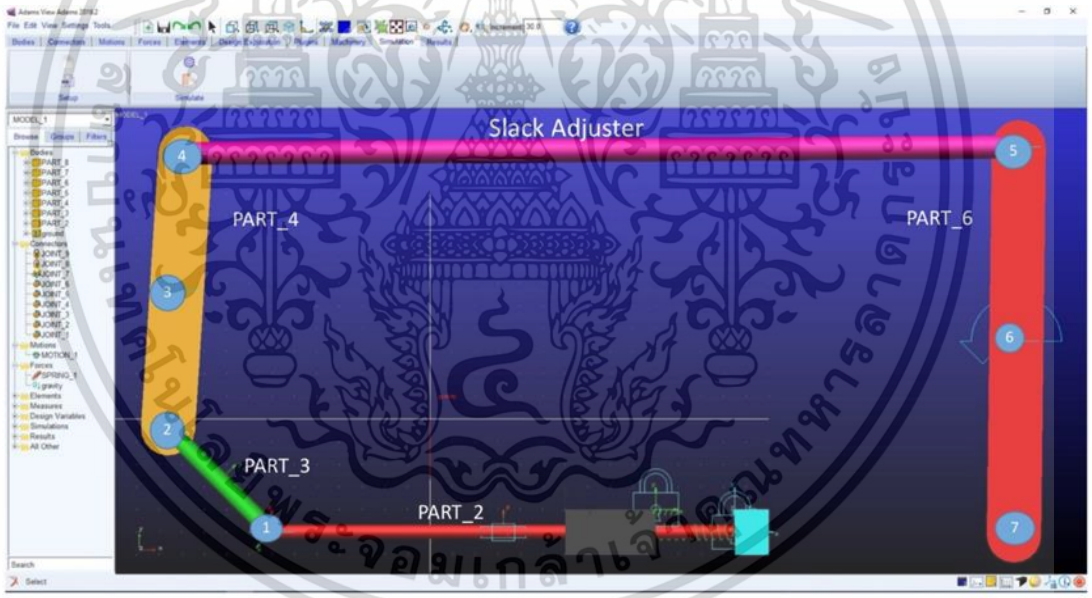
จากสมการ

$$K = \frac{d^4 G}{8D^3 N} = \frac{(0.01325)^4 (80 \times 10^9)}{8(0.07)^3 (5)} = 179,721.23 \, N/m \qquad (3.1)$$

ค่าคงที่สปริงที่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมีค่าไม่เกินค่าคงที่สปริงในอุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติซึ่งมีค่า 250,000 N/m [2] ถ้าเกินจะทำให้เกิดปัญหาในการทดสอบได้

3.3 การออกแบบกลไก

การออกแบบกลไกเพื่อดึงชิ้นงานนั้นเป็นส่วนสำคัญเพราะเป็นส่วนที่ต้องรับแรงโดยตรง และยังเป็นจุดตัดสินว่าเครื่องทดสอบจะสามารถใช้งานได้หรือไม่ได้ โดยจะใช้โปรแกรม MSC Adams มาช่วยในการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อต่อ จากนั้นจะนำวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์กลไกในการดึงแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3 . 3 กลไกการดึงของเครื่อง และตำแหน่งข้อต่อของชิ้นงาน

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

1. ใช้คำสั่ง Bodies เพื่อสร้างกลไกขึ้นมา

2. กำหนดคุณสมบัติวัสดุโดยคลิ้กขวาของแต่ละ part เลือกคำสั่ง apply จากนั้นก็ใส่คุณสมบัติของเหล็กตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

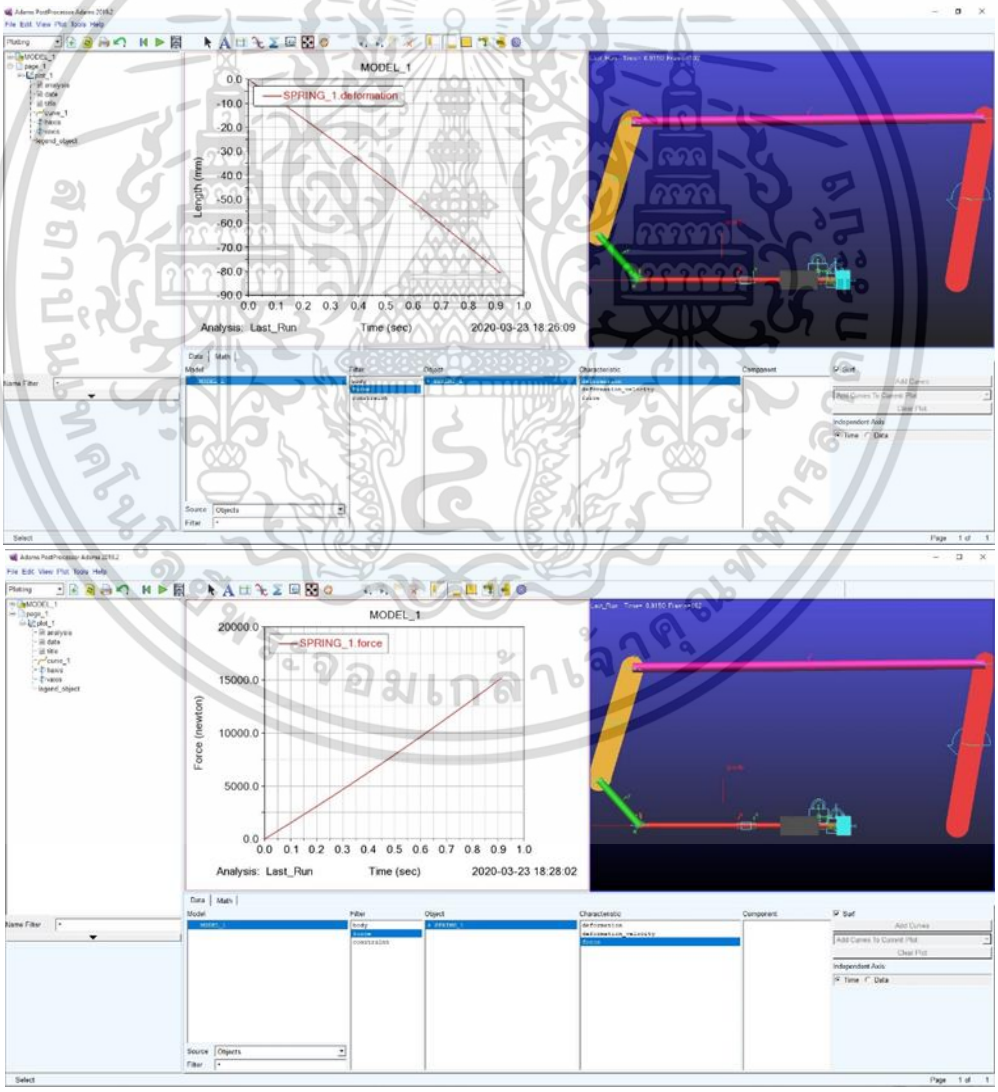
3. กำหนดข้อต่อระหว่างชิ้นงานโดยเลือกคำสั่ง connector

4. เลือกคำสั่ง forcers แล้วเลือก spring โดยใส่เข้าไประหว่างกล่องสีดำกับสีฟ้าซึ่งเป็นจุดแทนล้อกับกับผ้าเบรก และกำหนดค่าคงที่สปริง 179,721.23 N/m

5. เลือกคำสั่ง motion แล้วเลือกข้อต่อที่ 6 ให้เป็นจุดขับเคลื่อนกลไก

6. เลือกคำสั่ง simulation ซึ่งผลจากการวิเคราะห์จะแสดงในส่วนถัดไป

ขณะทำการทดสอบโดยปกติเครื่องทดสอบจะดึงชิ้นงานอยู่ในระยะช่วง 4 – 6 cm แต่ในการจำลองจะกำหนดให้ดึงในระยะที่มากกว่าปกติเป็นส่วนเพื่อความปลอยภัยในการใช้งานจริงซึ่งจะกำหนดให้ดึงชิ้นงานเป็นระยะ 8 cm หรือกำหนดให้สปริงมีการหดตัวเป็นระยะ 8 cm ผลการคำนวณจากโปรแกรม MSC Adams แสดงดังรูปที่ 3.4

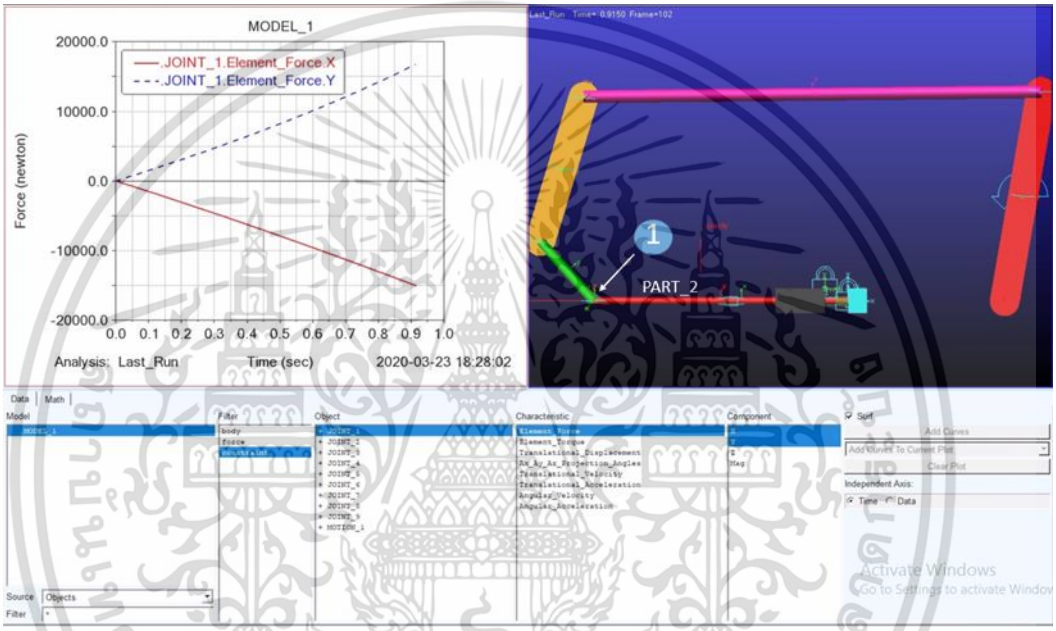


รูปที่ 3 . 4 ระยะหดตัวสปริง และแรงสปริงจากคำนวณโดยโปรแกรม MSC Adams

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นของแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก

จากผลการคำนวณแรงที่เกิดในแต่ละข้อต่อโดยโปรแกรม MSC Adams ชิ้นงานในแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก (PART_2) แรงที่กระทำต่อข้อที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.5 มีแรงกระทำในแนวแกน X = -15,000 N และในแนวแกน Y = 16,000 N เนื่องจากกำหนดให้แนวระนาบคือแกน X และให้ทิศด้านขวามือเป็นบวก และแนวดิ่งคือแกน Y ทิศทางขึ้นบนเป็นค่าบวก เพราะฉะนั้นค่าที่เป็นลบหมายความว่ามีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่กำหนด เมื่อค่าที่ได้นำไปกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาความเค้นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3 . 5 แรงกระทำข้อต่อที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเค้นโดยโปรแกรม MSC Adams

การคำนวณความแข็งแรง หรือหาความเค้นของชิ้นงานจะใช้คำสั่ง simulation จากนั้นกำหนดวัสดุที่ใช้ให้ตรงกัน หรือคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็ก SS400 วัสดุที่เลือกใช้ในโปรแกรมคือ Cast Alloy Steel ขั้นตอนการทำแสดงดังต่อไปนี้

1. การเลือกจุดยึดชิ้นงาน ชิ้นงานส่วนนี้เป็นตัวดึงล้อจำลองแตะกับผ้าเบรกเพราะฉะนั้นจุดปลายสุดจะเป็นจุดยึด

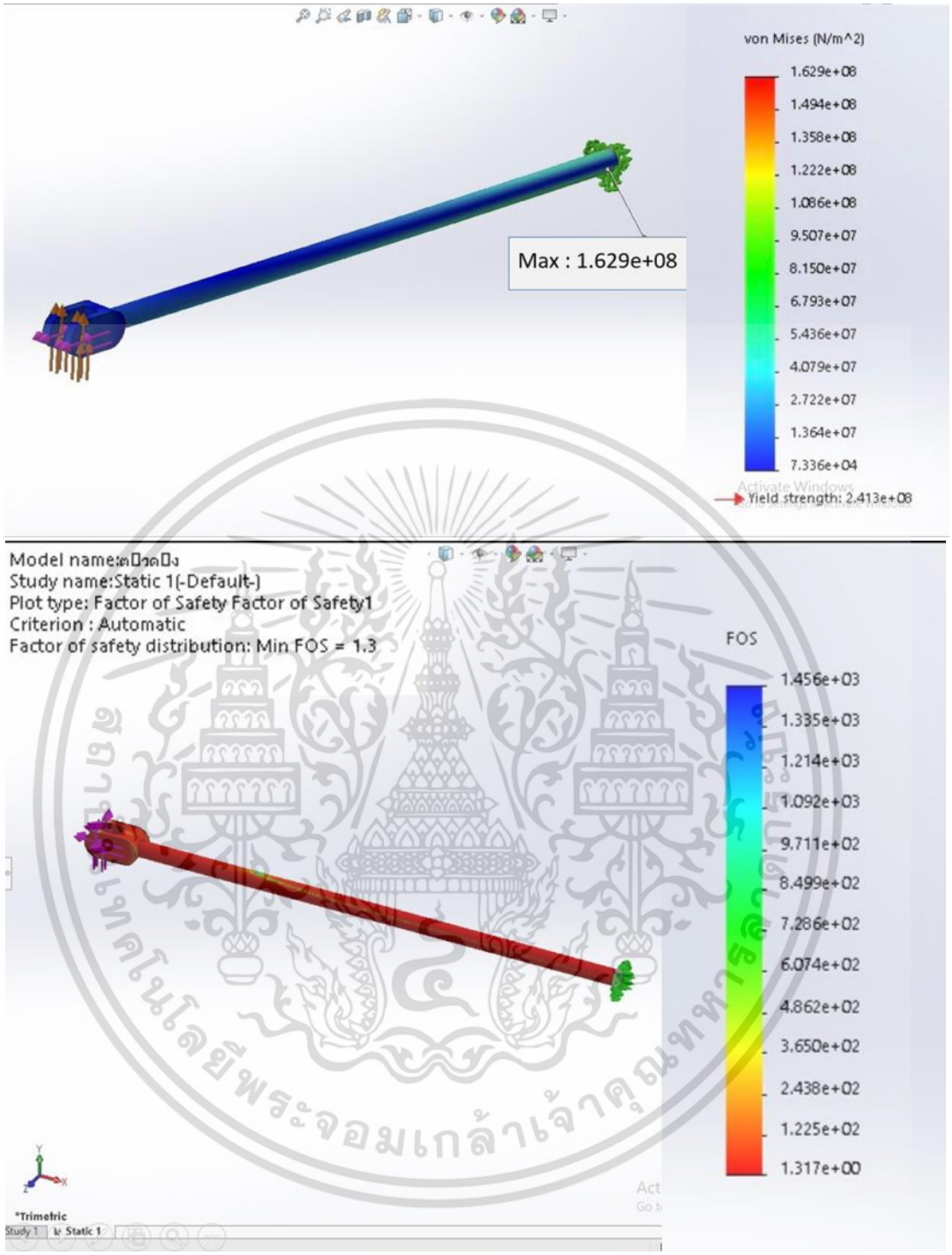
2. กำหนดแรงที่ข้อต่อที่ 1 ตามค่าที่ได้จากโปรแกรม MSC Adams ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3. เลือกคำสั่ง Create Mesh -> Mesh Parameters -> Curvature base mesh

4. เลือกคำสั่ง Mesh and Run

ผลการคำนวณรูปที่ 3.6 ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 162.9 MPa สัดส่วนความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

