การปรับปรุงชุดขนส่งลำเลียงสารชีวมวลด้วยเครื่องสั่นและการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่น

IMPROVEMENT THE BIOMASS TRANSPORT SYSTEM WITH VIBRATION FEEDER AND DEVELOPMENT DEVICE FOR VIBRATION ANALYSIS

รัฐกร สุขชาติ

วณัฏฐกร เขม้นกสิกรรม

อิทธิพัทร์ หลำโส๊บ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

IMPROVEMENT THE BIOMASS TRANSPORT SYSTEM WITH VIBRATION FEEDER AND DEVELOPMENT DEVICE FOR VIBRATION ANALYSIS

RATTAKORN SUKCHART

WANATHAKORN KHAMENKASIKAM

ITTHIPHAT LAMSOP

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

COPYRIGHT 2020

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงชุดขนส่งสารชีวมวลด้วยเครื่องสั่นและการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่น

IMPROVEMENT THE BIOMASS TRANSPORT SYSTEM WITH VIBRATION FEEDER AND DEVELOPMENT DEVICE FOR VIBRATION ANALYSIS

ผู้จัดทำ

นายรัฐกร สุขชาติ รหัสนักศึกษา 60010859

นายวณัฏฐกร เขม้นกสิกรรม รหัสนักศึกษา 60010884

นายอิทธิพัทร์ หลำโส๊บ รหัสนักศึกษา 60011195

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การปรับปรุงชุดขนส่งสารชีวมวลด้วยเครื่องสั่นและพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่น

นายรัฐกร สุขชาติ 60010859

นายวณัฏฐกร เขม้นกสิกรรม 60010884

นายอิทธิพัทร์ หลำโส๊บ 60011195

รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

การปรับปรุงชุดขนส่งสารชีวมวลด้วยเครื่องสั่นและพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่นนี้เป็นส่วนหนึ่งของ “โครงการพัฒนาและประเมินสมรรถนะสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเพื่อการใช้งานในระยะยาวสำหรับภาคอุตสาหกรรม”ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำโครงงาน “การปรับปรุงการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงโดยการใช้ถาดสั่นสะเทือน” มาพัฒนาต่อเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในที่นี้จะปรับแต่งโครงสร้างของคานเพื่อเสริมความแข็งแรงและเคลื่อนย้ายตำแหน่งการวางแหล่งกำเนิดการสั่นหรือมอเตอร์สั่นสะเทือน และเปลี่ยนสปริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งลำเลียง โดยถาดสั่นสะเทือนนี้มีหน้าที่ลดปัญหาการตกค้างของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงในท่อลำเลียงเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย ทำการทดลองโดยปรับปรุงระบบการสั่นสะเทือนให้ตอบสนองตามความต้องการที่ส่งผลให้การลำเลียงเชื้อเพลิงมีการตกค้างของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงน้อยที่สุด และได้ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนนี้เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องสั่นรุ่นก่อน โดยได้ทำการทดลองเพื่อหาความเร็วของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือน หลังจากนั้นทำการติดตั้งเซนเซอร์ที่จุดต่าง ๆของคานเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการสั่นของถาดสั่นสะเทือนโดยใช้วิธีการคำนวณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

IMPROVEMENT THE BIOMASS TRANSPORT SYSTEM WITH VIBRATION FEEDER AND DEVELOPMENT DEVICE FOR VIBRATION ANALYSIS

Rattakorn Sukchart 60010859

Wanathakorn Khamenkasikam 60010884

Itthiphat Lamsop 60011195

Assoc.Prof. Dr. Jarruwat Charoensuk Advisor

Year 2563

ABSTRACT

The improvement of the biomass transportation system with vibration feeder and development device for vibration analysis is part of the project "Biomass burner development in industrial boilers" This thesis aims to overcome the problem found in the project " Improving the transportation of biomass fuel by using vibration trays " so that it can be used efficiently. By strengthen the structure of the beam, change the position of the excitation, and change springs to improve the efficiency of the transportation. The vibration trays are used for reducing the residual of powdered biomass fuel left in the pipeline before entering the pre-combustion chamber. Improving the vibration system to response at resulted in transportation has minimum residual powdered biomass fuel left in the pipeline. And calculate the efficiency of this vibrating tray to compare with the previous vibrators tray by the experiment to determine the velocity of the powdered fuel in the pipeline which is an indicator of the efficiency of the vibrating tray. After that, install sensors at the beam of the vibrating tray to analyze the vibration by any method of the calculation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์จัดทำเพื่อประกอบการเรียนวิชา PROJECT โดยให้นักศึกษาได้นำความรู้ ความสามารถและทักษะต่าง ๆที่ได้สั่งสมมาในภาคทฤษฎีมาทำการปฏิบัติการเป็นการเพิ่มพูนความรู้ ความสามารถ ทักษะ และประสบการณ์ในด้านต่าง ๆให้แก่นักศึกษาได้เป็นอย่างดี เพื่อในภายภาคหน้าเมื่อนักศึกษาสำเร็จการศึกษาและต้องออกไปปฏิบัติงานจริง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะความกรุณาในการให้ความช่วยเหลือ แนะนำและชี้แนวทางของ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความกรุณานี้มาโดยตลอดระยะเวลาที่ได้ทำปริญญานิพนธ์นี้ และขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำชี้แนะเพิ่มเติม รวมถึงข้อผิดพลาดต่าง ๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์ รวมถึงคำชี้แนะข้อผิดพลาดเพิ่มเติมต่าง ๆ ซึ่งทำให้ผู้จัดทำรับทราบและเข้าใจปัญหานั้น ๆ และสามารถแก้ไขได้ทันท่วงที ขอบคุณเพื่อนพี่น้องนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ทุนและสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายรัฐกร	สุขชาติ	60010859
นายวณัฏฐกร	เขม้นกสิกรรม	60010884
นายอิทธิพัทร์	หลำโส๊บ	60011195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

Abstract.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 2

1.4 ขอบเขตของการทดลอง..... 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ..... 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 4

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 อุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือน 4

2.2 อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม 6

2.3.1 ชนิดโรตารี่ ROTARY TYPE..... 7

2.3.2 ชนิดแนวเส้นตรง LINEAR TYPE 7

2.3.3ชนิดเคาะหรือทุบ DIRECT IMPACT TYPE..... 7

2.3 ทฤษฎีสั่นสะเทือน..... 8

2.3.1 ทฤษฎีการสั่นสะเทือนแบบอิสระ 8

2.3.2 ทฤษฎีการสั่นสะเทือนแบบมีแรงบังคับ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3 การสั่นพ้อง 12
2.4 สปริง (spring) 13
2.4.1 สปริงบิด (torsion spring) 14
2.4.2 สปริงดึง (tension spring) 14
2.4.3 สปริงกด (compression spring) 15
2.4.4 แหวนสปริง (disc spring) 15
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า 16
2.5.1 สเตเตอร์(Stator) 17
2.5.2 โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) 17
2.6 กฎการอนุรักษ์พลังงาน 20
2.7 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 21
2.7.1 เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบไพอิโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive accelerometer) 21
2.7.2 เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive accelerometer) 21
บทที่ 3 23
การออกแบบและการคำนวณ 23
3.1 ขั้นตอนการทำงาน 23
3.2 การออกแบบถาดสั่นสะเทือน 25
3.3 การออกแบบท่อ 26
3.4 การคำนวณเพื่อเลือกสปริง 27
3.5 ปัญหาที่พบ และการแก้ไข 34
บทที่ 4 37
การติดตั้ง และการแก้ปัญหาการติดตั้งเพื่อทำการทดลอง 37
4.1 การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการทำงานของถาดสั่นสะเทือนหลังการติดตั้ง 39
4.2 การออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบหลังจากการติดตั้ง 40
บทที่ 5 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ปัญหา 42
5.1 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือน 42
5.2 การทดลองติดเซ็นเซอร์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของถาดสั่นสะเทือน 47
บทที่ 6 58
สรุปผล การปรับปรุง และข้อเสนอแนะ 58
6.1 สรุปผลการทดลอง 58
6.2 การปรับปรุง 59
6.3 ข้อเสนอแนะ 59
เอกสารอ้างอิง 61
ภาคผนวก 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตารางเลือกรุ่นสำหรับอุปกรณ์สร้างแรงสั่นด้วยลม [16] 4
รูปที่ 2. 2 การติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือน [16] 5
รูปที่ 2. 3 การติดตั้งอุปกรณ์ให้เกิดการสั่นรอบทิศทางและแนวเส้นตรง [16] 5
รูปที่ 2. 4 ลักษณะทิศทางการสั่น [16] 6
รูปที่ 2. 5 การติดตั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนในโรงงาน [16] 6
รูปที่ 2. 6 การติดตั้งอุปกรณ์การสั่นสะเทือนแบบระบบลม [16] 8
รูปที่ 2. 7 มวลติดสปริงระดับขั้นความอิสระ 1 และFree body diagram [8] 9
รูปที่ 2. 8 การสั่นสะเทือนอย่างอิสระที่ไม่มีการหน่วง [8] 9
รูปที่ 2. 9 มวลติดสปริงแบบมีแรงบังคับ และ Free body diagram [8] 10
รูปที่ 2. 10 การสั่นพ้องเมื่อเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ [8] 13
รูปที่ 2. 11 สปริงบิด (torsion spring) 14
รูปที่ 2. 12 สปริงดึง (tension spring) 15
รูปที่ 2. 13 สปริงกด (compression spring) 15
รูปที่ 2. 14 แหวนสปริง (disc spring) 16
รูปที่ 2. 15 มอเตอร์กระแสตรง (Direct current motor) [18] 19
รูปที่ 2. 16 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current motor) [19] 19
รูปที่ 2. 17 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบไพอิโซรีซิสทีฟ [20] 21
รูปที่ 2. 18 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบคาปาซิทีฟ [20] 22
รูปที่ 3. 1 สปริงและตัวยึดสปริง 25
รูปที่ 3. 2 ตำแหน่งการติดตั้งสปริงของถาดสั่นสะเทือน 25
รูปที่ 3. 3 ตำแหน่งการติดตั้งท่อส่งเชื้อเพลิงชนิดผง 26
รูปที่ 3. 4 ภาพไอโซเมทตริกของชุดถาดสั่นสะเทือน 26
รูปที่ 3. 5 โหมดการสั่นของคานปลายยื่น หรือ Cantilever Beam 27
รูปที่ 3. 6 โหมดการสั่นที่ 1 28
รูปที่ 3. 7 โหมดการสั่นที่ 2 28
รูปที่ 3. 8 โหมดการสั่นที่ 3 29
รูปที่ 3. 9 โหมดการสั่นที่ 1 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3. 10 โหมดการสั่นที่ 2 31
รูปที่ 3. 11 โหมดการสั่นที่ 3 31
รูปที่ 3. 12 โหมดการสั่นที่ 4 31
รูปที่ 3. 13 มวลไม่สมดุลภายในมอเตอร์สั่น 32
รูปที่ 3. 14 แผนภาพวัตถุอิสระ 32
รูปที่ 3. 15 การรั่วของเชื้อเพลิงผงบริเวณข้อต่อของท่องอ 34
รูปที่ 3. 16 ท่องอชนิดพลาสติกใช้ข้อลด 2 ½ เป็น 2 นิ้ว และใช้ซิลิโคนเป็นตัวเชื่อม 34
รูปที่ 3. 17 ท่อยางใสที่เปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง 35
รูปที่ 3. 18 ท่ออะคลิลิคใส 35
รูปที่ 4. 1 แสดงลักษณะการติดตั้งถาดสั่นสะเทือนก่อนทำการปรับปรุงแก้ไข 37
รูปที่ 4. 2 ลักษณะโครงสร้างของคาน และตำแหน่งของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุงแก้ไข 37
รูปที่ 4. 3 การติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชิ้นหลังจากการปรับปรุงแก้ไขโดยเป็นมุมมองจากด้านข้าง 39
รูปที่ 4. 4 ลักษณะโครงสร้างของคาน และตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ หลังการปรับปรุงแก้ไข 39
รูปที่ 4. 5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเชื้อเพลิง 40
รูปที่ 4. 6 การติดตั้งแท่งเหล็กกล่องเพื่อแก้ไขปัญหาการไหลย้อนกลับโดยเป็นมุมมองจากด้านข้าง . 40
รูปที่ 4. 7 การติดตั้งแท่งเหล็กกล่องเพื่อแก้ไขปัญหาการไหลย้อนกลับโดยเป็นมุมมองจากด้านบน .. 41
รูปที่ 5. 1 การทดลองการหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือน 44
รูปที่ 5. 2 ตำแหน่งที่จะติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (สีแดง) 47
รูปที่ 5. 3 ชุดทดลอง 48
รูปที่ 5. 4 การทดลอง 48
รูปที่ 5. 5 ความเร่งที่วัดได้จากการทดลอง 49
รูปที่ 5. 6 การชดเชยความเร่งของโลก 49
รูปที่ 5. 7 ความเร็วจากหาปริพันธ์เชิงตัวเลขจากความเร่ง 50
รูปที่ 5. 8 ระยะทางจากหาปริพันธ์เชิงตัวเลขจากความเร็ว 50
รูปที่ 5. 9 เปรียบเทียบค่าความเร่งของแกน Z ระหว่างการกรองกับไม่กรองสัญญาณ 51
รูปที่ 5. 10 การขยายกราฟเปรียบเทียบค่าความเร่งของแกน Z ระหว่างการกรองกับไม่กรองสัญญาณ 52
รูปที่ 5. 11 กราฟแสดงความเร่งที่วัดได้หลังจากผ่านการกรองสัญญาณ 52
รูปที่ 5. 12 การชดเชยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ควอเทอร์เนียน 54
รูปที่ 5. 13 มุม Pitch, Roll ของการทดลอง 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5. 14 มุม Yaw ของการทดลอง 55
รูปที่ 5. 15 ความเร็วจากความเร่ง 56
รูปที่ 5. 16 กราฟระยะทางจากความเร็ว 56
รูปที่ 5. 17 กราฟเปรียบเทียบความเร็วระหว่างก่อนการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ก) และหลังการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ข) 57
รูปที่ 5. 18 กราฟเปรียบเทียบระยะทางระหว่างก่อนการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ก) และหลังการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ข) 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3. 1 เปรียบเทียบความถี่ของโหมดการสั่น 27
ตารางที่ 3. 2 ตารางเปรียบเทียบความถี่การจำลองโหมดการสั่นที่ค่าคงที่สปริงต่าง ๆ..... 29
ตารางที่ 3. 3 รายการวัสดุที่ใช้..... 36
ตารางที่ 5. 1 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 0.5 kg/s 44
ตารางที่ 5. 2 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 1.0 kg/s..... 44
ตารางที่ 5. 3 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 1.5 kg/s..... 45
ตารางที่ 5. 4 ตารางแสดงค่าความเร็ว และกำลังงานที่ได้โดยเฉลี่ยที่อัตราการไหลต่างๆ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในปัจจุบันมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ในที่นี้จะใช้พลังงานจากสารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเนื่องจากหาได้ง่าย ไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ และที่สำคัญคือราคาถูกนั่นคือต้นทุนในการผลิตจะน้อยลง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการประกอบกิจการ แน่นอนว่าในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะต้องใช้ระบบขนส่งลำเลียงไม่ว่าจะเป็นการลำเลียงชิ้นส่วนต่าง ๆ หรือเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต โดยระบบลำเลียงเชื้อเพลิงที่นำมาปรับปรุงนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับผลิตไอน้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร” มีจุดประสงค์เพื่อนำเชื้อเพลิงชีวมวลของแข็ง (Solid Biomass) มาใช้ในการให้ความร้อน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้จะมีลักษณะเป็นชิ้นซึ่งต้องนำมาบดเป็นผงด้วยเครื่องบด (Pulverizer) และขนส่งลำเลียงด้วยเครื่องสั่น (Vibration Feeder) ไปยังห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-combustion chamber) โดยระหว่างลำเลียงเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ พบปัญหาการตกค้างของเชื้อเพลิง เนื่องจากท่อที่ลำเลียงมีแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสภายในท่อส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง การปรับปรุงระบบลำเลียงเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาเชื้อเพลิงตกค้างได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง

เนื่องจากโครงงานนี้ได้มีการริเริ่มเมื่อปีการศึกษา 2562 มีชื่อว่าโครงงาน “การปรับปรุงการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงโดยใช้ถาดสั่นสะเทือน” หรือ “Development of a Vibrating Tray for Transportation of Pulverized Biomass” แต่เนื่องจากเกิดวิกฤตการณ์โรคระบาดโควิด 19 (Covid 19) ทำให้ไม่สามารถดำเนินงานเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงงานได้ หรือโครงงานยังไม่เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงได้นำโครงงานนี้มาพัฒนาต่อเพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยปรับแต่งโครงสร้างของคานและตำแหน่งการวางแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนและการพัฒนาเซ็นเซอร์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นสะเทือน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องขนส่งลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องสั่น
2. ลดปัญหาการตกค้างของเชื้อเพลิงภายในท่อลำเลียง
3. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์สำหรับการตรวจรูปแบบการสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงแบบรางสั่นสะเทือนโดยใช้มอเตอร์จะช่วยลดการตกค้างของเชื้อเพลิงชีวมวลบริเวณท่อลำเลียงได้ โดยรางสั่นสะเทือนมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบมวล - สปริง (Spring – Mass)

1.4 ขอบเขตของการทดลอง

1. เพิ่มประสิทธิภาพของท่อขนส่งสำเลียงด้วยถาดสั่นสะเทือน
2. เพื่อเตรียมความพร้อมของการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาเซนเซอร์วิเคราะห์การเคลื่อนที่

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษากระบวนการทำงานและปัญหาหรือข้อผิดพลาดในกระบวนการทำงานของเครื่องลำเลียงด้วยถาดสั่นสะเทือนของโครงงานก่อนหน้านี้
2. กำหนดขอบเขตการดำเนินงาน
3. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตัวแปรที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อการควบคุมระบบลำเลียงโดยใช้ท่อลำเลียงด้วยถาดสั่นสะเทือน
4. ออกแบบรางขนส่งลำเลียงสั่นสะเทือนโดยปรับแต่งโครงสร้างของคานและเขียนแบบทางวิศวกรรมลงบนโปรแกรม Solidworks
5. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ และสร้างรางลำเลียงสั่นสะเทือนตามที่ได้ออกแบบไว้
6. ติดตั้งและทดสอบการทำงานของรางลำเลียงสั่นสะเทือนเพื่อวิเคราะห์ปัญหาหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น
7. ศึกษาปัญหาหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาแก้ไขและปรับปรุงระบบรางลำเลียง
8. แก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และทดสอบการทำงานหลังจากได้รับการแก้ไขแล้ว
9. ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชิ้นงาน
10. สร้างเซ็นเซอร์วิเคราะห์การสั่น
11. ทดลองวิเคราะห์ และการคำนวณผลที่ได้จากเซ็นเซอร์
12. สรุปผลการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้เครื่องขนส่งลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยถาดสั่นสะเทือนในการแก้ไขปัญหาการตกค้างของผงเชื้อเพลิงบริเวณท่อลำเลียงก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย
2. ประสิทธิภาพในการขนส่งลำเลียงเชื้อเพลิงมากขึ้น
3. สามารถใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับรูปแบบการสั่นของระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่อง“ระบบลำเลียงเชื้อเพลิง” ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสารรายงานและรวบรวมแนวคิดทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการศึกษาวิจัย ดังนี้

2.1 อุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือน

อุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือน (Vibrator) สำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ใช้กับงานที่ต้องการการเคาะ สั่น เขย่า ช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการใช้แรงคนในการทำงาน และปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวเครื่องจักรและอุปกรณ์ อุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนมีทั้งแบบสั่งการด้วยลมและสั่งการด้วยไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะงาน และความสะดวกของผู้ใช้

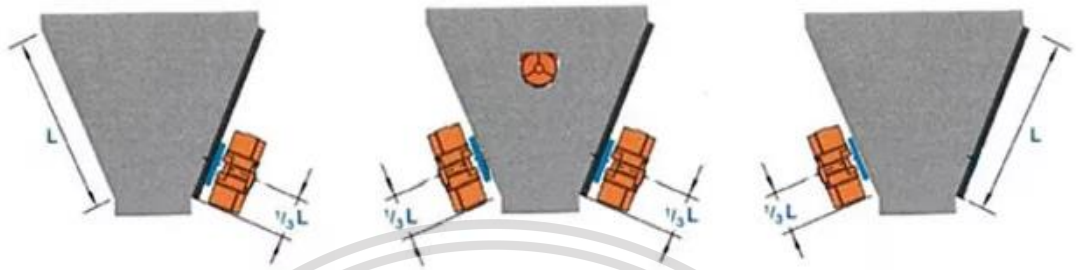
Weight of the content in kg	Materials					
	dry/loose grain, corn, coffee dry powders, flours			humid/wet/bulky cement, concrete, sugar salt, chemicals		
	Ball Vibrator K-Type	Roller Vibrator R-Type	Golden Turbine GT-Type	(Ball) Roller Vibrator R-Type	DAR Vibrator	Golden Turbine GT-Type
	noisy	noisy	silent	noisy	noisy	silent
50	K-8		GT-8	K-10		GT-8
100	K-8		GT-8	K-13		GT-8
200	K-10		GT-8	K-16		GT-8
300	K-13		GT-8	K-20		GT-8
500	K-16		GT-8	R-50		GT-8
800	K-20	R-50	GT-8	R-50	DAR-2	GT-10
1,000	K-25	R-50	GT-13	R-50	DAR-2	GT-16
1,500	K-30	R-50	GT-16	R-65	DAR-3	GT-20
2,000	K-36	R-65	GT-20	R-80	DAR-4	GT-25
3,000	K-36	R-65	GT-25	R-100	DAR-5	GT-36
5,000		R-80	GT-30	R-120	DAR-6	GT-40
8,000		R-100	GT-40		DAR-7	GT-78
10,000		R-100	GT-48		DAR-7	GT-48-S

