

การศึกษาและออกแบบเครื่องลำเลียงของเหลวชั้นหนืดโดยใช้หลักการ  
ลำเลียงแบบปริดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

STUDY AND DESIGN OF HIGH VISCOSITY LIQUID BY APPLYING THE  
LINEAR PERISTALTIC MOTION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาและออกแบบเครื่องลำเลียงของเหลวชั้นหนืดโดยใช้หลักการ  
ลำเลียงแบบปริตสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

STUDY AND DESIGN OF HIGH VISCOSITY LIQUID BY APPLYING THE  
LINEAR PERISTALTIC MOTION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY AND DESIGN OF HIGH VISCOSITY LIQUID BY APPLYING THE  
LINEAR PERISTALTIC MOTION SYSTEM



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR FOOD ENGINEERING  
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาและออกแบบเครื่องลำเลียงของเหลวข้นหนืดโดยใช้หลักการ  
ลำเลียงแบบปริตสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

Thesis Tittle STUDY AND DESIGN OF HIGH VISCOSITY LIQUID BY APPLYING  
THE LINEAR PERISTALTIC MOTION SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวฉันทย์ชนก ดันตวิงศ์ไชยชาญ รหัสนักศึกษา 56010603  
นายปฏิภาณ สุขจิต รหัสนักศึกษา 56010708  
นางสาวปริยานุช หัตถาภรณ์สกุล รหัสนักศึกษา 56010731

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร  
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.เอกภพ ไพรัมย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาและออกแบบเครื่องลำเลียงของเหลวชั้นหนืดโดยใช้หลักการ  
ลำเลียงแบบบริดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

นักศึกษา นางสาวธัญชนก ตันติวงศ์ไชยชาญ  
นายปฏิภาณ สุขจิต  
นางสาวปรียานุช หัตถาภรณ์สกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกภพ ไพรรัมย์

ปริญญာ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2559

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบลำเลียงอาหารชั้นหนืด ปัจจุบันเครื่อง  
ลำเลียงอาหารชั้นหนืดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด อาทิ บีมเฟืองนอก และบีมสกรู เป็นต้น  
โครงการนี้ได้นำหลักการลำเลียงแบบบริดสายยางจากการกดเป็นจังหวะมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถ  
ทำความสะอาดเครื่องจักรที่ใช้ในการลำเลียงอาหารชั้นหนืดได้อย่างถูกสุขลักษณะ การออกแบบ  
ระบบลำเลียงอาหารชั้นหนืดใช้หลักการแบบบริดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ เริ่มจากเลือกขนาด  
ฐานลูกเบี้ยว 55 มิลลิเมตร ตำแหน่งลูกเบี้ยวต่างกัน 45 องศา ระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบและระยะ  
ยุบตัวสปริง 33 มิลลิเมตร ขนาดสายยางภายในและภายนอก 25 และ 33 มิลลิเมตร ตามลำดับ และ  
ศึกษาความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวที่ส่งผลต่อการลำเลียงอาหารชั้นหนืด ผู้เขียนทำการทดลองปรับ  
ค่าความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวที่ 25, 30, 35, 40, 45 และ 49 รอบต่อนาที พบว่า ความเร็วรอบ  
เพลาลูกเบี้ยวมีส่งผลต่ออัตราการไหลของอาหารชั้นหนืด ซึ่งความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวมากส่งผลให้  
อัตราการไหลของอาหารชั้นหนืดเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์  
( $p < 0.05$ ) โดยที่ความเร็วรอบ 49 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลเนื้อหมุดและน้ำ เท่ากับ  $0.3901 \pm$   
 $0.0135$  และ  $10.4067 \pm 0.1102$  ลิตรต่อนาที ตามลำดับ เครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืดแบบบริดสาย  
ยางจากการกดเป็นจังหวะ สามารถลดเวลาการทำทำความสะอาด 100 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเทียบกับเครื่อง  
ลำเลียงแบบบีมเฟืองนอก ซึ่งลดค่าใช้จ่ายแรงงานคนเป็นจำนวนเงิน 3,750 บาทต่อปี และมี  
ระยะเวลาคืนทุน 4 เดือน

คำสำคัญ – บีมบริดสายยางเชิงเส้น; อาหารชั้นหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Tittle	Study and Design of High Viscosity Liquid by Applying the Linear Peristaltic Motion System
Students	Ms. Thunchanok Tantiwongchaichan Mr. Patipran Sukjit Ms. Preyanut Hattaphonsakun
Advisor	Dr.Ekapob Pairum
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2016

### Abstract

The aim of this project is to study and design of high viscosity liquid feeder system. There is a number of high viscosity liquid feeder systems such as external gear pump, screw pump used in food industry. However, no linear peristaltic motion has been applied. Therefore, the linear peristaltic motion was studied for enhancing the cleaning ability with feeder hygienic concern. A 55 mm of cam base with 45° different angle of motion, 33 mm of stroke, internal and external tube diameter are 25 and 33 mm., respectively, were determined. Prototype machine was investigated the 25, 30, 35, 40, 45 and 49 rpm of camshaft speed which affects on the feed rate. The results found that camshaft speed affects on an increasing of flow rate of different high viscosity liquid significantly (95% confident intervals). For instance, with 49 rpm of camshaft speed, their flow rate of pork mince and water flow rates were  $0.3901 \pm 0.0135$  and  $10.4067 \pm 0.1102$  liter per minute, respectively. Furthermore, this machine could reduce the cleaning time, compared to the external gear pump of 100 hours a year, approximately. Therefore, labor cost for cleaning could be saved of 3,750 baht per year with 4 months of break-even point.

Keywords – Linear peristaltic pump; High viscosity liquid

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสามารถสำเร็จลงไปด้วยดีโดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ดร.เอกภพ ไพร้มย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการ ช่วยแนะแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการ รวมไปถึงให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานแก่นักศึกษาให้ได้รับจักระบวนการคิด วิเคราะห์ ประมวลผลและประสบการณ์ในการทำงาน โครงการต่างๆอย่างมากมาย

ขอขอบคุณ ดร.เจษฎา ชัยโสม รศ.ดร.นวกัทรာ หนูนาค ดร.เอกพงษ์ ชีวโตโสภณ อ.สมัคร รักแม่ และ ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ท่านผู้ซึ่งเป็นกรรมการการสอบปริญญาโท สำหรับการให้คำแนะนำและแนวคิดต่างๆ เพื่อนำไปแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนเล่มปริญญาโท

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คุตะคุ (พีแมน) คุณบุญนำ ผลโพธิ์ (พีบุญนำ) คุณวรภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ (พีนุ้ย) และคุณสุธัญญา ถาดนาค (พีโอ) เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานของโครงการ อีกทั้งข้อมูลในด้านเอกสารในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆนักศึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษาต่างๆ และคอยให้กำลังใจในการทำงานโครงการนี้

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาโทเล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญรายการสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ลูกชิ้น	3
2.1.1 บทบาทของสารเคมีและเครื่องเทศต่อผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	4
2.1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกชิ้น	6
2.2 การศึกษากลไกการลำเลียง	7
2.2.1 กลไกการลำเลียงแบบป้อนเพื่อขนอก	7
2.2.2 กลไกการลำเลียงแบบกระบอกสูบ	8
2.2.3 กลไกการลำเลียงแบบป้อนสกรู	9
2.2.4 กลไกการลำเลียงแบบกวดรีดสายยาง	10
2.3 องค์ประกอบของการสร้างป้อน	12
2.4 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งานของสายยาง	16
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดสายยาง	17
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	18
3.1 การเลือกแนวคิดในการออกแบบเครื่อง	18
3.1.1 เกณฑ์การให้คะแนน	19
3.2 เพลา	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 สปริง	24
3.4 มอเตอร์	25
3.5 ลูกเบี้ยว	27
3.5.1 ชนิดลูกเบี้ยว	28
3.5.2 การออกแบบลูกเบี้ยว	31
<b>บทที่ 4 การออกแบบและวางแผนการทดลอง</b>	<b>32</b>
4.1 การให้คะแนนเครื่องเพื่อตัดสลิ้งใจเลือกออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	32
4.1.1 ประเภทของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	32
4.2 การออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	33
4.2.1 ส่วนประกอบที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ	33
4.2.2 การคำนวณและการออกแบบ	34
4.2.3 ออกแบบจำลองในโปรแกรม SolidWorks	38
4.3 การวางแผนทดลอง	40
4.3.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	40
4.3.2 วิธีการทดลอง	42
4.3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง	42
4.3.2.2 การทดสอบความหนืด	42
4.3.2.3 การทดลองปรับค่าความเร็วรอบที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของอาหารชั้นหนึ่ง	43
4.3.2.4 การทดลองปรับค่าความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำ	43
4.3.2.5 การทดลองจับเวลาทำความสะอาด	44
<b>บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>45</b>
5.1 ผลการทดลอง	45
5.1.1 การทดลองปรับค่าความเร็วรอบที่ส่งผลต่ออัตราการไหลอาหารชั้นหนึ่งที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร	45
5.1.2 การทดลองปรับค่าความเร็วรอบเพาลูกเบี้ยวที่ส่งผลต่อความดันของน้ำอุณหภูมิห้อง ที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร	46
5.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	61
5.1.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหล	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความดันของน้ำ	62
5.1.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล	63
5.2 การเปรียบเทียบข้อมูลการทำความสะอาดเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่งแบบ ปั๊มเฟืองนอก และแบบการรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ	64
5.3 อายุการใช้งานของสายยาง	64
5.4 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง โดยใช้กลไกรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ	65
5.4.1 เจือปนในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	65
5.4.2 วิธีการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เมื่อใช้เครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่งโดยใช้ กลไกรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ	66
5.4.2.1 กำลังการผลิต	66
5.4.2.2 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี	66
5.4.2.3 ต้นทุนคงที่	66
5.4.2.4 ค่าจ้างแรงงาน	66
5.4.2.5 ค่าไฟฟ้าแปรผัน	66
5.4.2.6 ต้นทุนแปรผัน	67
5.4.2.7 ต้นทุนรวม	67
5.4.2.8 ระยะเวลาคืนทุน	67
5.4.2.9 จุดคุ้มทุน	67
5.4.3 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	67
5.5 การวิจารณ์ผลการทดลอง	69
<b>บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>70</b>
6.1 สรุปผลการวิจัย	70
6.2 ข้อเสนอแนะ	71
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>72</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>74</b>
ภาคผนวก ก	75
ภาคผนวก ข	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางการให้คะแนนแบบ Concept screening	18
3.2 ตารางการให้คะแนนแบบ Concept scoring	19
3.3 แสดงขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO / R 755 – 1969	22
4.1 การให้คะแนนแนวความคิดในการออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	32
5.1 ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวที่ส่งผลต่ออัตราการไหล	45
5.2 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิต้อง จุดที่ 1	46
5.3 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิต้อง จุดที่ 2	49
5.4 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิต้อง จุดที่ 3	52
5.5 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิต้อง จุดที่ 4	55
5.6 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิต้อง จุดที่ 5	58
5.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติอัตราการไหลของเนื้อหมูปด ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร	61
5.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติอัตราการไหลของน้ำ ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร	61
5.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติความเร็วรอบที่ส่งผลต่ออัตราการไหล	62
5.10 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดัน	62
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล	63
5.12 การเปรียบเทียบข้อมูลทำความสะอาดเครื่องลำเลียงแบบบีมเฟืองนอก และเครื่องลำเลียงแบบรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ	64
5.13 คำว่าสคูในการสร้างเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	65
5.14 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	65
5.15 แสดงผลการหาต้นทุนรวมค่าเครื่องแบบบีมเฟืองนอก	67
5.16 แสดงผลการหาต้นทุนรวมค่าเครื่องแบบกวีตสายยาง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของปั๊มเฟืองนอก	8
2.2 หลักการทำงานของปั๊มลูกสูบ	8
2.3 กราฟสมรรถนะการทำงานของปั๊มลูกสูบ	9
2.4 หลักการทำงานของปั๊มสกรู ก) สกรูเดี่ยว ข) สกรูคู่ ค) สามสกรู	9
2.5 เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440	14
2.6 สายยางซิลิโคน	15
2.7 โครงอลูมิเนียม	16
2.8 การกดสายยาง	16
3.1 รูปร่างลักษณะของเพลลา	20
3.2 ประเภทของตัวตาม	28
3.3 ประเภทของลูกเบี้ยว	29
3.4 การเคลื่อนไหวของตัวตามเมื่อลูกเบี้ยวหมุนหนึ่งรอบ	30
3.5 การออกแบบลูกเบี้ยวโดยวิธีกราฟิก	31
4.1 Free body diagram ของเพลลาตัน (ด้านข้าง)	35
4.2 Free body diagram ที่แสดงค่าของแรงที่กระทำบนเพลลาตันทั้งหมด	36
4.3 ภาพจำลองแรงและโมเมนต์ตัดภายในเพลลาตันช่วงความยาว เมตร 0.042 ถึง 0	36
4.4 ภาพจำลองแรงและโมเมนต์ตัดภายในเพลลาตัน ช่วงความยาว $0.042 < x < 0.298$ เมตร	37
4.5 ภาพจำลองแรงและโมเมนต์ตัดภายในเพลลาตัน ช่วงความยาว $0.298 < x < 0.34$ เมตร	37
4.6 การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 (1)	39
4.7 การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 (2)	39
4.8 การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 (3)	39
4.9 แบบจำลองภาพเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	40
4.10 ส่วนประกอบของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง ก) เพลลา ข) ลูกเบี้ยว ค) ลูกสูบ ง) สปริง	41
4.11 เครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง	41
4.12 การทดสอบความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Rheometer รุ่น LV DV-II+P	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ขนาดและตำแหน่งที่ใช้วัดความดันทั้งหมด 5 จุด	43
5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็รรอบ	46
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 1	49
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 2	52
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 3	55
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 4	58
5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 5	61
5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล	63
5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจุดคู้มุน	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรายการสัญลักษณ์

## รายการสัญลักษณ์

$\tau_d$	คือ ความเค้นเฉือน
$S_y$	คือ yield strength
$D$	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลลา (มิลลิเมตร)
$M$	คือ โมเมนต์ดัด
$T$	คือ แรงบิด
$C_m$	คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
$C_t$	คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
$n$	คือ จำนวนขดทำการของสปริง (ขด)
$G$	คือ โมดูลัสเฉือนของวัสดุ ( $N/mm^2$ )
$d_s$	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดสปริง (มิลลิเมตร)
$C$	คือ กำหนดค่าดัชนีสปริง
$X$	คือ ระยะสปริงยุบตัว (มิลลิเมตร)
$P$	คือ กำลังที่เพลลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt) หรือ (Kw)
$T$	คือ โมเมนต์แรงบิด (N.m)
$N$	คือ ความเร็วรอบของเพลลา (รอบต่อนาที)
$R$	คือ รัศมีของเพลลา (มิลลิเมตร)

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรา อาหารที่เรารับประทานแต่ละมื้อมักจะมีน้ำ น้ำมัน น้ำเชื่อม และอาหารชนิดอื่น ๆ รวมอยู่กับอาหารด้วย ความหนืดของอาหารเหลวสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของอาหาร ความชื่นชอบของผู้บริโภคในการรับรู้กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของอาหาร จึงกล่าวได้ว่า ความหนืดของอาหารเหลวมีบทบาทต่อการบริโภคของมนุษย์ และมีความสำคัญอย่างยิ่งกับอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องกับอาหารในสถานะของเหลว ไม่ว่าจะอยู่ในขั้นตอนรับวัตถุดิบ การแปรรูป การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้าย ตัวอย่างอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในเรื่องอาหารชนิดนี้ออกแบบเพื่อการแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ อุตสาหกรรมลูกชิ้น อุตสาหกรรมน้ำผัก ผลไม้ เป็นต้น ข้อมูลด้านความหนืดอาหารในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การเลือกปั๊ม (pump) และออกแบบระบบการลำเลียงที่เหมาะสมในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร (พิมพ์เพ็ญ, 2554)

ผู้ทำโครงการจึงเลือกศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิ้น เพราะลูกชิ้นเป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันมากในประเทศไทย โดยมักจะนำมาประกอบปรุงเป็นอาหารประเภทก๋วยเตี๋ยว แกงจืด เกาเหลา หรือนำมาทำเป็นลูกชิ้นปิ้ง ลูกชิ้นทอดต่างๆ ลูกชิ้นที่จำหน่ายในท้องตลาดได้แก่ ลูกชิ้นเนื้อวัว ลูกชิ้นเนื้อหมู ลูกชิ้นเนื้อไก่ ลูกชิ้นเนื้อปลาแบบต่างๆ และลูกชิ้นเนื้อกุ้ง ซึ่งมีความหลากหลายทั้งประเภทเนื้อสัตว์ที่นำมาทำเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตลูกชิ้น ตลอดจนวิธีการผลิตและการเติมสารปรุงรส เช่น แป้ง เกลือ และเครื่องเทศจากแหล่งผลิตต่างๆ ทำให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันในด้านคุณภาพ (ปนัดดา, 2550)

ปัจจุบันเครื่องทำลูกชิ้นที่พบในท้องตลาดนั้น ในส่วนของการลำเลียงเนื้อมัดของเครื่องบีบ ลูกชิ้นมักจะมีกลไกเป็นปั๊มเฟืองนอก (External gear pump) หลักการทำงานของปั๊มเฟืองนอกจะถูกขับเคลื่อนโดยมีฟันเฟืองตัวหนึ่งเป็นตัวขับและอีกตัวหนึ่งเป็นตัวตาม ทำให้เนื้อมัดของลูกชิ้นถูกดูดเข้าไปในร่องฟันเฟืองและเมื่อเฟืองหมุนครบรอบจะทำให้ปริมาณเนื้อมัดของลูกชิ้นถูกนำส่งไปยังใบมีดตัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกชิ้น ซึ่งในส่วนของบีมเฟืองนอกที่มีการสัมผัสกับเนื้อมัดของลูกชิ้น พบว่าบริเวณร่องฟันเฟืองนั้นเมื่อมีการทำความสะอาดจะใช้เวลาาน เนื่องจากบริเวณที่สัมผัสอาหารอาจเกิดเป็นแหล่งสะสมจุลินทรีย์ก่อโรคไปสู่อาหาร ทำให้เกิดการเน่าเสียและผลิตลูกชิ้นออกมาไม่ได้คุณภาพ ซึ่งส่งผลต่อผู้บริโภค ดังนั้นบริเวณที่สัมผัสกับเนื้อมัดของลูกชิ้นควรจะทำทำความสะอาดได้ง่าย ทนต่อสารทำความสะอาด และมีคุณสมบัติสัมผัสอาหารได้ จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นจุดเริ่มต้นทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ระบบลำเลียงอาหารชั้นหนืด โดยใช้กลไกการลำเลียงแบบการรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ (Peristaltic Motion) หลักการทำงานเป็นการนำของเหลวให้เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยใช้การทำงานของเพลาลูกเบี้ยวในการกดและรีดสายยางเพื่อทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ จะทำงานในลักษณะของเหลวแทนที่ (Positive Displacement) ทำให้ของเหลวที่เคลื่อนที่ในสายยางนั้นสะอาดปราศจากการปนเปื้อน ทำความสะอาดและบำรุงรักษาได้ง่าย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. อาหารชั้นหนืดที่เลือกศึกษา คือ น้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และเนื้อมูบดของลูกชิ้น จากบริษัท 505 โภคภัณฑ์ จำกัด ส่วนประกอบของเนื้อมูบด 1 กิโลกรัม มีดังนี้ เนื้อหมูบด 70%, น้ำเย็น 23.2%, แป้ง 3.57% และเครื่องปรุงรส 3.23%
2. ความหนืดของน้ำ 4.8 mPa.s และความหนืดเนื้อมูบดของลูกชิ้น 2510 mPa.s
3. เลือกใช้มอเตอร์ 3 เฟส กำลังไฟ 40 วัตต์ ถังป้อนอาหารชั้นหนืดเข้าสู่บีมที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร จากระดับเพลาลูกเบี้ยว
4. ตัวแปรที่เลือกศึกษา คือ ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว อัตราการไหล และความดัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องต้นแบบลำเลียงอาหารชั้นหนืดโดยใช้กลไกการลำเลียงแบบการรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ (Linear Peristaltic Motion)
2. สามารถลดเวลาในการทำความสะอาดเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

ในการออกแบบและวิเคราะห์ตัวแปรที่สำคัญของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ

#### 2.1 ลูกชิ้น

ลูกชิ้นเป็นอาหารชนิดหนึ่งของคนไทยที่วิเคราะห์กันจากยุคปัจจุบันที่กำลังย่างเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจเอเซียในปี พ.ศ. 2558 ส่งผลให้พฤติกรรมของผู้บริโภคต้องมีการปรับตัวให้สอดคล้องกับสถานการณ์ โดยเฉพาะพฤติกรรมผู้บริโภค คงจะกล่าวได้ว่า ลูกชิ้นเป็นอาหารหลักชนิดหนึ่งของคนไทย 10 ประเทศเหล่านี้ แม้ว่ารูปแบบการปรุงเป็นอาหารอาจจะเหมือนกันบ้าง ไม่เหมือนกันบ้าง และรสชาติแตกต่างกันออกไปตามวัฒนธรรมและรสนิยมของแต่ละประเทศ ลูกชิ้นเป็นอาหารที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศจีน แม้ว่าจะมีในประเทศอื่นด้วย เช่น ประเทศเวียดนาม ก็เป็นเพราะอิทธิพลทางวัฒนธรรมของจีนที่เคลื่อนกลืนนั่นเอง ลูกชิ้นเข้ามาสู่ประเทศไทยพร้อม ๆ กันหรือใกล้เคียงกันกับก๋วยเตี๋ยว ตั้งแต่สมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช คืออยู่ในช่วง พ.ศ. 2175 - 2231 ซึ่งเมืองไทยเราได้ทำการค้าขายกับชาวต่างชาติมากมายหลายชาติ และชาวจีนได้นำเอาวัฒนธรรมการกินอาหารของตนเอง มาผลิตมาปรุงรับประทานจนกลายเป็นการเคลื่อนกลืนทางวัฒนธรรมเข้าสู่วิถีชีวิตของคนไทยจนถึงปัจจุบัน ลูกชิ้นจึงกลายเป็นอาหารหลักชนิดหนึ่งของคน มีความหลากหลายทั้งประเภทเนื้อสัตว์ที่นำมาทำเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตลูกชิ้น ตลอดจนวิธีการผลิตและการเติมสารปรุงรส เช่น แป้ง เกลือ และเครื่องเทศจากแหล่งผลิตต่างๆ ทำให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันในด้านกรรมวิธีการผลิตลูกชิ้น การผลิตเริ่มจากนำวัตถุดิบมาบดผสมกันอย่างละเอียดจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนที่จะนำไปผสมกับเครื่องปรุงรส (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1009, 2533) ในการขึ้นรูปลูกชิ้นอาจใช้วิธีปั้นด้วยมือหรือใช้เครื่องปั้นลูกชิ้น จากนั้นใส่ลงไปนึ่งในหม้อต้มน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วตักใส่ลงในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นตักใส่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เมื่อลูกชิ้นสุกจึงตักมาเป่าพัดลมให้ลูกชิ้นเย็นตัวลงแล้วนำลูกชิ้นมาซึ่งใส่ถุงจำหน่ายต่อไป (ปนัดดา, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 บทบาทของสารเคมีและเครื่องเทศต่อผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

เกลือ (Salt) ที่ใช้ในการแปรรูปเนื้อสัตว์ อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือ ทราบกันในชื่อของเกลือแกง แต่เดิมมนุษย์ใช้เกลือเพื่อเป็นตัวป้องกันการเน่าเสีย เกลือ เกลือแกงหรือ โซเดียมคลอไรด์ เป็นส่วนประกอบที่อยู่ในรูปของผลึก ซึ่งร่างกายจำเป็นต้องได้รับเนื่องจากร่างกายเรา ไม่สามารถสร้างเองได้ นอกจากนี้ในชีวิตประจำวันเรายังนำเกลือมาใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหารให้ได้รสเค็ม และใช้ถนอมอาหาร โดยการทำหน้าที่ลดค่าแอกทิวิตีหรือ aw (water activity) ทำให้ จุลินทรีย์ไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ในภาวะดังกล่าว จึงช่วยลดปริมาณของจุลินทรีย์ ทำให้สามารถ เก็บอาหารไว้ได้นานขึ้น ในอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ ยังใช้เกลือในการสกัดโปรตีนไมโอซินจาก เนื้อสัตว์ เพื่อทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ ช่วยปรับปรุงการอุ้มน้ำโดยเฉพาะในระบบอิมัลชัน ซึ่ง โปรตีนไมโอซิน และแอกทินในเนื้อมีความสามารถในการละลายได้ดีในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ใน ระหว่างกระบวนการหมักของเกลือ สามารถแบ่งขั้นตอนการซึมผ่านของเกลือได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะแรกน้ำจะถูกสกัดออกจากเนื้อเยื่อ ซึ่งจะทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง ระยะที่ 2 เกลือจะไป ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพจากธรรมชาติ และเกิดการจับเป็นก้อน และในระยะที่ 3 ซึ่งเป็นระยะที่ ทั้งระบบอยู่ในภาวะคงที่ บางส่วนของเกลือจะไปจับกับเนื้อเยื่อ และน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (สัจชัย, 2543)

เกลือไนไตรท์ และเกลือไนเตรท เมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะมีลักษณะดังนี้

- ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีสีแดงและรักษาสีแดงของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีความน่ารับประทานเพิ่มขึ้น
- ช่วยเพิ่มรสชาติ (taste) และกลิ่นรส (flavor) แก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้มีกลิ่นเฉพาะตัวเป็นที่ ยอมรับสำหรับผู้บริโภคมากกว่าการใช้เกลือในการหมักเนื้อเพียงอย่างเดียว
- ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และป้องกันการงอกของสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ ต้องการอากาศ โดยเฉพาะพวก Clostridium botulinum
- ช่วยยับยั้งการหืนของไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนของ ไขมัน (oxidative rancidity)

การใช้สารพวกไนไตรท์และไนเตรท แต่เดิมใช้เฉพาะดินปะสัวซึ่งให้เกลือไนเตรท ต่อมาพบว่า การแตกตัวของไนเตรททำให้ไนตริกออกไซด์ช้ามาก และต้องอาศัยจุลินทรีย์บางชนิดในเนื้อสัตว์ช่วย ในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เกิดสีแดงต้องใช้เวลาานาน ถ้าการใช้ไนเตรทและไนไตรท์ร่วมกันมีผลต่อ การเร่งการแตกตัวของไนเตรท ทำให้เกิดการแตกตัวให้ไนตริกออกไซด์เร็วขึ้นและมากขึ้น จึงทำให้เกิด สีเร็วและมีไนเตรทเหลือตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์น้อยลง ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่เหมาะสมในการ

ใช้ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (2527) อนุญาตให้ใช้ในเตรทได้ในปริมาณที่ไม่เกิน 500 ส่วนในล้านส่วน (โดยคิดคำนวณเป็นโซเดียมในเตรท) และไนโตรทให้ใช้ในปริมาณที่ไม่เกิน 125 ส่วนในล้านส่วน (โดยคิดคำนวณเป็นโซเดียมไนโตรท) (สัญญาชัย, 2543)

ฟอสเฟต เป็นสารที่ช่วยให้มีลชันคงทนได้นาน ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างอิมัลชัน ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียส่วนของของเหลวในเนื้อเยื่อมากเกินไป ที่ใช้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิดได้แก่ STPP (sodium tripolyphosphate), TSP (tetrasodium pyrophosphate) และ TKPP (tetrapotassium pyrophosphate) ซึ่งในผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์ นิยมใช้ STPP กันมาก เนื่องจาก STPP เป็น alkaline phosphate salt เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์จะทำให้ pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยทำปฏิกิริยากับแอกโทไมโอซิน ทำให้แตกตัวเป็นแอกทินและไมโอซิน ช่วยในการอุ้มน้ำของเนื้อ ตามพระราชบัญญัติอาหารกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 โดยคำนวณในรูปของ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (สัญญาชัย, 2543)

น้ำตาล (Sugar) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดรสในการถนอมรักษา ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด น้ำตาลมีบทบาทต่อการป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และสามารถสร้างสรรค์ให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ บทบาทของน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

- น้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสอ่อนนุ่มขึ้น โดยที่น้ำตาลจะไปลดรสเค็ม ที่มีผลมาจากเกลือและป้องกันน้ำบางส่วนจากเนื้อสัตว์ที่จะถูกดึงออกมาทำให้ความชื้นบางส่วนไม่สูญเสียไป เนื้อมีรสชาติดีขึ้นและไม่แห้ง แข็งกระด้าง
- น้ำตาลจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนของโปรตีน เมื่อผ่านการให้ความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมีสีน้ำตาลที่บริเวณผิวหน้าของชิ้นเนื้อและมองดูน่ารับประทานเพิ่มขึ้น
- น้ำตาลช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมในเตรทเป็นไนโตรอ็อกไซด์ ทำให้ปริมาณสารไนเตรทที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้อย และเกิดสีแดงเร็วขึ้น

น้ำตาลที่ใช้กันมาก ได้แก่ น้ำตาลซูโครส ฟรุกโตสและไมฟรุกโตส มีการใช้น้ำตาลในรูปของกลูโคสและฟรุคโตสบ้างเหมือนกัน แต่ไม่ตีเท่าใช้ซูโครส เพราะจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์สามารถใช้น้ำตาล 2 ชนิดนี้ได้อย่างรวดเร็ว และมีผลทำให้ไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นเมทไมโอโกลบิน ซึ่งมีผลต่อสีของเนื้อในระหว่างการหมัก มีการใช้น้ำตาลในรูปของน้ำเชื่อม เช่น น้ำเชื่อมซูโครส น้ำเชื่อมกลูโคส และน้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup) แต่ค่อนข้างมีราคาแพง และยังไม่เป็นที่นิยม น้ำเชื่อมข้าวโพดเป็นส่วนผสมของน้ำตาลซึ่งได้มาจากการแตกตัวของแป้งข้าวโพดที่ประกอบด้วยน้ำตาลเดริคโตส มอลโตสเดริคตริน และน้ำตาลโมเลกุลใหญ่มีความหวานไม่มากและละลายน้ำได้น้อยกว่าน้ำตาล ส่วนน้ำตาลแลคโตสซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นน้ำตาลนม มีความหวานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส 3 เท่า นิยมใช้กันในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักเพื่อช่วยให้มีรสชาติดีขึ้น (สัญญาชัย, 2543)

**กระเทียม** เป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นเครื่องเทศในการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภท เนื้อ ปลา และสลัดต่างๆ โดยใช้ทั้งในรูปกระเทียมสดและกระเทียมแห้งปน เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Amarillidaceae มีความหลากหลายด้านชนิด (species) และสายต้น (clone) มากมาย และแตกต่างกันในแต่ละประเทศ

**พริกไทย** เป็นเครื่องปรุงอาหารที่แพร่หลาย ใช้ในการปรุงแต่งรสชาติอาหารทั้งในรูปเมล็ดหรือบดให้ละเอียด ในยุโรปและอเมริกามักใช้ในอุตสาหกรรมทำอาหาร นิยมใช้ประโยชน์จากผลพริกไทยแห้ง (พริกไทยดำ) และเมล็ดแห้ง (พริกไทยขาว) เป็นส่วนใหญ่ โดยพริกไทยดำจะใช้มากในอาหารพวกเนื้อ ส่วนพริกไทยขาวมักใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการให้เห็นผงสีดำในอาหารนั้นๆ เช่น ในการผลิตซอสสีจาง มายองเนส ครีม และซูปต่างๆ โดยจะใช้เป็นเครื่องเทศ ปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร มีรสเผ็ดร้อน ช่วยดับกลิ่นคาว ใช้ถนอมอาหารประเภทเนื้อสัตว์ และเป็นส่วนประกอบของน้ำพริกแกง มีกลิ่นหอมค่อนข้างฉุน เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) มีสรรพคุณทางยา ขับเหงื่อ ขับลม แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ แก้ท้องผูก ปวดฟัน ช่วยเจริญอาหาร เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Piperaceae ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Piper nigrum* L. (จาริณญา สุทธิ, 2554)

### 2.1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกชิ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกชิ้นฉบับที่ 304/2557 มีขอบข่ายครอบคลุมเฉพาะลูกชิ้นที่ทำจากเนื้อเป็นส่วนประกอบหลัก บรรจุในภาชนะบรรจุไม่ครอบคลุมถึงลูกชิ้นเอ็นความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้ (ฉันทพล, 2557)

ลูกชิ้น หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อ เครื่องเทศหรือสมุนไพร เช่น กระเทียม รากผักชี พริกไทยดำเครื่องปรุงรส เช่น เกลือ และวัตถุเจือปนอาหารอื่น โดยการนำมาบดจนละเอียดผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ลวกให้สุก ผึ่งลมจนเย็น

เนื้อ หมายถึง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ซึ่งผ่านการตรวจก่อนและหลังฆ่าว่าสะอาดปราศจากกลิ่นสิ่งแปลกปลอม และเหมาะสำหรับเป็นอาหารบริโภคได้

#### คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไปในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปร่างเดียวกัน และมีขนาดใกล้เคียงกัน
2. สี ต้องมีสีสม่ำเสมอตามลักษณะเนื้อที่ใช้ทำ
3. กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน รสดี ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลักษณะเนื้อสัมผัสต้องละเอียด เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ยุ่ย มีฟองอากาศได้บ้าง
5. สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์
6. โปรตีนต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก
7. ไขมัน ต้องไม่เกินร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก
8. แป้ง ต้องไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
9. วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้บอแรกซ์ กรดเบนโซอิกหรือเกลือของกรดเบนโซอิก และสีทุกชนิด หากมีการใช้ฟอสเฟตในรูปของโมโน-, ได- และโพลีของเกลือโซเดียมหรือโพแทสเซียม อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกัน ต้องไม่เกิน 3000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หากมีการใช้โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต (คำนวณเป็นกรดกลูตามิก) ต้องไม่เกินร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก
10. จุลินทรีย์
  - จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน  $1 \times 10^4$  โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
  - ซาลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
  - สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
  - คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
  - เอสเชอริเชียโคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

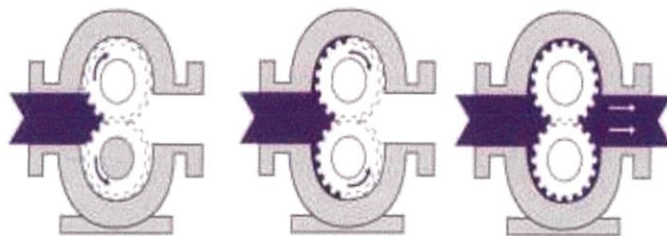
## 2.2 การศึกษากลไกการลำเลียง

กลไกที่นำมาใช้ในการลำเลียง ได้ศึกษาจากการใช้งานจริงในปัจจุบัน โดยสังเกตจากกระบวนการต่างๆในอุตสาหกรรม เพื่อนำมาวิเคราะห์ศึกษาข้อดี และข้อเสียรวมถึงการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องจักรกลได้

### 2.2.1 กลไกการลำเลียงแบบป้อนเฟืองนอก

ป้อนเฟืองนอก ทำงานโดยอาศัยการหมุนขบกันของฟันเฟืองสองตัวในห้องสูบ ของเหลวจากทางเข้าจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟัน ซึ่งจะหมุนและพาของเหลวไปสู่ทางออก เมื่อมาถึงทางออกแล้วร่องฟันเฟืองซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ก็จะถูกแทนที่ด้วยฟันเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งขบกันสนิทจนของเหลวไม่สามารถไหลย้อนกลับผ่านฟันเฟืองไปสู่ทางเข้าได้ ดังรูปที่ 2.1 ป้อนเฟืองนอกจะให้การไหลแบบราบเรียบ และทำงานได้ดีกับของเหลวที่มีความหนืดสูง อัตราเร็วในการไหลของป้อนขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของเฟือง (วิบูลย์, 2554)

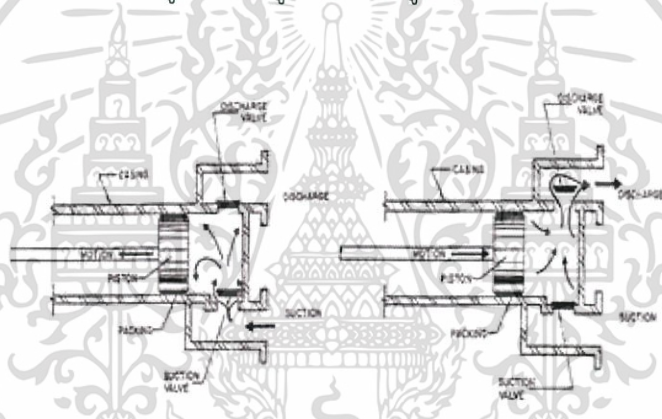
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของปั๊มเฟืองนอก (ที่มา : Sondalini, 1998)

### 2.2.2 กลไกการลำเลียงแบบกระบอกสูบ

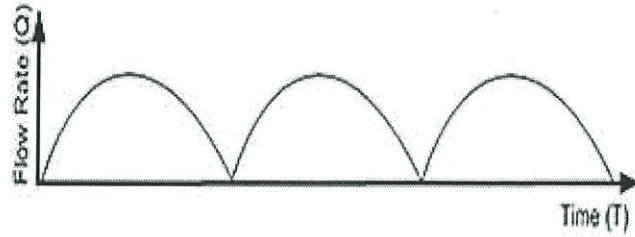
ปั๊มประเภทสูบชักจะทำงานใช้การเคลื่อนที่ของลูกสูบ จะทำให้ภายในห้องสูบมีแรงดันต่ำกว่าบรรยากาศภายนอกเกิดแรงดูด ทำให้ความดันบรรยากาศภายนอกผลักดันเข้ามาในห้องสูบและเกิดการผลักออกไปจากปั๊มที่ความดันสูงกว่า ดังรูปที่ 2.2 (วิบูลย์, 2554)



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของปั๊มลูกสูบ (ที่มา : พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์, 2544)

ปั๊มลูกสูบ จะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้นด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการความดันในระบบที่สูง ของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอ ปั๊มลูกสูบสามารถสร้างความดันได้สูงด้วยการอัดเพียงขั้นตอนเดียว แต่การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน คือการอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของสูบไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ ดังรูปที่ 2.3 (วิบูลย์, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



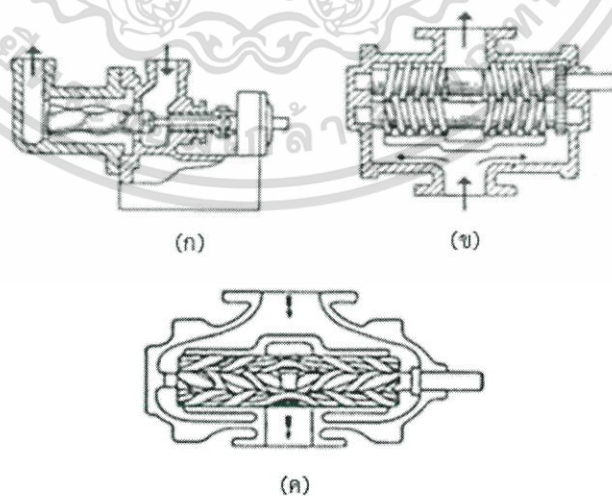
รูปที่ 2.3 กราฟสมรรถนะการทำงานของปั๊มลูกสูบ

(ที่มา : <http://www.9engineer.com/> สืบค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2559)

### 2.2.3 กลไกการลำเลียงแบบปั๊มสกรู

ปั๊มสกรู คือการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยสกรูหรือโรเตอร์ หลักการทำงานซึ่งมีลักษณะอาศัยการหมุนของแท่งสกรูในท่อทรงกระบอก ขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสกรูกับผนังห้องสูบจากทางเข้าไปสู่ทางออก การปั๊มด้วยสกรูนี้ใช้ได้ตั้งแต่ของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น พลาสติกหลอมเหลวในเครื่อง Extruder หรือเครื่องฉีดพลาสติก วัสดุของแข็งที่เป็นผงละเอียดหรือชิ้นอ่อนนุ่ม เช่น วัสดุผง หรือเนือบด ไปจนถึงการอัดแก๊สมักเป็นแบบสกรูคู่

ปั๊มสกรู ใช้งานได้ดีกับของเหลวที่มีความหนืดสูง และต้องการปั๊มของเหลวที่มีความดันสูง อีกทั้งยังให้การไหลแบบราบเรียบ จำนวนสกรูอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว ดังรูปที่ 2.4 (วิบูลย์, 2554)



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของปั๊มสกรู (ก) สกรูเดี่ยว, (ข) สกรูคู่, (ค) สามสกรู

(ที่มา : วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั๊มสกูเดี่ยว ดังรูปที่ 2.4 ก การทำงานเริ่มต้นที่ทางดูด จากการหมุนของสกูโพรงที่อยู่ระหว่างผนังและสกูจะถูกสร้างขึ้น (ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ) ของเหลวจะเข้ามาเติมเต็มในปริมาตรเท่ากับโพรงที่เกิดขึ้น เมื่อสกูหมุนได้ครึ่งรอบแรกก็จะทำการปิดช่องของเหลวที่อยู่ระหว่างสกูและผนังไว้ เมื่อสกูหมุนต่อพร้อมกับพาของเหลว (ปริมาตรคงที่ที่ถูกปิดขังไว้) ให้เคลื่อนไปสู่ปลายทางออกที่อยู่ปลายด้านทางส่ง ของผนัง และไม่ทำให้เกิดการกระแทก (วิบูลย์, 2554)

ปั๊มสกูคู่ ดังรูปที่ 2.4 ข ของเหลวจะถูกขังติดอยู่ที่ปลายด้านนอกทั้งสองข้างของคู่สกู เพราะเป็นปริมาตรครึ่งแรกระหว่างสกูเกลียวหมุนออกไปตรงกันข้าม สกูทั้งคู่หมุนโดยผิวสกูไม่เบียดกันเนื่องจากมีเฟืองภายนอกเป็นตัวขับเคลื่อน เมื่อสกูหมุนครบหนึ่งรอบของเหลวที่อยู่ระหว่างเกลียวของ สกูทั้งสองจะถูกกักไว้โดยเกลียวสกูที่อยู่ตรงกันข้าม เมื่อสกูหมุนต่อไปของเหลวที่ถูกปิดล้อมจะเคลื่อนที่ตามการหมุนของสกูในทิศทางตามแนวแกนหมุน เมื่อถึงบริเวณกลางปั๊มของเหลวจะถูกปล่อยออกสู่ท่อทางออกที่มีความดันสูงต่อไป สกูถูกออกแบบให้เป็นเกลียวสองทิศทาง ดังนั้นจะเกิดการดุลแรง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและการดูดของปั๊มด้วย (วิบูลย์, 2554)

ปั๊มสามสกู ดังรูปที่ 2.4 ค เมื่อกำลังการหมุนส่งมาที่เพลลา สกูกลาง (หมุนตามเข็มนาฬิกา) และเป็นตัวขับเคลื่อนให้สกูข้างที่ประกบอยู่ทั้งสองข้างหมุนไปด้วยกัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดห้องว่าง เพื่อลดแรงเสียดทาน ของเหลวจากทางดูดไหลเข้าแทนที่เมื่อเพลลาสกูกลางหมุนครบหนึ่งรอบ และปริมาตรไหลเข้ามาจะถูกกักให้เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของการหมุนในทรงกระบอกทั้งสาม จนถึงทางออกของปั๊ม (วิบูลย์, 2554)

#### 2.2.4 กลไกการลำเลียงแบบกีดรีดสายยาง

ปั๊มรีดท่อ หรือสายยางจัดอยู่ในประเภทปั๊มที่อาศัยหลักการแทนที่แบบบวก (Positive Displacement Pump) มักจะใช้กับของไหลที่ต่างชนิดกัน หลักการแทนที่แบบบวกใช้กลไกการขยายตัวช้าๆ โพรงเพื่อให้ของไหลไหลตามไปด้านหน้า มีเพียงส่วนประกอบเดียวที่ใช้ในการสูบคือท่อที่มีความยืดหยุ่น ปั๊มรีดท่อทำงานโดยแรงกดที่กระทำกับท่อด้วยลูกกลิ้ง (rollers) หรือปลอกหุ้ม (shoes) ปั๊มรีดท่อสามารถทำงานแบบแห้งได้ ลื่อน้ำได้ด้วยตัวเองและจัดการกับของเหลวที่หนืดหรือกักความร้อนได้ การใช้ท่อทำให้ปั๊มชนิดนี้ไม่ต้องกันรั่ว (seals) ทำให้ปั๊มไม่รั่วไหลและถูกสุญลักษณ์ (เทิดศักดิ์, 2556)

เพอริสตัลซิส (Peristalsis) คือกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อเหมือนคลื่นต่อเนื่องกันที่เกิดขึ้นโดยที่เราไม่รู้ตัว ซึ่งอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีการย่อย โพรงอวัยวะขนาดใหญ่ของระบบย่อยอาหารจะมีกล้ามเนื้ออยู่ซึ่งผนังของมันจะช่วยในการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของผนังอวัยวะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถขับเคลื่อนอาหารและของเหลว และยังสามารถผสมของที่อยู่ข้างในแต่ละอวัยวะได้ ตามแบบอย่างการเคลื่อนที่ของหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร และลำไส้ เรียกว่า เพอริสตัลซิส (Peristalsis) พฤติกรรมของเพอริสตัลซิสจะเหมือนกับคลื่นมหาสมุทรเคลื่อนที่ผ่านกล้ามเนื้อคั่นของอาหารและของไหลจะถูกผลักดันให้แคบลงไปข้างหน้าผ่านแต่ละโพรงของอวัยวะ กระบวนการนี้ของเพอริสตัลซิสถูกนำมาใช้ในปั๊มรีดท่อหรือสายยาง ปั๊มแบบท่อยืดหยุ่น หรือปั๊มแบบรีดท่อ (Peristaltic pump) เป็นปั๊มแทนที่บวกที่ใช้ในการสูบของเหลวได้หลากหลายชนิด ส่วนประกอบหลัก คือ ท่อ (flexible tube) ที่มีความยืดหยุ่นสูงที่ทนต่อการรีดอัดขณะเดียวกันก็มีการคืนสภาพเดิมได้อย่างรวดเร็ว และลูกกลิ้ง (roller) โดยมีเสื่อปั๊มรองรับที่บริเวณการรีดอัด เมื่อประกอบท่อเข้าไปในเครื่องแล้วลูกกลิ้งเริ่มต้นหมุนทำให้ท่อถูกรีด ของเหลวที่อยู่ในท่อก่อนลูกกลิ้งรีดจะถูกผลักดันออกไป ขณะเดียวกันท่อหลังลูกกลิ้ง (ที่ถูกรีด) จะพองตัวออกและดูดของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในหลอดเข้ามาแทนที่ทันที กระบวนการบีบอัดและขยายแบ่งออกของท่อลักษณะนี้เรียกว่า เพอริสตัลซิส (peristalsis) ปั๊มชนิดนี้เหมาะสมกับการดูดและส่งผ่านของเหลวที่ใช้ในห้องปฏิบัติการของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องดื่ม สารเคมี บำบัดน้ำเสีย และการสูบของเหลวผ่านท่อให้ผู้ป่วยผ่าตัดที่ต้องการความสะอาดสูง และยังใช้ในการใช้ป้อนของเหลวทั่วไป ปั๊มรีดท่อมีความโดดเด่นหลายจุด จุดที่สำคัญที่สุดที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง คือลักษณะของท่อ จากมุมมองนี้จึงสามารถแบ่งแบบหลักๆได้สองประเภท ได้แก่ ปั๊มรีดท่อ (Tube pump) และปั๊มรีดสายยาง (Hose pump) ความแตกต่างระหว่างสองอย่างนี้ คือ ท่อของปั๊มจะติดอยู่กับส่วนของปั๊มซึ่งเสริมกำลังท่อ เรียกว่า สายยาง (hose) สายยางจะกดได้ยาก ต้องการทางที่ใหญ่กว่า และมอเตอร์ที่แข็งแรงกว่าสำหรับกรไหลที่เท่ากัน เพราะเหตุนี้สายยางจึงมีราคาแพงในการดำเนินงาน ข้อดีหลักๆของปั๊มรีดสายยาง คือสามารถใช้กับงานที่มีความดันสูงมากกว่าปั๊มรีดท่อถึง 16 บาร์ ท่อที่อยู่ในปั๊มรีดท่อจะทำมาจากวัสดุประเภท ซิลิกอน (Silicon) พีวีซี (PVC) และฟลูออโรโพลีเมอร์ (Fluoropolymer) ซึ่งเป็นวัสดุทั่วไปที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งวัสดุพวกนี้ทำให้ท่อกับสายยางมีความแตกต่างกันด้านความอ่อนตัว ท่อของปั๊มสามารถใช้งานความดันน้อยๆได้แต่จะต้องใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและแรงน้อยกว่าในการทำงาน ด้วยเหตุนี้ปั๊มรีดท่อจึงประหยัดพื้นที่และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานถูกเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มชนิดอื่นๆ ปั๊มรีดสายยางแบบแนวตรงจะมีความเที่ยงตรงมากกว่าที่ระดับความดันต่ำกว่า -13.3 ปาสคาลหรือ -100 มิลลิเมตรปรอท แต่ในกรณีอื่นๆปั๊มชนิดลูกสูบจะมีความแม่นยำมากกว่า ความแตกต่างถัดไปของปั๊มรีดท่ออาจจะเป็นรูปแบบของจังหวะอัตราการไหลมากที่สุดจะอยู่ติดกับศูนย์กลางส่วนที่หมุนได้และบนส่วนที่หมุนได้จะมีลูกกลิ้ง (roller) อยู่ ตัวลูกกลิ้งจะกดเป็นแนวตามทางที่ส่งแรงไปและยังป้องกันการไหลย้อนกลับ ในการทำงาน ปั๊มรีด

สายยางแบบ 360 องศาหาได้ยาก ปีมโดยทั่วไปจะพบลูกกลิ้ง (rollers) ไม่ต่ำกว่าสองตัว ในบางจังหวะของลูกกลิ้ง (rollers) อาจจะไม่ป้องกันการไหลย้อนกลับ แต่โดยปกติแล้วลูกกลิ้งจะเป็นตัวส่งแรงเพื่อบังคับการเคลื่อนที่ของของไหล จำนวนลูกกลิ้งที่มากขึ้นสามารถสร้างความดันได้มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และวิธีนี้จะทำให้การเปลี่ยนแปลงความดันที่ทางออกลดน้อยลง อย่างไรก็ตามมันจะทำให้มีการอุดตันเพิ่มมากขึ้นสำหรับการถ่ายโอนปริมาณที่เท่ากัน จึงลดอายุการใช้งานของท่อ ปีม อาจจะมีคุณสมบัติเด่นด้วยวิธีการทำให้ลูกกลิ้งหมุนระยะคงที่ วิธีที่ง่ายที่สุดคือการทำให้ระยะการอุดตันสายยางคงที่โดยลูกกลิ้งจะต้องตั้งประจำที่ ด้วยเหตุนี้จึงต้องควบคุมระยะห่างของส่วนต่างๆระหว่างการหมุนทั้งหมด วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีประสิทธิภาพและไม่ต้องการอะไรมาก อย่างไรก็ตามการอุดตันจะทำให้ท่อมีอายุการใช้งานสั้นลงเพราะมันจะเปลี่ยนแปลงตามความหนาของผนังท่อ อีกวิธีการหนึ่งคือการติดสปริงโหลด (spring loaded) ในกรณีที่ลูกกลิ้งบนอยู่สปริงโหลดจะทำให้การกดบนท่อเกือบคงที่ ข้อดีของการใช้ลูกกลิ้งบนสปริงโหลดคืออายุการใช้งานของท่อจะยาวนานขึ้น มีแรงกดที่คงที่และสามารถจัดการกับช่วงที่กว้างขึ้นของความหนาสายยาง รูปร่างของโรเตอร์ (rotor) และโครงสร้างปีมจะมีความสมมาตรกัน ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาเมื่อต้องการเพิ่มอายุและความคงทน ข้อดีของปีมกคริตสายยางแบบแนวตรงคือประหยัดพื้นที่ แต่ในทางกลับกันก็ต้องใช้กลศาสตร์ที่ซับซ้อน (เท็ดคักต์, 2556)

### 2.3 องค์ประกอบของการสร้างปีม

ปีมแบบรีดสายยางออกแบบการทำงานได้ 2 แบบ อาจมีลักษณะเป็นได้ทั้งแบบหมุนรอบหรือเป็นแนวตรง

การออกแบบปีมรีดสายยางแบบหมุนรอบจะใช้การหมุนสัมผัสเพื่อกดท่อเป็นช่วงๆ ถ้าใช้ลูกกลิ้งเพียงตัวเดียวสัมผัสกับท่อ ปีมชนิดนี้จะมีอีกชื่อว่า ปีมลูกกลิ้ง ในกรณีส่วนใหญ่ท่อจะวางไว้ในร่องระหว่างเสื่อปีมกับแนวรอบนอกส่วนหมุน โดยลูกกลิ้งหลายตัวจะทำการกดรีดท่อ ปีมจำเป็นต้องมีลูกกลิ้งอย่างน้อยสองตัวเพื่อให้เครื่องสูบล้างทำงานโดยปราศจากการไหลย้อนกลับ การใช้ลูกกลิ้งหลายตัวจะทำให้จังหวะขาดตอนขณะสูบล้าง แต่สามารถทำให้ต่อเนื่องได้โดยใช้ท่อคุณภาพดี เนื่องจากอุดตันเนื่องจากเกิดการอุดตันมากกว่าในเวลาเดียวกันในปีมรีดสายยางแบบแนวตรง ท่อจะถูกวางบนแท่นวางและถูกกดเป็นลำดับด้วยกลไกบีบรัด หลักการบีบรัดเกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวกดอย่างน้อยสามตัว โดยปกติขับเคลื่อนด้วยเพลาลูกเบี้ยว ปีมรีดสายยางแบบแนวตรงส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ประโยชน์ทางการแพทย์เนื่องจากสามารถควบคุมอัตราการไหลที่ต้องการได้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เที่ยงตรง ข้อดีของเครื่องสูบริดสายยางแบบแนวตรงจากการอธิบายคร่าวๆตามที่พวกมันถูกศึกษามาว่า เวลาที่ท่อมีแตกรั่วและล้าในเครื่องสูบริดสายยางแบบหมุน พวกมันสามารถนำไปวิเคราะห์รูปแบบความล้าที่แตกต่างกันได้ 3 อย่าง รอยยับตามแนวยาวเป็นผลลัพธ์จากการถูกพับซ้ำๆของท่อที่ผ่านแนวแกนของมันระหว่างการถูกกดรีด การฉีกตามขวางและความเสียหายรูปทรงหอยในทางตรงข้ามกันบ่งบอกถึงแรงเฉือนสูงบนท่อ ในการทดสอบเพิ่มเติมพวกมันแสดงให้เห็นว่าการกดท่ออย่างเดียวยังพอปราศจากการเฉือนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญว่าล้าน้อยกว่าและไม่มีไม่มีรอยยับตามแนวยาว นั้นหมายความว่า สายยางในเครื่องสูบริดสายยางแบบหมุนเมื่อมีการเคลื่อนที่ของบริเวณที่ถูกกดรีดมีผลต่อการสึกของท่อ ดังนั้นการสอบเทียบใหม่ หรือการเปลี่ยนแปลงของท่อจะต้องการบ่งบอกว่าเครื่องสูบริดสายยางแบบแนวตรง ดังนั้น เครื่องสูบริดสายยางแบบตรงจึงให้เสถียรภาพของอัตราการไหลในระยะยาวที่ดีกว่าและความทนทานโดยรวมของท่อดีกว่า (ดลยโชติ, 2557)

### ข้อดีของปั๊มรีดท่อ

อัตราการถ่ายโอนไหลในท่อและแรงที่ใช้ขับจะถูกสร้างขึ้นด้วยแรงบีบอัด ของไหลจะไม่สามารถปนเปื้อนทั้งหัวกดหรือกลไกปั๊ม มันจึงทำความสะอาดเพียงแค่อุณหภูมิไม่ต้องทำความสะอาดกลไกของปั๊ม ดังนั้น จึงทำความสะอาดง่ายและมีลักษณะที่ดี ของไหลจะไม่ออกไปจากท่อซึ่งท่อจะเป็นเกราะป้องกันตัวกลางและสารเคมีต่างๆ วัสดุที่ใช้ทำท่อบางชนิดสามารถทนความร้อนจากการฆ่าเชื้อได้ ดังนั้นจึงสามารถฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแล้วเก็บไว้ใช้งานต่อได้ (ดลยโชติ, 2557)

ปั๊มกดรีดสายยางไม่ได้ต้องการการความพิเศษมากมายสำหรับการล่อน้ำ เนื่องจากมันสามารถล่อน้ำได้ด้วยตัวเอง ปั๊มกดรีดสายยางไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเดินเครื่องแบบแห้งเนื่องจากไม่มีจำเป็นต้องใช้ของเหลวหรือสารหล่อลื่นและท่อจะไม่เสียหายถ้ามีการบีบอัดที่ว่างเปล่า นอกจากนี้ปั๊มไม่ได้มีวาล์วใดๆหรืออุปกรณ์กันรั่ว ดังนั้นปั๊มชนิดนี้จึงง่ายในการบำรุงรักษาและโอกาสที่จะเกิดความผิดปกติต่ำ

ปั๊มกดรีดสายยางสามารถจัดการกับการย้อนกลับได้ต่างกับปั๊มชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ระหว่างที่ใช้งานท่อจะเสื่อตามเวลาซึ่งหามาเปลี่ยนใหม่ได้ในราคาที่ถูกลง

ปั๊มกดรีดสายยางมีแรงดูดสูงที่ตีมากและจะหยุดเมื่อไม่มีผลเกิดขึ้นจากการดูด ความหนืดของของไหลไม่ส่งผลต่อการขนส่ง ดังนั้นสารแขวนลอยและตะกอนจึงไม่มีผลต่อการขนส่ง การถ่ายโอนเป็นไปอย่างนุ่มนวลเนื่องมาจากแรงจากการเฉือนต่ำ จึงนำไปใช้กับของไหลที่ไวต่อแรงเฉือนได้เช่นเลือด (เนื่องมาจากเซลล์เม็ดเลือด) นอกจากนี้ปั๊มกดรีดสายยางยังมีคุณสมบัติการทวนซ้ำสูงทำให้เหมาะที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

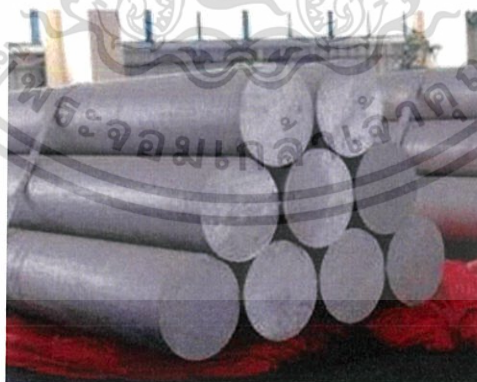
### ข้อดีของปั๊มรีดท่อ

เนื่องมาจากการเป็ยเบนที่เกิดจากการผลิตและการเปลี่ยนท่อ ระบบของปั๊มจะต้องมีการปรับเทียบจนมีความถูกต้องที่ยอมรับได้ เนื่องมาจากการสึกหรอของท่อ มันจึงต้องมีการเปลี่ยนและปรับเทียบใหม่ตลอดเวลา ในกรณีที่มีการใช้งานอย่างยาวนานหรือไม่มีการเปลี่ยนท่อเลยอาจเกิดการรั่ว ในบางกรณีความเฉื่อยทางเคมีก็อาจเป็นข้อเสียได้เช่นกัน มีจังหวะเล็กน้อยที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในขณะที่งาน อัตราการไหลที่ได้จะมีความไวต่อสภาพความแตกต่างของความดันและผลต่างความดันสูงที่สุดจะต่ำกว่าปั๊มเฟืองและปั๊มลูกสูบ (ดุษยโชติ, 2557)

### 2.4 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ

การเลือกใช้วัสดุสำหรับใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรจะเลือกตามความเหมาะสมของการใช้งานในลักษณะต่างๆ สำหรับเครื่องจักรอาหารจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่สัมผัสกับอาหาร ซึ่งวัสดุที่ใช้สำหรับสร้างเครื่อง ประกอบไปด้วยวัสดุ 3 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 สายยางซิลิโคน และเฟรมอลูมิเนียม

เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนเป็นธาตุหลัก ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็ก และยังมีธาตุอื่นผสมอยู่อีก เหล็ก SCM440 มีคุณสมบัติ เหล็กเครื่องมือคาร์บอนปานกลาง มีความเหนียว ทนแรงดึงสูง เหมาะสำหรับทำเครื่องมือ น็อต สกรู เฟลา ก้านสูบและชิ้นส่วนรถยนต์ (อภิชาติ, 2558)

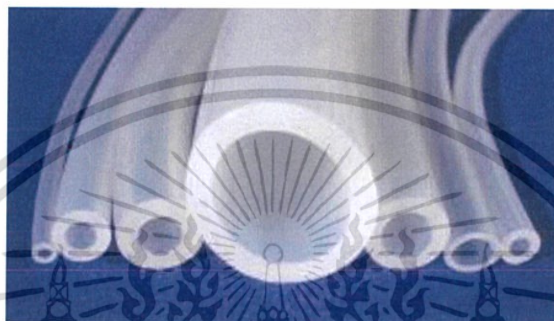


รูปที่ 2.5 เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440

(<http://www.bssteel.co.th/> วันที่สืบค้น 11/04/2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายยางซิลิโคน หมายถึง ใช้สำหรับส่งผ่านของของเหลว น้ำ ลม หรือสารเคมีประเภทต่างๆ เหมาะงานในห้องทดลอง โรงพยาบาล อุตสาหกรรมการแพทย์ โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมอาหาร หรือนิยมใช้เป็นชิ้นส่วนงานประกอบเครื่องจักรต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมทุกประเภท มีคุณสมบัติเด่น ในด้านทนอุณหภูมิร้อนสูง เย็นต่ำของสภาพอากาศ และโอโซนได้ดี ทนน้ำมันหล่อลื่น ปลอดภัย ไม่มีพิษ ไร้กลิ่น และมีความยืดหยุ่นตัวสูง เกรดการผลิตเป็นเกรด อุตสาหกรรมมีมาตรฐานสากล (พลชิต, 2536)

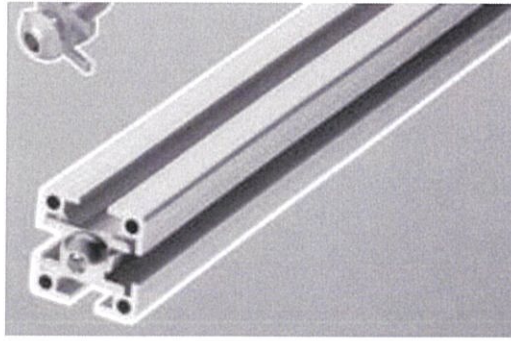


รูปที่ 2.6 สายยางซิลิโคน

(<http://www.silikon.biz.com/> วันที่สืบค้น 11/04/2017)

โคมไฟออลูมิเนียม หมายถึง จุดหลอมเหลว 658 องศาเซลเซียส อลูมิเนียมกลายเป็นไอ 1800 องศาเซลเซียส มักไม่ค่อยมีความคงทนต่อการกัดกร่อน โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่สัมผัสกับอาหารโดยตรง อลูมิเนียมที่ใช้ควรผสมหรือชุบด้วยโลหะอื่นๆ ได้แก่ นิกเกิลหรือโครเมียม ซึ่งนิยมนำมาใช้อุตสาหกรรมอาหารมากกว่า แต่จะต้องเชื่อถือได้ และจะต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานในสภาวะนั้นๆไม่ทำให้แผ่นโลหะหลุดลอกออก มิฉะนั้นจะเกิดการปนเปื้อนสู่อาหารได้ เครื่องมือที่ชุบด้วยสารเคมีหรือชุบด้วยกระบวนการทางเคมีนั้น จะมีความทนทาน และความหนาแน่นสูง ทนต่อการกัดกร่อน ถึงอย่างไรก็ตามการใช้งานนั้นต้องมีความต้านทานการกัดกร่อนของอาหาร ยาฆ่าเชื้อ และน้ำยาทำความสะอาดได้ดี ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ใช้ทำโครงสร้างและชิ้นส่วนเครื่องจักร อลูมิเนียมโพรไฟล์ โครงสร้างอลูมิเนียมโพรไฟล์เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีความสามารถในการรับแรงกดได้สูง สามารถถอดประกอบ และต่อเติมภายหลังได้สะดวก เหมาะสำหรับงานโครงสร้าง ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร สายการผลิต โครงห้องคลีนรูม โต๊ะทำงาน ชั้นวางของ ในโรงงานอุตสาหกรรม (สมศรี, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



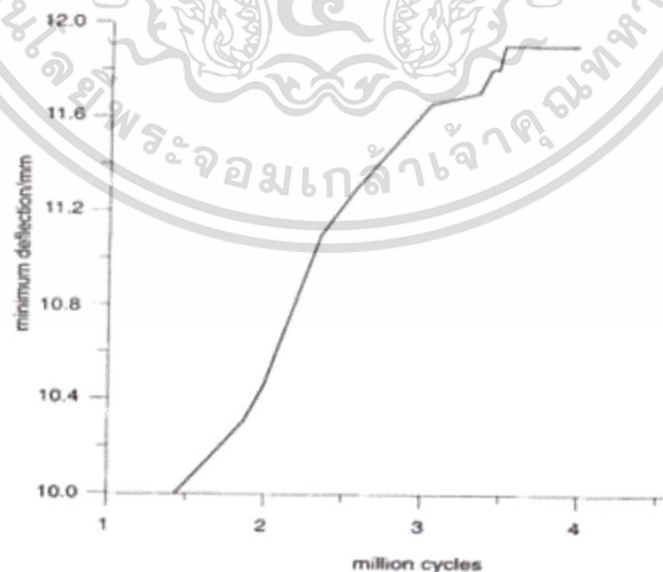
รูปที่ 2.7 โครมอลูมิเนียม

(<http://th.misumi-ec.com/> วันที่สืบค้น 11/04/2017)

