สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองเชิงทดลองสำหรับศึกษาการทำงานของกระบอกสูบแบบแกว่ง

Experimental Model for Studying Oscillating Cylinder

T 0 6 1 7 3 6

นายปุณณรัตน์ โพธิ์ศรี
นายปราโมทย์ ทองสว่างแจ้ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61736
วัน,เดือน,ปี 21 ม.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเชิงทดลองสำหรับศึกษาการทำงานของกระบอกสูบแบบแกว่ง

Experimental Model for Studying Oscillating Cylinder

โดย

นายปุณณรัตน์ โพธิ์ศรี

นายปราโมทย์ ทองสว่างแจ้ง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีระจอมกล้าเจาคุรทหารลาดระบัง

เรื่อง แบบจำลองเชิงทดลองสำหรับศึกษาการทำงานของกระบอกสูบแบบแกว่ง

Experimental Model for Studying Oscillating Cylinder

ผู้จัดทำ

1. นายปุณณรัตน์ โพธิ์ศรี รหัสประจำตัว 44010764
2. นายปราโมทย์ ทองสว่างแจ้ง รหัสประจำตัว 44010757

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเชิงทดลองสำหรับศึกษาการทำงานของกระบอกสูบแบบแกว่ง

นายปุณณรัตน์ โพธิ์ศรี 44010764
นายปราโมทย์ ทองสว่างแจ้ง 44010757
ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ จะทำการศึกษาหาความสัมพันธ์และการทำงานของข้อเหวี่ยงและก้านสูบ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของลูกสูบในเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาทำให้มีการศึกษาพัฒนาเครื่องยนต์ เพราะฉะนั้นการออกแบบและสร้างชุดทดลองที่สามารถศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ ระยะชัก ความเร็วและความเร่ง ของลูกสูบ จึงมีความสำคัญมากที่จะช่วยในการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Model for Studying Oscillating Cylinder

Punnarat Porsri 44010764
Pramote Tongsawangchang 44010757
Asist. Prof. Ming Lokitsangtong Advisor
Pongsak Kammon Advisor
Prasit Kampanyim Advisor

Abstract

This research concerns with a study of the relationship between connecting rod and crankshaft They are the main components of piston in machine. Nowadays , the new technology has influence on the evolution of engine , the machine with higher performance. Therefore, the design and analysis, the relation of stroke, velocity, acceleration of piston related to the mechanical model, are important.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project ซึ่งนับเป็นโอกาสอันดีที่ทำให้นักศึกษา ได้นำความรู้ในภาคทฤษฎีมาทำการปฏิบัติ เป็นการเพิ่มพูนความรู้ และประสบการณ์ให้แก่นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง อ.พงษ์ศักดิ์ คำมูลและ อ. ประสิทธิ์ คำพันยิ้ม อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างเต็มที่เกี่ยวกับโครงงานนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน อันหาที่เปรียบไม่ได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายปุณณรัตน์ โพธิ์ศรี
นายปราโมทย์ ทองสว่างแจ้ง
มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ V

สารบัญตาราง VI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 1

1.4 วิธีการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้เครื่องจักรกล

2.1 การคำนวณโดยวิธีโพลีกอน 3

2.2 การหา velocity และ acceleration โดยวิธี Analytical 9

2.3 สูตรการคำนวณจากกลไกการเคลื่อนที่ของ Slider Crank 11

2.3.1สูตรการคำนวณระยะชักใดๆของกระบอกสูบ 11

2.3.2 สูตรการคำนวณความเร็วของลูกสูบ 11

2.3.3 สูตรการคำนวณความเร่งของกระบอกสูบ 12

2.4 โครงสร้างของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ 12

2.4.1 ลูกสูบและแหวนลูกสูบ 15

2.5 การสมดุล(Balancing)ชิ้นงานหมุน 20

2.5.1 สาเหตุของขนาดความไม่สมดุล(แรงเหวี่ยงหนีศูนย์) 20

2.5.2 สาเหตุการไม่สมดุลของชิ้นงาน 20

2.6 อุปกรณ์ตรวจตำแหน่งและการเคลื่อนที่ 20

2.6.1 Variable Resistant 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การคำนวณ การสร้างและการออกแบบ

3.1ส่วนประกอบต่าง ๆและการออกแบบ 22

3.2 ขั้นตอนการติดตั้งชุดอุปกรณ์ 27

3.2.1 ประกอบโครงสร้าง เตรียมการติดตั้งอุปกรณ์ 27

3.2.2 ติดตั้งมอเตอร์กับฐานยึด ประกอบเพลาส่งกำลังเข้ากับมอเตอร์ 27

3.2.3.ติดตั้งข้อเหวี่ยงเข้ากับเพลาส่งกำลัง 27

3.2.4. ติดตั้งชุดตรวจจับการเคลื่อนที่เหนือกระบอกสูบ 28

3.2.5.ต่อสัญญาณออกจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ 28

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 29

3.4 การคำนวณ ภาระของมอเตอร์ 30

3.5 หลักการคำนวณในการแปลงค่ากราฟจากออสซิลโลสโคป 31

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ 1 32

ผลการทดลองที่ 2 41

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง 45

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 45

5.3 ข้อเสนอแนะ 45

ภาคผนวก

เอกสารการอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ความเร็วที่ตำแหน่ง A	3
2.2 การเปรียบเทียบความเร็วของตำแหน่ง A และ B	4
2.3 ลักษณะการวาดเป็น velocity polygon	5
2.4 การเปรียบเทียบความเร่งของตำแหน่ง A และ B	7
2.5 ลักษณะของ acceleration polygon	8
2.6 เวคเตอร์ตำแหน่งของ four – bar linkage	9
2.7 การเคลื่อนที่ของกลไก Slider Crank	11
2.8 ภาพตัดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบกระบอกสูบเรียง	13
2.9 ลูกสูบพร้อมแหวนลูกสูบและก้านสูบ	13
2.10 ลูกสูบและแหวนลูกสูบ	14
2.11 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ	14
2.12 ตำแหน่งศูนย์ตายบนและศูนย์ตายล่าง	15
2.13 ระยะช่องว่างระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ	15
2.14 การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาและแบบหมุน	16
2.15 สลักข้อเหวี่ยงส่ายเป็นวงกลมในขณะที่ข้อเหวี่ยงหมุน	16
2.16 การยึดก้านสูบกับลูกสูบและสลักข้อเหวี่ยง	17
2.17 การประกอบลูกสูบ ก้านสูบ และข้อเหวี่ยงเข้าด้วยกัน	17
2.18 สลักข้อเหวี่ยงเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบข้อเหวียงในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและลง	18
2.19 ลำดับการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบของข้อเหวี่ยงเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จากจุดสูงสุด แล้วกลับมาจุดสูงสุดอีกครั้งหนึ่ง	19
2.20 Variable Resistant	21
3.1 โครงสร้างของชุดทดลอง	22
3.2 ข้อเหวี่ยง	23
3.3 ก้านสูบ	23
3.4 กระบอกสูบ	24
3.5 ลูกสูบ	24
3.6 เพลาส่งกำลัง	24
3.7 แบริ่งตุ๊กตา	25
3.8 มอเตอร์กระแสตรง	25
3.9 Variable Resistant	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.10 ชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ 26

3.11 ออสซิลโลสโคป DS-6411 Digital Storagescope 26

3.12 โครงสร้างของชุดทดลองเตรียมการติดตั้ง 27

3.13 การติดตั้ง มอเตอร์ เพลาส่งกำลังและแบริ่งตุ๊กตา 27

3.14 การติดตั้งข้อเหวี่ยง ก้านสูบและลูกสูบ 27

3.15 การติดตั้ง Variable Resistant 28

3.16 การต่อสัญญาณออกจาก Variable Resistant เข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคป 28

3.17ชุดทดลองที่สมบูรณ์ 29

3.18 ความสัมพันธ์ของแรงดันเทียบกับเวลา เมื่อ r = 0.02 m และ l =0.1 m 31

4.1 Displacment vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.02 m และ l=0.10,0.11,0.12m 34

4.2 Displacment vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.02 m และ l=0.10,0.11,0.12 m 34

4.3 Displacment vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12m 35

4.4 Displacment vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12m 35

4.5 Displacment vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.036 m และ l=0.10,0.11,0.12m 36

4.6 Displacment vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.036 m และ l=0.10,0.11,0.12m 36

4.7 Velocity vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12m 37

4.8 Velocity vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12m 37

4.9 Velocity vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r =0.028 m และ l=0.10,0.011,0.12 m 38

4.10 Velocity vs Time จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=00.028 m และ l=0.10,0.11,0.12m 38

4.11 Acceleration vs Timeจากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12m 39

4.12 Acceleration vs Degreeจากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12m 39

4.13Acceleration vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r= 0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12m 40

4.14Acceleration vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r= 0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12m 40

4.15 Velocity vs Number ที่ได้จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l = 0.11 m 43

4.16Velocity vs Degree ที่ได้จากทางทฤษฎี r=0.028 m และ l = 0.11 m 43

4.17 Acceleration vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r= 0.028 m และ l =0.11 m 44

4.18 Acceleration vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l=0.112m 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4. 1 แรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ในช่วง 2 ความยาวคลื่น 32
ตารางที่ 4.2 การกระจัดเทียบกับเวลาในช่วง 2 ความยาวคลื่น 33
ตารางที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ที่ช่วง 2 ความยาวคลื่น เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ 41
ตารางที่ 4.4 การกระจัดเทียบกับเวลา ที่ช่วง 2 ความยาวคลื่นเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมรถยนต์ได้มีการคิดค้น พัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบการทำงานของกระบอกสูบ ก็เป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่ง ที่จะช่วยให้เครื่องยนต์ทำงานได้มีประสิทธิภาพเพราะฉะนั้นการสร้างแบบจำลองขึ้นมาก็เป็นพื้นฐานสำคัญอย่างหนึ่ง ที่จะใช้ในการศึกษาการทำงานของลูกสูบ โดยได้ทำการวิเคราะห์ชุดทดลองแบบ Slider crank โดยทำการเปลี่ยนตัวแปรที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เช่น รัศมีข้อเหวี่ยง ความยาวของก้านสูบ แล้วนำมาวิเคราะห์ผลที่ได้ในแต่ละกรณี เพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากทางทฤษฎีและการคำนวณ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานของกลไกในห้องปฏิบัติการ

1.2.2 Static Measurement

1.2.3 Dynamic Measurement

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทางทฤษฎี และจากการทดลอง

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ใช้ในการศึกษาการทำงานของลูกสูบโดยได้ทำการสร้างชุดทดลองขึ้นมาเพื่อศึกษาระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ไม่ได้ศึกษาถึงการจุดระเบิดของห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์ เพราะฉะนั้นเราจะไม่สนใจในเรื่องของการจุดระเบิดและการเผาไหม้ในเครื่องยนต์แต่อย่างใด งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาหา ระยะทางการเคลื่อนที่ ความเร็ว รวมทั้งความเร่งของลูกสูบ โดยได้ทำการเปลี่ยนระยะของก้านสูบ รัศมีของข้อเหวี่ยงและความเร็วรอบของมอเตอร์แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ไป plot กราฟ โดยใช้โปรแกรม matlab ในการหาสมการแนวโน้มของกราฟ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไป plot กราฟ และนำกราฟที่ได้จากทางทฤษฎี และจากการทดลองมาทำการเปรียบเทียบกัน

1.2.1 กำหนดให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองสูงสุดไม่เกิน 300 rpm

1.2.1 ใช้มอเตอร์กระแสตรง ขนาด 36 วัตต์ เป็นตัวขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วิธีการดำเนินงาน

แบ่งเป็นสองขั้นตอนการดำเนินงาน คือ

การทดลองที่ 1.4.1

1.4.1.1 กำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ให้คงที่ = 180 rpm

1.4.1.2 กำหนดค่าเริ่มต้นของรัศมีข้อเหวี่ยงที่ระยะ 0.02 m และความยาวก้านสูบที่ระยะ 0.1 m

1.4.1.3 สังเกตการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ได้แสดงผลออกมาในรูปของกราฟ จากออสซิลโลสโคป และนำไปวิเคราะห์ผล

1.4.1.4 เปลี่ยนระยะรัศมีข้อเหวี่ยงและความยาวก้านสูบที่ระยะต่าง ๆ จาก r= 0.02 เป็น 0.028 และ 0.036 m ตามลำดับและ / = 0.1เป็น 0.11 และ 0.12 m ตามลำดับแล้วทำการทดลองเหมือนกับข้อที่ผ่านมา

การทดลองที่ 1.4.2

1.4.2.1 เปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์จาก 180 rpm เป็น 240 rpmและ 300 rpm ตามลำดับ

1.4.2.2 กำหนดระยะรัศมีข้อเหวี่ยงที่ 0.028 m และความยาวก้านสูบที่ระยะ 0.11 m

1.4.2.3 สังเกตการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ได้แสดงผลออกมาในรูปของกราฟ จากออสซิลโลสโคป และนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้เครื่องจักรกล

2.1การคำนวณโดยวิธีโพลีกอน

เนื่องจาก project นี้เป็นการคำนวณเกี่ยวกับโครงสร้างในลักษณะของ Four – bar linkage ดังนั้นทฤษฎีจึงเกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิชา Machinery โดยตรง โดยเนื้อหาวิชานั้นจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 2 Velociy Analysis

รูปที่ 2.1 ความเร็วที่ตำแหน่ง A

จากรูปที่ 2.1 ตำแหน่งของจุด A ที่วัดจากจุด จะกำหนดให้มีความยาว R และกำหนดให้เป็นมุมที่วัดเทียบกับแกน X เราจะสามารถหาความเร็วที่ตำแหน่ง Aได้จากเวคเตอร์ตำแหน่งA สามารถเขียนในรูปแบบของ Polar Form ได้เป็น

$$R_A = R_A e^{i\theta_A} \qquad (2.1)$$

จาก (2.1) เราสามารถกระจายได้โดยใช้ Euler s equation

$$R_A = R_A \cos\theta_A + iR_A \sin\theta_A \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถที่จะหา absolute linear velocity ของตำแหน่ง A ได้โดยการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างเวคเตอร์ตำแหน่งของ A กับ time

$$V_A = \frac{dR_A}{dt} \tag{2.3}$$

หรืออยู่ในลักษณะ Polar foem (โดยกำหนดความเร็วเชิงมุม $\omega_2 = d\theta_A / dt$)

$$V_A = iR_A \frac{d\theta_A}{dt} e^{i\theta_A} = R_A \omega_2 i e^{i\theta_A} = iR_A \omega_2 \tag{2.4a}$$

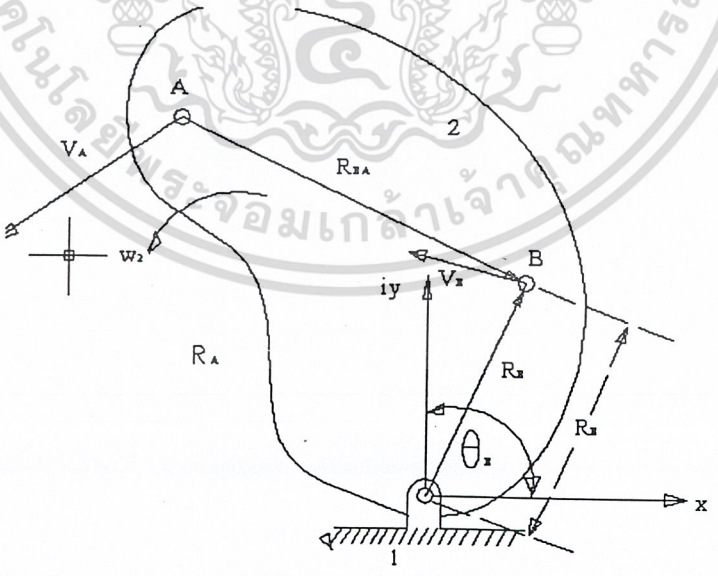
จากรูป (2.4) เราสามารถกระจายได้

$$V_A = R_A(-\sin\theta_A) \frac{d\theta_A}{dt} + iR_A(\cos\theta_A) \frac{d\theta_A}{dt} = R_A \omega_2(-\sin\theta_A + i\cos\theta_A) \tag{2.4b}$$

เนื่องจาก

$$\left|V_A\right| = V_A = R_A \left|\omega_2\right|$$

โดยที่ทิศทางของ นั้นมีทิศทางที่ตั้งฉากกับเวคเตอร์ตำแหน่งของ A สำหรับค่าของ นั้น ถ้ามีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะกำหนดให้เป็นบวก แต่ถ้ามีทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะกำหนดให้เป็นลบ



2.2 การเปรียบเทียบความเร็วของตำแหน่ง A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาพิจารณารูปที่ 2.2 เราสามารถที่จะหา absolute linear velocity ของตำแหน่ง B ได้เช่นเดียวกับตำแหน่งของ A โดยสามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของ Polar form ได้เป็น

$$V_B = R_B \omega_2 i e^{i\theta_B} = R_B i \omega_2 \qquad (2.5)$$

หรือสามารถที่จะกระจายได้เป็น

$$V_B = R_B \omega_2 (-\sin\theta_B + i\cos\theta_B) \qquad (2.6)$$

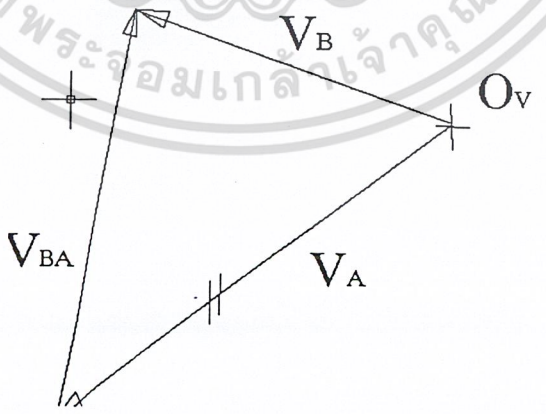
จากตำแหน่ง A และ B เราสามารถที่จะหาความเร็วสัมพันธ์ระหว่างจุดทั้ง 2 ได้จากสมการ

$$V_{BA} = V_B - V_A = R_B i \omega_2 - R_A i \omega_2 = (\overline{AB}) i \omega_2 = R_{BA} i \omega_2$$

หรือสามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$V_B = V_A + V_{BA} = R_B i \omega_2 = R_A i \omega_2 + (\overline{AB}) i \omega_2 \qquad (2.7)$$

ขั้นตอนต่อมาเป็นการนำสมการ (2.7) มาเขียนเป็นลักษณะของ velocity polygon ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่ง เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการวาด โดยเริ่มต้นจากทางซ้ายมือของสมการ (2.7) และเพื่อความสะดวกให้ลากสั้นโดยมีขนาดและทิศทางเช่นเดียวกับ ในรูปที่ 2.2 การลากเส้นให้เริ่มลากสันจากตำแหน่ง หลังจากนั้นให้ทำการวาดทางขวามือของสมการ (2.7) โดยให้มีขนาดและทิศทางเดียวกับ ในรูปที่ 2.1 ต่อไปก็ทำการลากเวคเตอร์ระหว่าง และ ซึ่งเวคเตอร์ที่อยู่ระหว่าง และ ก็คือ เวคเตอร์ นั่นเอง จากสมการ (2.7) จะเห็นว่ารูป velocity polygon นั้นจะเป็นลักษณะรูปเหลี่ยมปิดพอดีจากนั้นก็ทำการวัดขนาดและทิศทางของ รูปที่ 2.3 ได้ตามต้องการ จะเห็นได้ว่า นั้นจะมีทิศทางที่ตั้งฉากกับ ในรูปที่ 2.2 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า



รูปที่ 2.3 ลักษณะการวาดเป็น velocity polygon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{BA} = -V_{AB} \text{ หรือ } R_{BA} i\omega_2 = -R_{AB} i\omega_2 \quad (2.8)$$

และ

$$V_{BA} = i\omega_2 R_{BA} \quad (2.9)$$

จากสมการ (2.9) สามารถที่จะจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$|\omega_2| = \frac{V_{BA}}{R_{BA}} \quad (2.10)$$

จากหลักเกณฑ์ข้างต้นดังกล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้จะเป็นพื้นฐานในการที่จะสามารถหา velocity ในวิชา mahinery ได้ ซึ่งนับได้ว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการทำ project ชิ้นนี้

ส่วนที่ 2 Acceleration Analysis

จากทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่เบื้องต้นนั้น การที่จะหาความเร่งของระบบได้นั้นจะต้องหาความเร็วของระบบได้เสียก่อน สำหรับในวิชา mahinery นี้ก็เช่นเดียวกัน ซึ่งในส่วนของความเร็วนั้นเราสามารถที่จะหาได้จากเนื้อหาในที่แล้ว และในส่วนนี้จะเป็นการหาความเร่ง โดยสมการความเร็วของตำแหน่ง A ในสมการ (2.5)

$$V_B = R_B \omega_2 i e^{i\theta_B} = R_B i\omega_2 \quad (2.5)$$

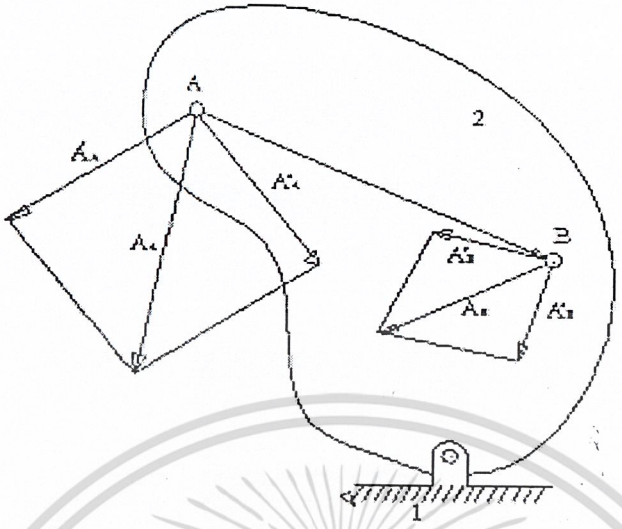
จากสมการดังกล่าวทำการ derivative ความเร็วในสมการดังกล่าวเทียบกับ time จะได้ absolute linear acceleration ที่ตำแหน่ง A ดังนี้ (โดยความเร่งเชิงมุม $\alpha_2 = d\omega_2 / dt$)

$$\begin{aligned} A_A &= R_A \alpha_2 i e^{i\theta_A} - R_A \omega_2^2 e^{i\theta_A} \\ A_A &= R_A(-\omega_2^2 + \alpha_2 i) e^{i\theta_A} \\ &= (-\omega_2^2 + i\alpha_2) R_A \end{aligned} \quad (2.11)$$

จากสมการความเร่งรัดดังกล่าวจะเห็นได้ว่าในสมการจะประกอบด้วยความเร่ง 2 ส่วน โดยในส่วนแรกเป็นส่วนที่มีขนาด และมีทิศทางที่สัมผัสกับการเคลื่อนที่ของตำแหน่ง A เราจะเรียกความเร่งในส่วนนี้ว่า **ความเร่งเชิงเส้น** (Tangential Acceleration) ความเร่งในส่วนที่ 2 จะมีขนาดจากสมการจะเห็นว่าความเร่งในส่วนนี้จะมีเครื่องหมายติดลบ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ความเร่งนี้จะมีทิศทางที่ตรงข้ามกับเวคเตอร์ตำแหน่ง A จากเครื่องหมายดังกล่าวทำให้เราทราบว่า ความเร่งนี้จะมีทิศทางที่เข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งศูนย์กลางของการหมุนทำให้เราเรียกความเร่งในส่วนนี้ว่า ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง (Normal or Centripctal Acceleration)



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบความเร่งของตำแหน่ง A และ B

จากรูปที่ 2.4 เราสามารถที่จะหาความเร่งในตำแหน่ง B ได้เช่นเดียวกับตำแหน่ง A ดังนั้น ความเร่งที่ตำแหน่ง B จะมีค่าเท่ากับ

$$A_B = R_B(-\omega_2^2 + i\alpha_2)\, e^{i\theta_B} = (-\omega_2^2 + i\alpha_2)\, R_B \qquad (2.12)$$

เช่นเดียวกันกับในส่วนของความเร็ว ความเร่งระหว่างตำแหน่ง A และตำแหน่ง B หรือความเร่งสัมพัทธ์เราสามารถหาได้จาก

$$A_B = A_A + A_{BA}$$

หรือ

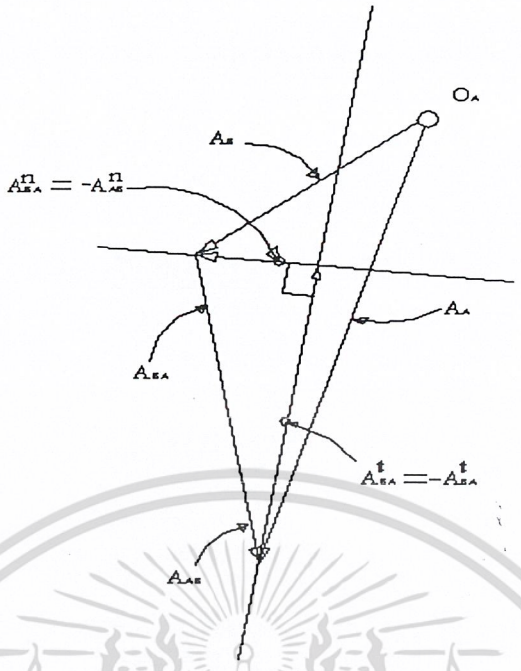
$$A_{BA} = A_B - A_A \qquad (2.13)$$

แต่เนื่องจากความเร่งในแต่ละเทอมจะต้องประกอบด้วยความเร่ง 2 ส่วน โดยกำหนดให้ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางและ ความเร่งเชิงเส้น แทนด้วยสัญลักษณ์ตัวยก n และ t ตามลำดับ จะได้เป็น

$$A^n_{BA} + A^t_{BA} = A^n_B + A^t_B - A^n_A - A^t_A \qquad (2.14)$$

จากสมการ (2.14) เราจะเห็นได้ทางขวามือของสมการ (2.14) เป็นตัวแปรที่เราทราบค่าหมดแล้ว ไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือทิศทาง แต่ทางซ้ายมือของสมการนั้นเราทราบแต่เพียงทิศทางเท่านั้น โดยทิศทางของ จะมีมีทิศทางพุ่งตรงจากตำแหน่ง B มายังตำแหน่ง A ส่วนทิศทางของ นั้นจะมีทิศทางที่ตั้งฉากกับ ซึ่งเราสามารถที่จะหาขนาดความเร่งที่เหลือได้ โดยการนำสมการ (2.14) มาเขียนให้อยู่ในรูปแบบ acceleration polygon ซึ่งรูปเหลี่ยมที่เราได้จะเป็นรูปเหลี่ยมปิดพอดี หลังจากนั้นก็ทำการวัดขนาดจากรูป เราก็จะได้ขนาดของความเร่งดังต้องการ ดังที่ได้แสดงได้ใน รูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะของ acceleration polygon

และจากรูปที่ 2.5 จะได้ว่า

$$A^{t}_{BA} = A^{t}_{AB} \quad \text{และ} \quad A^{n}_{BA} = A^{n}_{AB} \tag{2.15}$$

และเช่นเดียวกับสมการ (2.11) เราจะได้ว่า

$$A^{t}_{BA} = i\alpha_{j} R_{BA} \tag{2.16}$$

หรือสามารถที่จะจัดรูปใหม่ได้

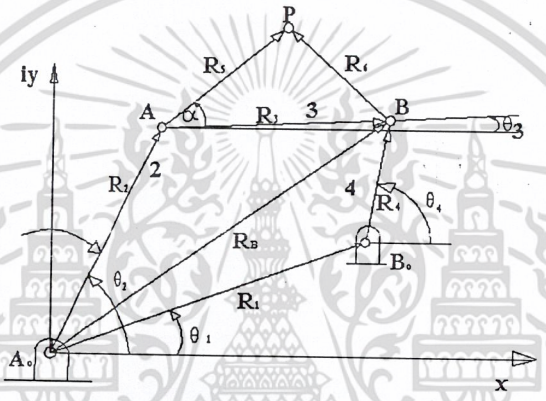
$$\alpha_{j} = \frac{A^{t}_{BA}}{R_{BA}} \tag{2.17}$$

ลักษณะการกำหนดเครื่องหมายของความเร่งเชิงมุม จะกำหนดให้ทิศทางการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาให้เป็นบวก ส่วนการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาจะให้เป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การหา velocity **และ** acceleration **โดยวิธี** Analytical

เนื่องจากในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนช่วยในการคำนวณบางครั้งจะประสบปัญหาความยุ่งยากซับซ้อนในการจะหาความเร็วและความเร่งโดยวิธีปกติ (จะเรียกวิธีนี้ว่า Graphical Method) จึงได้มีการคิดค้นวิธีที่จะสามารถหามาให้ได้ซึ่งความเร็วและความเร่งให้ง่ายขึ้นซึ่งวิธีหนึ่งก็คือการใช้วิธี Analytical



รูปที่ 2.6 เวคเตอร์ตำแหน่งของ four – bar linkage

พิจารณาลักษณะของ four – bar linkage ในรูปที่ 2.6 เราสามารถที่จะหาเวคเตอร์ตำแหน่ง B จาก

$$R_B = R_2 + R_3 \qquad (2.18)$$

$$R_B = R_1 + R_4 \qquad (2.19)$$

จากสมการ (2.18) , (2.19) สามารถที่เขียนให้อยู่ในรูป Polar form

$$R_B = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_1 e^{i\theta_1} + r_4 e^{i\theta_4} \qquad (2.20)$$

ทำการ derivative สมการ (2.20) เทียบกับ time เพื่อหาความเร็วได้เป็น

$$V_B = r_2 \omega_2 i e^{i\theta_2} + r_3 \omega_3 i e^{i\theta_3} = r_4 \omega_4 i e^{i\theta_4} \qquad (2.21)$$

ทำการกระจายสมการ (2.21) แล้วแยกส่วนแยกและส่วนจินตภาพ เราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r_2\omega_2\sin\theta_2 + r_3\omega_3\sin\theta_3 = r_4\omega_4\sin\theta_4 \quad (2.22)$$

$$r_2\omega_2\cos\theta_2 + r_3\omega_3\cos\theta_3 = r_4\omega_4\cos\theta_4 \quad (2.23)$$

จากสมการ (2.22) และ (2.23) เราสามารถที่จะหา ω_3 และ ω_4 โดยการจัดรูปแบบสมการแล้วใช้ Cramer ' s laws จะได้

$$\omega_3 = \frac{r_2\omega_2\sin\theta_2\, r_4\cos\theta_4 - r_2\omega_2\cos\theta_2\, r_4\sin\theta_4}{r_3\cos\theta_3\, r_4\sin\theta_4 - r_3\sin\theta_3\, r_4\cos\theta_4} \quad (2.24)$$

และ

$$\omega_4 = \frac{r_2\omega_2\sin\theta_2\, r_3\cos\theta_3 - r_2\omega_2\cos\theta_2\, r_3\sin\theta_3}{r_3\cos\theta_3\, r_4\sin\theta_4 - r_3\sin\theta_3\, r_4\cos\theta_4} \quad (2.25)$$

เมื่อเราได้ ω_3 และ ω_4 แล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์หาความเร่งต่อไป โดยการ derivative สมการ (2.21) เทียบกับ time จะได้ว่า

$$A_B = (r_2\alpha_2 ie^{i\theta_2} - r_2\omega_2^2 e^{i\theta_2}) + (r_3\alpha_3 ie^{i\theta_3} - r_3\omega_3^2 e^{i\theta_3}) = (r_4\alpha_4 ie^{i\theta_4} - r_4\omega_4^2 e^{i\theta_4}) \quad (2.26)$$