รูปที่ 2.1 ตารางเลือกรุ่นสำหรับอุปกรณ์สร้างแรงสั่นด้วยลม [16]

โดยทั่วไปใช้ในการเขย่าวัสดุที่ติดตาม Silo/Hopper ให้ไหลลงมา รูปแบบการติดแบ่งได้ 4 แบบ คือ แบบวัสดุอัดติดกันแน่น (COMPACTION) แบบติดตามด้านข้างเป็นช่องยาวตรงกลาง (RAT HOLE) แบบติดขัดบริเวณปากทางออก (BRIDGING) และสุดท้ายแบบติดอยู่เล็กน้อย (REMAINDERS) ถ้าจะทำให้วัสดุที่ติดอยู่ไหลออกโดยการเคาะ ทุบ ตี อาจทำให้ตัว Silo/Hopper ได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลักจากเลือกรุ่นได้แล้ว ตัวอุปกรณ์จะถูกนำไปติดตั้งที่ตัว Silo/Hopper ที่ระยะ 1 ใน 3 ของความสูงนับจากปากทางออก ถ้าติดมากกว่า 1 ตัว ตำแหน่งต่อไปติดที่ระดับเดียวกัน แต่ฝั่งตรงกันข้าม และตัวต่อมาติดที่ระยะ 2 ใน 3 ของความสูงนับจากปากทางออก ระหว่างตัวที่ 1 กับ 2 และตัวต่อไปติดฝั่งตรงกันข้าม

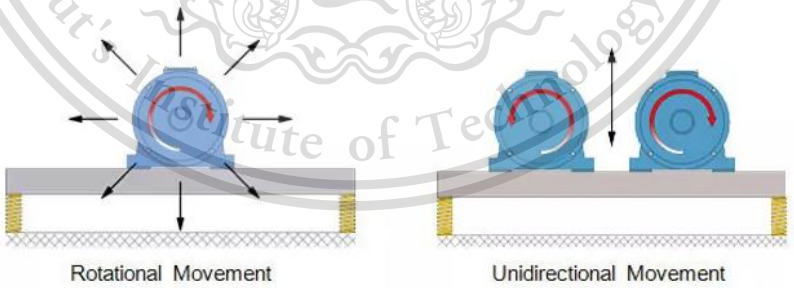


รูปที่ 2. 2 การติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือน [16]

ในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงสั่น เราไม่ควรติดตั้งโดยตรงกับตัว Silo/Hopper ควรทำแผ่นเพลทลองไว้ก่อน โดยความหนาของแผ่นเพลทขึ้นอยู่กับแรงสั่น เช่น แรงสั่นขนาด 300 kg ควรใช้แผ่นเพลทหนา 10 mm แรงสั่นขนาด 800-1,000 kg ควรใช้แผ่นเพลทหนา 12-15 mm และแรงสั่นขนาด 1,800-2,300 kg ควรใช้แผ่นเพลทหนา 20-25 mm เป็นต้น

โดยทั่วไปอุปกรณ์สร้างแรงสั่นจะสร้างแรงสั่นจากตัวรอบทิศทาง เราสามารถดัดแปลงการติดตั้งโดยการติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงสั่นให้มีทิศทางการหมุนสวนทางกันไว้ด้วยกัน จะทำให้เกิดแรงสั่นในแนวเส้นตรง

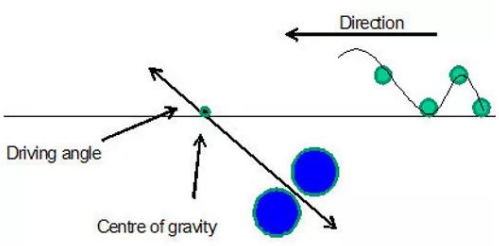
ลักษณะงานที่ใช้การสั่นแนวเส้นตรง คือ การแยกขนาดวัสดุ และการลำเลียงวัสดุ



รูปที่ 2. 3 การติดตั้งอุปกรณ์ให้เกิดการสั่นรอบทิศทางและแนวเส้นตรง [16]

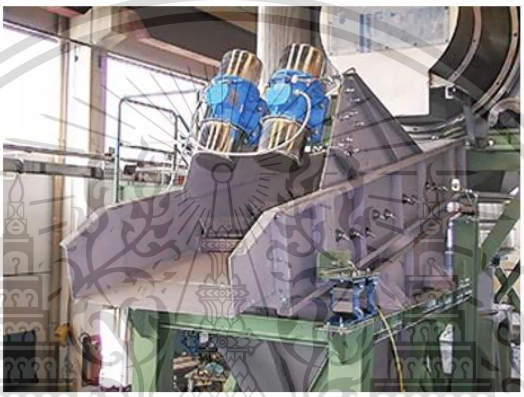
ในการติดตั้งเพื่อใช้ในการแยกขนาดวัสดุหรือการลำเลียงวัสดุนั้น ต้องติดตั้งให้แนวการสั่นทำมุมเอียงกับระนาบของถาดที่ใส่วัสดุ โดยมุมเอียงขึ้นอยู่กับลักษณะงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2. 4 ลักษณะทิศทางการสั่น [16]

ถ้าเป็นลักษณะการแยกขนาดวัสดุ ใช้มุมเอียงประมาณ 40-50 องศา ส่วนการลำเลียงวัสดุนั้นใช้มุมเอียงประมาณ 20-40 องศา



รูปที่ 2. 5 การติดตั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนในโรงงาน [16]

2.2 อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม

เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ก่อให้เกิดการสั่นในตำแหน่งที่ติดตั้งโดยใช้ลมในลักษณะเดียวกับอุปกรณ์นิวมาติก มีตั้งแต่รุ่นเล็กขนาด 50 mm สร้างแรงต่ำ ไปจนถึงขนาดใหญ่ 120 mm ซึ่งสร้างแรงได้ถึง 1200 kgs

1. ข้อดีของอุปกรณ์สั่นระบบลม
   - มีประสิทธิภาพสูง แรงที่ได้เทียบกับพลังงานที่ใส่เข้าไป
   - โครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมทำให้ทำความสะอาดง่ายและทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี
   - ใช้ลมน้อย แรงสั่นและความถี่สามารถปรับได้จากแรงลมที่ป้อนเข้าไป
   - โครงสร้างแข็งแรง การบำรุงรักษาต่ำ
   - มีรุ่นให้เลือกใช้มาก
   - ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ รองรับ ATEX STANDARD คือใช้ได้กับพื้นที่ที่ง่ายต่อการระเบิด

ชนิดอุปกรณ์สั่นสะเทือนแบบลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.1 ชนิดโรตารี่ ROTARY TYPE

- การสั่นจากการหมุนที่มีแรงหนีศูนย์ไม่สมดุล

2.3.1.1 PNEUMATIC VIBRATOR VB-TYPE

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนวนของลูกบอลเหล็กทรงกลมแรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 13-405 kgs ที่ความถี่ 25500 - 10000 VPM

2.3.1.2 PNEUMATIC VIBRATOR VR-TYPE

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนเหวี่ยงของลูกเหล็กทรงกระบอก แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 107-1250 kgs ที่ความถี่ 25000 - 12500 VPM

2.3.1.3 PNEUMATIC VIBRATOR VT-TYPE

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนของเฟืองเทอร์ไบน์ที่มีน้ำหนักไม่สมดุล แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 13-1200 kgs ที่ความถี่ 14000 - 6300 VPM

2.3.2 ชนิดแนวเส้นตรง LINEAR TYPE

– การสั่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบ

2.3.2.1 PNEUMATIC VIBRATOR P-M-TYPE

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบ แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 3-100 kgs ที่ความถี่ 2400 - 9300 VPM

2.3.2.2 PNEUMATIC VIBRATOR NP-TYPE

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบเช่นเดียวกับรุ่น FP แต่แรงจะได้มากกว่าถือว่าเป็นรุ่น HEAVY DUTYแรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 27 - 200 kgs ที่ความถี่ 2500 - 6000VPM

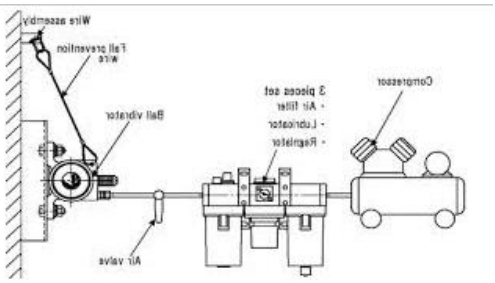
2.3.3ชนิดเคาะหรือทุบ DIRECT IMPACT TYPE

– เป็นแรงกระทำที่เกิดจากลูกสูบกระแทกโดยตรงที่ผนัง

2.3.3..1 PNEUMATIC KNOCKER AIR KNOCKER

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงกระแทกโดยตรงกับผนังไซโลแต่ไม่ทำให้ผนังเสียหายแรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 7-415 Nm/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2. 6 การติดตั้งอุปกรณ์การสั่นสะเทือนแบบระบบลม [16]

2.3 ทฤษฎีสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนเป็นปรากฏการณ์ทางกลโดยการสั่นเกิดขึ้นเกี่ยวกับจุดสมดุล คำนี้มาจากการสั่นสะเทือนภาษาละติน ("shaking, brandishing") การสั่นอาจเกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ เช่นการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มหรือแบบสุ่มเช่นการเคลื่อนที่ของยางบนถนนลูกรัง การสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่พึงปรารถนา: ตัวอย่างเช่นการเคลื่อนที่ของส้อมเสียงไม้อ้อในเครื่องเป่าลมไม้หรือหีบเพลงปากโทรศัพท์มือถือหรือกรวยของลำโพง อย่างไรก็ตามในหลายกรณีการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาสิ้นเปลืองพลังงานและสร้างเสียงที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่นการเคลื่อนไหวที่สั่นสะเทือนของเครื่องยนต์มอเตอร์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์กลไกใด ๆ ในการทำงานมักไม่เป็นที่ต้องการ การสั่นสะเทือนดังกล่าวอาจเกิดจากความไม่สมดุลในชิ้นส่วนที่หมุนแรงเสียดทานที่ไม่สม่ำเสมอหรือการเสียดสีของฟันเฟือง การออกแบบอย่างระมัดระวังมักจะลดการสั่นสะเทือนที่ไม่ต้องการ การศึกษาเรื่องเสียงและการสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เสียงหรือคลื่นความดันถูกสร้างขึ้นโดยโครงสร้างที่สั่นสะเทือน (เช่นสายเสียง) คลื่นความดันเหล่านี้ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง (เช่นเอียร์ดรัม) ดังนั้นการพยายามลดเสียงรบกวนมักเกี่ยวข้องกับปัญหาการสั่นสะเทือน

2.3.1 ทฤษฎีการสั่นสะเทือนแบบอิสระ

การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free vibration) หมายถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรง หรือ แรงบิดมารบกวนสภาวะสมดุลในตอนแรกทำให้เริ่มสั่นสะเทือน แต่ขณะที่สั่นสะเทือนเป็นการสั่นอย่างอิสระ ไม่มีแรงหรือแรงบิดภายนอกใดมากระทำต่อระบบเลย

2.3.1.1 สมการการเคลื่อนที่ของการสั่นแบบอิสระ

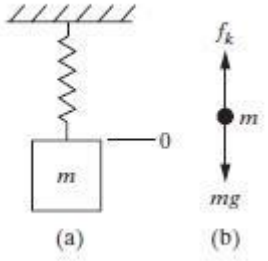
สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังสมการ

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t)$$

เป็นสมการตั้งต้นของการคำนวณการสั่นสะเทือนโดยมีตัวแปร มวล ตัวหน่วง และค่าคงที่ของสปริง และแรง แต่ในกรณีนี้เป็นแบบไม่มีแรงบังคับ ดังนั้นแรงจะเป็นศูนย์ สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=0$$



รูปที่ 2. 7 มวลติดสปริงระดับขั้นความอิสระ 1 และFree body diagram [8]

จากรูปที่ 2.8 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\downarrow_{+}\sum F_x = m\ddot{x} \tag{2-1}$$

$$-kx = m\ddot{x} \tag{2-2}$$

$$\ddot{x}+\frac{k}{m}x=0 \tag{2-3}$$

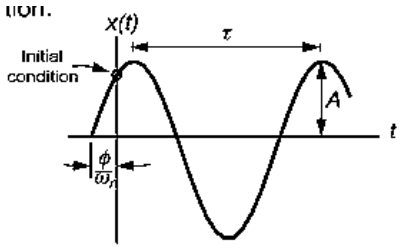
$$\ddot{x}+\omega_n^2 x=0 \tag{2-4}$$

จากสมการที่ 2-3 และ 2-4 เป็นสมการของการเคลื่อนที่เชิงอนุพันธ์ของระบบที่มีการสั่นอย่างอิสระที่ไม่มีตัวหน่วงด้วยความถี่ธรรมชาติคงที่ จะได้ว่า

$$\omega_n^2=\frac{k}{m}\rightarrow\omega_n=\sqrt{\frac{k}{m}} \tag{2-5}$$

รูปแบบสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิค จะสามารถเขียนได้ในรูป

$$x(t)=A\sin(\omega_n t+\phi) \tag{2-6}$$



รูปที่ 2. 8 การสั่นสะเทือนอย่างอิสระที่ไม่มีการหน่วง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 ทฤษฎีการสั่นสะเทือนแบบมีแรงบังคับ

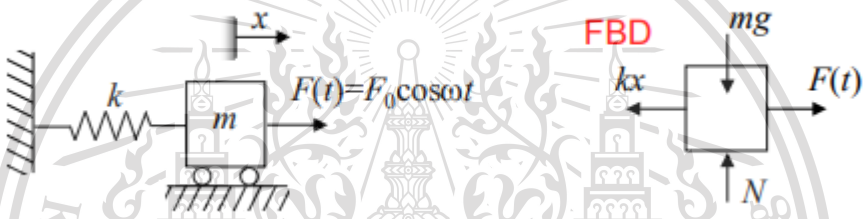
การสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Force vibration) เป็นการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดเนื่องจากพลังงานภายนอก กระทำกับระบบระหว่างการสั่นสะเทือน โดยพลังงานภายนอกที่กระทำนั้นอาจจะอยู่ในรูปของแรง แรงบิด หรืออาจเป็นการขจัดเพื่อบังคับให้เกิดการสั่นก็ได้

2.3.2.1 สมการการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนแบบบังคับที่ไม่มีตัวหน่วงการสั่นสะเทือนและผลเฉลย

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = F_0 \cos \omega t \tag{2-7}$$

หรือ

$$\ddot{x}(t) + \omega^2_n x(t) = f_0 \cos \omega t \tag{2-8}$$



รูปที่ 2. 9 มวลติดสปริงแบบมีแรงบังคับ และ Free body diagram [8]

คำตอบหรือผลเฉลย x(t) ที่แสดงลักษณะการสั่นสะเทือนของระบบแบ่งออกเป็นสองส่วน ตามสมการ

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t) \tag{2-9}$$

$x_h(t)$ คือ homogeneous solution เป็นคำตอบของสมการ $m\ddot{x}(t) + kx(t) = 0$

$x_p(t)$ คือ Particle solution เป็นคำตอบของสมการ $m\ddot{x}(t) + kx(t) = F_0 \cos \omega t$

เนื่องจาก $x_h(t)$ เป็นคำตอบของสมการ $m\ddot{x}(t) + kx(t) = 0$ เป็นสมการการสั่นสะเทือนอย่างอิสระของระบบที่ไม่มีตัวหน่วงการสั่นสะเทือน สามารถเขียนได้ตามสมการ

$$x_h(t) = A_1 \sin \omega_n t + A_2 \cos \omega_n t \tag{2-10}$$

หรือ

$$x_h(t) = A \sin(\omega_n t + \phi) \tag{2-11}$$

วัตถุเมื่อมีการระบบสั่นที่ความถี่ ω แล้ว วัตถุนั้นจะสั่นที่ความถี่ ω ด้วย และเนื่องจากการกระตุ้น อยู่ในรูปของฟังก์ชั่น cosine ลักษณะคำตอบของสมการจึงต้องเป็นฟังก์ชั่น cosine ด้วย จึงได้สมการเป็น

$$x_p(t) = X \cos \omega t \tag{2-12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดย X เป็นขนาดของ $x_p(t)$ซึ่ง เมื่อนำไปแทนค่าในสมการจะได้

$$-\omega^2 mX\cos\omega t + kX\cos\omega t = F_0\cos\omega t$$

$$X= \frac{F_0}{k-m\omega^2} \tag{2-13}$$

จะได้ $$x_p(t) = \frac{F_0}{k-m\omega^2}\cos\omega t \tag{2-14}$$

จากสมการ(2-3) แทนค่า $x_h(t), x_p(t)$ จะได้

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t) = A_1\sin\omega_n t + A_2\cos\omega_n t + \frac{F_0}{k-m\omega^2}\cos\omega t \tag{2-15}$$

โดยค่าคงที่ A1 และ A2 สามารถหาได้จากเงื่อนไขค่าเริ่มต้น

แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้การกระตุ้นที่ความถี่ ω กับระบบ ระบบจะสั่นที่ความถี่ สองความถี่ ได้แก่ความถี่ธรรมชาติ ω_n และความถี่ที่เท่ากับความถี่ที่มากระตุ้นกระตุ้น ω โดยขนาดของ การสั่นที่เท่ากับความถี่ที่มากระตุ้น ω จะขึ้นอยู่กับ ขนาดของการกระตุ้น และสมบัติของระบบ ได้แก่ความ แข็งสปริง และมวล ส่วนขนาดของการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติ ω_n จะขึ้นกับสภาวะเริ่มต้นของการสั่นเท่านั้น

2.3.2.2 เงื่อนไขค่าเริ่มต้นกับการสั่นสะเทือนแบบบังคับสำหรับระบบที่ไม่มีตัวหน่วงการสั่นสะเทือน ขนาดของการสั่นสะเทือนเนื่องจากการกระตุ้นภายนอก $x_p(t)$จะขึ้นอยู่กับขนาดของการกระตุ้น และสมบัติของระบบ อย่างไรก็ตามขนาดการสั่นสะเทือน $x_h(t)$ จะขึ้นกับเงื่อนไขเริ่มต้นการสั่นสะเทือน ดัง แสดงด้วยเทอมค่าคงที่ A_1 และ A_2 ในสมการ (2-9) ค่าคงนี้เหล่านี้สามารถหาได้ดังวิธีแสดงในตัวอย่าง ต่อไปนี้

กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นขณะเริ่มสั่น วัตถุอยู่นิ่งที่ตำแหน่ง $x_0 = 0$ และมีความเร็วเป็นศูนย์ หรือ $v_0 = 0$ แทนเงื่อนไขลงในสมการ (2-9) จะได้

$$x_0 = A_2 + \frac{F_0}{k-m\omega^2}$$

หรือ $$A_2 = x_0 - \frac{F_0}{k-m\omega^2} \tag{2-16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความเร็วการเคลื่อนที่หาได้โดยหาอนุพันธ์ของสมการที่ (4-9) ดังนี้

$$\dot{x}(t) = A_1\omega_n \cos\omega_n t + A_2\omega_n \sin\omega_n t + \frac{F_0\omega}{k - m\omega^2}\sin\omega t \qquad (2\text{-}17)$$

แทนเงื่อนไขที่ 2 ลงในสมการ (4-11) จะได้

$$\dot{x}_0 = v_0 = A_1\omega_n$$

จะได้

$$A_1 = \frac{v_0}{\omega_n} \qquad (2\text{-}18)$$

แทนค่า A_1 และ A_2 ที่หาได้ในสมการ (2-9) จะได้สมการแสดงการเคลื่อนที่ดังนี้

$$x(t) = \frac{v_0}{\omega_n}\sin\omega_n t + (x_0 - \frac{F_0}{k - m\omega^2})\cos\omega_n t + \frac{F_0}{k - m\omega^2}\cos\omega t \qquad (2\text{-}19)$$

2.3.3 การสั่นพ้อง

คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อใส่พลังงานให้กับวัตถุ จะทำให้วัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ ถ้าความถี่ของพลังงานที่ให้แก่วัตถุมีความถี่เท่ากับความถี่ของการสั่นตามธรรมชาติของวัตถุนั้นเป็นผลทำให้วัตถุนั้นรับพลังงานรับพลังงานเข้าไปได้ดีที่สุดจึงทำให้วัตถุนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มากขึ้น การสั่นจะรุนแรงมากขึ้น

เมื่อเกินกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุยืดหยุ่นจะรับไว้ได้ระบบจะพังลงในกรณีการสั่นพ้อง สมการซึ่งแสดงค่า x_p สามารถเขียนได้ดังนี้

$$x_p(t) = tX\sin\omega t \qquad (2\text{-}20)$$

ตามที่อธิบายไว้ใน Boyce และ DiPrima (2009) แทนค่าสมการ 2-14 ในสมการ 2-2 แก้หา X จะได้

$$x_p(t) = \frac{f_0}{2\omega}t\sin\omega t \qquad (2\text{-}21)$$

กำหนดให้สมการอยู่ในรูป ($\omega = \omega_n$)

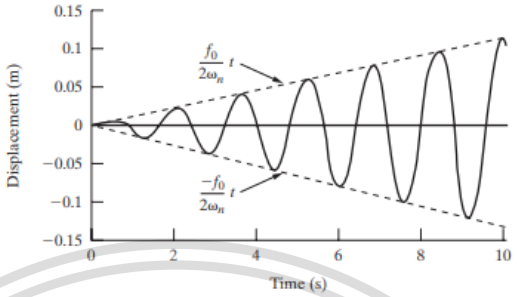
$$x(t) = A_1\sin\omega t + A_2\cos\omega t + \frac{f_0}{2\omega}t\sin\omega t \qquad (2\text{-}22)$$

กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น x_0 และ v_0

$$x(t) = \frac{v_0}{\omega}\sin\omega t + x_0\cos\omega t + \frac{f_0}{2\omega}t\sin\omega t \qquad (2\text{-}23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เขียนกราฟได้ดังรูป จะเห็นได้ว่า $x(t)$ไม่ขึ้นกับตัวแปรอื่น สิ่งนี้จะกำหนดปรากฏการณ์ของการสั่นพ้อง กล่าวคือแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนจะไม่ถูกกำหนดไว้ที่ $\omega = \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ซึ่งเป็นผลทำให้สปริงเสียหาย