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งานของสายยาง

Giles J Peek Heartlink et al.1999 ทำการทดสอบการกัดสายยาง ซึ่งทำการทดสอบการกัดด้วยระยะสุดเต็มท่อพอดีอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเส้นโค้งที่ได้จากการทดสอบถึงจุดที่การโก่งงอไม่เพิ่มขึ้น หลังจากรับแรงเค้นที่ 3.76 ล้านครั้ง เทียบเท่าการใช้งาน 305.8 ชั่วโมงที่ 200 รอบ/นาที จากนั้นทำการตัดท่อและตรวจสอบด้วยสายตาสกล้องจุลทรรศน์ ปรากฏว่าไม่พบรอยแตกและการพังของสายยาง จึงทำการทดลองต่อไปด้วยการกัดที่เกินระยะการอุดของท่อ รอยแตกจากความล้าจะเพิ่มขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การกัดสายยาง (ที่มา : Giles J Peek Heartlink et al.1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดสายยาง

Colas et al. ศึกษาการทำความสะอาดสายยางโดยในสามารถทำได้ทั้ง 2 แบบ คือ

1. ทำความสะอาดสายยางด้วย น้ำที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่น หรือออสโมซิสย้อนกลับ (Water for Injection) ตามด้วยการอัดอากาศที่แห้งในห้องควบคุมบรรยากาศ
2. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำ ตามมาตรฐานวัฏจักรการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำอาศัยแรงโน้มถ่วง ใช้เวลา 30 นาทีที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส หรือใช้วัฏจักรฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำความเร็วสูงใช้เวลา 15 นาทีที่ความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้วอุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากให้ความร้อนวัสดุซิลิโคนทำได้ยากกว่าวัสดุพวกรubber เพราะซิลิโคนมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ดังนั้นอาจต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น



## บทที่ 3

# ทฤษฎีและหลักการ

การออกแบบและสร้างเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง ต้องคำนึงถึงการเลือกแนวคิดในการออกแบบเครื่องและส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง เช่น เพลา มอเตอร์ ลูกเบี้ยว แสดงดังต่อไปนี้

### 3.1 การเลือกแนวคิดในการออกแบบเครื่อง

ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตนั้นสามารถใช้เครื่องจักรหรือวิธีการผลิตในแต่ละขั้นตอนได้หลายแบบหลายแนวคิด โดยแต่ละแนวคิดนั้นต่างก็ให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน แต่แนวคิดทั้งหลายนั้นมีความแตกต่างกันในหลายด้านไม่ว่าจะเป็นวิธีการใช้งาน การใช้พลังงาน การบำรุงรักษา ความปลอดภัย ค่าใช้จ่าย ความสามารถในการผลิต ความซับซ้อนของการทำงาน รวมไปถึงความถูกต้องสุลักษณะ เราสามารถทำการเลือกแนวคิดในการออกแบบได้จากการให้คะแนน โดยใช้ความแตกต่างของแนวคิดแต่ละแบบเป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ (Karl, 2012)

1. Concept screening เนื่องจากในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิตนั้นมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องจักรมากมาย จึงมีการคัดเลือกแนวคิดในการออกแบบเบื้องต้นจากแนวคิดมากมายให้เหลือเพียงแนวคิดที่เหมาะสมที่สุดประมาณ 3 แนวคิดหรือมากกว่า โดยการให้คะแนนตามเกณฑ์การออกแบบต่างๆ ซึ่งจะมีการให้คะแนนเพียง 3 ระดับ คือ

ตารางที่ 3.1 ตารางการให้คะแนนแบบ Concept screening

ระดับ	ความหมาย
-	แย่
0	ไม่แย่และไม่ดี
+	ดี

2. Concept scoring เมื่อได้แนวคิดที่เหมาะสมที่ผ่านการคัดเลือกแนวคิดเบื้องต้น แล้วจะทำการให้คะแนนอีกครั้งแต่จะมีการให้คะแนน 5 ระดับ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.2 ตารางการให้คะแนนแบบ Concept scoring

ระดับ	ความหมาย
1	แย่มาก
2	แย่
3	ไม่แย่และไม่ดี
4	ดี
5	ดีมาก

#### 3.1.1 เกณฑ์การให้คะแนน

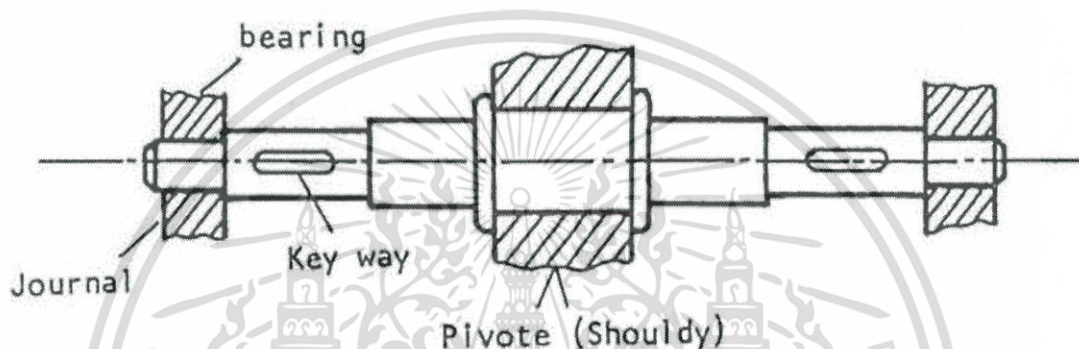
การให้คะแนนนี้เป็นการให้คะแนนในขั้นตอน Concept scoring โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาให้คะแนนในส่วนต่างของเครื่องจักรดังนี้

1. ค่าใช้จ่าย (Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่ทำให้ได้มาซึ่งเครื่องจักร
2. การใช้พลังงาน (Energy Usage) คือ ปริมาณความต้องการการใช้พลังงานที่จะต้องจ่ายเข้าสู่ระบบทั้งหมดเพื่อให้ระบบสามารถดำเนินได้
3. ง่ายต่อการใช้งาน (Easy Usage) คือ การที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมเครื่องจักรได้อย่างง่าย
4. ความซับซ้อน (Complexity) คือ ความซับซ้อนของกลไกการทำงานของเครื่องจักร
5. ง่ายต่อการผลิต (Easily Manufactured) คือ การที่ผู้ผลิตเครื่องจักรสามารถผลิตเครื่องจักรได้อย่างง่าย
6. การบำรุงรักษา (Maintenance) คือ ความสามารถในการทำการบำรุงรักษาเครื่องจักร
7. ความปลอดภัย (Safety) คือ ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในการปฏิบัติงานกับเครื่องจักร
8. ความถูกสุขลักษณะ (Hygienic) คือ โอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนหรืออันตรายสู่ผลิตภัณฑ์อาหารจากการใช้เครื่องจักร รวมไปถึงความสามารถในการทำความสะอาดเครื่องจักรได้อย่างง่าย
9. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Product Quality) คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เพลลา

เพลลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องมือกล ที่มีความสำคัญของระบบส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลลาอยู่ในรูปของโมเมนต์แรงบิด (Torque) ในการส่งกำลังผ่านระหว่างเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่ง จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น เฟือง โซ่ สายพาน ฯลฯ ดังนั้นจึงเกิดแรงซึ่งเกิดจากการขบกันของเฟือง แรงเนื่องจากการฉุดของโซ่ หรือแรงดึงของสายพานมากระทำต่อเพลลาอันเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending moment) ขึ้นบนเพลลาด้วย ดังนั้นขณะที่เพลลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังเพลลาจะรับทั้งโมเมนต์บิดและโมเมนต์ดัดพร้อมๆกัน (Richard, G. et.al., 2011) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปร่างลักษณะของเพลลา (<https://sites.google.com/สืบค้นวันที่1ธันวาคม2559>)

เนื่องจากเพลลาเป็นชิ้นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาการออกแบบเพลลาโดยเฉพาะเพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งาน ดังต่อไปนี้

เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่มีการหมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเดียวกันกับเพลลาแต่ไม่มีการหมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นงานที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลลาและแกนที่นิยมเรียกรวมกันว่า “เพลลา” ไม่ว่าจะชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือหยุดนิ่งก็ตาม

สพินดิล (Spindle) เป็นขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลลาที่แทนหัวกลึง (Head-Shock Spindle) เป็นต้น

สตับชาฟต์ (Stub Shaft) หรือบางครั้งเรียกว่า เฮดชาฟต์ (Head-Shaft) เป็นเพลลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีส่วนที่ยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลานว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลामน (Main Shaft) เป็นเพลาชึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่น ๆ โดยเฉพาะ

แจ๊คชาฟต์ (Jack Shaft) หรือเพลาคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลामน หรือเครื่องจักรกล

เพลอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้ง เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงตัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงแเหล่านี้ยังอาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา ทำให้เพลาสีหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลายังจะต้องมีความแข็งแแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤต ระยะโก่งยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลแบร์ริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

ชนิดของเพลา เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่หมุนได้ เพลาจะรับโมเมนต์บิดที่ถ่ายภาระมาจากล้อเฟืองล้อสายพาน หรือคลัทช์ เพลาจึงสามารถรับภาระบิดและภาระดัด จึงมีการแบ่งเพลาออกเป็น 2 ประเภท คือเพลาส่งกำลัง และเพลารองรับภาระ

เพลาส่งกำลัง (Transmission Shafts) เพลาชนิดนี้ใช้เฉพาะการบิดหรืออาจรับทั้งการบิด การดัดผสมกันก็ได้ การส่งกำลังจะถ่ายทอดผ่านเพลาโดยอาศัยแผ่นประกบต่อเพลา (Coupling) ผ่านเฟือง ผ่านล้อสายพาน (Pulley) ผ่านสายพาน จานโซ่ หรือโซ่

เพลารองรับภาระ (Support Shafts) เป็นเพลาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเช่นเดียวกัน ขณะใช้งานเพลาชนิดนี้อาจหมุนหรือไม่ก็ได้ แต่ที่สำคัญเพลาชนิดนี้ไม่ได้ส่งกำลังจะทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนอื่นให้หมุน เช่น เพลาลูกกรอกสายพาน เพลาลูกกรอกสายพาน เพลาลูกล้อ ซึ่งเป็นเพลาที่รับภาระน้ำหนักของอุปกรณ์อื่นที่กดทับทำให้สภาพการเสียหายของเพลาเกิดการดัดงอเป็นส่วนใหญ่ เช่น เพลาล้อรถไฟ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลากลวง เป็นเพล่าที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบมาเพื่อต้องการลดน้ำหนัก ซึ่งจะมีน้ำหนักเบา กว่าเพล่าตันประมาณ 25% ใช้เพล่าเครื่องกัด เพล่าเครื่องเจาะ ลักษณะของเพล่าจะมีผิวเรียบ และใช้ ทำเพล่าขับเฟืองท้ายรถ แต่ลักษณะเพล่าขับเฟืองท้ายรถยนต์ของเพล่าจะไม่เรียบ

### วัสดุเพล่า

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพล่า นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานและ ภาระที่เพล่าต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพล่าตามขนาด ระบุเพล่า วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพล่าทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ถ้าต้องการให้มีความ เหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพล่า เช่น AISI 1347 , 3140 ,4150 เป็นต้น เพล่าที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมา จากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพล่ามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควร พยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น (Richard, G. et.al., 2011)

### ขนาดของเพล่า

เพื่อให้เพล่ามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐาน ของเพล่า ซึ่งระบุขนาด ใน ISO / R 775-1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถ หาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพล่าด้วยขนาดระบุ ของเพล่า ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดระบุของเพล่าตามมาตรฐาน ISO / R 755 - 1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานบางครั้งการหาขนาดเพลลา เพื่อให้เพลลาทนต่อแรงกระทำอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ เช่นในกรณีเพลลาถูกเปี้ยวในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลลาต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งมีผลทำให้เฟืองหรือแบร็งที่รองรับอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายถึงแม้ว่า ไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตามในทางปฏิบัติแล้วมักให้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรกลส่งกำลังทั่วไปอาจให้มีมุมบิดได้ถึง  $1^\circ$  ต่อความยาวเพลลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาถูกเปี้ยวของเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วซึ่งมีมุมบิดได้ไม่เกิน  $0.5^\circ$  ตลอดความยาวของเพลลาไม่เกิน  $0.3^\circ$  ต่อความยาวเพลลา 1 เมตร สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปอาจใช้มุมบิดได้ถึง  $1^\circ$  ต่อความยาว 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโก่ง เพราะต้องใช้ระยะโก่งของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นสำคัญ ในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพาน เฟืองโคโรนของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร็งสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะโก่งมากเกินไปทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้ อัตราการขบของเฟืองลดลง ทำให้อัตราการส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร็งรองรับเพลลาก็เช่นกัน จำเป็นต้องเลือกแบร็งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้เหมาะสมกับระยะโก่งของเพลลาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแบร็งแบบธรรมดา หรือแบร็งแบบปรับแนวตัวเอง (Self-Aligning Bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะการโก่งเป็นสำคัญในการคำนวณ ASME ได้กำหนดสูตรที่ใช้ในการคำนวณขนาดของเพลลาไว้ โดยได้รวมเอาผลของการล้าต่อเนื่อง เนื่องจากโหลดที่กระทำซ้ำๆกันไว้ด้วยดังนี้

$$\tau_d = \frac{16}{\pi D^3} \sqrt{(C_m M)^2 + (C_t T)^2} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $\tau_d$  คือ  $0.3S_y$   
 $S_y$  คือ yield strength  
 $\tau_d$  คือ ความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา
- $M$  คือ โมเมนต์ดัด
- $T$  คือ แรงบิด
- $C_m$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
- $C_t$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

### 3.3 สปริง

สปริงเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นซึ่งใช้ในเครื่องจักรกลทั่วไป ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนอื่นๆของเครื่องจักรกลจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน แต่สปริงจะมีความยืดหยุ่นมากกว่า สปริงอาจจะมรูปร่างต่างกันและทำจากวัสดุหลายชนิด ซึ่งจำเป็นจะต้องเลือกวัสดุที่ใช้ให้เหมาะสม (ปิยะพงษ์ ,2553)

#### วัสดุสำหรับลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริงส่วนมากจะเป็นไปในรูปของการเก็บพลังงานในสปริงความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาทำสปริง

Hard-drawn wire (ASTM A227) เป็นวัสดุมีราคาถูกที่สุด ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.15 mm จนถึง 16 mm ขดขณะเย็น มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.45% ถึง 0.75% คุณภาพผิวต่ำกว่าชนิดอื่น ดังนั้นไม่ควรใช้กับชิ้นงานที่ต้องการอายุการใช้งานยาวนานมาก และใช้ในชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำในการใช้งานสูง

Music wire (ZSTM A228) ทำโดยวิธี hard-drawn แต่ใช้เหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูง คุณภาพผิวดีเป็นพิเศษ มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.70% ถึง 1.00% ขดขณะเย็นได้ลวดชนิดนี้เป็นลวดที่มีการใช้งานกันมากที่สุดในจำพวกสปริงขนาดเล็ก มีความแข็งแรงสูง และสามารถทนแรงที่กระทำซ้ำกันได้ดีมาก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.10 mm. จนถึง 6.35 mm.

Oil-tempered wire (ASTM A229) ผลิตโดยวิธีการรีดเย็นแล้วจึงชุบแข็ง และอบให้เหนียว (tempered) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.55% ถึง 0.75% มักใช้วิธีขดขณะเย็นตัวแล้วอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิประมาณ 230°C ผิวไม่ดัดแต่ดีกว่า Hard-drawn wire มีราคาสูงกว่า Music wire ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm. จนถึง 16 mm.

Value spring quality carbon steel (ASTM 230) เป็น Oil-tempered wire ที่มีคุณภาพสูงที่สุดมีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.60% ถึง 0.75% มีผิวที่ดีเป็นพิเศษ จึงเหมาะสำหรับใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานกับงานที่อาจเสียหายเนื่องจากความล้า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.50 mm. จนถึง 6.25 mm.

Chrome vanadium steel (ASTM 231) ทนความเค้นได้สูงมาก เหมาะสำหรับรับแรงที่กระทำซ้ำกันเป็นอย่างมาก รับแรงกระแทกได้ดี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm. จนถึง 12.50 mm.

Chrome silicone steel (ASTM A401) เป็นโลหะผสมที่สามารถรับแรงได้สูง และมีคุณสมบัติรับแรงกระแทกได้ดี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.80 mm. จนถึง 12 mm.

Stainless steel (Chrome nickel ASTM A313 หรือ AISI 302) เป็นโลหะที่มีราคาแพง รับแรงได้สูง และสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี เหมาะสำหรับรับแรงกระแทกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 mm. จนถึง 12.50 mm.

#### การคำนวณสปริง

$$n = \frac{G \times d_s}{8kC^3} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนขดทำการของสปริง (ขด)

$G$  คือ โมดูลัสเฉือนของวัสดุ ( $N/mm^2$ )

$d_s$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดสปริง

$C$  คือ กำหนดค่าดัชนีสปริง

#### 3.4 มอเตอร์

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในรูปของการหมุนเครื่องที่มอเตอร์ไฟฟ้ามีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนแม่เหล็กถาวรและส่วนขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์อาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดเหนี่ยวนำ ส่งผลให้เกิดการผลัดกันขึ้นขึ้นของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวร เกิดการหมุนเคลื่อนที่ไปไ้การหมุนเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำและทิศทางการเคลื่อนที่ (ปัญญา,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หลักการการทำงานของมอเตอร์

มอเตอร์ทำงานตามหลักการแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อนำเอาขดลวดพันแกนเหล็กหลายรอบแล้ว ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนั้น แกนเหล็กกลายเป็นสนามแม่เหล็ก(แต่เป็นแบบชั่วคราวเท่านั้น) นำกระแสไฟฟ้าออกจากแกนเหล็กกลายเป็นแกนเหล็กเหล็กธรรมดา กล่าวคือ เมื่อแม่เหล็ก 2 อันมีขั้วต่างกันผลักกัน ดังนั้นในตัวมอเตอร์จึงประกอบด้วยเหล็กที่มีขั้วต่างกับกับแม่เหล็กที่มีขั้วมักเกิดการผลักกัน โดยการผลักกันของสนามแม่เหล็กทั้งสองคือ การหมุนของมอเตอร์นั่นเอง

การนำมอเตอร์ไปใช้งานต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และทิศทางการหมุนมอเตอร์ การป้อนแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าแรงดันปกติของมอเตอร์หมุนช้าลง หรืออาจไม่หมุนและแรงบิดที่ได้มีน้อยลง ในทำนองเดียวกันหากเราป้อนแรงดันสูงกว่าแรงดันที่กำหนด ทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น มอเตอร์อาจเกิดความเสียหาย เช่น ขดลวดไหม้ หรือขาดได้ สิ่งสำคัญในการนำมอเตอร์ไปใช้งานอย่างหนึ่งคือ การที่มอเตอร์รับภาระในการหมุนมากเกินไป หรืออาจทำให้มอเตอร์หมุนไม่ได้ จึงทำให้มอเตอร์เกิดกระแสลัดวงจรในขดลวดและมอเตอร์เสียหาย

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Source) มอเตอร์แบบเบื่องต้นที่ถูกผลิตมาใช้งาน และมอเตอร์กระแสสลับ (AC Source) มอเตอร์ชนิดนี้พัฒนามาจากมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

### การเปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และกระแสสลับ (AC Motor)

มอเตอร์กระแสตรง ข้อดี การควบคุมบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมีมาก มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง ข้อเสีย ต้องบำรุงรักษาบ่อยๆ เนื่องจากมีการสึกหรอง่าย ราคาแพงและขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสสลับ ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน หาแรงไฟฟ้ากระแสตรงได้ยาก ไม่สามารถนำไปใช้ในที่มีสารไวไฟได้

มอเตอร์กระแสสลับ ข้อดีราคาถูกกว่ามอเตอร์กระแสตรง ที่มีขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาน้อยครั้ง แข็งแรงทนทาน ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟหรือสารเคมีได้ มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง ข้อเสีย คือ การควบคุมความเร็วรอบทำได้ยาก ต้องใช้อุปกรณ์ทาง Power Electronics มาควบคุมคือ Inverter ซึ่งค่อนข้างมีราคาสูง

เลือกใช้มอเตอร์กระแสสลับ เนื่องจากประสิทธิภาพสูง การบำรุงรักษาง่าย แข็งแรงทนทาน มีโครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน และยังมีราคาถูกหาซื้อได้ง่ายเพราะเป็นที่นิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกต้อง

ก. แรงม้าที่ต้องใช้ สามารถดูรายละเอียดของมอเตอร์ที่ป้ายบอกคุณสมบัติที่ติดอยู่บนตัวมอเตอร์โดยห้ามเลือกแรงม้าที่ต่ำกว่าที่เครื่องจักรนั้นต้องการ ควรเลือกให้มีขนาดเกินไว้ก่อนให้สามารถเอาชนะภาระแรงเริ่มต้นได้

ข. ความต่างศักย์ไฟฟ้า ควรตรวจสอบจุดที่นำมอเตอร์ไปใช้งานว่ามีความต่างไฟฟ้าให้ตรงกับป้ายบอกคุณสมบัติบนตัวมอเตอร์ เช่น 380 โวลต์ 3 เฟส (สามสาย) หรือ 220 โวลต์ 1 เฟส (สองสาย) และในกรณี 3 เฟส ควรตรวจสอบว่าเป็นชนิดแรงดัน 220/380V (แรงดันไฟต่ำ) หรือ 380/660V (แรงดันไฟสูง)

ค. รอบในการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปมีค่า 1450-1500 รอบต่อนาที ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ สำหรับการใช้งานจำเป็นต้องมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในการปรับความถี่ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

### การคำนวณกำลังมอเตอร์

เมื่อต้องการจะคำนวณหา กำลังของมอเตอร์จะเริ่มที่แรง F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลลาทำให้เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบ  $n$  รอบต่อนาที ขณะที่เพลลาหมุนไป 1 รอบ การคำนวณหา กำลังมอเตอร์สามารถคำนวณหาได้ ดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $P$  คือ กำลังที่เพลลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

$T$  คือ โมเมนต์แรงบิด มีหน่วยเป็น N.m

$N$  คือ ความเร็วรอบของเพลลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm, รอบ =  $2\pi$  เรเดียน)

$R$  คือ รัศมีของเพลลา มีหน่วยเป็นเมตร

## 3.5 ลูกเบี้ยว

ลูกเบี้ยว เป็นส่วนประกอบของระบบกลไกลูกเบี้ยวตัวตาม องค์ประกอบพื้นฐานของรูปแบบ

ลูกเบี้ยวประกอบด้วย 4 อย่าง คือ ลูกเบี้ยว ตัวตาม รูปแบบตัวตาม และตัวขับ การทำงานของลูกเบี้ยวเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

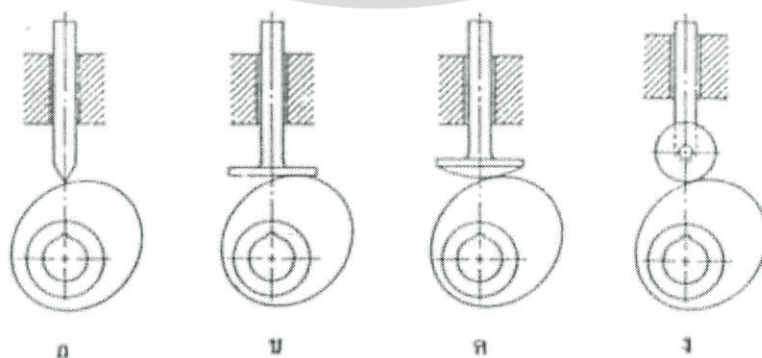
เข็ยวนั้นจะถูกกำหนดไว้โดย เส้นรอบรูปของลูกเข็ยว (Cam Profile) ที่ทำให้ตัวตาม (Follower) เคลื่อนที่ในรูปแบบที่กำหนดไว้ ระบบกลไกลูกเข็ยวอาจจะออกแบบได้หลากหลายในทางกายภาพ จำนวนของรูปแบบอื่นๆที่ใช้กันทั่วไป จำแนกตามลูกเข็ยว และชนิดของตัวตามซึ่งในแต่ละรูปร่าง เหมาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน การเคลื่อนไหว (Motion Events) และพื้นฐานเส้นโค้ง (Basic curve) เป็นการเคลื่อนไหวของระบบตัวตามจะขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนไหวเชิงมุมของลูกเข็ยว เส้นโค้งพื้นฐานถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเส้นโค้งแบบต่างๆ และออกแบบรูปร่างลูกเข็ยว (วุฒิชัย, 2555)

### 3.5.1 ชนิดลูกเข็ยว

กลไกลูกเข็ยวสามารถจำแนกประเภทได้หลากหลายเนื่องจากการใช้งานในรูปแบบที่ต่างกัน เพื่อให้สะดวกต่อการเลือกใช้ออกแบบ จึงมีการจำแนกเป็น ลักษณะรูปร่างของตัวตาม ตำแหน่งของตัวตาม และลักษณะรูปร่างของลูกเข็ยว

ลักษณะรูปร่างตัวตามสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท

1. ตัวตามแบบปลายแหลม ตัวตามลักษณะปลายแหลมจะมีความไวสูงในการเคลื่อนไหว นำมาใช้กับลูกเข็ยวที่มีแรงกระทำบนผิวสัมผัสของลูกเข็ยวไม่มากเนื่องจากถ้ามีแรงกระทำมากอาจมีแนวโน้มสูงที่จะมีการชำรุดหรือปลายของตัวตามสึกหรือ ตัวตามประเภทนี้นิยมนำมาใช้ในการออกแบบศูนย์กลางของตัวตามแบบลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 3.2 ก.
2. ตัวตามแบบแบน เหมาะกับการใช้งานลูกเข็ยวที่มีความชันสูง จะทำให้ไม่เกิดการอัด การโก่งก่อก่อให้เกิดความเครียดของพื้นผิวสูงและมีความไวในการตอบสนองต่ำสุด ดังรูปที่ 3.2 ข.
3. ตัวตามแบบปลายกลม มีรัศมีผิวหน้าที่จะช่วยลดการโก่งของพื้นผิว ดังรูปที่ 3.2 ค.
4. ตัวตามแบบลูกกลิ้ง ตัวตามแบบนี้นิยมใช้ที่สดุเนื่องด้วยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ สามารถรับแรงและถ่ายแรงได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวตามแบบอื่นๆ ดังรูปที่ 3.2 ง.



รูปที่ 3.2 ประเภทของตัวตาม (ที่มา : วุฒิชัย กปิลกาญจน์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเห็นชอบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

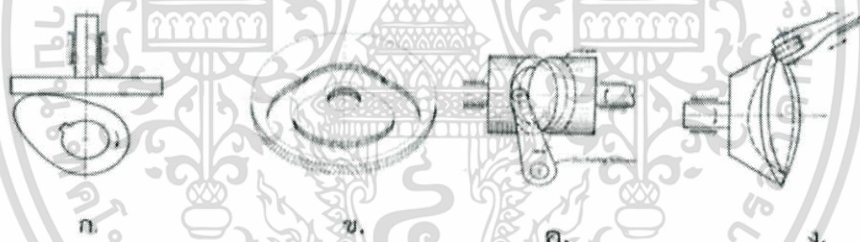
### ลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท

1. ลูกเบี้ยวแบบแผ่น (Plate cam or disc cam) เป็นรูปโลหะแผ่นซึ่งมีเส้นรอบรูปเป็นลูกเบี้ยว วงกลมตรงกลางเป็นเพลาลูกเบี้ยว ตัวตามจะเคลื่อนในแนวตั้งฉากกับแกนการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว ทำให้การเคลื่อนตำแหน่งของตัวตามอาจอยู่ในแนวรัศมี หรือแกว่งขึ้นลง ดังรูปที่ 3.3 ก.

2. ลูกเบี้ยวแผ่นร่อง (Groove cam or closed cam) เป็นลูกเบี้ยวแบบแผ่นมีร่อง โดยตัวตามเคลื่อนที่ไปตามแนวร่องบนพื้นผิวหน้าของลูกเบี้ยว ดังรูปที่ 3.3 ข.

3. ลูกเบี้ยวทรงกระบอก (Cylindrical cam or barrel cam) ประกอบไปด้วยวัตถุรูปทรงกระบอกที่หมุนรอบแกนของตัวเอง โดยมีปลายด้านในด้านหนึ่งกลึงหรือทำการกัดเป็นร่องเพื่อเป็นเส้นทางการเคลื่อนไหวของตัวตาม ดังรูปที่ 3.3 ค.

4. ลูกเบี้ยวแบบปลายขอบ (End cam) เป็นลูกเบี้ยวที่มีการหมุนเพียงบางส่วนของทรงกระบอก กรวย หรือทรงกลม ซึ่งตัวตามจะมีการแกว่งไปมาในแกนตั้งฉากกับแกนลูกเบี้ยว ตัวตามอาจจะเคลื่อนไหวในแนวรัศมีหรือแกว่งไปมาเนื่องจากลูกเบี้ยวหมุน มักจะไม่ค่อยพบเห็นในการใช้งาน เพราะด้วยราคาและความยากในการตัดแต่งรูปร่างลูกเบี้ยว ดังรูปที่ 3.3 ง.

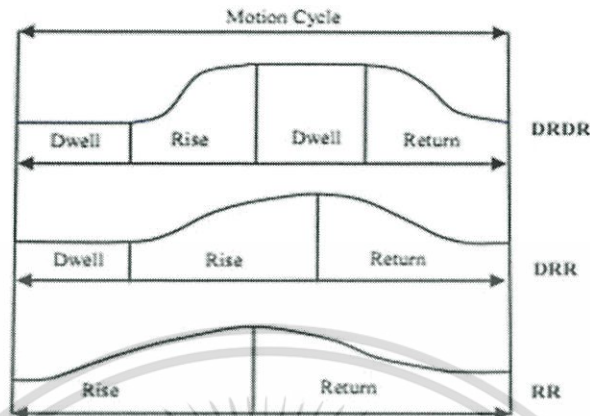


รูปที่ 3.3 ประเภทของลูกเบี้ยว (ที่มา: Harold A.Rothbart.)

การเคลื่อนไหวและเส้นโค้งพื้นฐาน (Motion Events and Basic Curves) เมื่อลูกเบี้ยวหมุนครบรอบหนึ่ง ตัวตามจะมีการเคลื่อนที่เป็นลักษณะเคลื่อนที่ไป (Rise) คือการที่ตัวตามเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยว ช่วงอยู่กับที่ (Dwell) เป็นช่วงเวลาในตัวตามไม่มีการเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่กลับ (Return) คือการที่ตัวตามเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยว ลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวตามได้รับการออกแบบโดยสังเขป ดังนี้ ช่วงอยู่กับที่-เคลื่อนที่ไป-ช่วงอยู่กับที่-เคลื่อนที่กลับ (Dwell-Rise-Dwell-Return , DRDR) เป็นการเคลื่อนไหวชนิดพื้นฐาน ที่จะมีช่วงอยู่กับที่ก่อนเริ่มการเคลื่อนที่ไป และอยู่กับที่หลังการเคลื่อนที่ไปจากนั้นก็เคลื่อนที่กลับ ช่วงอยู่กับที่-เคลื่อนที่ไป-เคลื่อนที่กลับ-ช่วงอยู่กับที่ (Dwell-Rise-Return-Dwell, DRRD or DRD) ในกรณีนี้ไม่มีช่วงหยุดอยู่กับที่ในระหว่างเคลื่อนที่ไปและเคลื่อนที่กลับ จึงได้ว่าช่วงอยู่กับที่เป็นจุดสูงสุดของจังหวะการเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ไป-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่กลับ-เคลื่อนที่ไป (Rise-Return-Rise, RRR or RR) ในกรณีนี้ไม่มีช่วงอยู่กับที่ การเคลื่อนไหวสามารถปรับใช้ได้กับระบบขึ้นต่อโยง การเคลื่อนไหวทั้งสามแบบ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเคลื่อนไหวของตัวตามเมื่อลูกเบี้ยวหมุนหนึ่งรอบ  
(ที่มา: Laxmi Kant Sahu et.al., 2016.)