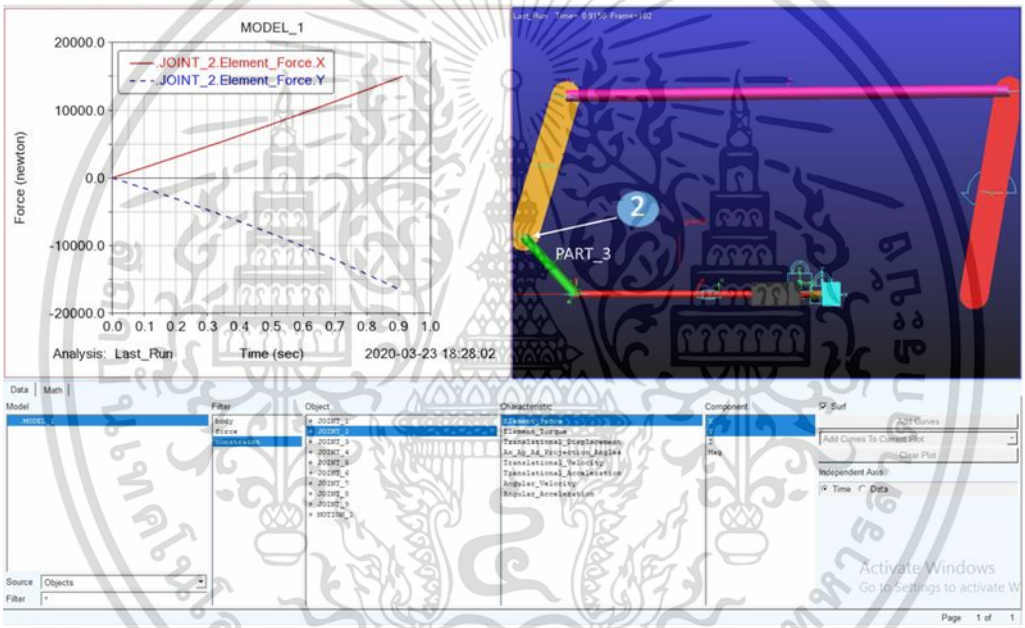


รูปที่ 3 . 6 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนของตัวช่วยดึง

จากผลการคำนวณแรงที่เกิดในแต่ละข้อต่อโดยโปรแกรม MSC Adams ชิ้นส่วนของตัวช่วยดึง (PART_3) ประกอบด้วย 2 ข้อต่อ คือข้อต่อที่ 1 และข้อต่อที่ 2 แรงข้อต่อที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.5 มีแรงกระทำในแนวแกน X = -15,000 N และในแนวแกน Y = 16,000 N แรงข้อต่อที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.7 มีแรงกระทำในแนวแกน X = 15,000 N และในแนวแกน Y = -16,000 N ค่าแรงที่เป็นลบเกิดจากกำหนดให้แนวระนาบคือแกน X และให้ทิศด้านขวามือเป็นบวก และแนวดิ่งคือแกน Y ทิศทางขึ้นบนเป็นค่าบวก เพราะฉะนั้นค่าที่เป็นลบหมายความว่ามีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่กำหนด เมื่อค่าที่ได้นำไปกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาความเค้นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3 . 7 แรงข้อต่อที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเค้นโดยโปรแกรม

การคำนวณความแข็งแรง หรือหาความเค้นของชิ้นงานจะใช้คำสั่ง simulation จากนั้นกำหนดวัสดุที่ใช้ให้ตรงกัน หรือคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็ก SS400 วัสดุที่เลือกใช้ในโปรแกรมคือ Cast Alloy Steel ขั้นตอนการทำแสดงดังต่อไปนี้

1. การเลือกจุดยึดชิ้นงาน ชิ้นงานส่วนนี้เป็นตัวช่วยดึงไม่มีจุดยึดเป็นชิ้นที่รับแรง 2 force members เพราะฉะนั้นจะเลือกจุดยึดชิ้นงานที่ข้อต่อที่ 1

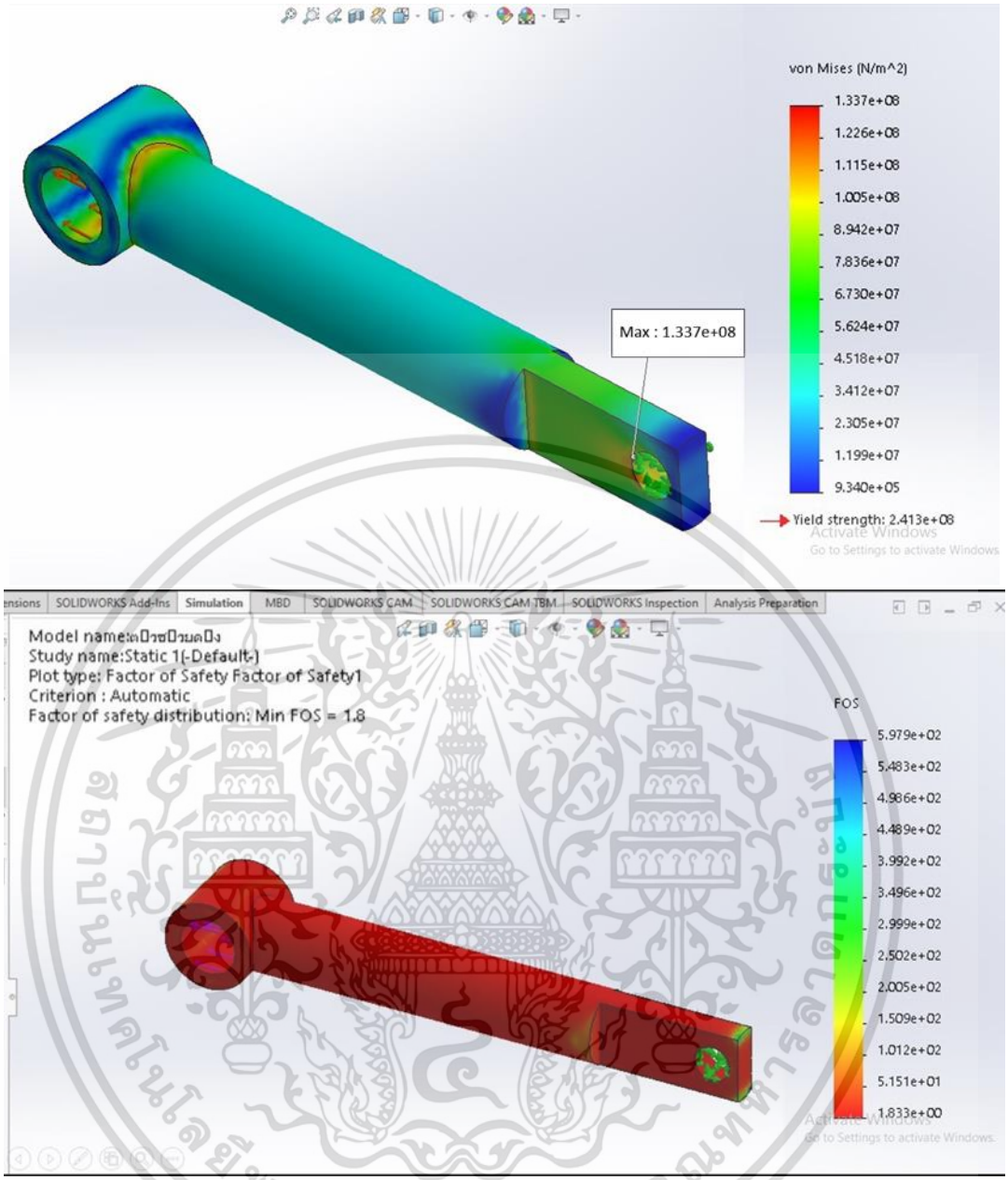
2. ใส่แรงที่ข้อต่อที่ 2 โดยขนาดแรงที่ใส่จะเป็น 2 เท่าของขนาดแรงรวมทิศทางขนานกับชิ้นงาน

3. เลือกคำสั่ง Create Mesh -> Mesh Parameters -> Curvature base mesh

4. เลือกคำสั่ง Mesh and Run

ผลการคำนวณรูปที่ 3.8 ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 133.7 MPa สัดส่วนความปลอดภัย มีค่าเท่ากับ 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



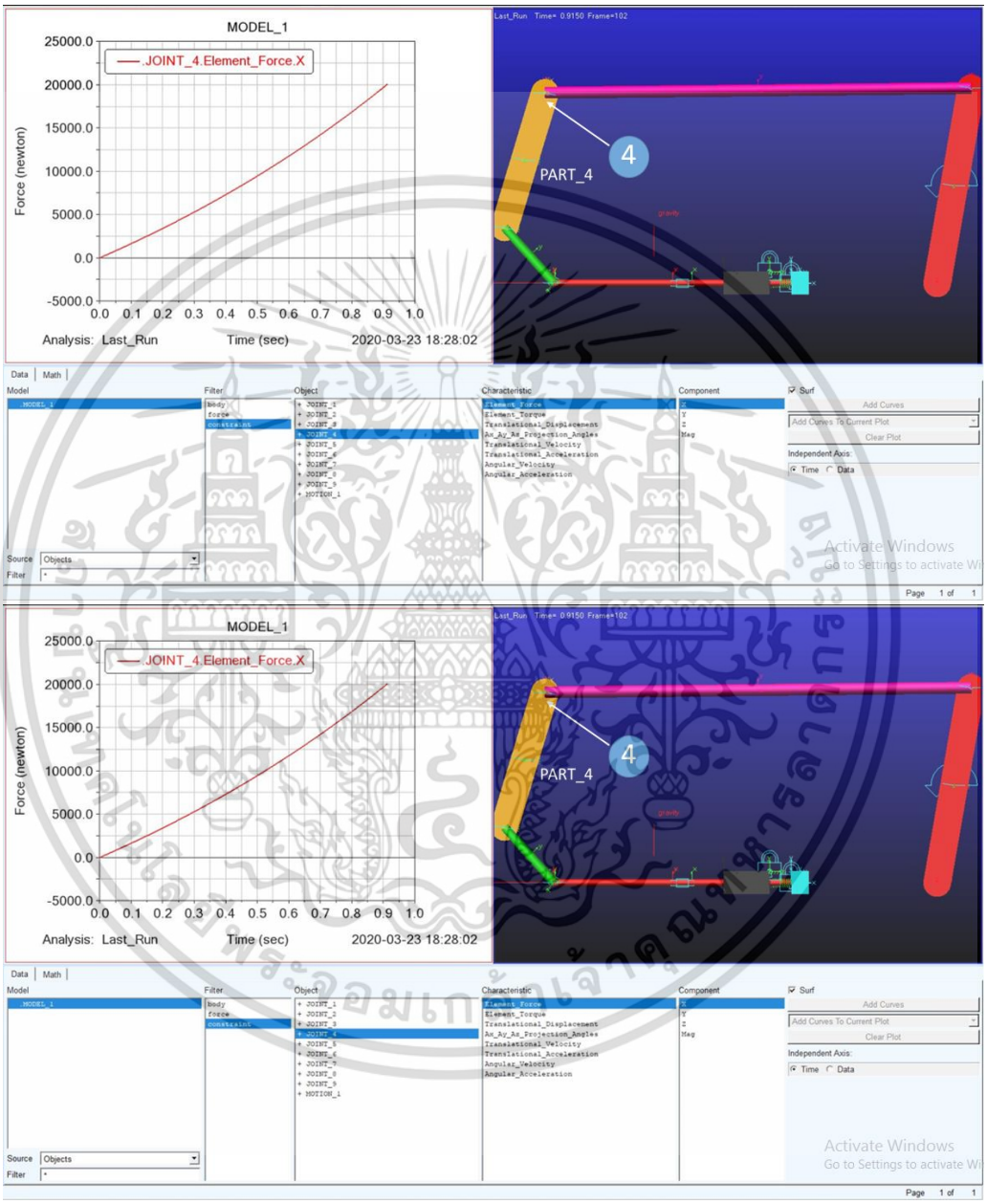
รูปที่ 3. 8 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของตัวช่วยดึง

3.3.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของก้านดึงหมายเลข 3

จากผลการคำนวณแรงที่เกิดในแต่ละข้อต่อโดยโปรแกรม MSC Adams แรงที่เกิดขึ้นในข้อต่อก้านดึง (PART_4) ประกอบด้วยแรงที่เกิดขึ้นในข้อต่อที่ 2 และข้อต่อที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.9 ตามลำดับ โดยแรงที่มากสุดในข้อต่อที่ 2 มีค่าในแกน X = 15,000 N แกน Y = -16,000 แรงที่เกิดขึ้นสูงสุดในข้อต่อที่ 4 มีค่าในแกน X = 20,000 N แกน Y = 70 N แรงที่ได้ค่าเป็นลบ เนื่องจากกำหนดให้แนวระนาบคือแกน X และให้ทิศด้านขวามือเป็นบวก และแนวดิ่งคือแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางขึ้นบนเป็นค่าบวก เพราะฉะนั้นค่าที่เป็นลบหมายความว่ามีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่กำหนด เมื่อค่าที่ได้นำไปกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาความเค้นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3 . 9 แรงที่กระทำข้อที่ 4 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

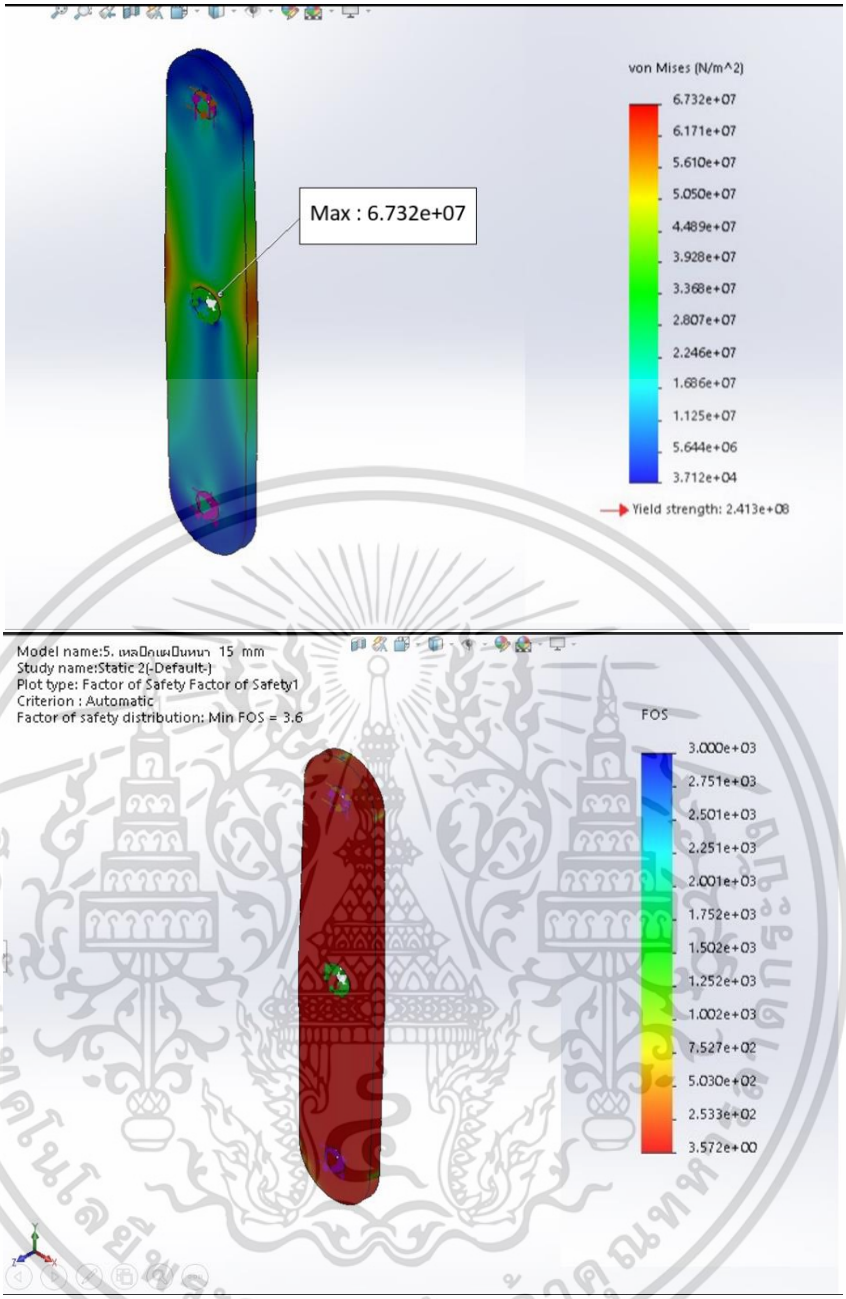
การหาความเค้นโดยโปรแกรม

การคำนวณความแข็งแรง หรือหาความเค้นของชิ้นงานจะใช้คำสั่ง simulation จากนั้นกำหนดวัสดุที่ใช้ให้ตรงกัน หรือคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็ก SS400 วัสดุที่เลือกใช้ในโปรแกรมคือ Cast Alloy Steel ขั้นตอนการทำแสดงดังต่อไปนี้

1. การเลือกจุดยึดชิ้นงาน ชิ้นงานส่วนนี้หมุนรอบข้อต่อที่ 3 เพราะฉะนั้นเลือกข้อที่ 3 เป็นจุดยึด
2. ใส่แรงที่ข้อต่อที่ 2 และข้อต่อที่ 4 ตามค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม MSC Adams แสดงดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.9 ตามลำดับ
3. เลือกคำสั่ง Create Mesh -> Mesh Parameters -> Curvature base mesh
4. เลือกคำสั่ง Mesh and Run

ผลการคำนวณรูปที่ 3.10 ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 67.32 MPa สัดส่วนความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