จากนั้นทำการกระจายเพื่อแยกส่วนจริงและจินตภาพออกจากกันเป็น

$$r_2\alpha_2\sin\theta_2 + r_2\omega_2^2\cos\theta_2 + r_3\alpha_3\sin\theta_3 + r_3\omega_3^2\cos\theta_3 = r_4\alpha_4\sin\theta_4 + r_4\omega_4^2\cos\theta_4 \quad (2.27)$$

$$r_2\alpha_2\cos\theta_2 + r_2\omega_2^2\sin\theta_2 + r_3\alpha_3\cos\theta_3 + r_3\omega_3^2\sin\theta_3 = r_4\alpha_4\cos\theta_4 + r_4\omega_4^2\sin\theta_4 \quad (2.28)$$

ต่อมานำ ((2.27) * $\cos\theta_4$ - ((2.28)* $\sin\theta$) เราจะสามารถจัดรูปสมการเพื่อหาค่า α_3 ได้เป็น

$$\alpha_3 = \frac{-r_2\alpha_2\sin(\theta_4-\theta_2) + r_2\omega_2^2\cos(\theta_4-\theta_2) + r_3\omega_2^2\cos(\theta_4-\theta_3) - r_4\omega_4^2}{r_3\sin(\theta_4-\theta_3)}$$

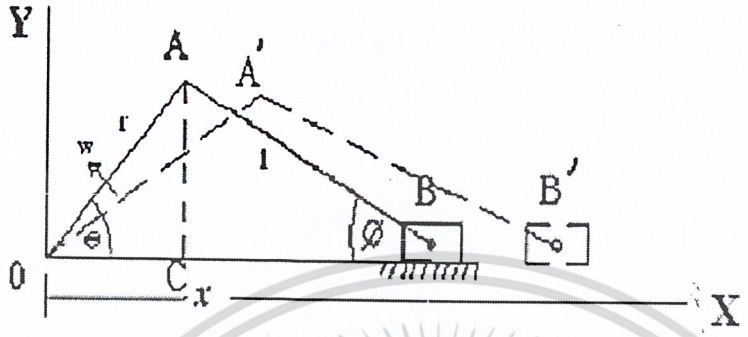
(2.29)

หลังจากนั้นนำ ((2.27)* $\cos\theta_3$) – ((2.28)* $\sin\theta_3$) เราก็จะสามารถที่จะหาค่า ได้เช่นเดียวกัน

$$\alpha_4 = \frac{-r_2\alpha_2\sin(\theta_3-\theta_2) + r_2\omega_2^2\cos(\theta_3-\theta_2) + r_4\omega_4^2\cos(\theta_3-\theta_4) - r_3\omega_3^2}{r_4\sin(\theta_3-\theta_4)} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สูตรการคำนวณจากกลไกการเคลื่อนที่ของ Slider Crank



รูปที่ 2.7 การเคลื่อนที่ของกลไก Slider Crank

จาก $\triangle OAB$ จะได้ $x = r\cos\theta + l\cos\phi$ (2.31)

$r\sin\theta = l\sin\phi$ จาก $\triangle OAB$ จะได้ $x = r\cos\theta + l\cos\phi$

$r\sin\theta = l\sin\phi$

$\sin\phi = (r/l)\sin\theta$

n แทน ratio length of connecting rod l to radius of the crank $n = l/r$

สูตรการคำนวณระยะชักใดๆของกระบอกสูบ

$$x = r\cos\theta + l\left\{1-\frac{\sin^2\theta}{n^2}\right\}^{1/2} \quad (2.32)$$

เมื่อ $n = l/r$

$\theta = 0^\circ \longrightarrow 720^\circ$

สูตรการคำนวณความเร็วของลูกสูบ

$$\frac{dx}{dt} = v = -r\frac{d\theta}{dt}\sin\theta - \frac{ld\theta}{2dt}\frac{1}{n^2}\frac{\sin 2\theta}{\sqrt{\left[1-\frac{\sin^2\theta}{n^2}\right]}}$$

$$V = -r\omega\left[\sin\theta + \frac{1}{2n}\frac{\sin 2\theta}{\sqrt{\left[1-\frac{\sin^2\theta}{n^2}\right]}}\right] \quad (2.33)$$

$\theta = 0^\circ \longrightarrow 720^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณความเร่งของกระบอกสูบ

$$\frac{dx^2}{dt} = a$$

$$a = -r\,\omega^2 \left[\cos\theta + \frac{(n^2 - 1)\cos 2\theta + \cos^4\theta}{n^3\left[1 - \left(\frac{\sin^2\theta}{n^2}\right)\right]^{3/2}} \right] \qquad (2.34)$$

$\theta = 0^\circ \longrightarrow 720^\circ$

2.4 โครงสร้างของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

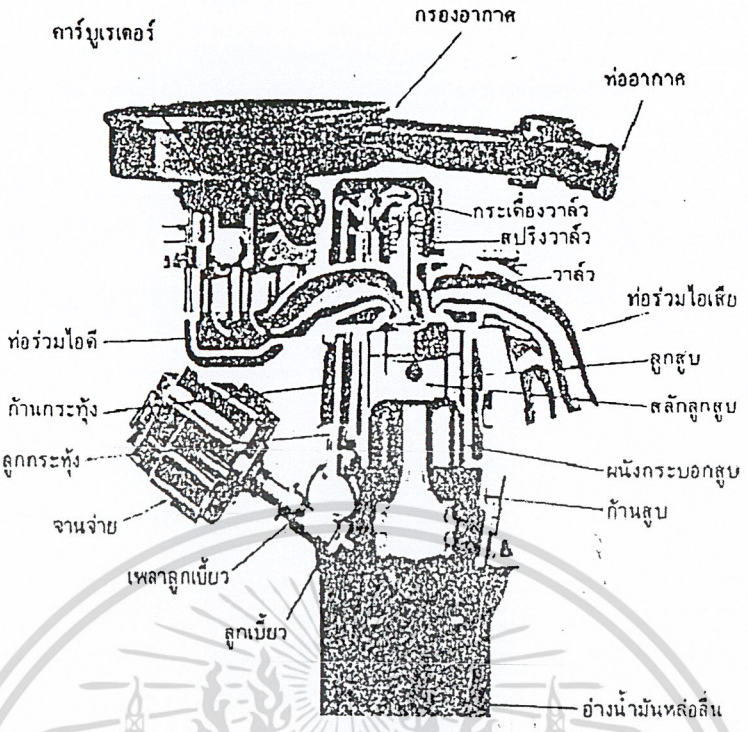
เครื่องรถยนต์ทั้งจุดระเบิดด้วยประกายไฟและจุดระเบิดด้วยการอัดมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกัน คือ มีลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในกระบอกสูบ เครื่องยนต์สำหรับรถยนต์อาจมีจำนวนกระบอกสูบตั้งแต่ 3,4,5,6 หรือ 8 กระบอกสูบ ถ้าไม่คำนึงถึงจำนวนกระบอกสูบแล้ว การทำงานของแต่ละกระบอกสูบจะเกิดขึ้นเหมือนๆ กัน

จากรูปที่ 2.8 จะแสดงภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ลูกสูบจะอยู่ภายในกระบอกสูบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 120 มิลลิเมตร (milietre) ลูกสูบทำด้วยโลหะเคลื่อนที่ไปมาในกระบอกสูบ ลักษณะและส่วนประกอบของลูกสูบดังแสดงในรูป 2.9 และรูป 2.10

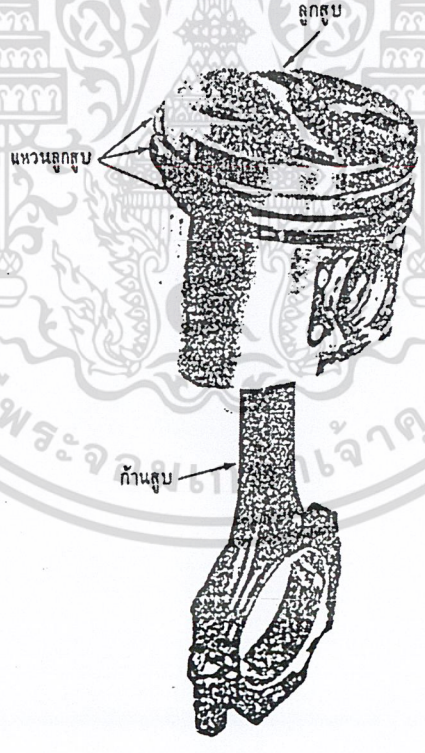
ในรูป 2.5 จะแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบซึ่งมีลำดับดังนี้ ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจนถึงตำแหน่งต่ำสุด เนื้อที่บริเวณเหนือลูกสูบเต็มไปด้วยส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศซึ่งมักนิยมเรียกว่า

ไอดี ดังแสดงในรูป 2.11 (ก) หลังจากนั้นลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจนถึงตำแหน่งสูงสุดดังรูปที่ 2.11 (ข) ไอดีภายในกระบอกสูบจะถูกอัดจนมีปริมาตรเล็กลง ประกายไฟจากหัวเทียนจะช่วยจุดระเบิดเผาไหม้ไอดี ความดันสูงที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง ดังรูปที่ 2.11 (ค) ซึ่งจะทำให้กำลังเครื่องยนต์ออกมา ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นและลงต่อไปตลอดการทำงานของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

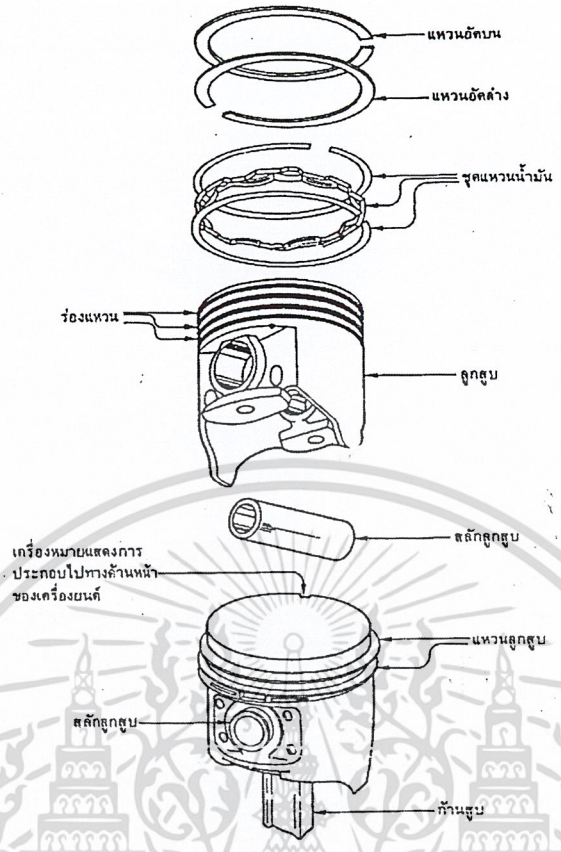


รูปที่ 2.8 ภาพตัดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบกระบอกสูบเรียง

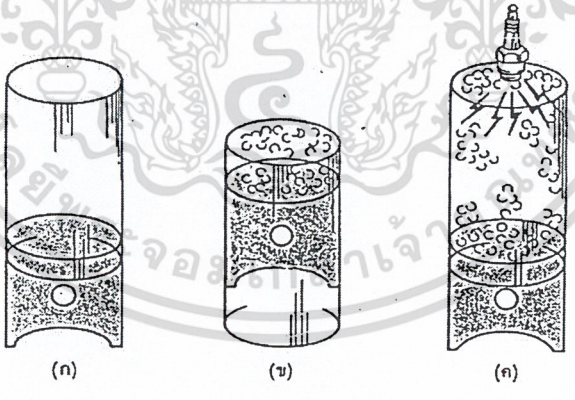


รูปที่ 2.9 ลูกสูบพร้อมแหวนลูกสูบและก้านสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



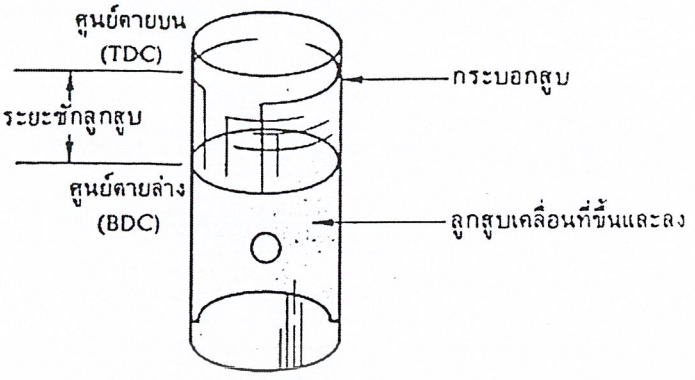
รูปที่ 2.10 ลูกสูบและแหวนลูกสูบ



รูปที่ 2.11 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ

ตำแหน่งสูงสุดของลูกสูบเรียกว่า ศูนย์ตายบน (top dead center) ซึ่งเขียนย่อว่า TDC และตำแหน่งต่ำสุดของลูกสูบเรียกว่า ศูนย์ตายล่าง (bottom dead center) ซึ่งเขียนย่อว่า BDCส่วนระยะชักลูกสูบ (piston stroke) จะเป็นระยะห่างระหว่าง TDCกับBDC ดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

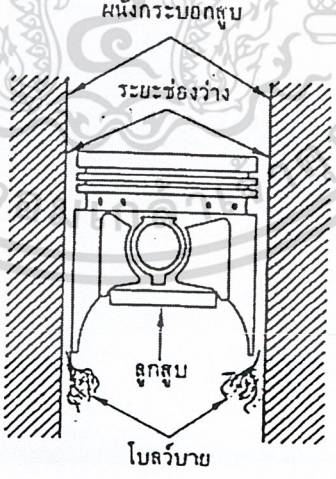


รูปที่ 2.12 ตำแหน่งศูนย์ตายบนและศูนย์ตายล่าง

2.4.1 ลูกสูบและแหวนลูกสูบ

ลูกสูบดังแสดงในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 มักทำจากอะลูมิเนียมผสม (aluminium alloy) ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียมกับโลหะอื่นๆ ลูกสูบมีขนาดเล็กกว่ากระบอกสูบเล็กน้อยและสามารถเคลื่อนที่มาภายในกระบอกสูบได้

เนื่องจากลูกสูบเล็กกว่ากระบอกสูบเล็กน้อย ดังนั้นจึงมีระยะช่องว่างระหว่างลูกสูบกับผนังลูกสูบ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ระยะช่องว่างนี้จะต้องมีการอุด มิฉะนั้นไอดีสามารถรั่วไหลออกมาได้ในจังหวะอัด หรือก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ในจังหวะกำลังรั่วไหลออกมาได้เช่นกัน การรั่วไหลดังกล่าวเรียกว่า โบลว์บาย (blowby)ซึ่งมีผลทำให้กำลังของเครื่องยนต์สูบเสียไป



รูปที่ 2.13 ระยะช่องว่างระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ

เพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังดังกล่าว จึงต้องใส่แหวนลูกสูบ (piston rings) เข้ากับกระบอกสูบ (จากรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10) แหวนลูกสูบมีปลายแยกจากกันที่จุดจุดหนึ่ง จึงทำให้สามารถถ่างแหวนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

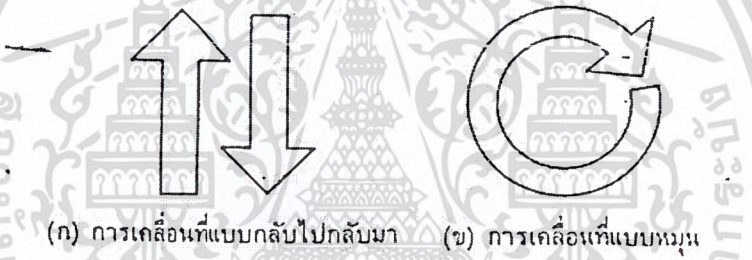
เล็กน้อย และสวมเข้ากับรองแหวนบนลูกสูบได้สะดวกขึ้น แหวนลูกสูบแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ และทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ

1. แหวนอัด (compression rings) ทำหน้าที่อุดระยะช่องว่างระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ

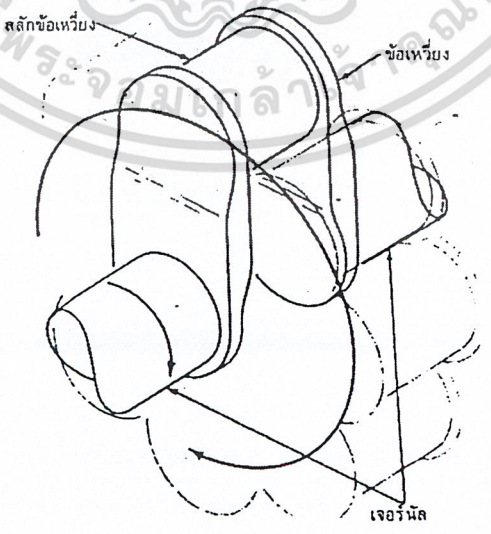
2. แหวนน้ำมันหรือแหวนควบคุมน้ำมัน (oil rings หรือ oil control rings) ทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อลื่นบนผนังกระบอกสูบให้ไหลกลับลงสู่อ่างน้ำมันตามเดิม (ระบบหล่อลื่นทำหน้าที่จ่ายน้ำมันหล่อลื่นเข้าเลี้ยงผนังกระบอกสูบ หล่อลื่นลูกสูบ และแหวนลูกสูบ)

2.2.4 การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาและการเคลื่อนที่แบบหมุน

ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเป็นเส้นตรงภายในกระบอกสูบ การเคลื่อนที่ดังกล่าวเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา (reciprocating motion) ดังรูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotary motion) ของเพลาข้อเหวี่ยงโดยอาศัยก้านสูบและสลักข้อเหวี่ยงบนเพลาข้อเหวี่ยง สลักข้อเหวี่ยงจะส่วนเป็นวงกลมในขณะที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาและแบบหมุน

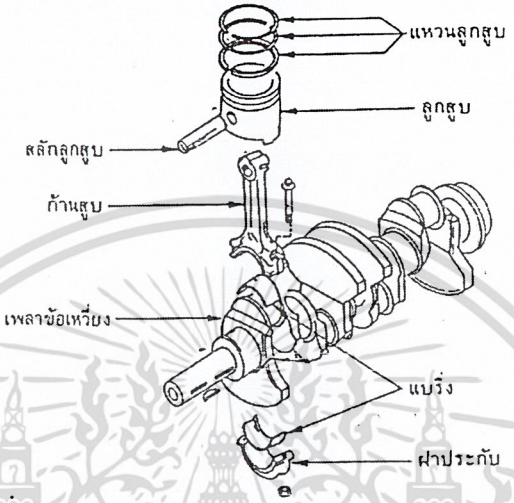


รูปที่ 2.15 สลักข้อเหวี่ยงส่ายเป็นวงกลมในขณะที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุน

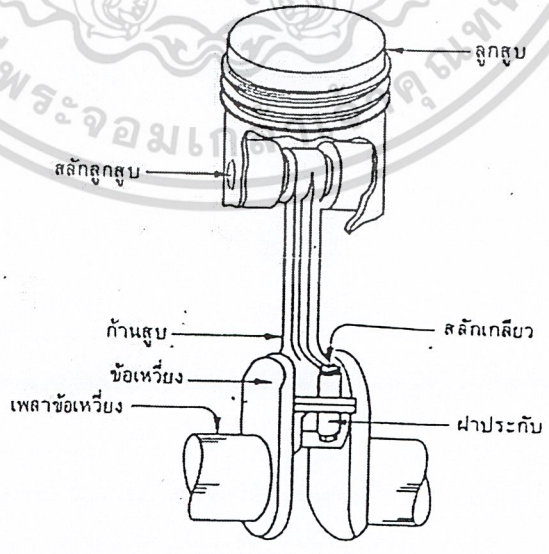
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ก้านสูบต่อระหว่างลูกสูบกับสลักข้อเหวี่ยง ปลายด้านเล็ก (small end) ของก้านสูบยึดกับลูกสูบด้วยสลักลูกสูบ (piston pin) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลวงทำด้วยเหล็กกล้า (จากรูปที่ 2.10) ปลายด้านโต (big end) ของก้านสูบยึดกับสลักข้อเหวี่ยงด้วยฝาประกบและสลักเกลียวดังแสดงในรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 โดยมีแบริ่งแทรกอยู่ระหว่างกลาง ทำให้สลักข้อเหวี่ยงหมุนอยู่ได้ภายในก้านสูบ



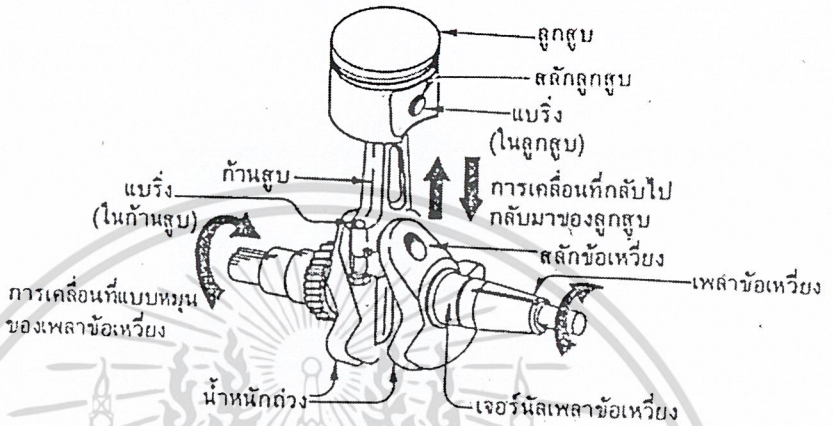
รูปที่ 2.16 การยึดก้านสูบกับลูกสูบและสลักข้อเหวี่ยง



รูปที่ 2.17 การประกอบลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาข้อเหวี่ยงเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61736

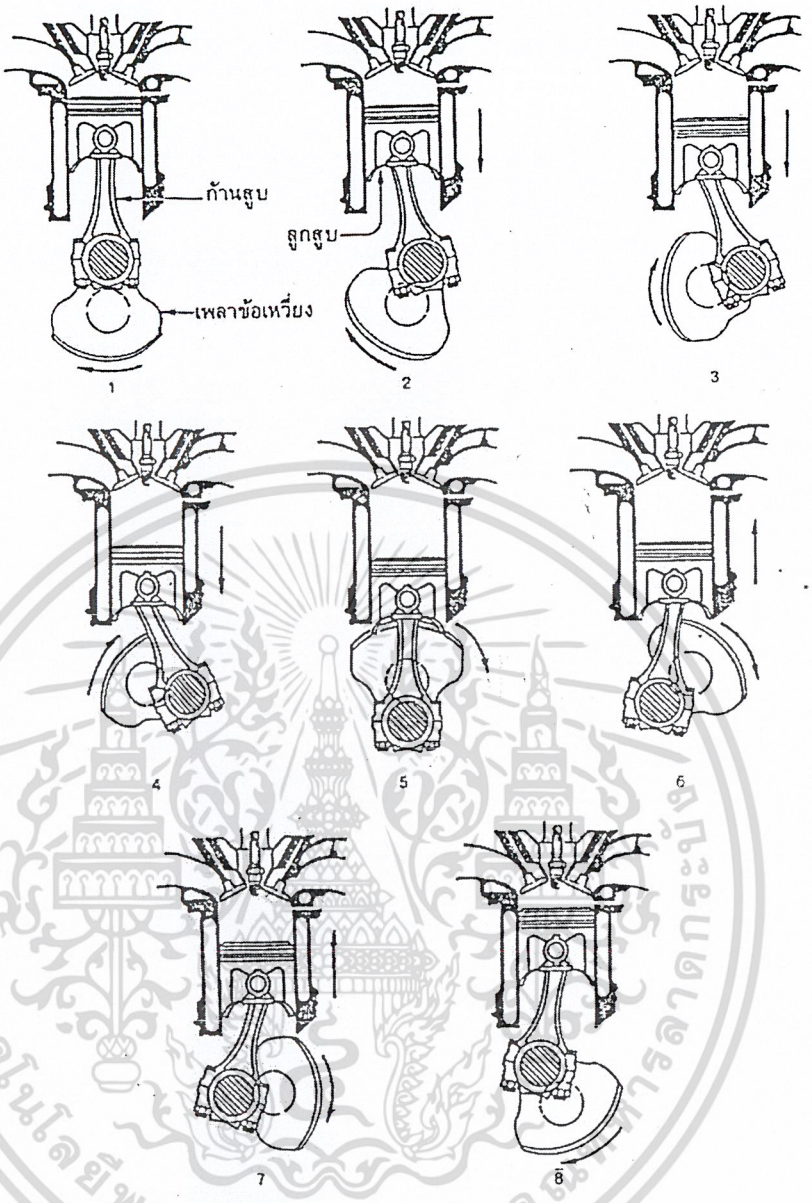
ในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและลง สลักข้อเหวี่ยงของเพลาข้อเหวี่ยงเคลื่อนที่เป็นวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.18 เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลง ก้านสูบจะเอียงไปข้างหนึ่ง ซึ่งทำให้ปลายด้านล่างของก้านสูบเคลื่อนที่เป็นวงกลมตามการเคลื่อนที่ของสลักข้อเหวี่ยง เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ก้านสูบก็จะเอียงในอีกด้านหนึ่งเช่นกัน



รูปที่2.18 สลักข้อเหวี่ยงเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบเพลาข้อเหวียงในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและลง

รูปที่ 2.19แสดงลำดับการเคลื่อนที่ของเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งแสดงการเอียงของก้านสูบในขณะที่ปลายด้านของก้านสูบเคลื่อนที่เป็นวงกลมไปพร้อมกับเพลาข้อเหวียง ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและลงในขณะที่ก้านสูบส่ายเอียงไปมา ดังนั้นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ลำดับการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบของเพลาข้อเหวี่ยงเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดแล้วกลับมาจุดสูงสุดอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสมดุล(Balancing)ชิ้นงานหมุน

ชิ้นงานหมุนตัวอย่าง เช่น เพลา เฟือง ล้อพูเล่ คัปปลิง อาจจะมีจุดศูนย์ถ่วงเบี่ยงเบนจากแนวแกนหมุนของเพลาได้ ซึ่งมีผลให้การเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปด้านหนึ่งได้ ลักษณะนี้คือการไม่สมดุล

2.5.1 สาเหตุของขนาดความไม่สมดุล(แรงเหวี่ยงหนีศูนย์) เกิดจาก

2.5.1.1 ขนาดความโตของมวล

2.5.1.2 ระยะห่างของมวลที่ถูกหมุนมายังแนวแกนหมุน

2.5.1.3 ความเร็วรอบชิ้นงานที่หมุน

2.5.2 สาเหตุการไม่สมดุลของชิ้นงาน เกิดจาก

2.5.2.1 ลักษณะการออกแบบ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง และเพลาลูกเบี้ยว

2.5.2.2 การผลิต เช่น หมุนไม่กลมในพิกัดกำหนด ประกอบผิดพลาด

2.5.2.3 ปัญหาวัสดุ เช่น มีโพรงอากาศอยู่ข้างใน ขี้ตะกรันฝังใน(Slack Inclusion)

การไม่สมดุลจะทำให้แบริ่งรับภาระเพิ่มเติม มีผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงและมีเสียงดัง เกิดการสึกหล่อและวัสดุจะล้าตัวก่อนกำหนด อายุการใช้งานของเครื่องจักรจะสั้นลง

ด้วยเหตุนี้ชิ้นงานที่หมุนเร็วจะต้องทำการถ่วงดุลไว้ก่อน การถ่วงดุลจะทำได้ 2 ลักษณะ คือ

1.การถ่วงดุลสถิตย์ (Static Balanceing) ได้แก่ ชิ้นงานที่เป็นแผ่นบาง เช่น ใบเลื่อยแผ่นกลม การถ่วงดุลวิธีนี้จะวางเพลาลงบนแผ่นคมมีด (เพื่อลดแรงเสียดทาน) หมุนชิ้นงานให้เคลื่อนที่น้อยลง จุดศูนย์ถ่วง (บริเวณที่มีน้ำหนักมากกว่าจุดอื่น) จะหมุนเคลื่อนลงไปอยู่ใต้เพลา

ในการถ่วงดุลกระทำโดยการใส่น้ำหนักด้านตรงข้ามที่หนักกว่าหรือเจาะรูตรงตำแหน่งที่หนักกว่าหรือกัดเนื้อวัสดุออก

2.การถ่วงดุลพลวัต(Dynamic Balance) ชิ้นงานทรงกระบอกที่มีความยาวมากเมื่อเทียบสัดส่วนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และหมุนเร็วจะต้องทำการถ่วงดุลพลวัต ชิ้นงานลักษณะดังกล่าว จะมีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ในแนวแกนในตำแหน่งต่างๆกัน ซึ่งจะต้องถ่วงดุลด้วยเครื่องถ่วงดุลพลวัตหรือเครื่องถ่วงดุลไดนามิกส์

2.6 อุปกรณ์ตรวจตำแหน่งและการเคลื่อนที่

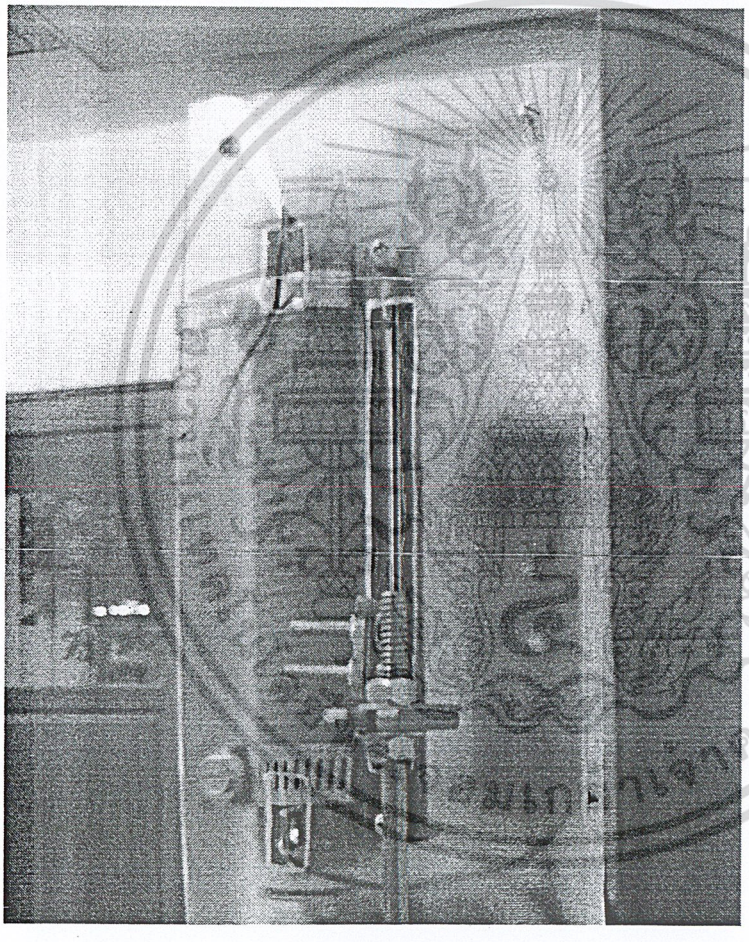
การเคลื่อนที่ของวัตถุใด หมายถึงการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุเป็นไปอย่างต่อเนื่องจากตำแหน่งเริ่มต้นไปตำแหน่งสุดท้าย ดังนั้นการเคลื่อนที่จึงกับระยะทางของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งเรียกว่า การขจัด(displacement) เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง เป็นต้น ในกระบวนการอุตสาหกรรมการตรวจวัดตำแหน่ง การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ ก็เป็นสิ่งจำเป็นและยากที่จะหลีกเลี่ยงได้ ตัวอย่าง เช่น การตรวจวัดตำแหน่งบนสายพานลำเลียง การเคลื่อนที่บนอุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์ ไฮโดรลิกส์ หรือมอเตอร์ไฟฟ้า