เส้นโค้งเคลื่อนไหวทั่วไปได้รับการออกแบบโดยใช้เส้นโค้งไซน์ ความเร่งและความเร็วโดยนำมาใช้สร้างเส้นโค้งพื้นฐาน เส้นโค้งพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของตัวตามที่พบโดยทั่วไป

ความเร็วคงที่ เส้นโค้งในแผนผังการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง การเคลื่อนที่มีความเร็วคงที่ทำให้มีความสม่ำเสมอ ความเร่งเป็นศูนย์ ในทางทฤษฎีถ้าความเร็วเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้ความเร่งมีค่า

ความเร่งคงที่หรือความหน่วงคงตัว เส้นโค้งในแผนผังการเคลื่อนที่เป็นแบบพาราโบลา มีความเร่งที่เป็นได้ทั้งบวกและลบ มีการเปลี่ยนแปลงความเร่งอย่างไร้ที่จุดการเปลี่ยนแปลง ความเร่งคงที่ทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวตามบนผิวลูกเบี้ยวราบเรียบตามเส้นโค้งในแผนผังการเคลื่อนที่

ฮาร์มอนิก เส้นโค้งนี้มีการปรับปรุงดีกว่าเส้นโค้งความเร็วคงที่และเส้นโค้งความเร่งคงที่ มีความเรียบและต่อเนื่องกว่าแบบความเร่งคงที่ แต่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันที่ช่วงอยู่กับที่ เมื่อใช้ในลูกเบี้ยวแบบ ช่วงอยู่กับที่-เคลื่อนที่ไป-ช่วงอยู่กับที่ (Dwell-Rise-Dwell) ในการรวมกับเส้นโค้งอื่นเป็นประโยชน์ในการใช้งานลูกเบี้ยวแบบ ช่วงอยู่กับที่-เคลื่อนที่ไป-เคลื่อนที่กลับ-ช่วงอยู่กับที่ (Dwell-Rise-Return-Dwell)

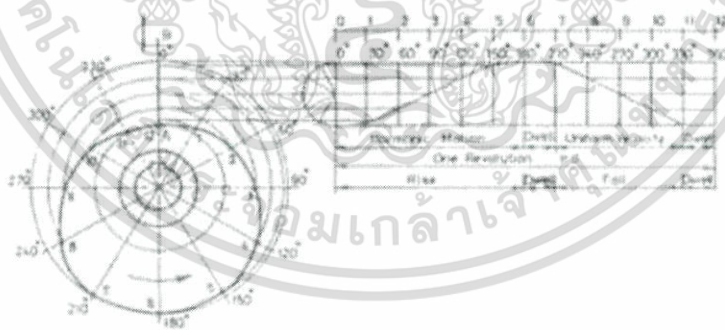
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซโลเตียล เป็นเส้นโค้งมีการพัฒนามาจากจุดของแนวเส้นบนวงกลมกับลูกกลิ้งบนแนวเส้นตรง เส้นโค้งนี้นิยมมากในความเร็วสูง เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนความเร่งฉับพลันที่ปลายอยู่นิ่งมีการสั่น การสึกหรอและความเครียดน้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นโค้งพื้นฐานทั้งหมด

### 3.5.2 การออกแบบลูกเบี้ยว

แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. วิธีกราฟิก (Graphic) กำหนดแบบการเคลื่อนที่ของตัวตามเป็นสิ่งแรก แล้วออกแบบรูปร่างของลูกเบี้ยวที่จะทำให้ตัวตามเคลื่อนที่ตามแบบที่กำหนด โดยวิธีนี้เหมาะสำหรับการใช้ในการออกแบบลูกเบี้ยวที่มีความเร็วรอบต่ำ ขั้นตอนแรก วาดวงกลมฐานของลูกเบี้ยว โดยฐานวงกลมคือวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่สั้นที่สุดจากการหมุนถึงผิวโค้งลูกเบี้ยว วงกลมฐานที่สั้นที่สุดจะต้องมากกว่าเพลาลูกเบี้ยวที่ลูกเบี้ยวจะสวม ขั้นตอนที่สองสร้างแผนผังการเคลื่อนที่โดยให้แกนนอนเป็นเส้นรอบวงของลูกเบี้ยวที่แผ่ออกมาเป็นเส้นตรงมีระยะทางเป็นองศา แกนตั้งเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวตามในแนวตั้ง เมื่อองศาการหมุนเปลี่ยน ตัวตามจะเคลื่อนตามผิวโค้ง ทำให้ได้ผิวโค้งของเส้นรอบรูป ขั้นตอนที่สามหมุนตัวตามไปรอบจุดศูนย์กลางของวงกลมฐานลูกเบี้ยว จากนั้นเคลื่อนตัวตามออกไปตามระยะที่ได้จากแผนผังการเคลื่อนที่ในช่วงการหมุนองศาของลูกเบี้ยว และขั้นตอนสุดท้ายเขียนเส้นรอบรูปของลูกเบี้ยว โดยเขียนให้สัมผัสกับตัวตามเพื่อให้ได้เส้นโค้งลูกเบี้ยว ดังรูปที่ 3.5 (กิตติ, 2529)



รูปที่ 3.5 การออกแบบลูกเบี้ยวโดยวิธีกราฟิก (ที่มา: Harold A.Rothbart.)

2. วิธีการวิเคราะห์ (Analysis) กำหนดรูปร่างของลูกเบี้ยวแล้วพิจารณา การขจัด ความเร็ว และความเร่งของตัวตามที่เกิดจากรูปร่างของลูกเบี้ยวตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบและวางแผนการทดลอง

#### 4.1 การให้คะแนนเครื่องเพื่อตัดสินใจเลือกออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง

##### 4.1.1 ประเภทของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง

มีทั้งหมด 4 ประเภท ที่จะนำมาให้คะแนน

1. ปัมเฟืองนอก (External gear pump)
2. ปัมรีดสายยางเชิงเส้น (Linear peristaltic pump)
3. ปัมสกรู (Screw pump)
4. ปัมลูกสูบ (Piston pump)

ตารางที่ 4.1 การให้คะแนนแนวความคิดในการออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง

การเลือก	น้ำหนัก	แบบเฟืองนอก		แบบสกรู		แบบลูกสูบ		แบบรีดสายยาง	
		ระดับ	คะแนนรวม	ระดับ	คะแนนรวม	ระดับ	คะแนนรวม	ระดับ	คะแนนรวม
ราคา	15%	4	0.60	1	0.15	2	0.30	3	0.45
การใช้พลังงาน	8%	3	0.24	3	0.24	3	0.24	3	0.24
ง่ายต่อการใช้งาน	15%	1	0.15	1	0.15	3	0.45	3	0.45
ความซับซ้อน	15%	2	0.30	2	0.30	2	0.30	4	0.60
ง่ายต่อการผลิต	15%	2	0.30	2	0.30	2	0.30	2	0.30
การบำรุงรักษา	10%	1	0.10	1	0.10	2	0.20	3	0.30
ความปลอดภัย	8%	2	0.16	2	0.16	4	0.32	4	0.32
ความถูก สุลักษณะ	14%	2	0.28	2	0.28	3	0.42	3	0.42
รวม	100%	17	2.13	13	1.68	22	2.53	25	3.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เหตุผลของการให้คะแนน

1. ค่าใช้จ่าย (Cost) : เนื่องจากลูกสูบมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยมากกว่าเมื่อเทียบกับปั๊มชนิดอื่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรมีแนวโน้มที่จะสึกหรอ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจะสูง วาล์วต้องทนต่อสารกัดกร่อนจากของแข็งที่เคลื่อนที่ผ่าน แบบรีดสายยางมีความต้องการในการบำรุงรักษาต่ำ การขาดวาล์วซีลและต่อม ทำให้แบบนี้มีราคาไม่แพงนักในการบำรุงรักษา แต่ต้องมีการเปลี่ยนท่อเป็นระยะๆ
2. การใช้พลังงาน (Energy Usage) : ทั้ง 4 แบบ มีการลำเลียงปริมาณของวัตถุดิบที่แน่นอน เป็นลักษณะการแทนที่ จึงมีการสูญเสียพลังงานน้อย
3. ง่ายต่อการใช้งาน (Easy Usage) : แบบลูกสูบมีช่วงความดันกว้างสามารถเข้าถึงแรงดันสูง และสามารถควบคุมแรงดันได้โดยไม่ส่งผลต่ออัตราการไหล ปั๊มลูกสูบบี้อัตราการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงความดันและอัตราการปลดปล่อยมีผลน้อยที่สุดต่อสมรรถนะ
4. ความซับซ้อน (Complexity) : แบบรีดสายยางเป็นแบบที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด สามารถเข้าใจกลไกการทำงานได้ง่ายกว่าแบบอื่น
5. ง่ายต่อการผลิต (Easily Manufactured) : เนื่องจากทั้ง 4 แบบ มีการผลิตที่ยากต่อการขึ้นรูปเหมือนกันทำให้มีคะแนนเท่ากัน
6. การบำรุงรักษา (Maintenance) : เนื่องจากทั้ง 3 แบบ มีการที่ถอดเครื่องและติดตั้งเครื่องยาก แต่แบบรีดสายยางมีความต้องการในการบำรุงรักษาต่ำ เนื่องจากจะติดตั้งเพียงสายยาง
7. ความปลอดภัย (Safety) : เนื่องจากแบบลูกสูบกับแบบรีดสายยางมีความปลอดภัยในการลำเลียงและการถอดล้างทำความสะอาด
8. ความถูกสุขลักษณะ (Hygienic) : แบบเฟืองนอกและสกรู การออกแบบมีบริเวณร่องฟันเฟืองอาจเกิดการสะสมของผลิตภัณฑ์มาก ทำให้ต้องทำความสะอาดนานจึงทำให้ได้คะแนนน้อย

จากเหตุผลการให้คะแนนเครื่องเพื่อตัดสินใจเลือกออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด ผู้เขียนจึงเลือกใช้แบบปั๊มรีดสายยาง ซึ่งมีคะแนนมากเป็นอันดับที่หนึ่งจากตัวเลือกทั้งหมด

## 4.2 การออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด

### 4.2.1 ส่วนประกอบที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ

1. เพลาตัน ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร
2. ลูกเบี้ยว ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 จำนวน 9 ตัว ความหนาขนาด 10 มิลลิเมตร
3. ลูกสูบ ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 จำนวน 9 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สปริง จำนวน 9 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร
5. สายยางซิลิโคน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 25 และ 33 มิลลิเมตร
6. โครงอลูมิเนียม

#### 4.2.2 การคำนวณและการออกแบบ

การออกแบบเพลลา จากสมการ 
$$\tau_d = \frac{16}{\pi D^3} \sqrt{(C_m M)^2 + (C_t T)^2}$$

เมื่อ  $\tau_d$  คือ ค่าความเค้นเฉือน เลือกใช้ค่า  $41 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  สำหรับเพลลาที่มีร่องลึ้ม

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา

$M$  คือ โมเมนต์ดัด

$T$  คือ แรงบิด

$C_m$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

$C_t$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ค่าที่เลือกใช้  $C_m = 1.5$  และ  $C_t = 1$

#### การคำนวณหาโมเมนต์บิด (T)

- ลูกเบี้ยว ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 ความหนาขนาด 10 มิลลิเมตร น้ำหนัก 0.4 กิโลกรัม จำนวน 9 ตัว น้ำหนักทั้งหมด 3.6 กิโลกรัม
- น้ำหนักเพลลาตัน ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน SCM440 น้ำหนัก 2 กิโลกรัม
- สปริง ค่า shear modulus (G) 35 GPa

การออกแบบโมเมนต์บิด (T) จากสมการ  $T = F \times r$

ต้องใช้แรงขับลูกเบี้ยว  $F_1 = ma$

$$F_1 = 3.6 \times 9.81 = 35.32 \text{ N}$$

ต้องใช้แรงขับเพลลาตัน

$$F_2 = 2 \times 9.81 = 19.62 \text{ N}$$

แรงที่ทำกับสปริง

$$F_3 = kx$$

เมื่อ  $K$  คือ ค่านิจสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านิจสปริง

$$K = \frac{Gd^4}{8D^3N_a}$$

$$K = \frac{35 \times 10^9 \times 0.002^4}{8 \times 0.022^3 \times 8} = 821.75$$

แรงที่ทำกับสปริง

$$F_3 = 821.75 \times 0.033 \times 9 = 244.05 \text{ N}$$

โมเมนต์บิด (T)

$$T = (F_1 + F_2 + F_3) \times 0.025 = 7.47 \text{ N.m}$$

การคำนวณหาคำลังมอเตอร์ (Motor)

จากสมการ

$$W_p = 2\pi nT$$

เมื่อ

$W_p$  คือ กำลังมอเตอร์ (Watt)

$n$  คือ ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

$T$  คือ โมเมนต์บิด

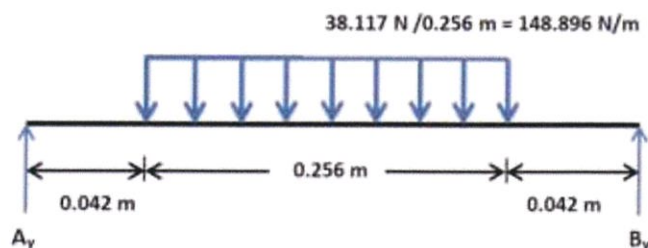
จะได้

$$W_p = 2\pi \left(\frac{49}{60}\right) T$$

$$W_p = 2\pi \left(\frac{49}{60}\right) \times 7.47 = 38.33 \text{ watt}$$

การคำนวณหาโมเมนต์ตัด (M)

เพลลา ประกอบด้วย มวลของลูกเบียร์จำนวน 1 ตัว เท่ากับ 0.4317 กิโลกรัม มีลูกเบียร์จำนวน 9 ตัว น้ำหนัก 3.886 กิโลกรัม หรือ 38.117 นิวตัน สามารถแสดง Free body diagram ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 Free body diagram ของเพลลาตัน (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Sigma F = 0$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

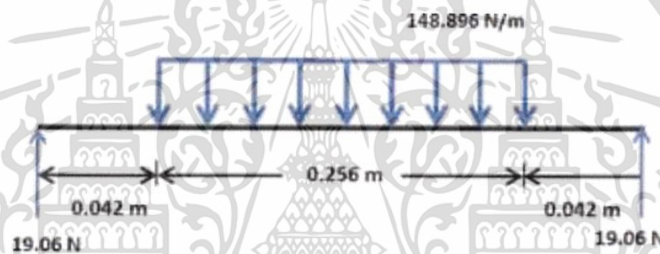
$$A_y + B_y = 38.117 \text{ N}$$

เนื่องจากแรงที่กระทำและระยะทั้ง 2 ด้านสมมาตร ดังนั้นจะได้  $A_y = B_y$

แทนค่า  $2A_y = 38.117$

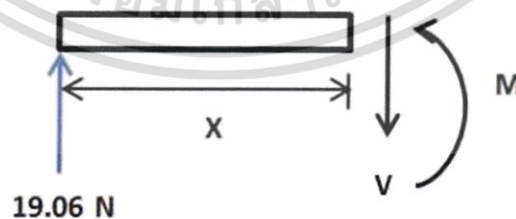
$$A_y = B_y = 19.06 \text{ N}$$

แสดงค่าของแรงที่กระทำบนเพลาดันทั้งหมด ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Free body diagram ที่แสดงค่าของแรงที่กระทำบนเพลาดันทั้งหมด

การตัดคานครั้งที่ 1 ในช่วงความยาว  $0 \text{ m.} < x < 0.042 \text{ m.}$



รูปที่ 4.3 ภาพจำลองแรงและโมเมนต์ตัดภายในเพลาดันช่วงความยาว 0 ถึง 0.042 เมตร

$$\Sigma M = 0$$

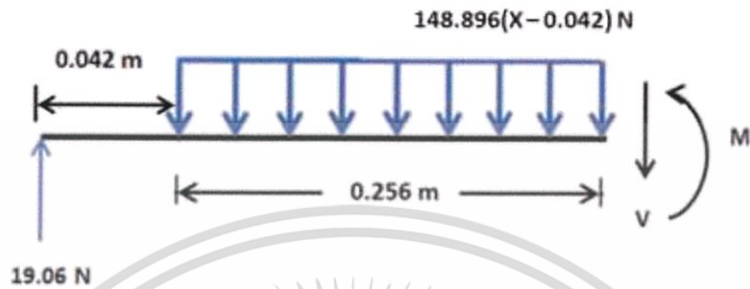
$$M = 19.06X \text{ Nm.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะ  $X = 0 \text{ m.}$  ;  $M = 0 \text{ Nm.}$

$X = 0.042 \text{ m.}$  ;  $M = 0.8 \text{ Nm.}$

การตัดคานครั้งที่ 2 ในช่วงความยาว  $0.042 \text{ m} < X < 0.298 \text{ m}$



รูปที่ 4.4 ภาพจำลองแรงและโมเมนต์ตัดภายในเพลาดัน ช่วงความยาว  $0.042 < x < 0.298$  เมตร

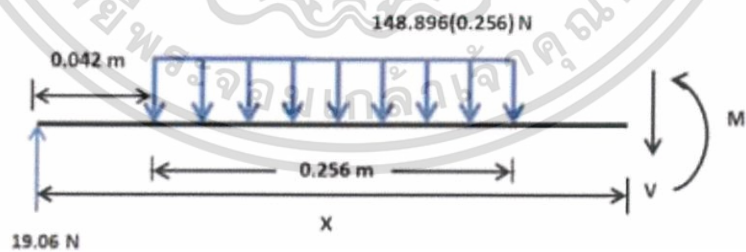
$$\Sigma M = 0$$

$$M = 19.06x - \frac{148.896}{2} (x - 0.042)^2$$

ที่ระยะ  $X = 0.042 \text{ m.}$  ;  $M = 0.8 \text{ Nm.}$

$X = 0.298 \text{ m.}$  ;  $M = 0.8 \text{ Nm.}$

การตัดคานครั้งที่ 3 ในช่วงความยาว  $0.298 \text{ m} < x < 0.34 \text{ m}$



รูปที่ 4.5 ภาพจำลองแรงและโมเมนต์ตัดภายในเพลาดัน ช่วงความยาว  $0.298 < x < 0.34$  เมตร

$$\Sigma M = 0$$

$$M = 19.06X - 38.117(X - 0.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะ  $X = 0.298 \text{ m.}$  ;  $M = 0.8 \text{ Nm.}$

$X = 0.34 \text{ m.}$  ;  $M = 0 \text{ Nm.}$

เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด คือ  $0.8 \text{ Nm.}$

แทนค่าลงในสมการที่

$$\tau_d = \frac{16}{\pi D^3} \sqrt{(C_m M)^2 + (C_t T)^2}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi(41 \times 10^6)} [(1 \times 7.795)^2 + (1.5 \times 0.8)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$d = 9.932 \times 10^{-3} \text{ m. หรือ } 9.932 \text{ mm.}$$

เพราะฉะนั้นเพลาดันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ  $10 \text{ มิลลิเมตร}$

ดังนั้น การออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหีบแบบการรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ กำหนดให้

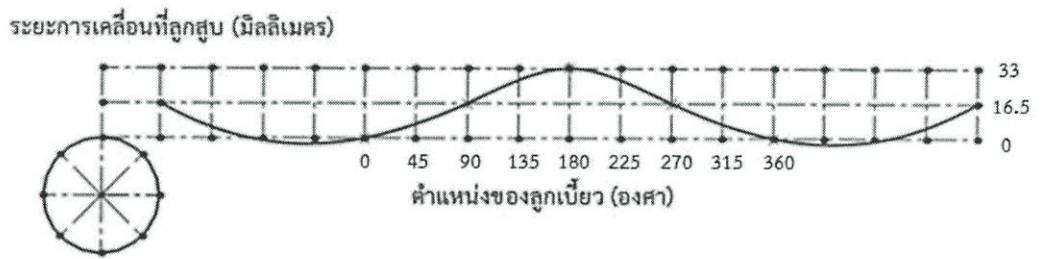
1. ขนาดฐานลูกเบี้ยว (Base circle)  $55 \text{ มิลลิเมตร}$
2. ตำแหน่งลูกเบี้ยวแต่ละลูกต่างกัน  $45 \text{ องศา}$
3. ระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ  $33 \text{ มิลลิเมตร}$
4. ระยะยุบตัวสปริง  $33 \text{ มิลลิเมตร}$
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายยางภายในและภายนอก  $25 \text{ และ } 33 \text{ มิลลิเมตร}$

#### 4.2.3 ออกแบบจำลองในโปรแกรม SolidWorks

การออกแบบลูกเบี้ยว

1. วาดวงกลมฐานของลูกเบี้ยว (base circle) โดยฐานวงกลมคือวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่สั้นที่สุดจากการหมุนถึงผิวโค้งลูกเบี้ยว วงกลมฐานที่สั้นที่สุดจะต้องมากกว่าเพลาลูกเบี้ยวที่ลูกเบี้ยวจะสวมสร้างแผนผังการเคลื่อนที่โดยให้แกนนอนเป็นเส้นรอบวงของลูกเบี้ยวที่แผ่ออกมาเป็นเส้นตรงมีระยะทางเป็นองศา แกนตั้งเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวตามในแนวตั้ง เมื่อองศาการหมุนเปลี่ยน ลูกสูบจะเคลื่อนตามผิวโค้ง ทำให้ได้ผิวโค้งของเส้นรอบรูป โดยกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานขนาด  $55 \text{ มิลลิเมตร}$  ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่ทำให้ลูกสูบอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางลูกเบี้ยวมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



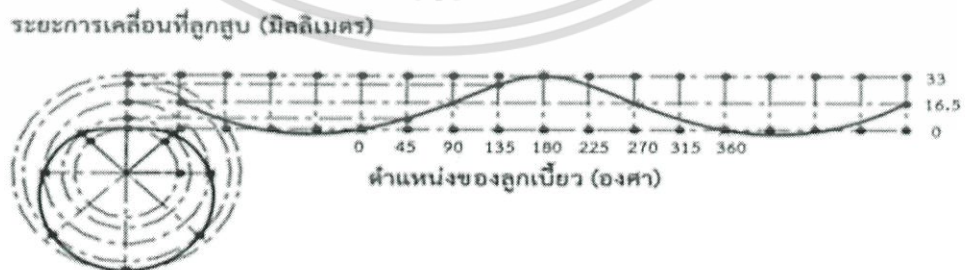
รูปที่ 4.6 การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 (1)

2. เมื่อองศาการหมุนของลูกเบี้ยวเปลี่ยน ลูกสูบจะเคลื่อนตามผิวโค้ง ทำให้ได้ผิวโค้งของเส้นรอบรูปลูกเบี้ยว



รูปที่ 4.7 การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 (2)

3. เขียนเส้นรอบรูปของลูกเบี้ยว โดยเขียนให้สัมผัสกับลูกสูบเพื่อให้ได้เส้นโค้งลูกเบี้ยว



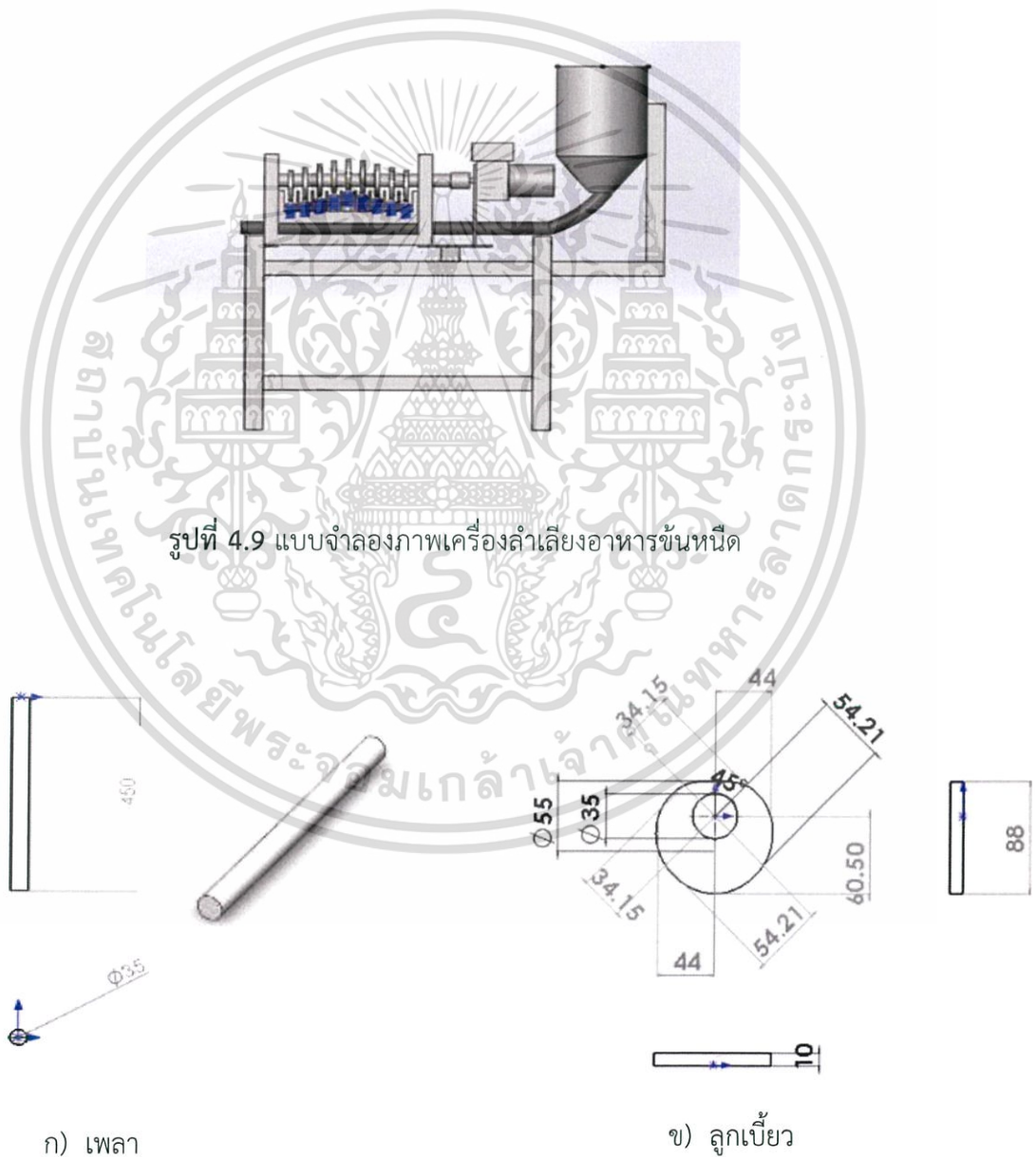
รูปที่ 4.8 การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

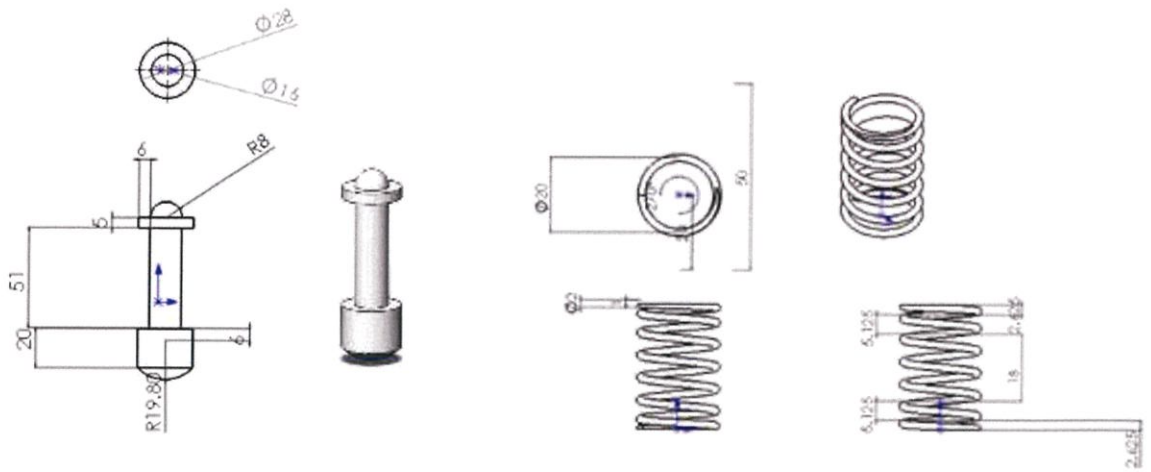
### 4.3 การวางแผนการทดลอง

#### 4.3.1 วัสดุุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. น้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และเนื้อหมูบด
2. มอเตอร์ขนาด 40 วัตต์
3. เครื่องปรับความเร็วรอบ
4. สายยางซิลิโคน
5. เครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืดในสายยางจากการกดเป็นจังหวะ ดังรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11

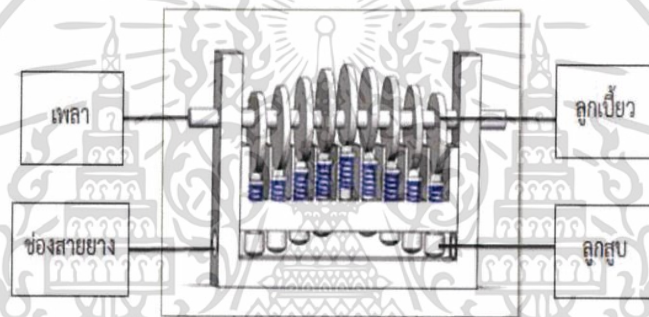


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



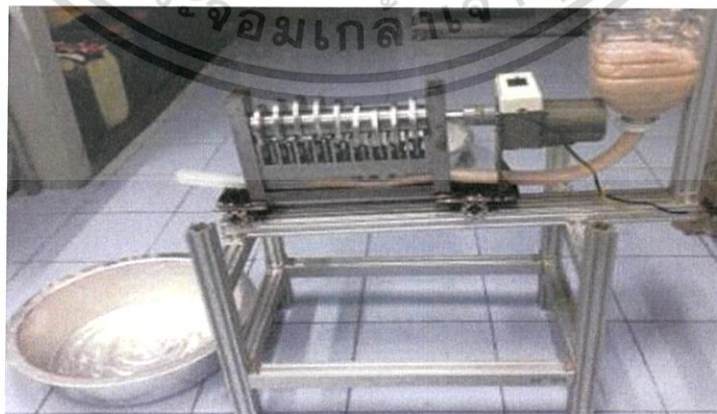
ค) ลูกสูบ

ง) สปริง



รูปที่ 4.10 ส่วนประกอบของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง

ก) เพลลา ข) ลูกเบี้ยว ค) ลูกสูบ ง) สปริง



รูปที่ 4.11 เครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

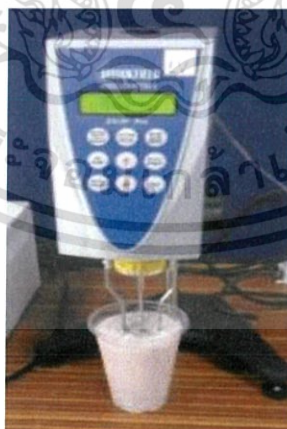
### 4.3.2 วิธีการทดลอง

#### 4.3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการทดลองแต่ละครั้ง จะใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และเนื้อหีบุดปริมาณ 5 กิโลกรัม โดยนำมาจากบริษัท 505 โภคภัณฑ์ จำกัด โดยป้อนเข้าถังป้อน และเตรียมสายยางซิลิโคน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก เท่ากับ 25 และ 33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความยาว 1 เมตร โดยซื้อมาจากบริษัท พีทีไอ โกลบอล โปรดักส์ จำกัด ท่อยางซิลิโคนฟู้ดเกรด ผลิตจากยางซิลิโคน (รุ่นTU-QS 25×33) เป็นไปตามมาตรฐาน (FDA Reg.21 CFR177.2600) สายยางมีคุณสมบัติสัมผัสอาหารได้ อุณหภูมิใช้งานระหว่าง -60 ถึง 200 องศาเซลเซียส ทนแรงดึงได้มากกว่า 5.5 MPa ทนแรงกดได้สูงสุด 30 MPa และมีเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของสายยาง (Compression Set) 5 เปอร์เซ็นต์

#### 4.3.2.2 การทดสอบความหนืด

ทำการเปิดเครื่อง Brookfield Digital Rheometer (รุ่น LV DV-II+P) อย่างน้อย 30 นาที ก่อนทดสอบ เตรียมน้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และเนื้อหีบุดของลูกชิ้น บรรจุใส่ปิกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำแท่งโลหะทรงกระบอกจุ่มลงในปิกเกอร์ ดังรูปที่ 4.12 เพื่อทำการวัดค่าความหนืด ได้ค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิห้อง และเนื้อหีบุดของลูกชิ้น เท่ากับ 4.8 mPa.s และ 2,510 mPa.s ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 การทดสอบความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Rheometer (รุ่น LV DV-II+P)

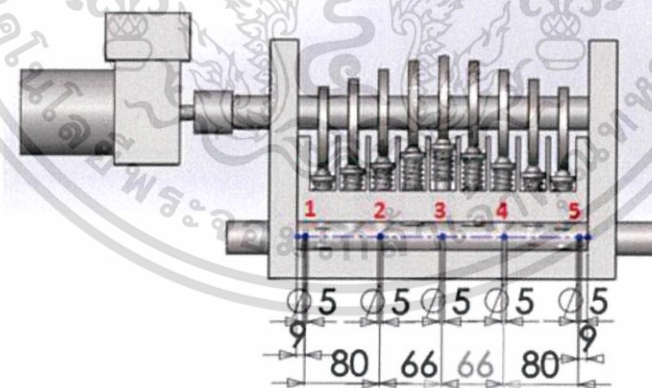
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2.3 การทดลองปรับค่าความเร็วรอบที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของอาหารชั้นหนืด

ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และเนื้อหมูปดของลูกชิ้น ที่เตรียมไว้เข้าไปยังถังป้อนที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร ให้ไหลลงในสายยาง จากนั้นปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 25, 30, 35, 40, 45 และ 49 รอบต่อนาที เนื่องจากหากเริ่มต้นใช้ความเร็วรอบที่ต่ำกว่า 25 รอบต่อนาที เครื่องลำเลียงจะหยุดหมุน เพราะแรงส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังเครื่องไม่เพียงพอ โดยทำการทดลองครั้งละ 3 ซ้ำ จับเวลาครั้งละ 1 นาที จากนั้นวัดอาหารชั้นหนืดที่ได้จากการทดลองเพื่อนำมาหาปริมาตร