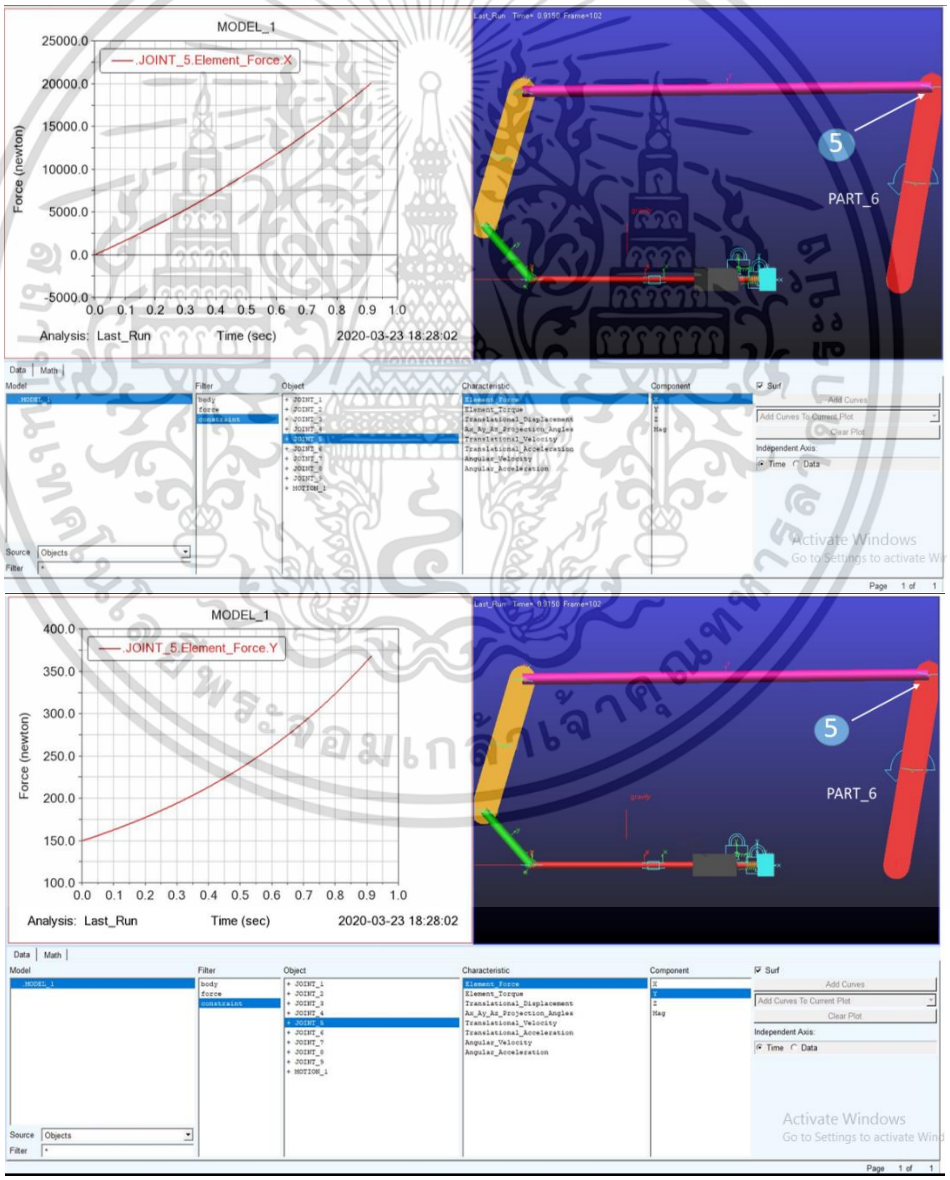


รูปที่ 3 . 10 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของก้านดึงหมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

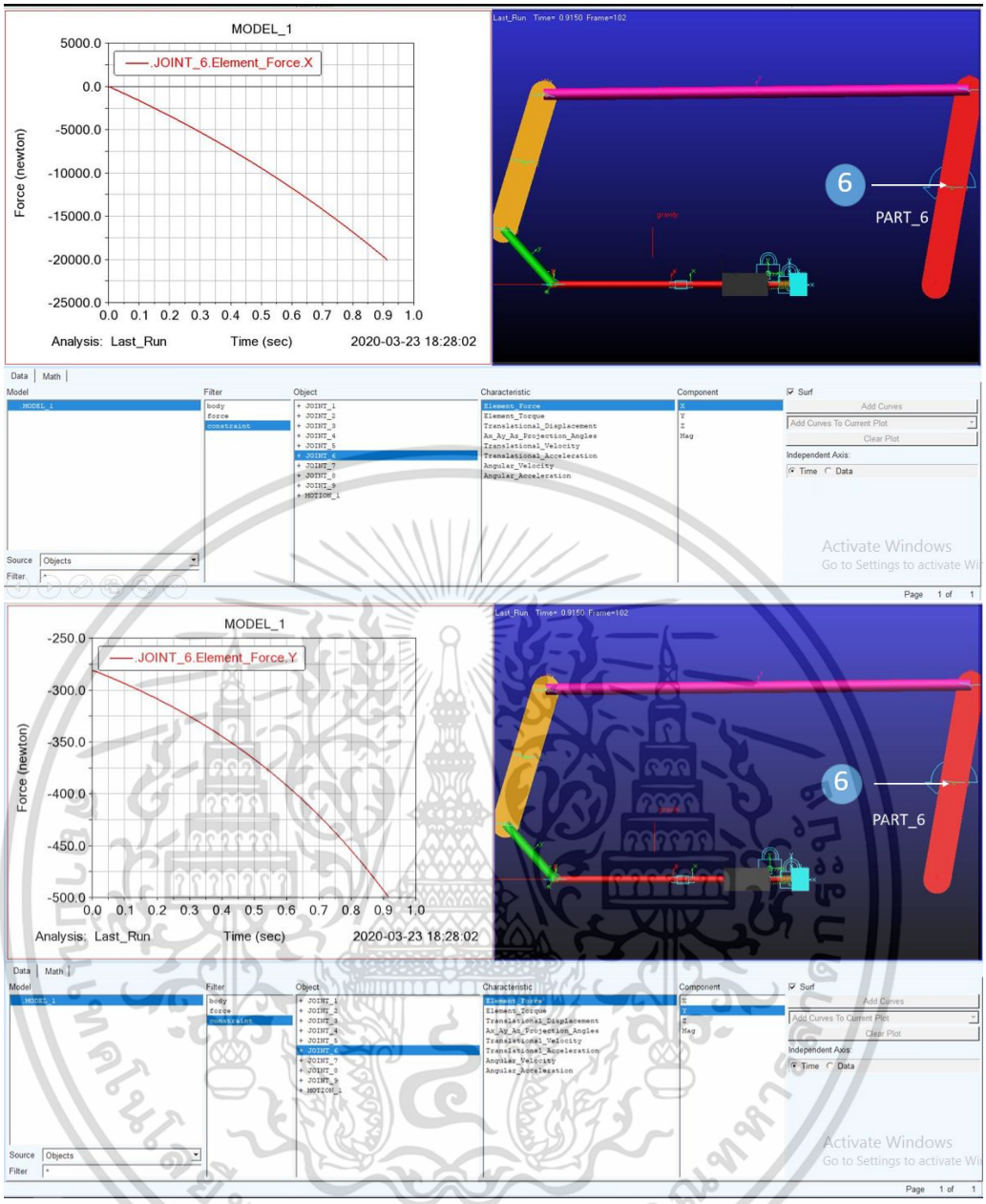
3.3.4 การวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนของก้านดึงหมายเลข 2

จากผลการคำนวณแรงที่เกิดในแต่ละข้อต่อโดยโปรแกรม MSC Adams ชิ้นงานในก้านดึง (PART_6) ประกอบด้วยข้อต่อที่ 6 เป็นจุดหมุน แรงที่เกิดขึ้นในข้อต่อที่ 5 มีแรงกระทำในแนวแกน X = 20,000 N แรงในแนวแกน Y = 375 N แรงที่เกิดขึ้นในข้อต่อที่ 7 มีค่าในแนวแกน X = 20,000 N แรงในแนวแกน Y = -500 N ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ รูปที่ 3.12 ตามลำดับ ค่าแรงที่ได้เป็นลบ เนื่องจากกำหนดให้แนวระนาบคือแกน X และให้ทิศด้านขวามือเป็นบวก และแนวดิ่งคือแกน Y ทิศทางขึ้นบนเป็นค่าบวก เพราะฉะนั้นค่าที่เป็นลบหมายความว่ามีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่กำหนด เมื่อค่าที่ได้นำไปกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาความเค้นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3 . 11 แรงที่กระทำข้อที่ 5 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 . 12 แรงที่กระทำข้อที่ 6 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเค้นโดยโปรแกรม

การคำนวณความแข็งแรง หรือหาความเค้นของชิ้นงานจะใช้คำสั่ง simulation จากนั้นกำหนดวัสดุที่ใช้ให้ตรงกัน หรือคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็ก SS400 วัสดุที่เลือกใช้ในโปรแกรมคือ Cast Alloy Steel ขั้นตอนการทำแสดงดังต่อไปนี้

1. การเลือกจุดยึดชิ้นงาน ชิ้นงานส่วนนี้หมุนรอบข้อต่อที่ 6 เพราะฉะนั้นเลือกข้อที่ 6 เป็นจุดยึด

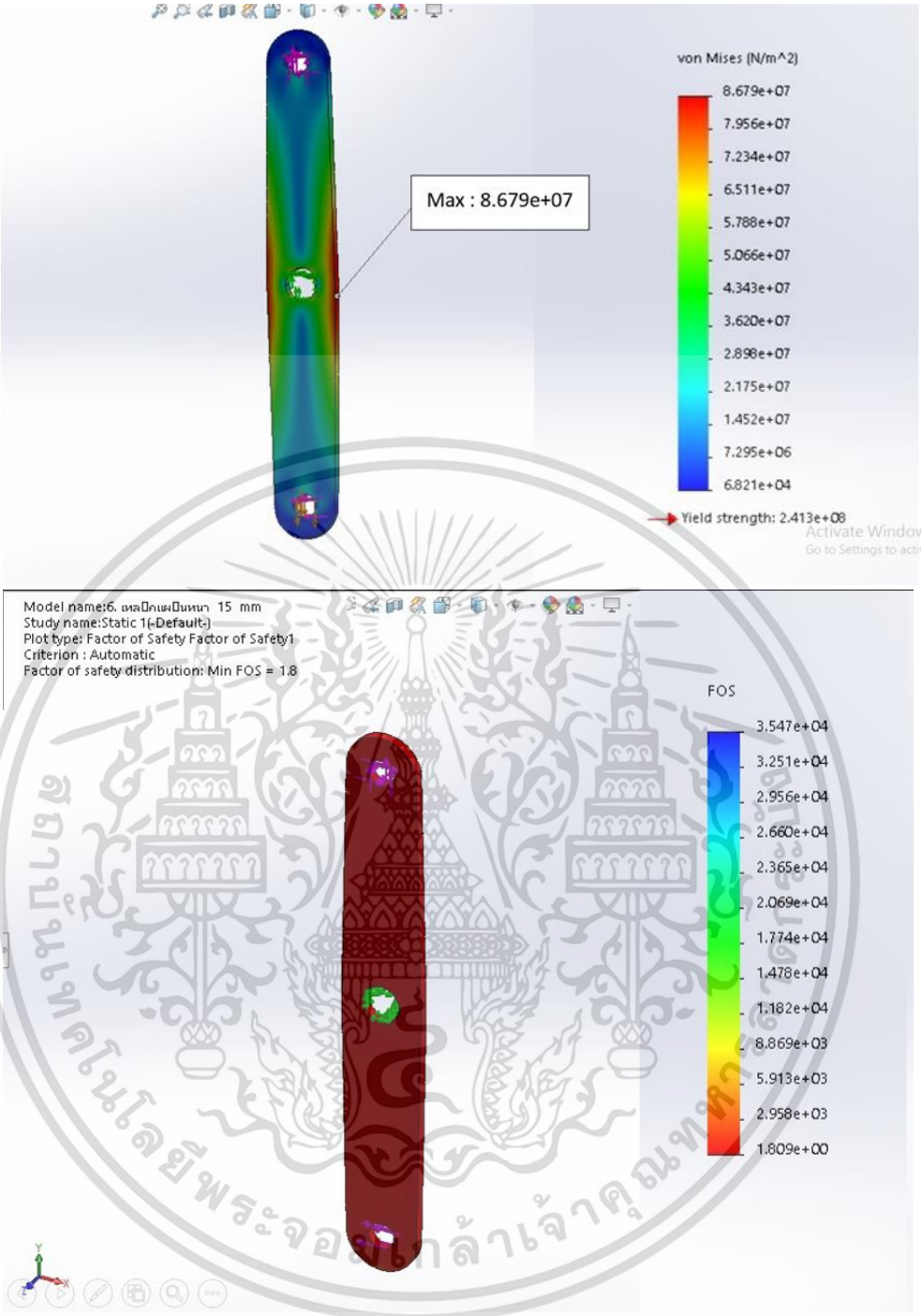
2. ใส่แรงที่ข้อต่อที่ 5 และข้อต่อที่ 6 ตามค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม MSC Adams แสดงดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ

3. เลือกคำสั่ง Create Mesh -> Mesh Parameters -> Curvature base mesh

4. เลือกคำสั่ง Mesh and Run

ผลการคำนวณรูปที่ 3.13 ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 86.79 MPa สัดส่วนความปลอดภัย มีค่าเท่ากับ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 . 13 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าสัดส่วนความปลอดภัยของก้านดึงหมายเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

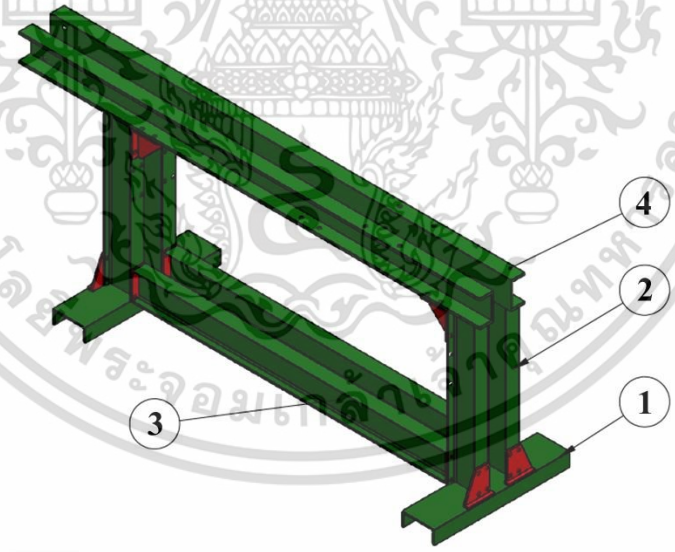
3.4 การประกอบเครื่องทดสอบ

3.4.1 ขั้นตอนการประกอบโครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

มีขั้นตอนการประกอบดังนี้ โดยให้ใช้ระยะอ้างอิงจากรูปที่ 3.14 และ 3.15 ในการประกอบ

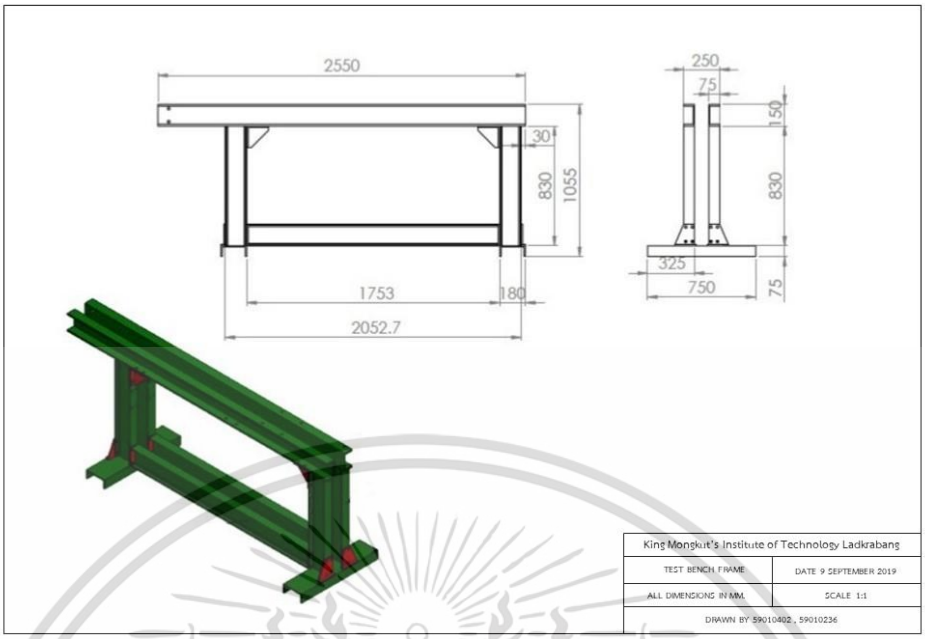
1. นำเหล็กรางน้ำหมายเลข 1 มาเชื่อมเข้ากับเหล็กตัวไอหมายเลข 2 นำแผ่นเหล็กหนา 5 mm. กว้าง 250 mm. ยาว 100 mm. เชื่อมระหว่างเหล็กตัวไอหมายเลข 2 เข้าด้วยกัน
2. นำเหล็กตัวไอหมายเลข 3 มาเชื่อมเข้ากับ เหล็กตัวไอหมายเลข 2
3. ใช้เครนยกเหล็กรางน้ำหมายเลข 4 มาเชื่อมเข้ากับ เหล็กตัวไอหมายเลข 2
4. นำ เหล็กตัวเชื่อม H สวมแล้วเชื่อมกับ เหล็กรางน้ำหมายเลข 4

ในขั้นตอนนี้การเชื่อมจะใช้การเชื่อมด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 3 . 14 โครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่มีหมายเลขกำกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 . 15 โครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่มีขนาด