การตรวจวัดตำแหน่งของวัตถุที่ไม่ได้ติดตามผลของการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องอย่างใกล้ชิดนั้น การตรวจวัดจะกระทำในลักษณะจุดต่อจุดและให้สัญญาณแบบทำงานหรือไม่ทำงาน (on-off) ส่วนใหญ่จะใช้พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ในการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 Variable Resistant

ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการกระจัด (displacement) อย่างง่ายที่สุด โครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ตัวต้านทานที่ทำมาจาก คาร์บอน หรือ ขดลวด และหน้าสัมผัสที่สามารถเลื่อนไปเลื่อนมาบนตัวต้านทานได้ ในการใช้งานสำหรับการวัดการกระจัดสามารถทำได้โดยต่อแกนที่มาจากหน้าสัมผัสเข้ากับวัตถุที่ต้องการจะตรวจวัด เช่น ตรวจวัดการเคลื่อนที่เข้าออกของก้านสูบของกระสูบนิวแมติกส์หรือไฮดรอลิกส์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะเส้นตรง นอกจากนั้น ทรานสดิวเซอร์ตัวนี้ก็ยังมีแบบที่ในลักษณะเชิงมุมอีกด้วย

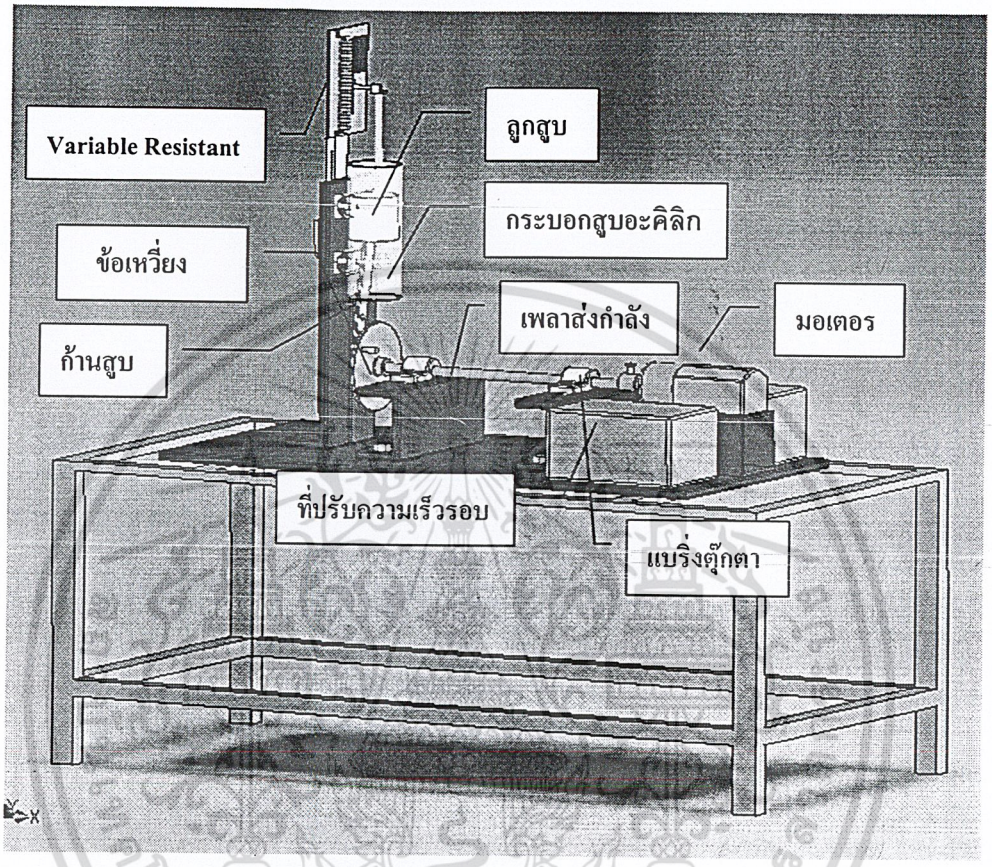


รูปที่ 2.20 Variable Resistant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

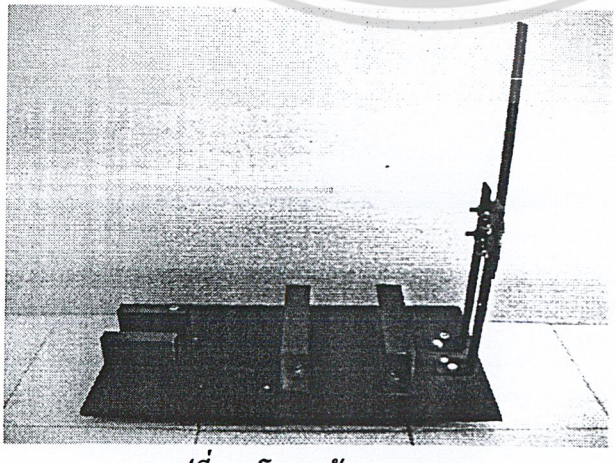
บทที่3

การออกแบบ การสร้างและการคำนวณ



3.1ส่วนประกอบต่าง ๆและการออกแบบ

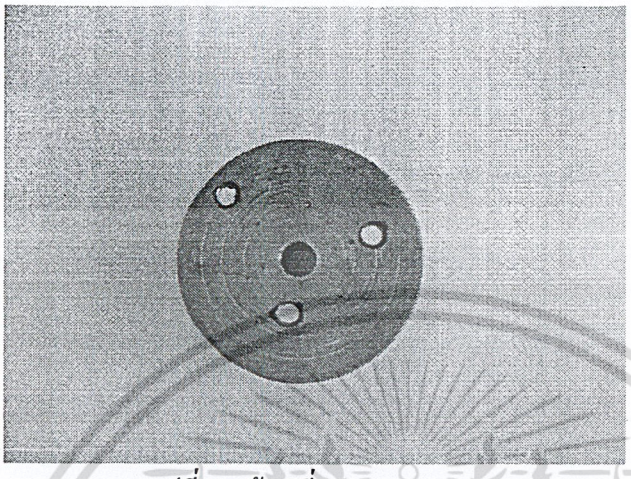
1) โครงสร้าง



รูปที่ 3-1 โครงสร้างของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ข้อเหวี่ยง (Crank Shaft) ทำจากเหล็กขนาด Ø 90 mm หนา 5 mm สามารถปรับรัศมีเพลาได้ 3 ระยะ คือ 20 ,28 ,36 mm



รูปที่ 3-2 ข้อเหวี่ยง

3) ก้านสูบ (Connecting Rod) ทำจากเหล็กขนาด 12 * 120 * 3 มีข้อต่อกับสลัก สามารถปรับระยะก้านสูบได้ 3 ระยะ คือ 10 ,11 ,12 mm

รูปที่3-3ก้านสูบ

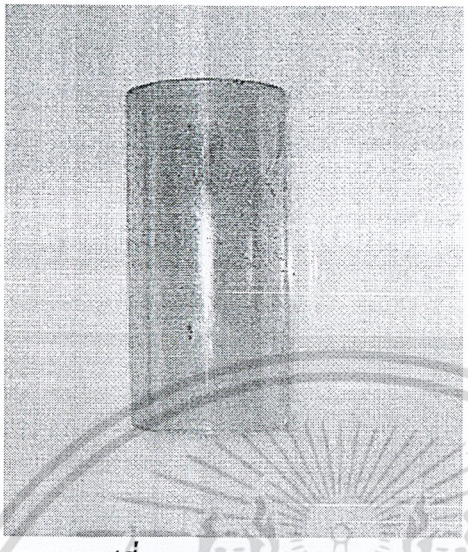
4) สลักลูกสูบขนาด Ø 12 mm

5) แหวนลูกสูบขนาด Ø 52 mm

6) สลักขนาด Ø 6 mm ยึดข้อเหวี่ยงกับก้านสูบ

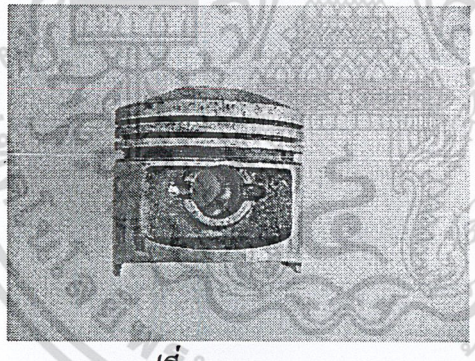
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) กระบอกสูบ (Cylinder) ทำจากอะคิลิคใสขนาด Ø ภายนอก 70 mm Ø ภายใน 54 mm



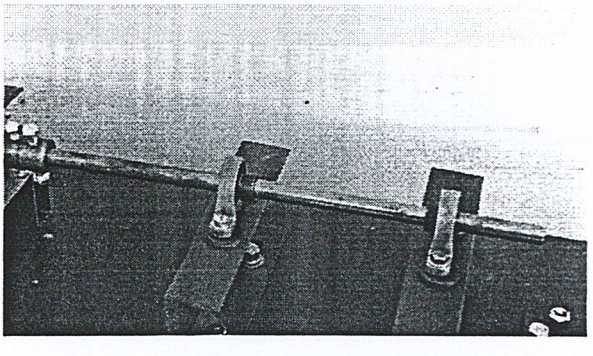
รูปที่3-4กระบอกสูบ

8) ลูกสูบ (piston) ขนาด Ø 52 mm



รูปที่3-5 ลูกสูบ

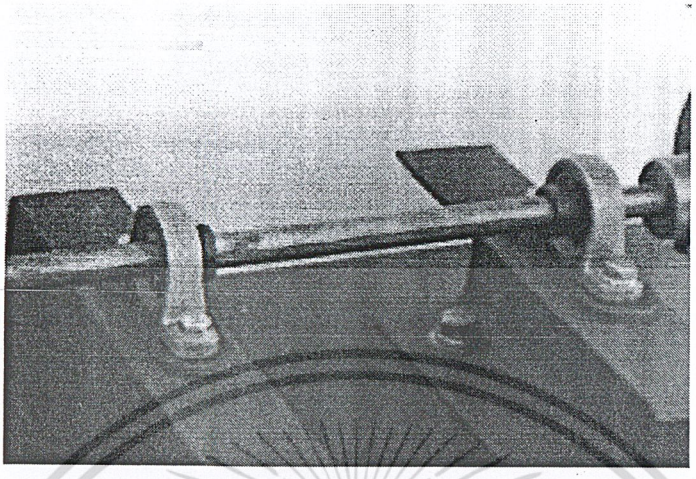
9) เพลาส่งกำลัง ทำจากเหล็กขนาด Ø 11.5 mm ยาว 380 mm



รูปที่3-6 เพลาส่งกำลัง

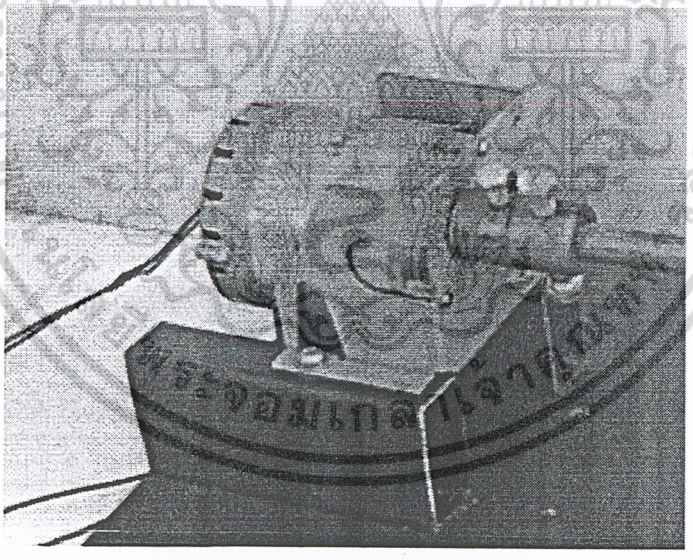
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) แบริ่งตุ๊กตาขนาด Ø 12 mm เป็นฐานยึดเพลาส่งกำลัง



รูปที่3-7 แบริ่งตุ๊กตา

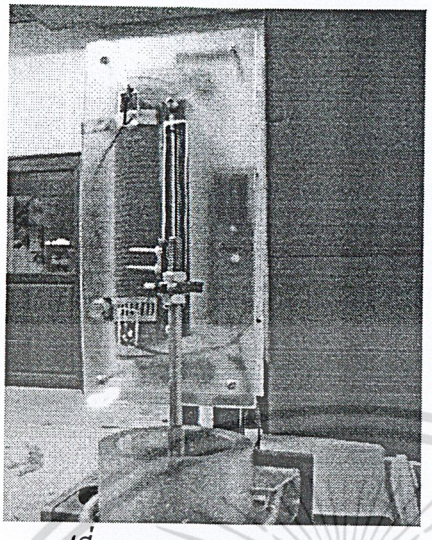
11) มอเตอร์ DC 36 วัตต์ เป็นตัวขับเคลื่อน



รูปที่3-8 มอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) Variable Resistant เป็นตัวตรวจจับการเคลื่อนที่



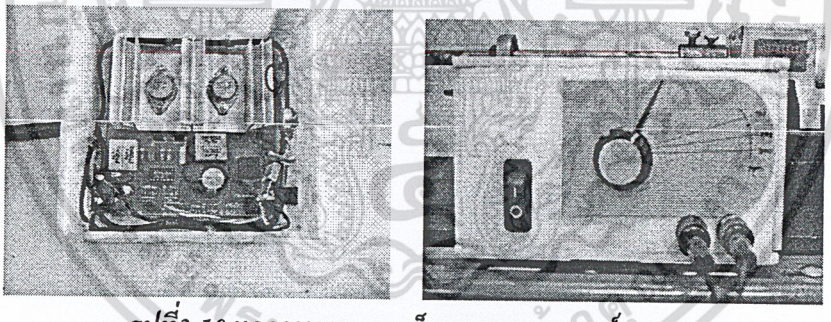
รูปที่3-9 Variable Resistant

13) เครื่องวัดความเร็วรอบ

14) มัลติมิเตอร์

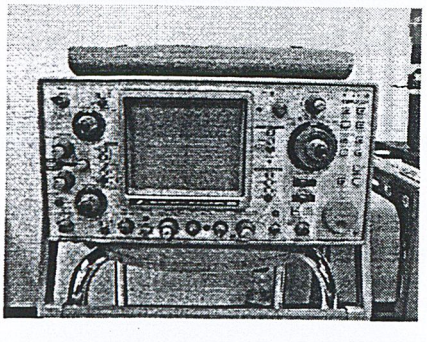
15) หม้อแปลง 220 - 24 V

16) ชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่3-10 ชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

17) ออสซิลโลสโคป รุ่น DS – 6411 Digital Storagescope

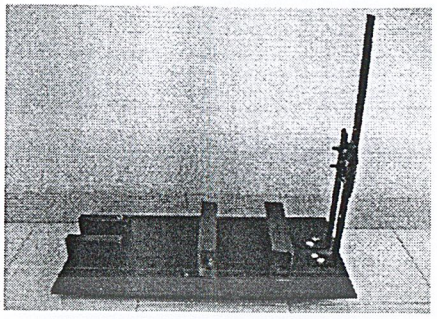


รูปที่3-11 ออสซิลโลสโคป DS-6411 Digital Storagescope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

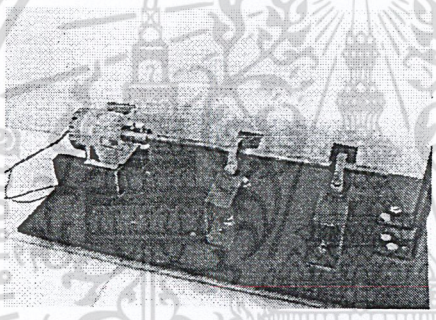
3.2 ขั้นตอนการติดตั้งชุดอุปกรณ์

3.2.1 ประกอบโครงสร้าง เตรียมการติดตั้งอุปกรณ์



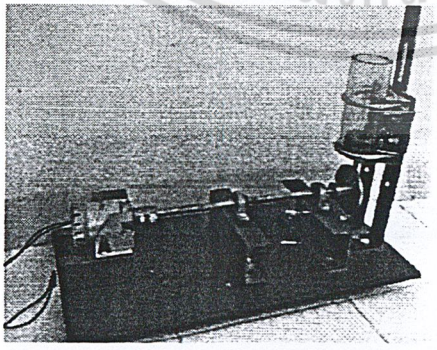
รูปที่ 3-12 โครงสร้างของชุดทดลองเตรียมการติดตั้ง

3.2.2 ติดตั้งมอเตอร์กับฐานยึด ประกอบเพลาส่งกำลังเข้ากับมอเตอร์ โดยใช้ตัวแบริ่งตุ๊กตารองรับการหมุนของเพลา โดยมอเตอร์จะส่งกำลังผ่านเพลาส่งกำลังนี้ไปขับลูกสูบให้เคลื่อนที่



รูปที่3-13 การติดตั้ง มอเตอร์ เพลาส่งกำลังและแบริ่งตุ๊กตา

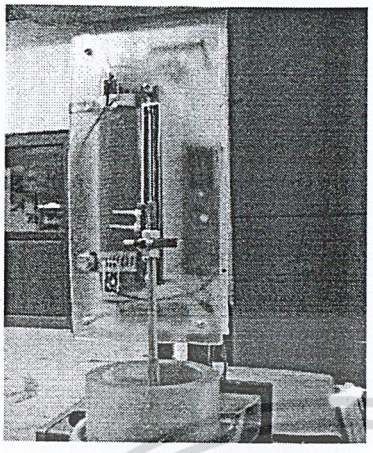
3.2.3.ติดตั้งข้อเหวี่ยงเข้ากับเพลาส่งกำลัง นำก้านสูบที่ต่ออยู่กับลูกสูบมาประกอบเข้ากับข้อเหวี่ยง โดยให้ลูกสูบเคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบใสเพื่อดูการเคลื่อนที่



รูปที่3-14 การติดตั้งข้อเหวี่ยง ก้านสูบและลูกสูบ

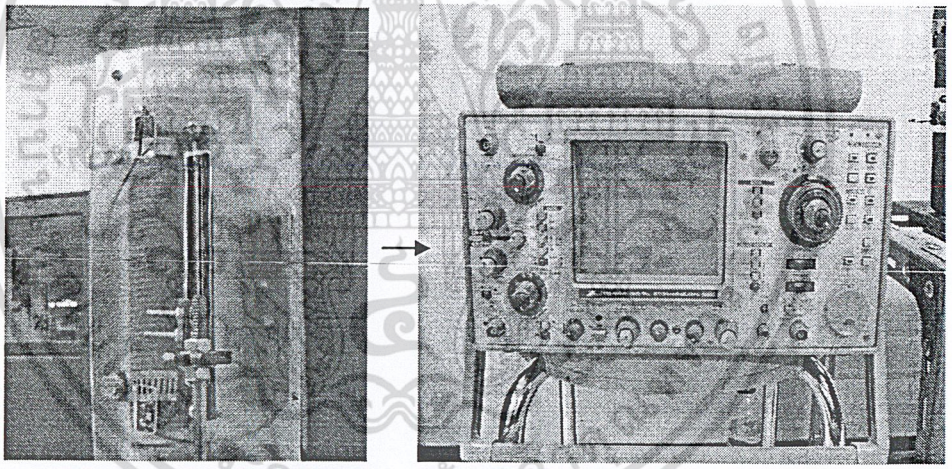
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4. ติดตั้งชุดตรวจจับการเคลื่อนที่เหนือกระบอกสูบ ยึดติดกับแท่นยึด ต่อก้านยึดตัวลูกสูบกับตัวตรวจจับการเคลื่อนที่



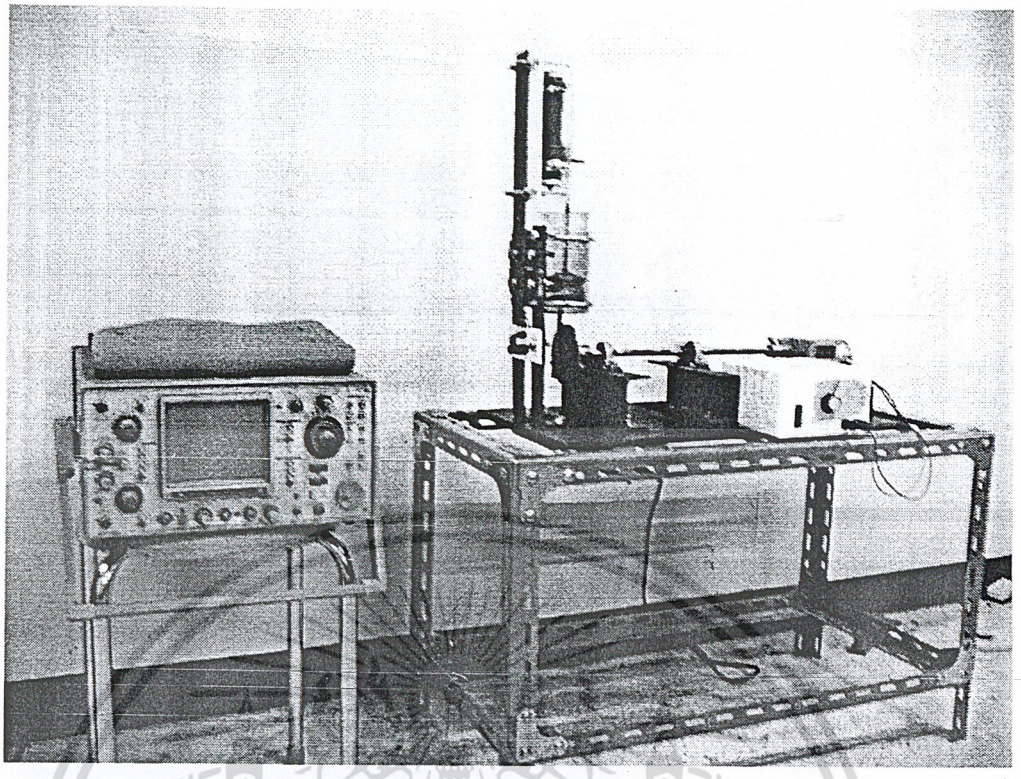
รูปที่3-15 การติดตั้ง Variable Resistant

3.2.5.ต่อสัญญาณออกจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ เข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคป เพื่อนำไปวิเคราะห์การเคลื่อนที่ในรูปแบบต่าง ๆ



รูปที่3-16 การต่อสัญญาณออกจาก Variable Resistant เข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-17 ชุดทดลองที่สมบูรณ์

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนการทดลอง คือ

การทดลองที่ 1

1.กำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ให้คงที่ = 180 rpm

2.กำหนดค่าเริ่มต้นของรัศมีข้อเหวี่ยงที่ระยะ 0.02 m และความยาวก้านสูบที่ระยะ0.1 m

3.สังเกตการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ได้แสดงผลออกมาในรูปของกราฟ จาก ออสซิลโลสโคปและนำไปวิเคราะห์ผล

4.เปลี่ยนระยะรัศมีข้อเหวี่ยงและความยาวก้านสูบที่ระยะต่าง ๆ จาก r= 0.02เป็น 0.028 และ0.036 m ตามลำดับ และ *l* = 0.1เป็น 0.11 และ 0.12 m ตามลำดับแล้วทำการทดลองเหมือนกับข้อที่ผ่านมา

การทดลองที่ 2

1.เปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์จาก 180 rpm เป็น 240 rpmและ 300 rpm ตามลำดับ

2.กำหนดระยะรัศมีข้อเหวี่ยงที่ 0.028 m และความยาวก้านสูบที่ระยะ 0.11 m

3.สังเกตการเคลื่อนที่ ของลูกสูบที่ได้แสดงผลออกมาในรูปของกราฟ จาก ออสซิลโลสโคป และนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณ ภาระของมอเตอร์

ทอร์คของมอเตอร์ คำนวณจากสูตร $T = F * R$

สมมติให้แรงเนื่องจากน้ำหนัก อยู่ในแนวดิ่ง จะได้

$F = [\ m(\text{ลูกสูบ}) + m(\text{ก้านสูบ}) + m(\text{ข้อต่อ})\ ]\ g$

$= [\ 0.2537\ ] * 9.81$

$= 2.4887\ N$

จะได้ ทอร์คเนื่องจากน้ำหนักของลูกสูบ $= F * R$

$= 2.4887 * 0.036$

$= 0.0895\ N.M$

เมื่อ r คือรัศมีของข้อเหวี่ยง

สมมติให้ ทอร์คเนื่องจากแรงเสียดทาน และ ทอร์คเนื่องจากแรงเฉื่อย มีค่าน้อยมาก

กำลังของมอเตอร์ คำนวณจากสูตร $P = T * W$

เมื่อ W คือ ความเร็วรอบมอเตอร์

กำหนดให้ความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์ เท่ากับ 300 rpm

จะได้ ค่ากำลังสูงสุดของมอเตอร์ $P = T * W$

$= 0.0895 * (\ 300 * 2 * \pi / 60\ )$

$= 2.8103$ วัตต์

เลือกมอเตอร์ ให้มีกำลังสูงกว่า ค่าที่คำนวณ ในชุดทดลองนี้เรานี้เราใช้กำลังมอเตอร์ = 36 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 หลักการคำนวณในการแปลงค่ากราฟจากออสซิลโลสโคป

จากการทดลองจะทำให้ได้กราฟออกมาในรูปของความดันเทียบกับเวลา จากนั้นทำการแปลงค่าจากแรงดันเป็นระยะทางจากตัว Variable Resistant ระยะห่างของช่องตัวเซนเซอร์มีค่าเท่ากับ 2.5 mm และมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 0.1 v

$$x = (r + l) - [\,0.025\,(m) * \text{ค่าแรงดันไฟฟ้า}(v)\,] \qquad (3)$$

กำหนดให้ r คือ รัศมีข้อเหวี่ยง

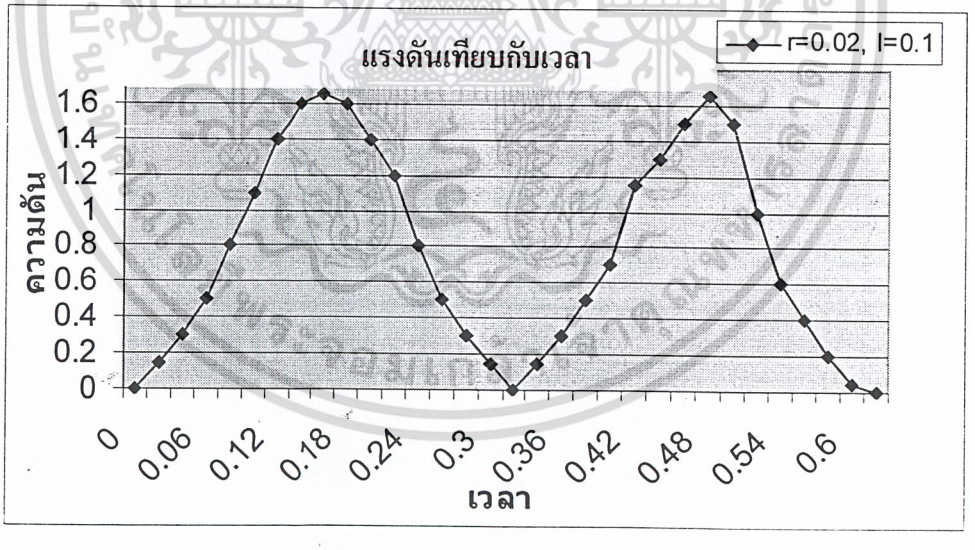
l คือ ระยะของก้านสูบ

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u> ทำการอ่านค่าจาก ออสซิโลสโคปได้ 2.42 V กำหนดให้รัศมีข้อหวี่ยง = 0.028 m และความยาวก้านสูบ 0.11 m

<u>วิธีทำ</u> จากสมการ (3) จะได้ $x = (0.028+0.11) - (0.025*2.42)$

$= 0.0775$ m **Ans**

แล้วนำค่าที่ได้นี้ไป plot กราฟ เทียบกับเวลาในช่วง 2 ลูกคลื่น



รูปที่ 3-18 ความสัมพันธ์ของแรงดันเทียบกับเวลา เมื่อ $r = 0.02$ m และ $l = 0.1$ m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ 1 จากกราฟที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคป

บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้ากับเวลา

เวลา	แรงดันไฟฟ้าที่บันทึกได้ในช่วง 2 ความยาวคลื่น ในช่วงเวลาเพิ่มขึ้นทีละ 0.02 วินาที (V)								
	r =0.02			r =0.028			r =0.036		
	I =0.1	I =0.11	I =0.12	I =0.1	I =0.11	I =0.12	I =0.1	I =0.11	=0.12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.02	0.15	0.02	0.15	0.02	0.15	0.02	0.15	0.02	0.15
0.04	0.3	0.04	0.3	0.04	0.3	0.04	0.3	0.04	0.3
0.06	0.5	0.06	0.5	0.06	0.5	0.06	0.5	0.06	0.5
0.08	0.8	0.08	0.8	0.08	0.8	0.08	0.8	0.08	0.8
0.1	1.1	0.1	1.1	0.1	1.1	0.1	1.1	0.1	1.1
0.12	1.4	0.12	1.4	0.12	1.4	0.12	1.4	0.12	1.4
0.14	1.6	0.14	1.6	0.14	1.6	0.14	1.6	0.14	1.6
0.16	1.65	0.16	1.65	0.16	1.65	0.16	1.65	0.16	1.65
0.18	1.6	0.18	1.6	0.18	1.6	0.18	1.6	0.18	1.6
0.2	1.4	0.2	1.4	0.2	1.4	0.2	1.4	0.2	1.4
0.22	1.2	0.22	1.2	0.22	1.2	0.22	1.2	0.22	1.2
0.24	0.8	0.24	0.8	0.24	0.8	0.24	0.8	0.24	0.8
0.26	0.5	0.26	0.5	0.26	0.5	0.26	0.5	0.26	0.5
0.28	0.3	0.28	0.3	0.28	0.3	0.28	0.3	0.28	0.3
0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15
0.32	0	0.32	0	0.32	0	0.32	0	0.32	0
0.34	0.15	0.34	0.15	0.34	0.15	0.34	0.15	0.34	0.15
0.36	0.3	0.36	0.3	0.36	0.3	0.36	0.3	0.36	0.3
0.38	0.5	0.38	0.5	0.38	0.5	0.38	0.5	0.38	0.5
0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	0.7
0.42	1.15	0.42	1.15	0.42	1.15	0.42	1.15	0.42	1.15
0.44	1.3	0.44	1.3	0.44	1.3	0.44	1.3	0.44	1.3
0.46	1.5	0.46	1.5	0.46	1.5	0.46	1.5	0.46	1.5
0.48	1.65	0.48	1.65	0.48	1.65	0.48	1.65	0.48	1.65
0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5
0.52	1	0.52	1	0.52	1	0.52	1	0.52	1
0.54	0.6	0.54	0.6	0.54	0.6	0.54	0.6	0.54	0.6
0.56	0.4	0.56	0.4	0.56	0.4	0.56	0.4	0.56	0.4
0.58	0.2	0.58	0.2	0.58	0.2	0.58	0.2	0.58	0.2
0.6	0.05	0.6	0.05	0.6	0.05	0.6	0.05	0.6	0.05
0.62	0	0.62	0	0.62	0	0.62	0	0.62	0
0.64	0	0.64	0	0.64	0	0.64	0	0.64	0

ตารางที่ 4- 1 แรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ในช่วง 2 ความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4 -1 แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาที่ได้จากการบันทึกผลจากเครื่องออสซิลโลสโคป เป็นการกระจัดเทียบกับเวลา

จากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 1 V มีค่าเท่ากับ 0.025 m จะได้สูตรการคำนวณดังนี้

x = (r + l) – (0.025 * ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)) ..... (4.1)

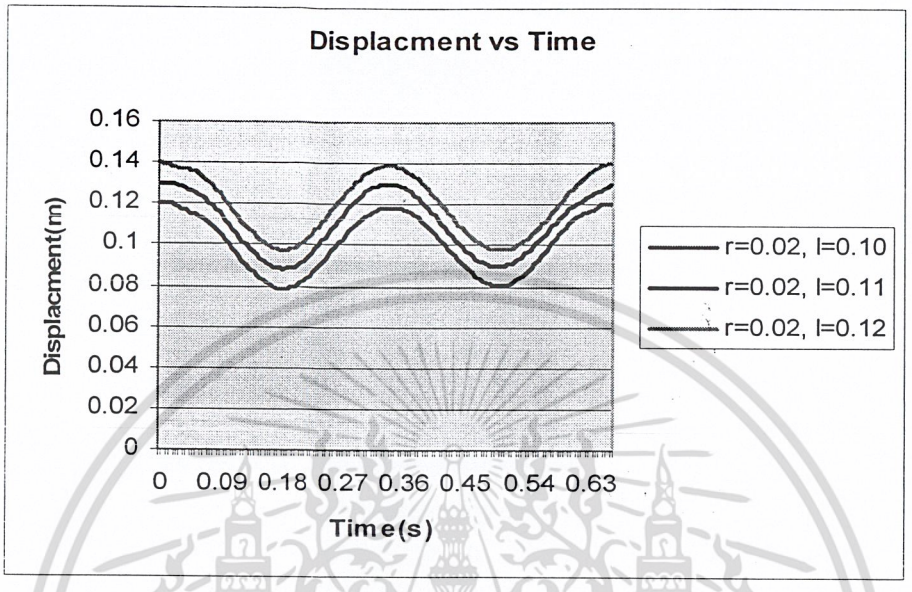
จะได้ตารางการกระจัดเทียบกับเวลา ดังนี้

เวลา	การกระจัดเทียบกับเวลา ที่ได้จากการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา (m)								
	r =0.02			r = 0.028			r = 0.036		
	l =0.1	l =0.11	l =0.12	l =0.1	l =0.11	l =0.12	l =0.1	l =0.11	l =0.12
0	0.12	0.13	0.14	0.128	0.135	0.148	0.136	0.146	0.156
0.02	0.11625	0.1275	0.1375	0.12425	0.13425	0.14425	0.13225	0.1435	0.15225
0.04	0.1125	0.1225	0.1325	0.118	0.128	0.138	0.126	0.136	0.146
0.06	0.1075	0.1175	0.1275	0.1105	0.1205	0.1305	0.1185	0.126	0.1335
0.08	0.1	0.11	0.12	0.098	0.1105	0.118	0.1035	0.1135	0.121
0.1	0.0925	0.1025	0.11	0.088	0.1005	0.108	0.091	0.101	0.1085
0.12	0.085	0.095	0.10375	0.078	0.0905	0.098	0.0785	0.0885	0.09475
0.14	0.08	0.09	0.1	0.07175	0.08175	0.09175	0.06975	0.07725	0.086
0.16	0.07875	0.0875	0.0975	0.068	0.07925	0.088	0.0635	0.0735	0.0835
0.18	0.08	0.09	0.1	0.07175	0.0805	0.09175	0.06475	0.07725	0.086
0.2	0.085	0.095	0.10375	0.078	0.0855	0.098	0.0735	0.0835	0.09475
0.22	0.09	0.1025	0.11	0.08925	0.0955	0.108	0.086	0.096	0.106
0.24	0.1	0.11	0.12	0.1005	0.1005	0.118	0.101	0.111	0.121
0.26	0.1075	0.11875	0.1275	0.1105	0.118	0.128	0.116	0.1285	0.136
0.28	0.1125	0.125	0.1325	0.1205	0.128	0.138	0.126	0.13725	0.14725
0.3	0.11625	0.1275	0.1375	0.1255	0.133	0.1455	0.13225	0.1435	0.15225
0.32	0.12	0.13	0.14	0.128	0.138	0.148	0.136	0.146	0.156
0.34	0.11625	0.1275	0.1375	0.12425	0.133	0.143	0.13225	0.1435	0.15225
0.36	0.1125	0.125	0.1325	0.1205	0.128	0.138	0.126	0.13975	0.146
0.38	0.1075	0.1175	0.125	0.113	0.1205	0.1305	0.1185	0.131	0.136
0.4	0.1025	0.1075	0.1175	0.103	0.1105	0.1205	0.10725	0.121	0.1235
0.42	0.09125	0.1	0.11	0.09175	0.1105	0.1105	0.09475	0.1085	0.111
0.44	0.0875	0.095	0.10375	0.083	0.0905	0.1005	0.0835	0.09225	0.0985
0.46	0.0825	0.09125	0.1	0.07425	0.08175	0.09175	0.0735	0.08475	0.0885
0.48	0.07875	0.09	0.0975	0.068	0.07925	0.088	0.066	0.07725	0.08725
0.5	0.0825	0.0925	0.1	0.07175	0.0805	0.09175	0.0635	0.0735	0.0885
0.52	0.0875	0.0975	0.10375	0.07425	0.0855	0.0955	0.066	0.07725	0.091
0.54	0.095	0.1025	0.11	0.083	0.093	0.103	0.0735	0.0885	0.0985
0.56	0.105	0.1125	0.1175	0.093	0.1005	0.113	0.086	0.101	0.111
0.58	0.11	0.1175	0.1275	0.103	0.113	0.1255	0.0985	0.1185	0.126
0.6	0.115	0.1225	0.1325	0.113	0.123	0.1335	0.11475	0.1285	0.141
0.62	0.11875	0.12625	0.1375	0.1205	0.1305	0.1405	0.126	0.1385	0.1485
0.64	0.12	0.13	0.14	0.1255	0.1355	0.1455	0.131	0.14225	0.15225

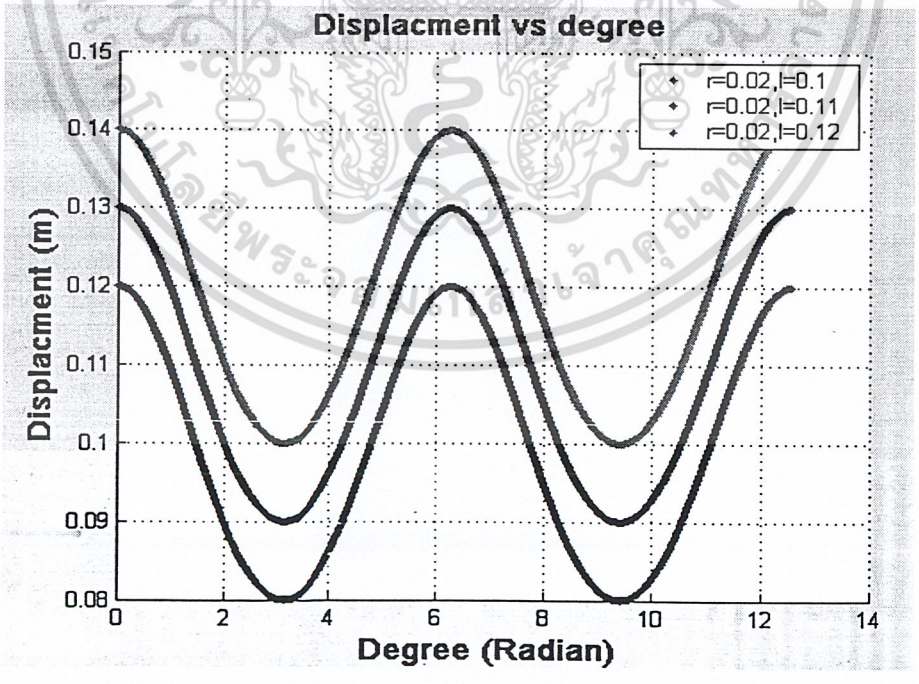
ตารางที่ 4-2 การกระจัดเทียบกับเวลาในช่วง 2 ความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลการกระจัดเทียบกับเวลาที่ได้ ไป plot ลงในโปรแกรม matlab โปรแกรมจะคำนวณค่าแนวโน้มของข้อมูลออกมาเป็นสมการค่าแนวโน้ม จากนั้นนำค่าที่ได้ไป plot กราฟในโปรแกรม Excelจะได้กราฟผลการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับทางทฤษฎี ดังนี้

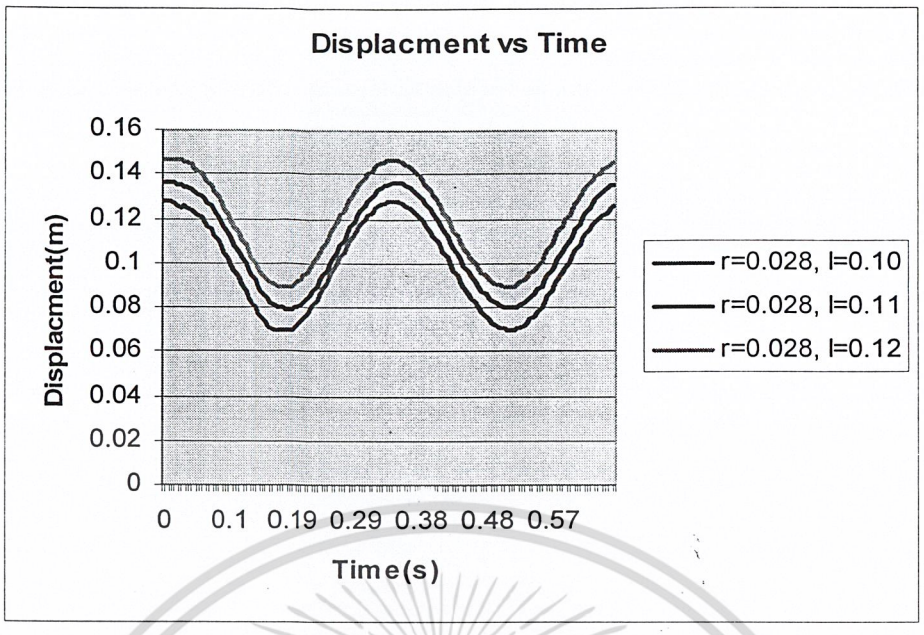


รูปที่ 4-1 Displacment vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.02 m และ l=0.10,0.11,0.12 m

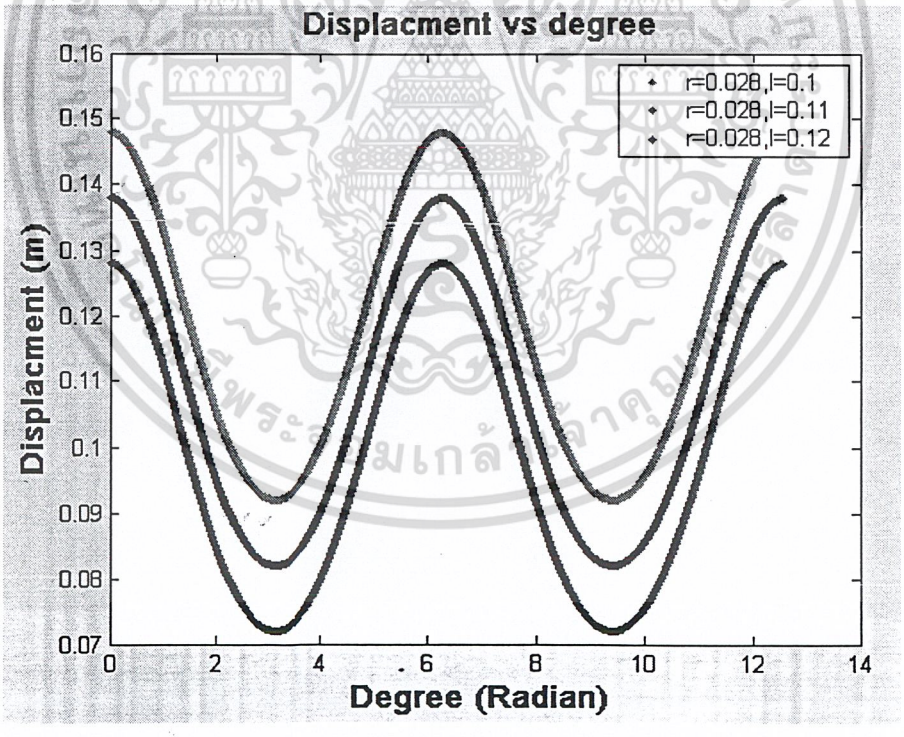


รูปที่ 4-2 Displacment vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.02 m และ l=0.10,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

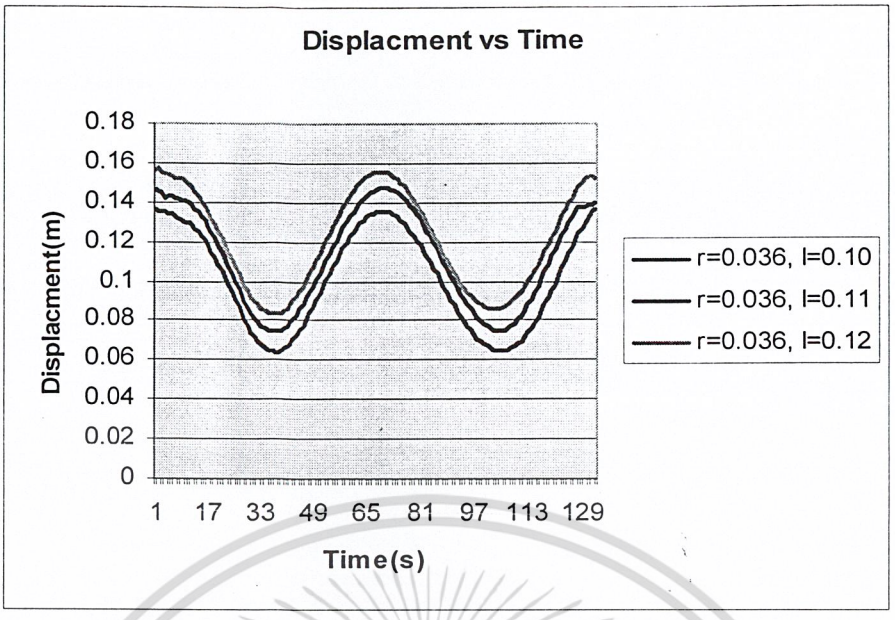


รูปที่ 4-3 Displacment vs Time **จากการทดลอง** *เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12 m*

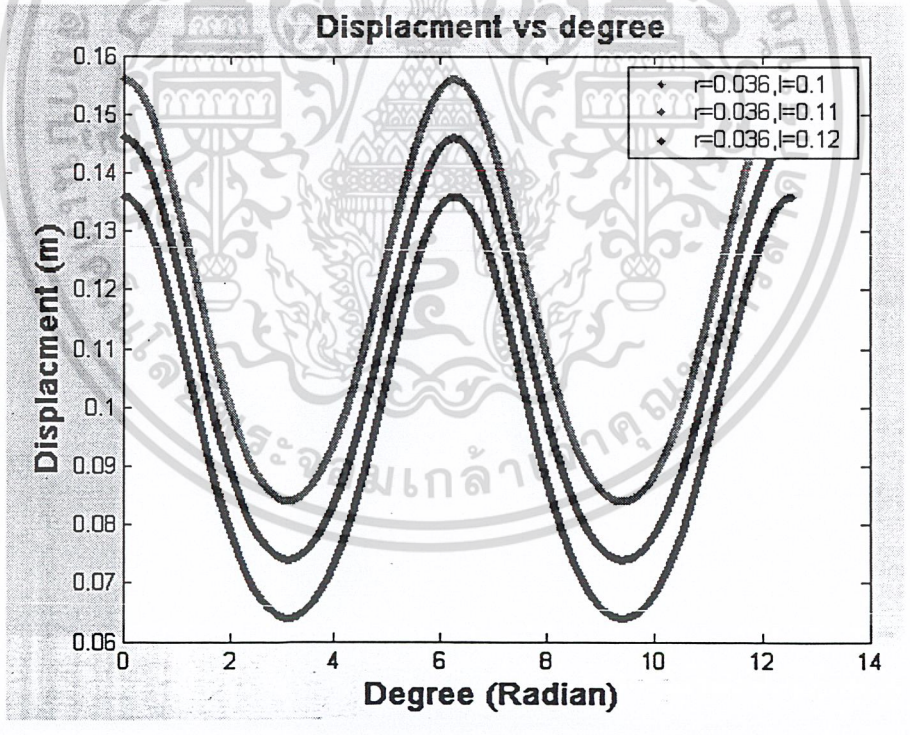


รูปที่ 4-4 Displacment vs Degree **จากทางทฤษฎี** *เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12 m*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



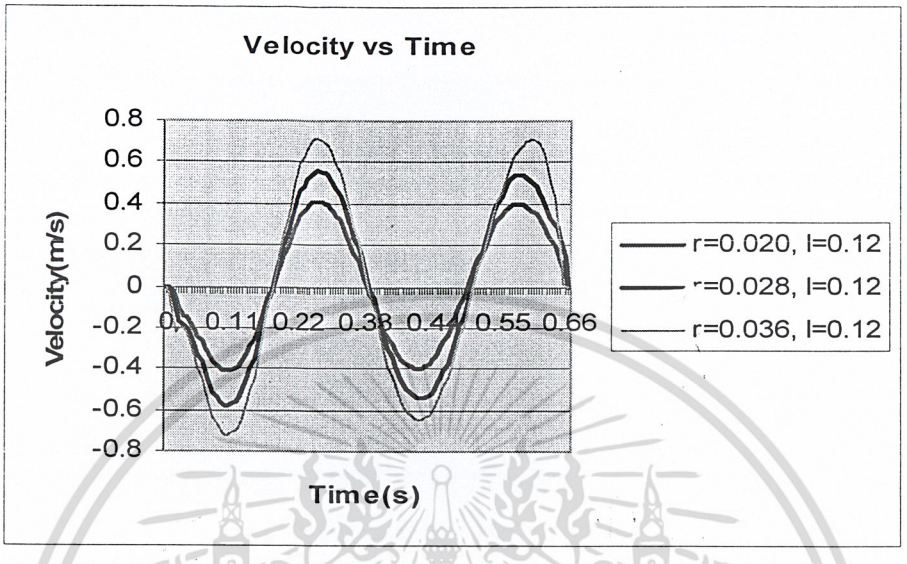
รูปที่ 4-5 Displacment vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.036 m และ l=0.10,0.11,0.12 m



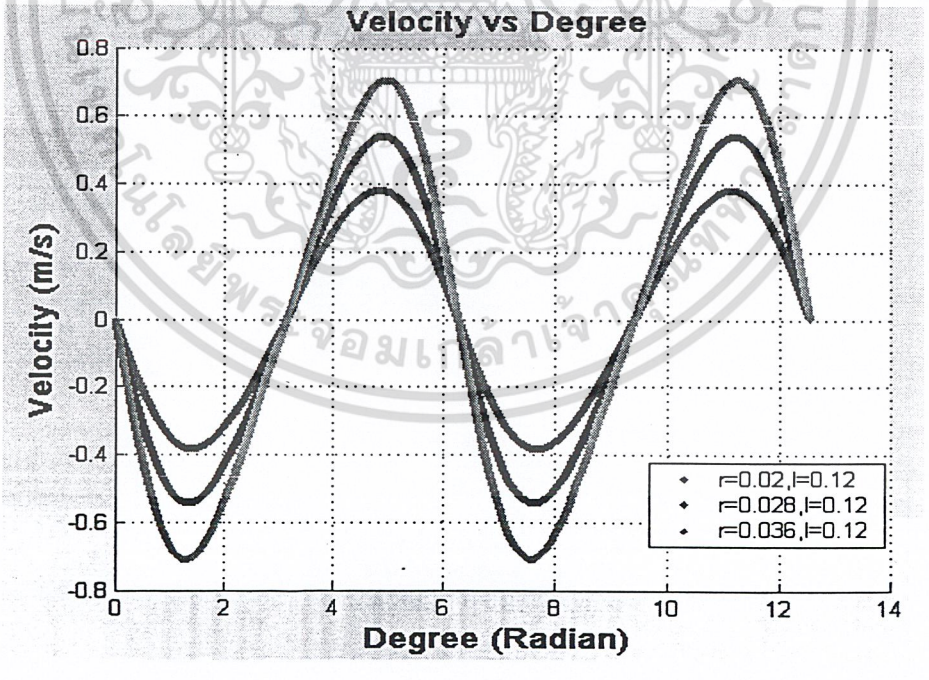
รูปที่ 4-6 Displacment vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.036 m และ l=0.10,0.11,0.12m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าการกระจัดเทียบกับเวลาที่ได้ไปทำการ หาความชันโดยการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาโดยใช้โปรแกรม matlab จะได้ตาราง ในภาคผนวก ค แล้วหาค่าแนวโน้มของกราฟ นำค่าได้ได้ไป plot กราฟ จะได้กราฟ ความเร็วเทียบกับเวลาเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี ดังนี้

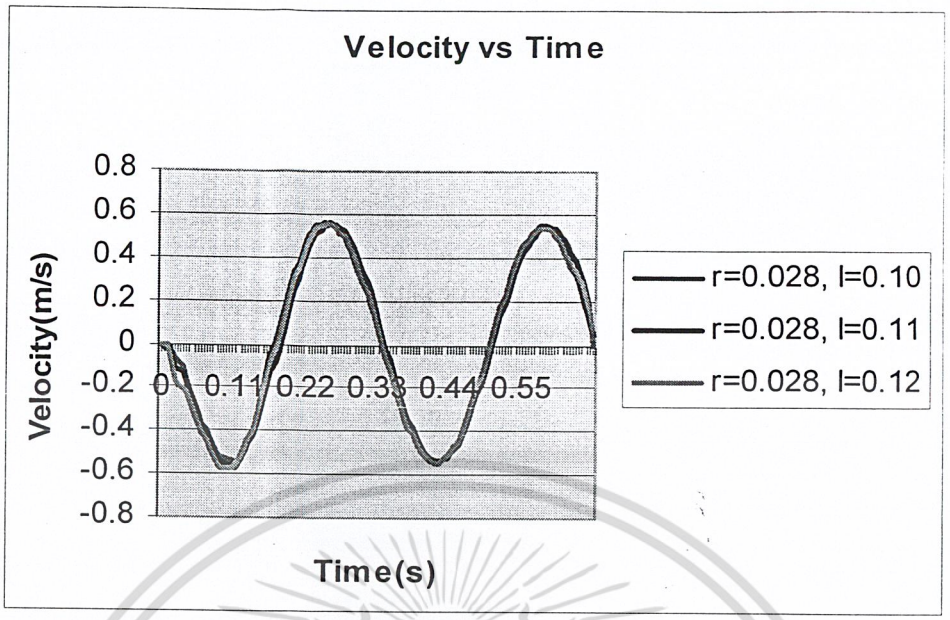


รูปที่ 4-7 Velocity vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12 m

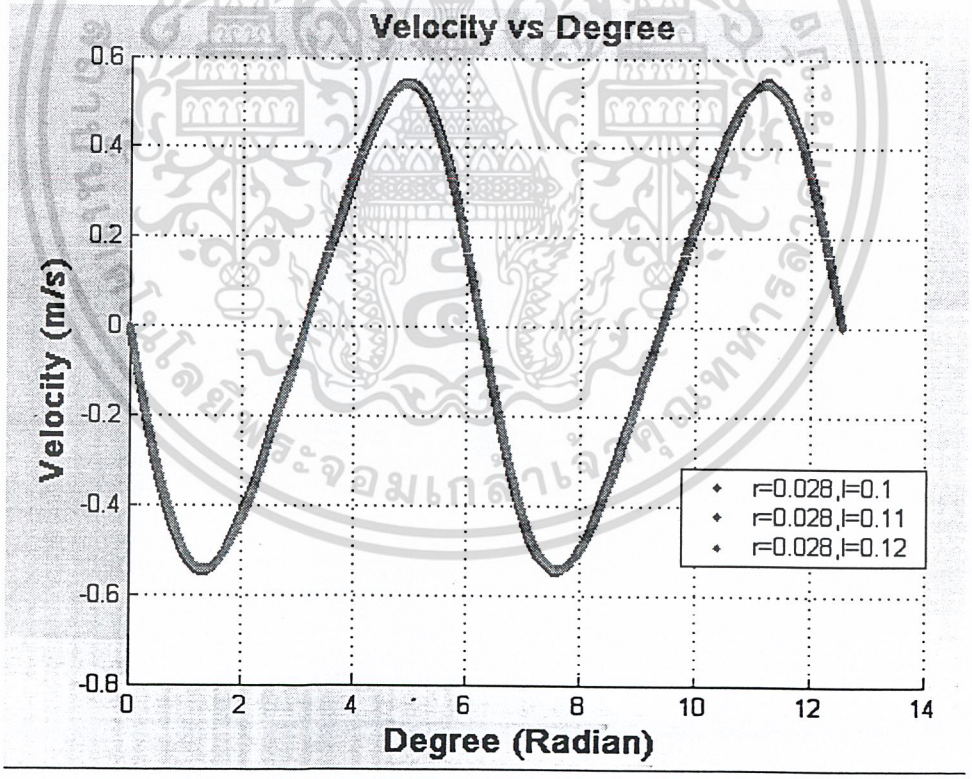


รูปที่ 4-8 Velocity vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



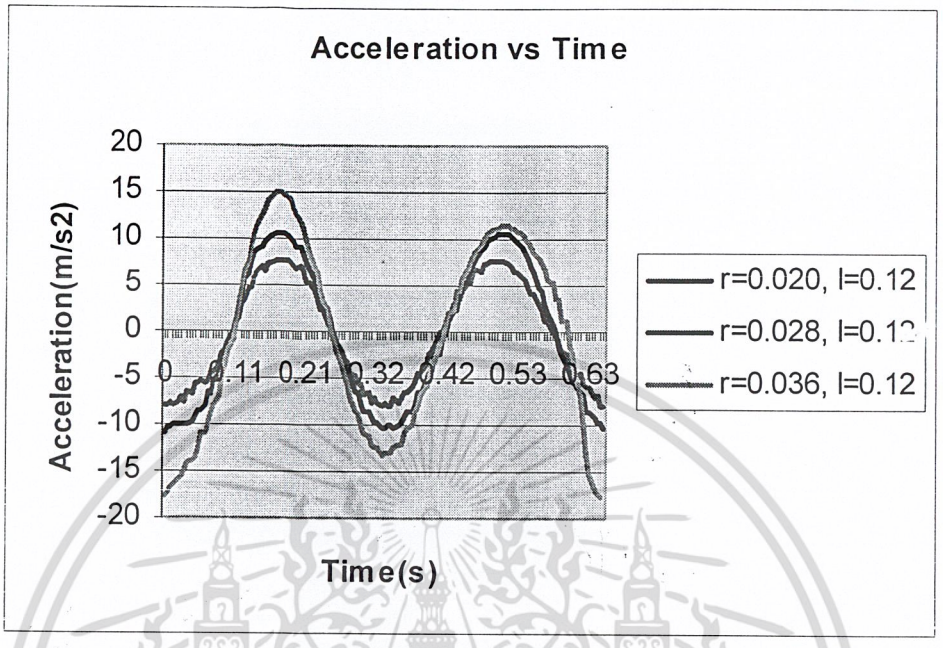
รูปที่ 4-9 Velocity vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r =0.028 m และ l=0.10,0.011,0.12 m



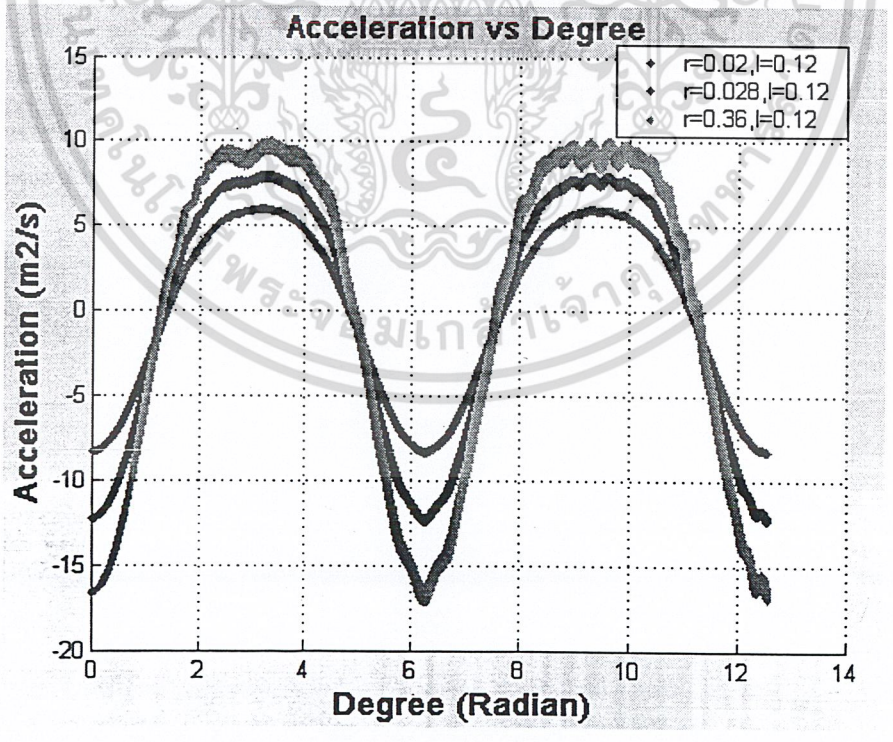
รูปที่ 4-10 Velocity vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=00.028 m และ l=0.10,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเร็วเทียบกับเวลาที่ได้ไปทำการ หาความชันโดยการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาใช้โปรแกรม matlabจะได้ตาราง ในภาคผนวก ค แล้วหาค่าแนวโน้มของกราฟ นำค่าที่ได้ไป plot กราฟ จะได้กราฟความเร่งเทียบกับเวลา ดังนี้

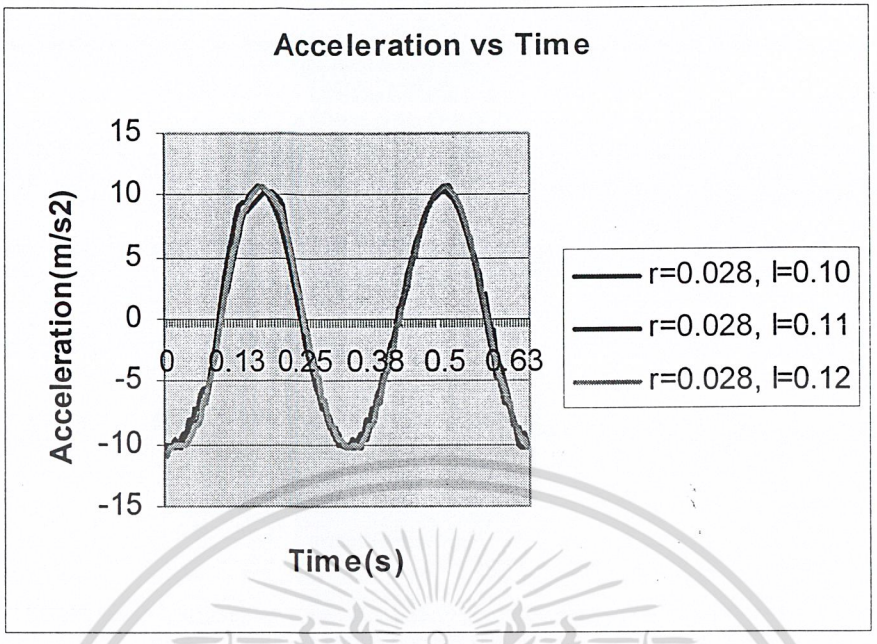


รูปที่ 4-11 Acceleration vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12 m