#### 4.3.2.4 การทดลองปรับค่าความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำ

ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส เข้าไปยังถังป้อนที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร ให้ไหลลงในสายยาง เพื่อวัดความดันทั้งหมด 5 จุด เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างจุดที่ 1 และ 2 กับ 4 และ 5 ขนาด 80 มิลลิเมตร ระยะห่างจุดที่ 2 และ 3 กับ 3 และ 4 ขนาด 66 มิลลิเมตร และระยะห่างจุดที่ 1 และ 5 ถึงขอบเหล็ก ขนาด 9 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.13 โดยใช้เครื่องมือมาตรรูปตัวยู (U-Type Manometer) เป็นตัววัดความดัน จากนั้นปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 25, 30, 35, 40, 45 และ 49 รอบต่อนาที โดยทำการทดลองครั้งละ 3 ซ้ำ จับเวลาครั้งละ 1 นาที



รูปที่ 4.13 ขนาดและตำแหน่งที่ใช้วัดความดันทั้งหมด 5 จุด

#### 4.3.2.5 การทดลองจับเวลาทำความสะอาด

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น เครื่องลำเลียงเนื้อหมูบดของลูกชิ้นแบบปัมเฟืองนอกที่ใช้ในท้องตลาดทั่วไป โดยเก็บข้อมูลจากบริษัท 505 โภคภัณฑ์ จำกัด เปรียบเทียบกับเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหีตแบบการรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ โดยเมื่อทำการทดลองเสร็จ ทำการจับเวลาการทำความสะอาดเครื่อง ซึ่งจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่การถอดสายยางออกจากเครื่อง ล้างทำความสะอาดเครื่อง และประกอบเครื่องกลับ โดยทำการทดลองล้างทำความสะอาดเครื่องทั้งหมด 3 ซ้ำ การล้างทำความสะอาดส่วนลำเลียงอาหารชั้นหีต ใช้วิธีการหมอนึ่งฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำ ตามมาตรฐานวัฏจักรฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำในหมอนึ่งความเร็วสูง ใช้เวลา 15 นาที ที่ความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส ซึ่งมีการล้างทำความสะอาด 1 ครั้งต่อวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการทดลอง

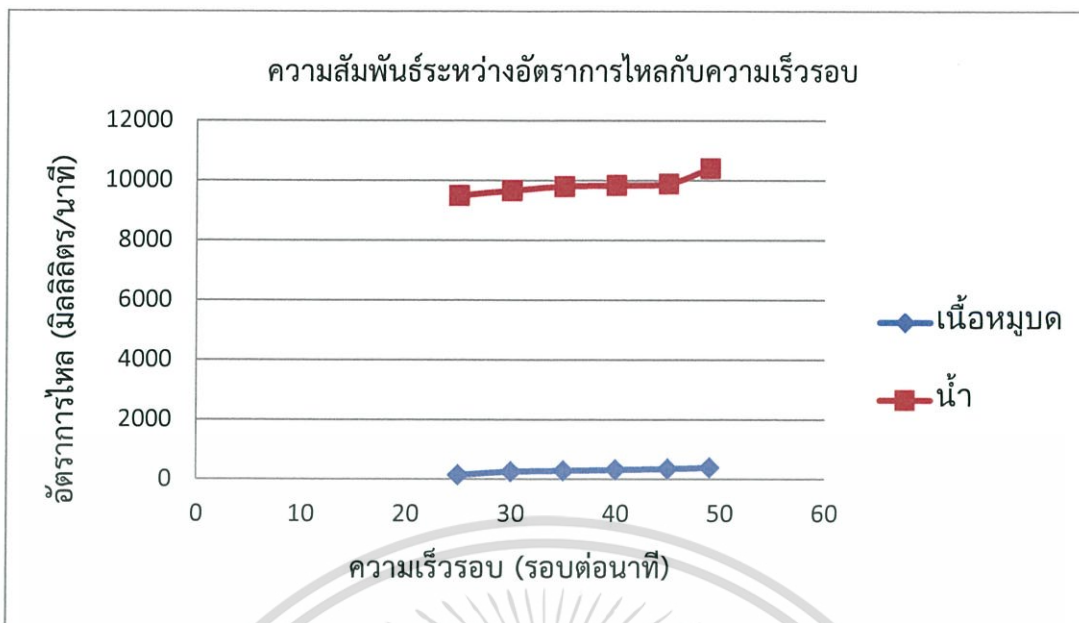
##### 5.1.1 การทดลองปรับความเร็วรอบที่ส่งผลต่ออัตราการไหลอาหารชั้นหนืด ที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร

จากการทดลองปรับความเร็วรอบต่ออัตราการไหลอาหารชั้นหนืด คือ เนื้อหมูบด และน้ำ อุณหภูมิห้องที่ความเร็วรอบ 25, 30, 35, 40 และ 49 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวที่ส่งผลต่ออัตราการไหล

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราการไหล (มิลลิลิตร/นาที)			
	เนื้อหมูบด		น้ำที่อุณหภูมิห้อง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
25	144.05	6.61	9500	100
30	254.21	10.86	9660	111.36
35	284.34	7.76	9800	100
40	322.58	18.49	9840	72.11
45	351.49	7.35	9893.33	113.72
49	390.13	13.51	10406.67	110.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วน้ำ

### 5.1.2 การทดลองปรับความเร็วน้ำเพื่อศึกษาผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิห้อง ที่ระดับความสูง 350 มิลลิเมตร

จากการทดลองปรับความเร็วน้ำที่ส่งผลต่อความดันของน้ำ ที่ความเร็วน้ำ 25, 30, 35, 40 และ 49 รอบต่อนาที วัดความดันทั้งหมด 5 จุด ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 และ 5.6

ตารางที่ 5.2 ความเร็วน้ำที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิห้อง จุดที่ 1

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 1 (Pa)					
	ความเร็วน้ำ 25	ความเร็วน้ำ 30	ความเร็วน้ำ 35	ความเร็วน้ำ 40	ความเร็วน้ำ 45	ความเร็วน้ำ 49
0.15	1471.5	1746.18	1785.42	1697.13	1667.7	1476.405
0.3	1491.12	1726.56	1765.8	1716.75	1648.08	1559.79
0.45	1540.17	1648.08	1746.18	1736.37	1608.84	1589.22
0.6	1628.46	1540.17	1706.94	1697.13	1603.935	1608.84
0.75	1775.61	1422.45	1657.89	1657.89	1559.79	1530.36
0.9	1883.52	1383.21	1579.41	1599.03	1549.98	1491.12
1.05	1903.14	1363.59	1530.36	1559.79	1500.93	1500.93

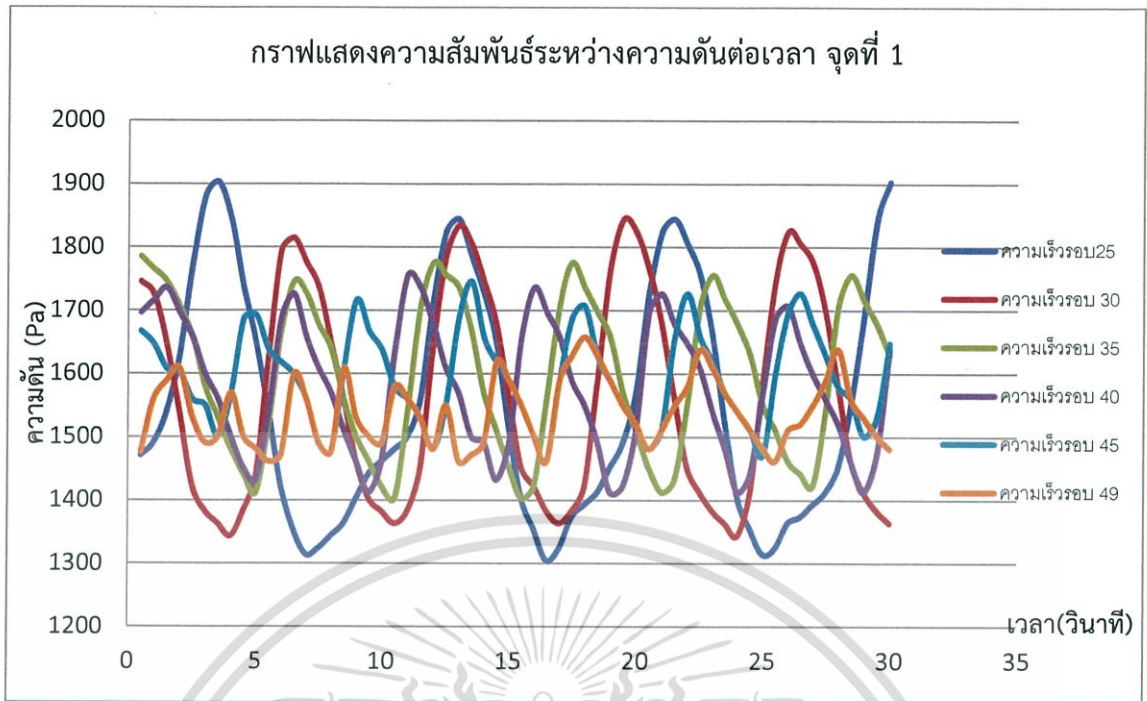
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 1 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
1.2	1844.28	1343.97	1481.31	1500.93	1569.6	1569.6
1.35	1736.37	1383.21	1442.07	1451.88	1687.32	1500.93
1.5	1648.08	1442.07	1412.64	1432.26	1692.225	1481.31
1.65	1540.17	1628.46	1520.55	1540.17	1638.27	1461.69
1.8	1422.45	1795.23	1667.7	1687.32	1618.65	1471.5
1.95	1353.78	1814.85	1746.18	1726.56	1599.03	1599.03
2.1	1314.54	1775.61	1726.56	1657.89	1559.79	1559.79
2.25	1324.35	1736.37	1677.51	1608.84	1491.12	1491.12
2.4	1343.97	1648.08	1638.27	1569.6	1476.405	1476.405
2.55	1363.59	1559.79	1559.79	1510.74	1608.84	1608.84
2.7	1402.83	1461.69	1500.93	1461.69	1716.75	1530.36
2.85	1442.07	1402.83	1461.69	1412.64	1667.7	1500.93
3	1461.69	1383.21	1422.45	1461.69	1638.27	1491.12
3.15	1481.31	1363.59	1402.83	1638.27	1579.41	1579.41
3.3	1500.93	1383.21	1540.17	1755.99	1559.79	1559.79
3.45	1559.79	1451.88	1706.94	1736.37	1530.36	1530.36
3.6	1716.75	1648.08	1775.61	1677.51	1481.31	1481.31
3.75	1824.66	1785.42	1755.99	1608.84	1549.98	1549.98
3.9	1844.28	1834.47	1736.37	1569.6	1687.32	1461.69
4.05	1785.42	1805.04	1667.7	1500.93	1746.18	1471.5
4.2	1726.56	1746.18	1569.6	1491.12	1657.89	1491.12
4.35	1648.08	1677.51	1510.74	1432.26	1618.65	1618.65
4.5	1510.74	1559.79	1451.88	1491.12	1589.22	1589.22
4.65	1402.83	1451.88	1402.83	1657.89	1549.98	1549.98
4.8	1353.78	1422.45	1422.45	1736.37	1500.93	1500.93
4.95	1304.73	1383.21	1559.79	1697.13	1461.69	1461.69
5.1	1324.35	1363.59	1706.94	1657.89	1589.22	1589.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 1 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
5.25	1373.4	1383.21	1775.61	1589.22	1687.32	1628.46
5.4	1393.02	1422.45	1736.37	1549.98	1706.94	1657.89
5.55	1412.64	1589.22	1697.13	1491.12	1628.46	1628.46
5.7	1451.88	1765.8	1657.89	1412.64	1589.22	1589.22
5.85	1491.12	1844.28	1569.6	1422.45	1549.98	1549.98
6	1569.6	1824.66	1510.74	1510.74	1520.55	1520.55
6.15	1726.56	1765.8	1451.88	1697.13	1481.31	1481.31
6.3	1824.66	1677.51	1412.64	1726.56	1510.74	1510.74
6.45	1844.28	1559.79	1432.26	1677.51	1657.89	1549.98
6.6	1805.04	1451.88	1549.98	1648.08	1726.56	1579.41
6.75	1755.99	1412.64	1706.94	1608.84	1657.89	1638.27
6.9	1657.89	1383.21	1755.99	1540.17	1618.65	1608.84
7.05	1520.55	1363.59	1716.75	1481.31	1569.6	1569.6
7.2	1402.83	1343.97	1677.51	1412.64	1540.17	1540.17
7.35	1353.78	1412.64	1628.46	1442.07	1510.74	1510.74
7.5	1314.54	1589.22	1549.98	1569.6	1471.5	1481.31
7.65	1324.35	1746.18	1510.74	1687.32	1599.03	1461.69
7.8	1363.59	1824.66	1461.69	1706.94	1697.13	1510.74
7.95	1373.4	1805.04	1442.07	1648.08	1726.56	1520.55
8.1	1393.02	1775.61	1422.45	1599.03	1677.51	1549.98
8.25	1412.64	1697.13	1540.17	1559.79	1628.46	1589.22
8.4	1451.88	1579.41	1706.94	1520.55	1579.41	1638.27
8.55	1549.98	1461.69	1755.99	1461.69	1559.79	1559.79
8.7	1687.32	1412.64	1716.75	1412.64	1500.93	1530.36
8.85	1844.28	1383.21	1677.51	1471.5	1530.36	1500.93
9	1903.14	1363.59	1628.46	1638.27	1648.08	1481.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 1

ตารางที่ 5.3 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิต้อง จุดที่ 2

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 2 (Pa)					
	ความถี่รอบ 25	ความถี่รอบ 30	ความถี่รอบ 35	ความถี่รอบ 40	ความถี่รอบ 45	ความถี่รอบ 49
0.15	765.18	824.04	794.61	284.49	421.83	49.05
0.3	667.08	774.99	765.18	245.25	382.59	19.62
0.45	343.35	667.08	696.51	206.01	245.25	-29.43
0.6	-9.81	333.54	519.93	39.24	88.29	-58.86
0.75	-323.73	-88.29	353.16	-166.77	-49.05	-127.53
0.9	-539.55	-421.83	58.86	-323.73	-186.39	-58.86
1.05	-676.89	-618.03	-264.87	-176.58	-225.63	245.25
1.2	-745.56	-676.89	-461.07	255.06	98.1	382.59
1.35	-686.7	-696.51	-510.12	578.79	461.07	225.63
1.5	-549.36	-392.4	-225.63	598.41	539.55	29.43
1.65	-431.64	156.96	313.92	431.64	343.35	-9.81
1.8	-431.64	853.47	676.89	274.68	166.77	-39.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

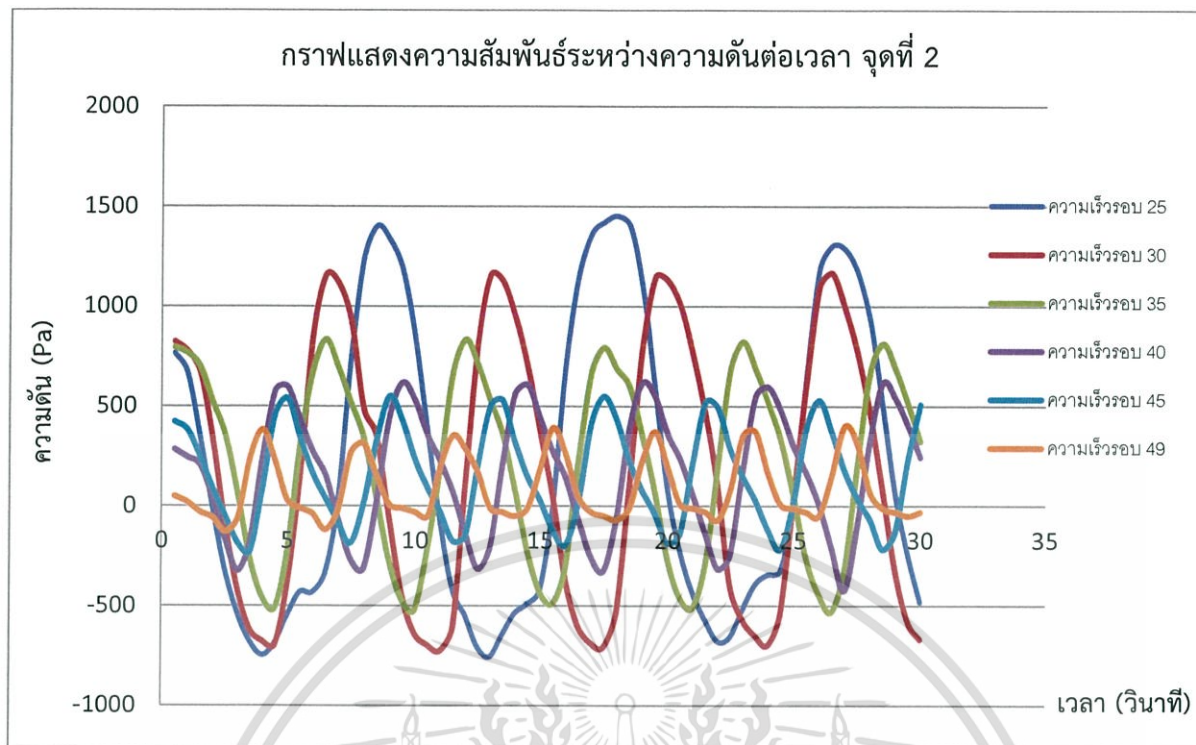
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 2 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
1.95	-333.54	1157.58	833.85	156.96	39.24	-117.72
2.1	19.62	1118.34	696.51	-58.86	-78.48	-19.62
2.25	735.75	931.95	519.93	-264.87	-186.39	264.87
2.4	1245.87	490.5	343.35	-313.92	9.81	313.92
2.55	1402.83	353.16	49.05	9.81	323.73	156.96
2.7	1334.16	-58.86	-274.68	441.45	549.36	9.81
2.85	1187.01	-441.45	-470.88	618.03	431.64	-9.81
3	843.66	-637.65	-519.93	529.74	235.44	-29.43
3.15	362.97	-696.51	-206.01	-353.16	88.29	-49.05
3.3	-78.48	-725.94	196.2	225.63	-29.43	196.2
3.45	-421.83	-608.22	676.89	68.67	-176.58	353.16
3.6	-549.36	127.53	833.85	-137.34	-147.15	284.49
3.75	-706.32	824.04	706.32	-313.92	206.01	166.77
3.9	-755.37	1157.58	529.74	-206.01	500.31	-9.81
4.05	-647.46	1128.15	362.97	206.01	529.74	-29.43
4.2	-539.55	951.57	88.29	559.17	323.73	-49.05
4.35	-490.5	696.51	-225.63	608.22	147.15	-9.81
4.5	-421.83	372.78	-431.64	441.45	29.43	186.39
4.65	-9.81	49.05	-490.5	274.68	-117.72	392.4
4.8	696.51	-362.97	-313.92	147.15	-196.2	264.87
4.95	1147.77	-598.41	215.82	-58.86	9.81	49.05
5.1	1363.59	-686.7	667.08	-255.06	412.02	-29.43
5.25	1422.45	-706.32	794.61	-323.73	549.36	-49.05
5.4	1451.88	-529.74	686.7	-58.86	431.64	-68.67
5.55	1402.83	107.91	598.41	392.4	225.63	-9.81
5.7	1098.72	794.61	353.16	618.03	78.48	225.63
5.85	588.6	1147.77	68.67	549.36	-39.24	372.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 2 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
6	88.29	1128.15	-264.87	362.97	-186.39	196.2
6.15	-225.63	1000.62	-461.07	235.44	-137.34	9.81
6.3	-431.64	755.37	-510.12	58.86	215.82	-9.81
6.45	-568.98	461.07	-294.3	-137.34	519.93	-29.43
6.6	-676.89	88.29	206.01	-313.92	490.5	-68.67
6.75	-657.27	-402.21	686.7	-245.25	284.49	78.48
6.9	-519.93	-568.98	824.04	176.58	147.15	353.16
7.05	-392.4	-647.46	686.7	549.36	29.43	372.78
7.2	-343.35	-696.51	519.93	-598.41	-117.72	166.77
7.35	-323.73	-539.55	333.54	480.69	-215.82	9.81
7.5	-9.81	19.62	58.86	304.11	9.81	-9.81
7.65	657.27	618.03	-264.87	166.77	392.4	-29.43
7.8	1187.01	1098.72	-441.45	9.81	529.74	-49.05
7.95	1304.73	1167.39	-529.74	-206.01	372.78	147.15
8.1	1285.11	990.81	-323.73	-421.83	176.58	402.21
8.25	1167.39	765.18	206.01	-98.1	39.24	313.92
8.4	922.14	461.07	676.89	333.54	-68.67	68.67
8.55	500.31	78.48	814.23	618.03	-215.82	-9.81
8.7	58.86	-323.73	686.7	539.55	-127.53	-29.43
8.85	-245.25	-578.79	510.12	402.21	235.44	-49.05
9	-480.69	-667.08	323.73	245.25	510.12	-29.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 2

ตารางที่ 5.4 ความเร็รรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิห้อง จุดที่ 3

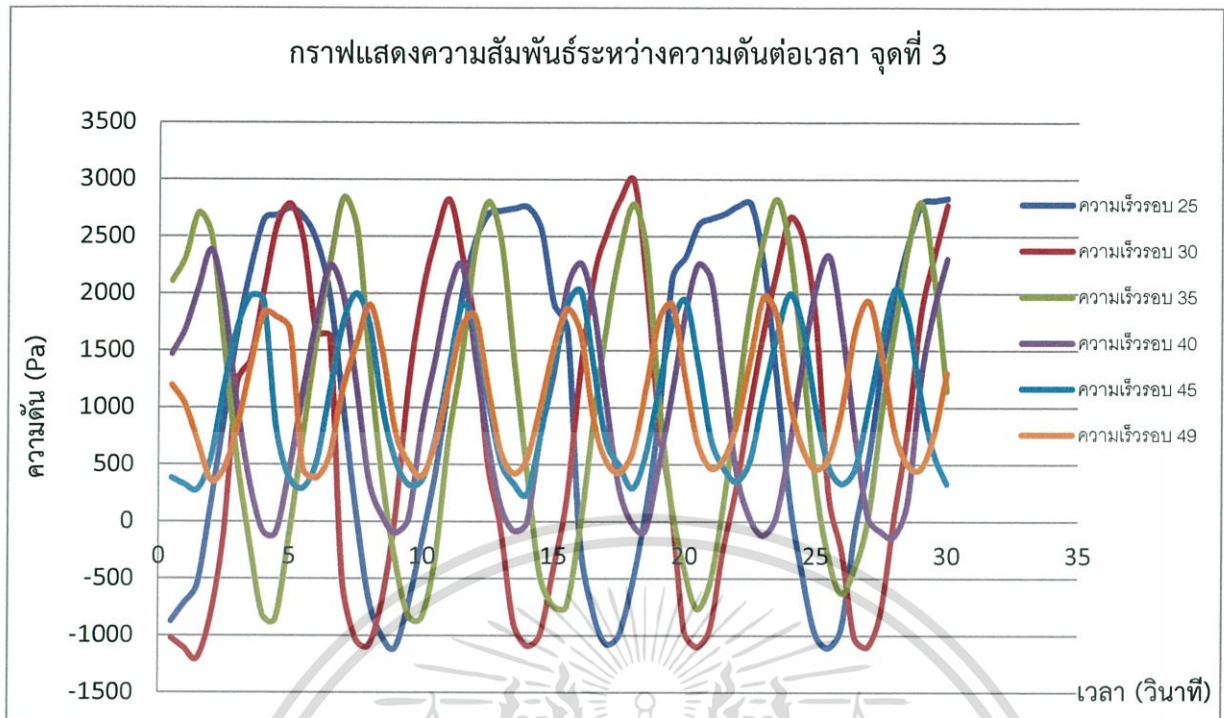
เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 3 (Pa)					
	ความเร็รรอบ 25	ความเร็รรอบ 30	ความเร็รรอบ 35	ความเร็รรอบ 40	ความเร็รรอบ 45	ความเร็รรอบ 49
0.15	-873.09	-1020.24	2109.15	1471.5	382.59	1196.82
0.3	-716.13	-1108.53	2315.16	1687.32	323.73	1030.05
0.45	-549.36	-1196.82	2707.56	2050.29	284.49	696.51
0.6	147.15	-833.85	2501.55	2383.83	559.17	362.97
0.75	892.71	-107.91	1540.17	1912.95	1187.01	461.07
0.9	1648.08	1216.44	568.98	1030.05	1697.13	814.23
1.05	2217.06	1412.64	-176.58	343.35	1981.62	1353.78
1.2	2648.7	2011.05	-814.23	-78.48	1942.38	1824.66
1.35	2687.94	2599.65	-853.47	-98.1	833.85	1795.23
1.5	2746.8	2786.04	-117.72	451.26	382.59	1677.51
1.65	2668.32	2462.31	745.56	1147.77	294.3	470.88

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 3 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
1.8	2452.5	1648.08	1589.22	1765.8	500.31	382.59
1.95	1981.62	1618.65	2275.92	2246.49	1118.34	568.98
2.1	1049.67	-490.5	2844.9	1991.43	1746.18	1167.39
2.25	107.91	-1020.24	2570.22	1206.63	2001.24	1559.79
2.4	-676.89	-1088.91	1393.02	353.16	1716.75	1903.14
2.55	-1000.62	-696.51	372.78	49.05	990.81	1461.69
2.7	-1108.53	68.67	-343.35	-98.1	529.74	774.99
2.85	-725.94	1245.87	-824.04	29.43	323.73	510.12
3	-176.58	2020.86	-843.66	-863.28	362.97	402.21
3.15	421.83	2511.36	-333.54	1442.07	735.75	696.51
3.3	1196.82	2825.28	706.32	2020.86	1334.16	1196.82
3.45	1981.62	2344.59	1442.07	2246.49	1903.14	1716.75
3.6	2462.31	1677.51	2403.45	1481.31	1726.56	1805.04
3.75	2697.75	519.93	2805.66	716.13	1079.1	1187.01
3.9	2727.18	-39.24	2452.5	147.15	529.74	618.03
4.05	2746.8	-873.09	1412.64	-78.48	333.54	421.83
4.2	2756.61	-1088.91	431.64	-9.81	245.25	559.17
4.35	2560.41	-1000.62	-470.88	755.37	755.37	1020.24
4.5	1903.14	-431.64	-735.75	1314.54	1363.59	1540.17
4.65	1677.51	196.2	-745.56	2069.91	1912.95	1863.9
4.8	-147.15	1324.35	-68.67	2266.11	2020.86	1648.08
4.95	-774.99	2158.2	882.9	1854.09	1353.78	902.52
5.1	-1069.29	2550.6	1736.37	1030.05	696.51	529.74
5.25	-1000.62	2835.09	2393.64	284.49	490.5	431.64
5.4	-559.17	2992.05	2786.04	-19.62	294.3	618.03
5.55	58.86	2138.58	2393.64	-78.48	578.79	1157.58
5.7	912.33	882.9	1088.91	470.88	1167.39	1775.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดัน จุดที่ 3 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
5.85	2138.58	127.53	147.15	1118.34	1736.37	1903.14
6	2315.16	-951.57	-412.02	1814.85	1942.38	1275.3
6.15	2599.65	-1098.72	-765.18	2256.3	1402.83	696.51
6.3	2658.51	-941.76	-539.55	2118.96	735.75	470.88
6.45	2697.75	-245.25	147.15	1265.49	470.88	549.36
6.6	2766.42	304.11	1020.24	431.64	353.16	853.47
6.75	2786.04	1010.43	1903.14	39.24	529.74	1422.45
6.9	2256.3	1657.89	2481.93	-117.72	1098.72	1971.81
7.05	1285.11	2197.44	2825.28	-29.43	1618.65	1814.85
7.2	235.44	2668.32	2374.02	637.65	2001.24	1079.1
7.35	-451.26	2472.12	1402.83	1412.64	1687.32	647.46
7.5	-981	1736.37	343.35	2069.91	990.81	461.07
7.65	-1108.53	235.44	-313.92	2324.97	480.69	559.17
7.8	-941.76	-245.25	-627.84	1677.51	333.54	990.81
7.95	-98.1	-1010.43	-412.02	755.37	461.07	1687.32
8.1	519.93	-1098.72	19.62	39.24	1000.62	1932.57
8.25	1343.97	-794.61	931.95	-88.29	1599.03	1451.88
8.4	1971.81	39.24	1706.94	-127.53	2040.48	794.61
8.55	2442.69	794.61	2413.26	156.96	1785.42	500.31
8.7	2786.04	1814.85	2795.85	1236.06	1088.91	461.07
8.85	2815.47	2324.97	2138.58	1863.9	598.41	745.56
9	2835.09	2776.23	1147.77	2305.35	333.54	1304.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 3

ตารางที่ 5.5 ความเร็รรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิห้อง จุดที่ 4

เวลา (วินาที)	ความดันจุดที่ 4 (Pa)					
	ความเร็รรอบ 25	ความเร็รรอบ 30	ความเร็รรอบ 35	ความเร็รรอบ 40	ความเร็รรอบ 45	ความเร็รรอบ 49
0.15	1285.11	902.52	1039.86	78.48	392.4	1294.92
0.3	1343.97	1030.05	1167.39	19.62	333.54	1343.97
0.45	1535.265	1275.3	1559.79	-176.58	166.77	1294.92
0.6	1912.95	1903.14	1971.81	-441.45	-68.67	794.61
0.75	2378.925	2324.97	1785.42	-431.64	-98.1	304.11
0.9	2481.93	1962	971.19	9.81	362.97	9.81
1.05	1809.945	863.28	206.01	804.42	902.52	-470.88
1.2	716.13	58.86	-206.01	1589.22	1491.12	9.81
1.35	-122.625	-549.36	-461.07	1697.13	1393.02	549.36
1.5	-588.6	-765.18	-618.03	1128.15	774.99	1245.87
1.65	-765.18	-882.9	-461.07	431.64	313.92	1285.11

เวลา (วินาที)	ความดันจุดที่ 4 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
1.8	-853.47	-917.235	58.86	29.43	49.05	706.32
1.95	-833.85	-691.605	765.18	-274.68	-147.15	235.44
2.1	-657.27	-98.1	1363.59	-470.88	-19.62	-19.62
2.25	-362.97	568.98	1932.57	-323.73	402.21	-490.5
2.4	-58.86	1206.63	1873.71	215.82	1157.58	19.62
2.55	333.54	1716.75	1128.15	1118.34	1471.5	598.41
2.7	794.61	2251.395	313.92	1706.94	1059.48	1285.11
2.85	1167.39	2207.25	-147.15	1540.17	519.93	1265.49
3	1471.5	1275.3	-412.02	892.71	166.77	657.27
3.15	1957.095	127.53	-608.22	294.3	-19.62	176.58
3.3	2452.5	-529.74	-578.79	0	-137.34	-68.67
3.45	2550.6	-745.56	-156.96	-323.73	49.05	-147.15
3.6	1962	-882.9	510.12	-470.88	608.22	0
3.75	784.8	-941.76	1265.49	-215.82	1187.01	627.84
3.9	-127.53	-833.85	1922.76	500.31	1599.03	1294.92
4.05	-627.84	-343.35	1942.38	1353.78	1697.13	1206.63
4.2	-804.42	382.59	1255.68	1736.37	1569.6	588.6
4.35	-912.33	1010.43	382.59	1358.685	716.13	127.53
4.5	-922.14	1657.89	-49.05	784.8	-9.81	-127.53
4.65	-519.93	2246.49	-362.97	255.06	-323.73	-186.39
4.8	-470.88	2266.11	-559.17	-98.1	-294.3	19.62
4.95	-156.96	1657.89	-618.03	-402.21	-264.87	676.89
5.1	245.25	461.07	-255.06	-421.83	186.39	1343.97
5.25	725.94	-382.59	402.21	-9.81	667.08	1177.2
5.4	1039.86	-706.32	1177.2	774.99	1540.17	539.55
5.55	1422.45	-853.47	1893.33	1569.6	1265.49	98.1
5.7	1883.52	-951.57	2040.48	1736.37	667.08	-147.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดันจุดที่ 4 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
5.85	2393.64	-863.28	1491.12	1250.775	333.54	-206.01
6	2560.41	-412.02	598.41	568.98	19.62	39.24
6.15	1942.38	156.96	-9.81	117.72	-186.39	755.37
6.3	843.66	824.04	-323.73	-196.2	-49.05	1393.02
6.45	-107.91	1451.88	-549.36	-441.45	568.98	1157.58
6.6	-539.55	2079.72	-647.46	-343.35	1334.16	549.36
6.75	-774.99	2383.83	-333.54	225.63	1446.975	88.29
6.9	-902.52	1805.04	186.39	804.42	882.9	-137.34
7.05	-931.95	-578.79	931.95	-1618.65	431.64	-176.58
7.2	-789.705	-323.73	1667.7	1657.89	98.1	98.1
7.35	-500.31	-667.08	2069.91	1010.43	-147.15	824.04
7.5	-137.34	-843.66	1697.13	402.21	-284.49	1373.4
7.65	-274.68	-941.76	814.23	19.62	-166.77	1088.91
7.8	637.65	-922.14	88.29	-284.49	990.81	470.88
7.95	951.57	-608.22	-323.73	-470.88	1510.74	88.29
8.1	1402.83	29.43	-529.74	-289.395	1245.87	-147.15
8.25	1903.14	716.13	-696.51	323.73	725.94	-166.77
8.4	2413.26	1334.16	-549.36	1167.39	323.73	137.34
8.55	2580.03	1844.28	-9.81	1706.94	-49.05	843.66
8.7	2001.24	2324.97	716.13	1491.12	-235.44	1353.78
8.85	892.71	2011.05	1520.55	784.8	-107.91	1039.86
9	98.1	1030.05	2030.67	255.06	510.12	441.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 4