รูปที่ 3 . 16 โครงเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

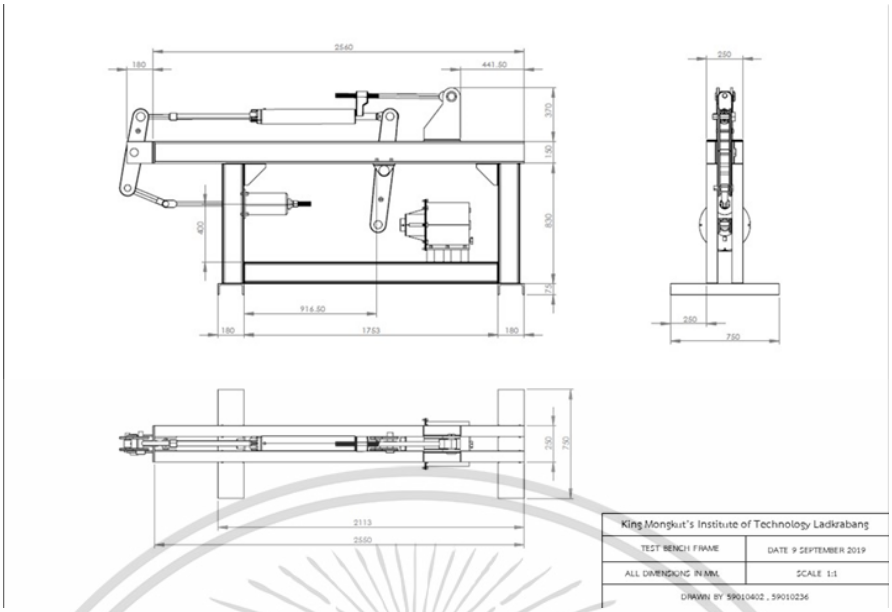
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ขั้นตอนการประกอบกลไกเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

มีขั้นตอนการประกอบดังนี้ ให้ใช้ระยะอ้างอิงจากรูปที่ 17 ในการประกอบ

1. ติดตั้งฐานของก้านควบคุม แล้วนำหมุดมายึดประกอบเข้ากับก้านควบคุม จากนั้นหมุนหัวของก้านควบคุม เข้ากับ ก้านควบคุม
2. นำเหล็กตัวเชื่อม B มาไว้ระหว่างกลางช่องว่างของเหล็กตัวเชื่อม H แล้วนำหมุดมายึดประกอบเข้ากับ เหล็กตัวเชื่อม H
3. ติดตั้งฐานของหม้อลมเบรก จากนั้นติดตั้งหม้อลมเบรก
4. ติดตั้งเหล็กตัวเชื่อมแขวน แล้วนำหมุดมายึดประกอบเข้ากับ เหล็กตัวเชื่อม A
5. เชื่อมแผ่นเหล็กรองกระบอกจำลองแทนล้อ เข้ากับกระบอกจำลองแทนล้อ ต่อมาเชื่อมเข้ากับเหล็กตัวไอหมายเลข 2
6. นำเหล็กตัวช่วยดึง มายึดหมุดประกอบเข้ากับเหล็กตัวเชื่อม A จากนั้นสอดแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก เข้าไปในกระบอก แล้วนำสปริง สวมเข้ากับแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก แล้วขันน็อตจำลองแทนผ้าเบรก เข้ากับแท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก ให้ถึงระยะปลายสปริงพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 . 17 แบบโครงเครื่องทดสอบ

รูปที่ 3 . 18 ภาพอุปกรณ์ประกอบกลไกของเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสปริง

เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นมาใหม่ได้มีการออกแบบใส่สปริงไปยังจุดที่ล้อสัมผัสกับผ้าเบรก เนื่องจากสปริงที่ใส่เพิ่มเข้าไปนั้นได้ทำขึ้นมาเองจึงจำเป็นต้องหาค่าคงที่ของสปริง เพื่อตรวจสอบดูว่าค่าคงที่สปริงมีค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบหรือไม่ ซึ่งวิธีการหาค่าคงที่ของสปริงสามารถทำได้โดยดังนี้

อุปกรณ์

1. แท่นอัดไฮดรอลิก
2. ตลับเมตร
3. สปริงตัวที่ต้องการทราบค่าคงที่

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปรับฐานตั้งสปริงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
2. นำสปริงมาวางไว้บนฐานรอง และทำการวัดความยาวสปริงก่อนโดนกดแสดงดังรูปที่ 3.19
3. ทำการกดสปริงด้วยน้ำหนัก 1 T หรือ 9,810 N และวัดความยาวหลังกด และเพิ่มน้ำหนักไปเรื่อยๆ โดยเพิ่มครั้งละ 0.5 T แสดงดังภาพที่ 3.20 3.21 3.22
4. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กดกับระยะของสปริงที่หดเข้าไป

รูปที่ 3 . 19 แท่นอัดไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 . 20 หน้าปัดแสดงค่าแรงกด

รูปที่ 3 . 21 การวัดระยะก่อนกดสปริง

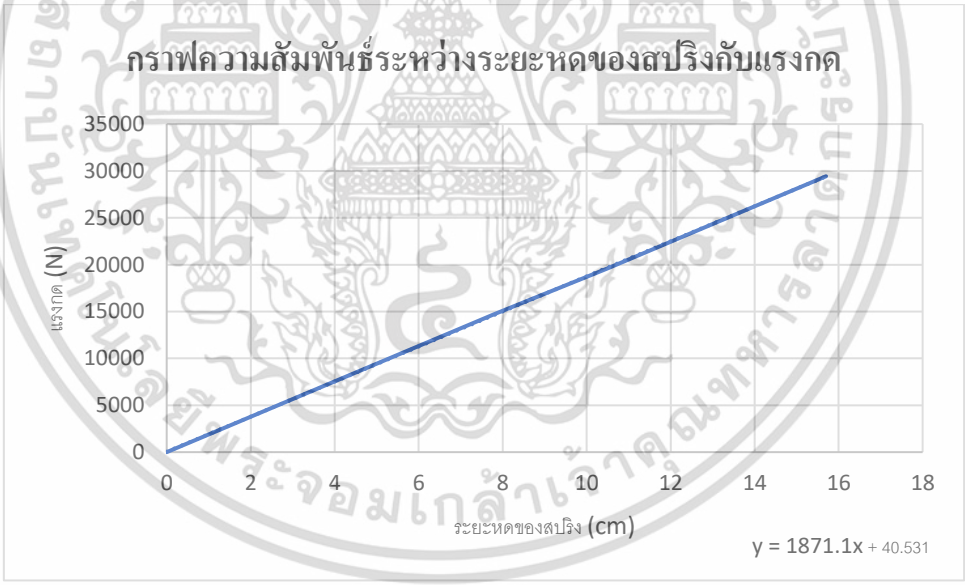
รูปที่ 3 . 22 วัดระยะหดของสปริงที่แรง 9,810 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลแรงที่กดและระยะหดของสปริง

แรงที่กด (N)	ระยะหดของสปริง (cm)
0	0.00
9,810	5.20
14,715	7.80
19,620	14.50
24,525	13.10
29,430	15.70

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดของสปริงกับแรงกด



รูปที่ 3 . 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดของสปริงกับแรงกด

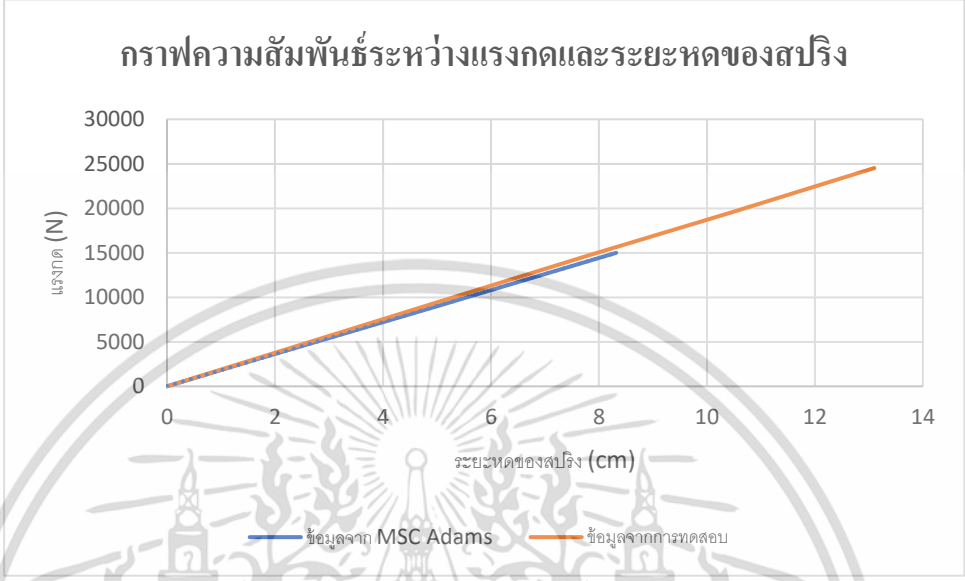
จากกราฟจะได้สมการที่ประมาณค่าเป็นเส้นตรงคือ

$$Y = 1871.1X + 40.531 \quad (3.1)$$

เพราะฉะนั้นค่าคงที่สปริงเท่ากับ 1,871.1 N/cm = 187,110 N/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าคงที่ของสปริงแล้วต่อไปจะเป็นการจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องว่าสปริงที่สร้างขึ้นมานั้นมีค่าคงที่ของสปริงตรง หรือใกล้เคียงจากที่คำนวณไว้มากน้อยเพียงใด โดยจะเปรียบเทียบจากสมการที่ได้จากกราฟทั้งสอง



รูปที่ 3 . 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมการเส้นตรงจากการทดสอบ กับสมการเส้นตรงจากข้อมูลโปรแกรม MSC Adams

จากข้อมูลโปรมแกรม MSC Adams จะได้กราฟสมการที่ประมาณค่าเป็นเส้นตรงคือ

$$Y = 1801X + 13.747 \qquad (3.2)$$

การเปรียบเทียบสมการจากการทดสอบ กับสมการจากโปรแกรม MSC Adams

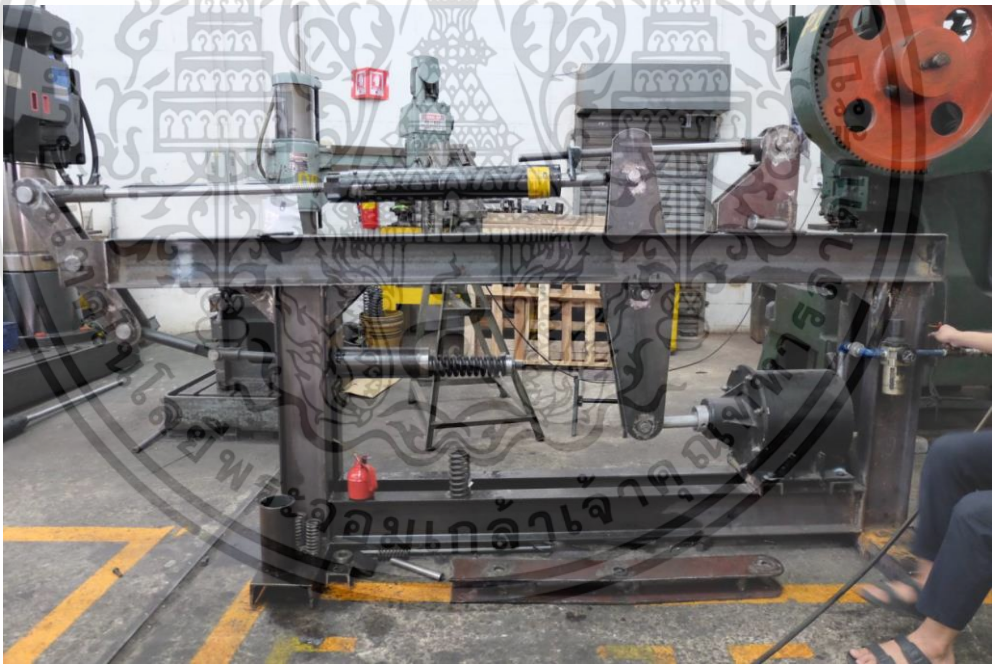
สมการจากการทดสอบ : $Y = 1871.1X + 40.531$

สมการจากโปรแกรม MSC Adams : $Y = 1801X + 13.747$

เมื่อความชันคือค่าคงที่ของสปริง พบว่าสมการจากการทดสอบมีความชันคือ 1,871 N/cm สมการจากโปรแกรม MSC Adams คือ 1,801 N/cm ค่าจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงจากผลการคำนวณ ดังนั้นสปริงที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 . 25 สปริงที่ใส่เพิ่มเข้าไป



รูปที่ 3 . 26 เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติที่ติดตั้งเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

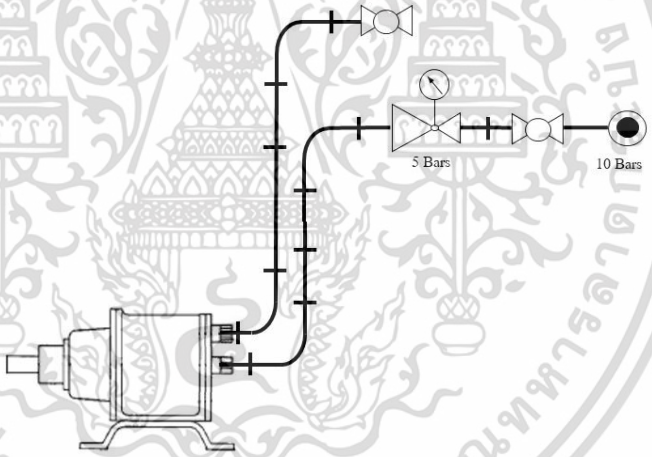
3.5 การติดตั้งต้นกำลัง

การติดตั้งระบบต้นกำลังมีขั้นตอนดังนี้

1. ก่อนเข้าวาล์วควบคุมแรงดันลม นำบอลวาล์วลมขนาด 4″ มาสวมเข้าท่อตรงเหล็ก 4″ ยาว 15 cm แล้วจึงนำเข้ามาวาล์วควบคุมแรงดันลม ที่ตั้งความดันลมไว้ 5 bar ดังรูปที่ 27 , 28 และ 29

2. ออกจากวาล์วควบคุมแรงดันลม นำข้องอเหล็ก 90° ตัวแรก 4″ มาต่อเข้าท่อตรงเหล็ก 4″ ยาว 10 cm แล้วนำมาต่อข้องอเหล็ก 90° ตัวที่สองขนาด 4″ สุดท้ายต่อเข้ากับรูบนทางด้านท้ายของหม้อลมเบรกดังรูปที่ 27 , 28 และ 29

3. ออกจากรูล่างทางด้านท้ายของหม้อลมเบรก นำข้องอเหล็ก 90° ตัวแรก 4″ มาต่อเข้าท่อตรงเหล็ก 4″ยาว 20 cm แล้วนำมาต่อข้องอเหล็ก 90° ตัวที่สองขนาด 4″ มาสวมเข้าท่อตรงเหล็ก 4″ ยาว 15 cm สุดท้ายนำมาต่อบอลวาล์วลมขนาด 4″ ดังรูปที่ 27 , 28 และ 29



รูปที่ 3 . 27 แผนผังระบบลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 . 28 ภาพประกอบระบบลมมุมที่ 1

รูปที่ 3 . 29 ภาพประกอบระบบลมมุมที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทดสอบการใช้งานของเครื่อง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการใช้เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นมาว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยจะนำเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600 ที่ใช้งานได้ขึ้นมาทดสอบเป็นอันดับแรกเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องทดสอบสามารถแสดงผลเป็นไปตามเกณฑ์การทดสอบหรือไม่ และสามารถบอกได้ว่า เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600 ชิ้นไหนใช้งานไม่ได้

4.2 วิธีใช้งานเครื่องทดสอบและการทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 450 และ 600

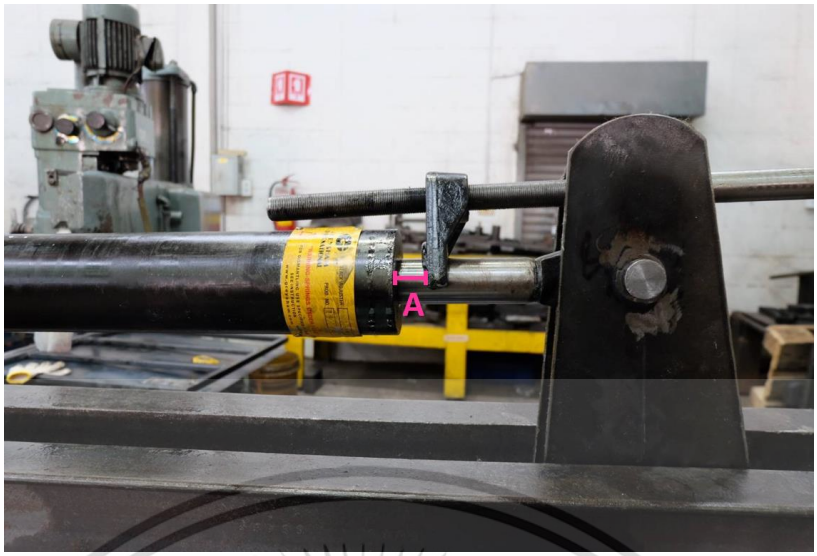
หลังจากประกอบ หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ เรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อไปจะนำเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ มาทดสอบบนเครื่องจำลองการเบรกซึ่งจะทดสอบการทำงาน 2 กรณี คือ 1.กรณีระยะห่างระหว่างผ้าเบรกกับล้อห่างกันมากกว่า 4 cm [1] 2.กรณีผ้าเบรกกับล้อห่างกันน้อยกว่า 4 cm [1] แต่เครื่องที่สร้างขึ้นมาใหม่การทำงานเพียงครั้งเดียวสามารถตรวจสอบได้ทั้ง 2 กรณี ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ยกตัวเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ขึ้นบนเครื่องทดสอบสวมปลายเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ เข้ากับหูจับของเครื่องแล้วขัน น็อตให้แน่นทั้ง 3 รูส่วนหูเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ติดกับก้านหมุนของเครื่องขัดด้วยโบล