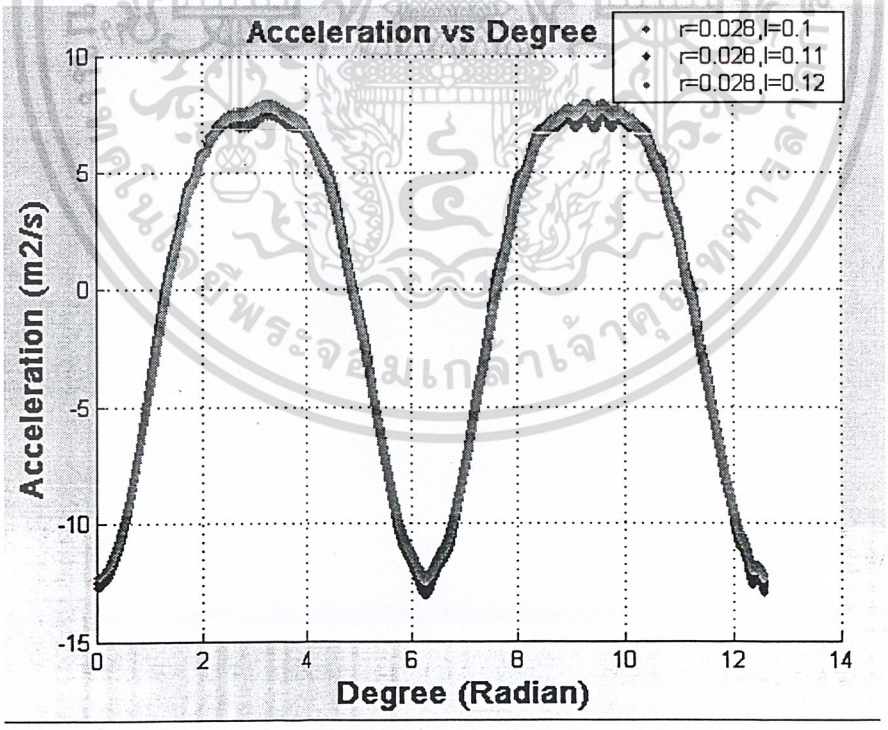


รูปที่ 4-12 Acceleration vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.020,0.028,0.036 m และ l=0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-13 Acceleration vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r= 0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12 m



รูปที่ 4-14 Acceleration vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r= 0.028 m และ l=0.10,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 2 จากกราฟที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคป เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความเร็วรอบของ มอเตอร์

บันทึกผลค่าแรงดันเทียบกับเวลาได้ ดังนี้

เวลา	แรงดันไฟฟ้าที่บันทึกได้ในช่วง 2 ความยาวคลื่น ในช่วงเวลาเพิ่มขึ้นทีละ 0.02 วินาที เมื่อกำหนด r = 0.028 m และ l =0.11 m		
	w = 180 rpm	w = 240 rpm	w = 300 rpm
0	0	0	0
0.02	0.15	0.15	0.1
0.04	0.4	0.4	0.3
0.06	0.7	0.7	0.7
0.08	1.1	1.3	1.2
0.1	1.5	1.75	1.7
0.12	1.9	2.15	2.1
0.14	2.25	2.4	2.4
0.16	2.35	2.35	2.3
0.18	2.3	2.2	2.1
0.2	2.1	2	1.9
0.22	1.7	1.7	1.6
0.24	1.3	1.2	1.2
0.26	0.8	0.8	0.8
0.28	0.4	0.5	0.5
0.3	0.2	0.15	0.2
0.32	0	0	0
0.34	0.2	0.15	0.1
0.36	0.4	0.35	0.3
0.38	0.7	0.7	0.6
0.4	1.1	1.1	1.1
0.42	1.5	1.6	1.6
0.44	1.9	2	1.9
0.46	2.25	2.2	2.2
0.48	1.35	2.4	2.4
0.5	2.3	2	2.1
0.52	1.8	1.6	1.7
0.54	1.5	1.1	1.1
0.56	1	0.6	0.7
0.58	0.6	0.3	0.4
0.6	0.3	0.1	0.1
0.62	0	0	0

ตารางที่4- 3 แรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ที่ช่วง 2 ความยาวคลื่น เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

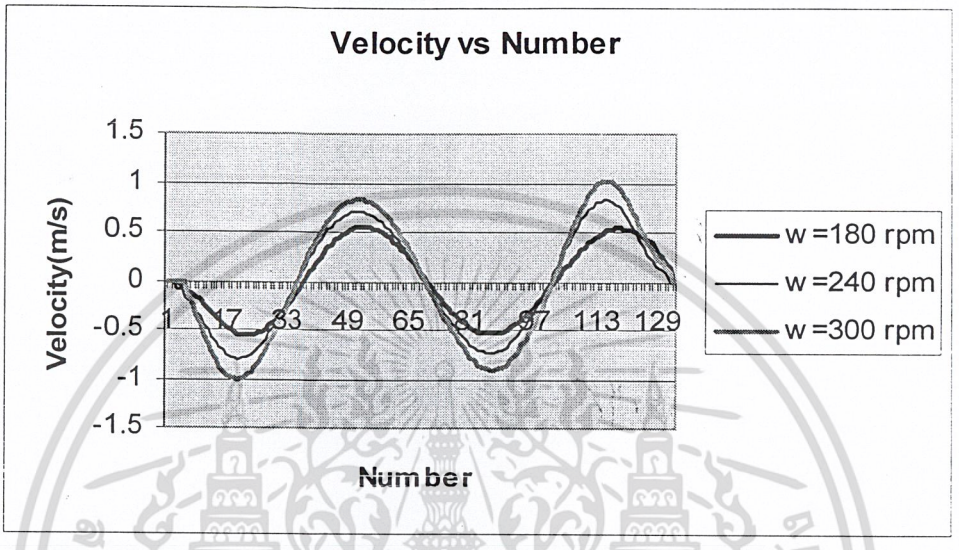
แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา เป็นการกระจัดเทียบกับเวลา จากสมการที่ (4.1)
จะได้ตารางการกระจัดเทียบกับเวลาเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ ดังนี้

เวลา	การกระจัดที่บันทึกได้ในช่วง 2 ความยาวคลื่น ในช่วงเวลาเพิ่มขึ้นทีละ 0.02 วินาที เมื่อกำหนด r = 0.028 m และ l =0.11 m		
	w = 180 rpm	w = 240 rpm	w = 300 rpm
0	0.135	0.138	0.138
0.02	0.13425	0.13425	0.1355
0.04	0.128	0.128	0.1305
0.06	0.1205	0.1205	0.1205
0.08	0.1105	0.1055	0.108
0.1	0.1005	0.09425	0.0955
0.12	0.0905	0.08425	0.0855
0.14	0.08175	0.0767	0.078
0.16	0.07925	0.07925	0.0805
0.18	0.0805	0.083	0.0855
0.2	0.0855	0.088	0.0905
0.22	0.0955	0.0955	0.098
0.24	0.1005	0.108	0.108
0.26	0.118	0.118	0.118
0.28	0.128	0.1267	0.1255
0.3	0.133	0.13425	0.133
0.32	0.138	0.138	0.138
0.34	0.133	0.13425	0.1355
0.36	0.128	0.1292	0.1305
0.38	0.1205	0.1205	0.123
0.4	0.1105	0.1105	0.1105
0.42	0.1105	0.098	0.098
0.44	0.0905	0.088	0.0905
0.46	0.08175	0.083	0.083
0.48	0.07925	0.078	0.078
0.5	0.0805	0.07925	0.0805
0.52	0.0855	0.088	0.0855
0.54	0.093	0.098	0.0955
0.56	0.1005	0.1105	0.1105
0.58	0.113	0.123	0.1205
0.6	0.123	0.1305	0.128
0.62	0.1305	0.1355	0.1355
0.64	0.1355	0.138	0.138

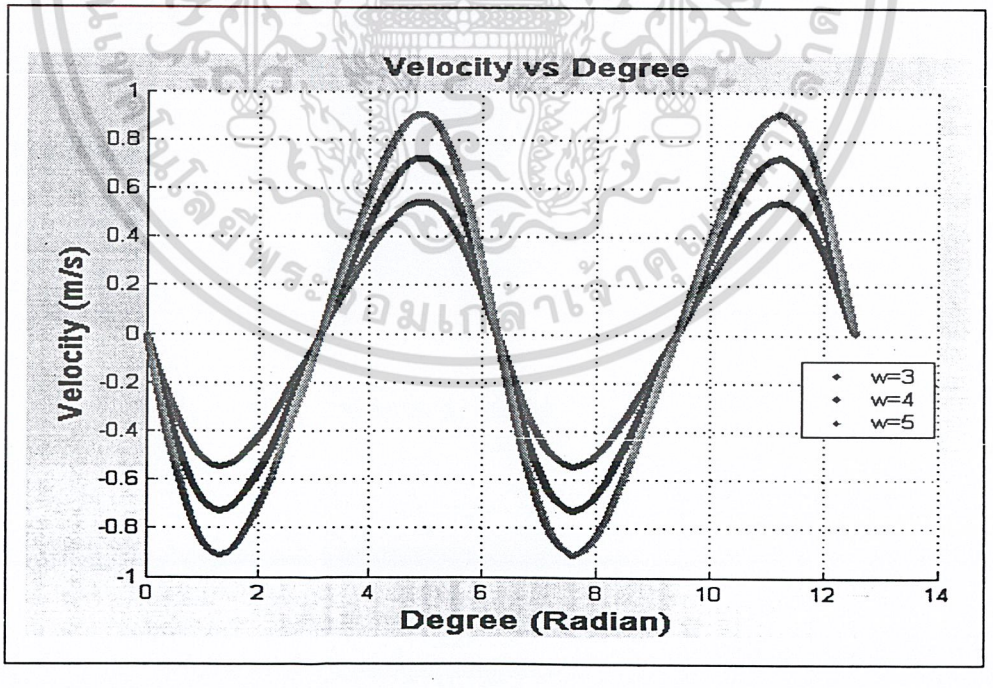
ตารางที่ 4-4 การกระจัดเทียบกับเวลา ที่ช่วง 2 ความยาวคลื่น เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลการกระจัดเทียบกับเวลาที่ได้ ไป plot ลงในโปรแกรม matlab โปรแกรมจะคำนวณค่าแนวโน้มของข้อมูลออกมาเป็นสมการค่าแนวโน้ม นำค่าการกระจัดเทียบกับเวลาที่ได้ไปทำการหาความชันโดยการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาโดยใช้โปรแกรม matlabจะได้ตาราง ในภาคผนวก ค แล้วหาค่าแนวโน้มของกราฟ จะได้กราฟความเร็วเทียบกับเวลา ดังนี้

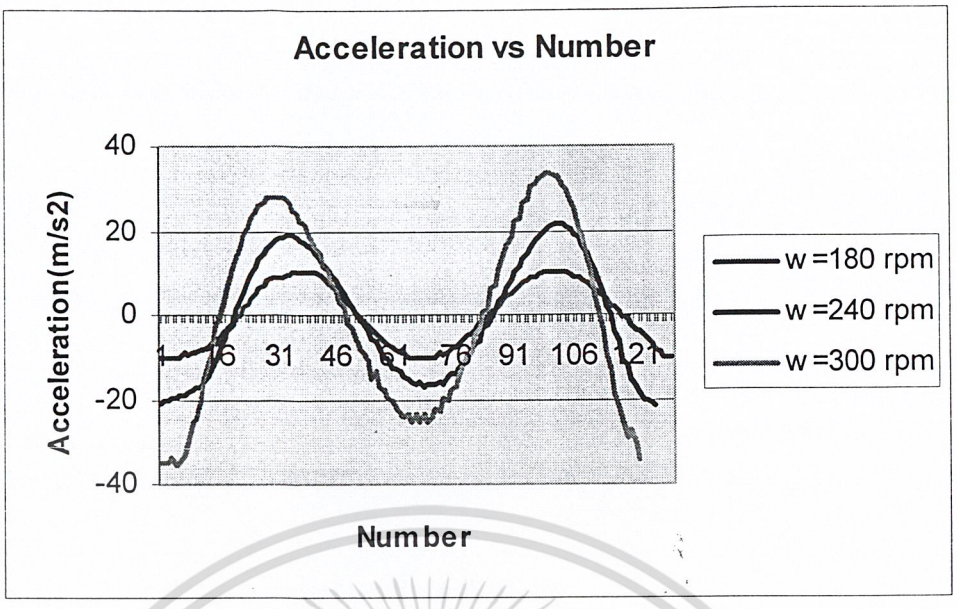


รูปที่ 4-15 Velocity vs Number ที่ได้จากการทดลอง เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l = 0.11 m

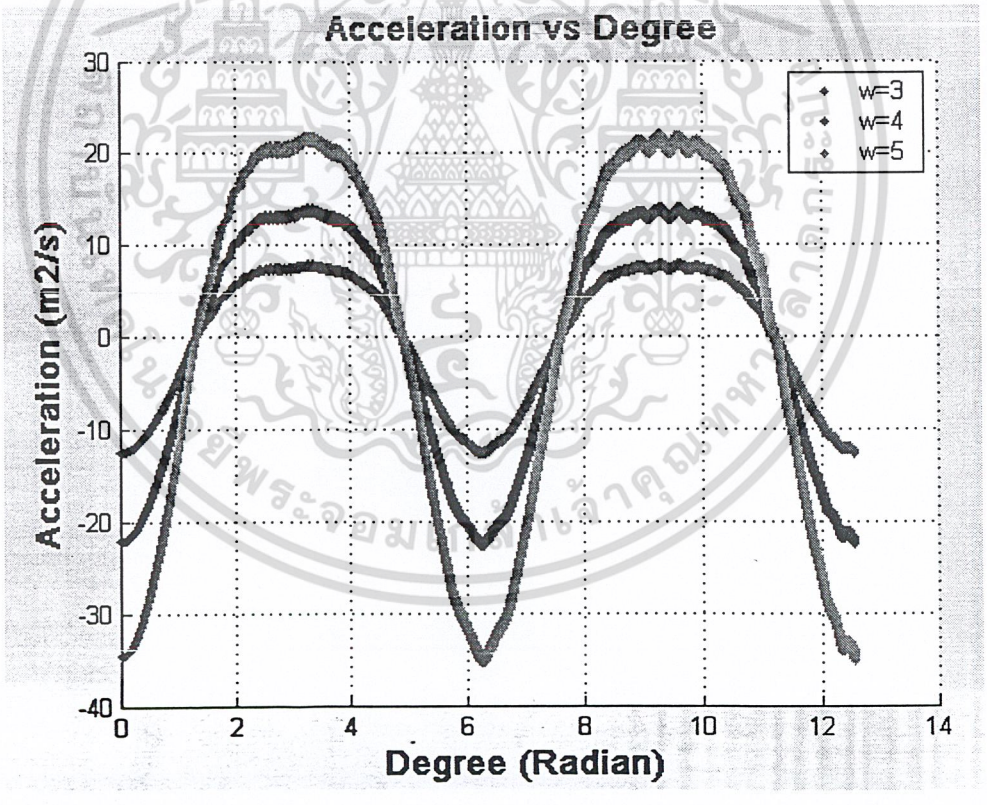


รูปที่ 4-16Velocity vs Degree ที่ได้จากทางทฤษฎี r=0.028 m และ l = 0.11 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-17 Acceleration vs Time จากการทดลอง เมื่อกำหนด r= 0.028 m และ l=0.11 m



รูปที่ 4-18 Acceleration vs Degree จากทางทฤษฎี เมื่อกำหนด r=0.028 m และ l=0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาชุดทดลองการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ทำให้สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกสูบได้ โดยการวิเคราะห์ การกระจัด ความเร็ว และ ความเร่ง จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ ทำให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกสูบ คือ รัศมีข้อเหวี่ยง และความเร็วรอบของมอเตอร์ ส่วนระยะความยาวก้านสูบมีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกสูบน้อยมาก กล่าวคือ ถ้าระยะรัศมีข้อเหวี่ยงมากขึ้น ส่งผลให้ ความเร็ว ความเร่ง ของลูกสูบมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ จะส่งผลให้ทำให้ ความเร็ว ความเร่งของลูกสูบเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกสูบ จากการทดลองเปรียบเทียบกับทฤษฎี ได้ผลดังนี้

ความสัมพันธ์ของการกระจัดเทียบกับเวลา	มีค่าแตกต่างกันสูงสุด	=	1.08	%
ความสัมพันธ์ของความเร็วเทียบกับเวลา	มีค่าแตกต่างกันสูงสุด	=	2.45	%
ความสัมพันธ์ของความเร่งเทียบกับเวลา	มีค่าแตกต่างกันสูงสุด	=	22.48	%

5.2 วิจารณ์ผลการศึกษา

จากผลที่ได้จากการทดลองนำไปเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากปัจจัยต่อไปนี้

1.ความสามารถในการตรวจจับของตัว Variable Resistant Sensor มีความละเอียดไม่เพียงพอ

2. ความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่คงที่

3. ความผิดพลาดเนื่องมาจากผู้ทำการทดลองเอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ชุดทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในวิชา กลศาสตร์เครื่องจักรกล สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของกลไกเป็นแบบ slider crank เพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนสำหรับผู้ที่สนใจ และยังสามารถใช้เป็นกลไกเพื่อใช้ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

การพัฒนาชุดทดลองนี้ให้ทันสมัยขึ้น สามารถพัฒนาได้ดังนี้

1. สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงๆได้ โดยการออกแบบให้ชุดทดลองมีความแข็งแรงรองรับการหมุนของเพลาที่ความเร็วรอบที่สูง ๆได้

2. เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเคลื่อนที่โดยการติดตั้งตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ ที่มีความไวและความละเอียดในการตรวจจัดสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการคำนวณหา Displacment vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab

เมื่อกำหนดให้ r=0.02 และเปลี่ยน l= 0.10,0.11และ0.12

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=0.02*cos(z(i))+0.1*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/25);
x1(i)=0.02*cos(z(i))+0.11*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/30.25);
x2(i)=0.02*cos(z(i))+0.12*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/36);
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
grid
title(' Displacment vs degree ')
xlabel('Degree(Radian)')
ylabel('Displacment(m)')
legend('r=0.02,l=0.1','r=0.02,l=0.11','r=0.02,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-1 การคำนวณหา Displacment vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab
กำหนด r=0.020 m l=0.10 ,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ r=0.028 และเปลี่ยน l= 0.10,0.11และ0.12

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=0.028*cos(z(i))+0.1*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/12.745);
x1(i)=0.028*cos(z(i))+0.11*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/15.366);
x2(i)=0.028*cos(z(i))+0.12*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/18.318);
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');

plot(z,x2,'.g');
grid
title(' Displacment vs degree ')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Displacment (m)')
legend('r=0.028,l=0.1','r=0.028,l=0.11','r=0.028,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-2 การคำนวณหา Displacment vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab กำหนด r=0.028 m l=0.10 ,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ r=0.036 และเปลี่ยน l= 0.10,0.11และ0.12

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=0.036*cos(z(i))+0.1*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/7.673);
x1(i)=0.036*cos(z(i))+0.11*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/9.3025);
x2(i)=0.036*cos(z(i))+0.12*sqrt(1-(sin(z(i))^2)/11.089);end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');

grid
title(' Displacment vs degree ')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Displacment (m)')
legend('r=0.036,l=0.1','r=0.036,l=0.11','r=0.036,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-3 การคำนวณหา Displacment vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab กำหนด r=0.036 m l=0.10 ,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการคำนวณหา Velocity vs Degree ทางทฤษฎีจาก Matlab

เมื่อกำหนดให้ l=0.12 m และเปลี่ยน r= 0.020,0.028และ0.036 m

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=-0.12*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/36))*12));
x1(i)=-0.168*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-
(sin(z(i)^2)/18.367))*8.56));
x2(i)=-0.216*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-
(sin(z(i)^2)/11.111))*6.66));
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
grid
title('Velocity vs Degree')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Velocity (m/s)')
legend('r=0.02,l=0.12','r=0.028,l=0.12','r=0.036,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-4 การคำนวณหา Velocity vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab กำหนด r=0.020,0.028,0.036 m l=0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ r=0.028 และเปลี่ยน l= 0.10,0.11และ0.12

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=-0.168*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/12.755))*7.142));
x1(i)=-0.168*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/15.433))*7.856));
x2(i)=-0.168*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/18.367))*8.57));
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
grid
title('Velocity vs Degree')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Velocity (m/s)')
legend('r=0.028,l=0.1','r=0.028,l=0.11','r=0.028,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-5 การคำนวณหา Velocity vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab
กำหนด r=0.028 m l=0.10 ,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m l=,0.11 m และเปลี่ยน w= 180,240,300 rpm

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=-0.168*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/15.433))*7.856));
x1(i)=-0.224*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/15.433))*7.856));
x2(i)=-0.28*pi*(sin(z(i))+sin(2*z(i))/(sqrt(1-(sin(z(i)^2)/15.433))*7.856));
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
        grid
title('Velocity vs Degree')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Velocity (m/s)')
legend('w=3','w=4','w=5' )
```

โปรแกรม ก-6 การคำนวณหา Velocity vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab กำหนด r=0.028 m l=0.11 m และ w=180,240 และ300 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการคำนวณหา Acceleration vs Degree ทางทฤษฎีจาก Matlab

เมื่อกำหนดให้ l=0.12m และเปลี่ยน r= 0.020,0.028และ0.036 m

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=-7.106*(cos(z(i))+(35*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(216*((1-
(sin(z(i)^2)/36))^(3/2))));
x1(i)=-9.948*(cos(z(i))+(17.367*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(78.717*((1-
(sin(z(i)^2)/18.367))^(3/2))));
x2(i)=-12.791*(cos(z(i))+(10.111*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(37.037*((1-
(sin(z(i)^2)/11.111))^(3/2))));
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
grid
title('Acceleration vs Degree')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Acceleration (m2/s)')
legend ('r=0.02,l=0.12','r=0.028,l=0.12','r=0.36,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-7 การคำนวณหา Acceleration vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab
กำหนด r=0.020,0.028,0.036 m l=0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ r=0.028 และเปลี่ยน l= 0.10,0.11และ0.12