ตารางที่ 5.6 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดันของน้ำที่อุณหภูมิห้อง จุดที่ 5

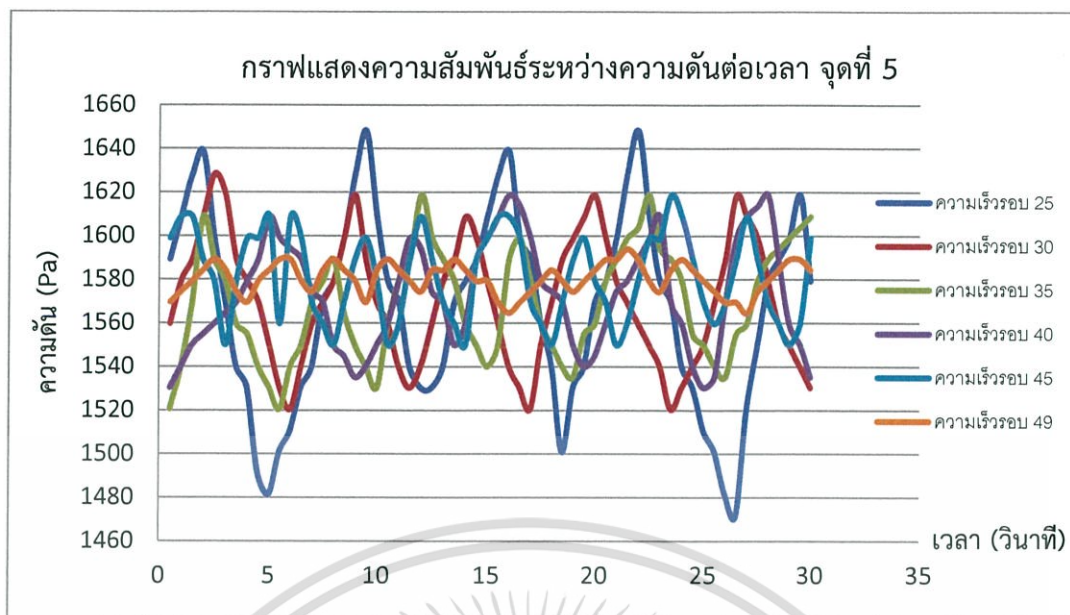
เวลา (วินาที)	ความดันจุดที่ 5 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
0.15	1589.22	1559.79	1520.55	1530.36	1599.03	1569.6
0.3	1608.84	1579.41	1540.17	1540.17	1608.84	1574.505
0.45	1628.46	1589.22	1569.6	1549.98	1608.84	1579.41
0.6	1638.27	1608.84	1608.84	1554.885	1589.22	1584.315
0.75	1599.03	1628.46	1589.22	1559.79	1579.41	1589.22
0.9	1569.6	1618.65	1579.41	1564.695	1549.98	1584.315
1.05	1540.17	1589.22	1559.79	1569.6	1579.41	1574.505
1.2	1530.36	1579.41	1554.885	1579.41	1599.03	1569.6
1.35	1491.12	1569.6	1540.17	1589.22	1599.03	1579.41
1.5	1481.31	1549.98	1530.36	1608.84	1608.84	1584.315
1.65	1500.93	1530.36	1520.55	1599.03	1559.79	1589.22

เวลา (วินาที)	ความดันจุดที่ 5 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
1.8	1510.74	1520.55	1540.17	1594.125	1608.84	1589.22
1.95	1530.36	1540.17	1549.98	1589.22	1599.03	1579.41
2.1	1540.17	1559.79	1569.6	1574.505	1569.6	1574.505
2.25	1569.6	1569.6	1579.41	1569.6	1559.79	1584.315
2.4	1579.41	1579.41	1589.22	1549.98	1549.98	1589.22
2.55	1599.03	1599.03	1564.695	1545.075	1569.6	1584.315
2.7	1628.46	1618.65	1549.98	1535.265	1589.22	1579.41
2.85	1648.08	1589.22	1540.17	1540.17	1599.03	1569.6
3	1608.84	1569.6	1530.36	1549.98	1579.41	1584.315
3.15	1579.41	1559.79	1559.79	1559.79	1549.98	1589.22
3.3	1569.6	1540.17	1579.41	1579.41	1559.79	1584.315
3.45	1540.17	1530.36	1589.22	1599.03	1589.22	1579.41
3.6	1530.36	1540.17	1618.65	1594.125	1608.84	1574.505
3.75	1530.36	1559.79	1599.03	1574.505	1589.22	1584.315
3.9	1540.17	1579.41	1589.22	1569.6	1569.6	1584.315
4.05	1569.6	1589.22	1579.41	1549.98	1559.79	1589.22
4.2	1579.41	1608.84	1559.79	1559.79	1549.98	1584.315
4.35	1589.22	1599.03	1549.98	1589.22	1589.22	1579.41
4.5	1608.84	1579.41	1540.17	1599.03	1599.03	1579.41
4.65	1628.46	1559.79	1549.98	1608.84	1608.84	1569.6
4.8	1638.27	1540.17	1589.22	1618.65	1608.84	1564.695
4.95	1599.03	1530.36	1599.03	1613.745	1599.03	1569.6
5.1	1589.22	1520.55	1579.41	1599.03	1569.6	1574.505
5.25	1559.79	1549.98	1559.79	1579.41	1559.79	1579.41
5.4	1540.17	1569.6	1549.98	1574.505	1549.98	1584.315
5.55	1500.93	1589.22	1540.17	1569.6	1569.6	1579.41
5.7	1530.36	1599.03	1535.265	1549.98	1589.22	1574.505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความดันจุดที่ 5 (Pa)					
	ความเร็วรอบ 25	ความเร็วรอบ 30	ความเร็วรอบ 35	ความเร็วรอบ 40	ความเร็วรอบ 45	ความเร็วรอบ 49
5.85	1540.17	1608.84	1554.885	1540.17	1599.03	1579.41
6	1569.6	1618.65	1559.79	1545.075	1579.41	1584.315
6.15	1579.41	1599.03	1579.41	1559.79	1569.6	1589.22
6.3	1599.03	1579.41	1589.22	1574.505	1549.98	1589.22
6.45	1628.46	1569.6	1599.03	1579.41	1559.79	1594.125
6.6	1648.08	1559.79	1603.935	1589.22	1579.41	1589.22
6.75	1608.84	1549.98	1618.65	1599.03	1599.03	1579.41
6.9	1579.41	1540.17	1594.125	1608.84	1599.03	1574.505
7.05	1569.6	1520.55	1589.22	1569.6	1618.65	1584.315
7.2	1540.17	1530.36	1579.41	1559.79	1608.84	1589.22
7.35	1530.36	1540.17	1554.885	1540.17	1589.22	1584.315
7.5	1510.74	1549.98	1549.98	1530.36	1569.6	1579.41
7.65	1500.93	1569.6	1540.17	1535.265	1559.79	1574.505
7.8	1481.31	1589.22	1535.265	1569.6	1569.6	1569.6
7.95	1471.5	1618.65	1554.885	1599.03	1589.22	1569.6
8.1	1520.55	1608.84	1559.79	1608.84	1608.84	1564.695
8.25	1549.98	1599.03	1579.41	1613.745	1589.22	1574.505
8.4	1579.41	1579.41	1589.22	1618.65	1569.6	1579.41
8.55	1589.22	1559.79	1594.125	1589.22	1559.79	1584.315
8.7	1599.03	1549.98	1599.03	1559.79	1549.98	1589.22
8.85	1618.65	1540.17	1603.935	1549.98	1559.79	1589.22
9	1579.41	1530.36	1608.84	1535.265	1599.03	1584.315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเวลา จุดที่ 5

### 5.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหล

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติอัตราการไหลของเนื้อหมูปด ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	112423.2	5	22484.63	168.5655	1.1E-10	3.105875
Within Groups	1600.657	12	133.3881			
Total	114023.8	17				

ตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติอัตราการไหลของน้ำ ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1418867	5	283773.3	27.16979	3.76E-06	3.105875
Within Groups	125333.3	12	10444.44			
Total	1544200	17				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์อัตราการไหลอาหารชั้นหนืด พบว่าความเร็วรอบส่งผลต่ออัตราการไหลอาหารชั้นหนืด พิจารณาจากค่า P-value ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จึงได้ว่าความแตกต่างของความเร็วรอบ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ ) โดยความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลอาหารชั้นหนืดมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติความเร็วรอบที่ส่งผลต่ออัตราการไหล

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณอัตราการไหล (มิลลิลิตร/นาที)	
	เนื้อหมูปด	น้ำ
25	144.05 ± 6.61 <sup>A</sup>	9500 ± 100 <sup>AB</sup>
30	254.21 ± 10.86 <sup>BC</sup>	9660 ± 111.36 <sup>BCDE</sup>
35	284.34 ± 7.76 <sup>C</sup>	9800 ± 100 <sup>CDE</sup>
40	322.58 ± 18.49 <sup>DE</sup>	9840 ± 72.11 <sup>DE</sup>
45	351.49 ± 7.35 <sup>E</sup>	9893.33 ± 113.72 <sup>E</sup>
49	390.13 ± 13.51 <sup>F</sup>	10406.67 ± 110.15 <sup>F</sup>

\* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

#### 5.1.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความดันของน้ำ

จากการวิเคราะห์ความดันของน้ำ พบว่าความเร็วรอบส่งผลต่อความดัน โดยความดันทั้ง 5 จุดจะลดลงเมื่อมีความเร็วรอบที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากห้องสุบมีการเปิด-ปิดเร็วขึ้น ทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับส่งผลให้ความดันลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ความเร็วรอบที่ส่งผลต่อความดัน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความดันเฉลี่ย (Pa)
25	2035.03
30	1943.52
35	1799.74
40	1583.40
45	1457.73
49	1347.37

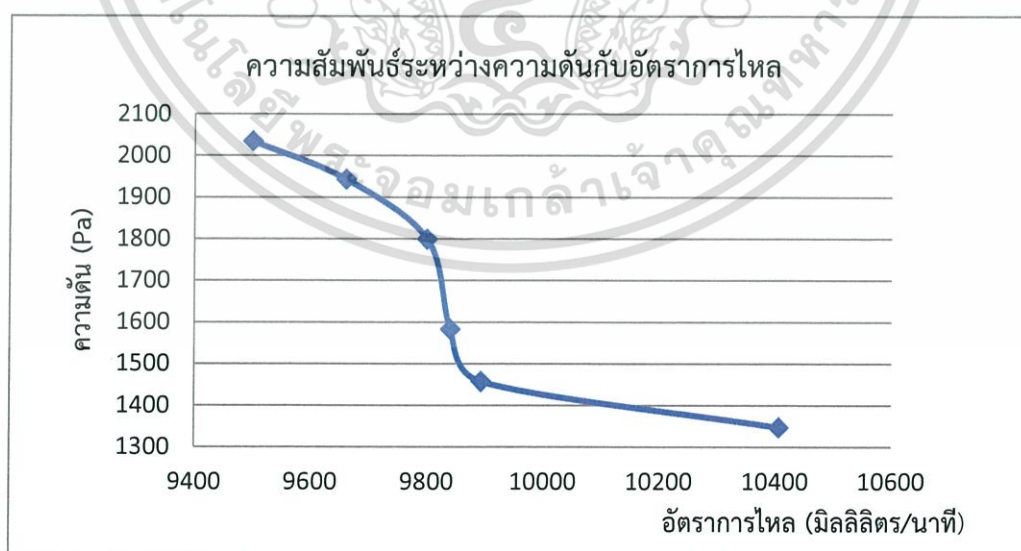
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล พบว่าความเร็วรอบส่งผลต่ออัตราการไหลและความดัน เมื่อความเร็วรอบลดลง ห้องสูบลมมีการเปิด-ปิดช้า ทำให้อัตราการไหลลดลงด้วย แต่แรงดันกระทำต่อห้องสูบลมที่มีการปิดนาน จะทำให้มีความดันมาก และเมื่อความเร็วรอบมากขึ้น ห้องสูบลมมีการเปิด-ปิดเร็ว ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่แรงดันกระทำต่อห้องสูบลมที่มีการปิดเร็ว จะเกิดแรงดันย้อนกลับส่งผลให้ความดันลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราการไหลของน้ำ (มิลลิเมตร/นาท)	ความดันเฉลี่ย (Pa)
25	9500	2035.03
30	9660	1943.52
35	9800	1799.74
40	9840	1583.40
45	9893.33	1457.73
49	10406.67	1347.37



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การเปรียบเทียบข้อมูลการทำความสะอาดเครื่องลำเลียงแบบป้อนเฟืองนอก และแบบรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเครื่องลำเลียงเนื้อหมูปดของลูกชิ้นแบบป้อนเฟืองนอกที่ใช้ในท้องตลาดทั่วไป โดยเก็บข้อมูลจากบริษัท 505 โภคภัณฑ์ จำกัด เปรียบเทียบกับเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหีตแบบรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ โดยเมื่อทำการทดลองเสร็จได้จับเวลาการทำความสะอาดเครื่อง ซึ่งจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่การถอดเครื่อง ล้างทำความสะอาดเครื่อง และประกอบเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบข้อมูลการทำความสะอาดเครื่องลำเลียงแบบป้อนเฟืองนอก และแบบรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

รายการ	เวลา (นาที)	
	เครื่องเก่า	เครื่องใหม่
การถอดเครื่อง	5	2
ล้างทำความสะอาดเครื่อง	25	20
ประกอบเครื่อง	15	3
รวมเวลาทั้งหมด	45	25

จากข้อมูลตารางที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าการทำความสะอาดเครื่องใหม่ เมื่อเทียบกับเครื่องเก่า สามารถลดเวลาการทำความสะอาดได้ คิดเป็น 100 ชั่วโมงต่อปีของเครื่องลำเลียงแบบป้อนเฟืองนอก ซึ่งค่าแรงขั้นต่ำ 300 บาทต่อวันต่อคน คิดเป็นเงิน 37.5 บาทต่อชั่วโมง ใน 1 ปีทำงาน 300 วัน ลดค่าใช้จ่ายได้ 3,750 บาทต่อปี

## 5.3 อายุการใช้งานของสายยาง

โดยปกติทั่วไปสายยางมีอายุการใช้งานจากการกด 3.76 ล้านครั้ง เทียบเท่าการใช้งาน 305.8 ชั่วโมงที่ 200 รอบต่อนาที ซึ่งสายยางที่ได้นำมาใช้ มีการกด 49 รอบต่อนาที ทำงาน 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 300 วันต่อปี อายุของสายยางจึงมีอายุการใช้งานประมาณ 1 เดือน 27 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง โดยใช้กลไกรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง มีจุดมุ่งหมายในการพิจารณาปัจจัยในการลงทุน การพิจารณาจะใช้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงในสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุดเพื่อให้ผลที่แม่นยำ โดยรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ค่าวัสดุในการสร้างเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนึ่ง

ชนิดของวัสดุ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคาวัสดุ (บาท)
สปริง	9 ตัว	20	180
โครงอลูมิเนียม	4 เมตร	500	2000
เหล็ก	15 แผ่น	100	1,500
เพลลา	1 เพลลา	800	800
Coupling	1 อัน	480	480
มอเตอร์ 40 watt	1 ตัว	2,000	2,000
ค่าแรงงาน	3 คน	2,680	8,040
รวมเป็นเงิน			15,000

### 5.4.1 เงื่อนไขในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ข้อมูลเบื้องต้น	แบบปั๊มเฟืองนอก	แบบกดรีดสายยาง
ชั่วโมงทำงานต่อวัน (ชั่วโมง/วัน)	8	8
วันทำงานต่อปี (วัน/ปี)	300	300
ปริมาณการป้อนเนื้อมด (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	120	24
ราคาเครื่องลำเลียงเนื้อมด (บาท)	24,000	15,000
ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร (บาท/ปี)	2,400	2,000
อายุการใช้งานเครื่องเนื้อมด (ปี)	3	3
ค่าน้ำ (บาท/หน่วย) วันละ1ชั่วโมง	10	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเบื้องต้น	แบบปัมเฟืองนอก	แบบกดรีดสายยาง
ค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	3.2	3.2
ประหยัดเวลาการทำงานสะอาด (นาที/วัน)	-	20
ค่าจ้างแรงงาน (บาท/วัน)	300	300
ราคาขายต่อกิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม)	112.0	112.0
ต้นทุนวัตถุดิบแปรผันต่อกิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม)	109.4	109.4
ค่าสายยาง(บาท/ปี)	-	4,800
มูลค่าซาก	4,000	4,000

5.4.2 วิธีการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เมื่อใช้เครื่องลำเลียงอาหารชนิดโดยใช้กลไกรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ

ให้  $x$  เป็นจำนวนการผลิต กิโลกรัมต่อปี ที่ทำให้ถึงจุดคุ้มทุน

5.4.2.1 กำลังการผลิต

กำลังการผลิตต่อปี = ปริมาณการป้อนเนื้อมัด  $\times$  ชั่วโมงทำงานต่อวัน  $\times$  วันทำงานต่อปี

5.4.2.2 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี (คิดแบบทุนจม)

ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี = ต้นทุนเครื่อง - มูลค่าซาก

5.4.2.3 ต้นทุนคงที่

ต้นทุนคงที่ = ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี

5.4.2.4 ค่าจ้างแรงงาน

$$\text{ค่าจ้างแรงงานต่อปี} = \frac{\text{ราคาค่าจ้างรายวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

5.4.2.5 ค่าไฟฟ้าแปรผัน

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผันต่อปี} = \frac{\text{ค่าไฟฟ้าต่อชั่วโมง} \times \text{ชั่วโมงการทำงานเครื่องจักรต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4.2.6 ต้นทุนแปรผัน

$$\text{ต้นทุนแปรผัน} = \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} + \text{ค่าน้ำแปรผัน}$$

## 5.4.2.7 ต้นทุนรวม

$$\text{ต้นทุนรวม} = \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนแปรผัน}$$

## 5.4.2.8 ระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{จำนวนเงินลงทุน}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิ} - \text{ต้นทุนแปรผัน}}$$

## 5.4.2.9 จุดคุ้มทุน

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย}}$$

## 5.4.3 ผลการวิเคราะห์เศรษฐกิจศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 5.15 และ 5.16

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการหาต้นทุนรวมค่าเครื่องแบบปั๊มเฟืองนอก

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)		ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)	
ต้นทุนเครื่อง	24,000	ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ปี)	90,000
ค่าเสื่อมเครื่องจักรรายปี	8,442.2	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	7,680
-		ค่าน้ำ (บาท/ปี)	3,000
-		ค่าบำรุงรักษาเครื่อง (บาท/ปี)	2,400
รวมต้นทุนคงที่ (บาท/ปี)	8,442.2	ต้นทุนแปรผัน (บาท/ปี)	100,680

$$\text{ค่าเสื่อมเครื่องจักรรายปี} = 24,000(A/P, 10\%, 3) - 4000(A/F, 10\%, 3)$$

$$\text{ค่าเสื่อมเครื่องจักรรายปี} = 9,650.64 - 1,208.44 = 8,442.2 \text{ บาทต่อปี}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการหาต้นทุนรวมค่าเครื่องแบบกตรีตสายยาง

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)		ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)	
ต้นทุนเครื่อง	15,000	ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ปี)	86,250
ค่าเสื่อมเครื่องจักรรายปี	4,823.21	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	7,360
-	-	ค่าสายยาง(บาท/ปี)	4,800
-	-	ค่าน้ำ (บาท/ปี)	2,000
-	-	ค่าบำรุงรักษาเครื่อง (บาท/ปี)	1,500
รวมต้นทุนคงที่ (บาท/ปี)	4,823.21	ต้นทุนแปรผัน (บาท/ปี)	100,410

$$\text{ค่าเสื่อมเครื่องจักรรายปี} = 15000(A/P, 10\%, 3) - 4000(A/F, 10\%, 3)$$

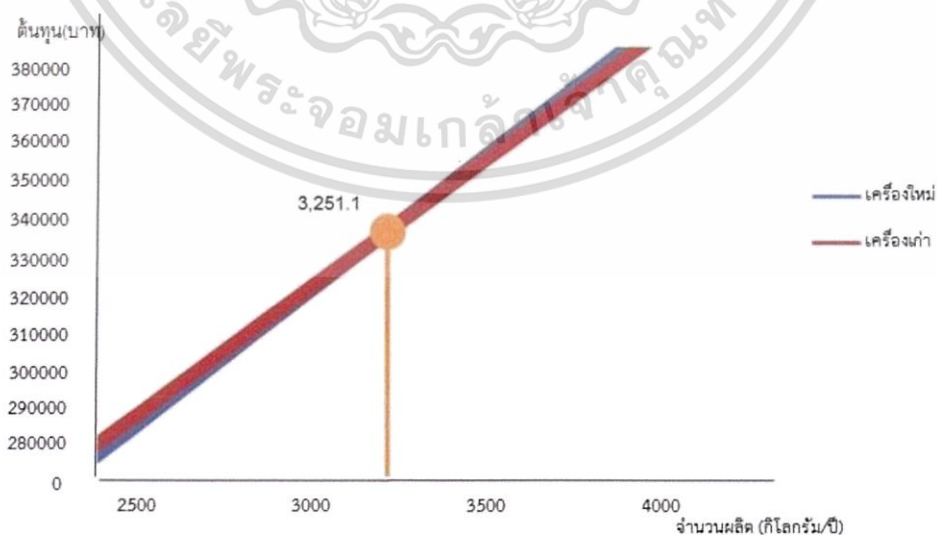
$$\text{ค่าเสื่อมเครื่องจักรรายปี} = 6,031.65 - 1,208.44 = 4,823.21 \text{ บาทต่อปี}$$

จุดคุ้มทุนเป็นจุดที่ปริมาณการผลิตของเครื่องแบบปั๊มเพียงพอเท่ากับเครื่องแบบกตรีตสายยาง

$$EUAW_{\text{เครื่องแบบปั๊ม}} = EUAW_{\text{เครื่องแบบกตรีตสายยาง}}$$

$$8,442.2 + 2,400 + 109.75X = 4,823.21 + 1,500 + 111.14X$$

$$X = 3,251.1 \text{ กิโลกรัมต่อปี}$$



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจุดคุ้มทุน

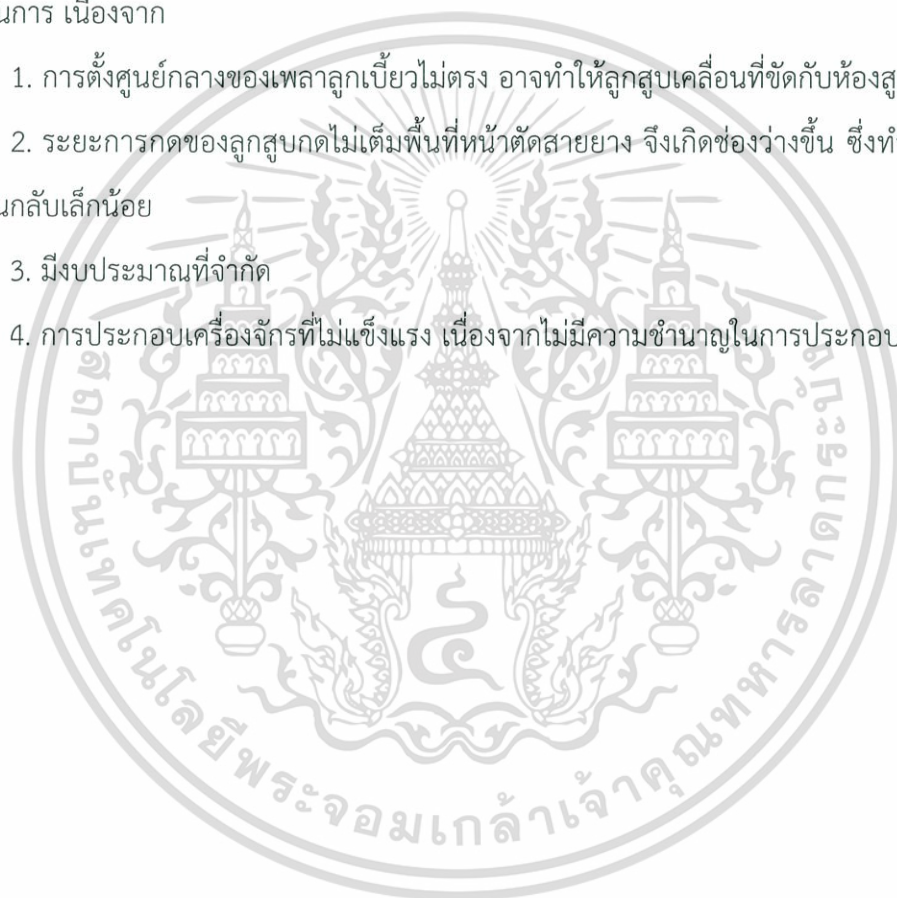
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สามารถวิเคราะห์ผลการคำนวณได้ว่า เมื่อมีการผลิตต่ำกว่า 3,251.1 กิโลกรัมต่อปี ควรเลือกใช้เครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนีตโดยใช้กลไกรีดสายยางจากการกดเป็นจังหวะ เพราะต้นทุนการผลิตน้อยกว่าเครื่องลำเลียงแบบบีบเฟืองนอก และมีระยะเวลาคืนทุน 4 เดือน

## 5.5 การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวนั้น อาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ เนื่องจาก

1. การตั้งศูนย์กลางของเพลาลูกเบี้ยวไม่ตรง อาจทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขัดกับห้องสูบ
2. ระยะการกดของลูกสูบกดไม่เต็มพื้นที่หน้าตัดสายยาง จึงเกิดช่องว่างขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการไหลย้อนกลับเล็กน้อย
3. มینگปริมาณที่จำกัด
4. การประกอบเครื่องจักรที่ไม่แข็งแรง เนื่องจากไม่มีความชำนาญในการประกอบเครื่องจักร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบเครื่องจักรต้องคำนึงถึงการให้คะแนนเพื่อตัดสินใจเลือกออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด ผู้เขียนจึงเลือกใช้แบบบีมรีดสายยาวจากการกดเป็นจังหวะ เนื่องจากมีผู้ให้คะแนนมากเป็นอันดับที่หนึ่งจากตัวเลือกทั้งหมด

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความเร็วรอบส่งผลต่ออัตราการไหลของอาหารชั้นหนืด เมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลอาหารชั้นหนืดจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าที่ความเร็วรอบ 49 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลเนื้อหมุดและน้ำ เท่ากับ  $390.13 \pm 13.51$  และ  $10406.67 \pm 110.15$  มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว
2. ความเร็วรอบส่งผลต่อความดัน เมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้น ความดันจะลดลง และพบว่าที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที มีความดันของน้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2035.03 Pa
3. เมื่อความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว 49 รอบต่อนาที จะมีอายุการใช้งานของสายยางซิลิโคน ประมาณ 1 เดือน 27 วัน และการลำเลียงอาหารชั้นหนืดโดยใช้เครื่องลำเลียงแบบการรีดสายยาวจากการกดเป็นจังหวะ สามารถลดเวลาการทำความสะอาด คิดเป็น 100 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเทียบกับเครื่องลำเลียงแบบบีมเฟืองนอก

### 6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปรับปรุงเครื่องเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืดแบบการรีดสายยาวจากการกดเป็นจังหวะให้ดีขึ้น มีดังนี้

1. ควรศึกษาเรื่องกำลังมอเตอร์ เพื่อให้เพลาลูกเบี้ยวมีความเร็วรอบสูงสุดที่สามารถจะเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลอาหารชั้นหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องลำเลียงอาหารชั้นหนืด เช่น ลูกเปี้ยว และลูกสูบ ควรมีการชุบฮาร์ดโครม (Hard Chrome) เพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ลดความเสี่ยงต่อการสึกกร่อน

3. ควรมีการประกอบเครื่องจักรที่แม่นยำ เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดน้อยที่สุด เช่น การตั้งศูนย์ของเพลาลูกเปี้ยว ระยะการกดของลูกสูบที่ใช้กดสายยางควรจะมีระยะการกดที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้อาหารชั้นหนืดภายในสายยางมีการไหลย้อนกลับ หรือเกิดช่องว่าง ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพอัตราการไหล อาจเกิดการไหลไม่ต่อเนื่องในกระบวนการผลิตด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

กิตติ อินทรานนท์. 2529, การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกลสำหรับช่างอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุ๊คส์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 15 ธันวาคม 2559. ความหนืด [ออนไลน์]. เข้าถึง จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0546/viscosity-ความหนืด>.

Chen Liping, Zhao Yan and Zhou Fanli 2009. "Modeling and Simulation of Gear Pump based on Modelica/MWorks". National Nature Science Foundation of China.

Clyde Moon. "Cam Design". Commercial Cam Division, Emerson Electric Company.

Dehuai Yang, Tianbiao Zhang and Qi Luo 2014. "Linear Peristaltic Pump Device Design". Journal of Engineering. 199-203.

E.A.P. Egbe 2013. "Design Analysis and Testing of a Gear Pump". International Journal of Engineering and Science. 1-7.

E.N.Aitavade, S.d.Patil, and T.S.Mulla 2011. "An Overview of Peristaltic Pump Suitable For Handling of Various Slurries and Liquids". IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 19-24.

Fan Y.Chen 1982. "Mechanics and design of cam mechanisms". Library of congress Cataloging in Publication Data. 7-9.

Giles J Peek 1999. "Tubing failure during prolonged roller pump use: a laboratory study" Perfusion. 443-452.

Hareesha N Gowda 2014. "Design and Drawing of CAM profiles". Book of Daynanda Sagar College of Engg. 21-35.