2. นำก้านควบคุมลงมาประกบกับตัวเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

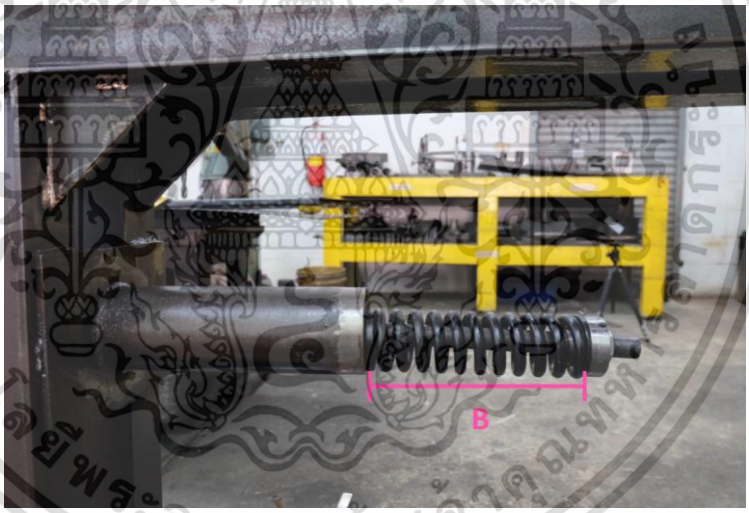
3. ทำการปรับหัวตัวก้านควบคุมให้อยู่ห่างจากตัวกระบอก เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติประมาณ 40 – 60 mm ซึ่งจะเรียกระยะนี้ว่าระยะ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 . 1 ระยะ A

4. บันทึกระยะ A และระยะห่างระหว่างผ้าเบรกกับแท่นล้อจำลองหรือระยะ B ไว้ก่อนเริ่มการทดสอบ



รูปที่ 4 . 2 ระยะ B

5. ตั้งค่าวาล์วควบคุมแรงดันลม ไว้ที่ 5 bar

6. ตัวหม้อลมเบรกจะมีรูสำหรับลมเข้า และลมออกให้ปิดช่องลมออกก่อน

7. เมื่อปิดวาล์วขาลมออกแล้ว จากนั้นทำการเปิดวาล์วขาลมเข้าระบบเพื่อเริ่มการทำงาน เมื่อเครื่องดึงตัวเครื่องร่นห้าม้อัตโนมัติ ตามที่เราต้องการแล้วก็ทำการปิดวาล์วขาลมเข้า

8. เมื่อปิดวาล์วขาลมเข้าเรียบร้อย ให้เปิดวาล์วขาลมออกเพื่อให้ เครื่องร่นห้าม้อัตโนมัติคลายตัวกลับมายังจุดเริ่มต้นของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 . 3 ระบบต้นกำลัง

9. เมื่อเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ คลายตัวกลับเรียบร้อยแล้วให้เช็คระยะ A และระยะ B ซึ่งระยะทั้งสองต้องกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 mm [2]

10. ทำการทดสอบซ้ำอย่างน้อย 10 รอบ ซึ่งการทดสอบทุกครั้งกระบอก เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ต้องมีการหมุน

หมายเหตุ : ในกรณีที่ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติไม่ได้มีการทำงานครบสมบูรณ์ตามที่กล่าวมา ให้ถอด เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ เพื่อเช็คดูว่าอุปกรณ์ภายในชิ้นใดที่ได้รับความเสียหาย หรือประกอบชิ้นส่วนตรงไหนผิด

รูปที่ 4 . 4 เครื่องทดสอบก่อนการสั่งใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 . 5 เครื่องทดสอบขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดสอบระยะ A , ระยะ B และ การหมุนของกระบอก เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

อุปกรณ์ : เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 600

เครื่องมือวัด : ตลับเมตร ความละเอียดหน่วย cm

ระยะ A ก่อนเริ่มทดสอบ : 3.00 cm

ระยะ B ก่อนเริ่มทดสอบ : 24.70 cm

ครั้งที่ทดสอบ	ระยะ A (cm)		ระยะ B (cm)			การหมุนของกระบอกเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ
	จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด	จุดเริ่มต้น	ระยะที่หดเข้าไป	จุดสิ้นสุด	
1	3.00	3.20	24.70	4.30	24.90	หมุน
2	3.20	3.35	24.90	4.60	25.00	หมุน
3	3.35	5.10	25.00	5.15	25.00	หมุน
4	5.10	3.40	25.00	6.20	25.00	หมุน
5	3.40	3.40	25.00	6.20	25.00	หมุน
6	3.40	2.90	25.00	4.60	25.00	หมุน
7	2.90	2.10	25.00	4.85	25.00	หมุน
8	2.10	4.00	25.00	4.55	25.00	หมุน
9	4.00	2.20	25.00	6.45	25.00	หมุน
10	2.20	2.27	25.00	5.70	25.00	หมุน

ผลการทดสอบ : เครื่องทดสอบสามารถดึง เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ DRV 2A ชนิด 600 ได้จนสุดเกลียว หม้อลมเบรกมีการรั่วเล็กน้อยเนื่องจากเป็นหม้อลมตัวเก่า ระยะ B หดเข้าไปไม่เท่ากัน เนื่องจากควบคุมด้วยมือซึ่งในอนาคตจะติดควบคุมเข้าไปเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

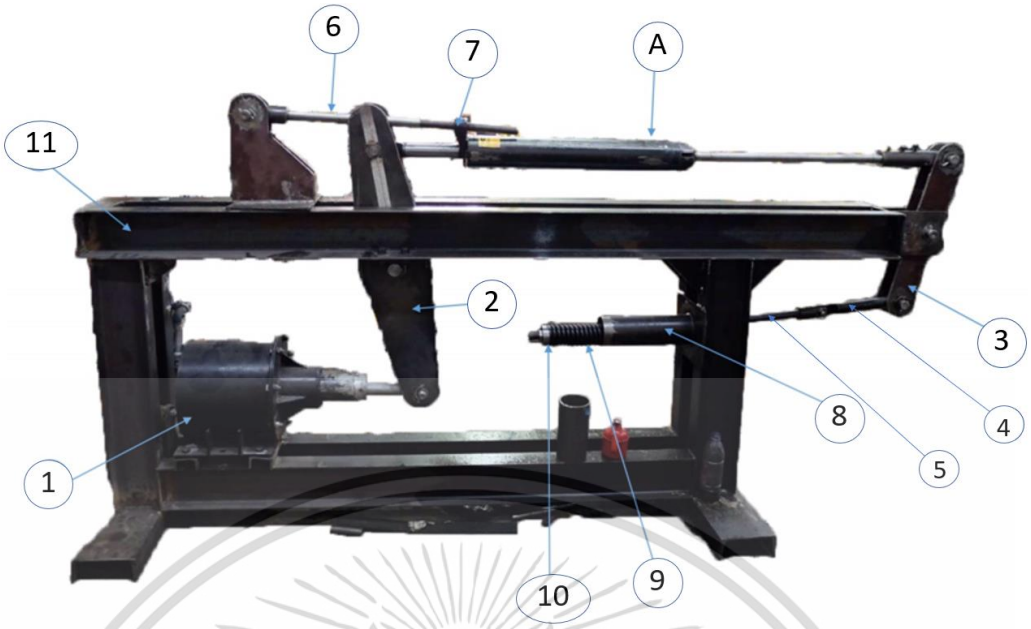
5.1 สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบอุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น ลดกระบวนการทดสอบ สามารถทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ได้ทั้ง เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ รุ่น DRV ชนิด 450 และ 600 โดยในการออกแบบเครื่องทดสอบอุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ การสร้างเครื่องทดสอบแบบได้เป็น 2 องค์ประกอบสำคัญคือ ส่วนโครงเครื่อง และ ส่วนกลไกที่ใช้ในการดึงตัวชิ้นงาน

ในส่วนโครงเครื่องทดสอบ อ้างอิงจากเครื่องทดสอบของ บริษัท Greysham International ซึ่งได้ศึกษาดูงานเครื่องทดสอบอุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ที่โรงงานมักกะสัน

ในส่วนกลไกที่ใช้ในการดึงตัวชิ้นงานได้นำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม MSC Adams และ ทฤษฎีความเค้นดัดในคานมาช่วยในการออกแบบเพื่อหาแบบเครื่องทดสอบอุปกรณ์เครื่องร่นระยะอัตโนมัติ ที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปสร้างจริง โดยทำการวิเคราะห์ความแข็งแรง เพื่อคำนวณหาแรงกระทำในแต่ละแนวแกน เพื่อไปหาความเค้นโดยโปรแกรม Adams เพื่อนำไปหาความเค้นที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้นเมื่อกลไกของเครื่องทดสอบอุปกรณ์ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ มีแรงจากหม้อลมเบรกมากระทำ และหาความเค้นโดยทฤษฎีความเค้นดัดในคานเพื่อเทียบค่าความเค้นกับโปรแกรม MSC Adams เพื่อนำค่าของความเค้นสูงสุดไปหาสัดส่วนความปลอดภัย โดยที่ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นต้องมีค่าไม่เกิน ความเค้นครากของวัสดุ เนื่องจากถ้าความเค้นวอนมิสเซสมีค่าเกินกว่า ความเค้นครากของวัสดุแล้วนั้น วัสดุจะเกิดการเสียรูปอย่างถาวรโดยไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 . 1 เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

ตาราง 5 . 1 องค์ประกอบของเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

หมายเลข	องค์ประกอบ
1	หม้อลม
2	ก้านดึงหมายเลข 2
3	ก้านดึงหมายเลข 3
4	ตัวช่วยดึง
5	แท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก
6	ก้านควบคุม
7	หัวก้านควบคุม
8	กระบอกจำลองแทนล้อ
9	สปริง
10	น็อตจำลองแทนผ้าเบรก
11	โครงเครื่อง
A	เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 . 2 ตารางแสดงค่าความเค้นวอนมิสเซสและตัวประกอบความปลอดภัยในแต่ละชิ้น

Component	ความเค้นวอนมิสเซส (MPa)	ตัวประกอบความปลอดภัย
	SolidWorks	SolidWorks
แท่งดึงตัวจำลองผ้าเบรก (หมายเลข 5)	168.90	1.3
ตัวช่วยดึง (หมายเลข 4)	133.70	1.3
ก้านดึงหมายเลข 3 (หมายเลข 2)	67.32	3.6
ก้านดึงหมายเลข 2 (หมายเลข 3)	86.79	2.8

จากตารางที่ 5.2 ผลจากการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีกับการคำนวณด้วยโปรแกรมเครื่องทดสอบอุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติจริงนั้น ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ชิ้นส่วนที่จะพังก่อนคือตัวช่วยดึง (หมายเลข 4) ซึ่งมาค่าความเค้นสูงสุดจากโปรแกรม SolidWorks เท่ากับ 131.6 MPa มีค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากจากโปรแกรม SolidWorks เท่ากับ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 . 3 ตารางแสดงเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบของเดิม	เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นใหม่
การทำงานของเครื่องทดสอบครั้งที่ 1 กรณี ผ้าเบรกและล้อห่างกันน้อยกว่าปกติ 1. ตั้งระยะห่างระหว่างหัวก้านควบคุมกับกระบอกเครื่องร่นระยะ 4 cm 2. ตั้งระยะห่างระหว่างล้อและผ้าเบรกเป็นระยะ 2 cm 3. เปิดการใช้งานเครื่องทดสอบ **การทำงานของเครื่องทดสอบครั้งที่ 2** กรณี ผ้าเบรกและล้อห่างกันมากกว่าปกติ 1. ตั้งระยะห่างระหว่างหัวก้านควบคุมกับกระบอกเครื่องร่นระยะ 4 cm 2. ตั้งระยะห่างระหว่างล้อและผ้าเบรกเป็นระยะ 6 cm 3. เปิดการใช้งานเครื่องทดสอบ	**การทำงานของเครื่องทดสอบครั้งที่ 1** กรณี ผ้าเบรกและล้อห่างกันน้อยกว่าปกติ และผ้าเบรกและล้อห่างกันมากกว่าปกติ 1. ตั้งระยะห่างระหว่างหัวก้านควบคุมกับกระบอกเครื่องร่นระยะ 4 cm 2. เปิดการใช้งานเครื่องทดสอบ

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นมาใหม่สามารถลดขั้นตอนการทดสอบลงได้แต่ยังคงความสามารถในการตรวจสอบเครื่องร่นระยะอัตโนมัติได้ทั้งสองกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 . 4 ตารางแสดงราคาวัสดุของเครื่องทดสอบ

ลำดับที่	วัสดุและขนาด	จำนวน	ราคา (บาท)
1	เหล็กรางหนาขนาด B x H = 12.5 x 150 mm เกรด SS400 ความยาว 5.10 m	1 เส้น	17,100
2	เหล็กรางหนาขนาด B x H = 75 x 180 mm เกรด SS400 ความยาว 1.50 m	1 เส้น	9,300
3	เหล็กไอบีมขนาด B x H = 75 x 150 mm เกรด SS400 ความยา 5.10 m	1 เส้น	15,200
4	เหล็กแผ่นขนาด กว้าง x ยาว x หนา = 1524 x 3048 x 10 mm เกรด SS400	2 แผ่น	8,500
รวม (บาท)			50,100

หมายเหตุ : ราคาวัสดุอ้างอิงจาก http://www.vrsteel.com/

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เครื่องทดสอบอุปกรณ์เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ควรคำนึงถึงอิทธิพลของรอยเชื่อม ความแข็งแรงของรอยเชื่อม ซึ่งอาจมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

5.2.2 เครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ควรคำนึงถึงอิทธิพลของหมุด ความแข็งแรงของหมุด ซึ่งอาจมีผลต่อความแข็งแรงของกลไกเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

5.2.3 แรงดันลมที่มากจากหม้อลม ที่กระทำกับเครื่องทดสอบเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติควรมีความดันลมเท่ากับ 5 บาร์ เพื่อให้ เครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ ที่ทำการทดสอบผ่านตามมาตรฐาน International Union of Railway (UIC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kawasaki Heavy Industries,Ltd., Nippon Sharyo,Ltd. Maintenance Instruction Bogie Second Class Day and Night Coaches For State Railway of Thailand (TYPES : B.N.S). Japan : Kawasaki Heavy Industries,Ltd., Nippon Sharyo,Ltd., Inc.1986

[2] Greysham International. Greysham Slack Adjuster Type 2A. Delhi : Greysham International. Inc.1986

[3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555

[4] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke and Richard G. Budynas. Shigley's Mechanical Engineering Design. Edition 9. McGrawHill. 2011

[5] เดช พุทธเจริญทอง. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541

[6] มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1479-2541 และมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น JIS G 3101-2004 ของเหล็ก SS400. สืบค้นจาก. http://www.ssi-steel.com/index.php/homepage/258-english-categories/service-center/faqs/