รูปที่ 2. 10 การสั่นพ้องเมื่อเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ [8]

2.4 สปริง (spring)

สปริงเป็นวัตถุยืดหยุ่นที่เก็บพลังงานกล สปริงมักทำจากเหล็กสปริง มีสปริงหลายแบบในการใช้งานในชีวิตประจำวันมักหมายถึงคอยล์สปริง เมื่อสปริงธรรมดาที่ไม่มีคุณสมบัติความแปรปรวนของความแข็งถูกบีบอัดหรือยืดออกจากตำแหน่งพักมันจะออกแรงต่อต้านตามสัดส่วนโดยประมาณกับความยาวที่เปลี่ยนไป (ค่าประมาณนี้จะแบ่งออกเพื่อการโก่งตัวที่ใหญ่ขึ้น) อัตราหรือค่าคงที่ของสปริงของสปริงคือการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ออกแรงหารด้วยการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของสปริง นั่นคือมันคือการไล่ระดับสีของแรงเทียบกับเส้นโค้งโก่ง อัตราการขยายหรือการบีบอัดของสปริงจะแสดงในหน่วยของแรงหารด้วยระยะทางเช่นหรือ N / m หรือ lbf / in สปริงแรงบิดคือสปริงที่ทำงานโดยการบิด เมื่อบิดเกี่ยวกับแกนด้วยมุมจะทำให้เกิดแรงบิดตามสัดส่วนของมุม อัตราแรงบิดของสปริงอยู่ในหน่วยของแรงบิดหารด้วยมุมเช่น N · m / rad หรือ ft · lbf / degree อัตราการผกผันของสปริงเป็นไปตามนั่นคือ: ถ้าสปริงมีอัตรา 10 นิวตัน / มม. จะมีค่า 0.1 มม. / นิวตัน ความแข็ง (หรืออัตรา) ของสปริงแบบขนานเป็นส่วนเสริมเช่นเดียวกับความสอดคล้องของสปริงในอนุกรม สปริงทำจากวัสดุยืดหยุ่นหลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่เป็นเหล็กสปริง สปริงขนาดเล็กสามารถพันจากสต็อกที่ผ่านการชุบแข็งไว้แล้วในขณะที่สปริงขนาดใหญ่ทำจากเหล็กอบอ่อนและชุบแข็งหลังจากการผลิต นอกจากนี้ยังใช้โลหะที่ไม่ใช่เหล็กบางชนิดเช่น ฟอสเฟอร์บรอนซ์และไททาเนียมสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องการความต้านทานการกัดกร่อนและทองแดงเบริลเลียมสำหรับสปริงที่มีกระแสไฟฟ้า (เนื่องจากมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1 สปริงบิด (torsion spring)

สปริงแรงบิดเป็นสปริงที่ทำงานโดยการบิดปลายไปตามแนวแกน นั่นคือวัตถุยืดหยุ่นที่ยืดหยุ่นซึ่งเก็บพลังงานกลเมื่อถูกบิด เมื่อบิดมันจะออกแรงบิดในทิศทางตรงกันข้ามตามสัดส่วนกับจำนวน (มุม) ที่บิด มีหลากหลายประเภท: ทอร์ชั่นบาร์คือแถบตรงของโลหะหรือยางที่ถูกบิด (ความเค้นเฉือน) เกี่ยวกับแกนโดยใช้แรงบิดที่ปลาย รูปแบบที่ละเอียดอ่อนกว่าที่ใช้ในเครื่องมือที่ละเอียดอ่อนเรียกว่า ทอร์ชั่นไฟเบอร์ ประกอบด้วยใยไหมแก้วหรือควอตซ์ภายใต้ความตึงเครียดซึ่งบิดเป็นเกลียวเกี่ยวกับแกนของมัน สปริงบิดเกลียวเป็นแท่งโลหะหรือลวดที่มีรูปร่างเป็นเกลียว (ขดลวด) ซึ่งอาจเกิดการบิดเกี่ยวกับแกนของขดลวดโดยแรงด้านข้าง (ช่วงเวลาการโค้งงอ) ที่ใช้กับปลายบิดขดลวดให้แน่น นาฬิกาใช้สปริงบิดเกลียว (รูปแบบของสปริงบิดเกลียวที่ขดลวดอยู่รอบ ๆ กันแทนที่จะซ้อนกัน) บางครั้งเรียกว่า "สปริงนาฬิกา" หรือเรียกขานกันว่าสปริงหลัก สปริงแรงบิดประเภทนี้ยังใช้สำหรับบันไดห้องใต้หลังคาคลัตช์และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการแรงบิดคงที่ใกล้เคียงสำหรับมุมขนาดใหญ่หรือแม้แต่การหมุนหลายรอบ

รูปที่ 2. 11 สปริงบิด (torsion spring)

2.4.2 สปริงดึง (tension spring)

สปริงแรงดึงสปริงแรงดึงหรือสปริงต่อคือขดลวดพันแผลแน่นที่ออกแบบมาเพื่อทำงานด้วยแรงที่เรียกว่า "ความตึง" โดยปกติจะมีห่วงหรือขอเกี่ยวที่ปลายทั้งสองข้างเพื่อจุดประสงค์ในการยึดติด การใช้งานทั่วไปสำหรับสปริงดึงมีไว้สำหรับการถ่วงล้อประตูโรงรถในเครื่องจักรในฟาร์มหรือบนแทรมโพลีน หน้าที่หลักของสปริงดึงคือปล่อยให้แรงภายนอกสร้างความตึงจากนั้นใช้พลังงานนี้ดึงส่วนประกอบกลับมารวมกันโดยการเปลี่ยนกลับเป็นรูปร่างเดิม โดยทั่วไปแล้วสปริงแรงดึงจะพันกันแน่นมากและจะม้วนชิดกันเมื่ออยู่นิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2. 12 สปริงดึง (tension spring)

2.4.3 สปริงกด (compression spring)

สปริงบีบอัดเป็นสปริงขดลวดแบบเปิดที่พันแผลหรือสร้างขึ้นเพื่อต่อต้านการบีบอัดตามแนวแกนของลม Helical Compression เป็นการกำหนดค่าสปริงโลหะที่พบบ่อยที่สุด คอยล์สปริงเหล่านี้สามารถทำงานได้อย่างอิสระแม้ว่ามักจะประกอบเข้ากับแกนนำหรือติดตั้งภายในรูก็ตาม เมื่อวางโหลดบนคอยล์สปริงทำให้สั้นลงมันจะดันกลับกับโหลดและพยายามกลับไปที่ความยาวเดิม สปริงบีบอัดมีความต้านทานต่อแรงบีบอัดเชิงเส้น (แรงผลัก) และเป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดชิ้นหนึ่ง

รูปที่ 2. 13 สปริงกด (compression spring)

2.4.4 แหวนสปริง (disc spring)

สปริงของแผ่นดิสก์บางครั้งเรียกว่า "Belleville washer" ตามที่นักประดิษฐ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแผ่นดิสก์แบบนูนซึ่งรองรับที่ขอบด้านนอกด้วยแรงเดียวและแรงต่อต้านที่ตรงกลางของแผ่นดิสก์ สปริงดิสก์ใช้เดี่ยว ๆ หรือแบบเรียงซ้อนเพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกและการเดินทางที่ต้องการ ข้อดีของสปริงดิสก์คือสร้างแรงได้สูงในระยะสปริงสั้นมากและมีการเคลื่อนไหวน้อยที่สุดเมื่อบีบอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สปริงแผ่นดิสก์ของ Century Spring ทั้งหมดอยู่ภายใต้มาตรฐานการผลิตและการควบคุมคุณภาพที่เข้มงวด แผ่นดิสก์ทั้งหมดได้รับการตั้งค่าล่วงหน้าเพื่อไม่ให้เกิดการคลายตัวอย่างมีนัยสำคัญเมื่อโหลดเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้ Century Spring ยังมีสปริงดิสก์แบบเน้นย้ำที่มีขนาดเฉพาะสำหรับใช้กับสลักเกลียว

รูปที่ 2. 14 แหวนสปริง (disc spring)

การคำนวณเพื่อออกแบบสปริง

ในการออกแบบสปริงต้องคำนึงถึงปัจจัยภายนอก เพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานและปลอดภัยมากที่สุด การออกแบบเบื้องต้นเพื่อให้สปริงเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะติดตั้ง โดยจะคำควณค่าค่าคงที่ของสปริง เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณภายในระบบ

ค่าคงที่ของสปริงสามารถหาได้จากสมการ

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N} \qquad (2\text{-}24)$$

เมื่อกำนหดให้ k คือ ค่าคงที่ของสปริง

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง

G คือ มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉือน

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสปริง

N คือ จำนวนขดลวดของสปริง

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และสนามแม่เหล็กที่ เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงาน ไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ประกอบด้วย ขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่าง ขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิม ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดซึ่งควรเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับงานที่เกี่ยวข้อง

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.5.1 สเตเตอร์(Stator)

จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของ มอเตอร์แกนเหล็กสเตเตอร์และขดลวด

2.5.1.1 โครงมอเตอร์(Frame or Yoke) จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลวง ฐานส่วนล่างจะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง โครงจะทำหน้าที่ ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบ เพื่อ ช่วยในการระบายความร้อน ในกรณีที่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ๆ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาด ใหญ่โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว้ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกะทัดรัดมากขึ้น แต่ถ้าใช้เหล็กหล่อ ก็จะให้มีขาดใหญ่นำหนักมากนอกจากนี้แล้วโครงของมอเตอร์ยังอาจทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวม้วนเป็นแผ่นม้วนรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมติดกันให้มีความแข็งแรง เช่น มอเตอร์สปลิตเฟสเป็นต้น

2.5.1.2 แกนสเตเตอร์(Stator Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ มีลักษณะ กลม เจาะตรงกลางและเซาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนท ซึ่งจะถูกเคลือบ ด้วย ซิลิกอนเหล็กแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว หลังจาก นั้นจึงนำไปอัดเข้าด้วยกันจนมีความหนาที่เหมาะสม เรียกว่าแกนเหล็กสเตเตอร์

2.5.1.3 ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่าง ๆ ของการพันมอเตอร์

2.5.2 โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor)

มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์2 ชนิด คือ โรเตอร์ แบบกรงกระรอกและโรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ขดลวด ใบพัด และเพลา ดังจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

2.5.2.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ ทีเรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนท ซึ่งจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเดียวกันกับสเตเตอร์มีลักษณะเป็นแผ่นกลมๆเซาะร่องผิวภายนอกเป็นร่องโดยรอบ ตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลา และจะเจาะรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รอบ ๆ รูตรง กลางที่สวมเพลาทั้งนี้เพื่อช่วยให้ในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่น เหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลาแล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งตัวทองแดงหรือแท่งอะลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วย วงแหวนตัวนำทั้งนี้ เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้าหรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์แล้วฉีดอะลูมิเนียมเหลวเข้า ไปในร่อง ก็จะได้อะลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องจนเต็มและจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็ก ขดลวดในโรเตอร์นั้นจะเป็นลักษณะของตัวนำที่เป็นแท่งซึ่งอาจใช้ทองแดง หรืออะลูมิเนียม ประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะคล้ายกรงนกหรือกรงกระรอก

2.5.2.2 โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์(Wound Rotor) โรเตอร์ชนิดนี้จะมีส่วนประกอบคล้าย ๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือ มีแกนเหล็กที่เป็นแผ่นลามิเนทอัดเข้าด้วยกันแล้ว สวมเข้าที่เพลา แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขดลวด จะเป็นเส้นลวดชนิดที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวนอีนาเมลพันลงไป ในร่องสล็อตของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับที่พันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์3 เฟสแล้ว ต่อวงจรขดลวดเป็นแบบสตาร์โดยนำปลายทั้ง 3 ที่เหลือต่อเข้ากับวงแหวนตัวนำทั้งนี้เพื่อให้สามารถต่อ วงจรของขดลวดของโรเตอร์เข้ากับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่อยู่ภายนอกตัวมอเตอร์ เพื่อการปรับค่าความ ต้านทานของโรเตอร์ซึ่งจะสามารถควบคุมความเร็วของโรเตอร์ได้

2.5.2.3 ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางและคว้านเป็นรู กลมใหญ่เพื่อัดแบริ่งหรือตลับลูกปืนรองรับแกนเพลาของโรเตอร์ดังแสดงในรูปที่1

2.5.2.4 ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียวขึ้นรูปให้มีขนาด สวมฝาครอบได้พอดีมีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด ส่วนใหญ่จะมีใน มอเตอร์3 เฟสและมอเตอร์1 เฟสขนาดใหญ่

2.5.2.5 ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อ มีลักษณะเท่ากันทุกครีบเท่ากันทุกครีบ จะสวมยึด อยู่บนเพลาด้านตรงข้ามกันกับเพลางาน ใบพัดนี้จะช่วยในการระบายอากาศและความร้อนได้มากทีเดียว ใบพัดนี้ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์3 เฟสและมอเตอร์1 เฟสขนาดย่อยถึงขนาดใหญ่เช่นเดียวกับฝาครอบ ใบพัด

2.5.2.6 สลักเกลียว (Bolt) จะทำด้วยเหล็กเหนียวจะมีลักษณะเป็นเกลียวตลอด ถ้าเป็นมอเตอร์3 เฟส จะประกอบด้วยสลักเกลียว 8 ตัว ทำหน้าที่ยึดฝาครอบให้ติดกับโครง ถ้าเป็นมอเตอร์ 1 เฟสขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์สปลิตเฟสจะเป็นสลักเกลียวยาวตลอดความยาวของตัวมอเตอร์ทำเกลียวเฉพาะด้านปลายและมีน็อตขันยึดไว้ดังนั้นจึงมีเพียง 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประเภทของมอเตอร์

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor) หรือ ดี.ซี. มอเตอร์ (D.C. motor) เป็น มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสตรง มีข้อดีคือ สามารถควบคุมแรงบิด และความเร็วได้ง่าย การปรับความเร็วสามารถทาได้ในช่วงกว้าง และมีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

รูปที่ 2. 15 มอเตอร์กระแสตรง (Direct current motor) [18]

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current motor) หรือ เอ.ซี. มอเตอร์ (A.C. motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มีข้อดีคือ เป็นที่นิยมสามารถหาซื้อได้ง่าย ประสิทธิภาพสูง ราคาต่ำ ลักษณะโครงสร้างไม่ซับซ้อน และเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในพิกัดกำลังเท่ากัน แบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ ชนิดหนึ่งเฟส (Single-Phase) และชนิดสามเฟส (Three-phase)

รูปที่ 2. 16 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current motor) [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 พลังงานเชิงกล

กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy) เป็นกฎในทางฟิสิกส์ที่กล่าวว่า **พลังงาน** โดยรวมในระบบแยกส่วนหนึ่ง ๆ จะมีค่าเท่าเดิม หรือพูดได้ว่าพลังงานจะถูกอนุรักษ์ตลอดช่วงเวลา พลังงานที่ป้อนเข้าไปในระบบใดระบบหนึ่ง จะเท่ากับพลังงานที่ส่งออกมา พลังงานไม่สามารถถูกสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลาย มันทำได้แต่เพียงเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น พลังงานเคมีสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ได้ในการระเบิดของแท่งไดนาไมท์ เป็นต้น การอนุรักษ์พลังงานมีความแตกต่างกับการอนุรักษ์มวล แต่ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษแสดงให้เห็นว่ามวลมีความสัมพันธ์กับพลังงาน โดยที่ และวิทยาศาสตร์ปัจจุบันจะใช้มุมมองที่ว่า มวลและพลังงานถูกอนุรักษ์

เมื่อพิจารณาระบบที่มีวัตถุก้อนหนึ่งมวล m กิโลกรัม อยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอนุรักษ์ (Conservative force) เช่น แรงโน้มถ่วงของโลกหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การที่วัตถุก้อนนี้อยู่ในสนามโน้มถ่วงของโลก **g** มีขนาดคงตัวประมาณ 9.81 m/s^2 โดยทั่วไปแล้วเราจะเรียกผลรวมของพลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy, E_p). พลังงานศักย์ยืดหยุ่นหรือพลังงานศักย์สปริง (Elastic Potential Energy, $E_{p,s}$) และพลังงานจลน์ (Kinetic Energy, E_k) ของวัตถุก้อนนี้ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ณ ขณะหนึ่งว่า พลังงานกล (Mechanical energy) และเป็นที่ประจักษ์ว่าพลังงานกลของวัตถุก่อนหนึ่งๆ จะมีค่าคงตัวเสมอจึงได้เรียกกันว่า กฎการอนุรักษ์พลังงานกล (Law of conservation of mechanical energy) กล่าวโดยสรุป คือ ในขณะที่ระบบวัตถุหนึ่ง ๆ อยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอนุรักษ์ ดังเช่นในกรณีแรงโน้มถ่วงของโลกที่กำลังพิจารณาอยู่นี้ จะได้ว่าพลังงานกลของระบบวัตถุนี้ คือผลรวมของพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ของระบบวัตถุนี้ย่อมมีค่าคงตัว เนื่องจากทั้งพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ มีหน่วยเดียวกัน นั่นคือ จูล (joule)
โดยพลังงานแต่ละชนิดมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้

พลังงานศักย์โน้มถ่วง : $$E_p = mgh \tag{2-25}$$

พลังงานศักย์ยืดหยุ่น : $$E_{p,s} = \frac{1}{2}kx^2 \tag{2-26}$$

พลังงานจลน์ : $$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2-27}$$

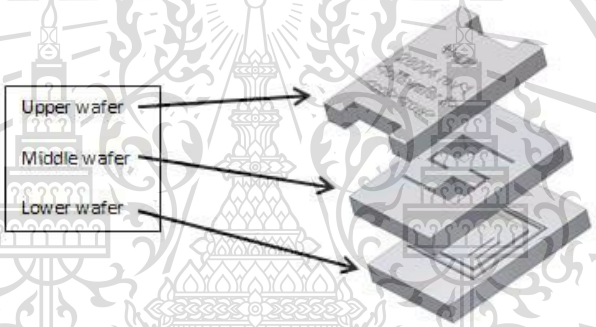
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง

เซ็นเซอร์วัดความเร่งใช้ในหลายอุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ เช่น ใช้ในระบบนำร่องของเครื่องบิน จรวดนำวิถี การติดตามการสั่น โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิตอล เป็นต้น ในโครงงานนี้ใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบระบบกลไฟฟ้าจุลภาค (Microelectromechanical) หรือ MEMS เป็นการใช้เทคนิคการผลิตโครงสร้างเซ็นเซอร์ทางกลโดยใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ระดับไมครอน
เซ็นเซอร์ MEMS สามารถวัดค่าทางกายภาพและสามารถวัดได้ในค่าที่ละเอียดในช่วงที่จำกัด เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบ MEMS สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท ดังนี้

2.7.1 เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบไพอิโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive accelerometer)

เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบ Piezoresistive ประกอบด้วยแผ่นวาฟเฟิล (wafer) แบบหยืดหยุ่นตรงกลาง และสองผ่อนประกบบนล่าง เมื่อเกิดการสั่นจะเกิดการบิดตัวของแผ่นวาฟเฟิลนี้จะสามารถวัดค่าความต้านทานที่เป็นสัดส่วนของความเร่งได้

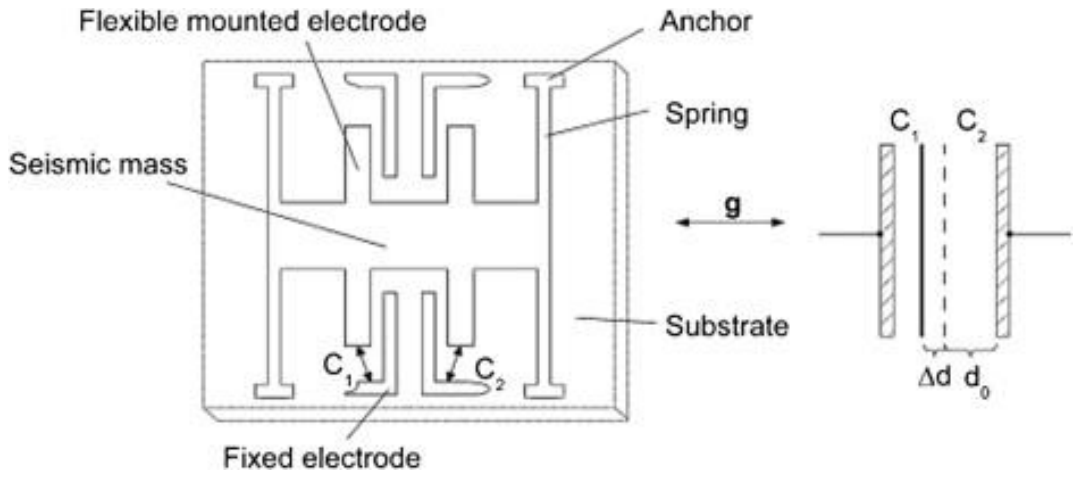


รูปที่ 2. 17 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบไพอิโซรีซิสทีฟ [20]

2.7.2 เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive accelerometer)

เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive accelerometer) ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นแผ่นที่หยุดนิ่งติดกับ Hosing ส่วนที่สองเป็นแผ่นที่ติดกับมวลเฉื่อย (Inertial-mass) ที่เคลื่อนที่อิสระภายใน Hosing เมื่อเกิดการสั่นจะเกิดระยะ Δd ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุระหว่างสองแผ่นนี้ตามสัดส่วนของความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2. 18 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบคาปาซิทีฟ [20]

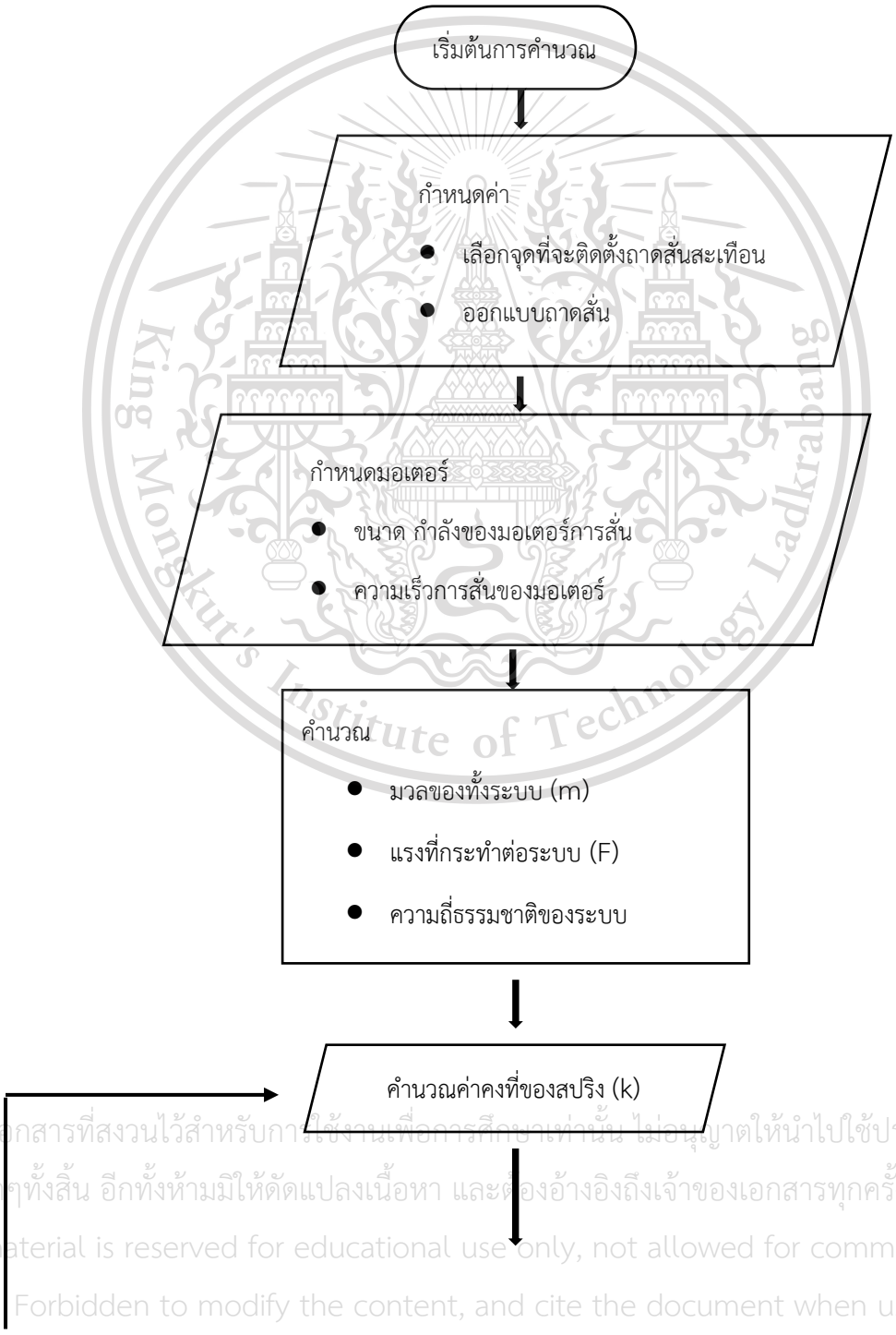
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

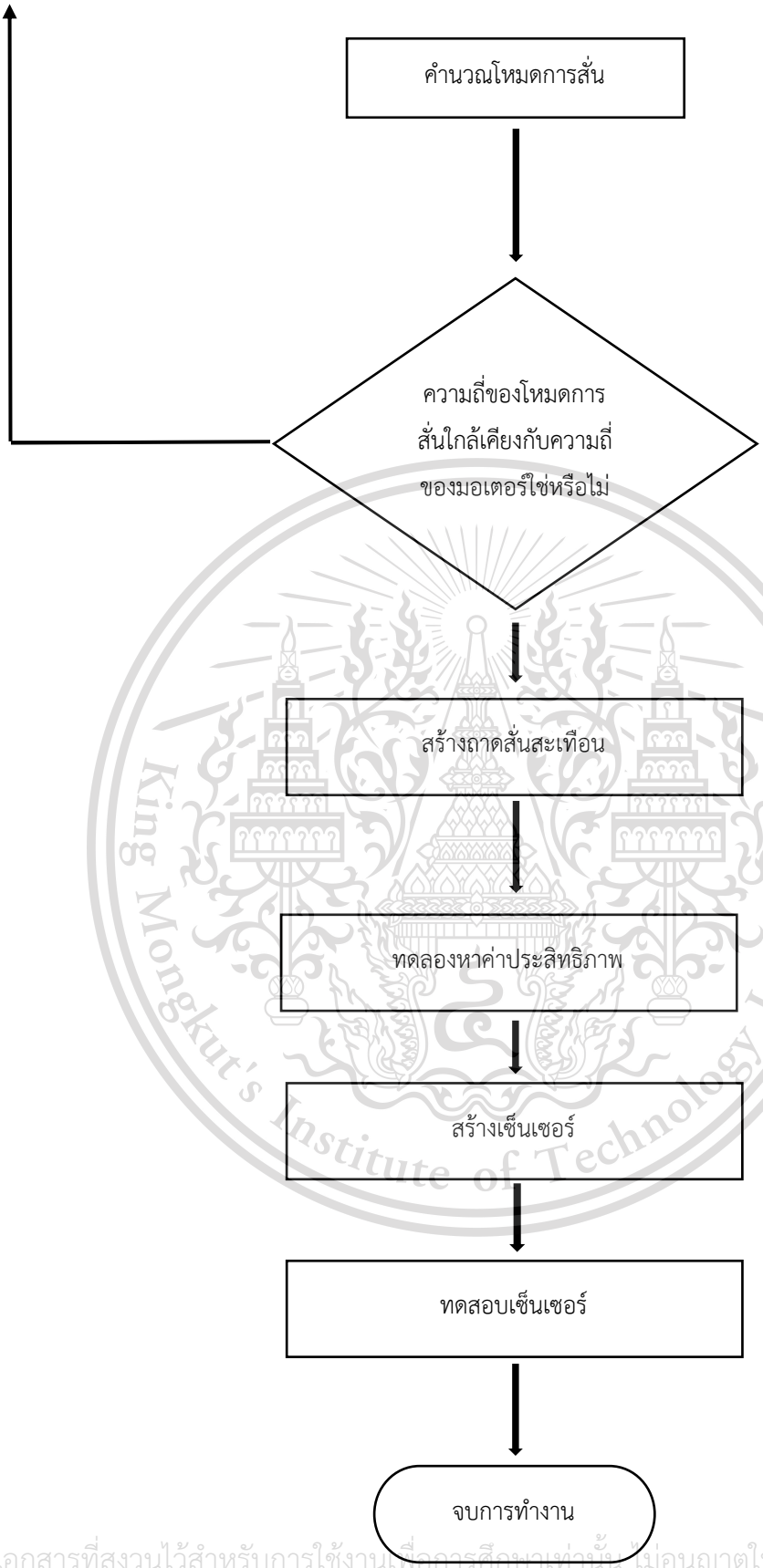
การออกแบบและการคำนวณ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบโครงสร้างรางลำเลียงไม่ว่าจะเป็นคาน การวางสปริง การวางท่อ หรือตำแหน่งของมอเตอร์ รวมถึงวิธีการคำนวณเพื่อหาค่าคงที่สปริงที่เหมาะสมและปัญหาที่พบระหว่างทำการออกแบบ การคำนวณ อีกทั้งยังบอกวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกด้วย

3.1 ขั้นตอนการทำงาน



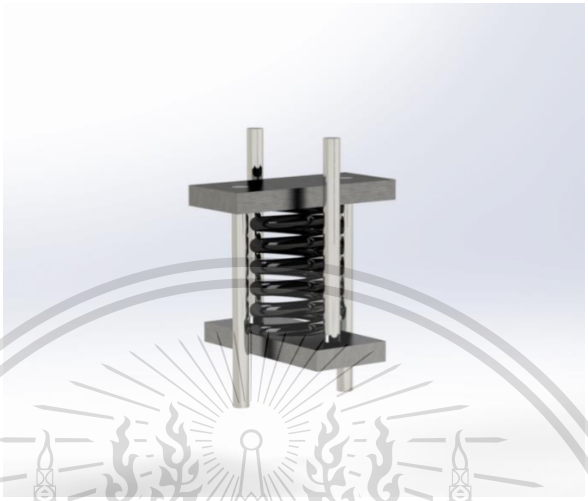
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



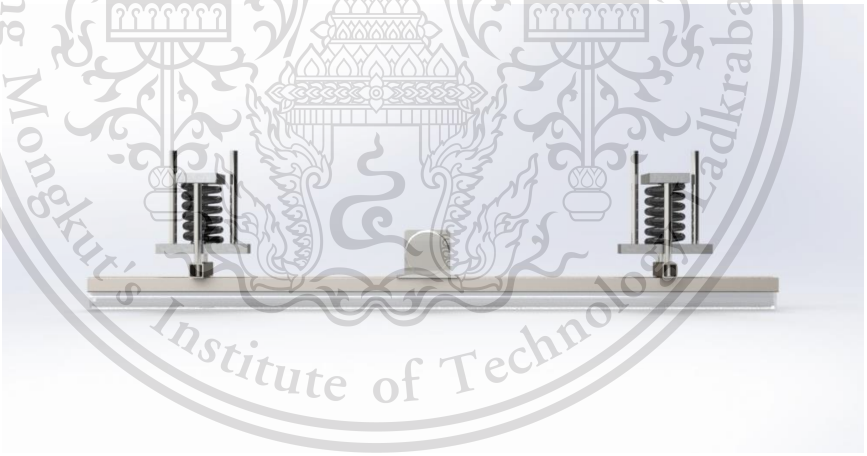
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การออกแบบถาดสั่นสะเทือน

เนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งถาดสั่นสะเทือนมีจำกัด ดังนั้นจึงออกแบบตัวยึดสปริงให้สั้นที่สุด เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง เนื่องจากสปริงเป็นสปริงชนิดอัดตัว ตำแหน่งที่ติดตั้งต้องอยู่ด้านบน



รูปที่ 3. 1 สปริงและตัวยึดสปริง

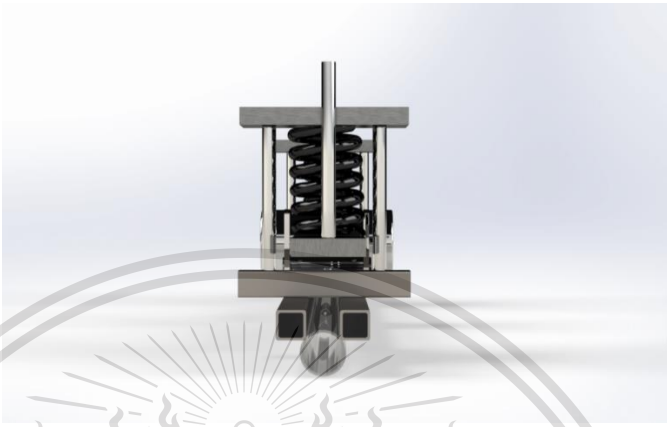


รูปที่ 3. 2 ตำแหน่งการติดตั้งสปริงของถาดสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การออกแบบท่อ

สำหรับท่อส่งเชื้อเพลิงชนิดผง จะใช้ท่อพลาสติกใสเพื่อสังเกตการไหลของเชื้อเพลิงผงภายในท่อและตำแหน่งของท่อจะติดตั้งด้านล่างของถาดสั่นสะเทือน



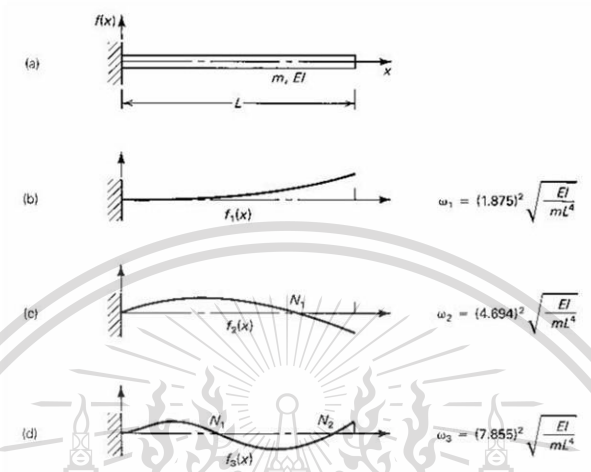
รูปที่ 3. 3 ตำแหน่งการติดตั้งท่อส่งเชื้อเพลิงชนิดผง

รูปที่ 3. 4 ภาพไอโซเมทตริกของชุดถาดสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 การคำนวณเพื่อเลือกสปริง

ในการคำนวณเพื่อเลือกสปริงมาติดตั้งจะใช้โปรแกรม Ansys เปลี่ยนค่าคงที่ของสปริงในโปรแกรมเพื่อดู โหมดการสั่นต่าง ๆ เพื่อยืนยันแบบจำลองจะใช้การคำนวณเทียบกับความถี่ของโหมดการสั่นของคานปลายยื่น หรือ Cantilever Beam

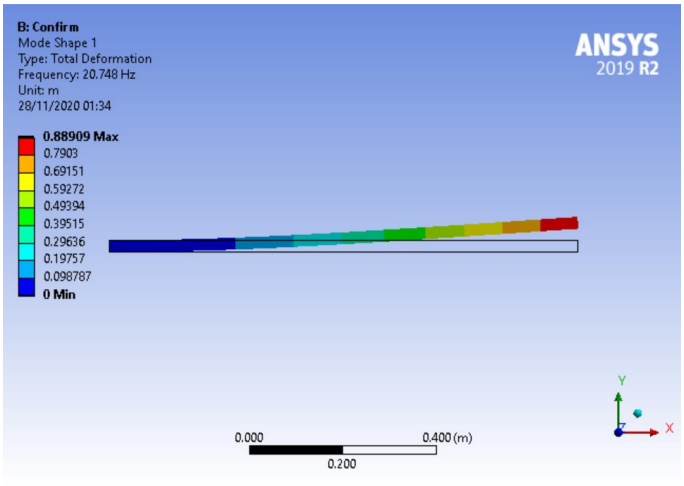


รูปที่ 3. 5 โหมดการสั่นของคานปลายยื่น หรือ Cantilever Beam

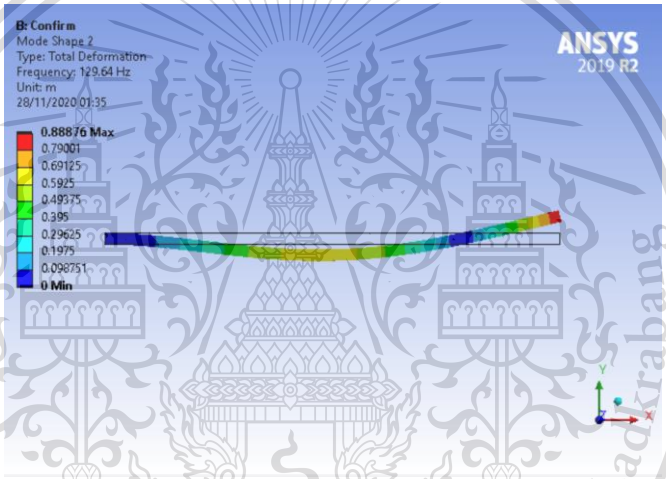
ตารางที่ 3. 1 เปรียบเทียบความถี่ของโหมดการสั่น

โหมดการสั่น	ความถี่ของโหมดการสั่น	
	ผลจากโปรแกรม	ผลจากการคำนวณ
1	20.748 Hz	20.708 Hz
2	129.64 Hz	129.786 Hz
3	361.29 Hz	363.443 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

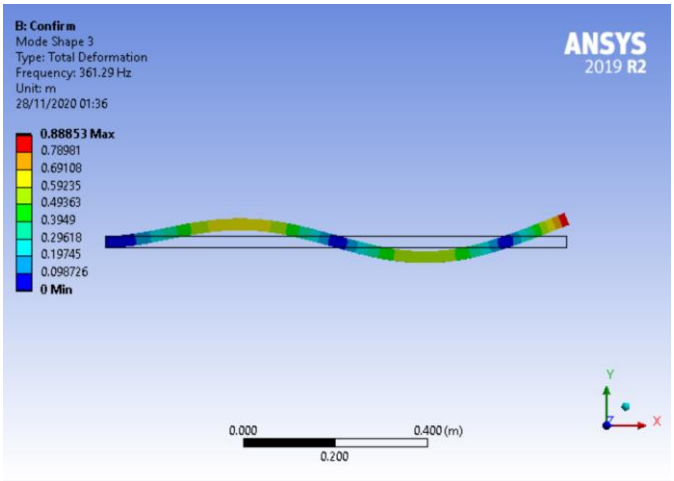


รูปที่ 3. 6 โหมดการสั่นที่ 1



รูปที่ 3. 7 โหมดการสั่นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3. 8 โหมดการสั่นที่ 3

เมื่อยืนยันผลการจำลองเทียบกับการคำนวณของคานยื่นอย่างง่าย จึงทำการจำลองความถี่ของโหมดการสั่น 1-4 กับแบบถาดสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบไว้

ตารางที่ 3. 2 ตารางเปรียบเทียบความถี่การจำลองโหมดการสั่นที่ค่าคงที่สปริงต่าง ๆ

โหมดการสั่น	ค่าคงที่สปริง (N/m)		
	100,000	100,000	250,000
1	24.898 Hz	34.79 Hz	38.628 Hz
2	34.426 Hz	46.132 Hz	50.925 Hz
3	66.609 Hz	67.054 Hz	67.335 Hz
4	103.13 Hz	103.47 Hz	103.67 Hz

จากผลการจำลองโหมดการสั่นพบว่า ที่โหมดที่ 2 จะเป็นโหมดที่เหมาะสำหรับการใช้เพื่อขนถ่ายเชื้อเพลิงผง และพบค่าคงที่ของสปริงที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที ประมาณ 250,000 นิวตันต่อเมตร ดังนั้นความถี่ธรรมชาติของถาดสั่นสะเทือนนี้หาได้จาก

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ k_{eq} คือ ค่าคงที่ของสปริงทั้งระบบ

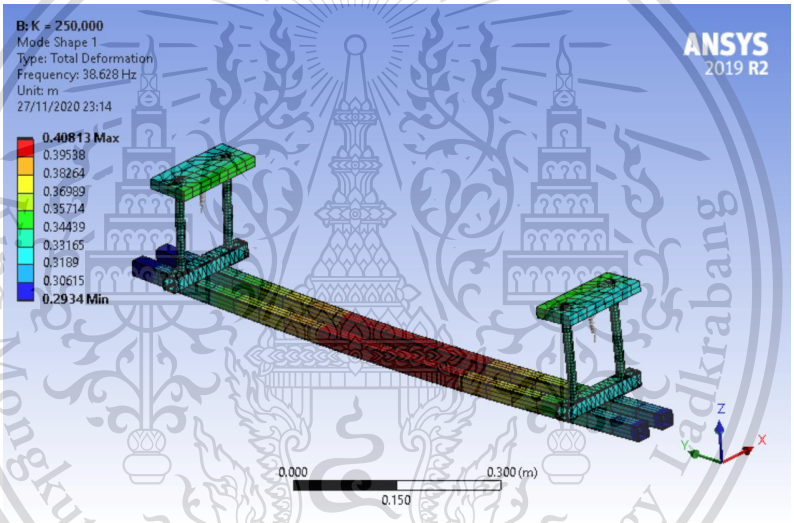
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

m_{eq} คือ มวลทั้งหมดของระบบ หน่วย kg

ดังนั้น ความถี่ธรรมชาติของถาดสั่นสะเทือนทั้งระบบ (ω_n) = 317.25 rad/s

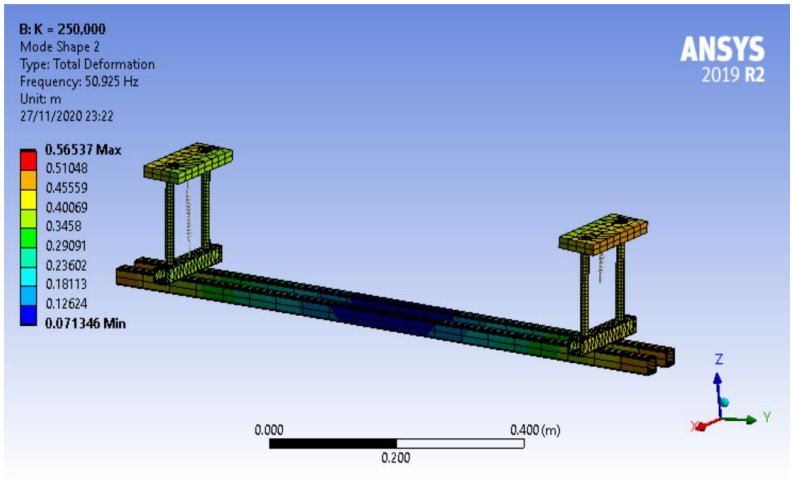
ผลการจำลองเพื่อหาโหมดการสั่นที่ค่าคงที่ของสปริง 250,000 นิวตันต่อเมตรคือ

- โหมดการสั่นที่ 1 คานสั่นขึ้นลงในทิศทาง Z
- โหมดการสั่นที่ 2 คานสั่นขึ้นลงในทิศทาง Z สลับกันระหว่างสปริงตัวที่หนึ่งกับตัวที่สอง
- โหมดการสั่นที่ 3 คานสั่นตรงส่วนที่รองรับสปริงเข้าหากันและออกจากกันในทิศทาง Y
- โหมดการสั่นที่ 4 คานสั่นตรงส่วนที่รองรับสปริงในทิศทาง Y พร้อมกัน