Harold A.Rothbart 2003. "Cam DESIGN HANDBOOK". Science and Engineering Fairleigh Dickinson University Teaneck, New Jersey. 45-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jozsef Klespitz and Levente Kovacs 2014. “Peristaltic pump a review on working and control possibilities”. *International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*. 23-25.
- Karl T Ulric and Steven D Eppinger. (2012). *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill.
- Konrad Leopold Hoffmeier, Dirk Hoffmann and Karl-Heinz Feller 2014. “A FIRST INHERENTLY PULSATION FREE PERISTALTIC PUMP” *Technisha Universitat Hmenau*. 2-8.
- Laxmi Kant Sahu, Vijay Kumar Kedia and Meena Sahu 2016. “Design of Cam and Follower system using Basic and Synthetic curves”. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 362-372.
- Lotfi Maddoui, Fatima Zohra Kadid and Rachid Abdessemed 2014. “Linear Peristaltic Pump based on Electromagnetic Actuators”. *Serbian Journal of Electrical Engineering*. 457-464.
- Mehmet Ugur Yildiz, Mehmet Musa Ozcan and Sedat Calisir (2009). Physico-chemical properties of wild chestnut (*Castanea sativa* Mill.) fruit grown in Turkey. *World Applied Sciences Journal*, 6, 365-372.
- NR Swaminathan, V.Diwakar Reddy, G Krishnaiah and Venkateswarlu 2013. “Design and Fabrication of a Pump for Peristaltic Flow of variable viscosity fluids” *International Journal of Advancements in Research & Technology*. 2278-7763.
- Robelio B. Jester and Ahmad-Maher Moubayed 2003. “Peristaltic Pump with pinch fingers for providing couplet occlusion”. *European Patent*. 1-17.
- Timothy Thorpe and Peter G. Korytnyk 1999. “Linear Peristaltic Pump”. *United State Patent*. 417-474.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองอัตราการไหลของอาหารชั้นหนืด ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราการไหล (มิลลิเมตรต่อนาที)							
	เนื้อหมูปด				น้ำที่อุณหภูมิต่ำ			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	136.59	146.41	149.16	144.05	9400	9500	9600	9500
30	243.94	253.11	265.58	254.21	9640	9780	9560	9660
35	291.47	276.07	285.49	284.34	9700	9900	9800	9800
40	301.23	332.88	333.63	322.58	9820	9920	9780	9840
45	345.96	359.82	348.67	351.49	9800	10020	9860	9893.33
49	376.99	403.99	389.41	390.13	10520	10400	10300	10406.67

ตารางที่ 2 การสรุปผลทดลองอัตราการไหลของเนื้อหมูปด ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

Motor Speed (rpm)	Count	Sum	Average	Variance
25	3	432.1521	144.0507	43.67329
30	3	762.6345	254.2115	118.0072
35	3	853.0241	284.3414	60.27378
40	3	967.7365	322.5788	341.8506
45	3	1054.462	351.4873	53.95628
49	3	1170.39	390.1299	182.5675

ตารางที่ 3 การสรุปผลทดลองอัตราการไหลของน้ำ ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

Motor Speed (rpm)	Count	Sum	Average	Variance
25	3	28500	9500	10000
30	3	28980	9660	12400
35	3	29400	9800	10000
40	3	29520	9840	5200
45	3	29680	9893.333	12933.33
49	3	31220	10406.67	12133.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติอัตราการไหลของเนื้อหมุด ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	112423.2	5	22484.63	168.5655	1.1E-10	3.105875
Within Groups	1600.657	12	133.3881			
Total	114023.8	17				

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติอัตราการไหลของน้ำ ที่ความสูง 350 มิลลิเมตร

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1418867	5	283773.3	27.16979	3.76E-06	3.105875
Within Groups	125333.3	12	10444.44			
Total	1544200	17				

ตารางที่ 6 ผลการทดลองความดันน้ำของเครื่องมาโนมิเตอร์รูปตัวยู จุดที่ 1

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	16.4	31.4	15	1471.5	14.9	32.7	17.8	1746.18
0.3	16.3	31.5	15.2	1491.12	15	32.6	17.6	1726.56
0.45	16.1	31.8	15.7	1540.17	15.4	32.2	16.8	1648.08
0.6	15.5	32.1	16.6	1628.46	16	31.7	15.7	1540.17
0.75	14.8	32.9	18.1	1775.61	16.6	31.1	14.5	1422.45
0.9	14.3	33.5	19.2	1883.52	16.8	30.9	14.1	1383.21
1.05	14.2	33.6	19.4	1903.14	16.9	30.8	13.9	1363.59
1.2	14.5	33.3	18.8	1844.28	17	30.7	13.7	1343.97
1.35	15	32.7	17.7	1736.37	16.8	30.9	14.1	1383.21
1.5	15.5	32.3	16.8	1648.08	16.5	31.2	14.7	1442.07
1.65	16.1	31.8	15.7	1540.17	15.5	32.1	16.6	1628.46
1.8	16.6	31.1	14.5	1422.45	14.7	33	18.3	1795.23
1.95	17	30.8	13.8	1353.78	14.6	33.1	18.5	1814.85
2.1	17.2	30.6	13.4	1314.54	14.8	32.9	18.1	1775.61
2.25	17.3	30.8	13.5	1324.35	15	32.7	17.7	1736.37
2.4	17.2	30.9	13.7	1343.97	15.4	32.2	16.8	1648.08
2.55	17	30.9	13.9	1363.59	15.9	31.8	15.9	1559.79
2.7	16.7	31	14.3	1402.83	16.4	31.3	14.9	1461.69
2.85	16.5	31.2	14.7	1442.07	16.7	31	14.3	1402.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
3	16.4	31.3	14.9	1461.69	16.8	30.9	14.1	1383.21
3.15	16.3	31.4	15.1	1481.31	16.9	30.8	13.9	1363.59
3.3	16.2	31.5	15.3	1500.93	16.8	30.9	14.1	1383.21
3.45	15.9	31.8	15.9	1559.79	16.4	31.2	14.8	1451.88
3.6	15.1	32.6	17.5	1716.75	15.4	32.2	16.8	1648.08
3.75	14.6	33.2	18.6	1824.66	14.7	32.9	18.2	1785.42
3.9	14.5	33.3	18.8	1844.28	14.5	33.2	18.7	1834.47
4.05	14.8	33	18.2	1785.42	14.6	33	18.4	1805.04
4.2	15.1	32.7	17.6	1726.56	14.9	32.7	17.8	1746.18
4.35	15.5	32.3	16.8	1648.08	15.3	32.4	17.1	1677.51
4.5	16.2	31.6	15.4	1510.74	15.9	31.8	15.9	1559.79
4.65	16.7	31	14.3	1402.83	16.4	31.2	14.8	1451.88
4.8	17	30.8	13.8	1353.78	16.6	31.1	14.5	1422.45
4.95	17.2	30.5	13.3	1304.73	16.8	30.9	14.1	1383.21
5.1	17.1	30.6	13.5	1324.35	16.9	30.8	13.9	1363.59
5.25	16.9	30.9	14	1373.4	16.8	30.9	14.1	1383.21
5.4	16.8	31	14.2	1393.02	16.5	31	14.5	1422.45
5.55	16.7	31.1	14.4	1412.64	15.7	31.9	16.2	1589.22
5.7	16.5	31.3	14.8	1451.88	14.8	32.8	18	1765.8
5.85	16.3	31.5	15.2	1491.12	14.4	33.2	18.8	1844.28
6	15.9	31.9	16	1569.6	14.5	33.1	18.6	1824.66
6.15	15.1	32.7	17.6	1726.56	14.8	32.8	18	1765.8
6.3	14.6	33.2	18.6	1824.66	15.2	32.3	17.1	1677.51
6.45	14.5	33.3	18.8	1844.28	15.9	31.8	15.9	1559.79
6.6	14.7	33.1	18.4	1805.04	16.4	31.2	14.8	1451.88
6.75	15	32.9	17.9	1755.99	16.7	31.1	14.4	1412.64
6.9	15.4	32.3	16.9	1657.89	16.8	30.9	14.1	1383.21
7.05	16.2	31.7	15.5	1520.55	16.9	30.8	13.9	1363.59
7.2	16.7	31	14.3	1402.83	17	30.7	13.7	1343.97
7.35	17	30.8	13.8	1353.78	16.6	31	14.4	1412.64
7.5	17.3	30.7	13.4	1314.54	15.7	31.9	16.2	1589.22
7.65	17.1	30.6	13.5	1324.35	14.9	32.7	17.8	1746.18
7.8	16.9	30.8	13.9	1363.59	14.5	33.1	18.6	1824.66
7.95	16.9	30.9	14	1373.4	14.6	33	18.4	1805.04
8.1	16.8	31	14.2	1393.02	14.8	32.9	18.1	1775.61
8.25	16.7	31.1	14.4	1412.64	15.1	32.4	17.3	1697.13
8.4	16.5	31.3	14.8	1451.88	15.8	31.9	16.1	1579.41
8.55	16	31.8	15.8	1549.98	16.4	31.3	14.9	1461.69
8.7	15.3	32.5	17.2	1687.32	16.6	31	14.4	1412.64
8.85	14.5	33.3	18.8	1844.28	16.8	30.9	14.1	1383.21
9	14.2	33.6	19.4	1903.14	16.9	30.8	13.9	1363.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	14.7	32.9	18.2	1785.42	15.2	32.5	17.3	1697.13
0.3	14.8	32.8	18	1765.8	15.1	32.6	17.5	1716.75
0.45	14.9	32.7	17.8	1746.18	15	32.7	17.7	1736.37
0.6	15.1	32.5	17.4	1706.94	15.2	32.5	17.3	1697.13
0.75	15.4	32.3	16.9	1657.89	15.4	32.3	16.9	1657.89
0.9	15.8	31.9	16.1	1579.41	15.7	32	16.3	1599.03
1.05	16.1	31.7	15.6	1530.36	15.9	31.8	15.9	1559.79
1.2	16.3	31.4	15.1	1481.31	16.2	31.5	15.3	1500.93
1.35	16.5	31.2	14.7	1442.07	16.4	31.2	14.8	1451.88
1.5	16.6	31	14.4	1412.64	16.5	31.1	14.6	1432.26
1.65	16.1	31.6	15.5	1520.55	16	31.7	15.7	1540.17
1.8	15.4	32.4	17	1667.7	15.2	32.4	17.2	1687.32
1.95	14.9	32.7	17.8	1746.18	15.1	32.7	17.6	1726.56
2.1	15	32.6	17.6	1726.56	15.4	32.3	16.9	1657.89
2.25	15.3	32.4	17.1	1677.51	15.7	32.1	16.4	1608.84
2.4	15.5	32.2	16.7	1638.27	15.9	31.9	16	1569.6
2.55	15.9	31.8	15.9	1559.79	16.1	31.5	15.4	1510.74
2.7	16.2	31.5	15.3	1500.93	16.4	31.3	14.9	1461.69
2.85	16.4	31.3	14.9	1461.69	16.6	31	14.4	1412.64
3	16.6	31.1	14.5	1422.45	16.4	31.3	14.9	1461.69
3.15	16.7	31	14.3	1402.83	15.5	32.2	16.7	1638.27
3.3	16	31.7	15.7	1540.17	14.9	32.8	17.9	1755.99
3.45	15.2	32.6	17.4	1706.94	15	32.7	17.7	1736.37
3.6	14.8	32.9	18.1	1775.61	15.3	32.4	17.1	1677.51
3.75	14.9	32.8	17.9	1755.99	15.6	32	16.4	1608.84
3.9	15	32.7	17.7	1736.37	15.8	31.8	16	1569.6
4.05	15.4	32.4	17	1667.7	16.1	31.4	15.3	1500.93
4.2	15.9	31.9	16	1569.6	16.3	31.5	15.2	1491.12
4.35	16.2	31.6	15.4	1510.74	16.5	31.1	14.6	1432.26
4.5	16.5	31.3	14.8	1451.88	16.2	31.4	15.2	1491.12
4.65	16.7	31	14.3	1402.83	15.4	32.3	16.9	1657.89
4.8	16.6	31.1	14.5	1422.45	15	32.7	17.7	1736.37
4.95	15.9	31.8	15.9	1559.79	15.2	32.5	17.3	1697.13
5.1	15.1	32.5	17.4	1706.94	15.4	32.3	16.9	1657.89
5.25	14.8	32.9	18.1	1775.61	15.7	31.9	16.2	1589.22
5.4	15	32.7	17.7	1736.37	16	31.8	15.8	1549.98
5.55	15.2	32.5	17.3	1697.13	16.3	31.5	15.2	1491.12
5.7	15.4	32.3	16.9	1657.89	16.6	31	14.4	1412.64
5.85	15.9	31.9	16	1569.6	16.5	31	14.5	1422.45
6	16.3	31.7	15.4	1510.74	16.1	31.5	15.4	1510.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
6.15	16.5	31.3	14.8	1451.88	15.2	32.5	17.3	1697.13
6.3	16.7	31.1	14.4	1412.64	15	32.6	17.6	1726.56
6.45	16.6	31.2	14.6	1432.26	15.3	32.4	17.1	1677.51
6.6	16	31.8	15.8	1549.98	15.5	32.3	16.8	1648.08
6.75	15.1	32.5	17.4	1706.94	15.7	32.1	16.4	1608.84
6.9	14.9	32.8	17.9	1755.99	16	31.7	15.7	1540.17
7.05	15.1	32.6	17.5	1716.75	16.3	31.4	15.1	1481.31
7.2	15.3	32.4	17.1	1677.51	16.6	31	14.4	1412.64
7.35	15.6	32.2	16.6	1628.46	16.4	31.1	14.7	1442.07
7.5	16	31.8	15.8	1549.98	15.8	31.8	16	1569.6
7.65	16.2	31.6	15.4	1510.74	15.2	32.4	17.2	1687.32
7.8	16.4	31.3	14.9	1461.69	15.1	32.5	17.4	1706.94
7.95	16.5	31.2	14.7	1442.07	15.4	32.2	16.8	1648.08
8.1	16.6	31.1	14.5	1422.45	15.7	32	16.3	1599.03
8.25	16	31.7	15.7	1540.17	15.9	31.8	15.9	1559.79
8.4	15.1	32.5	17.4	1706.94	16.1	31.6	15.5	1520.55
8.55	14.9	32.8	17.9	1755.99	16.4	31.3	14.9	1461.69
8.7	15.1	32.6	17.5	1716.75	16.6	31	14.4	1412.64
8.85	15.3	32.4	17.1	1677.51	16.3	31.3	15	1471.5
9	15.6	32.2	16.6	1628.46	15.5	32.2	16.7	1638.27

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	15.4	32.4	17	1667.7	16.25	31.3	15.05	1476.405
0.3	15.5	32.3	16.8	1648.08	15.9	31.8	15.9	1559.79
0.45	15.6	32.0	16.4	1608.84	15.6	31.8	16.2	1589.22
0.6	15.65	32	16.35	1603.935	15.7	32.1	16.4	1608.84
0.75	15.7	31.6	15.9	1559.79	15.8	31.4	15.6	1530.36
0.9	16	31.8	15.8	1549.98	16	31.2	15.2	1491.12
1.05	16.3	31.6	15.3	1500.93	16.3	31.6	15.3	1500.93
1.2	15.8	31.8	16	1569.6	15.8	31.8	16	1569.6
1.35	15.2	32.4	17.2	1687.32	16	31.3	15.3	1500.93
1.5	15.25	32.5	17.25	1692.225	16.3	31.4	15.1	1481.31
1.65	15.5	32.2	16.7	1638.27	16.6	31.5	14.9	1461.69
1.8	15.6	32.1	16.5	1618.65	16.4	31.4	15	1471.5
1.95	15.7	32	16.3	1599.03	15.7	32	16.3	1599.03
2.1	15.9	31.8	15.9	1559.79	15.9	31.8	15.9	1559.79
2.25	16.2	31.4	15.2	1491.12	16.2	31.4	15.2	1491.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านนการใดๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
2.4	16.25	31.3	15.05	1476.405	16.25	31.3	15.05	1476.405
2.55	15.6	32	16.4	1608.84	15.6	32	16.4	1608.84
2.7	15	32.5	17.5	1716.75	15.9	31.5	15.6	1530.36
2.85	15.3	32.3	17	1667.7	16.1	31.4	15.3	1500.93
3	15.5	32.2	16.7	1638.27	16.5	31.7	15.2	1491.12
3.15	15.8	31.9	16.1	1579.41	15.8	31.9	16.1	1579.41
3.3	15.9	31.8	15.9	1559.79	15.9	31.8	15.9	1559.79
3.45	16	31.6	15.6	1530.36	16	31.6	15.6	1530.36
3.6	16.3	31.4	15.1	1481.31	16.3	31.4	15.1	1481.31
3.75	15.9	31.7	15.8	1549.98	15.9	31.7	15.8	1549.98
3.9	15.1	32.3	17.2	1687.32	16.4	31.3	14.9	1461.69
4.05	14.9	32.7	17.8	1746.18	16.1	31.1	15	1471.5
4.2	15.3	32.2	16.9	1657.89	16.2	31.4	15.2	1491.12
4.35	15.5	32	16.5	1618.65	15.5	32	16.5	1618.65
4.5	15.7	31.9	16.2	1589.22	15.7	31.9	16.2	1589.22
4.65	15.9	31.7	15.8	1549.98	15.9	31.7	15.8	1549.98
4.8	16.1	31.4	15.3	1500.93	16.1	31.4	15.3	1500.93
4.95	16.3	31.2	14.9	1461.69	16.3	31.2	14.9	1461.69
5.1	15.6	31.8	16.2	1589.22	15.6	31.8	16.2	1589.22
5.25	15.1	32.3	17.2	1687.32	15.5	32.1	16.6	1628.46
5.4	15	32.4	17.4	1706.94	15.3	32.2	16.9	1657.89
5.55	15.4	32	16.6	1628.46	15.4	32	16.6	1628.46
5.7	15.6	31.8	16.2	1589.22	15.6	31.8	16.2	1589.22
5.85	15.8	31.6	15.8	1549.98	15.8	31.6	15.8	1549.98
6	15.9	31.4	15.5	1520.55	15.9	31.4	15.5	1520.55
6.15	16.1	31.2	15.1	1481.31	16.1	31.2	15.1	1481.31
6.3	15.9	31.3	15.4	1510.74	15.9	31.3	15.4	1510.74
6.45	15.3	32.2	16.9	1657.89	15.7	31.5	15.8	1549.98
6.6	14.9	32.5	17.6	1726.56	15.6	31.7	16.1	1579.41
6.75	15.4	32.3	16.9	1657.89	15.3	32	16.7	1638.27
6.9	15.6	32.1	16.5	1618.65	15.5	31.9	16.4	1608.84
7.05	15.8	31.8	16	1569.6	15.8	31.8	16	1569.6
7.2	15.9	31.6	15.7	1540.17	15.9	31.6	15.7	1540.17
7.35	16	31.4	15.4	1510.74	16	31.4	15.4	1510.74
7.5	16.2	31.2	15	1471.5	16.1	31.2	15.1	1481.31
7.65	15.6	31.9	16.3	1599.03	16.2	31.1	14.9	1461.69
7.8	15.1	32.4	17.3	1697.13	15.9	31.3	15.4	1510.74
7.95	14.9	32.5	17.6	1726.56	16	31.5	15.5	1520.55
8.1	15.2	32.3	17.1	1677.51	15.9	31.7	15.8	1549.98
8.25	15.5	32.1	16.6	1628.46	15.7	31.9	16.2	1589.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
8.4	15.7	31.8	16.1	1579.41	15.5	32.2	16.7	1638.27
8.55	15.8	31.7	15.9	1559.79	15.8	31.7	15.9	1559.79
8.7	16	31.3	15.3	1500.93	15.9	31.5	15.6	1530.36
8.85	15.9	31.5	15.6	1530.36	16	31.3	15.3	1500.93
9	15.3	32.1	16.8	1648.08	16.1	31.2	15.1	1481.31

ตารางที่ 7 ผลการทดลองความดันน้ำของเครื่องมาโนมิเตอร์รูปถ้วย จุดที่ 2

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-6.6	1.2	7.8	765.18	-6.8	1.6	8.4	824.04
0.3	-6	0.8	6.8	667.08	-6.5	1.4	7.9	774.99
0.45	-4.4	-0.9	3.5	343.35	-6	0.8	6.8	667.08
0.6	-2.6	-2.7	-0.1	-9.81	-4.3	-0.9	3.4	333.54
0.75	-1	-4.3	-3.3	-323.73	-2.1	-3	-0.9	-88.29
0.9	0.1	-5.4	-5.5	-539.55	-0.4	-4.7	-4.3	-421.83
1.05	0.8	-6.1	-6.9	-676.89	0.6	-5.7	-6.3	-618.03
1.2	1.1	-6.5	-7.6	-745.56	0.9	-6	-6.9	-676.89
1.35	0.8	-6.2	-7	-686.7	1	-6.1	-7.1	-696.51
1.5	0.1	-5.5	-5.6	-549.36	-0.7	-4.7	-4	-392.4
1.65	-0.5	-4.9	-4.4	-431.64	-3.6	-2	1.6	156.96
1.8	-0.3	-4.7	-4.4	-431.64	-7	1.7	8.7	853.47
1.95	-1	-4.4	-3.4	-333.54	-8.5	3.3	11.8	1157.58
2.1	-2.9	-2.7	0.2	19.62	-8.3	3.1	11.4	1118.34
2.25	-6.5	1	7.5	735.75	-7.3	2.2	9.5	931.95
2.4	-9	3.7	12.7	1245.87	-6	-1	5	490.5
2.55	-9.9	4.4	14.3	1402.83	-4.3	-0.7	3.6	353.16
2.7	-9.5	4.1	13.6	1334.16	-2.2	-2.8	-0.6	-58.86
2.85	-8.7	3.4	12.1	1187.01	-0.3	-4.8	-4.5	-441.45
3	-6.9	1.7	8.6	843.66	0.7	-5.8	-6.5	-637.65
3.15	-4.4	-0.7	3.7	362.97	1	-6.1	-7.1	-696.51
3.3	-2.2	-3	-0.8	-78.48	1.1	-6.3	-7.4	-725.94
3.45	-0.3	-4.6	-4.3	-421.83	0.9	-5.3	-6.2	-608.22
3.6	0.2	-5.4	-5.6	-549.36	-3.3	-2	1.3	127.53
3.75	1	-6.2	-7.2	-706.32	-6.9	1.5	8.4	824.04
3.9	1.2	-6.5	-7.7	-755.37	-8.5	3.3	11.8	1157.58
4.05	0.6	-6	-6.6	-647.46	-8.3	3.2	11.5	1128.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
4.2	0.1	-5.4	-5.5	-539.55	-7.4	2.3	9.7	951.57
4.35	-0.2	-5.2	-5	-490.5	-6.1	1	7.1	696.51
4.5	-0.5	-4.8	-4.3	-421.83	-4.4	-0.6	3.8	372.78
4.65	-2.7	-2.8	-0.1	-9.81	-2.7	-2.2	0.5	49.05
4.8	-6.3	0.8	7.1	696.51	-0.7	-4.4	-3.7	-362.97
4.95	-8.5	3.2	11.7	1147.77	0.5	-5.6	-6.1	-598.41
5.1	-9.6	4.3	13.9	1363.59	0.9	-6.1	-7	-686.7
5.25	-9.9	4.6	14.5	1422.45	1	-6.2	-7.2	-706.32
5.4	-10.1	4.7	14.8	1451.88	0.1	-5.3	-5.4	-529.74
5.55	-9.8	4.5	14.3	1402.83	-3.1	-2	1.1	107.91
5.7	-8.2	3	11.2	1098.72	-6.7	1.4	8.1	794.61
5.85	-5.6	0.4	6	588.6	-8.5	3.2	11.7	1147.77
6	-3	-2.1	0.9	88.29	-8.4	3.1	11.5	1128.15
6.15	-1.5	-3.8	-2.3	-225.63	-7.7	2.5	10.2	1000.62
6.3	-0.5	-4.9	-4.4	-431.64	-6.4	1.3	7.7	755.37
6.45	-0.3	-5.5	-5.8	-568.98	-4.9	-0.2	4.7	461.07
6.6	0.8	-6.1	-6.9	-676.89	-3	-2.1	0.9	88.29
6.75	0.7	-6	-6.7	-657.27	0	-4.1	-4.1	-402.21
6.9	0	-5.3	-5.3	-519.93	0.4	-5.4	-5.8	-568.98
7.05	-0.7	-4.7	-4	-392.4	0.8	-5.8	-6.6	-647.46
7.2	-0.9	-4.4	-3.5	-343.35	1	-6.1	-7.1	-696.51
7.35	-1	-4.3	-3.3	-323.73	0.2	-5.3	-5.5	-539.55
7.5	-2.6	-2.7	-0.1	-9.81	-2.7	-2.5	0.2	19.62
7.65	-6	0.7	6.7	657.27	-5.7	0.6	6.3	618.03
7.8	-8.7	3.4	12.1	1187.01	-8.2	3	11.2	1098.72
7.95	-9.3	4	13.3	1304.73	-8.5	3.4	11.9	1167.39
8.1	-9.2	3.9	13.1	1285.11	-7.6	2.5	10.1	990.81
8.25	-8.6	3.3	11.9	1167.39	-6.4	1.4	7.8	765.18
8.4	-7.3	2.1	9.4	922.14	-4.8	-0.1	4.7	461.07
8.55	-5.1	0	5.1	500.31	-2.9	-2.1	0.8	78.48
8.7	-2.9	-2.3	0.6	58.86	-0.8	-4.1	-3.3	-323.73
8.85	-1.4	-3.9	-2.5	-245.25	0.4	-5.5	-5.9	-578.79
9	-0.2	-5.1	-4.9	-480.69	0.9	-5.9	-6.8	-667.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-6.6	1.5	8.1	794.61	-4	-1.1	2.9	284.49
0.3	-6.4	1.4	7.8	765.18	-3.8	-1.3	2.5	245.25
0.45	-6.1	1	7.1	696.51	-3.5	-1.4	2.1	206.01
0.6	-5.2	0.1	5.3	519.93	-2.7	-2.3	0.4	39.24
0.75	-4.3	-0.7	3.6	353.16	-1.7	-3.4	-1.7	-166.77
0.9	-2.8	-2.2	0.6	58.86	-0.9	-4.2	-3.3	-323.73
1.05	-1.1	-3.8	-2.7	-264.87	-1.7	-3.5	-1.8	-176.58
1.2	-0.2	-4.9	-4.7	-461.07	-3.9	-1.3	2.6	255.06
1.35	0	-5.2	-5.2	-510.12	-5.5	0.4	5.9	578.79
1.5	-1.4	-3.7	-2.3	-225.63	-5.6	0.5	6.1	598.41
1.65	-4.2	-1	3.2	313.92	-4.7	-0.3	4.4	431.64
1.8	-6	0.9	6.9	676.89	-3.9	-1.1	2.8	274.68
1.95	-6.8	1.7	8.5	833.85	-3.3	-1.7	1.6	156.96
2.1	-6.1	1	7.1	696.51	-2.2	-2.8	-0.6	-58.86
2.25	-5.2	0.1	5.3	519.93	-1.1	-3.8	-2.7	-264.87
2.4	-4.2	-0.7	3.5	343.35	-0.9	-4.1	-3.2	-313.92
2.55	-2.7	-2.2	0.5	49.05	-2.5	-2.4	0.1	9.81
2.7	-1.1	-3.9	-2.8	-274.68	-4.8	-0.3	4.5	441.45
2.85	-0.1	-4.9	-4.8	-470.88	-5.7	0.6	6.3	618.03
3	0.1	-5.2	-5.3	-519.93	-5.2	0.2	5.4	529.74
3.15	-1.5	-3.6	-2.1	-206.01	-4.3	-0.7	3.6	353.16
3.3	-3.6	-1.6	2	196.2	-3.6	-1.3	2.3	225.63
3.45	-6	0.9	6.9	676.89	-2.8	-2.1	0.7	68.67
3.6	-6.8	1.7	8.5	833.85	-1.8	-3.2	-1.4	-137.34
3.75	-6.1	1.1	7.2	706.32	-0.9	-4.1	-3.2	-313.92
3.9	-5.2	0.2	5.4	529.74	-1.5	-3.6	-2.1	-206.01
4.05	-4.3	-0.6	3.7	362.97	-3.6	-1.5	2.1	206.01
4.2	-2.9	-2	0.9	88.29	-5.4	0.3	5.7	559.17
4.35	-1.3	-3.6	-2.3	-225.63	-5.6	0.6	6.2	608.22
4.5	-0.3	-4.7	-4.4	-431.64	-4.7	-0.2	4.5	441.45
4.65	0	-5	-5	-490.5	-3.9	-1.1	2.8	274.68
4.8	-1	-4.2	-3.2	-313.92	-3.2	-1.7	1.5	147.15
4.95	-3.8	-1.6	2.2	215.82	-2.2	-2.8	-0.6	-58.86
5.1	-6	0.8	6.8	667.08	-1.2	-3.8	-2.6	-255.06
5.25	-6.7	1.4	8.1	794.61	-0.9	-4.2	-3.3	-323.73
5.4	-6	1	7	686.7	-2.3	-2.9	-0.6	-58.86
5.55	-5.2	0.9	6.1	598.41	-4.6	-0.6	4	392.4
5.7	-4.3	-0.7	3.6	353.16	-5.7	0.6	6.3	618.03
5.85	-2.8	-2.1	0.7	68.67	-5.3	0.3	5.6	549.36
6	-1.1	-3.8	-2.7	-264.87	-4.3	-0.6	3.7	362.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเอกสารที่จัดทำขึ้น ข้อมูลที่เห็นในเอกสารนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
6.15	-0.1	-4.8	-4.7	-461.07	-3.7	-1.3	2.4	235.44
6.3	0.1	-5.1	-5.2	-510.12	-2.8	-2.2	0.6	58.86
6.45	-1.1	-4.1	-3	-294.3	-1.8	-3.2	-1.4	-137.34
6.6	-3.7	-1.6	2.1	206.01	-0.9	-4.1	-3.2	-313.92
6.75	-6	1	7	686.7	-1.3	-3.8	-2.5	-245.25
6.9	-6.7	1.7	8.4	824.04	-3.4	-1.6	1.8	176.58
7.05	-6	1	7	686.7	-5.4	0.2	5.6	549.36
7.2	-5.1	0.2	5.3	519.93	-5.6	0.5	6.1	598.41
7.35	-4.2	-0.8	3.4	333.54	-5	-0.1	4.9	480.69
7.5	-2.7	-2.1	0.6	58.86	-4.1	-1	3.1	304.11
7.65	-1.1	-3.8	-2.7	-264.87	-3.3	-1.6	1.7	166.77
7.8	-0.2	-4.7	-4.5	-441.45	-2.5	-2.4	0.1	9.81
7.95	0.2	-5.2	-5.4	-529.74	-1.5	-3.6	-2.1	-206.01
8.1	-0.9	-4.2	-3.3	-323.73	-0.9	-5.2	-4.3	-421.83
8.25	-3.7	-1.6	2.1	206.01	-2.1	-3.1	-1	-98.1
8.4	-6	0.9	6.9	676.89	-4.4	-1	3.4	333.54
8.55	-6.7	1.6	8.3	814.23	-5.7	0.6	6.3	618.03
8.7	-6	1	7	686.7	-5.3	0.2	5.5	539.55
8.85	-5.1	0.1	5.2	510.12	-4.6	-0.5	4.1	402.21
9	-4.1	-0.8	3.3	323.73	-3.8	-1.3	2.5	245.25

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-4.5	-0.2	4.3	421.83	23.5	24	0.5	49.05
0.3	-4.3	-0.4	3.9	382.59	23.5	23.7	0.2	19.62
0.45	-3.6	-1.1	2.5	245.25	23.8	23.5	-0.3	-29.43
0.6	-2.9	-2	0.9	88.29	24	23.4	-0.6	-58.86
0.75	-2.3	-2.8	-0.5	-49.05	24.3	23	-1.3	-127.53
0.9	-1.6	-3.5	-1.9	-186.39	24	23.4	-0.6	-58.86
1.05	-1.4	-3.7	-2.3	-225.63	22.5	25	2.5	245.25
1.2	-3	-2	1	98.1	21.8	25.7	3.9	382.59
1.35	-4.8	-0.1	4.7	461.07	22.6	24.9	2.3	225.63
1.5	-5.2	0.3	5.5	539.55	23.6	23.9	0.3	29.43
1.65	-4.1	-0.6	3.5	343.35	23.8	23.7	-0.1	-9.81
1.8	-3.2	-1.5	1.7	166.77	23.9	23.5	-0.4	-39.24
1.95	-2.6	-2.2	0.4	39.24	24.2	23	-1.2	-117.72
2.1	-2	-2.8	-0.8	-78.48	23.8	23.6	-0.2	-19.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
2.25	-1.5	-3.4	-1.9	-186.39	22.3	25	2.7	264.87
2.4	-2.5	-2.4	0.1	9.81	22.1	25.3	3.2	313.92
2.55	-4.1	-0.8	3.3	323.73	22.9	24.5	1.6	156.96
2.7	-5.2	0.4	5.6	549.36	23.6	23.7	0.1	9.81
2.85	-4.6	-0.2	4.4	431.64	23.7	23.6	-0.1	-9.81
3	-3.5	-1.1	2.4	235.44	23.8	23.5	-0.3	-29.43
3.15	-2.8	-1.9	0.9	88.29	23.9	23.4	-0.5	-49.05
3.3	-2.2	-2.5	-0.3	-29.43	23.1	25.1	2	196.2
3.45	-1.5	-3.3	-1.8	-176.58	21.9	25.5	3.6	353.16
3.6	-1.7	-3.2	-1.5	-147.15	22.2	25.1	2.9	284.49
3.75	-3.5	-1.4	2.1	206.01	23.3	25	1.7	166.77
3.9	-5	0.1	5.1	500.31	23.7	23.6	-0.1	-9.81
4.05	-5.1	0.3	5.4	529.74	23.8	23.5	-0.3	-29.43
4.2	-4	-0.7	3.3	323.73	23.9	23.4	-0.5	-49.05
4.35	-3.1	-1.6	1.5	147.15	23.7	23.6	-0.1	-9.81
4.5	-2.5	-2.2	0.3	29.43	22.7	24.6	1.9	186.39
4.65	-1.8	-3	-1.2	-117.72	21.7	25.7	4	392.4
4.8	-1.4	-3.4	-2	-196.2	22.3	25	2.7	264.87
4.95	-2.6	-2.5	0.1	9.81	23.4	23.9	0.5	49.05
5.1	-4.6	-0.4	4.2	412.02	23.8	23.5	-0.3	-29.43
5.25	-5.3	0.3	5.6	549.36	23.9	23.4	-0.5	-49.05
5.4	-4.6	-0.2	4.4	431.64	24	23.3	-0.7	-68.67
5.55	-3.5	-1.2	2.3	225.63	23.7	23.6	-0.1	-9.81
5.7	-2.8	-2	0.8	78.48	22.5	24.8	2.3	225.63
5.85	-2.2	-2.6	-0.4	-39.24	21.8	25.6	3.8	372.78
6	-1.5	-3.4	-1.9	-186.39	22.8	24.8	2	196.2
6.15	-1.8	-3.2	-1.4	-137.34	23.6	23.7	0.1	9.81
6.3	-3.6	-1.4	2.2	215.82	23.7	23.6	-0.1	-9.81
6.45	-5.1	0.2	5.3	519.93	23.8	23.5	-0.3	-29.43
6.6	-4.9	0.1	5	490.5	24	23.3	-0.7	-68.67
6.75	-3.8	-0.9	2.9	284.49	23.2	24	0.8	78.48
6.9	-3.1	-1.6	1.5	147.15	21.8	25.4	3.6	353.16
7.05	-2.5	-2.2	0.3	29.43	21.7	25.5	3.8	372.78
7.2	-1.8	-3	-1.2	-117.72	22.8	24.5	1.7	166.77
7.35	-1.3	-3.5	-2.2	-215.82	23.6	23.7	0.1	9.81
7.5	-2.5	-2.4	0.1	9.81	23.7	23.6	-0.1	-9.81
7.65	-4.5	-0.5	4	392.4	23.8	23.5	-0.3	-29.43
7.8	-5.1	0.3	5.4	529.74	23.9	23.4	-0.5	-49.05
7.95	-4.2	-0.4	3.8	372.78	22.8	24.3	1.5	147.15
8.1	-3.2	-1.4	1.8	176.58	21.6	25.7	4.1	402.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
8.25	-2.6	-2.2	0.4	39.24	22	25.2	3.2	313.92
8.4	-2	-2.7	-0.7	-68.67	23.2	23.9	0.7	68.67
8.55	-1.2	-3.4	-2.2	-215.82	23.7	23.6	-0.1	-9.81
8.7	-1.7	-3	-1.3	-127.53	23.8	23.5	-0.3	-29.43
8.85	-3.6	-1.2	2.4	235.44	23.9	23.4	-0.5	-49.05
9	-5	0.2	5.2	510.12	23.8	23.5	-0.3	-29.43