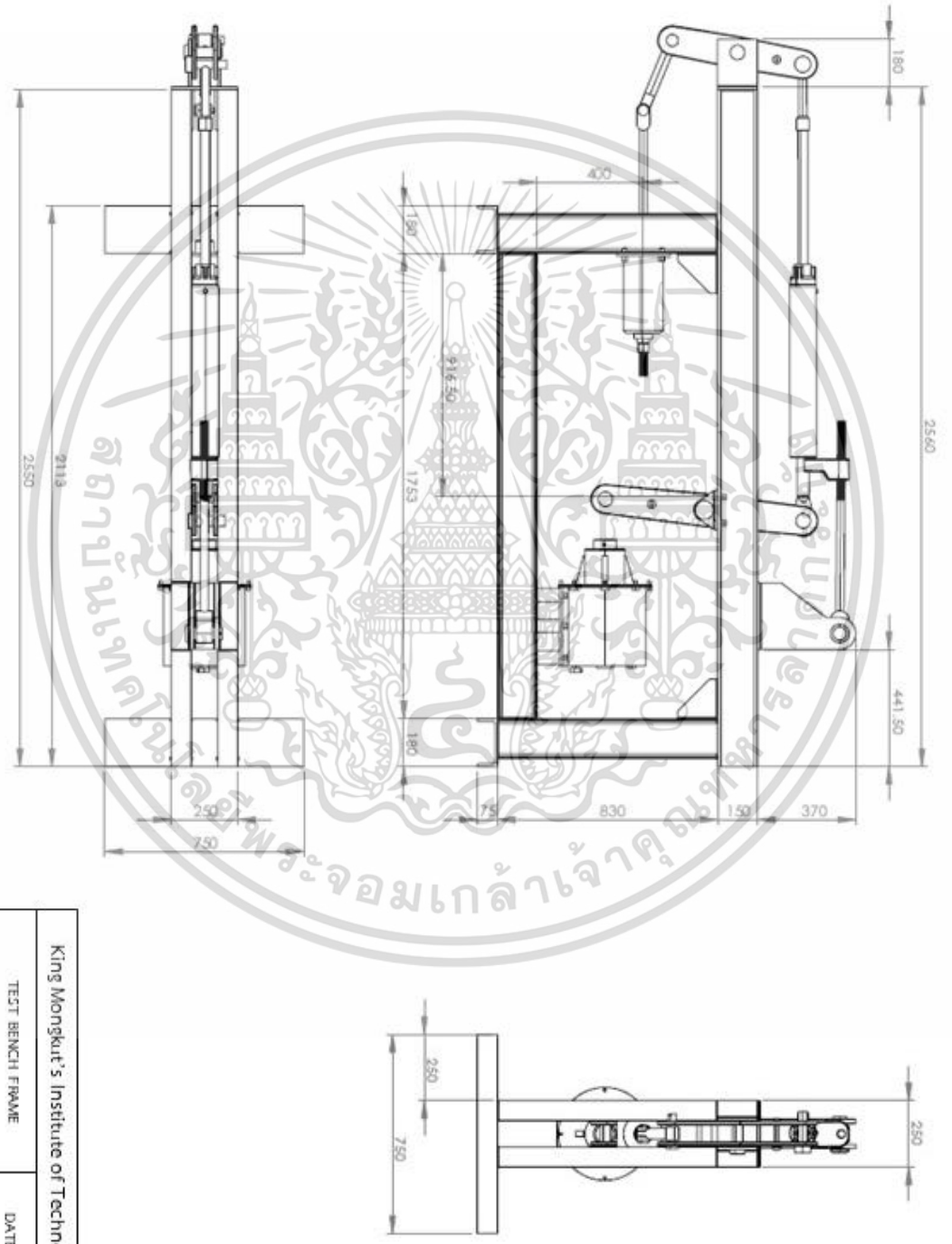
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

แบบภาพประกอบของเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

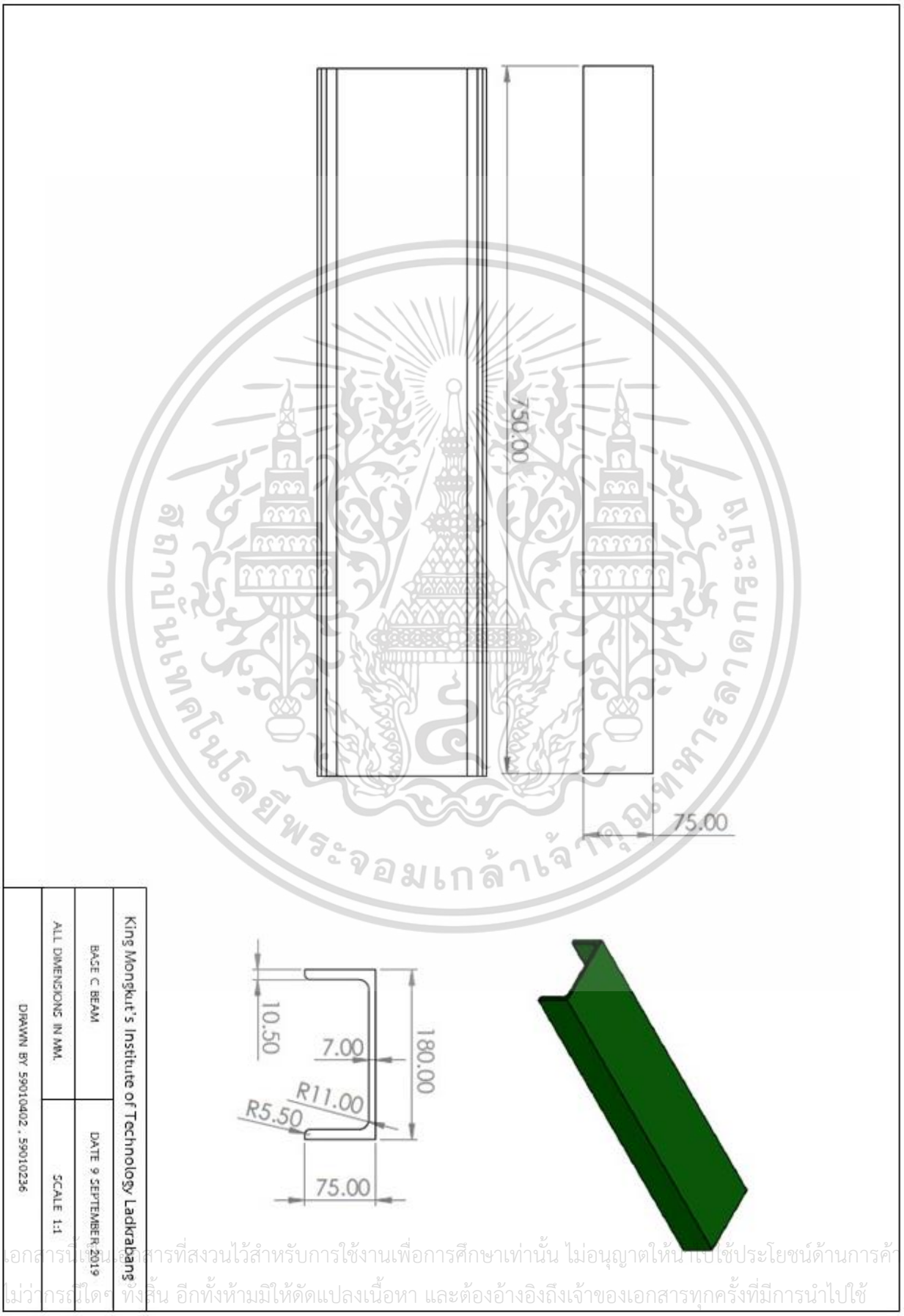
และแบบแสดงรายละเอียดชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องร่นห้ามล้ออัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

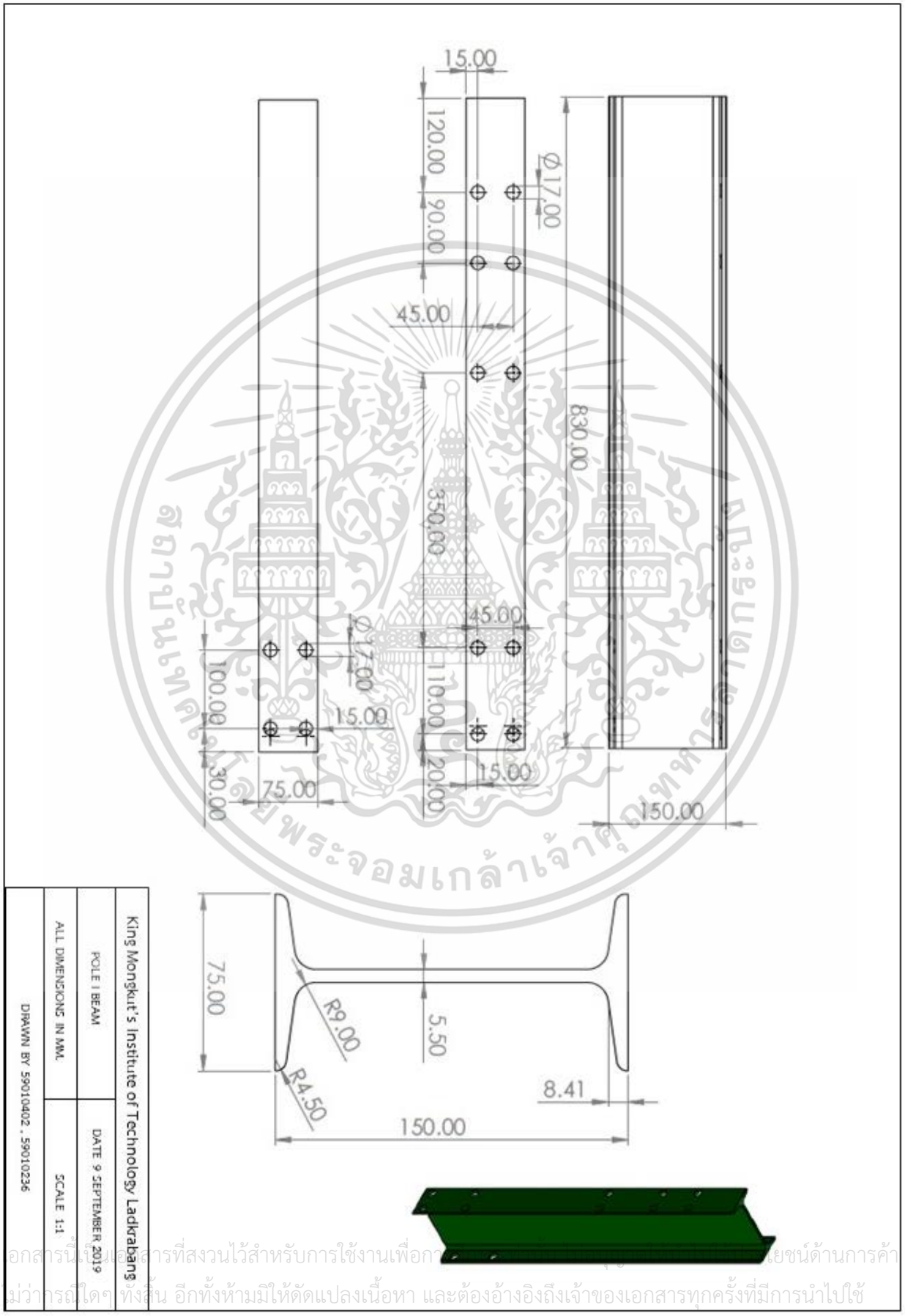


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
TEST BENCH FRAME	DATE 9 SEPTEMBER 2019	
ALL DIMENSIONS IN MM.	SCALE 1:1	
DRAWN BY 59010402 , 59010236		

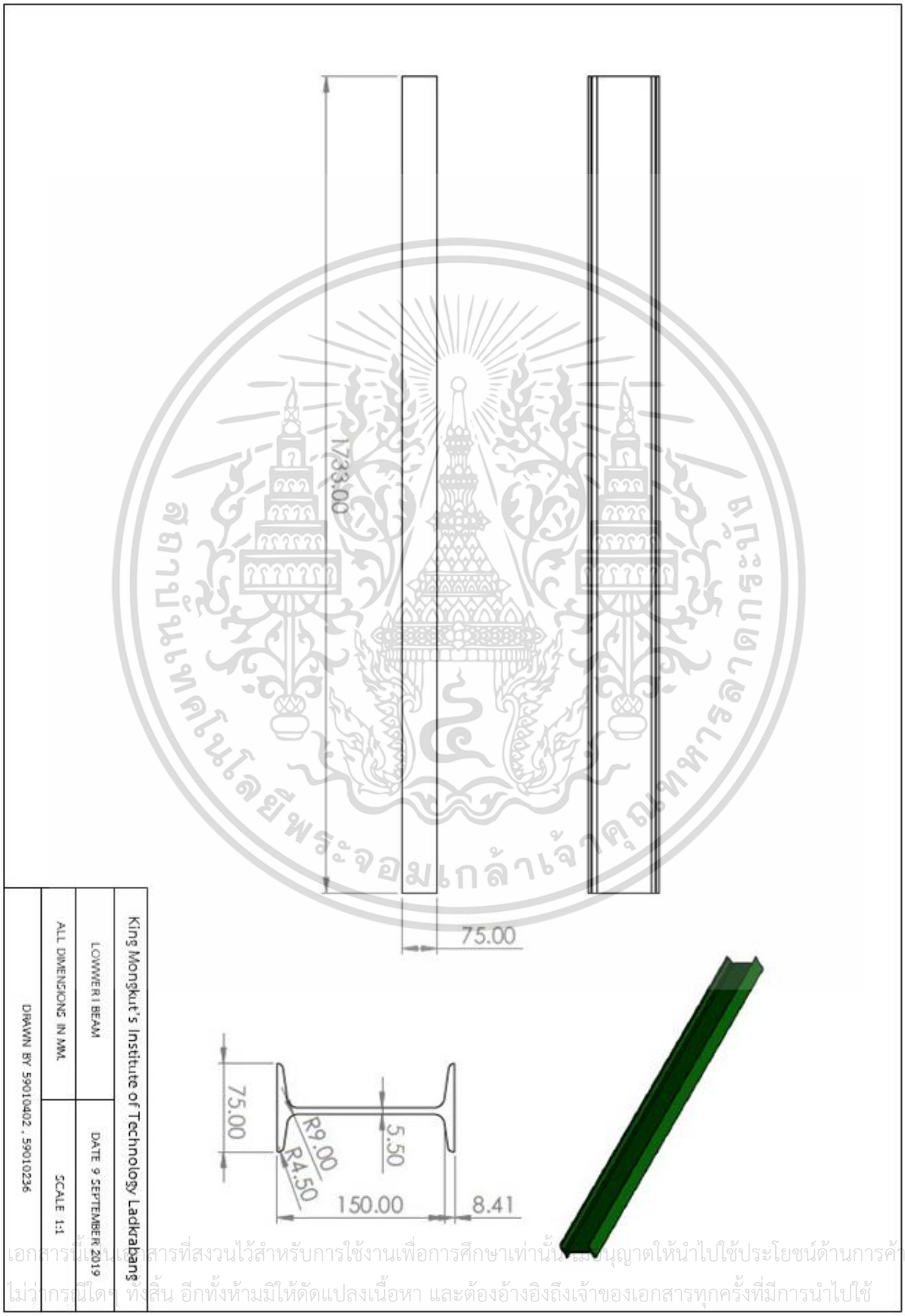
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



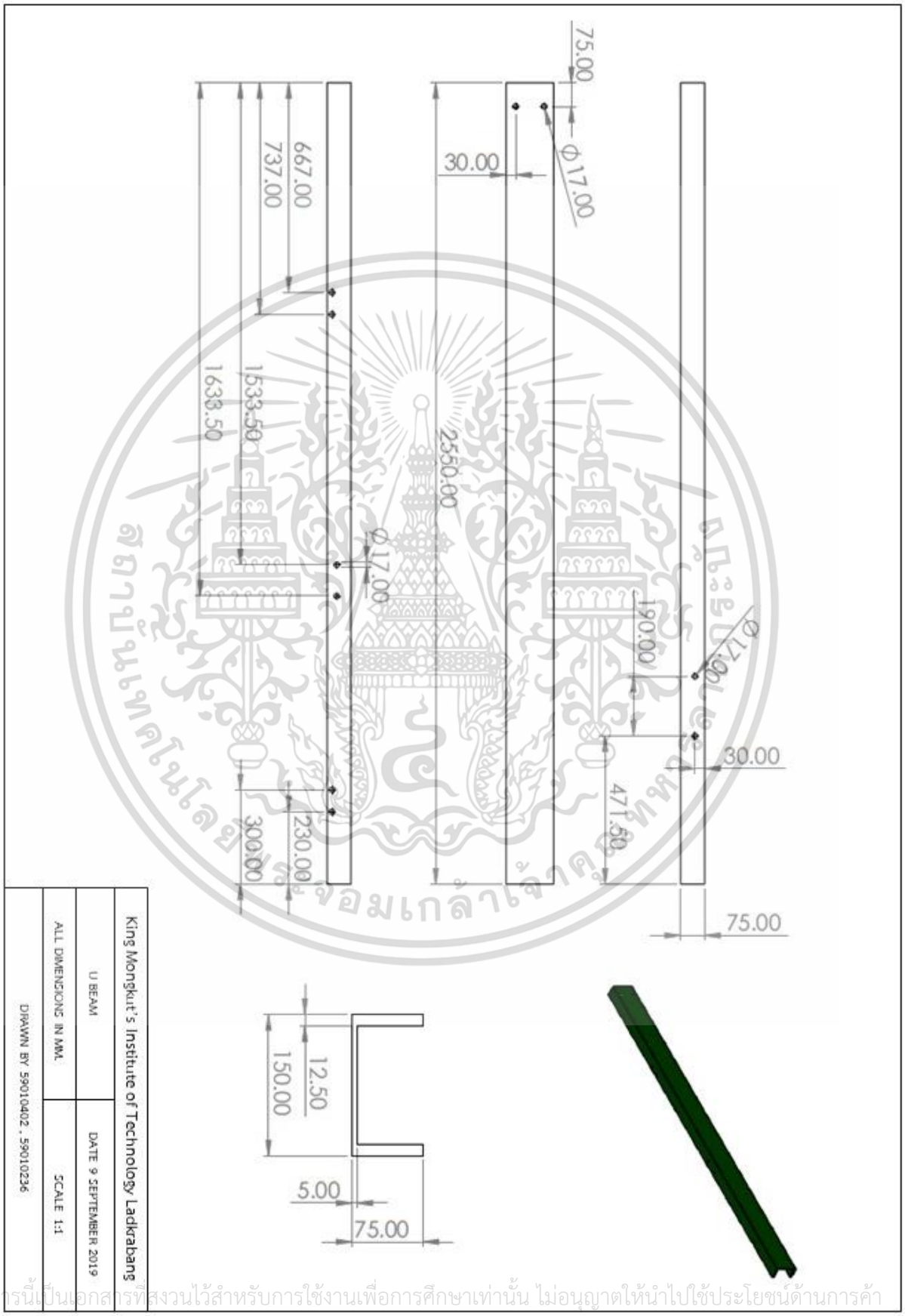
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