```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=-9.948*(cos(z(i))+(11.755*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(45.553*((1-
(sin(z(i)^2)/12.755))^(3/2))));
x1(i)=-9.948*(cos(z(i))+(14.433*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(60.632*((1-
(sin(z(i)^2)/15.433))^(3/2))));
x2(i)=-9.948*(cos(z(i))+(17.367*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(78.717*((1-
(sin(z(i)^2)/18.367))^(3/2))));
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
grid
title('Acceleration vs Degree')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Acceleration (m2/s)')
legend ('r=0.028,l=0.1','r=0.028,l=0.11','r=0.028,l=0.12')
```

โปรแกรม ก-8 การคำนวณหา Acceleration vs Degree ทางทฤษฎี จาก Matlab กำหนด r=0.028 m l=0.10 ,0.11,0.12 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m l= 0.11 m และเปลี่ยน w=180,240และ 300 rpm

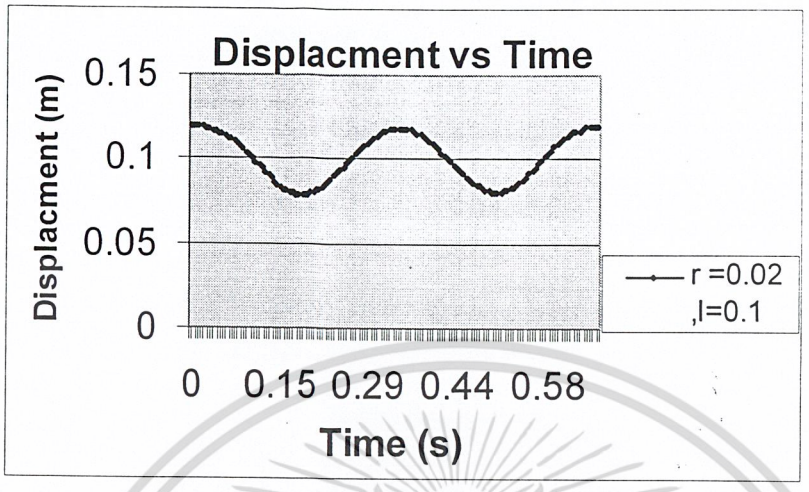
```
z=(0*pi/180):(0.01*pi/180):(720*pi/180);
n=length(z);
for i=1:n,
x(i)=-9.948*(cos(z(i))+(14.433*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(60.632*((1-
(sin(z(i)^2)/15.433))^(3/2))));
x1(i)=-17.686*(cos(z(i))+(14.433*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(60.632*((1-
(sin(z(i)^2)/15.433))^(3/2))));
x2(i)=-27.634*(cos(z(i))+(14.433*cos(2*z(i))+cos(z(i)^4))/(60.632*((1-
(sin(z(i)^2)/15.433))^(3/2))));
end
hold
plot(z,x,'.r');
plot(z,x1,'.b');
plot(z,x2,'.g');
grid
title('Acceleration vs Degree')
xlabel('Degree (Radian)')
ylabel('Acceleration (m2/s)')
legend ('w=3','w=4','w=5' )
```

โปรแกรม ก-9 การคำนวณหา *Acceleration vs Degree* ***ทางทฤษฎี จาก*** *Matlab*
กำหนด *r=0.028 m l=,0.11 m* ***และ*** *w=180,240,300* rpm

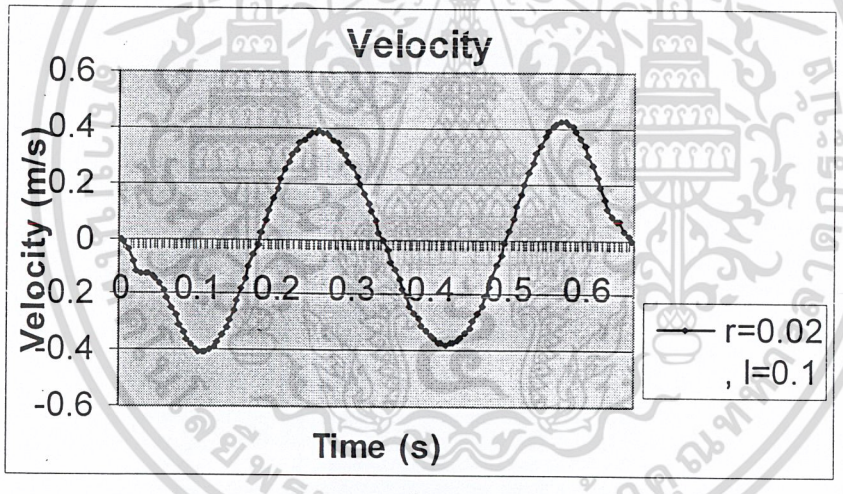
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

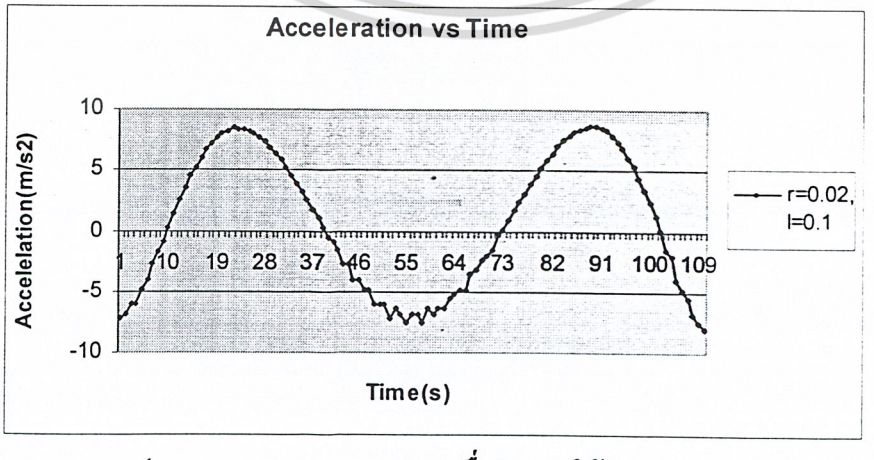
กราฟการทดลองจากโปรแกรม Matlap



กราฟ ข-1 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m l=0.1 m

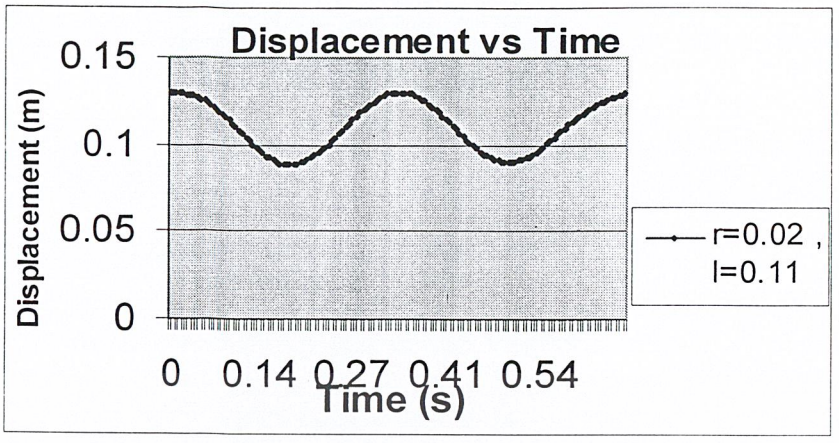


กราฟ ข-2 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m,l=0.10 m

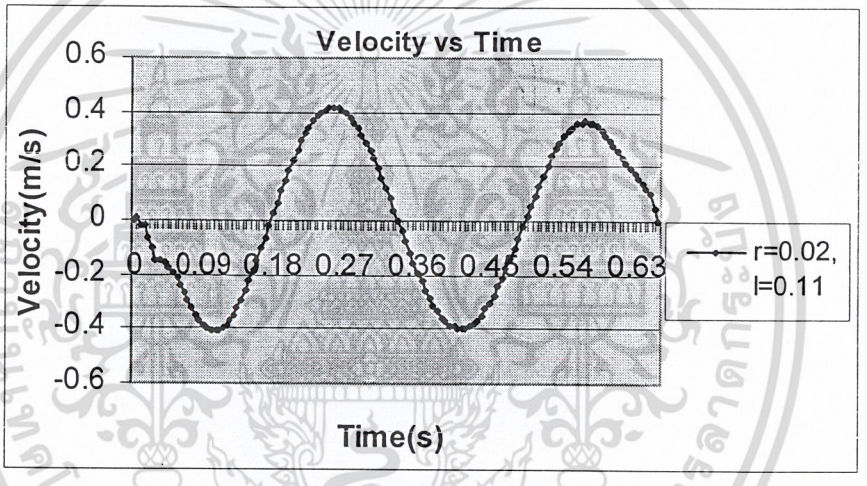


กราฟ ข-3 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m,l=0.10 m

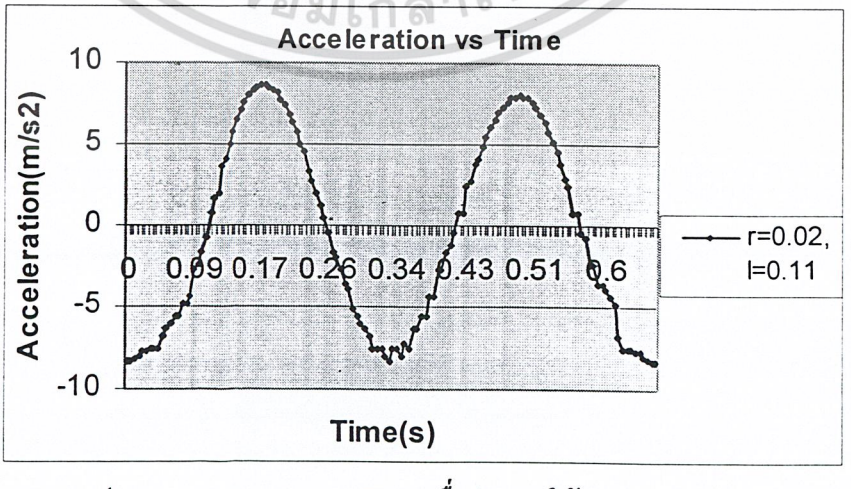
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-4 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m , l=0.11 m

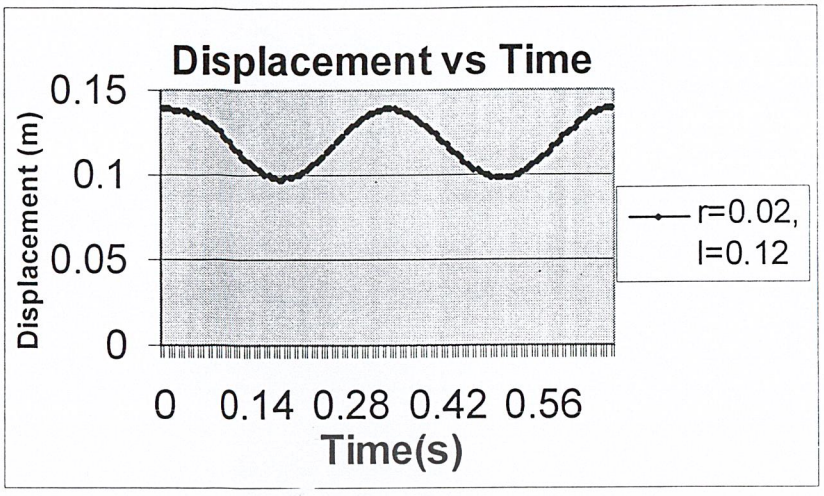


กราฟ ข-5 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m ,l=0.11 m

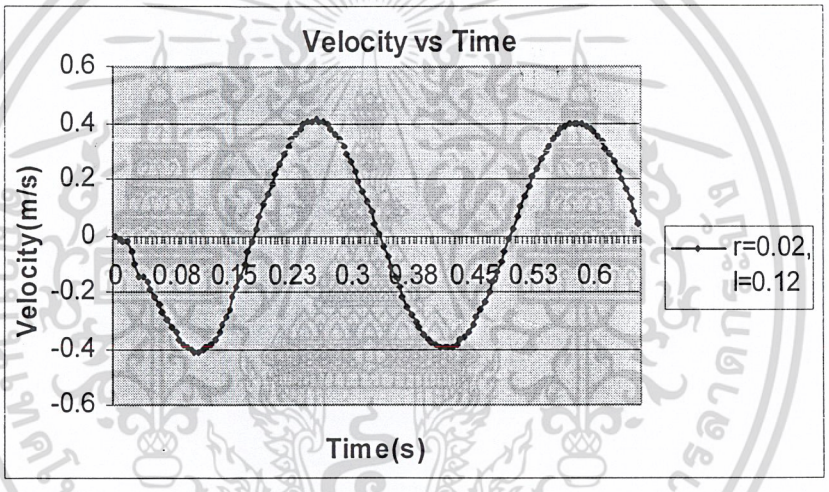


กราฟ ข-6 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m , l=0.11 m

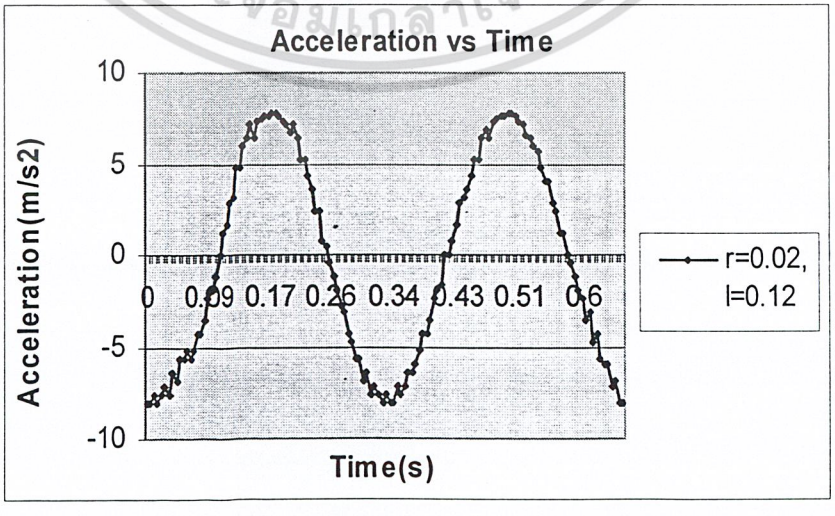
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-7 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m , l=0.12 m

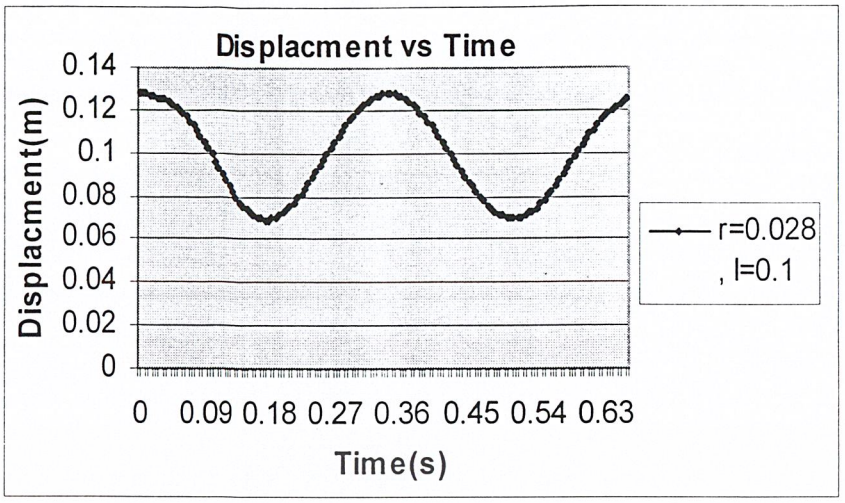


กราฟ ข-8 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m,l=0.12 m

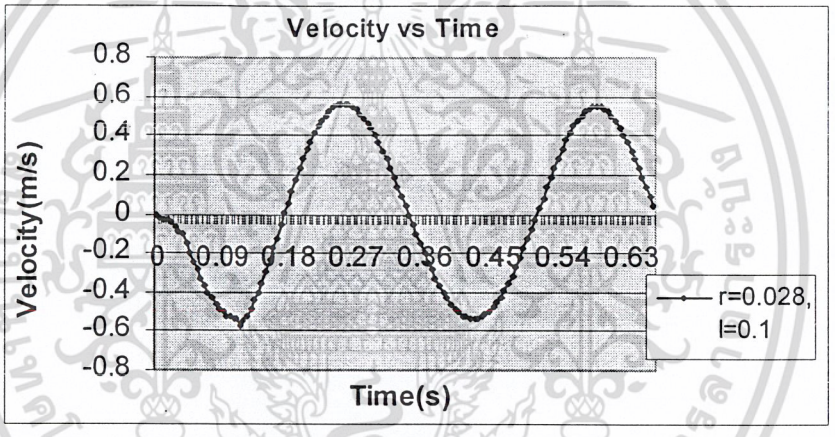


กราฟ ข-9 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.02 m,l=0.12 m

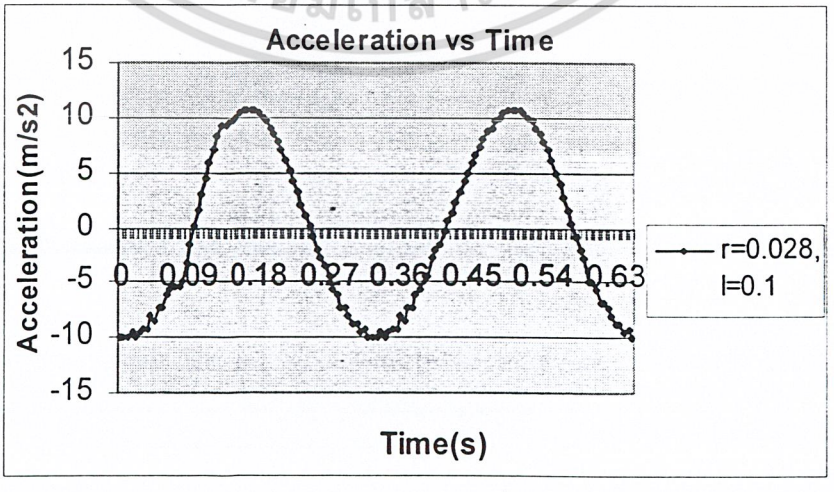
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-10 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m , l=0.1 m

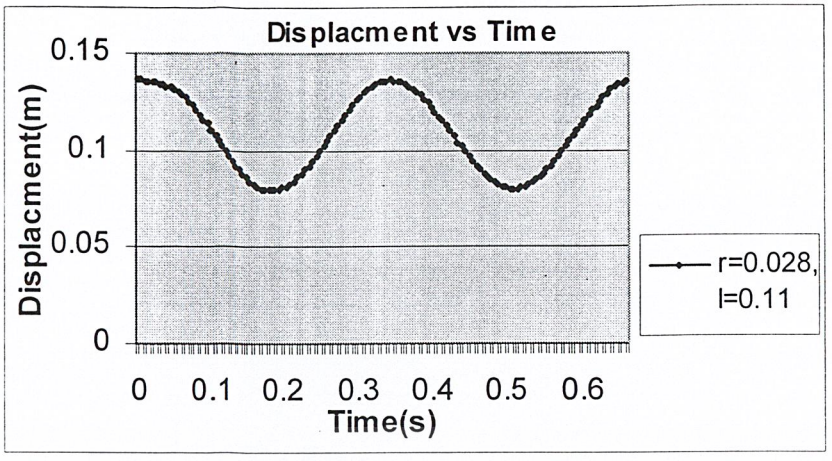


กราฟ ข-11 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m , l=0.1 m

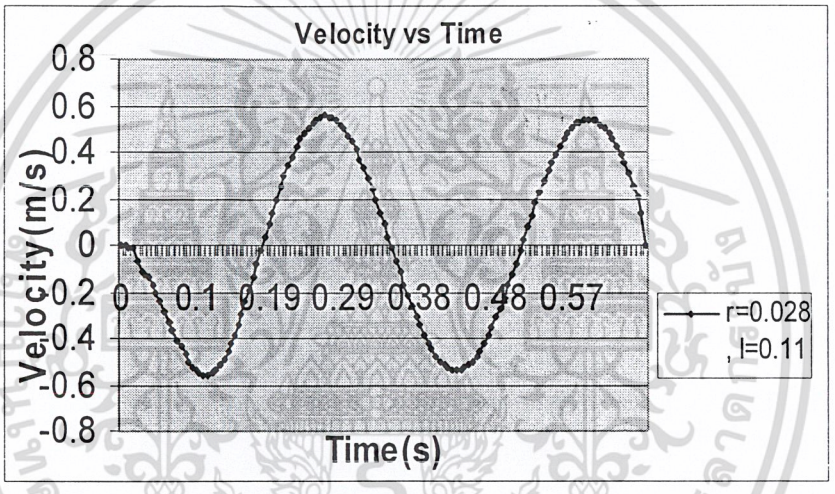


กราฟ ข-12 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m, l=0.1 m

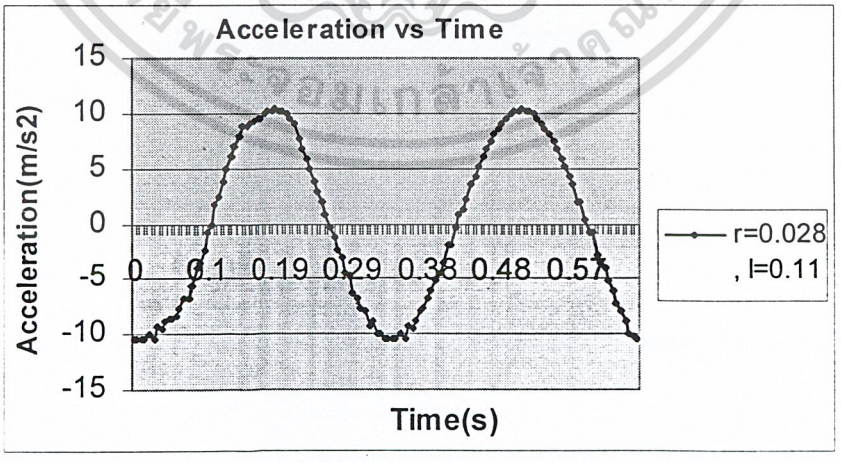
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-13 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m , l=0.11 m

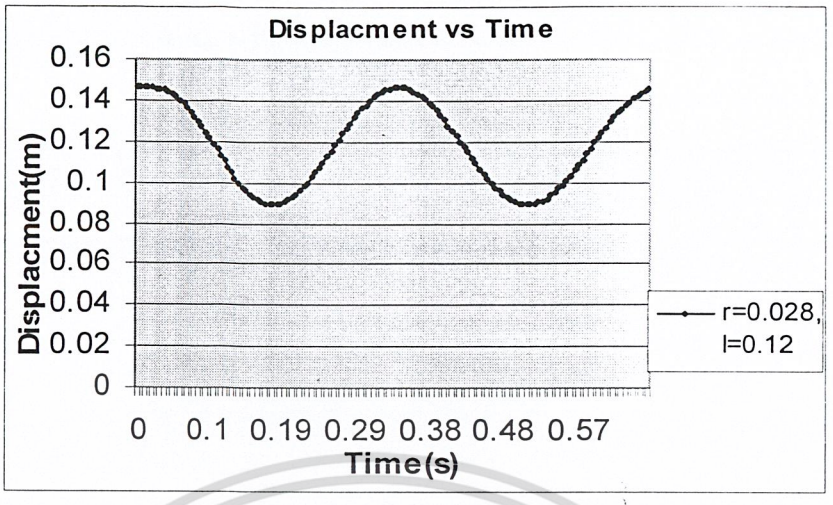


กราฟ ข-14 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m , l=0.11 m

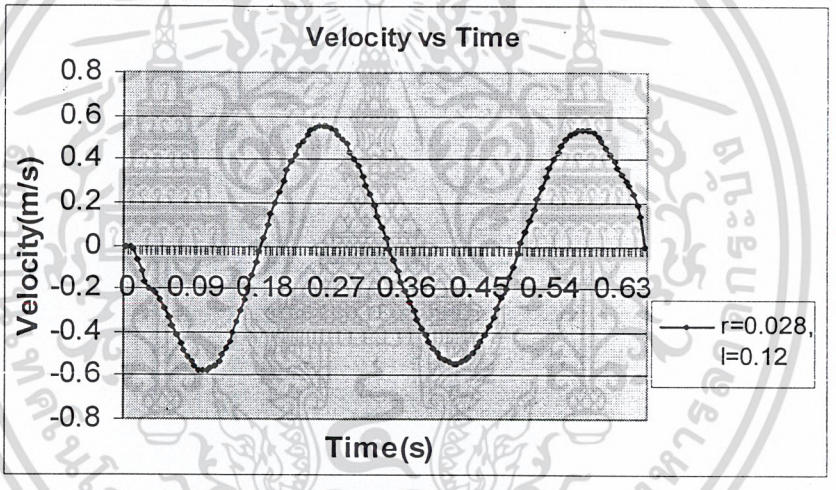


กราฟ ข-15 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m, l=0.11 m

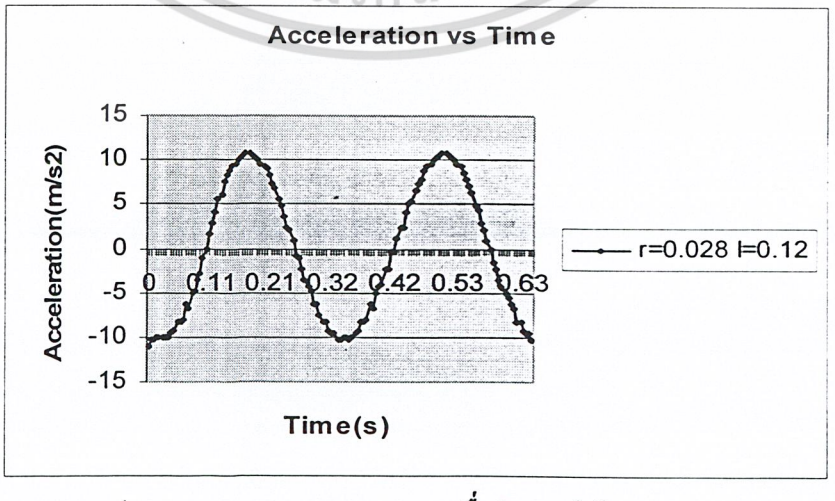
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-16 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m , l=0.12 m

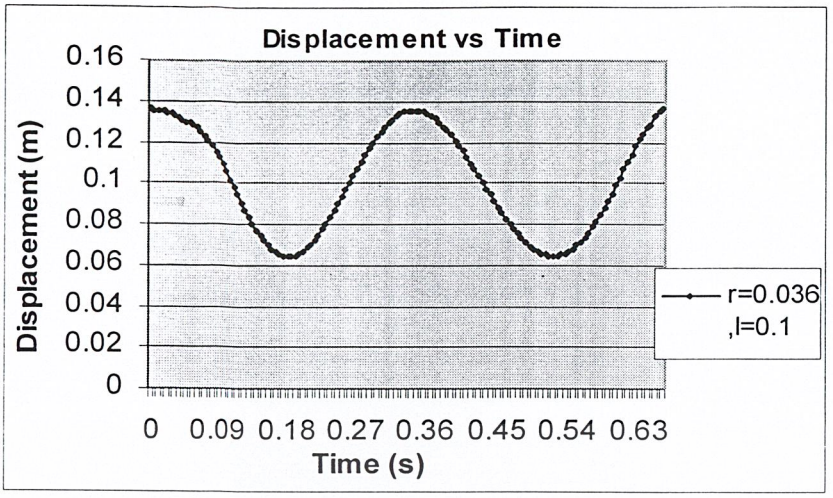


กราฟ ข-17 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m , l=0.12 m

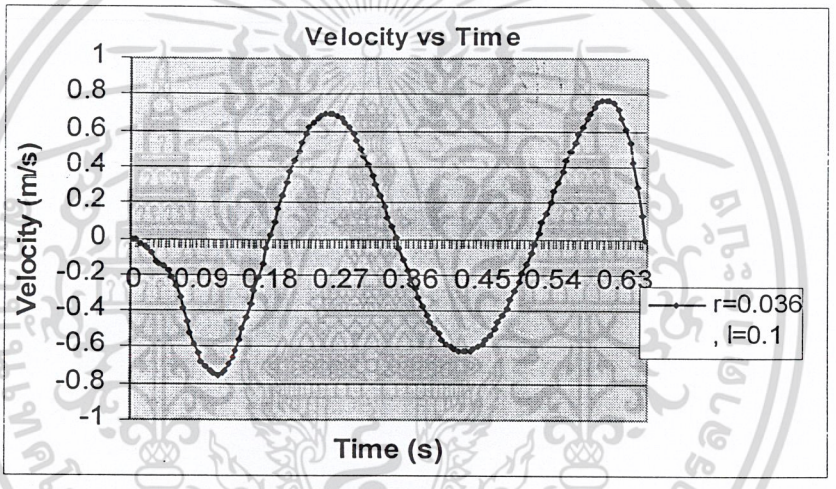


กราฟ ข-18 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 m, l=0.12 m

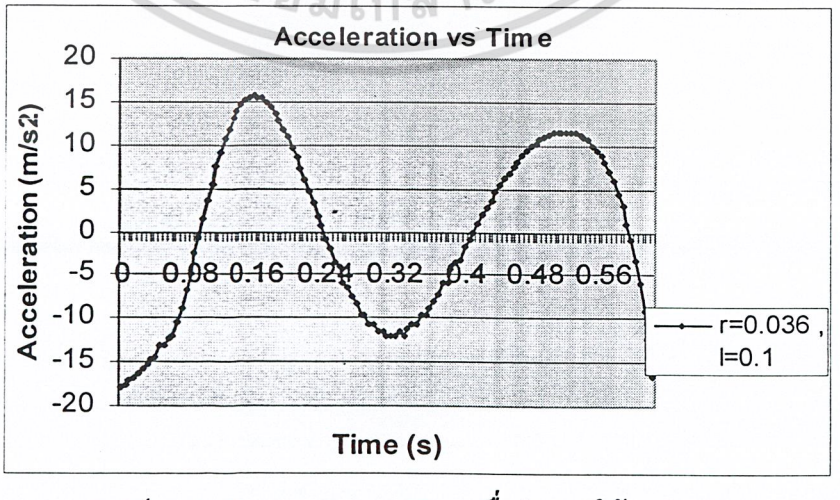
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-19 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m , l=0.1 m

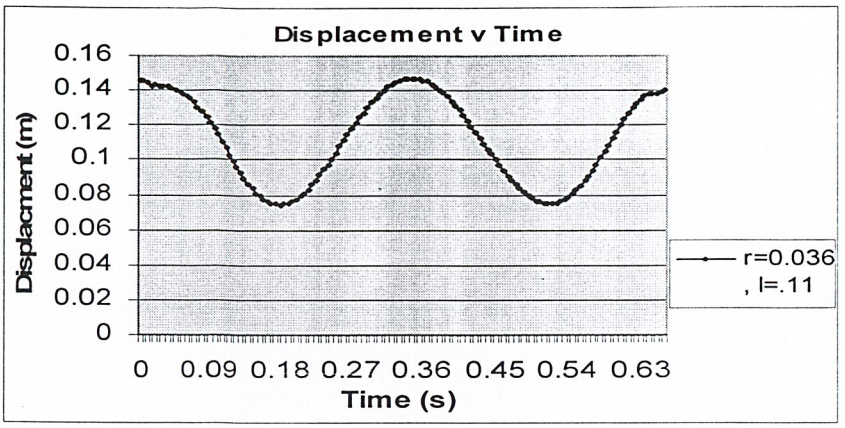


กราฟ ข-20 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m , l=0.1 m

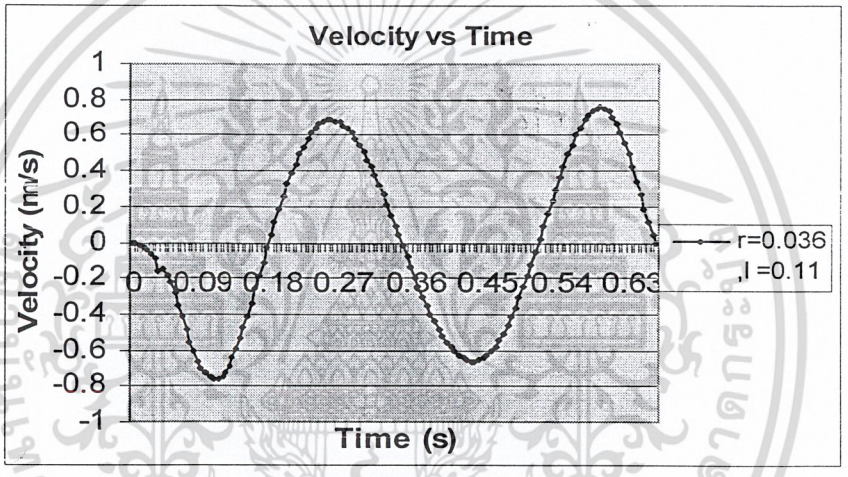


กราฟ ข-21 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m, l=0.1 m

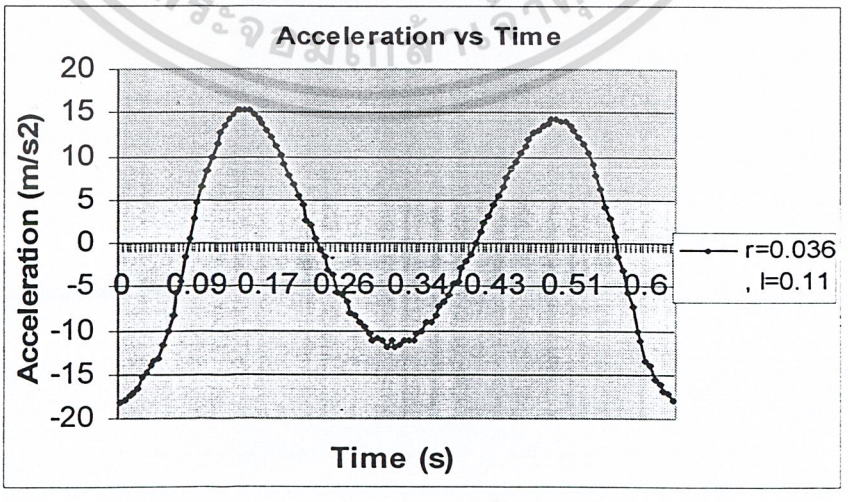
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-22 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m , l=0.11 m

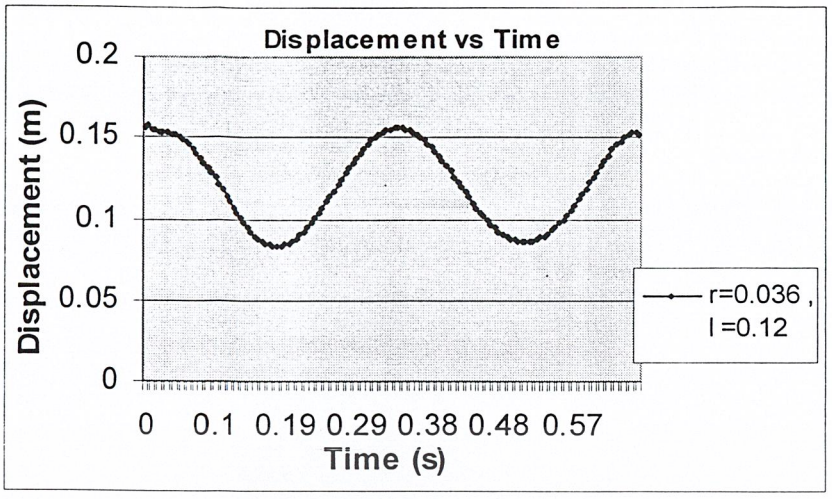


กราฟ ข-23 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m , l=0.11 m

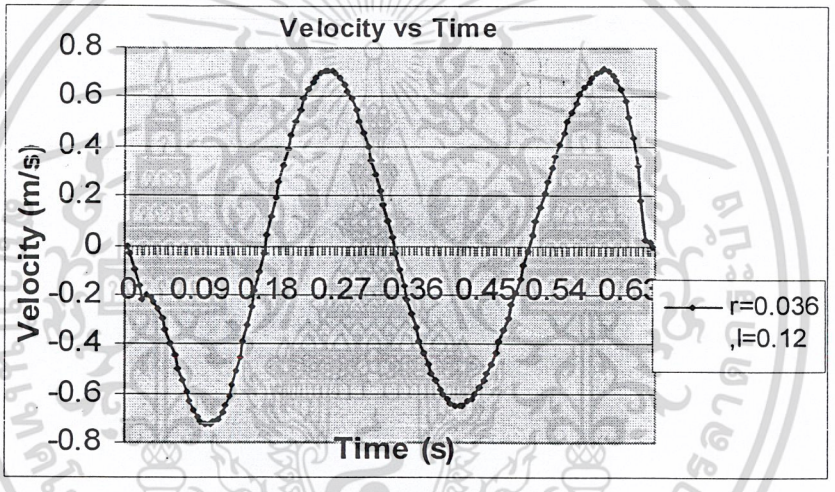


กราฟ ข-24 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m, l=0.11 m

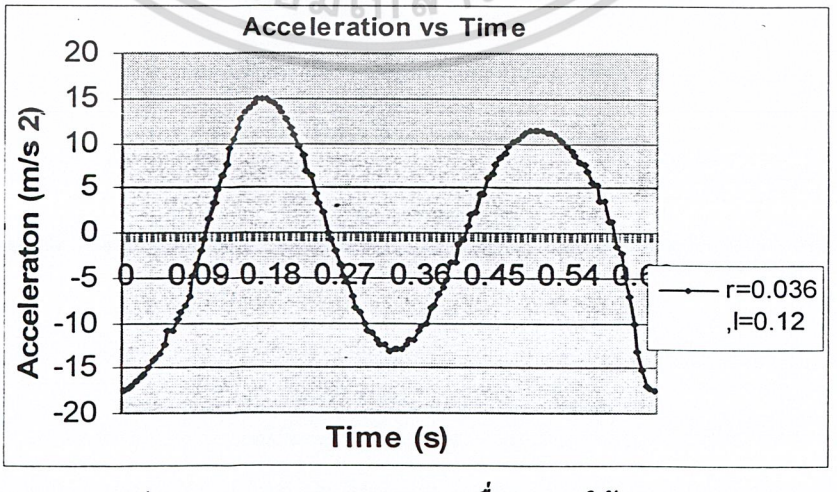
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-25 Displacment vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m , l=0.12 m

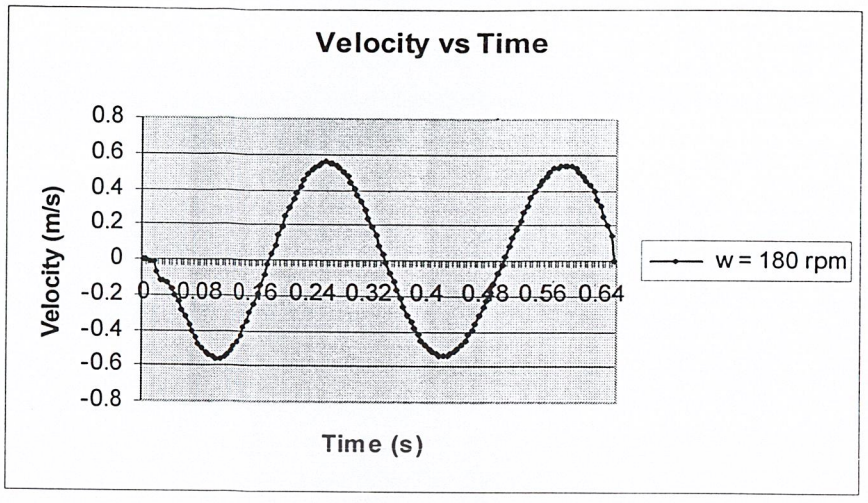


กราฟ ข-26 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m , l=0.12 m

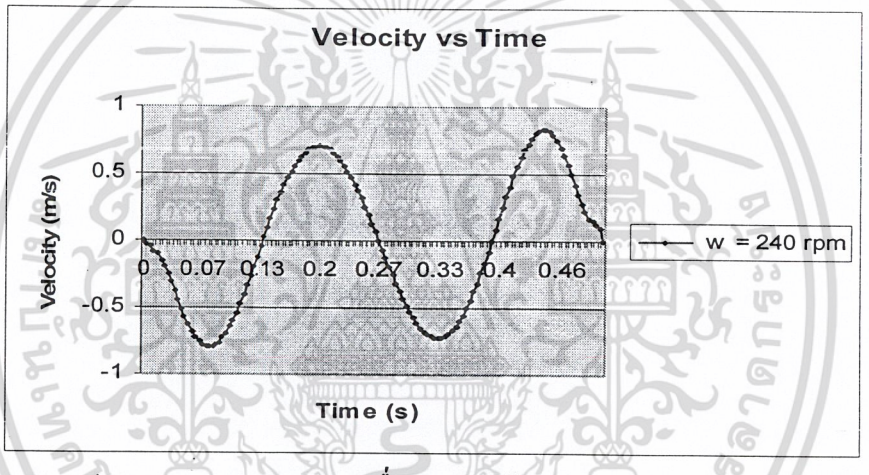


กราฟ ข-27 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.036 m, l=0.12 m

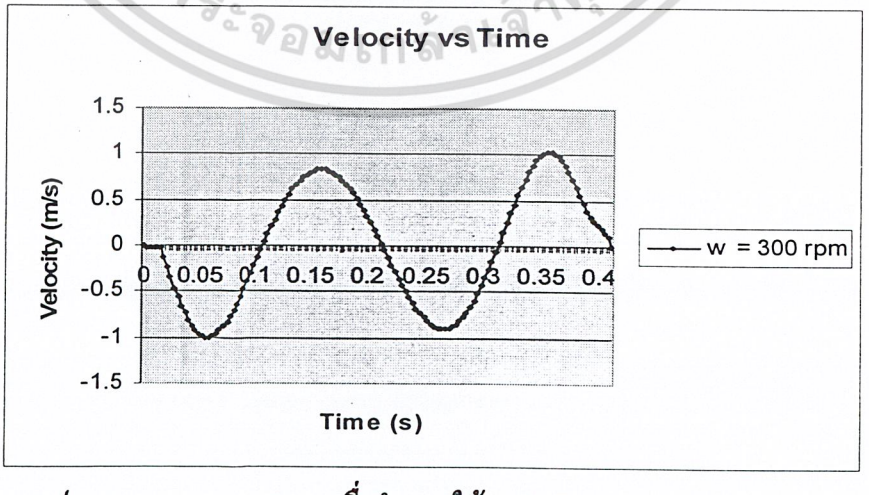
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-28 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 , l=0.11และw=180rpm

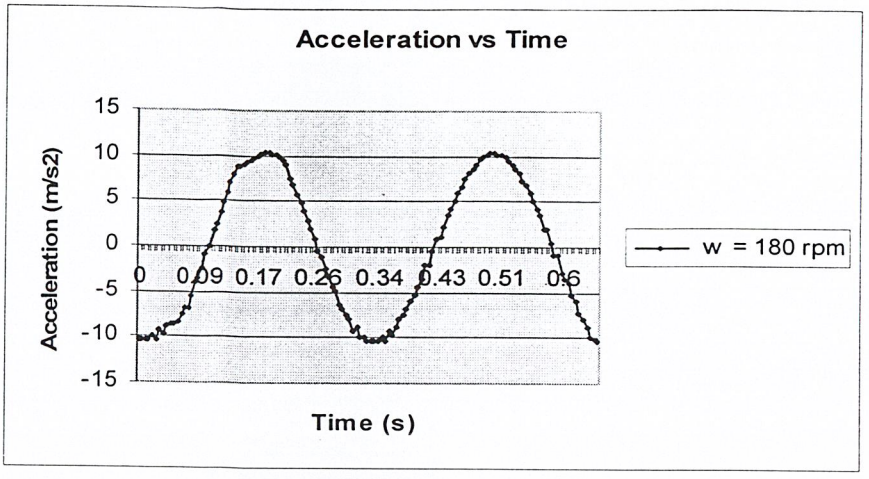


กราฟ ข-29 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 , l=0.11และw=240 rpm

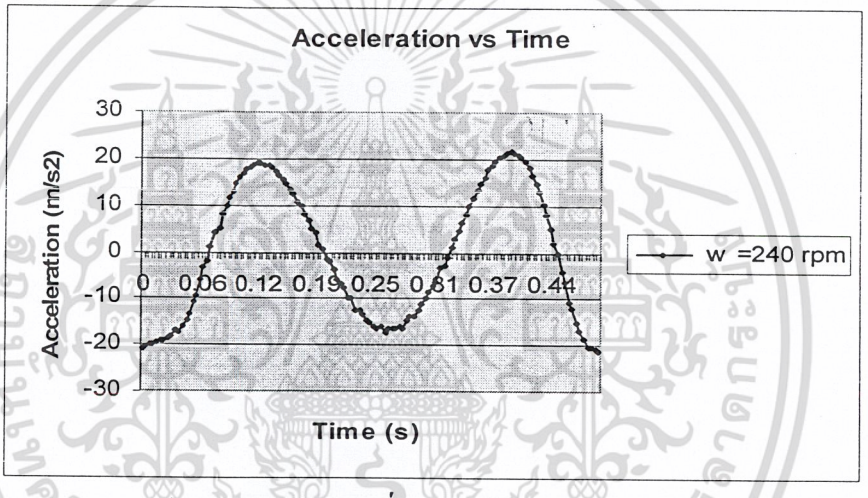


กราฟ ข-30 Velocity vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 , l=0.11และw=300 rpm

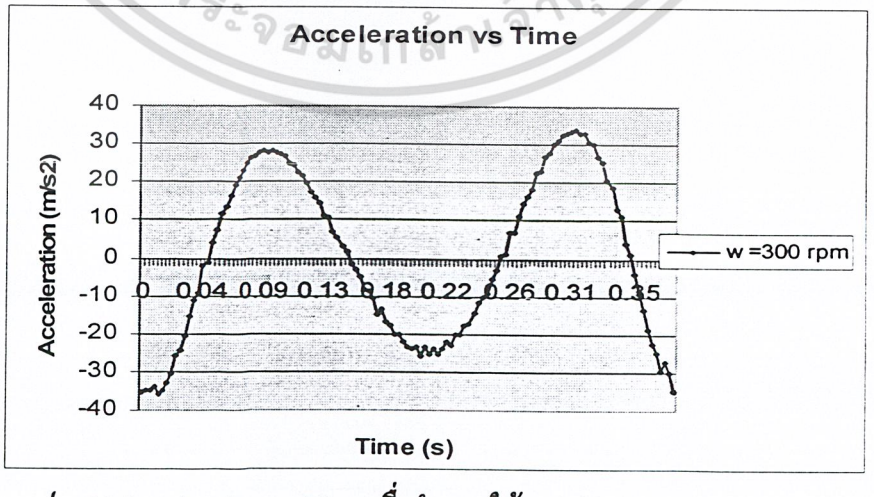
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ข-31 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 , l=0.11และw=180 rpm



กราฟ ข-32 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 , l=0.11และw=240 rpm



กราฟ ข-33 Acceleration vs Time เมื่อกำหนดให้ r=0.028 , l=0.11และw=300 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เวลา	การกระจัดเทียบกับเวลา ที่ได้จากการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา (m)								
	r = 0.02			r = 0.028			r=0.036		
	I =0.1	I =0.11	I =0.12	I =0.1	I =0.11	I =0.12	I =0.1	I =0.11	I =0.12
0	0.12	0.13	0.14	0.1278	0.13629	0.1464	0.136	0.146	0.156
0.005	0.12	0.12985	0.1395	0.12775	0.13614	0.14646	0.1356	0.1458	0.158
0.01	0.11995	0.12978	0.139	0.12746	0.13606	0.14627	0.1351	0.145	0.155
0.015	0.1199	0.1295	0.1385	0.12692	0.13576	0.14611	0.13495	0.142	0.1542
0.02	0.119	0.1293	0.138	0.12614	0.13532	0.14608	0.1345	0.1433	0.1538
0.025	0.11857	0.1288	0.1375	0.12513	0.13489	0.146	0.13425	0.1428	0.153
0.03	0.11746	0.12836	0.1373	0.12552	0.13443	0.14593	0.13277	0.1422	0.1526
0.035	0.11661	0.12762	0.1372	0.12452	0.13388	0.14496	0.13172	0.14198	0.1522
0.04	0.1159	0.12688	0.1368	0.12357	0.1332	0.14394	0.13089	0.14116	0.1519
0.045	0.11523	0.12611	0.1364	0.12256	0.13236	0.14282	0.1301	0.14038	0.15061
0.05	0.11452	0.12525	0.13545	0.12143	0.13134	0.14155	0.12923	0.13947	0.14912
0.055	0.11372	0.12429	0.13438	0.12011	0.13012	0.1401	0.12816	0.13834	0.14739
0.06	0.1128	0.12321	0.13317	0.11859	0.12869	0.13845	0.12683	0.13693	0.14541
0.065	0.11173	0.12199	0.13183	0.11683	0.12706	0.1366	0.1252	0.13519	0.14317
0.07	0.1105	0.12063	0.13035	0.11485	0.12522	0.13455	0.12324	0.1331	0.14066
0.075	0.10911	0.11913	0.12874	0.11264	0.12319	0.1323	0.12095	0.13067	0.13791
0.08	0.10757	0.11751	0.12702	0.11023	0.12099	0.12988	0.11835	0.12791	0.13494
0.085	0.10588	0.11577	0.12519	0.10763	0.11862	0.1273	0.11545	0.12486	0.13177
0.09	0.10407	0.11392	0.12327	0.10489	0.11611	0.1246	0.11229	0.12156	0.12842
0.095	0.10216	0.112	0.12129	0.10203	0.1135	0.12181	0.10891	0.11805	0.12495
0.1	0.10018	0.11002	0.11926	0.09909	0.1108	0.11895	0.10536	0.1144	0.12139
0.105	0.09816	0.108	0.1172	0.09611	0.10804	0.11606	0.10169	0.11064	0.11778
0.11	0.09611	0.10596	0.11514	0.09314	0.10526	0.11317	0.09796	0.10684	0.11415
0.115	0.09407	0.10394	0.11311	0.0902	0.10248	0.11032	0.09421	0.10305	0.11056
0.12	0.09207	0.10196	0.11112	0.08733	0.099743	0.10754	0.09049	0.099334	0.10705
0.125	0.09013	0.10003	0.1092	0.08458	0.097068	0.10486	0.08687	0.095734	0.10366
0.13	0.08828	0.09819	0.10736	0.08198	0.094488	0.10232	0.08339	0.092299	0.10043
0.135	0.08654	0.09645	0.10564	0.07955	0.092031	0.09993	0.08009	0.089075	0.09739
0.14	0.08493	0.09484	0.10404	0.07732	0.089725	0.09774	0.07702	0.086101	0.09458
0.145	0.08348	0.09338	0.10259	0.07533	0.087593	0.09575	0.07422	0.08341	0.09203
0.15	0.08219	0.09208	0.1013	0.07358	0.08566	0.09399	0.07171	0.081034	0.08978
0.155	0.08108	0.09095	0.10019	0.07211	0.083945	0.09248	0.06953	0.078997	0.08783
0.16	0.08016	0.09001	0.099272	0.07091	0.082466	0.09124	0.0677	0.077317	0.08622
0.165	0.07945	0.08928	0.098548	0.07001	0.081238	0.09027	0.06623	0.076009	0.08497
0.17	0.07893	0.08875	0.098029	0.06941	0.080273	0.08959	0.06515	0.075083	0.08407
0.175	0.07863	0.08843	0.09772	0.06911	0.079582	0.08919	0.06445	0.074542	0.08355
0.18	0.07854	0.08833	0.097624	0.06911	0.079169	0.08908	0.06415	0.074387	0.0834
0.185	0.07866	0.08845	0.097741	0.06941	0.079038	0.08926	0.06424	0.074613	0.08362
0.19	0.07899	0.08878	0.098068	0.07	0.079191	0.08973	0.06471	0.075211	0.08421
0.195	0.07951	0.08932	0.098603	0.07088	0.079624	0.09048	0.06555	0.076169	0.08517
0.2	0.08023	0.09007	0.099338	0.07202	0.080331	0.0915	0.06676	0.077472	0.08647
0.205	0.08113	0.09101	0.10027	0.07342	0.081306	0.09277	0.06831	0.0791	0.08811
0.21	0.0822	0.09213	0.10137	0.07506	0.082537	0.09428	0.07018	0.081032	0.09006
0.215	0.08343	0.09343	0.10265	0.07693	0.084011	0.09602	0.07235	0.083244	0.0923
0.22	0.0848	0.09489	0.10409	0.07899	0.085713	0.09797	0.07479	0.08571	0.09482
0.225	0.0863	0.09649	0.10566	0.08123	0.087625	0.1001	0.07747	0.088403	0.09757
0.23	0.08792	0.09821	0.10736	0.08362	0.089727	0.1024	0.08037	0.091293	0.10054
0.235	0.08964	0.10005	0.10917	0.08615	0.091999	0.10484	0.08345	0.094351	0.10368
0.24	0.09143	0.10197	0.11107	0.08878	0.094417	0.1074	0.08667	0.097546	0.10698
0.245	0.09329	0.10396	0.11303	0.0915	0.096959	0.11005	0.09001	0.10085	0.11039
0.25	0.09519	0.106	0.11505	0.09426	0.099598	0.11276	0.09343	0.10422	0.11388

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.255	0.09711	0.10807	0.11709	0.09706	0.10231	0.11552	0.0969	0.10764	0.11743
0.26	0.09905	0.11015	0.11914	0.09986	0.10507	0.1183	0.10038	0.11107	0.12098
0.265	0.10097	0.11222	0.12118	0.10264	0.10785	0.12106	0.10384	0.11448	0.12451
0.27	0.10287	0.11425	0.12319	0.10537	0.11062	0.12379	0.10725	0.11785	0.12799
0.275	0.10473	0.11623	0.12515	0.10803	0.11336	0.12646	0.11057	0.12114	0.13138
0.28	0.10652	0.11814	0.12704	0.1106	0.11604	0.12904	0.11379	0.12434	0.13465
0.285	0.10824	0.11996	0.12885	0.11306	0.11864	0.13151	0.11686	0.1274	0.13778
0.29	0.10986	0.12168	0.13055	0.11538	0.12113	0.13386	0.11977	0.13031	0.14073
0.295	0.11138	0.12327	0.13213	0.11755	0.1235	0.13605	0.12249	0.13305	0.14347
0.3	0.11278	0.12472	0.13357	0.11954	0.12571	0.13808	0.125	0.13559	0.14599
0.305	0.11406	0.12602	0.13487	0.12135	0.12775	0.13992	0.12727	0.13792	0.14826
0.31	0.11519	0.12716	0.136	0.12296	0.1296	0.14155	0.1293	0.14002	0.15026
0.315	0.11617	0.12813	0.13697	0.12435	0.13125	0.14297	0.13106	0.14188	0.15198
0.32	0.117	0.12891	0.13775	0.12552	0.13267	0.14416	0.13255	0.14348	0.1534
0.325	0.11765	0.1295	0.13835	0.12645	0.13387	0.14511	0.13375	0.1448	0.15451
0.33	0.11814	0.1299	0.13876	0.12715	0.13482	0.14582	0.13466	0.14585	0.15531
0.335	0.11846	0.1301	0.13897	0.1276	0.13552	0.14627	0.13527	0.14662	0.15578
0.34	0.11859	0.13009	0.13899	0.1278	0.13596	0.14646	0.13558	0.14709	0.15593
0.345	0.11855	0.12989	0.13881	0.12775	0.13614	0.1464	0.13559	0.14728	0.15576
0.35	0.11834	0.1295	0.13843	0.12746	0.13606	0.14609	0.13531	0.14717	0.15527
0.355	0.11794	0.12891	0.13787	0.12692	0.13572	0.14552	0.13473	0.14677	0.15447
0.36	0.11738	0.12814	0.13712	0.12614	0.13513	0.1447	0.13387	0.14609	0.15337
0.365	0.11665	0.12718	0.13619	0.12513	0.13428	0.14364	0.13274	0.14513	0.15197
0.37	0.11576	0.12606	0.1351	0.12389	0.1332	0.14235	0.13134	0.14389	0.1503
0.375	0.11471	0.12478	0.13385	0.12245	0.13188	0.14085	0.1297	0.14239	0.14837
0.38	0.11352	0.12336	0.13245	0.1208	0.13034	0.13914	0.12782	0.14064	0.14619
0.385	0.1122	0.1218	0.13092	0.11897	0.1286	0.13723	0.12572	0.13866	0.1438
0.39	0.11076	0.12013	0.12928	0.11696	0.12667	0.13516	0.12342	0.13645	0.14121
0.395	0.1092	0.11835	0.12753	0.1148	0.12457	0.13292	0.12094	0.13403	0.13845
0.4	0.10755	0.1165	0.12569	0.1125	0.12232	0.13055	0.11831	0.13143	0.13554
0.405	0.10582	0.11458	0.12379	0.11009	0.11994	0.12807	0.11553	0.12866	0.1325
0.41	0.10403	0.11262	0.12184	0.10757	0.11745	0.12549	0.11264	0.12574	0.12938
0.415	0.10219	0.11063	0.11985	0.10498	0.11487	0.12285	0.10966	0.1227	0.12618
0.42	0.10031	0.10863	0.11786	0.10234	0.11224	0.12015	0.1066	0.11955	0.12295
0.425	0.09842	0.10665	0.11587	0.09966	0.10956	0.11744	0.1035	0.11633	0.1197
0.43	0.09654	0.10469	0.1139	0.09697	0.10687	0.11472	0.10038	0.11306	0.11647
0.435	0.09468	0.10279	0.11197	0.0943	0.1042	0.11203	0.09726	0.10976	0.11329
0.44	0.09286	0.10096	0.11011	0.09166	0.10156	0.1094	0.09416	0.10646	0.11017
0.445	0.09111	0.09922	0.10833	0.08907	0.098973	0.10683	0.09111	0.10319	0.10716
0.45	0.08943	0.09759	0.10664	0.08657	0.096475	0.10436	0.08814	0.099978	0.10426
0.455	0.08784	0.09608	0.10506	0.08417	0.094083	0.10202	0.08525	0.096845	0.10151