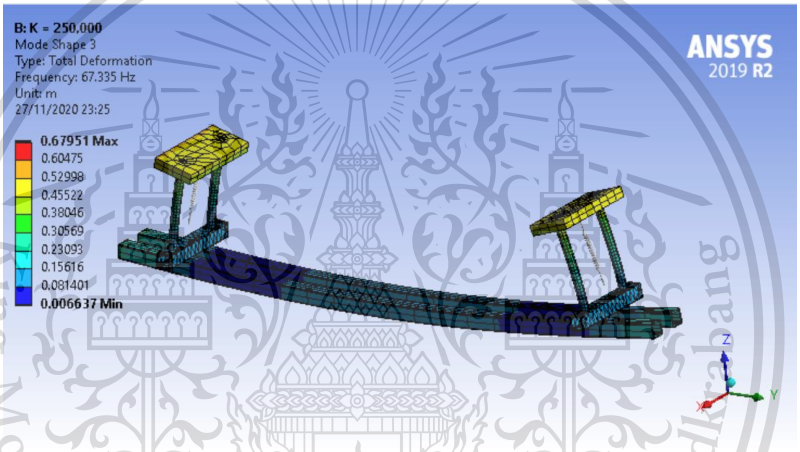


รูปที่ 3. 9 โหมดการสั่นที่ 1

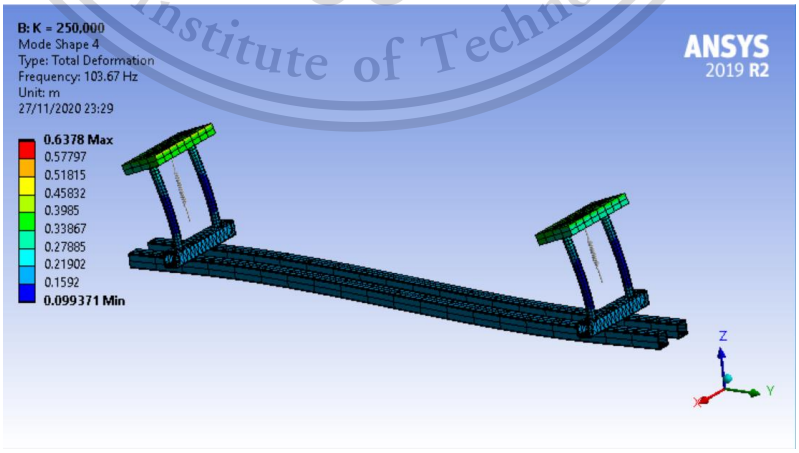
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3. 10 โหมดการสั่นที่ 2



รูปที่ 3. 11 โหมดการสั่นที่ 3



รูปที่ 3. 12 โหมดการสั่นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สปริงที่ใช้มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฐานสปริง (D) 55 มิลลิเมตร ขนาดสปริง (d) 12 มิลลิเมตร จำนวนรอบของสปริง (n) 5 รอบ

คำนวณค่าคงที่สปริงได้จากสมการ

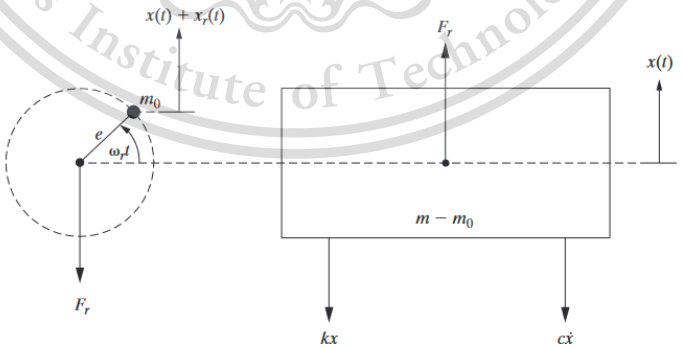
$$k = \frac{Gd^4}{8nD^3} \tag{3-2}$$

เมื่อโมดูลัสของแรงเฉือน (G) 77.2 GPa

$$k = \frac{77.2 \times 10^9 \times 0.012^4}{8 \times 5 \times 0.055^3}$$
$$= 240,544 \quad N/m$$

รูปที่ 3. 13 มวลไม่สมดุลภายในมอเตอร์สั่น

การคำนวณหาแรงที่กระทำโดย Unbalance Motor



รูปที่ 3. 14 แผนภาพวัตถุอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แรงที่ได้จากมอเตอร์โดยใช้หลักการเสียสมดุลขณะหมุนจากสมการ

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน (2nd Law of Motion)

$$\sum F = ma \tag{3-3}$$

จากแผนภาพวัตถุอิสระรูปที่ 3.14

$$m_0(\ddot{x} + \ddot{x}_r) = -F_r \tag{3-4}$$

$$(m - m_0)\ddot{x} = F_r - c\dot{x} - kx \tag{3-5}$$

จากสมการที่ (3.3) และ (3.4)

$$m\ddot{x} + m_0\ddot{x}_r + c\dot{x} + kx = 0 \tag{3-6}$$

เมื่อมอเตอร์สั่นหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ω_r

$$\begin{aligned} x_r &= e\sin(\omega_r t) \\ \dot{x}_r &= e\omega_r \cos(\omega_r t) \\ \ddot{x}_r &= -e\omega_r^2 \sin(\omega_r t) \end{aligned} \tag{3-7}$$

แทนค่าสมการ (3.6) ในสมการ (3.5)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_0 e\omega_r^2 \sin(\omega_r t) \tag{3-8}$$

จัดรูปในสมการ $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin(\omega_r t)$ จะได้

$$F_0 = m_0 e\omega_r^2 \tag{3-9}$$

แทนค่า

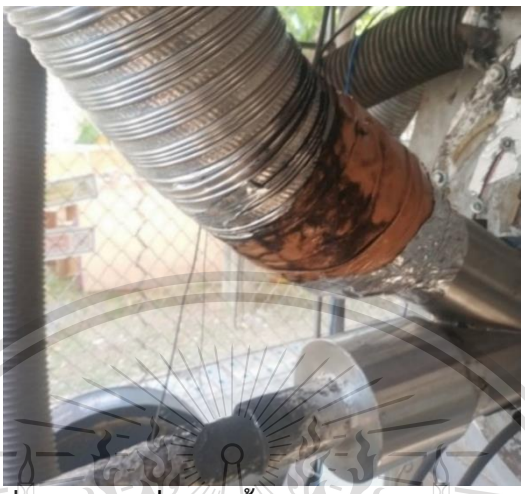
$$\begin{aligned} F_0 &= 0.08x0.014x314.2^2 \\ &= 110.568 \ N \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 ปัญหาที่พบ และการแก้ไข

ปัญหาที่พบ :

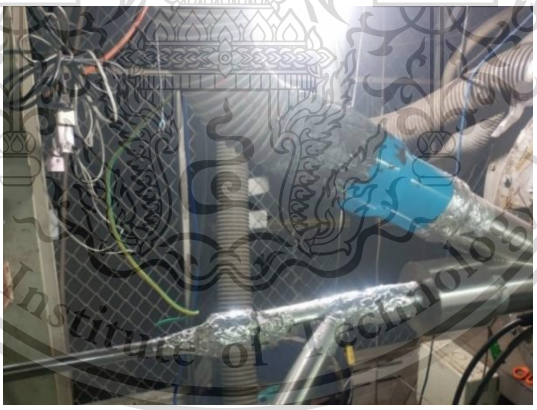
ที่บริเวณข้อต่อของท่องออลูมิเนียมเมื่อเดินเครื่องให้เชื้อเพลิงผงกับลมผ่านเข้าไปพบว่ามีการรั่ว



รูปที่ 3. 15 การรั่วของเชื้อเพลิงผงบริเวณข้อต่อของท่องอ

- การแก้ไข :

ได้เปลี่ยนเป็นท่องอชนิดพลาสติกใช้ข้อลด 2 ½ เป็น 2 นิ้ว และใช้ซิลิโคนเป็นตัวเชื่อม



รูปที่ 3. 16 ท่องอชนิดพลาสติกใช้ข้อลด 2 ½ เป็น 2 นิ้ว และใช้ซิลิโคนเป็นตัวเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

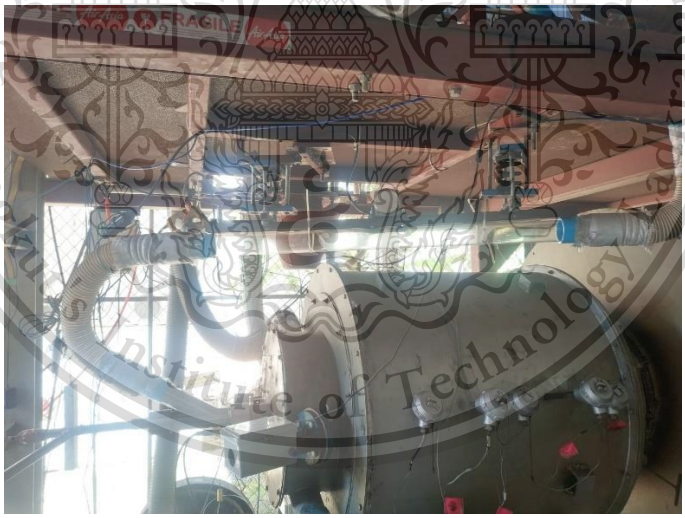
ปัญหาที่พบ :

ท่อยางใสเมื่อใช้ขนส่งเชื้อเพลิงผงไปสักระยะหนึ่ง ท่อนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจนสังเกตการไหลของเชื้อเพลิงไม่ได้

รูปที่ 3. 17 ท่อยางใสที่เปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง

- การแก้ไข :

เปลี่ยนจากท่อยางใสเป็นท่ออะคลิลิคใส



รูปที่ 3. 18 ท่ออะคลิลิคใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3. 3 รายการวัสดุที่ใช้

ลำดับ	ส่วนประกอบ	ขนาด	จำนวน
1	เหล็กกล่อง	1x1 นิ้ว หนา 2.3 มิลลิเมตร ยาว 1.2 เมตร	2
2	เหล็กกล่อง	1x1 นิ้ว หนา 2.3 มิลลิเมตร ยาว 15.5 เซนติเมตร	2
3	แผ่นเหล็ก	6.5x15 เซนติเมตร หนา 16 มิลลิเมตร	4
4	สปริง	ค่านิจสปริง 240,544 N/m	2
5	สตั๊ด	1/2 นิ้ว ยาว 17 เซนติเมตร	8
6	Bolt	M6	4
7	Nut	M6x15mm Hex Head	8
8	Bolt	1/2 นิ้ว	16
9	แหวน	M6	4
10	แหวนรองกันคลาย	M6	4
11	เคเบิ้ลไทร์	ยาว 12 นิ้ว	12
12	ท่ออะคลิลิค	เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร	1
13	ท่อยางใส	ขนาด 2 นิ้ว ยาว 1 เมตร	1
14	ท่องอพลาสติก	ขนาด 2 1/2 นิ้ว ยาว 1 เมตร	1

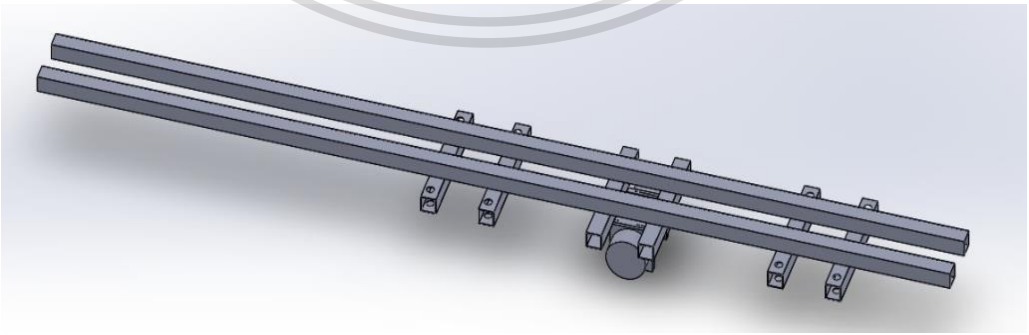
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การติดตั้ง และการแก้ปัญหาการติดตั้งเพื่อทำการทดลอง

จากแผนผังกระบวนการทำงานของการออกแบบการติดตั้ง อธิบายได้ว่าหลังจากทำการแก้ไขการออกแบบคานและติดตั้งถาดสั่นสะเทือนนี้ ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ โดยมีเงื่อนไขว่า หากถาดสั่นสะเทือนนี้สามารถใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงได้ดี ไม่มีข้อผิดพลาด ก็จะนำไปทำการทดลองลำเลียงเชื้อเพลิงเพื่อเก็ฐผลต่อไป หากมีข้อผิดพลาดจะเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาที่พบ และหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อทำการทดลองต่อไป แสดงการติดตั้งสปริง มอเตอร์ และคาน โดยทั้งระบบจะติดอยู่กับคานของโครงเหล็กที่รองรับระบบเผาเชื้อเพลิงเหมือนกับถาดสั่นสะเทือนก่อนการแก้ไข ลักษณะโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ขั้นตอนต่อไปคือการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนนี้ทั้งระบบ โดยการกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตการทดลองที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการลำเลียงเชื้อเพลิง หากประสิทธิภาพของระบบขนถ่ายเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพไม่ถึงเกณฑ์ที่สามารถรับได้จะกลับเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาที่พบ และหาแนวทางแก้ไขปัญหาเพื่อทำการทดลองต่อไป

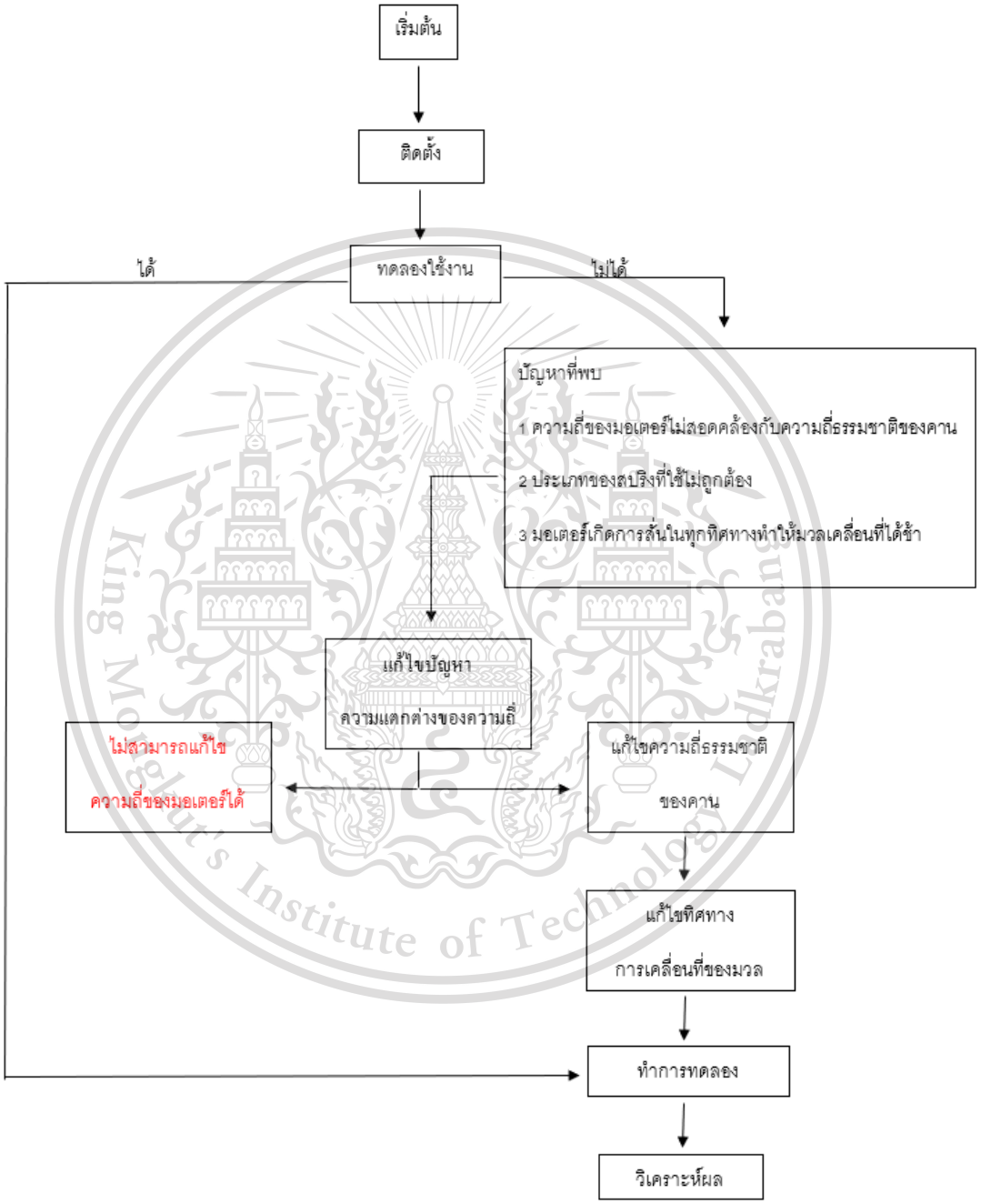
รูปที่ 4. 1 แสดงลักษณะการติดตั้งถาดสั่นสะเทือนก่อนทำการปรับปรุงแก้ไข



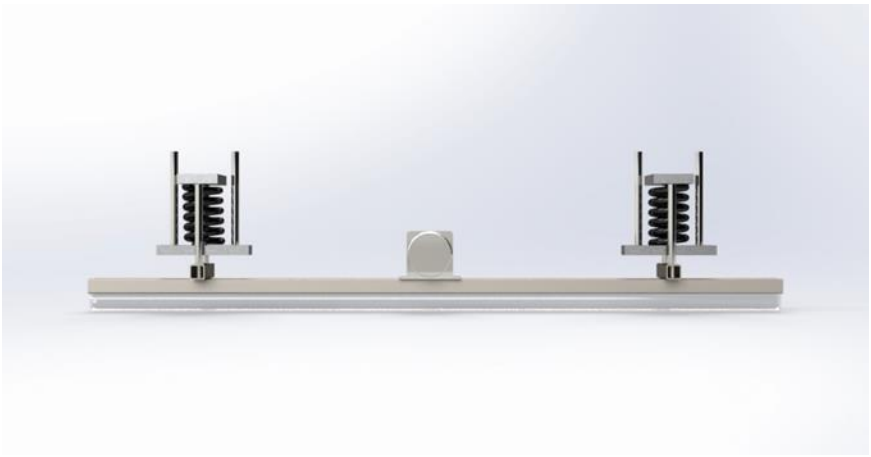
รูปที่ 4. 2 ลักษณะโครงสร้างของคาน และตำแหน่งของมอเตอร์ก่อนการปรับปรุงแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แผนผังดังต่อไปนี้แสดงถึงกระบวนการออกแบบการทำงานของการติดตั้งถาดสั่นสะเทือนหลังการปรับปรุงแก้ไขจากถาดสั่นสะเทือนแบบเก่า และการแก้ไขปัญหาที่พบหลังทำการทดลองเพื่อให้ได้ถาดสั่นสะเทือนที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



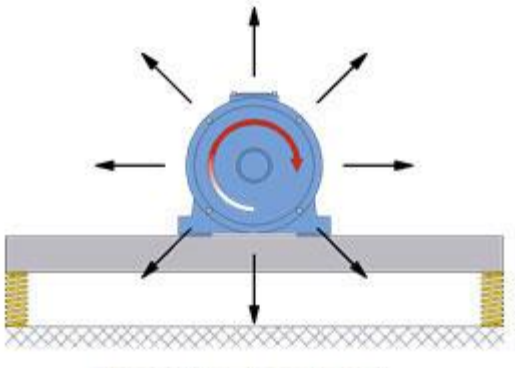
รูปที่ 4. 3 การติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชิ้นหลังจากการปรับปรุงแก้ไขโดยเป็นมุมมองจากด้านข้าง

รูปที่ 4. 4 ลักษณะโครงสร้างของคาน และตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ หลังการปรับปรุงแก้ไข

4.1 การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการทำงานของถาดสั่นสะเทือนหลังการติดตั้ง

หลักจากการติดตั้งระบบสั่นสะเทือนและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์พบว่า เชื้อเพลิงเคลื่อนที่ไปได้ด้วยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากการสั่นของมอเตอร์สั่นสะเทือนนี้ส่งผลให้เชื้อเพลิงเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบหรือมีการเคลื่อนที่ในทุกทิศทางดังรูปที่ 4.5 ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนมีการเคลื่อนที่ไปด้านหลังหรือเคลื่อนที่แบบไหลย้อนกลับ

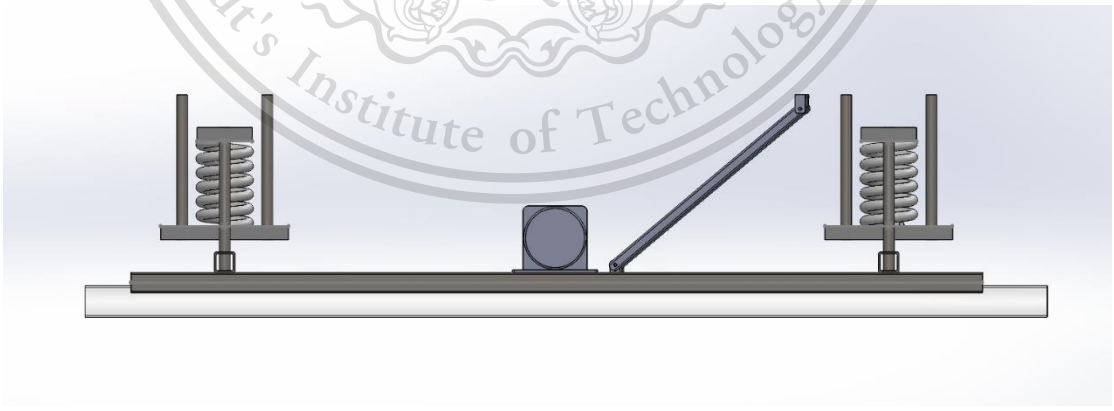
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4. 5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเชื้อเพลิง