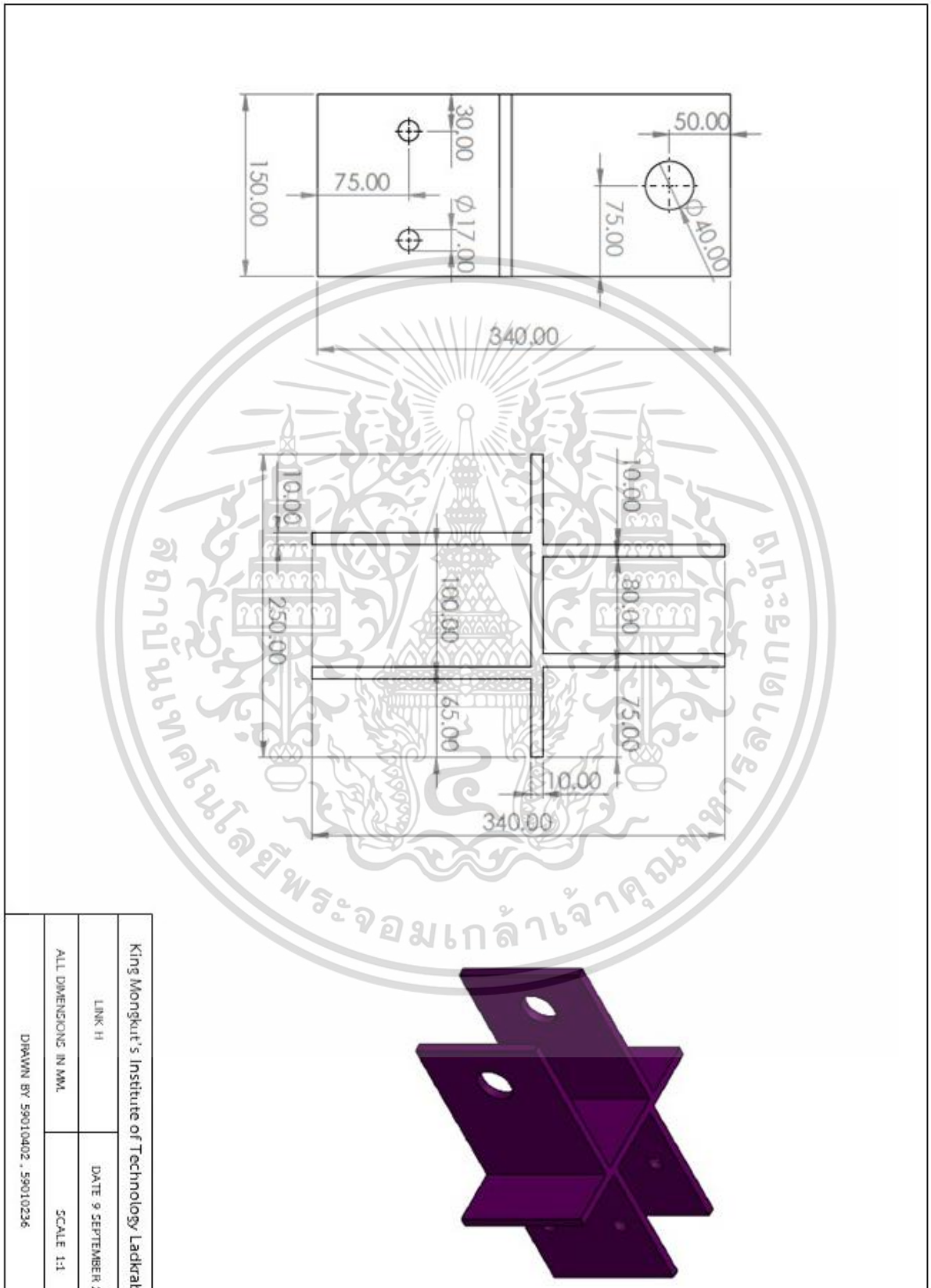
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



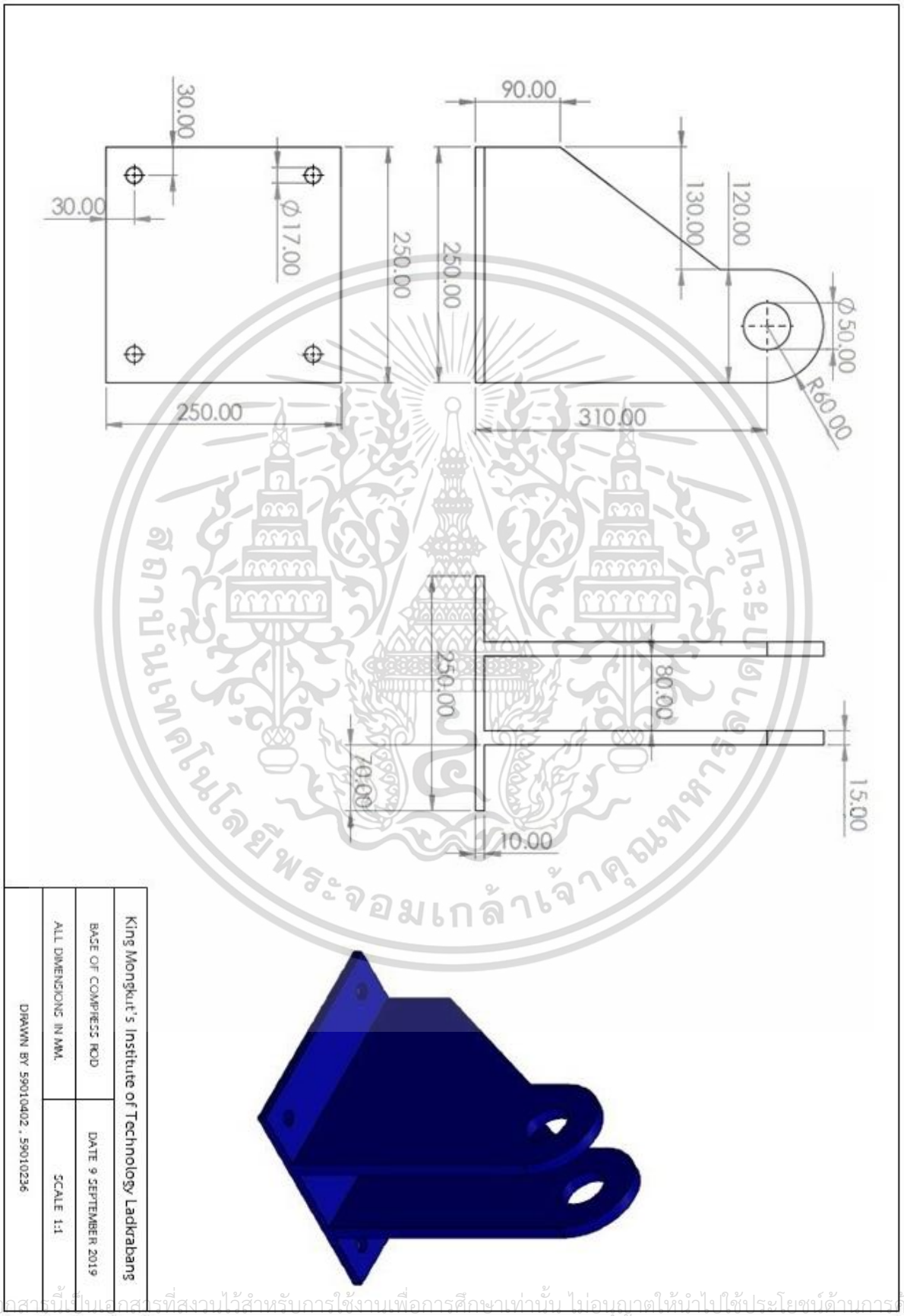
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



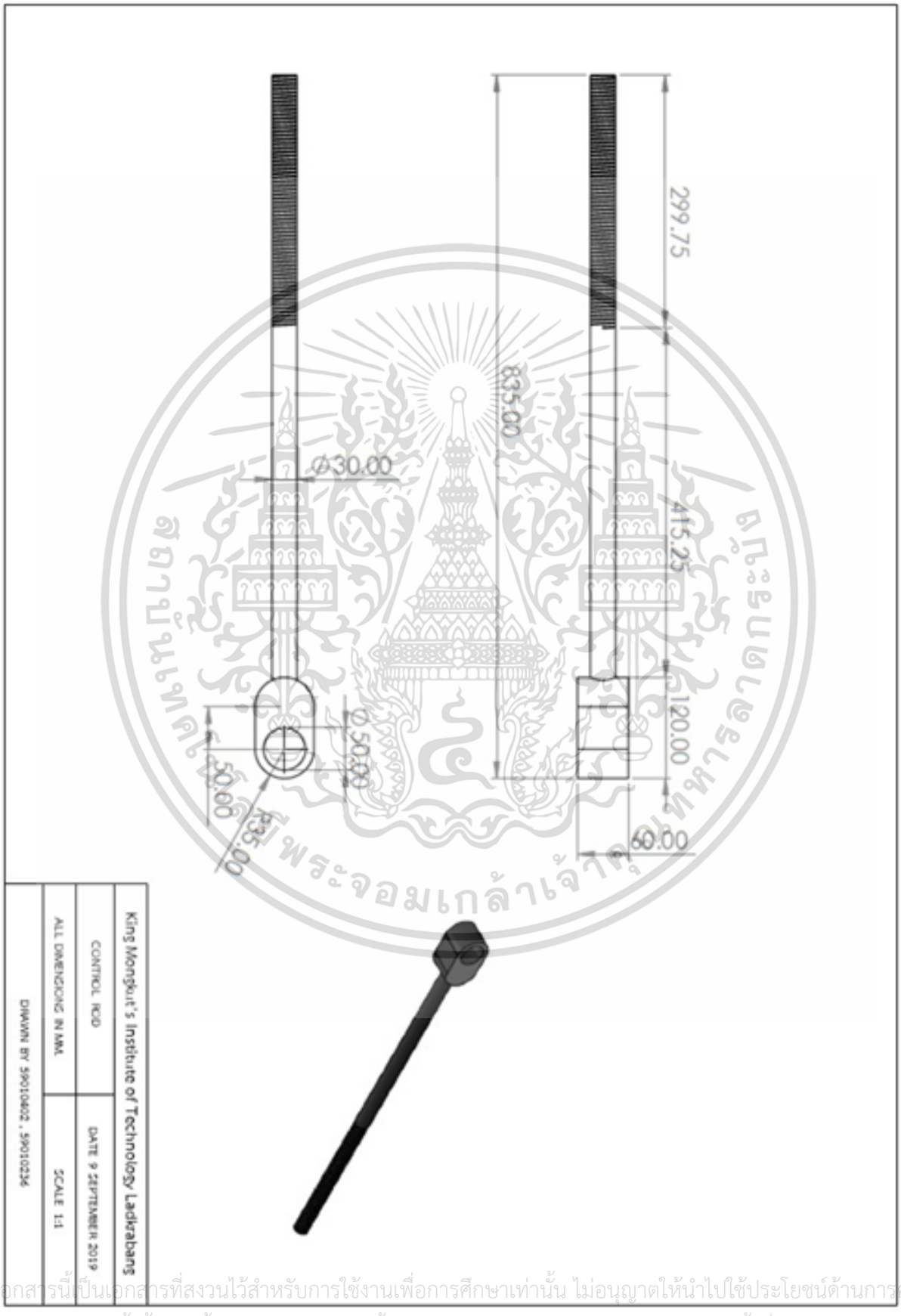
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



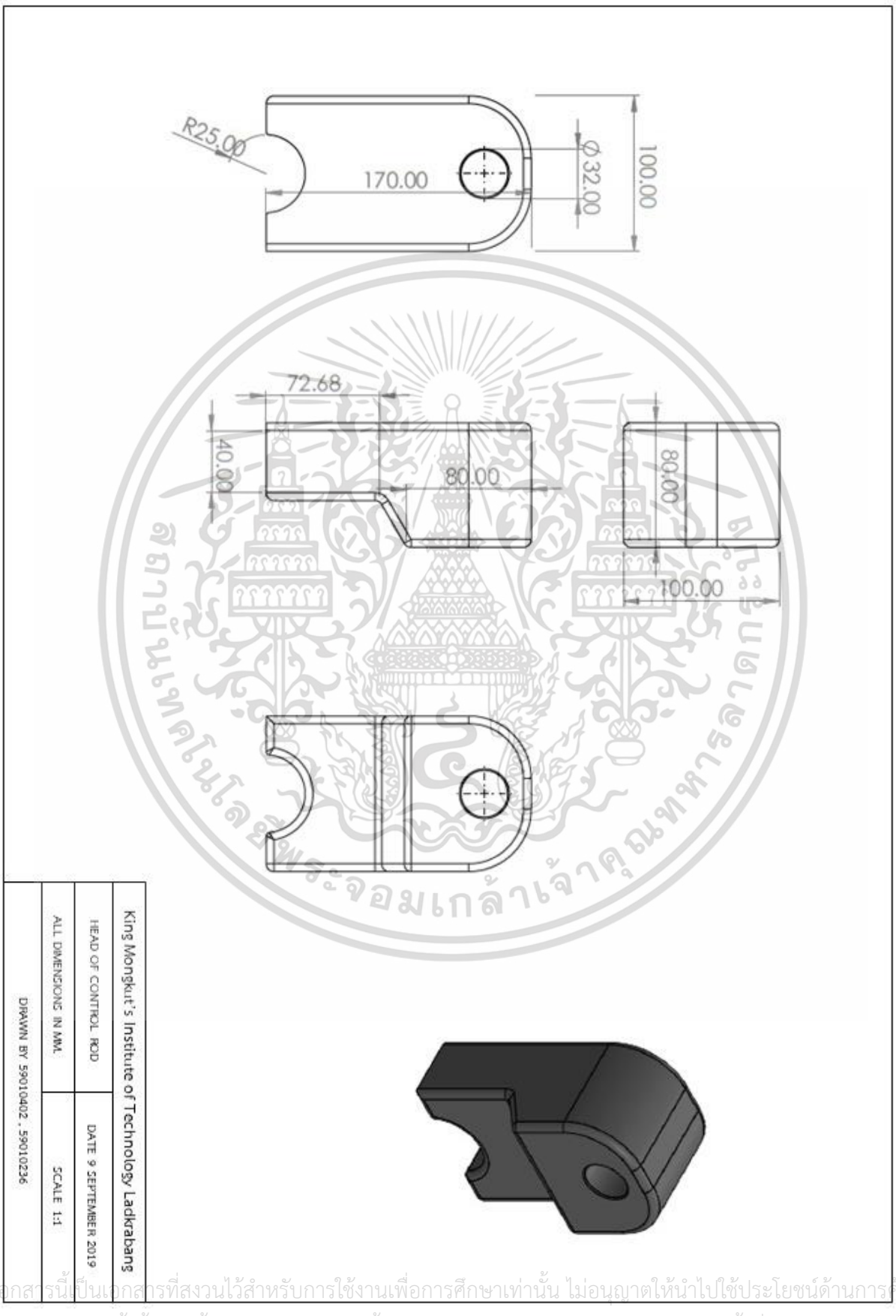
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