0.46	0.08637	0.09471	0.10361	0.0819	0.091818	0.09981	0.08247	0.093822	0.09893
0.465	0.08503	0.09348	0.10229	0.07977	0.089703	0.09777	0.07983	0.090936	0.09653
0.47	0.08384	0.09243	0.10113	0.0778	0.087756	0.09591	0.07735	0.088212	0.09434
0.475	0.08281	0.09154	0.10014	0.07602	0.085994	0.09425	0.07503	0.085676	0.09238
0.48	0.08195	0.09084	0.099312	0.07443	0.084435	0.0928	0.07291	0.083354	0.09065
0.485	0.08128	0.09033	0.098668	0.07306	0.083092	0.09159	0.07099	0.081268	0.08918
0.49	0.0808	0.09002	0.09821	0.07192	0.081977	0.09061	0.06928	0.079441	0.08797
0.495	0.08053	0.08991	0.097943	0.07103	0.081102	0.08989	0.06782	0.077893	0.08703
0.5	0.08046	0.08999	0.097868	0.07038	0.080474	0.08943	0.0666	0.076643	0.08637
0.505	0.08061	0.09027	0.097987	0.06999	0.080098	0.08923	0.06563	0.075708	0.08599
0.51	0.08098	0.09075	0.098299	0.06986	0.079979	0.0893	0.06493	0.0751	0.08589
0.515	0.08156	0.09142	0.0988	0.07001	0.080118	0.08964	0.06451	0.074832	0.08608
0.52	0.08236	0.09226	0.099485	0.07041	0.080513	0.09025	0.06437	0.074911	0.08656
0.525	0.08336	0.09328	0.10035	0.07109	0.08116	0.09111	0.06451	0.075344	0.08732
0.53	0.08456	0.09446	0.10138	0.07202	0.082055	0.09223	0.06495	0.076133	0.08835
0.535	0.08594	0.09578	0.10257	0.07321	0.083188	0.09359	0.06567	0.077274	0.08965
0.54	0.08749	0.09723	0.10391	0.07464	0.084549	0.09517	0.06669	0.078764	0.09122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.135	-0.3216	-0.322	-0.32	-0.4448	-0.4612	-0.4396	-0.6142	-0.5948	-0.5618
0.14	-0.2914	-0.293	-0.29	-0.399	-0.4264	-0.3976	-0.561	-0.5382	-0.5094
0.145	-0.2578	-0.2606	-0.258	-0.349	-0.3866	-0.3512	-0.5016	-0.4752	-0.4516
0.15	-0.2218	-0.2252	-0.222	-0.2954	-0.343	-0.3016	-0.4364	-0.4074	-0.3886
0.155	-0.1836	-0.1872	-0.1836	-0.2388	-0.2958	-0.2488	-0.3664	-0.336	-0.3218
0.16	-0.1432	-0.1474	-0.1448	-0.1804	-0.2456	-0.1938	-0.293	-0.2616	-0.2516
0.165	-0.1022	-0.1056	-0.1038	-0.1208	-0.193	-0.137	-0.2168	-0.1852	-0.1792
0.17	-0.06	-0.0632	-0.0618	-0.06	-0.1382	-0.0794	-0.139	-0.1082	-0.1048
0.175	-0.018	-0.02	-0.0192	0.0002	-0.0826	-0.0214	-0.0606	-0.031	-0.03
0.18	0.0238	0.0234	0.0234	0.06	-0.0262	0.0366	0.0174	0.0452	0.0448
0.185	0.0648	0.0662	0.0654	0.1184	0.0306	0.0938	0.0944	0.1196	0.1188
0.19	0.105	0.1082	0.107	0.175	0.0866	0.1492	0.1692	0.1916	0.1908
0.195	0.1432	0.1492	0.147	0.2292	0.1414	0.2032	0.2414	0.2606	0.2608
0.2	0.1798	0.188	0.1864	0.2804	0.195	0.2544	0.3098	0.3256	0.3274
0.205	0.214	0.2252	0.22	0.3282	0.2462	0.3028	0.3744	0.3864	0.3904
0.21	0.2458	0.2596	0.256	0.3724	0.2948	0.348	0.4336	0.4424	0.4488
0.215	0.2748	0.2912	0.288	0.4124	0.3404	0.3894	0.4882	0.4932	0.5026
0.22	0.3008	0.3198	0.314	0.448	0.3824	0.4264	0.5366	0.5386	0.5508
0.225	0.3234	0.345	0.34	0.4792	0.4204	0.46	0.5792	0.578	0.5938
0.23	0.343	0.3676	0.362	0.5052	0.4544	0.488	0.6154	0.6116	0.628
0.235	0.3588	0.384	0.38	0.5264	0.4836	0.512	0.645	0.639	0.66
0.24	0.3714	0.398	0.392	0.5426	0.5084	0.53	0.6678	0.6608	0.682
0.245	0.38	0.408	0.404	0.5534	0.5278	0.542	0.6842	0.674	0.698
0.25	0.3854	0.414	0.408	0.5594	0.5424	0.552	0.6934	0.684	0.71
0.255	0.387	0.416	0.41	0.56	0.552	0.556	0.6964	0.686	0.71
0.26	0.3842	0.414	0.408	0.5562	0.556	0.552	0.692	0.682	0.706
0.265	0.38	0.406	0.402	0.546	0.554	0.546	0.682	0.674	0.696
0.27	0.372	0.396	0.392	0.532	0.548	0.534	0.664	0.658	0.678
0.275	0.358	0.382	0.378	0.514	0.536	0.516	0.644	0.64	0.654
0.28	0.344	0.364	0.362	0.492	0.52	0.494	0.614	0.612	0.626
0.285	0.324	0.344	0.34	0.464	0.498	0.47	0.582	0.582	0.59
0.29	0.304	0.318	0.316	0.434	0.474	0.438	0.544	0.548	0.548
0.295	0.28	0.29	0.288	0.398	0.442	0.406	0.502	0.508	0.504
0.3	0.256	0.26	0.26	0.362	0.408	0.368	0.454	0.466	0.454
0.305	0.226	0.228	0.226	0.322	0.37	0.326	0.406	0.42	0.4
0.31	0.196	0.194	0.194	0.278	0.33	0.284	0.352	0.372	0.344
0.315	0.166	0.156	0.156	0.234	0.284	0.238	0.298	0.32	0.284
0.32	0.13	0.118	0.12	0.186	0.24	0.19	0.24	0.264	0.222
0.325	0.098	0.08	0.082	0.14	0.19	0.142	0.182	0.21	0.16
0.33	0.064	0.04	0.042	0.09	0.14	0.09	0.122	0.154	0.094
0.335	0.026	-0.002	0.004	0.04	0.088	0.038	0.062	0.094	0.03
0.34	-0.008	-0.04	-0.036	-0.01	0.036	-0.012	0.002	0.038	-0.034
0.345	-0.042	-0.078	-0.076	-0.058	-0.016	-0.062	-0.056	-0.022	-0.098
0.35	-0.08	-0.118	-0.112	-0.108	-0.068	-0.114	-0.116	-0.08	-0.16
0.355	-0.112	-0.154	-0.15	-0.156	-0.118	-0.164	-0.172	-0.136	-0.22
0.36	-0.146	-0.192	-0.186	-0.202	-0.17	-0.212	-0.226	-0.192	-0.28
0.365	-0.178	-0.224	-0.218	-0.248	-0.216	-0.258	-0.28	-0.248	-0.334
0.37	-0.21	-0.256	-0.25	-0.288	-0.264	-0.3	-0.328	-0.3	-0.386
0.375	-0.238	-0.284	-0.28	-0.33	-0.308	-0.342	-0.376	-0.35	-0.436
0.38	-0.264	-0.312	-0.306	-0.366	-0.348	-0.382	-0.42	-0.396	-0.478
0.385	-0.288	-0.334	-0.328	-0.402	-0.386	-0.414	-0.46	-0.442	-0.518
0.39	-0.312	-0.356	-0.35	-0.432	-0.42	-0.448	-0.496	-0.484	-0.552
0.395	-0.33	-0.37	-0.368	-0.46	-0.45	-0.474	-0.526	-0.52	-0.582
0.4	-0.346	-0.384	-0.38	-0.482	-0.476	-0.496	-0.556	-0.554	-0.608

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.545	0.0892	0.09879	0.10539	0.07629	0.086126	0.09697	0.06799	0.080592	0.09303
0.55	0.09104	0.10045	0.10699	0.07817	0.087906	0.09897	0.06959	0.082746	0.09509
0.555	0.09299	0.10218	0.10869	0.08023	0.08987	0.10114	0.07146	0.085206	0.09737
0.56	0.09502	0.10397	0.11049	0.08247	0.092003	0.10347	0.07361	0.087952	0.09987
0.565	0.09712	0.10578	0.11236	0.08486	0.094283	0.10592	0.07602	0.090957	0.10256
0.57	0.09924	0.10761	0.11429	0.08737	0.096692	0.10848	0.07869	0.09419	0.10544
0.575	0.10137	0.10943	0.11625	0.08999	0.099207	0.11111	0.08159	0.097616	0.10849
0.58	0.10346	0.11123	0.11824	0.09267	0.10181	0.11379	0.08471	0.1012	0.11168
0.585	0.1055	0.11297	0.12023	0.09539	0.10446	0.11649	0.08803	0.10489	0.115
0.59	0.10744	0.11465	0.12221	0.09813	0.10716	0.11919	0.09152	0.10865	0.11841
0.595	0.10926	0.11624	0.12416	0.10084	0.10987	0.12185	0.09516	0.11243	0.12191
0.6	0.11094	0.11774	0.12606	0.1035	0.11256	0.12445	0.09891	0.11617	0.12544
0.605	0.11245	0.11914	0.1279	0.10609	0.11523	0.12696	0.10274	0.11983	0.129
0.61	0.11377	0.12043	0.12965	0.10856	0.11783	0.12936	0.10659	0.12335	0.13252
0.615	0.11489	0.1216	0.13132	0.11091	0.12034	0.13163	0.11042	0.12669	0.13598
0.62	0.11582	0.12267	0.13287	0.11312	0.12275	0.13376	0.11417	0.12978	0.13932
0.625	0.11656	0.12364	0.13431	0.11516	0.12503	0.13573	0.11777	0.13259	0.14248
0.63	0.11712	0.12453	0.13561	0.11703	0.12716	0.13753	0.12114	0.13506	0.14539
0.635	0.11754	0.12536	0.13676	0.11874	0.12911	0.13917	0.1242	0.13718	0.14797
0.64	0.1189	0.12616	0.13776	0.12028	0.13086	0.14065	0.12684	0.1376	0.15013
0.645	0.1199	0.12698	0.13858	0.12169	0.13239	0.14198	0.129	0.1378	0.15174
0.65	0.11995	0.12785	0.13923	0.12301	0.13367	0.1432	0.1325	0.1382	0.15267
0.655	0.12	0.12883	0.13967	0.12427	0.13468	0.14434	0.135	0.1388	0.15277
0.66	0.12	0.13	0.13989	0.12555	0.13538	0.14544	0.136	0.14	0.15184

เวลา	ความเร็วเทียบกับเวลา ที่ได้จากการหาความชันของการกระจัดเทียบกับเวลา (m/s)								
	r = 0.02			r = 0.028			r = 0.036		
	I =0.1	I=0.11	I =0.12	I =0.1	I =0.11	I =0.12	I=0.1	I =0.11	I =0.12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.005	-0.01	0.01	-0.01	-0.02	-0.004	-0.004	-0.01	-0.01	-0.034
0.01	-0.04	-0.015	-0.02	-0.03	-0.008	-0.012	-0.0285	-0.0155	-0.098
0.015	-0.08	-0.02	-0.0225	-0.035	-0.016	-0.062	-0.0382	-0.028	-0.16
0.02	-0.12	-0.0632	-0.0618	-0.042	-0.068	-0.114	-0.05	-0.0448	-0.22
0.025	-0.124	-0.1056	-0.1038	-0.07	-0.118	-0.164	-0.085	-0.064	-0.202
0.03	-0.128	-0.1474	-0.1448	-0.085	-0.125	-0.194	-0.1265	-0.088	-0.206
0.035	-0.131	-0.148	-0.15	-0.108	-0.136	-0.204	-0.1375	-0.16	-0.226
0.04	-0.134	-0.154	-0.166	-0.156	-0.168	-0.224	-0.158	-0.145	-0.258
0.045	-0.142	-0.172	-0.19	-0.202	-0.204	-0.254	-0.174	-0.182	-0.298
0.05	-0.16	-0.192	-0.214	-0.248	-0.244	-0.29	-0.214	-0.226	-0.346
0.055	-0.184	-0.216	-0.242	-0.288	-0.286	-0.33	-0.266	-0.282	-0.396
0.06	-0.214	-0.244	-0.268	-0.33	-0.326	-0.37	-0.326	-0.348	-0.448
0.065	-0.246	-0.272	-0.296	-0.366	-0.368	-0.41	-0.392	-0.418	-0.502
0.07	-0.278	-0.3	-0.322	-0.402	-0.406	-0.45	-0.458	-0.486	-0.55
0.075	-0.308	-0.324	-0.344	-0.432	-0.44	-0.484	-0.52	-0.552	-0.594
0.08	-0.338	-0.348	-0.366	-0.46	-0.474	-0.516	-0.58	-0.61	-0.634
0.085	-0.362	-0.37	-0.384	-0.482	-0.502	-0.54	-0.632	-0.66	-0.67
0.09	-0.382	-0.384	-0.396	-0.504	-0.522	-0.558	-0.676	-0.702	-0.694
0.095	-0.396	-0.396	-0.406	-0.518	-0.54	-0.572	-0.71	-0.73	-0.712
0.1	-0.405	-0.404	-0.412	-0.528	-0.552	-0.578	-0.734	-0.752	-0.722
0.105	-0.4092	-0.408	-0.412	-0.5358	-0.556	-0.578	-0.7466	-0.76	-0.726
0.11	-0.4076	-0.404	-0.406	-0.5378	-0.556	-0.57	-0.7502	-0.758	-0.718
0.115	-0.4002	-0.396	-0.398	-0.5726	-0.5474	-0.556	-0.7424	-0.7432	-0.702
0.12	-0.3876	-0.386	-0.384	-0.5504	-0.535	-0.536	-0.7242	-0.72	-0.678
0.125	-0.3702	-0.368	-0.368	-0.521	-0.516	-0.508	-0.6966	-0.687	-0.646
0.13	-0.3478	-0.3472	-0.344	-0.4858	-0.4914	-0.4774	-0.6594	-0.6448	-0.6082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.405	-0.358	-0.392	-0.39	-0.504	-0.498	-0.516	-0.578	-0.584	-0.624
0.41	-0.368	-0.398	-0.398	-0.518	-0.516	-0.528	-0.596	-0.608	-0.64
0.415	-0.376	-0.4	-0.398	-0.528	-0.526	-0.54	-0.612	-0.63	-0.646
0.42	-0.3772	-0.396	-0.398	-0.5358	-0.536	-0.542	-0.62	-0.644	-0.65
0.425	-0.3766	-0.392	-0.394	-0.5378	-0.538	-0.544	-0.624	-0.654	-0.646
0.43	-0.372	-0.38	-0.386	-0.5352	-0.534	-0.538	-0.624	-0.66	-0.636
0.435	-0.3636	-0.366	-0.372	-0.5282	-0.528	-0.526	-0.6194	-0.66	-0.624
0.44	-0.3516	-0.3472	-0.356	-0.5166	-0.5174	-0.514	-0.6098	-0.654	-0.602
0.445	-0.336	-0.3268	-0.338	-0.5004	-0.4996	-0.494	-0.5958	-0.6424	-0.58
0.45	-0.3166	-0.3022	-0.316	-0.4798	-0.4784	-0.468	-0.5774	-0.6266	-0.55
0.455	-0.294	-0.2748	-0.29	-0.4552	-0.453	-0.4418	-0.5548	-0.6046	-0.5166
0.46	-0.2678	-0.2444	-0.264	-0.426	-0.423	-0.4086	-0.528	-0.5772	-0.479
0.465	-0.2386	-0.2116	-0.232	-0.3932	-0.3894	-0.372	-0.4974	-0.5448	-0.4376
0.47	-0.2066	-0.1766	-0.198	-0.3566	-0.3524	-0.3324	-0.463	-0.5072	-0.3928
0.475	-0.1718	-0.14	-0.1656	-0.3168	-0.3118	-0.289	-0.4252	-0.4644	-0.3452
0.48	-0.1346	-0.1018	-0.1288	-0.2736	-0.2686	-0.243	-0.3842	-0.4172	-0.2948
0.485	-0.0954	-0.0626	-0.0916	-0.228	-0.223	-0.1948	-0.3404	-0.3654	-0.2424
0.49	-0.0546	-0.023	-0.0534	-0.1796	-0.175	-0.1442	-0.2934	-0.3096	-0.188
0.495	-0.0126	0.017	-0.015	-0.1296	-0.1256	-0.0924	-0.2442	-0.25	-0.1324
0.5	0.0302	0.0564	0.0238	-0.0778	-0.0752	-0.0394	-0.193	-0.187	-0.076
0.505	0.0736	0.0956	0.0624	-0.025	-0.0238	0.0142	-0.1396	-0.1216	-0.0188
0.51	0.1166	0.1332	0.1002	0.0284	0.0278	0.0678	-0.0846	-0.0536	0.0382
0.515	0.1588	0.1692	0.137	0.0816	0.079	0.1208	-0.0284	0.0158	0.0952
0.52	0.2002	0.2036	0.173	0.1348	0.1294	0.1728	0.0288	0.0866	0.1514
0.525	0.2394	0.2354	0.206	0.1868	0.179	0.2234	0.0868	0.1578	0.2066
0.53	0.2764	0.2642	0.238	0.2372	0.2266	0.2716	0.145	0.2282	0.2604
0.535	0.3106	0.2902	0.268	0.2858	0.2722	0.3176	0.2032	0.298	0.3128
0.54	0.341	0.3128	0.296	0.3314	0.3154	0.3602	0.2614	0.3656	0.363
0.545	0.368	0.3314	0.32	0.3742	0.356	0.3992	0.3186	0.4308	0.4112
0.55	0.39	0.346	0.34	0.413	0.3928	0.434	0.375	0.492	0.4566
0.555	0.4072	0.358	0.36	0.4478	0.4266	0.466	0.4296	0.5492	0.4996
0.56	0.4188	0.362	0.374	0.478	0.456	0.49	0.4826	0.601	0.5386
0.565	0.425	0.366	0.386	0.503	0.4818	0.512	0.5328	0.6466	0.576
0.57	0.4258	0.364	0.392	0.5228	0.503	0.526	0.5804	0.6852	0.61
0.575	0.418	0.36	0.398	0.5366	0.5206	0.536	0.6242	0.7168	0.638
0.58	0.408	0.348	0.398	0.5446	0.53	0.54	0.664	0.738	0.664
0.585	0.388	0.336	0.396	0.5468	0.54	0.54	0.6988	0.752	0.682
0.59	0.364	0.318	0.39	0.5424	0.542	0.532	0.728	0.756	0.7
0.595	0.336	0.3	0.38	0.532	0.538	0.52	0.7502	0.748	0.706
0.6	0.302	0.28	0.368	0.518	0.534	0.502	0.7652	0.732	0.712
0.605	0.264	0.258	0.35	0.494	0.52	0.48	0.77	0.704	0.704
0.61	0.224	0.234	0.334	0.47	0.502	0.454	0.766	0.668	0.692
0.615	0.186	0.214	0.31	0.442	0.482	0.426	0.75	0.618	0.668
0.62	0.148	0.194	0.288	0.408	0.456	0.394	0.72	0.562	0.632
0.625	0.112	0.178	0.26	0.362	0.426	0.36	0.674	0.494	0.582
0.63	0.084	0.156	0.23	0.322	0.39	0.328	0.612	0.424	0.516
0.635	0.068	0.136	0.2	0.278	0.35	0.296	0.528	0.346	0.432
0.64	0.066	0.116	0.164	0.234	0.306	0.284	0.424	0.266	0.322
0.645	0.03	0.1	0.13	0.186	0.256	0.238	0.29	0.188	0.186
0.65	0.01	0.05	0.088	0.14	0.202	0.19	0.128	0.112	0.02
0.655	0	0	0.044	0.09	0.14	0.142	0	0.046	0.01
0.66	0	0	0.03	0.04	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	ความเร่งเทียบกับเวลา ที่ได้จากการหาความชันของความเร็วเทียบกับเวลา (m /s2)								
	r = 0.02			r = 0.028			r = 0.036		
	I =0.1	I=0.11	I =0.12	I =0.1	I =0.11	I =0.12	I=0.1	I =0.11	I =0.12
0	-7.2	-8.4	-8	-10	-10.4	-11	-17.8	-18.1	-17.5
0.005	-6.8	-8.3	-8	-10	-10.4	-10.4	-17.6	-17.85	-17.23
0.01	-6	-8.2	-7.6	-10	-10.4	-10.4	-17.2	-17.4	-16.885
0.015	-6	-8	-8	-9.6	-10.4	-10	-16.7	-17.1	-16.338
0.02	-4.8	-7.8	-7.6	-10	-10	-10	-16.3	-16.75	-15.98
0.025	-4	-7.7	-7.2	-9.6	-10.4	-10	-15.8	-15.4	-15.73
0.03	-2.8	-7.6	-7.6	-9.2	-9.2	-10	-15.12	-14.9	-14.97
0.035	-1.8	-7.6	-6.4	-9.2	-9.6	-10	-14.6	-14	-14.22
0.04	-0.84	-7.6	-6.8	-8	-8.8	-9.6	-14.4	-13.6	-13.8
0.045	0.32	-6.8	-5.6	-8.4	-8.7	-9.2	-13.2	-13.2	-13.4
0.05	1.48	-6.4	-5.6	-7.2	-8.5	-8.4	-13.2	-11.6	-12.52
0.055	2.52	-6	-5.2	-7.2	-8.4	-8.4	-12.4	-10	-11
0.06	3.48	-5.6	-5.6	-6	-7.6	-8	-12	-8.4	-10.8
0.065	4.48	-5.6	-5.2	-5.7	-6.8	-6.4	-10.4	-5.6	-9.6
0.07	5.24	-4.8	-4.4	-5.5	-6.8	-6.8	-8.8	-4.4	-8.8
0.075	6.04	-4.8	-4.4	-5.3	-5.6	-5.2	-6.8	-1.6	-8
0.08	6.72	-4.4	-3.6	-4.8	-4	-4.8	-4.8	0.4	-7.2
0.085	7.2	-2.8	-2.4	-3.16	-3.6	-3.6	-2.52	2.96	-4.8
0.09	7.64	-2.4	-2	-1.56	-2.4	-2.8	-0.72	4.64	-3.6
0.095	8.08	-1.6	-1.2	0.04	-0.8	-1.2	1.56	6.6	-2