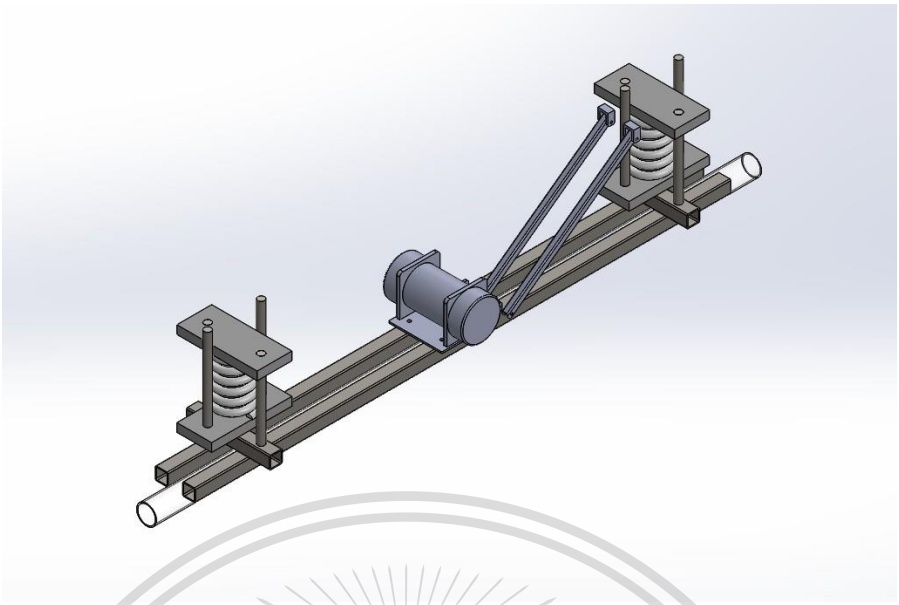
4.2 การออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบหลังจากการติดตั้ง

จากปัญหาที่เกิดขึ้นทางผู้พัฒนาได้ทำการแก้ไขปัญหานี้โดยการติดตั้ง เหล็กกล่องที่สามารถป้องกันการเคลื่อนที่แบบไหลย้อนกลับของอนุภาคที่เกิดจากมอเตอร์สั่นสะเทือนนี้ แต่ก็ยังคงมีอนุภาคเชื้อเพลิงบางส่วนที่ไหลย้อนกลับในปริมาณน้อย ลักษณะของการวางเหล็กกล่องเป็นดังรูปที่ 4.6 และ4.7 โดยเหล็กกล่องแท่งนี้มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร จะเชื่อมจากโครงสร้างเหล็กที่รองรับทั้งระบบไปยังคานด้านบนแบบเอียงไปทางขวาจนถึงมุมที่คานกับแผ่นเหล็กที่รองรับสปริงตัวหลังมีลักษณะตั้งฉากกัน เนื่องจากจุดมุ่งหมายของการแก้ไขนี้คือการป้องกันไม่ให้อนุภาคเชื่อเพลิงไหลย้อนกลับหรือไหลไปทางขวานั่นเอง



รูปที่ 4. 6 การติดตั้งแท่งเหล็กกล่องเพื่อแก้ไขปัญหาการไหลย้อนกลับโดยเป็นมุมมองจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4. 7 การติดตั้งแท่งเหล็กกล่องเพื่อแก้ไขปัญหาการไหลย้อนกลับโดยเป็นมุมมองจากด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ปัญหา

5.1 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือน

ในการออกแบบถาดสั่นสะเทือนเบื้องต้นนั้น เพื่อแก้ปัญหาการกองของเชื้อเพลิงถ่านหินที่ผ่านการบดให้อยู่ในลักษณะที่เป็นผง (pulverized) ที่อัตราการเผาไหม้ต่ำกว่า 300 kW ซึ่งเป็นความจุกำลังงานของการเผาไหม้ที่มักจะเกิดการสะสมของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียง ในที่ นี้ต้องการหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนโดยไม่มีลมจาก primary air เข้ามาเกี่ยวข้อง

เนื่องจากการปรับปรุงถาดสั่นสะเทือนนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเชื้อเพลิงทั้งหมด และทำให้เหลือเชื้อเพลิงที่ตกค้างภายในท่อลำเลียงน้อยที่สุดหรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของท่อขนส่งลำเลียงด้วยถาดสั่นสะเทือน ซึ่งการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเชื้อเพลิงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนี้มีการสะสมพลังงานกล โดยเป็นพลังงานในรูปแบบพลังงานจลน์หรือ Kinetic Energy แต่เนื่องจากประสิทธิภาพทางกลหรือ Efficiency (η) ซึ่งมีสูตรดังสมการที่ 5.1

$$\text{ประสิทธิภาพ}(\eta) = \frac{\text{กำลังงานที่ได้จากระบบ}}{\text{กำลังงานที่ใช้ในระบบ}} x\ 100\% \qquad (5\text{-}1)$$

จะสังเกตได้ว่าทั้งกำลังงานที่ได้จากระบบ หรือ Output Power และกำลังงานที่ใช้ในระบบ หรือ Input Power มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นกำลังงานที่ใช้ในที่ นี้นั้นคือกำลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเชื้อเพลิง ซึ่งคำนวณได้ดังต่อไปนี้

Input Power: $$P_{input} = IV \qquad (5\text{-}2)$$

Output Power: $$\dot{E}_{output} = \dot{E}_{spring} + \dot{E}_{k,system} + \dot{E}_{k,powder-fuel} \qquad (5.3)$$

เมื่อ P คือ กำลังงานที่มอเตอร์ใช้งาน หน่วยวัตต์ (W)

I คือ กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ หน่วยแอมป์ (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้า หน่วยโวลต์ (V)

$\dot{E}_{output}$ คือ กำลังงานที่ได้จากระบบ หน่วยวัตต์ (W)

$\dot{E}_{k,powder-fuel}$ คือ กำลังงานเฉลี่ยที่ได้จากการเคลื่อนที่ของก้อนเชื้อเพลิง หน่วยวัตต์ (W)

โดย $\dot{E}_{k,powder-fuel}$ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\dot{E}_{k,powder-fuel} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 \qquad (5\text{-}4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากประโยชน์ที่ได้รับจากระบบ ซึ่งเป็น Out Power ของระบบคือการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของผงเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงนำเพียงกำลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงชนิดผง ($\dot{E}_{k,powder-fuel}$) มาคำนวณ แต่ผู้พัฒนาไม่สามารถคำนวณค่าของ $\dot{E}_{k,powder-fuel}$ เนื่องจากต้องรู้ค่าความเร็วเฉลี่ยของก้อนผงเชื้อเพลิงในระหว่างลำเลียงเชื้อเพลิงด้วยถาดสั่นสะเทือนนี้ก่อนจึงจะสามารถคำนวณได้

ทำการทดลองโดยปล่อยผงเชื้อเพลิงจาก Screw feed มายังท่อลำเลียงโดยมีอัตราการไหลเชิงมวล Screw feed 0.5 kg/s, 1kg/s และ 1.5kg/s ไปยังท่อลำเลียง โดยผสมปูนปลาสเตอร์ไปกับผงเชื้อเพลิงเนื่องจากปูนปลาสเตอร์เป็นสีขาวซึ่งง่ายต่อการมองเห็นและวิเคราะห์ ซึ่งมีการกำหนดระยะทางภายในท่อลำเลียงเพื่อวัดความเร็วของเชื้อเพลิงภายในท่อเป็น 6 ช่วง ช่วงละ 15 เซนติเมตรเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล หลังจากนั้นตั้งกล้องโดยใช้กล้อง slow- motion บันทึกเป็นวิดีโอในระหว่างที่เปิดถาดสั่น โดยสังเกตในช่วงที่การไหลของเชื้อเพลิงอยู่ในสภาวะที่ค่อนข้างคงตัวมากที่สุด และคำนวณหาความเร็วของก้อนเชื้อเพลิง โดยความเร็วที่คำนวณได้นี้คือความเร็วของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการจากการทดลอง ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลจาก Screw feed แตกต่างกัน ควบคุมเงื่อนไขเหล่านี้ด้วยระบบ PLC ในห้องปฏิบัติการ การทดลองมีวิธีการดังรูปที่ 5.1 ซึ่งขีดสีดำคือขีดที่บ่งบอกถึงช่วงของระยะภายในท่อทั้ง 6 ช่วง โดยขีดสีดำแต่ละขีดอยู่ห่างกัน 15 เซนติเมตรตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

วิธีการทดลอง

1. ตั้งค่าระยะที่ต้องการวัดภายในท่อลำเลียง โดย กำหนดความยาว 90 ซม. แล้วเป็น 6 ส่วนเท่า ๆกัน
2. ปล่อยผงเชื้อเพลิงจาก Screw feed ที่อัตราการไหล 0.5 kg/s
3. เริ่มจับเวลาเมื่อการไหลของเพลิงค่อนข้างคงตัวเมื่อเชื้อเพลิงไปถึงแต่ละส่วนของความยาวที่กำหนด
4. ทำข้อ 1-3 ซ้ำ ๆ 3 ครั้ง แล้วเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ แล้วจึงทำซ้ำข้อ 1-3 ใหม่
5. คำนวณหาความเร็วของเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ไปถึงแต่ละส่วน แล้วนำมาหาความเร็วเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5. 1 การทดลองการหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือน

ตารางที่ 5. 1 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 0.5 kg/s

ช่วง	เวลที่ใช้ในครั้งที่1 (s)	เวลที่ใช้ในครั้งที่2 (s)	เวลที่ใช้ในครั้งที่3 (s)
1	0.83	0.86	0.84
2	0.81	0.91	0.89
3	0.87	0.84	0.95
4	0.91	0.89	0.90
5	0.84	0.93	0.87
6	0.93	0.91	0.88

ตารางที่ 5. 2 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 1.0 kg/s

ช่วง	เวลที่ใช้ในครั้งที่1 (s)	เวลที่ใช้ในครั้งที่2 (s)	เวลที่ใช้ในครั้งที่3 (s)
1	0.82	0.79	0.79
2	0.77	0.81	0.74
3	0.85	0.82	0.81
4	0.83	0.87	0.90
5	0.79	0.75	0.84
6	0.77	0.77	0.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5. 3 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 1.5 kg/s

ช่วง	เวลาที่ใช้ในครั้งที่1 (s)	เวลาที่ใช้ในครั้งที่2 (s)	เวลาที่ใช้ในครั้งที่3 (s)
1	0.68	0.67	0.72
2	0.71	0.69	0.68
3	0.76	0.75	0.67
4	0.81	0.83	0.76
5	0.77	0.76	0.82
6	0.70	0.71	0.73

หาความเร็วของเชื้อเพลิงจากสมการดังต่อไปนี้

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{6} (0.15 x t_i)}{6} \qquad (5\text{-}5)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของเชื้อเพลิง หน่วยเมตรต่อวินาที (m/s)

t_i คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละช่วง หน่วยวินาที (s) โดยที่ i มีค่า 1, 2, 3, ..., 6

จะได้ความเร็วเฉลี่ยนจากการทดลองที่อัตราการไหล 0.5 kg/s แต่ละครั้งคือ V_1 = 0.1738 m/s ,V_2 = 0.1687 m/s และ V_3 = 0.1691 m/s นำความเร็วที่ได้จากการทดลองมาหากำลังงานที่ได้โดยใช้สมการที่ 5.6 จะได้กำลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของอนุภาคเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลแต่ละค่าคือ $\dot{E}_1$ = 0.007552 W , $\dot{E}_2$ = 0.007115 W , $\dot{E}_3$ = 0.007149 W ความเร็วเฉลี่ยนจากการทดลองที่อัตราการไหล 1.0 kg/s แต่ละครั้งคือ V_1 = 0.1866 m/s , V_2 = 0.1758 m/s และ V_3 = 0.1847 m/s นำความเร็วที่ได้จากการทดลองมาหากำลังงานที่ได้โดยใช้สมการที่ 5.2 จะได้กำลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิง ในแต่ละครั้งคือ $\dot{E}_1$ = 0.01741 W, $\dot{E}_2$ = 0.01758 W , $\dot{E}_3$ = 0.01706 W และจะได้ความเร็วเฉลี่ยนจากการทดลองที่อัตราการไหล 1.5 kg/s แต่ละครั้งคือ V_1 = 0.2039 m/s ,V_2 = 0.2051m/s และ V_3 = 0.2064 m/s นำความเร็วที่ได้จากการทดลองมาหากำลังงานที่ได้โดยใช้สมการที่ 5.2 จะได้กำลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิง ในแต่ละครั้งคือ $\dot{E}_1$ = 0.03118 W, $\dot{E}_2$ = 0.03155 W , $\dot{E}_3$ = 0.03195W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อไปเป็นการหากำลังงานที่ใช้ในระบบหรือกำลังที่ให้กับระบบ (Input Power) ซึ่งในโครงงานนี้ได้ใช้มอเตอร์สั่นสะเทือน หรือ Motor Vibrator ยี่ห้อ OLI รุ่น MVE-21/3E ซึ่งมีกำลังงานที่ใช้ในรูปแบบ Rated Power max = 0.044 kW (จาก catalogue Industrial Vibrators ของ OLI) หรือมีค่าเท่ากับ 44 W ดังนั้นเราสามารถนำกำลังงาน 44 W นี้มาใช้เป็นกำลังงานที่ใช้ในระบบได้ทันที

ตารางที่ 5. 4 ตารางแสดงค่าความเร็ว และกำลังงานที่ได้โดยเฉลี่ยที่อัตราการไหลต่างๆ

ค่าเฉลี่ย (Average)	$\dot{m}$ = 0.5 kg/s	$\dot{m}$ = 1.0 kg/s	$\dot{m}$ = 1.5 kg/s
ความเร็ว (m/s))	0.1705	0.1863	0.2051
กำลังงาน (watt)	0.007272	0.01735	0.03156

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลต่าง ๆจะมีค่าดังต่อไปนี้

$$efficiency = \frac{38.3 + 0.00226 + \dot{E}_{k,powder-fuel}}{44} \quad (5\text{-}6)$$

นำกำลังงานจากการไหลของเชื้อเพลิงที่คำนวณได้แทนลงในสมการที่ 5-10 ดังนั้นประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนในการลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผง มีค่าดังต่อไปนี้

ถ้า $\dot{m}$ = 0.5 kg/s จะได้ประสิทธิภาพ $efficiency = \frac{0.00727}{44} x100\% = 0.0165\%$

$\dot{m}$ = 1.0 kg/s จะได้ประสิทธิภาพ $efficiency = \frac{0.01735}{44} x100\% = 0.0394\%$

$\dot{m}$ = 1.5 kg/s จะได้ประสิทธิภาพ $efficiency = \frac{0.03156}{44} x100\% = 0.0717\%$

จากประสิทธิภาพที่คำนวณได้จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง โดยปล่อยจาก Screw feed ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนนี้สูงขึ้นเล็กน้อย โดยในการหาประสิทธิภาพในการทดลองนี้มุ่งเน้นไปที่การขนส่งลำเลียงเชื้อเพลิงเท่านั้น หรือค่าที่เราสนใจจริง ๆ คือ ค่ากำลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของก้อนเชื้อเพลิง เพราะวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้คือ ลดเชื้อเพลิงที่ตกค้างภายในท่อลำเลียง เนื่องจากในการเดินระบบจริง จะมีลมจาก primary แอร์มาช่วยพัดพาผงเชื้อเพลิงในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประสิทธิภาพทางกลส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 50% แต่ประสิทธิภาพที่คำนวณได้ในที่นี้ มีค่าน้อยมากเนื่องจากกำลังงานที่นำมาคำนวณเป็นกำลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงชนิดผง ซึ่งเป็นประโยชน์เพียงอย่างเดียวของการลำเลียงด้วยเครื่องถาดสั่นสะเทือนนี้ และเนื่องจากการสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่าง ๆในระหว่างการใช้งานถาดสั่นสะเทือนนี้ โดยสาเหตุหลักๆที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานของถาดสั่นสะเทือน มีดังนี้

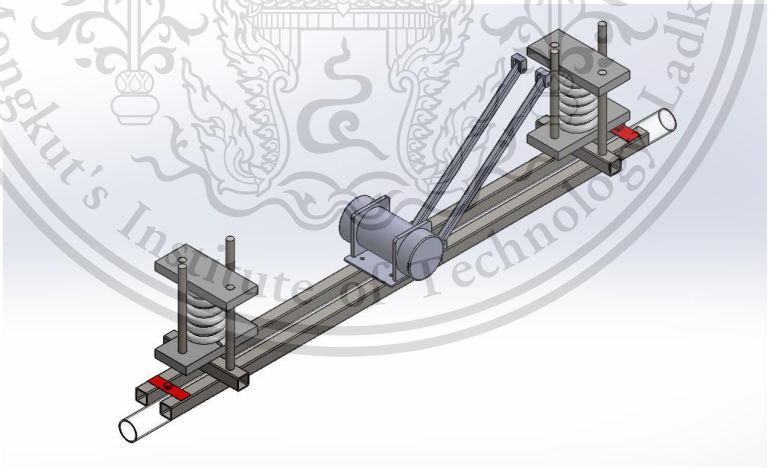
1. ในระหว่างการลำเลียงเชื้อเพลิง อนุภาคของเชื้อเพลิงมีการเคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบหรือมีการเคลื่อนที่ในหลายๆทิศทาง ทำให้ อนุภาคของเชื้อเพลิงชนกันเองกับอนุภาคที่อยู่ติดกับอนุภาคนั้นๆ ทำให้เกิดการสะสมพลังงานที่เกิดจากการชนกันนี้ในรูปแบบของพลังงานความร้อน

2. การสั่นที่เกิดจากถาดสั่นสะเทือนนี้ส่งผลไปยังโครงสร้างที่ติดอยู่กับระบบลำเลียงนี้ทั้งระบบจึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเกิดการสะสมความเค้นที่ท่อเหล็กในระหว่างที่เปิดใช้งานถาดสั่นสะเทือน

3. แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคเชื้อเพลิงกับผนังของท่อลำเลียง

5.2 การทดลองติดเซ็นเซอร์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของถาดสั่นสะเทือน

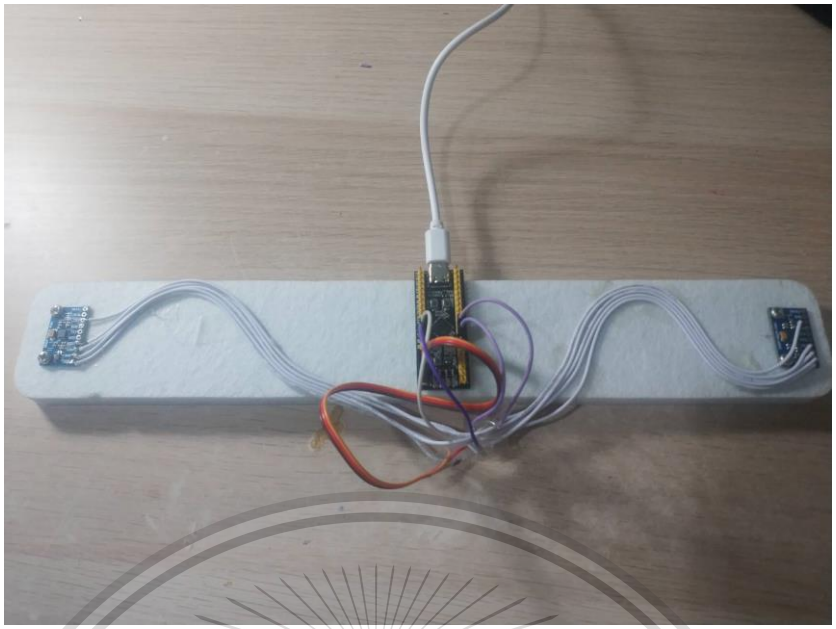
เซ็นเซอร์ใช้สองตัวเพื่อนำมาวิเคราะห์หารูปแบบการสั่นของถาดสั่นสะเทือนเพื่อดูองค์ประกอบของอิทธิพลการสั่นต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้



รูปที่ 5. 2 ตำแหน่งที่จะติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (สีแดง)

เนื่องจากสถาณการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถเข้าติดตั้งเว็นเซอร์และทดลองที่ห้องปฏิบัติการได้ จึงได้ทำการจำลองการเคลื่อนที่ขึ้นมา โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน จำนวน 2 ตัว

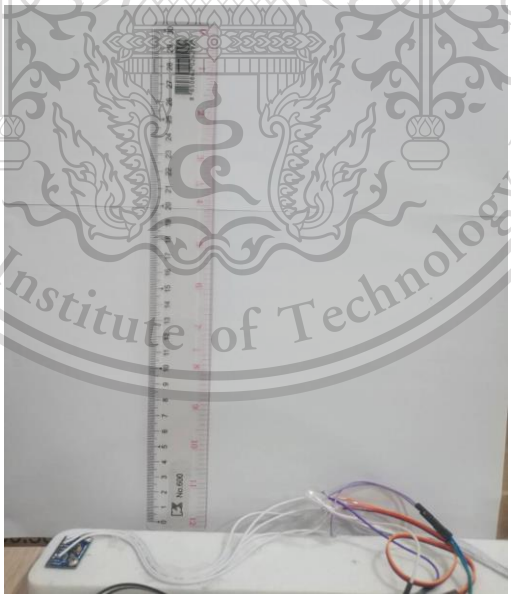
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5. 3 ชุดทดลอง

วิธีการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

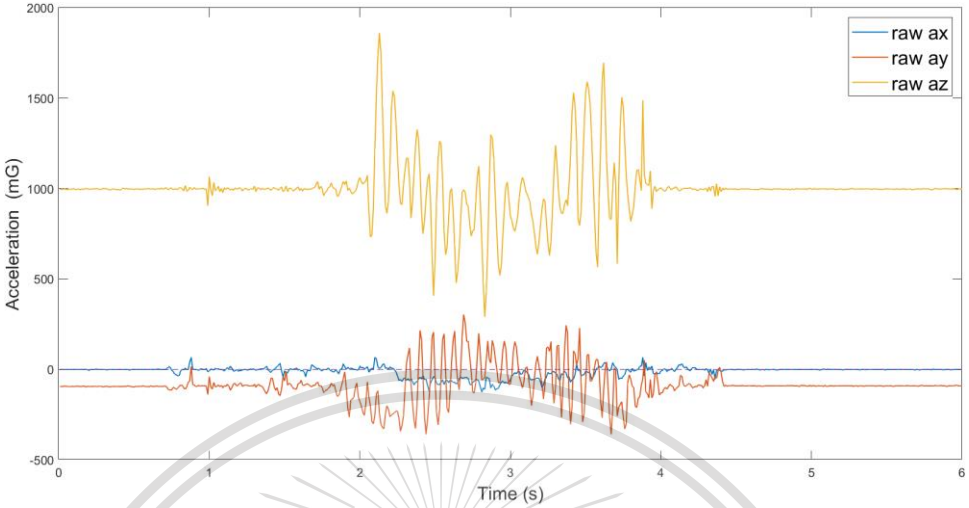
1. ยกเซ็นเซอร์เทียบกับไม้บรรทัด ระยะ 30 เซนติเมตร แล้วกลับที่เดิม



รูปที่ 5. 4 การทดลอง

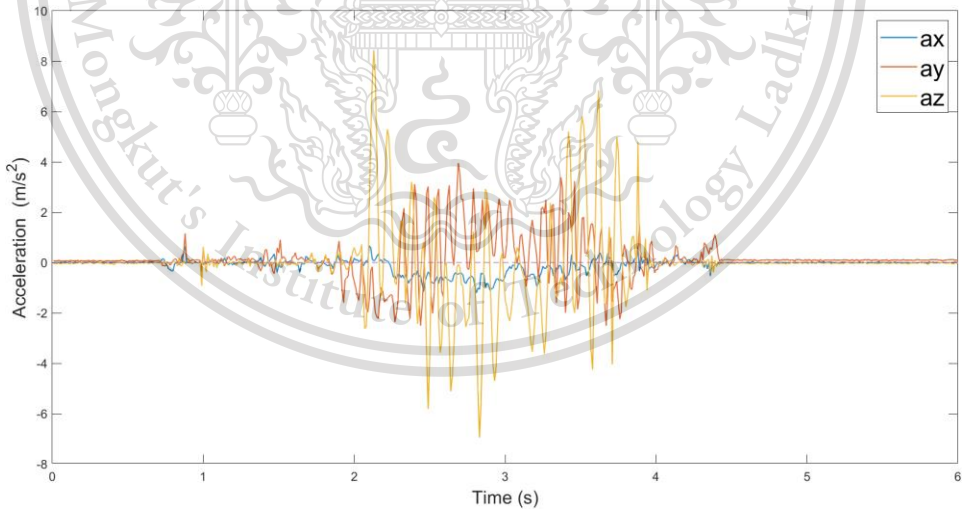
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ค่าความเร่งที่อ่านได้ทั้งสามแกน เมื่อ raw ax คือความเร่งในแนวแกน, raw ay คือความเร่งในแนวแกน y และ raw az คือความเร่งในแนวแกน z



รูปที่ 5. 5 ความเร่งที่วัดได้จากการทดลอง

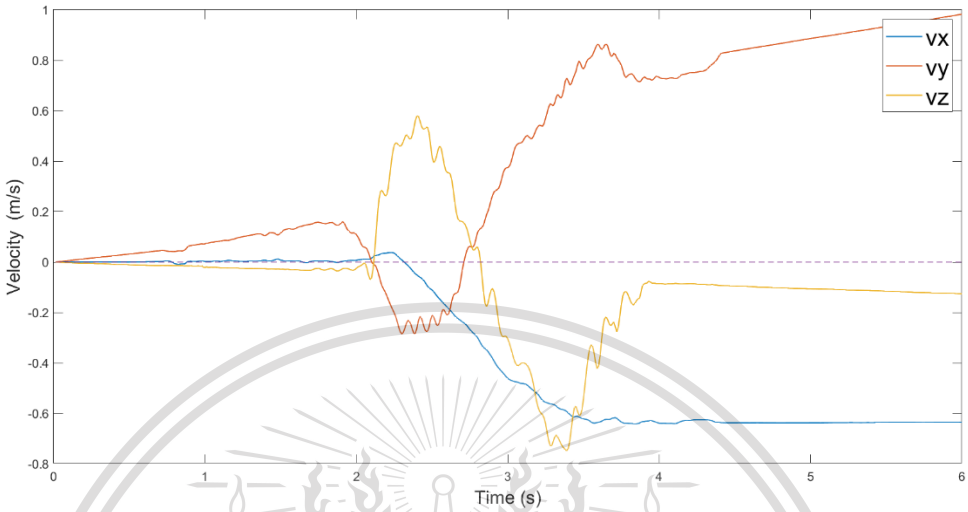
3. ปรับค่าชดเชยความเร่งด้วยการลบกับค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์แต่ละแกน เมื่อ ax คือความเร่งในแนวแกน, ay คือความเร่งในแนวแกน y และ az คือความเร่งในแนวแกน z



รูปที่ 5. 6 การชดเชยความเร่งของโลก

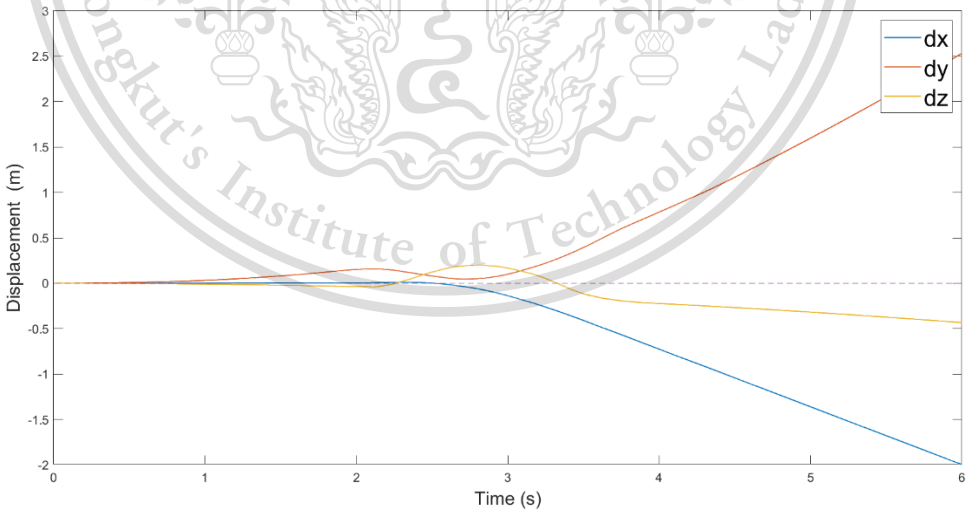
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. หาความเร็วจากการหาปริพันธ์เชิงตัวเลขโดยใช้การประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method) เมื่อ vx คือความเร็วในแนวแกน x, vy คือความเร็วในแนวแกน y และ vz คือความเร่งในแนวแกน z



รูปที่ 5. 7 ความเร็วจากหาปริพันธ์เชิงตัวเลขจากความเร่ง

5. หาระยะทางจากการหาปริพันธ์เชิงตัวเลขโดยใช้การประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method) เมื่อ dx คือระยะที่เคลื่อนที่ในแนวแกน x, dy คือระยะที่เคลื่อนที่ในแนวแกน y และ dz คือระยะที่เคลื่อนที่ในแนวแกน z



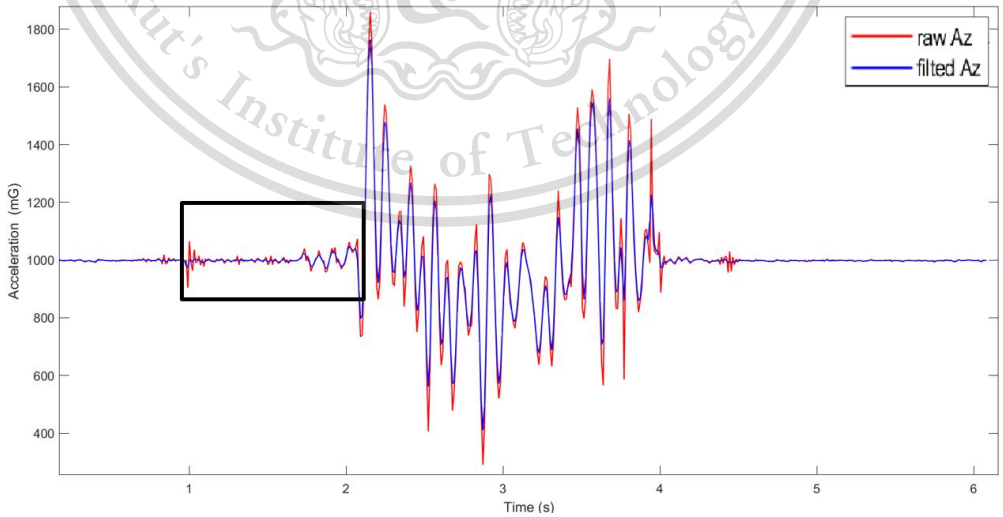
รูปที่ 5. 8 ระยะทางจากหาปริพันธ์เชิงตัวเลขจากความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าที่สูงมาก ทั้งนี้ค่าความผิดพลาดนั้นมีค่ามาจากความผิดพลาดสะสมจากการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข ซึ่งค่าความผิดพลาดที่สะสมนี้ก็เกิดมาจากสัญญาณรบกวนภายในตัวเซ็นเซอร์เอง และการชดเชยแรงโน้มถ่วงของโลก

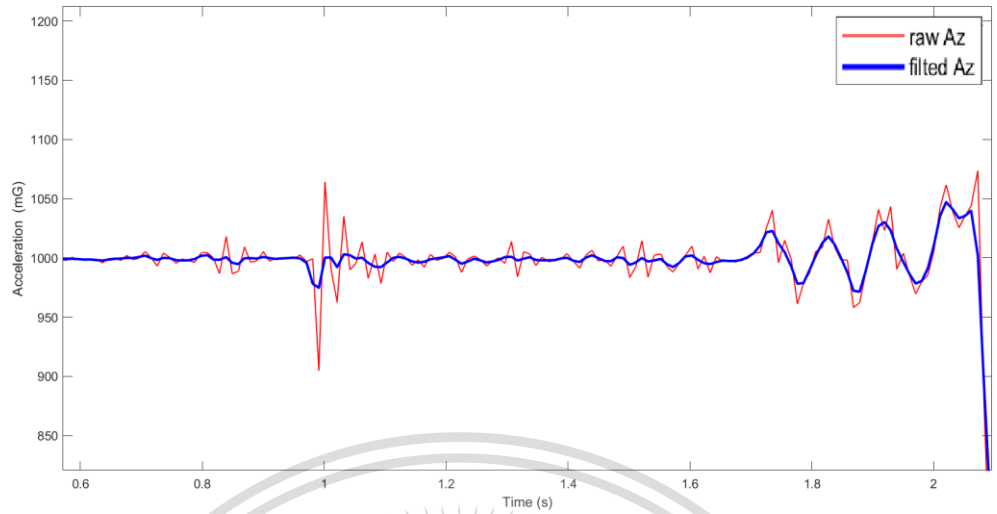
ดังนั้นในจึงได้ประยุกต์ใช้การรวมกันของสัญญาณเซนเซอร์เพื่อปรับแก้ข้อด้อยของเซนเซอร์แต่ละชนิด โดยใช้เซ็นเซอร์ MPU-9250 ซึ่งเซนเซอร์นี้มีเซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) และเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก (Magnetometer) อย่างละ 3 แกนที่ทำมุมตั้งฉากกัน คือ แกน x,y,z ในการทดลองวัดค่าความเร่งออกมาเป็นหน่วยจี (G) ไจโรสโคปวัดค่าความเร็วเชิงมุมมีหน่วยองศาต่อวินาที (DPS) และสนามแม่เหล็กโลกมีหน่วยเป็นเทสล่า (T) โดยสนามแม่เหล็กโลกจะเป็นตัวอ้างอิงสำหรับการหามุมและเป็นเซ็นเซอร์หาค่ามุมร่วมกับเซ็นเซอรวัดความเร่ง เนื่องจากการหามุมจากความเร็วเชิงมุมจะใช้วิธีการหาปริพันธ์เชิงตัวเลขซึ่งจะเกิดการสะสมค่าความผิดพลาดและมุมที่คำนวณได้จะเอียงขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงใช้เซนเซอร์วัดความเร่งและเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กหักลบค่าผิดพลาดนี้ โดยใช้ Madgwick-filter [1] โดย Madgwick-filter จะรับค่าความเร่ง ความเร็วเชิงมุม และค่าสนามแม่เหล็ก และจะให้ค่าเป็นพิกัดอ้างอิงควอเทอร์เนียน (Quaternion Orientation) โดยจะใช้ทั้งความเร่งและสนามแม่เหล็กเพื่อชดเชยการเอียงของการหมุน

สัญญาณรบกวนภายในเซนเซอร์ความเร่งจะใช้ Low-Pass filter กรองสัญญาณที่มีความถี่สูงออก เปรียบเทียบระหว่างความเร่งในแนวแกน Z ระหว่างการกรองเส้นสีน้ำเงิน และสัญญาณที่ไม่ผ่านการกรอง



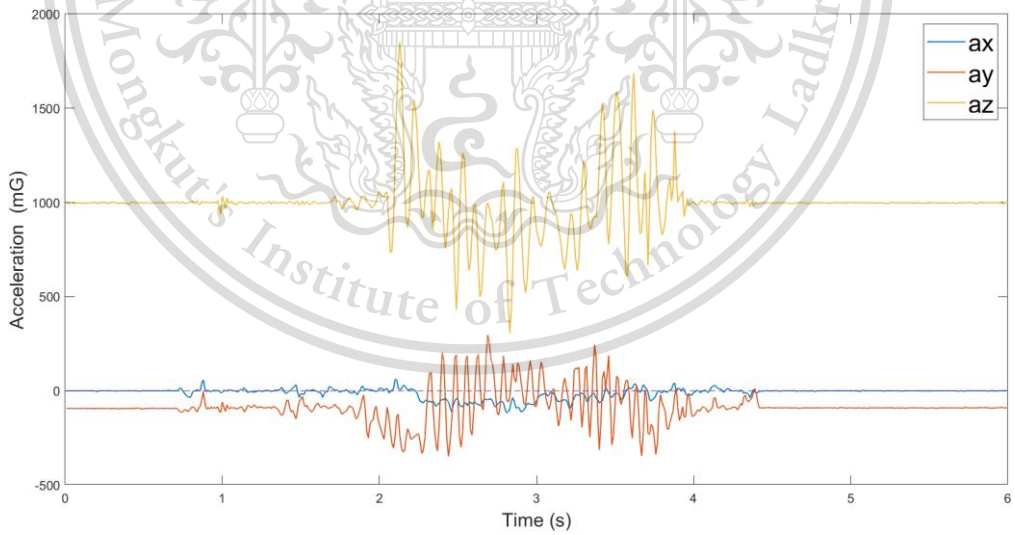
รูปที่ 5. 9 เปรียบเทียบค่าความเร่งของแกน Z ระหว่างการกรองกับไม่กรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5. 10 การขยายกราฟเปรียบเทียบค่าความเร่งของแกน Z ระหว่างการกรองกับไม่กรองสัญญาณ

จะเห็นว่าการกรองสัญญาณที่มีความถี่สูงออกจะทำให้สัญญาณราบเรียบขึ้น ซึ่งสัญญาณที่มีความถี่สูงนั้นจะเป็นตัวแทนของข้อมูลในการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข เมื่อสัญญาณราบเรียบขึ้นความผิดพลาดสะสมตรงนี้จะน้อยลงตามมา



รูปที่ 5. 11 กราฟแสดงความเร่งที่วัดได้หลังจากผ่านการกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากเมื่อเซ็นเซอร์เกิดการเอียงจะทำให้มีความเร่งจากแรงโน้มถ่วงในทุกๆแกนวัด การชดเชยแรงโน้มถ่วงจึงต้องใช้การชดเชยจากการหมุนไปของเซ็นเซอร์ ในที่นี้จะใช้วิธีทางควอเทอเนียน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ${}^{S}_{E}\hat{q}$ คือพิกัดอ้างอิงควอเทอร์เนียน (Quaternion Orientation) ของเฟรมหลัก (E) เทียบกับเฟรมของเซนเซอร์ (S) ควอเทอร์เนียนนี้ได้จาก Madgwick-filter
- ${}^{A}\hat{v}$ คือค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เป็นเซ็นเซอร์เฟรม

$$ {}^{S}\hat{v} = \begin{bmatrix} 0 \\ a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \tag{5-7} $$

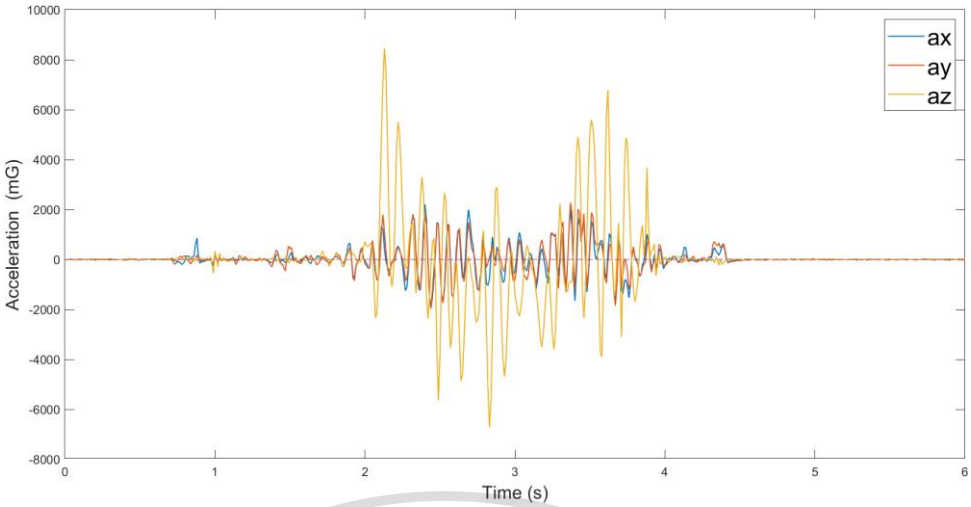
- ${}^{E}\hat{v}_g$ คือค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$$ {}^{E}\hat{v}_g = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9.81 \end{bmatrix} \tag{5-8} $$

การชดเชยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ควอเทอร์เนียน โดย $\otimes$ ตัวดำเนินการ Hamilton product

$$ {}^{E}\hat{v}_c = \begin{bmatrix} 0 \\ a_{zc} \\ a_{yc} \\ a_{zc} \end{bmatrix} = {}^{S}_{E}\hat{q} \otimes {}^{S}\hat{v} \otimes {}^{S}_{E}\hat{q}^{*} - {}^{E}\hat{v}_g \tag{5-9} $$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5. 12 การชดเชยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ควอเทอร์เนียน

เพื่อให้ง่ายต่อการมองมุมที่เคลื่อนที่ ดังนั้นจะแปลงควอเทอร์เนียนเป็นมุมของออยเลอร์ในรูปแบบ Flight Dynamic โดยใช้สมการ

$$\begin{bmatrix}\phi\\ \theta\\ \psi\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\arctan\frac{2(q_0q_1+q_2q_3)}{1-2(q_1^2+q_2^2)}\\ \arcsin(2(q_0q_2-q_3q_1))\\ \arctan\frac{2(q_0q_3+q_1q_2)}{1-2(q_2^2+q_3^2)}\end{bmatrix} \quad (5\text{-}10)$$

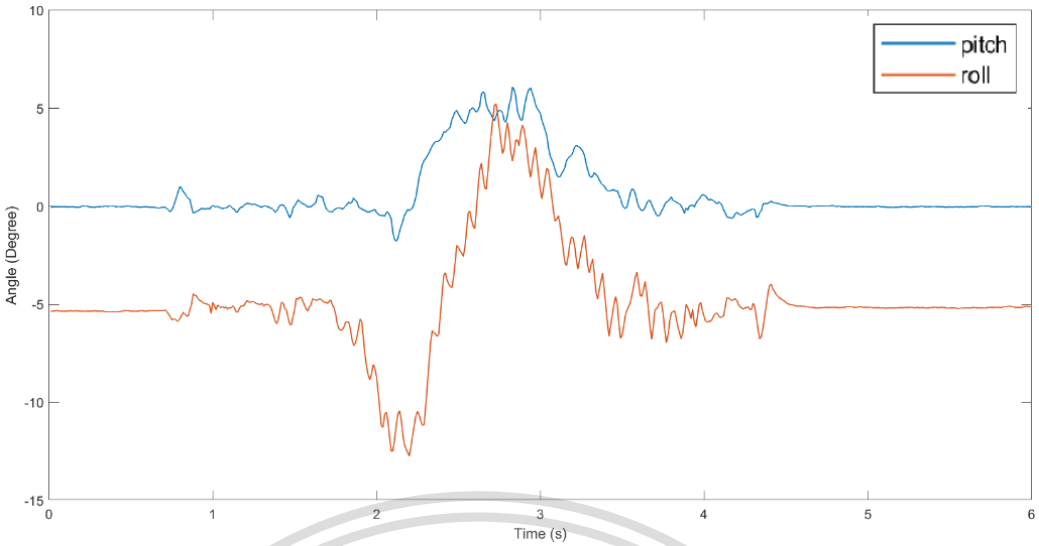
โดยที่ ϕ คือมุมการหมุนรอบแกน X หรือเรียกว่า Roll

θ คือมุมการหมุนรอบแกน Y หรือเรียกว่า Pitch

ψ คือมุมการหมุนรอบแกน Z หรือเรียกว่า Yaw

และควอเทอร์เนียน $\mathbf{q} = q_0 + q_1\mathbf{i} + q_2\mathbf{j} + q_3\mathbf{k}$, $|\mathbf{q}|^2 = q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