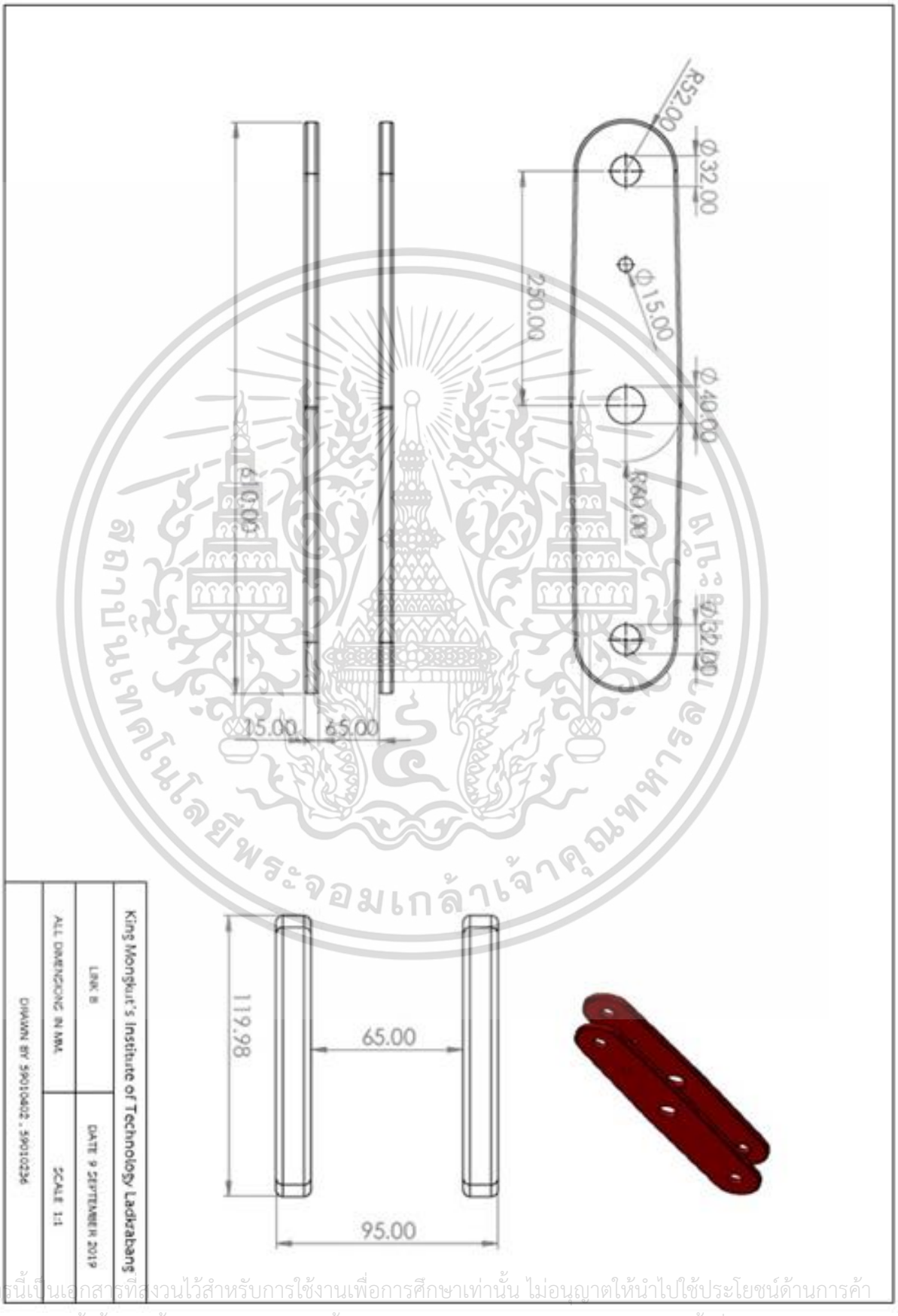
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



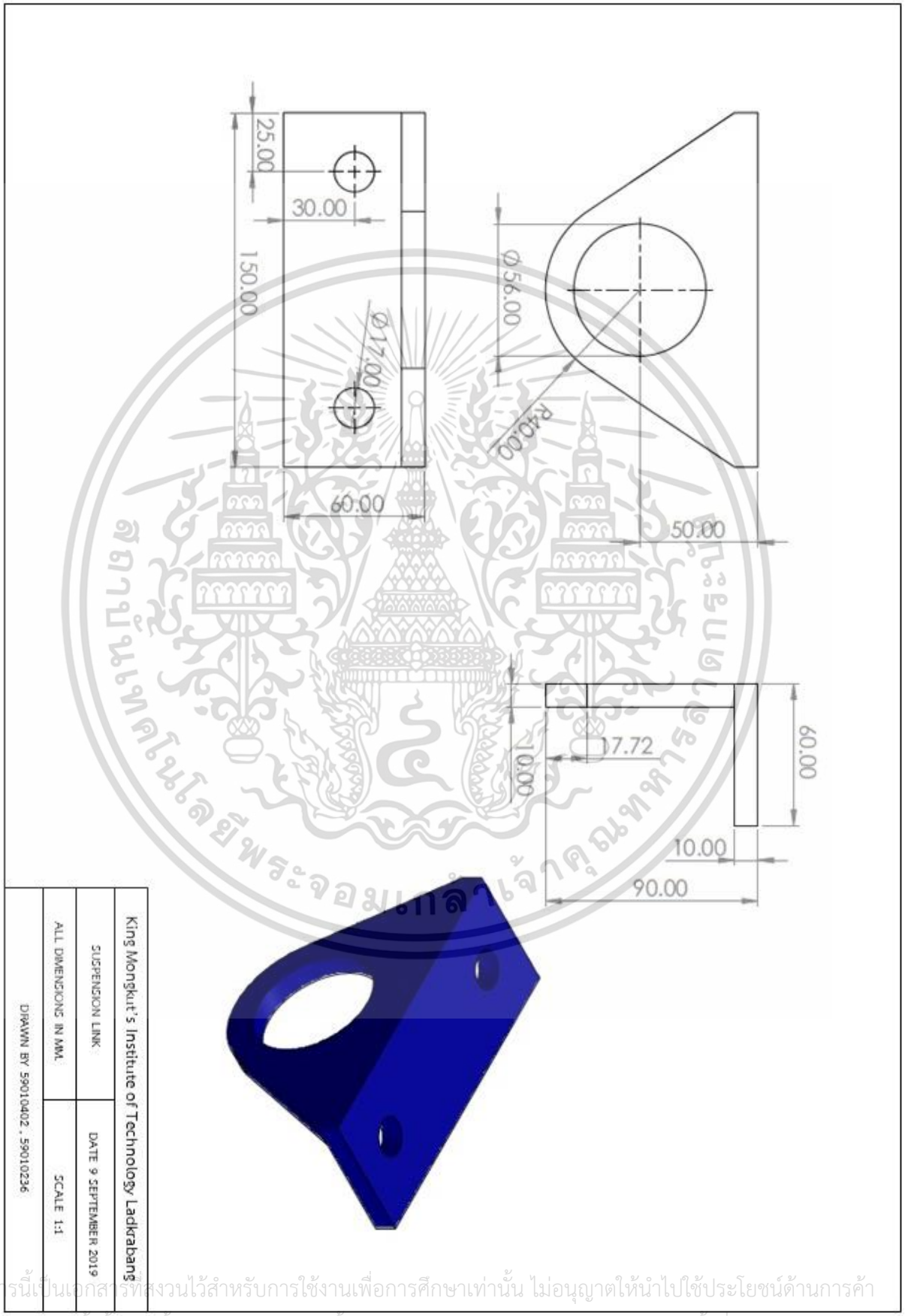
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



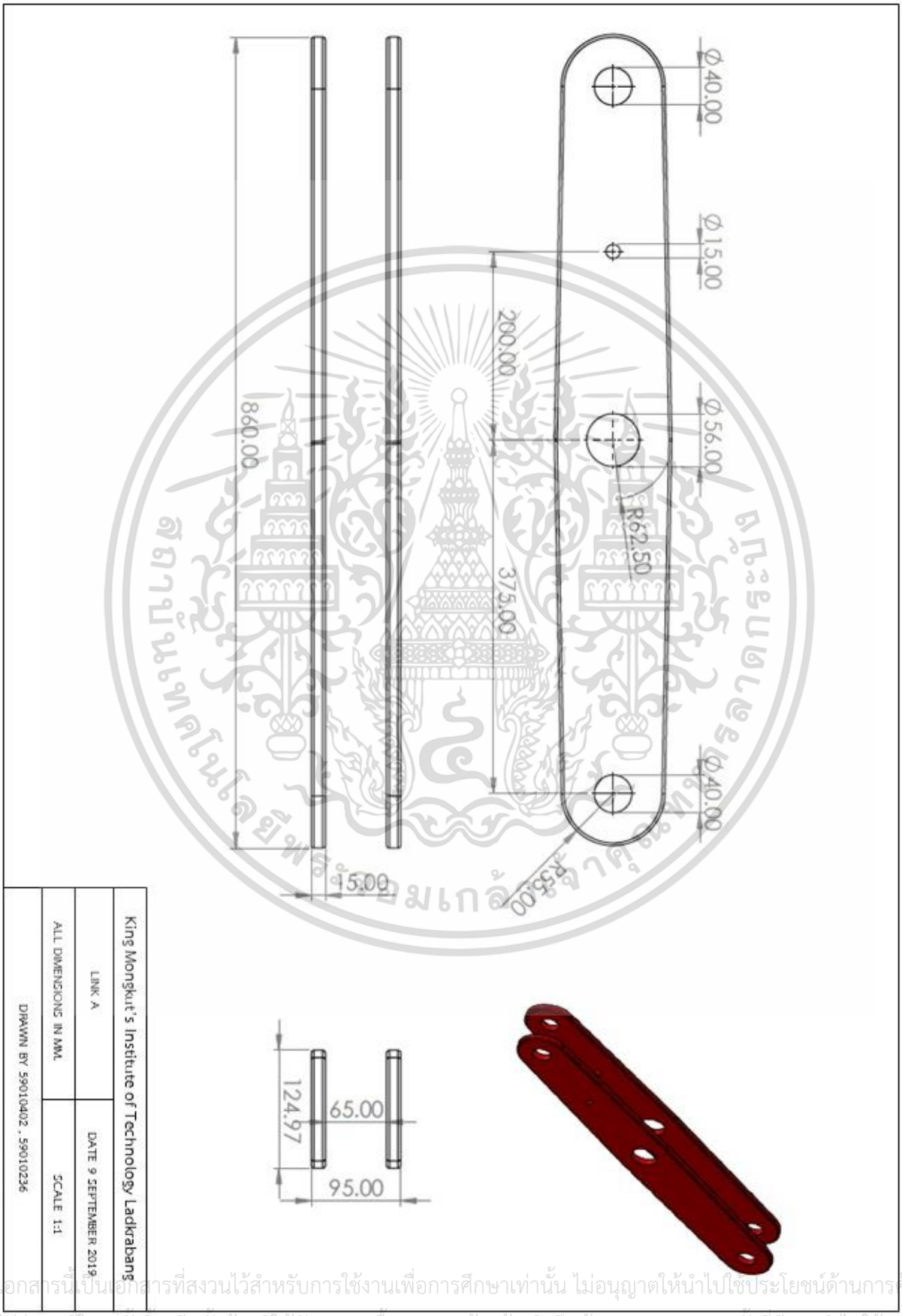
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



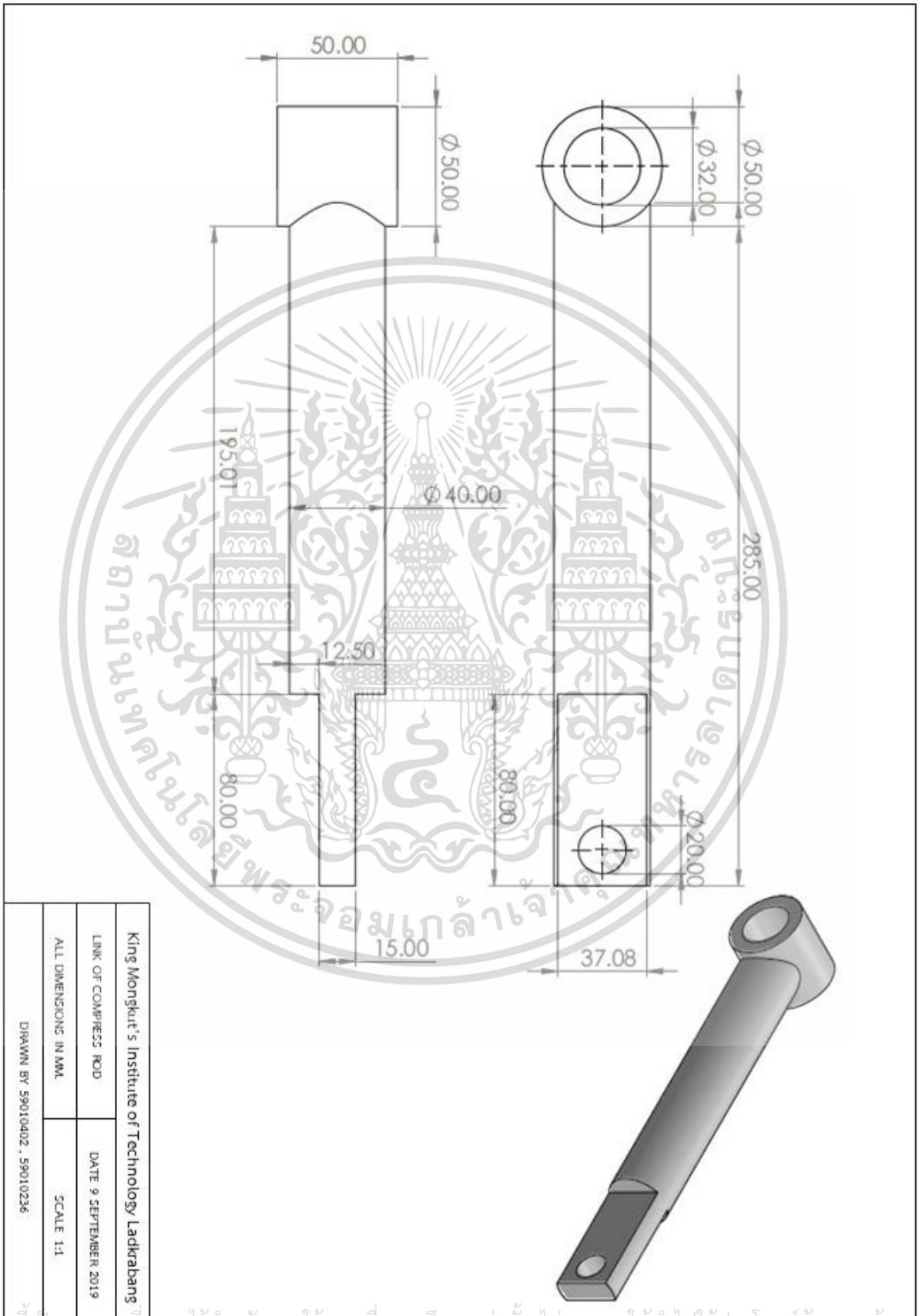
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

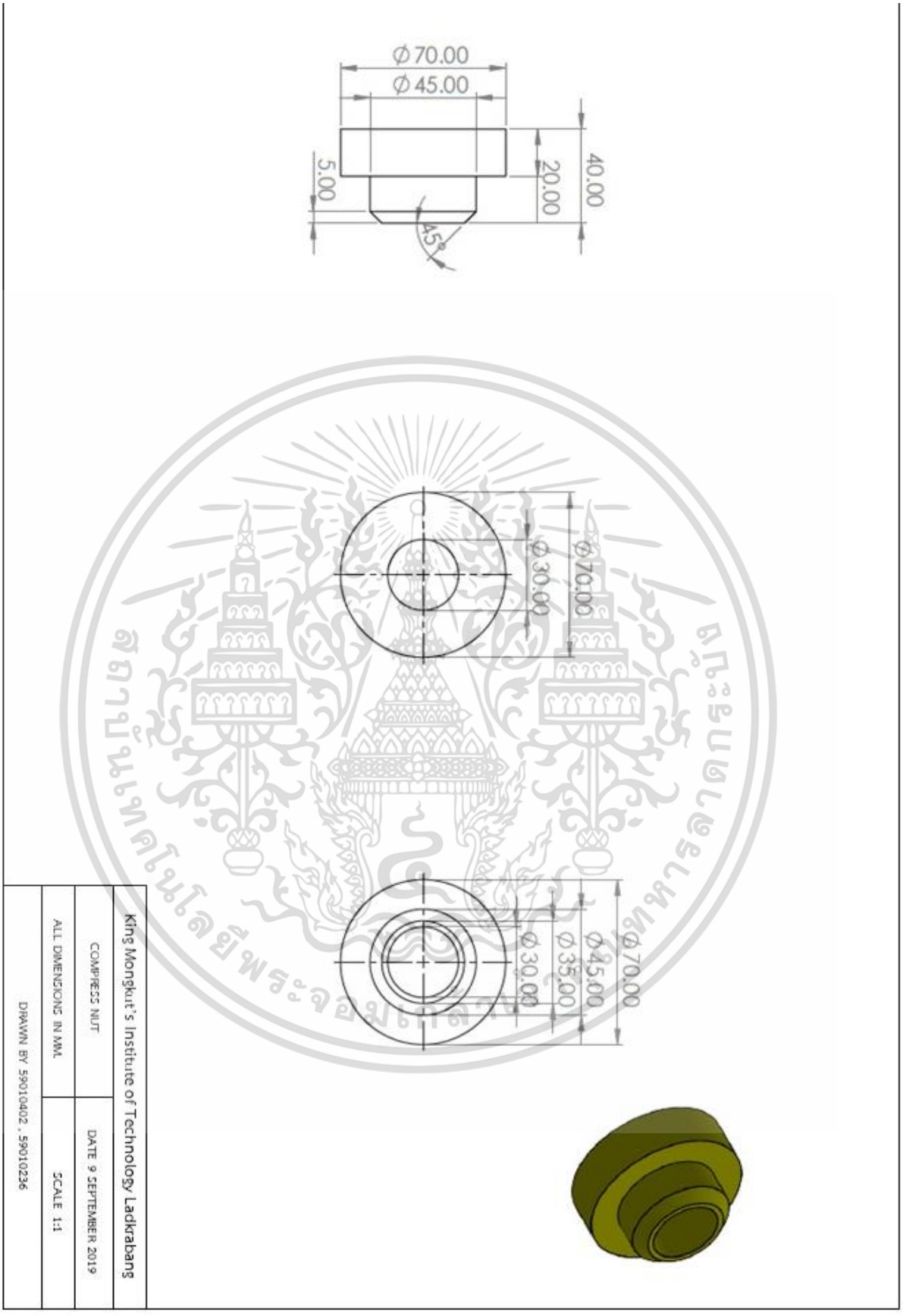


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้