0.1	8.2	-0.8	0	1.52	0	0	3.64	8.44	-0.8
0.105	8.44	0.8	1.2	3.04	1.72	1.6	5.52	10	1.6
0.11	8.4	1.6	1.6	4.44	2.48	2.8	7.44	11.32	3.2
0.115	8.36	2	2.8	5.88	3.8	4	9.04	12.6	4.8
0.12	8.2	3.6	3.2	7.04	4.92	5.6	10.64	13.56	6.4
0.125	8.04	4.16	4.8	8.2	6.04	6.12	11.88	14.28	7.56
0.13	7.64	5.04	4.8	9.16	6.96	7.56	13.04	14.88	9.28
0.135	7.32	5.8	6	9.3	7.96	8.4	14	15.28	10.48
0.14	6.84	6.48	6.4	9.5	8.72	8.68	14.68	15.4	11.56
0.145	6.36	7.08	7.2	9.68	8.8	9.2	15.24	15.44	12.6
0.15	5.8	7.6	6.48	10	9	9.64	15.56	15.24	13.36
0.155	5.2	7.96	7.36	10.36	9.2	10.12	15.68	14.88	14.04
0.16	4.52	8.36	7.44	10.56	9.4	10.36	15.6	14.4	14.48
0.165	3.92	8.48	7.64	10.68	9.6	10.6	15.4	13.8	14.88
0.17	3.16	8.64	7.68	10.64	9.88	10.72	14.96	13	14.96
0.175	2.52	8.68	7.76	10.64	10.08	10.72	14.44	12.16	14.96
0.18	1.72	8.56	7.72	10.4	10.28	10.6	13.68	11.2	14.8
0.185	1.08	8.4	7.56	10.08	10.32	10.4	12.92	10.16	14.4
0.19	0.32	8.2	7.36	9.72	10.24	10.12	11.84	9.08	14
0.195	-0.56	7.76	7.2	9.12	10.08	9.64	10.92	7.88	13.32
0.2	-0.84	7.44	6.72	8.56	9.92	9.2	9.68	6.72	12.6
0.205	-1.6	6.88	7.2	7.76	9.52	9.04	8.52	5.48	11.68
0.21	-2.8	6.32	6.4	6.96	9.12	8.28	7.24	4.36	10.76
0.215	-2.8	5.72	5.2	6.04	7.6	7.4	5.92	2.64	9.64
0.22	-4	5.04	5.2	5.2	6.8	6.72	4.56	2	8.6
0.225	-4	4.52	4.4	4.24	5.84	5.6	3.28	0.4	6.84
0.23	-4.8	3.28	3.6	3.24	4.96	4.8	1.84	-0.8	6.4
0.235	-4.8	2.8	2.4	2.16	3.88	3.6	0.6	-1.6	4.4
0.24	-6	2	2.4	1.2	2.92	2.4	-0.88	-3.2	3.2
0.245	-6	1.2	0.8	0.12	1.92	2	-2	-3.6	2.4
0.25	-6	0.4	0.4	-0.76	0.8	0.8	-3.6	-5.6	0
0.255	-7.2	-0.4	-0.4	-2.04	-0.4	-0.8	-4	-6	-0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.26	-6.4	-1.6	-1.2	-2.8	-1.2	-1.2	-6	-6.8	-2
0.265	-6.8	-2	-2	-3.6	-2.4	-2.4	-6.4	-8	-3.6
0.27	-7.6	-2.8	-2.8	-4.4	-3.2	-3.6	-7.6	-8.4	-4.8
0.275	-6.8	-3.6	-3.2	-5.6	-4.4	-4.4	-8.4	-9.2	-5.6
0.28	-6.8	-4	-4.4	-6	-4.8	-4.8	-9.6	-9.6	-7.2
0.285	-7.6	-5.2	-4.8	-7.2	-6.4	-6.4	-9.6	-10.4	-8.4
0.29	-6.4	-5.6	-5.6	-7.2	-6.8	-6.4	-10.8	-11.2	-8.8
0.295	-6.8	-6	-5.6	-8	-7.6	-7.6	-10.8	-10.8	-10
0.3	-6.4	-6.4	-6.8	-8.8	-8	-8.4	-11.6	-11.2	-10.8
0.305	-6.4	-6.8	-6.4	-8.8	-9.2	-8.4	-11.6	-12	-11.2
0.31	-5.6	-7.6	-7.6	-9.6	-8.8	-9.2	-12	-11.2	-12
0.315	-5.2	-7.6	-7.2	-9.2	-10	-9.6	-12	-12	-12.4
0.32	-4.8	-7.6	-7.6	-10	-10	-9.6	-12	-11.6	-12.4
0.325	-4.8	-8	-8	-10	-10.4	-10.4	-11.6	-11.2	-13.2
0.33	-3.6	-8.4	-7.6	-10	-10.4	-10.4	-12	-11.2	-12.8
0.335	-3.2	-7.6	-8	-9.6	-10.4	-10	-11.2	-11.2	-12.8
0.34	-2.4	-7.6	-8	-10	-10.4	-10	-10.8	-10.4	-12.8
0.345	-2	-8	-7.2	-9.6	-10	-10.4	-10.8	-10	-12.4
0.35	-1.6	-7.2	-7.6	-9.2	-10.4	-10	-9.6	-9.2	-12
0.355	-0.24	-7.6	-7.2	-9.2	-9.2	-9.6	-9.6	-9.2	-12
0.36	0.12	-6.4	-6.4	-8	-9.6	-9.2	-8.8	-8.4	-10.8
0.365	0.92	-6.4	-6.4	-8.4	-8.8	-8.4	-8	-7.2	-10.4
0.37	1.68	-5.6	-6	-7.2	-8	-8.4	-7.2	-6.8	-10
0.375	2.4	-5.6	-5.2	-7.2	-7.6	-8	-6	-6	-8.4
0.38	3.12	-4.4	-4.4	-6	-6.8	-6.4	-6	-4.8	-8
0.385	3.88	-4.4	-4.4	-5.6	-6	-6.8	-4.4	-4.4	-6.8
0.39	4.52	-2.8	-3.6	-4.4	-5.2	-5.2	-3.6	-2.8	-6
0.395	5.24	-2.8	-2.4	-4.4	-4.4	-4.4	-3.2	-2	-5.2
0.4	5.84	-1.6	-2	-2.8	-3.6	-4	-1.6	-1.2	-3.2
0.405	6.4	-1.2	-1.6	-2	-2	-2.4	-0.8	0	-3.2
0.41	6.96	-0.4	0	-1.56	-2	-2.4	0	1.2	-1.2
0.415	7.44	0.8	0	-0.4	-0.4	-0.4	0.92	2.32	-0.8
0.42	7.84	0.8	0.8	0.52	0.8	-0.4	1.92	3.16	0.8
0.425	8.16	2.4	1.6	1.4	1.2	1.2	2.8	4.4	2
0.43	8.4	2.8	2.8	2.32	2.12	2.4	3.68	5.48	2.4
0.435	8.56	3.76	3.2	3.24	3.56	2.4	4.52	6.48	4.4
0.44	8.68	4.08	3.6	4.12	4.24	4	5.36	7.52	4.4
0.445	8.6	4.92	4.4	4.92	5.08	5.2	6.12	8.56	6
0.45	8.44	5.48	5.2	5.84	6	5.24	6.88	9.44	6.68
0.455	8.28	6.08	5.2	6.56	6.72	6.64	7.56	10.36	7.52
0.46	7.84	6.56	6.4	7.32	7.4	7.32	8.2	11.16	8.28
0.465	7.4	7	6.8	7.96	8.12	7.92	8.76	11.92	8.96
0.47	6.84	7.32	6.48	8.64	8.64	8.68	9.4	12.6	9.52
0.475	6.08	7.64	7.36	9.12	9.12	9.2	9.84	13.08	10.08
0.48	5.4	7.84	7.44	9.68	9.6	9.64	10.24	13.6	10.48
0.485	4.4	7.92	7.64	10	9.88	10.12	10.68	13.88	10.88
0.49	3.44	8	7.68	10.36	10.08	10.36	11	14.16	11.12
0.495	2.32	7.88	7.76	10.56	10.28	10.6	11.24	14.24	11.28
0.5	1.24	7.84	7.72	10.68	10.32	10.72	11.44	14.08	11.44
0.505	0.16	7.52	7.56	10.64	10.24	10.72	11.6	13.96	11.4
0.51	-1.56	7.2	7.36	10.64	10.08	10.6	11.64	13.52	11.4
0.515	-2	6.88	7.2	10.4	9.92	10.4	11.64	13.04	11.24
0.52	-4	6.36	6.6	10.08	9.52	10.12	11.64	12.24	11.04
0.525	-4.8	5.76	6.4	9.72	9.12	9.64	11.44	11.44	10.76
0.53	-5.6	5.2	6	9.12	8.64	9.2	11.28	10.36	10.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.535	-6.8	4.52	5.6	8.56	8.12	8.52	10.92	9.12	10.04
0.54	-7.6	3.72	4.8	7.76	7.36	7.8	10.6	7.72	9.64
0.545	-8	2.92	4	6.96	6.76	6.96	10.04	6.32	9.08
0.55	-7.6	2.4	4	6.04	5.88	6.4	9.52	4.24	8.6
0.555	-6.4	0.8	2.8	5	5.16	4.8	8.76	2.8	7.8
0.56	-6.8	0.8	2.4	3.96	4.24	4.4	7.96	0.8	7.48
0.565	-6.4	-0.4	1.2	2.76	3.52	2.8	6.96	-1.6	6.8
0.57	-6.4	-0.8	1.2	1.6	1.88	2	5.84	-3.2	5.6
0.575	-5.6	-2.4	0	0.44	2	0.8	4.44	-5.6	5.2
0.58	-5.2	-2.4	-0.4	-0.88	0.4	0	3	-7.2	3.6
0.585	-4.8	-3.6	-1.2	-2.08	-0.8	-1.6	0.96	-10	3.6
0.59	-4.8	-3.6	-2	-2.8	-0.8	-2.4	-0.8	-11.2	1.2
0.595	-3.6	-4	-2.4	-4.8	-2.8	-3.6	-3.2	-13.6	1.2
0.6	-3.2	-4.4	-3.6	-4.8	-3.6	-4.4	-6	-14	-1.6
0.605	-2.4	-4.8	-3.2	-5.6	-4	-5.2	-9.2	-15.6	-2.4
0.61	-2	-6.8	-4.8	-6.8	-5.2	-5.6	-12.4	-16	-4.8
0.615	-1.6	-7.6	-4.4	-6.8	-6	-6.4	-16.5	-16.8	-7.2
0.62	-0.24	-7.6	-5.6	-7.2	-7.2	-6.8	-16.8	-17.2	-10
0.625	0.12	-7.6	-6	-8	-8	-8.4	-17.3	-17.5	-13.2
0.63	0.92	-7.7	-6	-8.8	-8.8	-8.4	-17.6	-17.4	-15.23
0.635	1.68	-7.8	-7.2	-8.8	-10	-9.2	-17.4	-17.1	-16.885
0.64	2.4	-8	-6.8	-9.6	-10.2	-9.6	-17.1	-16.75	-17.23
0.645	3.12	-8.2	-8	-9.2	-10.4	-9.6	-16.75	-15.4	-17.5
0.65	3.88	-8.3	-8	-10	-10.6	-10.4	-15.4	-14.9	-17.8

number	ความเร็วเทียบกับเวลา ที่ได้จากการหาความชันของการกระจัดเทียบกับเวลา (m/s)		
	180 rpm	240 rpm	300 rpm
1	0	0	0
2	-0.004	-0.022	-0.012
3	-0.008	-0.04	-0.01462
4	-0.016	-0.08	-0.01885
5	-0.068	-0.1	-0.0221
6	-0.118	-0.1564	-0.0256
7	-0.125	-0.1949	-0.1344
8	-0.136	-0.2487	-0.24
9	-0.168	-0.3077	-0.352
10	-0.204	-0.3744	-0.4608
11	-0.244	-0.441	-0.5632
12	-0.286	-0.5077	-0.6592
13	-0.326	-0.5692	-0.7392
14	-0.368	-0.6256	-0.816
15	-0.406	-0.6769	-0.88
16	-0.44	-0.7179	-0.928
17	-0.474	-0.7538	-0.9632
18	-0.502	-0.7769	-0.992
19	-0.522	-0.7897	-0.9984
20	-0.54	-0.7974	-1.0016
21	-0.552	-0.7923	-0.9888
22	-0.556	-0.7769	-0.9664
23	-0.556	-0.7579	-0.9306
24	-0.5474	-0.7264	-0.8883
25	-0.535	-0.6885	-0.8368
26	-0.516	-0.6433	-0.777

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27	-0.4914	-0.5921	-0.7107
28	-0.4612	-0.5351	-0.6384
29	-0.4264	-0.4736	-0.5613
30	-0.3866	-0.4077	-0.4797
31	-0.343	-0.3392	-0.3958
32	-0.2958	-0.2677	-0.3091
33	-0.2456	-0.1951	-0.2211
34	-0.193	-0.1213	-0.1337
35	-0.1382	-0.0474	-0.0457
36	-0.0826	0.0259	0.041
37	-0.0262	0.0977	0.1252
38	0.0306	0.1679	0.2083
39	0.0866	0.2359	0.2863
40	0.1414	0.3003	0.3628
41	0.195	0.3615	0.4323
42	0.2462	0.4185	0.5003
43	0.2948	0.4713	0.5615
44	0.3404	0.5195	0.615
45	0.3824	0.5621	0.6649
46	0.4204	0.5997	0.7103
47	0.4544	0.6315	0.7454
48	0.4836	0.6579	0.7782
49	0.5084	0.6779	0.8
50	0.5278	0.6933	0.8173
51	0.5424	0.7	0.8275
52	0.552	0.7026	0.8333
53	0.556	0.6974	0.8275
54	0.554	0.6897	0.8173
55	0.548	0.6744	0.8019
56	0.536	0.6513	0.7756
57	0.52	0.6256	0.7476
58	0.498	0.5949	0.7147
59	0.474	0.5564	0.6677
60	0.442	0.5179	0.625
61	0.408	0.4692	0.5719
62	0.37	0.4205	0.516
63	0.33	0.3692	0.4537
64	0.284	0.3128	0.391
65	0.24	0.2538	0.3227
66	0.19	0.1923	0.25
67	0.14	0.1282	0.1757
68	0.088	0.0667	0.1026
69	0.036	0	0.0224
70	-0.016	-0.0641	-0.0513
71	-0.068	-0.1282	-0.131
72	-0.118	-0.1923	-0.2051
73	-0.17	-0.2538	-0.2843
74	-0.216	-0.3179	-0.359
75	-0.264	-0.3744	-0.4281
76	-0.308	-0.4282	-0.5
77	-0.348	-0.4821	-0.5623
78	-0.386	-0.5308	-0.625
79	-0.42	-0.5744	-0.6805
80	-0.45	-0.6128	-0.734

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

81	-0.476	-0.6462	-0.7788
82	-0.498	-0.6744	-0.8147
83	-0.516	-0.7	-0.8466
84	-0.526	-0.7128	-0.875
85	-0.536	-0.7231	-0.8914
86	-0.538	-0.7282	-0.9006
87	-0.534	-0.7231	-0.8978
88	-0.528	-0.7118	-0.8942
89	-0.5174	-0.6944	-0.8735
90	-0.4996	-0.6692	-0.8516
91	-0.4784	-0.6377	-0.8173
92	-0.453	-0.5987	-0.7722
93	-0.423	-0.5536	-0.7211
94	-0.3894	-0.5018	-0.6638
95	-0.3524	-0.4441	-0.5042
96	-0.3118	-0.381	-0.5218
97	-0.2686	-0.3126	-0.4383
98	-0.223	-0.24	-0.3522
99	-0.175	-0.1633	-0.2581
100	-0.1256	-0.0836	-0.1612
101	-0.0752	-0.0018	-0.0597
102	-0.0238	0.0815	0.0439
103	0.0278	0.1654	0.1482
104	0.079	0.2487	0.2542
105	0.1294	0.3305	0.3569
106	0.179	0.4097	0.4593
107	0.2266	0.4851	0.5553
108	0.2722	0.5559	0.6487
109	0.3154	0.6208	0.7316
110	0.356	0.6787	0.8109
111	0.3928	0.7287	0.8751
112	0.4266	0.7692	0.9343
113	0.456	0.8013	0.9751
114	0.4818	0.8205	1.0099
115	0.503	0.8282	1.0224
116	0.5206	0.8282	1.0256
117	0.53	0.8128	1.0128
118	0.54	0.7872	0.984
119	0.542	0.7462	0.9425
120	0.538	0.7	0.8846
121	0.534	0.641	0.8147
122	0.52	0.5744	0.7372
123	0.502	0.5026	0.6454
124	0.482	0.4231	0.5609
125	0.456	0.3513	0.4665
126	0.426	0.2769	0.3878
127	0.39	0.2179	0.3131
128	0.35	0.1692	0.2692
129	0.306	0.1462	0.226
130	0.256	0.12	0.184
131	0.202	0.1	0.148
132	0.14	0	0.1
133	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

number	ความเร่งเทียบกับเวลา ที่ได้จากการหาความชันของความเร็วเทียบกับเวลา (m/s)		
	180 rpm	240 rpm	300 rpm
1	-10.4	-20.89	-35.122
2	-10.4	-20.448	-34.99
3	-10.4	-20.12	-34.816
4	-10.4	-19.884	-33.792
5	-10	-19.652	-35.84
6	-10.4	-19.226	-34.816
7	-9.2	-18.9	-32.768
8	-9.6	-18.552	-30.72
9	-8.8	-18.005	-25.6
10	-8.7	-17.0769	-24.576
11	-8.5	-17.1026	-20.48
12	-8.4	-15.7692	-15.36
13	-7.6	-14.4615	-11.264
14	-6.8	-13.1538	-9.216
15	-6.8	-10.5128	-2.048
16	-5.6	-9.2051	-1.024
17	-4	-5.9231	4.096
18	-3.6	-3.2821	7.168
19	-2.4	-1.9744	11.456
20	-0.8	1.3077	13.536
21	0	3.9487	16.48
22	1.72	4.8718	19.136
23	2.48	8.0769	21.216
24	3.8	9.7179	23.136
25	4.92	11.5897	24.672
26	6.04	13.1282	26.112
27	6.96	14.6154	26.848
28	7.96	15.7692	27.744
29	8.72	16.8974	28.16
30	8.8	17.5641	27.9233
31	9	18.3333	28.2051
32	9.2	18.6154	27.6997
33	9.4	18.9231	26.9872
34	9.6	18.9487	26.5495
35	9.88	18.7949	25
36	10.08	18.4103	24.4409
37	10.28	18	22.2756
38	10.32	17.4359	21.7252
39	10.24	16.5128	19.6154
40	10.08	15.6923	17.1474
41	9.92	14.6154	15.9425
42	9.52	13.5385	14.5048
43	9.12	12.359	11.25
44	7.6	10.9231	10.4792
45	6.8	9.641	6.9872
46	5.84	8.1538	5.5272
47	4.96	6.7692	3.2692
48	3.88	5.1282	1.853
49	2.92	3.9487	-1.859
50	1.92	1.7179	-3.2588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

51	0.8	0.6667	-4.9359
52	-0.4	-1.3333	-8.4026
53	-1.2	-1.9744	-8.9744
54	-2.4	-3.9231	-10.5112
55	-3.2	-5.9231	-15.0641
56	-4.4	-6.5897	-13.6422
57	-4.8	-7.8718	-17.0192
58	-6.4	-9.8718	-17.8594
59	-6.8	-9.8718	-19.9679
60	-7.6	-12.4872	-20.0319
61	-8	-12.4872	-21.891
62	-9.2	-13.1538	-23.2268
63	-8.8	-14.4615	-23.8141
64	-10	-15.1282	-23.3546
65	-10	-15.7692	-25.7051
66	-10.4	-16.4359	-23.5463
67	-10.4	-15.7692	-25.5449
68	-10.4	-17.1026	-23.6741
69	-10.4	-16.4359	-25.3846
70	-10	-16.4359	-23.8658
71	-10.4	-16.4359	-22.1474
72	-9.2	-15.7692	-22.9712
73	-9.6	-16.4359	-19.9679
74	-8.8	-14.4872	-20.0319
75	-8	-13.7949	-17.7885
76	-7.6	-13.8205	-17.0927
77	-6.8	-12.4872	-14.359
78	-6	-11.1795	-11.5064
79	-5.2	-9.8462	-10.1917
80	-4.4	-8.5641	-9.0735
81	-3.6	-7.2308	-5.2564
82	-2	-6.5641	-2.9393
83	-2	-3.2821	0.8974
84	-0.4	-2.641	1.1502
85	0.8	-1.3077	6.6346
86	1.2	1.3077	6.9968
87	2.12	2.8974	10.9936
88	3.56	4.4615	14.4551
89	4.24	6.4615	16.3259
90	5.08	8.0769	18.3067
91	6	10	22.3077
92	6.72	11.5641	23.131
93	7.4	13.2821	26.7628
94	8.12	14.7949	27.508
95	8.64	16.1795	30.1603
96	9.12	17.5385	30.9585
97	9.6	18.6154	32.5321
98	9.88	19.6667	33.099
99	10.08	20.4359	33.4295
100	10.28	20.9744	33.8658
101	10.32	21.359	32.9167
102	10.24	21.5128	32.7157
103	10.08	21.359	30.7692
104	9.92	20.9744	29.8403

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

105	9.52	20.3077	26.5705
106	9.12	19.3333	25.3355
107	8.64	18.1538	20.5769
108	8.12	16.641	18.9137
109	7.36	14.8462	13.0769
110	6.76	12.8205	11.1182
111	5.88	10.3846	4.0064
112	5.16	8.2308	1.0224
113	4.24	4.9231	-4.1026
114	3.52	1.9744	-9.2013
115	1.88	0	-13.3013
116	2	-3.9487	-18.4984
117	0.4	-6.5641	-22.4038
118	-0.8	-10.5128	-24.7604
119	-0.8	-11.8462	-29.4231
120	-2.8	-15.1282	-26.9968
121	-3.6	-17.0769	-30.2564
122	-4	-18.4103	-34.562
123	-5.2	-20.3846	-34.816
124	-6	-20.556	-32.768
125	-7.2	-21.0026	-30.72
126	-8	-21.4462	-25.6
127	-8.8	-20.89	-24.576
128	-10	-20.448	-20.48
129	-10.2	-20.12	-15.36
130	-10.4	-19.884	-11.264
131	-10.6	-19.652	-9.216
132		-19.226	-2.048
133			-1.024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล (Mechine Design) เล่ม 2. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2536.

[2] Kimbrell, jack T. Kinematics Analysis and Synthesis. The United States : McGraw- Hill, Inc., 1991.

[3] J.S. Rao ,RV . Dukkipati .Mechanism and machine theory,Wiley Eastern Limitd,1989.

[4] Shigley, Joseph Edward. Mechanical Engineering Design . The United States: McGraw – Hill, Inc., 1986.

[5] ผศ. วิชิต บัวแก้ว , ธีรภัทร หลิ่มบุญเรือง , พิสมัย พันธุ์อภัย .การใช้โปรแกรม solid Works 2001 ช่วยในการออกแบบ.กรุงเทพฯ:บริษัท วิรัตน์ เอ็ดดูเคชั่น จำกัด,2546.

[6] สมชัย นรเศรษฐโศภณ . กลศาสตร์เครื่องจักรกล . โครงงานตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์.

[7] ธีระยุทธ สุวรรณประทีป .หลักการทำงานและการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[8] พรจิต ประทุมสุวรรณ . เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ . กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์ , 2537.

[9] รศ. ดร . มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล . คู่มือการใช้งาน matlab . กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส , 2543.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้