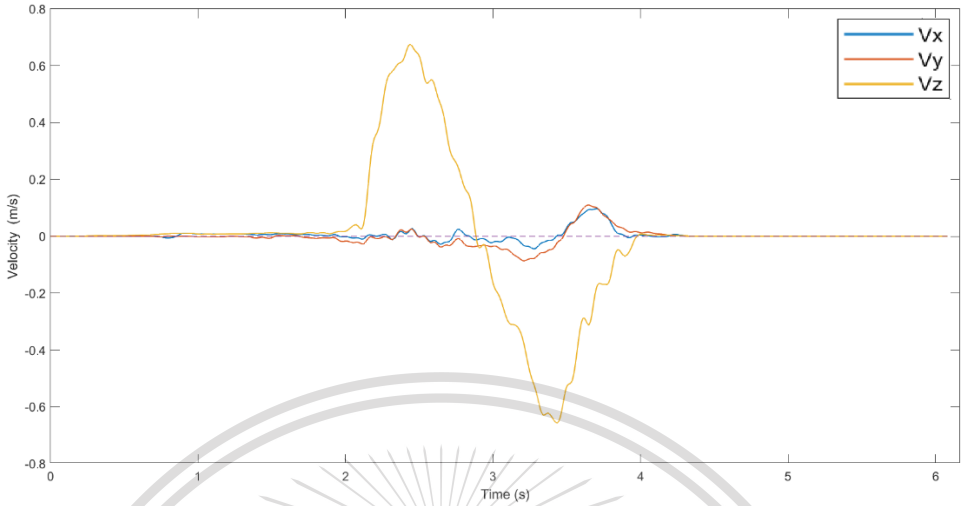


รูปที่ 5. 13 มุม Pitch, Roll ของการทดลอง

รูปที่ 5. 14 มุม Yaw ของการทดลอง

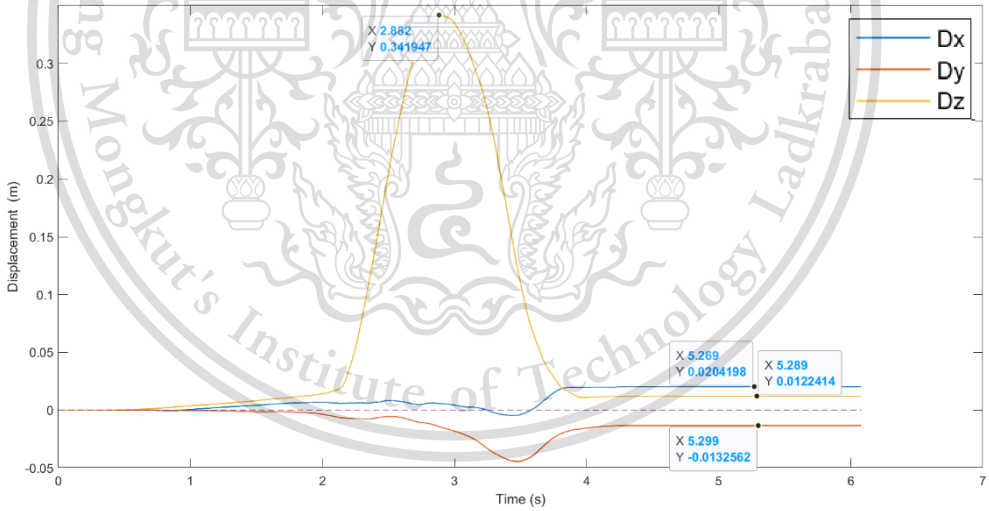
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หาความเร็วจากการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข โดยใช้การประมาณดวยสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method)



รูปที่ 5. 15 ความเร็วจากความเร่ง

หาระยะทางจากการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข โดยใช้การประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method)

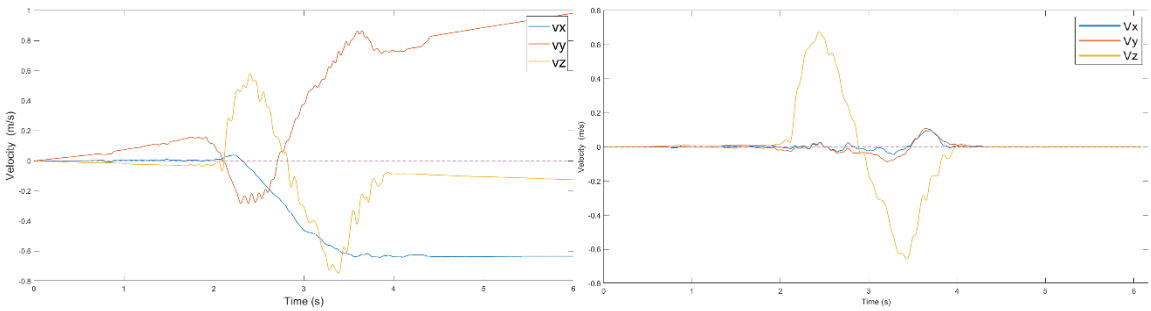


รูปที่ 5. 16 กราฟระยะทางจากความเร็ว

จากผลลัพธ์ระยะทางของแกน Z ที่ได้ ค่าสูงสุดที่วัดได้จากการรวมผลของเซ็นเซอร์มีค่า 34.2 เซนติเมตร จากค่าจริง 30 เซนติเมตร มีค่าความผิดพลาด 14 เปอร์เซ็นต์ และค่าสุดท้ายของผลลัพธ์ของแกน Z มีค่า 1.2 เซนติเมตร ซึ่งจากค่าสุดท้ายที่ต้องเท่ากับ 0 ทั้งนี้ค่าความผิดพลาดของทั้งสองนั้น

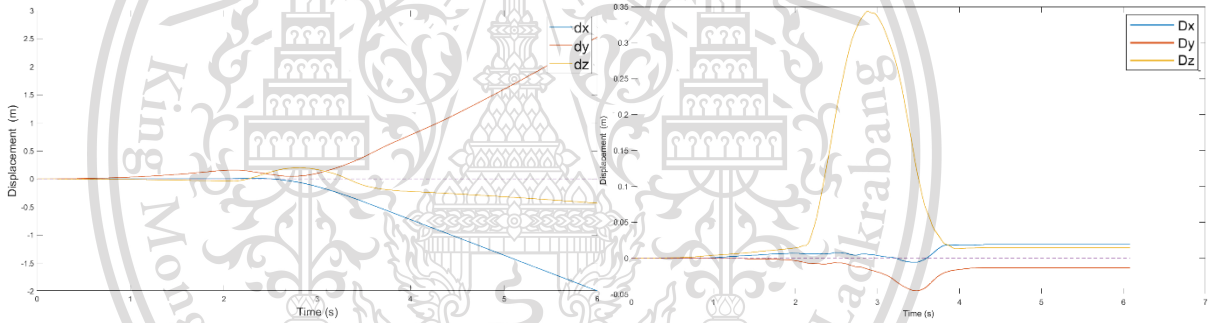
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เกิดมาจากตัวแทนของข้อมูลที่ใช้การหาปริพันธ์เชิงตัวเลขโดยใช้การประมาณค่า และความผิดพลาดจากการวัด



(ก) (ข)

รูปที่ 5. 17 กราฟเปรียบเทียบความเร็วระหว่างก่อนการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ก) และหลังการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 5. 18 กราฟเปรียบเทียบระยะทางระหว่างก่อนการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ก) และหลังการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ รูป (ข)

เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การทดลองเดิมและหลังการกรองสัญญาณและรวมเซ็นเซอร์ ค่าที่ได้เมื่อรวมกับทิศทางการสั่น ระยะของการสั่นในแต่ละแกนและมุมที่เคลื่อนที่ไปในแต่ละแกนก็สามารถนำไปหารูปแบบการสั่นของถาดสั่นสะเทือนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6

สรุปผล การปรับปรุง และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและติดตั้งถาดสั่นสะเทือนนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง จากสกรูลำเลียงถึงห้องเผาไหมช่วย เพื่อแก้ไขปัญหาการกองของเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้การเผาไหม้ไม่มี ประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงต้องทำการบดเชื้อเพลิงให้มีลักษณะเป็นผงก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ในการลำเลียงใช้ถาดสั่นสะเทือนร่วมกับระบบลม ภายใต้เงื่อนไขของการเผาไหม้ที่อัตราความร้อนไม่เกิน 300 kW เนื่องจากในการเผาไหม้ที่อัตราความร้อนมากกว่า 300 kW จะมีอัตราการไหลของลมสูง ทำให้ลมเหล่านี้พัดพาเชื้อเพลิงที่อาจเกิดการกรองอยู่ในท่อลำเลียงไปจนหมด

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 0.5, 1.0 และ 1.5 kg/s มีค่าไม่ถึง 0.1% โดยประสิทธิภาพที่ได้จะมากขึ้นตามการเพิ่มของอัตราการไหล หรือก็คือ ยิ่งอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจาก Screw feed สูง ประสิทธิภาพที่ได้ก็จะยิ่งสูงขึ้นไปอีก ทั้งนี้จะเกิดการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น การชนกันของอนุภาคเชื้อเพลิงภายในท่อระหว่างการลำเลียง การสะสมความเค้นจากการสั่นของโครงเหล็กที่ยึดกับถาดสั่นสะเทือน แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการลำเลียงระหว่างอนุภาคเชื้อเพลิงกับผนังท่อลำเลียง เป็นต้น

เนื่องจากเงื่อนไขในการหาประสิทธิภาพของผู้จัดทำไม่ตรงกับผลลัพธ์จากการทดลองของถาดสั่นสะเทือนแบบเก่าหรือโครงงานชิ้นก่อน ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของถาดสั่นที่ได้หลังจากการแก้ไขปรับปรุงมีค่ามากกว่าถาดสั่นก่อนการแก้ไขปรับปรุง แต่จากการทดลองเปิดใช้ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการที่ภาควิชา พบว่าการขนส่งลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงของถาดสั่นสะเทือนที่ได้หลังจากการปรับปรุงนี้สามารถลำเลียงเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดการกรองของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงน้อยมาก จึงกล่าวได้ว่าประสบความสำเร็จในการลดการกรองหรือตกค้างของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงได้

จากการทดลองติดเซ็นเซอร์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ของถาดสั่นสะเทือนนี้ไม่สามารถทำการทดลองจริงที่ห้องปฏิบัติการได้อันเนื่องมาจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ผู้จัดทำจึงต้องจำลองการสั่นสะเทือนขึ้นมาเองเพื่อศึกษาลักษณะของการสั่นสะเทือนอย่างง่ายนี้โดยใช้วิธีการคำนวณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.2 การปรับปรุง

จากโครงงานก่อนหน้าการแก้ไขปรับปรุงนี้ ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบแล้วพบว่า ถาดสั่นสะเทือนมีการเคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบ หรือเคลื่อนในทุกทิศทาง ทำให้การลำเลียงเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพต่ำ อีกทั้งโครงสร้างของถาดสั่นมีความแข็งแรงน้อย เกรงว่าหากใช้งานในระยะยาวอาจเกิดความเสียหายกับถาดสั่นสะเทือนนี้ได้ ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างของเหล็กกล่องที่รองรับการสั่นสะเทือน เปลี่ยนสปริงให้เหมาะสมกับความต้องการ เป็นต้น

จากการทดสอบการลำเลียงของถาดสั่นสะเทือนหลังการแก้ไขปรับปรุงพบว่า มีเชื้อเพลิงบางส่วนที่มีการไหลย้อนกลับหรือเคลื่อนที่สวนทางกับทิศทางที่ต้องการ ผู้จัดทำจึงแก้ปัญหานี้โดยการนำแท่งเหล็กกล่องมาเชื่อมยึดติดระหว่างถาดสั่นสะเทือนกับคานดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 เพื่อป้องกันไม่ให้ถาดสั่นสะเทือนนี้เคลื่อนที่ไปทางด้านหลัง

6.3 ข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการติดตั้งถาดสั่นสะเทือนเสร็จ ควรวิเคราะห์ถาดสั่นนี้เพื่อหาความถี่หรือตำแหน่งของมอเตอร์สั่น (Unbalance Motor) ที่ทำให้การลำเลียงเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของถาดสั่นสะเทือนนี้จากการลำเลียงเชื้อเพลิง เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น โดยมีสาเหตุหลักดังนี้

1. การชนกับของอนุภาคเชื้อเพลิงระหว่างการลำเลียงทำให้เกิดการสะสมพลังงานในรูปแบบของความร้อน

2. การสะสมพลังงานในรูปแบบของความเค้นของโครงเหล็กที่ติดอยู่กับถาดสั่นสะเทือน เนื่องจากอิทธิพลของการสั่นจากถาดสั่นสะเทือน

3. เกิดการสะสมพลังงานในรูปของแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคเชื้อเพลิงกับผนังท่อลำเลียงที่เกิดขึ้นในการลำเลียงเชื้อเพลิง

4. เซ็นเซอร์และวิธีการวิเคราะห์ผลจากเซ็นเซอร์สามารถนำไปติดตั้งที่ถาดสั่นในอนาคตได้

5. จากการวัดความเร็วการหมุนของมอเตอร์ทำให้ทราบว่า ความเร็วของการหมุนไม่เท่ากับที่ระบุไว้บนตัวของมอเตอร์ โดยความเร็วที่ระบุไว้คือ 3000 รอบต่อนาที แต่ที่วัดได้ 2005 รอบต่อนาที ในการปรับปรุงในอนาคตควรจะเปลี่ยนสปริงให้ค่าคงที่น้อยกว่าเดิม หรือเพิ่มมวลของระบบหรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้ตรงกับ 3000 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น เราสามารถแก้ไขบางปัญหาได้เช่นข้อที่ 2. โดยการสร้างโครง-เหล็กแยกขึ้นมาเพื่อยึดติดกับถาดสั่นสะเทือนทั้งระบบ โดยไม่ยุ่งเกี่ยวกับโครงเหล็กที่รองรับระบบเผาไหม้หรือระบบลม ๆ ทั้งสิ้น หรือข้อ 3. แก้ไขโดยเปลี่ยนท่อลำเลียงโดยเลือกใช้ท่อที่ผนังด้านในมีความลื่นสูง เพื่อลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่จะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] Sebastian O.H. Madgwick, Andrew J.L. Harrison, Ravi Vaidyanathan. (2011). **Estimationof IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm**. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics: ETH Zurich Science City, Switzerland.

[2] เกวลี ชอบพานิช, ณัฐนรี พึ่งพรพรหม และ วิรากานต์ กิตติบวรกุล (2562). **การปรับปรุงการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงโดยใช้ถาดสั่นสะเทือน**. ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] พีรพัฒน์ เทพลิบ. (2560). **การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสสำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1MW**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] ชินภัทร ธุรการ. (2558). **การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม**. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] อภิชาติ ศรีชาติ. (2016). **การขนถ่ายวัสดุ (Material Handling).** สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

[6] M. L. Chandravanshi, A. K. Mukhopadhyay. (2017). **Analysis of variations in vibration behavior of vibratory feeder due to change in stiffness of helical springs using FEM and EMA methods.** Indian Institute of Technology (ISM) Dhanbad.

[7] Cecila Alejandra, Villarroel González. (2017). **Design and Implementation of an Inertia Navigator System using Kalman Filter.** Departamento de Informática. Universidad técnica Federico Santa María.

[8] Singiresu S. Rao. (2018). **Mechanical Vibrations**. Sixth edition. United States: Pearson Prentice Hall.

[9] David Mills. (2004). **PNEUMATIC CONVEYING DESIGN GUIDE.** Second edition. Linacre House, Jordan Hill, Oxford.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[10] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett (2015). **SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN**. Tenth edition. New York: McGraw-Hill Education.

[11] Maurice Petyt. (2010). **Introduction to Finite Element Vibration Analysis**. Second edition. United States: Cambridge University.

[12] Alan B. Palazzolo. (2016). **Vibration Theory and Applications with Finite Elements and Active Vibration Control**. United Kingdom: John Wiley & Sons.

[13] Erik Grahn. (2017). **Evaluation of MEMS accelerometer and gyroscope for orientation tracking nutrunner functionality.** Skolan för Teknik och Hälsa 141 57 Huddinge, Sverige.

[14] **ประเภทของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุพื้นฐานทั่วไป.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.methakorn-eng.co.th. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 กันยายน 2563)

[15] **ภาพรวมการแบ่งประเภทของสายพานลำเลียง**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.thaibucketelevator.com/16907678/ภาพรวมการแบ่งประเภทของสายพานลำเลียง . (วันที่ค้นข้อมูล: 19 กันยายน 2563)

[16] **Vibrator (อุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือน)**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.pneum.ax.co.th/artical-vibrator . (วันที่ค้นข้อมูล: 27 ตุลาคม 2563)

[17] **อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลมในอุตสาหกรรม**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.xn--12c0bmhbh1dzcbxi8ak2ge1lrfxc.com/PNEUMATICVIBRATOR.htm . (วันที่ค้นข้อมูล: 27 ตุลาคม 2563)

[18] **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/khormulmorter/?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1 . (วันที่ค้นข้อมูล: 3 พฤศจิกายน 2563)

[19] **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/nattadech5510122526011/home/mxtexr-fifa-khux-xari/hlak-kar-thangan-khxng-mxtexr/mxtexr-chnid-tang/mxtexr-fifakrasae-slab-ac-alternating-current-motor-hrux-xe-si-mxtexr . (วันที่ค้นข้อมูล: 3 พฤศจิกายน 2563)

[20] **โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบไพอิโซรีซิสทีฟ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.pcb.com/resources/technical-information/mems-accelerometers (วันที่ค้นข้อมูล: 5 พฤศจิกายน 2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[21] M.L. Wang, J.P. Lynch and H. Sohn. (2014). **Sensor Technologies for Civil Infrastructures**. England: Elsevier.

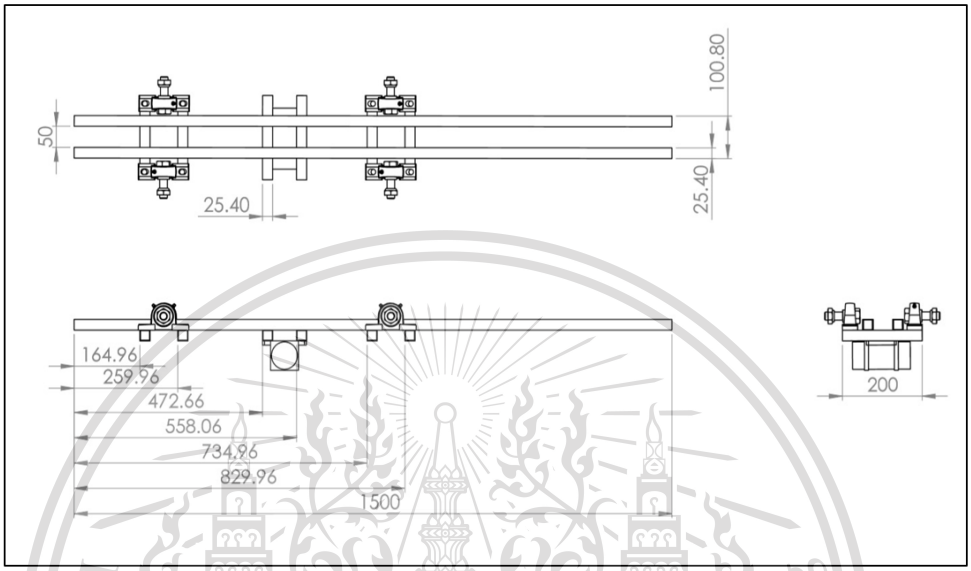
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

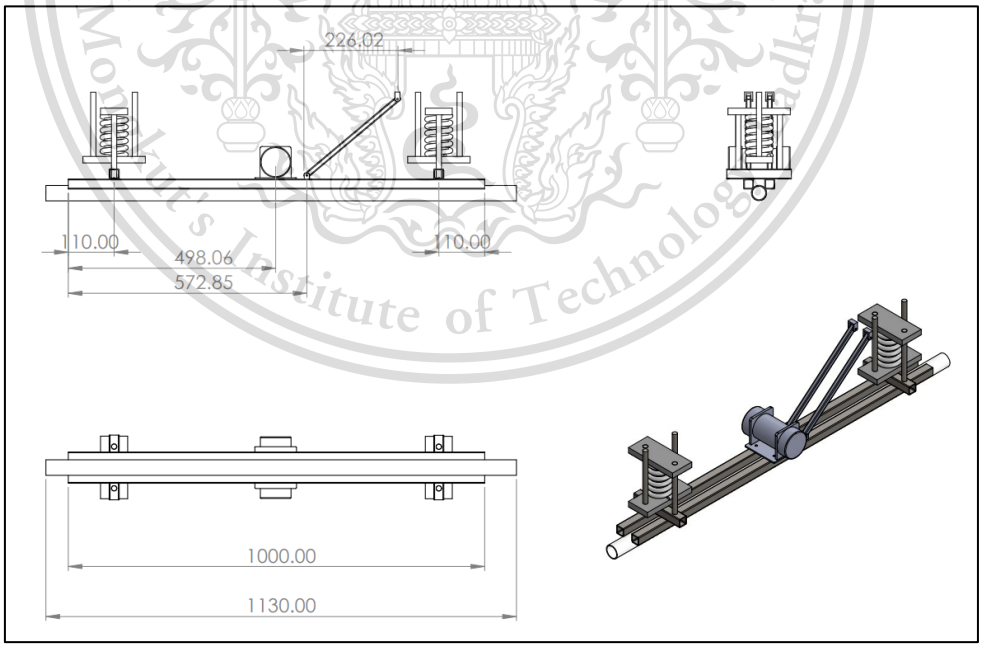
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก.
แบบจำลองในการติดตั้งถาดสั่นสะเทือน

รูป ก.1 แสดงขนาดแบบถาดสั่นสะเทือนก่อนการแก้ไข



รูป ก.2 แสดงขนาดแบบถาดสั่นสะเทือนหลังการปรับปรุง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข
ตารางที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง ข.1 แสดงค่าคงที่ต่าง ๆของสปริง

Material	Elastic Limit, Percent of S_{ut} 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

ตาราง ข.2 แสดงค่าสำคัญต่าง ๆของมอเตอร์ที่ใช้

(Vibrating motor single phase Micro 21M)	
$M_{morter(kg)}$	2
$m_{unbalance(kg)}$	0.08
e(m)	0.014
ω_r(rad/s)	314.2
F_0 (N)	110.568

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.