ตารางที่ 8 ผลการทดลองความดันน้ำของเครื่องมาโนมิเตอร์รูปตัวยู จุดที่ 3

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-28.4	-19.5	-8.9	-873.09	-29.1	-18.7	-10.4	-1020.24
0.3	-27.2	-19.9	-7.3	-716.13	-29.5	-18.2	-11.3	-1108.53
0.45	-26.5	-20.9	-5.6	-549.36	-30	-17.8	-12.2	-1196.82
0.6	-23.4	-24.9	1.5	147.15	-28.3	-19.8	-8.5	-833.85
0.75	-19.8	-28.9	9.1	892.71	-24.7	-23.6	-1.1	-107.91
0.9	-15.4	-32.2	16.8	1648.08	-20.4	-32.8	12.4	1216.44
1.05	-12.6	-35.2	22.6	2217.06	-18.9	-33.3	14.4	1412.64
1.2	-10.9	-37.9	27	2648.7	-15.3	-35.8	20.5	2011.05
1.35	-10.3	-37.7	27.4	2687.94	-11.9	-38.4	26.5	2599.65
1.5	-10.1	-38.1	28	2746.8	-10.9	-39.3	28.4	2786.04
1.65	-10.3	-37.5	27.2	2668.32	-12.7	-37.8	25.1	2462.31
1.8	-11.7	-36.7	25	2452.5	-16.8	-33.6	16.8	1648.08
1.95	-14.2	-34.4	20.2	1981.62	-19.2	-35.7	16.5	1618.65
2.1	-19.1	-29.8	10.7	1049.67	-26.8	-21.8	-5	-490.5
2.25	-23.7	-24.8	1.1	107.91	-29.7	-19.3	-10.4	-1020.24
2.4	-27.7	-20.8	-6.9	-676.89	-30	-18.9	-11.1	-1088.91
2.55	-29.1	-18.9	-10.2	-1000.62	-27.3	-20.2	-7.1	-696.51
2.7	-29.6	-18.3	-11.3	-1108.53	-23.9	-24.6	0.7	68.67
2.85	-27.3	-19.9	-7.4	-725.94	-17.3	-30	12.7	1245.87
3	-25	-23.2	-1.8	-176.58	-13.7	-34.3	20.6	2020.86
3.15	-21.9	-26.2	4.3	421.83	-11.2	-36.8	25.6	2511.36
3.3	-17.8	-30	12.2	1196.82	-10.6	-39.4	28.8	2825.28
3.45	-14.1	-34.3	20.2	1981.62	-13.2	-37.1	23.9	2344.59
3.6	-11.3	-36.4	25.1	2462.31	-17.1	-34.2	17.1	1677.51
3.75	-10.3	-37.8	27.5	2697.75	-24.7	-30	5.3	519.93
3.9	-10.2	-38	27.8	2727.18	-24.7	-24.3	-0.4	-39.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
4.05	-10	-38	28	2746.8	-28.9	-20	-8.9	-873.09
4.2	-10	-38.1	28.1	2756.61	-29.9	-18.8	-11.1	-1088.91
4.35	-11.1	-37.2	26.1	2560.41	-29.3	-19.1	-10.2	-1000.62
4.5	-14.8	-34.2	19.4	1903.14	-26.7	-22.3	-4.4	-431.64
4.65	-20.6	-37.7	17.1	1677.51	-23.3	-25.3	2	196.2
4.8	-25.3	-23.8	-1.5	-147.15	-17.4	-30.9	13.5	1324.35
4.95	-27.8	-19.9	-7.9	-774.99	-12.7	-34.7	22	2158.2
5.1	-29.8	-18.9	-10.9	-1069.29	-10.7	-36.7	26	2550.6
5.25	-29.2	-19	-10.2	-1000.62	-9.7	-38.6	28.9	2835.09
5.4	-26.9	-21.2	-5.7	-559.17	-9.2	-39.7	30.5	2992.05
5.55	-24.1	-24.7	0.6	58.86	-13.6	-35.4	21.8	2138.58
5.7	-19.8	-29.1	9.3	912.33	-20.1	-29.1	9	882.9
5.85	-15.1	-36.9	21.8	2138.58	-22.4	-23.7	1.3	127.53
6	-12.2	-35.8	23.6	2315.16	-29.1	-19.4	-9.7	-951.57
6.15	-10.8	-37.3	26.5	2599.65	-30	-18.8	-11.2	-1098.72
6.3	-10.3	-37.4	27.1	2658.51	-28.9	-19.3	-9.6	-941.76
6.45	-10.1	-37.6	27.5	2697.75	-25.4	-22.9	-2.5	-245.25
6.6	-9.9	-38.1	28.2	2766.42	-24.1	-27.2	3.1	304.11
6.75	-9.8	-38.2	28.4	2786.04	-21.4	-31.7	10.3	1010.43
6.9	-12.9	-35.9	23	2256.3	-18.9	-35.8	16.9	1657.89
7.05	-17.4	-30.5	13.1	1285.11	-15.2	-37.6	22.4	2197.44
7.2	-23.3	-25.7	2.4	235.44	-11.9	-39.1	27.2	2668.32
7.35	-26.9	-22.3	-4.6	-451.26	-13.7	-38.9	25.2	2472.12
7.5	-29.2	-19.2	-10	-981	-16.2	-33.9	17.7	1736.37
7.65	-30	-18.7	-11.3	-1108.53	-25.2	-27.6	2.4	235.44
7.8	-28.7	-19.1	-9.6	-941.76	-25.7	-23.2	-2.5	-245.25
7.95	-24.9	-23.9	-1	-98.1	-29.4	-19.1	-10.3	-1010.43
8.1	-21.4	-26.7	5.3	519.93	-29.9	-18.7	-11.2	-1098.72
8.25	-17.1	-30.8	13.7	1343.97	-28.1	-20	-8.1	-794.61
8.4	-14.1	-34.2	20.1	1971.81	-24.2	-24.6	0.4	39.24
8.55	-11.9	-36.8	24.9	2442.69	-20.7	-28.8	8.1	794.61
8.7	-10.3	-38.7	28.4	2786.04	-15.3	-33.8	18.5	1814.85
8.85	-10.2	-38.9	28.7	2815.47	-12.7	-36.4	23.7	2324.97
9	-10.1	-39	28.9	2835.09	-10.4	-38.7	28.3	2776.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-13.9	-35.4	21.5	2109.15	-16.8	-31.8	15	1471.5
0.3	-12.8	-36.4	23.6	2315.16	-15.7	-32.9	17.2	1687.32
0.45	-10.5	-38.1	27.6	2707.56	-13.7	-34.6	20.9	2050.29
0.6	-11.6	-37.1	25.5	2501.55	-11.9	-36.2	24.3	2383.83
0.75	-16.3	-32	15.7	1540.17	-14.3	-33.8	19.5	1912.95
0.9	-21.4	-27.2	5.8	568.98	-19.2	-29.7	10.5	1030.05
1.05	-25	-23.2	-1.8	-176.58	-22.8	-26.3	3.5	343.35
1.2	-28.3	-20	-8.3	-814.23	-24.8	-24	-0.8	-78.48
1.35	-28.5	-19.8	-8.7	-853.47	-24.9	-23.9	-1	-98.1
1.5	-25	-23.8	-1.2	-117.72	-21.7	-26.3	4.6	451.26
1.65	-20.3	-27.9	7.6	745.56	-17.9	-29.6	11.7	1147.77
1.8	-16.6	-32.8	16.2	1589.22	-14.8	-32.8	18	1765.8
1.95	-12.4	-35.6	23.2	2275.92	-12.7	-35.6	22.9	2246.49
2.1	-9.2	-38.2	29	2844.9	-13.8	-34.1	20.3	1991.43
2.25	-11.1	-37.3	26.2	2570.22	-17.7	-30	12.3	1206.63
2.4	-18.1	-32.3	14.2	1393.02	-22.7	-26.3	3.6	353.16
2.55	-22.6	-26.4	3.8	372.78	-24.3	-24.8	0.5	49.05
2.7	-26.3	-22.8	-3.5	-343.35	-24.9	-23.9	-1	-98.1
2.85	-28.4	-20	-8.4	-824.04	-24.7	-25	0.3	29.43
3	-28.5	-19.9	-8.6	-843.66	-19.3	-28.1	8.8	863.28
3.15	-26.1	-22.7	-3.4	-333.54	-17.1	-31.8	14.7	1442.07
3.3	-20.4	-27.6	7.2	706.32	-13.6	-34.2	20.6	2020.86
3.45	-16.7	-31.4	14.7	1442.07	-12.8	-35.7	22.9	2246.49
3.6	-11.6	-36.1	24.5	2403.45	-16.3	-31.4	15.1	1481.31
3.75	-9.6	-38.2	28.6	2805.66	-20.4	-27.7	7.3	716.13
3.9	-11.3	-36.3	25	2452.5	-23.1	-24.6	1.5	147.15
4.05	-16.8	-31.2	14.4	1412.64	-24.7	-23.9	-0.8	-78.48
4.2	-21.7	-26.1	4.4	431.64	-24.3	-24.2	-0.1	-9.81
4.35	-26.2	-21.4	-4.8	-470.88	-20.4	-28.1	7.7	755.37
4.5	-27.7	-20.2	-7.5	-735.75	-17.3	-30.7	13.4	1314.54
4.65	-28.3	-20.7	-7.6	-745.56	-13.7	-34.8	21.1	2069.91
4.8	-24.8	-24.1	-0.7	-68.67	-12.8	-35.9	23.1	2266.11
4.95	-19.6	-28.6	9	882.9	-14.3	-33.2	18.9	1854.09
5.1	-15.1	-32.8	17.7	1736.37	-18.8	-29.3	10.5	1030.05
5.25	-11.9	-36.3	24.4	2393.64	-22.4	-25.3	2.9	284.49
5.4	-9.8	-38.2	28.4	2786.04	-24.1	-23.9	-0.2	-19.62
5.55	-12.3	-36.7	24.4	2393.64	-24.5	-23.7	-0.8	-78.48
5.7	-18.7	-29.8	11.1	1088.91	-21.3	-26.1	4.8	470.88
5.85	-23.6	-25.1	1.5	147.15	-18.3	-29.7	11.4	1118.34
6	-26.4	-22.2	-4.2	-412.02	-14.3	-32.8	18.5	1814.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในที่สาธารณะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
6.15	-28.1	-20.3	-7.8	-765.18	-12.4	-35.4	23	2256.3
6.3	-26.9	-21.4	-5.5	-539.55	-13.1	-34.7	21.6	2118.96
6.45	-23.3	-24.8	1.5	147.15	-17.2	-30.1	12.9	1265.49
6.6	-18.9	-29.3	10.4	1020.24	-21.8	-26.2	4.4	431.64
6.75	-14.3	-33.7	19.4	1903.14	-23.7	-24.1	0.4	39.24
6.9	-11.1	-36.4	25.3	2481.93	-24.5	-23.3	-1.2	-117.72
7.05	-9.8	-38.6	28.8	2825.28	-24.3	-24.6	0.3	29.43
7.2	-11.9	-36.1	24.2	2374.02	-20.9	-27.4	6.5	637.65
7.35	-17.1	-31.4	14.3	1402.83	-16.8	-31.2	14.4	1412.64
7.5	-22.4	-25.9	3.5	343.35	-13.1	-34.2	21.1	2069.91
7.65	-25.6	-22.4	-3.2	-313.92	-12.1	-35.8	23.7	2324.97
7.8	-27.2	-20.8	-6.4	-627.84	-15.3	-32.4	17.1	1677.51
7.95	-26.1	-21.9	-4.2	-412.02	-20.1	-27.8	7.7	755.37
8.1	-24.8	-25	0.2	19.62	-24.4	-24.8	0.4	39.24
8.25	-20.4	-29.9	9.5	931.95	-24.6	-23.7	-0.9	-88.29
8.4	-16.3	-33.7	17.4	1706.94	-24.8	-23.5	-1.3	-127.53
8.55	-11.8	-36.4	24.6	2413.26	-24.1	-25.7	1.6	156.96
8.7	-9.6	-38.1	28.5	2795.85	-17.1	-29.7	12.6	1236.06
8.85	-13.4	-35.2	21.8	2138.58	-14.6	-33.6	19	1863.9
9	-18.3	-30	11.7	1147.77	-12.3	-35.8	23.5	2305.35

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-21.8	-25.7	3.9	382.59	-17.5	-29.7	12.2	1196.82
0.3	-22.1	-25.4	3.3	323.73	-18.4	-28.9	10.5	1030.05
0.45	-22.4	-25.3	2.9	284.49	-20.1	-27.2	7.1	696.51
0.6	-20.6	-26.3	5.7	559.17	-21.7	-25.4	3.7	362.97
0.75	-17.3	-29.4	12.1	1187.01	-21.2	-25.9	4.7	461.07
0.9	-14.8	-32.1	17.3	1697.13	-19.5	-27.8	8.3	814.23
1.05	-13.7	-33.9	20.2	1981.62	-16.7	-30.5	13.8	1353.78
1.2	-12.3	-32.1	19.8	1942.38	-14.2	-32.8	18.6	1824.66
1.35	-19.2	-27.7	8.5	833.85	-14	-32.3	18.3	1795.23
1.5	-21.7	-25.6	3.9	382.59	-14.9	-32	17.1	1677.51
1.65	-22.1	-25.1	3	294.3	-21.3	-26.1	4.8	470.88
1.8	-21.2	-26.3	5.1	500.31	-21.6	-25.5	3.9	382.59
1.95	-17.8	-29.2	11.4	1118.34	-20.9	-26.7	5.8	568.98
2.1	-14.3	-32.1	17.8	1746.18	-17.2	-29.1	11.9	1167.39
2.25	-13.7	-34.1	20.4	2001.24	-15.3	-31.2	15.9	1559.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
2.4	-15.1	-32.6	17.5	1716.75	-14.1	-33.5	19.4	1903.14
2.55	-18.7	-28.8	10.1	990.81	-16.3	-31.2	14.9	1461.69
2.7	-21.1	-26.5	5.4	529.74	-19.9	-27.8	7.9	774.99
2.85	-22	-25.3	3.3	323.73	-20.9	-26.1	5.2	510.12
3	-22.1	-25.8	3.7	362.97	-21.5	-25.6	4.1	402.21
3.15	-20	-27.5	7.5	735.75	-20.1	-27.2	7.1	696.51
3.3	-17.1	-30.7	13.6	1334.16	-17.4	-29.6	12.2	1196.82
3.45	-14.3	-33.7	19.4	1903.14	-14.7	-32.2	17.5	1716.75
3.6	-15.3	-32.9	17.6	1726.56	-14.2	-32.6	18.4	1805.04
3.75	-18.4	-29.4	11	1079.1	-17.7	-29.8	12.1	1187.01
3.9	-21.3	-26.7	5.4	529.74	-20.4	-26.7	6.3	618.03
4.05	-22.1	-25.5	3.4	333.54	-21.3	-25.6	4.3	421.83
4.2	-22.6	-25.1	2.5	245.25	-20.6	-26.3	5.7	559.17
4.35	-19.9	-27.6	7.7	755.37	-18.1	-28.5	10.4	1020.24
4.5	-16.2	-30.1	13.9	1363.59	-15.9	-31.6	15.7	1540.17
4.65	-14.1	-33.6	19.5	1912.95	-14.2	-33.2	19	1863.9
4.8	-13.5	-34.1	20.6	2020.86	-15.5	-32.3	16.8	1648.08
4.95	-17.1	-30.9	13.8	1353.78	-19.2	-28.4	9.2	902.52
5.1	-20.2	-27.3	7.1	696.51	-20.7	-26.1	5.4	529.74
5.25	-21.1	-26.1	5	490.5	-21.3	-25.7	4.4	431.64
5.4	-22.2	-25.2	3	294.3	-20.4	-26.7	6.3	618.03
5.55	-20.8	-26.7	5.9	578.79	-17.6	-29.4	11.8	1157.58
5.7	-17.7	-29.6	11.9	1167.39	-14.4	-32.5	18.1	1775.61
5.85	-14.8	-32.5	17.7	1736.37	-14.2	-33.6	19.4	1903.14
6	-13.9	-33.7	19.8	1942.38	-17.1	-30.1	13	1275.3
6.15	-16.5	-30.8	14.3	1402.83	-20.1	-27.2	7.1	696.51
6.3	-19.7	-27.2	7.5	735.75	-21.3	-26.1	4.8	470.88
6.45	-21.3	-26.1	4.8	470.88	-20.7	-26.3	5.6	549.36
6.6	-21.9	-25.5	3.6	353.16	-19.3	-28	8.7	853.47
6.75	-20.9	-26.3	5.4	529.74	-16.6	-31.1	14.5	1422.45
6.9	-17.9	-29.1	11.2	1098.72	-13.7	-33.8	20.1	1971.81
7.05	-15.4	-31.9	16.5	1618.65	-14.5	-33	18.5	1814.85
7.2	-13.7	-34.1	20.4	2001.24	-18.5	-29.5	11	1079.1
7.35	-15.1	-32.3	17.2	1687.32	-20.3	-26.9	6.6	647.46
7.5	-18.7	-28.8	10.1	990.81	-21.2	-25.9	4.7	461.07
7.65	-21.2	-26.1	4.9	480.69	-20.7	-26.4	5.7	559.17
7.8	-21.9	-25.3	3.4	333.54	-18.6	-28.7	10.1	990.81
7.95	-21.3	-26	4.7	461.07	-15.1	-32.3	17.2	1687.32
8.1	-18.7	-28.9	10.2	1000.62	-13.9	-33.6	19.7	1932.57
8.25	-15.4	-31.7	16.3	1599.03	-16.4	-31.2	14.8	1451.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านใด ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
8.4	-13.3	-34.1	20.8	2040.48	-19.4	-27.5	8.1	794.61
8.55	-14.7	-32.9	18.2	1785.42	-21.1	-26.2	5.1	500.31
8.7	-18.3	-29.4	11.1	1088.91	-21.3	-26	4.7	461.07
8.85	-20.4	-26.5	6.1	598.41	-19.7	-27.3	7.6	745.56
9	-21.9	-25.3	3.4	333.54	-16.8	-30.1	13.3	1304.73

ตารางที่ 9 ผลการทดลองความดันน้ำของเครื่องมาโนมิเตอร์รูปตัวยู จุดที่ 4

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	3.9	-9.2	13.1	1285.11	2	-7.2	9.2	902.52
0.3	4.3	-9.4	13.7	1343.97	-2.7	-7.8	10.5	1030.05
0.45	5.25	-10.4	15.65	1535.265	3.9	-9.1	13	1275.3
0.6	7.3	-12.2	19.5	1912.95	7.1	-12.3	19.4	1903.14
0.75	9.75	-14.5	24.25	2378.925	9.25	-14.45	23.7	2324.97
0.9	10	-15.3	25.3	2481.93	7.4	-12.6	20	1962
1.05	6.35	-12.1	18.45	1809.945	1.8	-7	8.8	863.28
1.2	0.8	-6.5	7.3	716.13	-2.3	-2.9	0.6	58.86
1.35	-3.35	-2.1	-1.25	-122.625	-5.5	0.1	-5.6	-549.36
1.5	-5.7	0.3	-6	-588.6	-6.6	1.2	-7.8	-765.18
1.65	-6.6	1.2	-7.8	-765.18	-7.2	1.8	-9	-882.9
1.8	-7	1.7	-8.7	-853.47	-7.35	2	-9.35	-917.235
1.95	-6.9	1.6	-8.5	-833.85	-6.25	0.8	-7.05	-691.605
2.1	-5.9	0.8	-6.7	-657.27	-3.1	-2.1	-1	-98.1
2.25	-4.4	-0.7	-3.7	-362.97	0.4	-5.4	5.8	568.98
2.4	-2.8	-2.2	-0.6	-58.86	3.5	-8.8	12.3	1206.63
2.55	-0.8	-4.2	3.4	333.54	6.05	-11.45	17.5	1716.75
2.7	1.5	-6.6	8.1	794.61	8.75	-14.2	22.95	2251.395
2.85	3.4	-8.5	11.9	1167.39	8.5	-14	22.5	2207.25
3	4.95	-10.05	15	1471.5	3.8	-9.2	13	1275.3
3.15	7.35	-12.6	19.95	1957.095	-2.1	-3.4	1.3	127.53
3.3	9.8	-15.2	25	2452.5	-5.4	0	-5.4	-529.74
3.45	10.3	-15.7	26	2550.6	-6.5	1.1	-7.6	-745.56
3.6	7.5	-12.5	20	1962	-7.2	1.8	-9	-882.9
3.75	1.1	-6.9	8	784.8	-7.5	2.1	-9.6	-941.76
3.9	-3.4	-2.1	-1.3	-127.53	-6.8	1.7	-8.5	-833.85
4.05	-5.9	0.5	-6.4	-627.84	-4.3	-0.8	-3.5	-343.35
4.2	-6.8	1.4	-8.2	-804.42	-0.6	-4.5	3.9	382.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงล้อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำได้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
4.35	-7.35	1.95	-9.3	-912.33	2.6	-7.7	10.3	1010.43
4.5	-7.4	2	-9.4	-922.14	5.8	-11.1	16.9	1657.89
4.65	-6.6	-1.3	-5.3	-519.93	8.8	-14.1	22.9	2246.49
4.8	-5	-0.2	-4.8	-470.88	8.9	-14.2	23.1	2266.11
4.95	-3.2	-1.6	-1.6	-156.96	5.6	-11.3	16.9	1657.89
5.1	-1.2	-3.7	2.5	245.25	-0.4	-5.1	4.7	461.07
5.25	1.2	-6.2	7.4	725.94	-4.7	-0.8	-3.9	-382.59
5.4	2.85	-7.75	10.6	1039.86	-6.3	0.9	-7.2	-706.32
5.55	4.65	-9.85	14.5	1422.45	-7.1	1.6	-8.7	-853.47
5.7	6.95	-12.25	19.2	1883.52	-7.6	2.1	-9.7	-951.57
5.85	9.7	-14.7	24.4	2393.64	-7.1	1.7	-8.8	-863.28
6	10.45	-15.65	26.1	2560.41	-4.7	-0.5	-4.2	-412.02
6.15	7.1	-12.7	19.8	1942.38	-1.8	-3.4	1.6	156.96
6.3	1.3	-7.3	8.6	843.66	1.7	-6.7	8.4	824.04
6.45	-3.4	-2.3	-1.1	-107.91	4.9	-9.9	14.8	1451.88
6.6	-5.45	0.05	-5.5	-539.55	7.9	-13.3	21.2	2079.72
6.75	-6.7	1.2	-7.9	-774.99	9.45	-14.85	24.3	2383.83
6.9	-7.3	1.9	-9.2	-902.52	6.4	-12	18.4	1805.04
7.05	-7.4	2.1	-9.5	-931.95	0.3	-5.6	5.9	578.79
7.2	-6.75	1.3	-8.05	-789.705	-4.5	-1.2	-3.3	-323.73
7.35	-4.9	0.2	-5.1	-500.31	-6.1	0.7	-6.8	-667.08
7.5	-3.2	-1.8	-1.4	-137.34	-6.9	1.7	-8.6	-843.66
7.65	-1.1	-3.9	2.8	274.68	-7.5	2.1	-9.6	-941.76
7.8	0.8	-5.7	6.5	637.65	-7.4	2	-9.4	-922.14
7.95	1.8	-7.9	9.7	951.57	-5.7	0.5	-6.2	-608.22
8.1	4.6	-9.7	14.3	1402.83	-2.4	-2.7	0.3	29.43
8.25	7.1	-12.3	19.4	1903.14	1.1	-6.2	7.3	716.13
8.4	9.7	-14.9	24.6	2413.26	4.3	-9.3	13.6	1334.16
8.55	10.5	-15.8	26.3	2580.03	6.8	-12	18.8	1844.28
8.7	7.3	-13.1	20.4	2001.24	9.2	-14.5	23.7	2324.97
8.85	1.8	-7.3	9.1	892.71	7.3	-13.2	20.5	2011.05
9	-2.4	-3.4	1	98.1	2.3	-8.2	10.5	1030.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	2.8	-7.8	10.6	1039.86	-2.1	-2.9	0.8	78.48
0.3	3.3	-8.6	11.9	1167.39	-2.4	-2.6	0.2	19.62
0.45	5.4	-10.5	15.9	1559.79	-3.4	-1.6	-1.8	-176.58
0.6	7.4	-12.7	20.1	1971.81	-4.7	-0.2	-4.5	-441.45
0.75	6.4	-11.8	18.2	1785.42	-4.65	-0.25	-4.4	-431.64
0.9	2.4	-7.5	9.9	971.19	-2.5	-2.6	0.1	9.81
1.05	-1.7	-3.8	2.1	206.01	1.5	-6.7	8.2	804.42
1.2	-3.6	-1.5	-2.1	-206.01	5.4	-10.8	16.2	1589.22
1.35	-4.9	-0.2	-4.7	-461.07	6.1	-11.2	17.3	1697.13
1.5	-5.7	0.6	-6.3	-618.03	3.2	-8.3	11.5	1128.15
1.65	-4.9	-0.2	-4.7	-461.07	-0.3	-4.7	4.4	431.64
1.8	-2.2	-2.8	0.6	58.86	-2.4	-2.7	0.3	29.43
1.95	1.3	-6.5	7.8	765.18	-3.9	-1.1	-2.8	-274.68
2.1	4.4	-9.5	13.9	1363.59	-4.9	-0.1	-4.8	-470.88
2.25	7.3	-12.4	19.7	1932.57	-4.1	-0.8	-3.3	-323.73
2.4	6.9	-12.2	19.1	1873.71	-1.4	-3.6	2.2	215.82
2.55	3.2	-8.3	11.5	1128.15	3.2	-8.2	11.4	1118.34
2.7	-1.1	-4.3	3.2	313.92	6.1	-11.3	17.4	1706.94
2.85	-3.3	-1.8	-1.5	-147.15	5.3	-10.4	15.7	1540.17
3	-4.6	-0.4	-4.2	-412.02	1.9	-7.2	9.1	892.71
3.15	-5.65	0.55	-6.2	-608.22	-1.1	-4.1	3	294.3
3.3	-5.45	0.45	-5.9	-578.79	-2.5	-2.5	0	0
3.45	-3.3	-1.7	-1.6	-156.96	-4.2	-0.9	-3.3	-323.73
3.6	0.1	-5.1	5.2	510.12	-4.9	-0.1	-4.8	-470.88
3.75	3.9	-9	12.9	1265.49	-3.6	-1.4	-2.2	-215.82
3.9	7.2	-12.4	19.6	1922.76	0.1	-5	5.1	500.31
4.05	7.3	-12.5	19.8	1942.38	4.4	-9.4	13.8	1353.78
4.2	3.6	-9.2	12.8	1255.68	6.25	-11.45	17.7	1736.37
4.35	-0.7	-4.6	3.9	382.59	4.4	-9.45	13.85	1358.685
4.5	-2.8	-2.3	-0.5	-49.05	1.3	-6.7	8	784.8
4.65	-4.3	-0.6	-3.7	-362.97	-1.3	-3.9	2.6	255.06
4.8	-5.4	0.3	-5.7	-559.17	-3	-2	-1	-98.1
4.95	-5.6	0.7	-6.3	-618.03	-4.6	-0.5	-4.1	-402.21
5.1	-3.8	-1.2	-2.6	-255.06	-4.7	-0.4	-4.3	-421.83
5.25	-0.4	-4.5	4.1	402.21	-2.4	-2.3	-0.1	-9.81
5.4	3.4	-8.6	12	1177.2	1.5	-6.4	7.9	774.99
5.55	7.1	-12.2	19.3	1893.33	5.4	-10.6	16	1569.6
5.7	7.8	-13	20.8	2040.48	6.25	-11.45	17.7	1736.37
5.85	4.9	-10.3	15.2	1491.12	3.85	-8.9	12.75	1250.775
6	0.4	-5.7	6.1	598.41	0.3	-5.5	5.8	568.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้เข้าไปเผยแพร่ข้อมูลใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
6.15	-2.6	-2.5	-0.1	-9.81	-1.9	-3.1	1.2	117.72
6.3	-4.2	-0.9	-3.3	-323.73	-3.5	-1.5	-2	-196.2
6.45	-5.3	0.3	-5.6	-549.36	-4.7	-0.2	-4.5	-441.45
6.6	-5.8	0.8	-6.6	-647.46	-4.2	-0.7	-3.5	-343.35
6.75	-4.3	-0.9	-3.4	-333.54	-1.4	-3.7	2.3	225.63
6.9	-1.6	-3.5	1.9	186.39	2.1	-6.1	8.2	804.42
7.05	2.4	-7.1	9.5	931.95	5.7	-10.8	16.5	1618.65
7.2	5.8	-11.2	17	1667.7	5.8	-11.1	16.9	1657.89
7.35	7.95	-13.15	21.1	2069.91	2.5	-7.8	10.3	1010.43
7.5	5.9	-11.4	17.3	1697.13	-0.5	-4.6	4.1	402.21
7.65	1.4	-6.9	8.3	814.23	-2.4	-2.6	0.2	19.62
7.8	-2.2	-3.1	0.9	88.29	-3.9	-1	-2.9	-284.49
7.95	-4.2	-0.9	-3.3	-323.73	-4.9	-0.1	-4.8	-470.88
8.1	-5.2	0.2	-5.4	-529.74	-3.95	-1	-2.95	-289.395
8.25	-6.1	1	-7.1	-696.51	-0.9	-4.2	3.3	323.73
8.4	-5.3	0.3	-5.6	-549.36	3.4	-8.5	11.9	1167.39
8.55	-2.4	-2.3	-0.1	-9.81	6.2	-11.2	17.4	1706.94
8.7	1.3	-6	7.3	716.13	4.9	-10.3	15.2	1491.12
8.85	5.2	-10.3	15.5	1520.55	1.35	-6.65	8	784.8
9	7.8	-12.9	20.7	2030.67	-1.3	-3.9	2.6	255.06

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-0.5	-4.5	4	392.4	4.1	-9.1	13.2	1294.92
0.3	-0.8	-4.2	3.4	333.54	4.3	-9.4	13.7	1343.97
0.45	-1.6	-3.3	1.7	166.77	4	-9.2	13.2	1294.92
0.6	-2.8	-2.1	-0.7	-68.67	1.5	-6.6	8.1	794.61
0.75	-2.9	-1.9	-1	-98.1	-1	-4.1	3.1	304.11
0.9	-1.1	-4.8	3.7	362.97	-2.5	-2.6	0.1	9.81
1.05	2.3	-6.9	9.2	902.52	-2.9	1.9	-4.8	-470.88
1.2	5.1	-10.1	15.2	1491.12	-2.4	-2.5	0.1	9.81
1.35	4.6	-9.6	14.2	1393.02	0.4	-5.2	5.6	549.36
1.5	1.5	-6.4	7.9	774.99	3.8	-8.9	12.7	1245.87
1.65	-0.9	-4.1	3.2	313.92	4	-9.1	13.1	1285.11
1.8	-2.3	-2.8	0.5	49.05	1.1	-6.1	7.2	706.32
1.95	-3.2	-1.7	-1.5	-147.15	-1.3	-3.7	2.4	235.44
2.1	-2.6	-2.4	-0.2	-19.62	-2.4	-2.2	-0.2	-19.62
2.25	-0.4	-4.5	4.1	402.21	-3.15	1.85	-5	-490.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านที่รวดเร็ว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
2.4	3.4	-8.4	11.8	1157.58	-2.5	-2.7	0.2	19.62
2.55	5	-10	15	1471.5	0.6	-5.5	6.1	598.41
2.7	2.8	-8	10.8	1059.48	4	-9.1	13.1	1285.11
2.85	0.2	-5.1	5.3	519.93	3.7	-9.2	12.9	1265.49
3	-1.6	-3.3	1.7	166.77	0.7	-6	6.7	657.27
3.15	-2.3	-2.1	-0.2	-19.62	-1.7	-3.5	1.8	176.58
3.3	-3.1	-1.7	-1.4	-137.34	-2.8	-2.1	-0.7	-68.67
3.45	-2.2	-2.7	0.5	49.05	-3.2	-1.7	-1.5	-147.15
3.6	0.7	-5.5	6.2	608.22	-2.4	-2.4	0	0
3.75	3.6	-8.5	12.1	1187.01	0.8	-5.6	6.4	627.84
3.9	6	-10.3	16.3	1599.03	4.1	-9.1	13.2	1294.92
4.05	6.5	-10.8	17.3	1697.13	3.6	-8.7	12.3	1206.63
4.2	5.4	-10.6	16	1569.6	0.5	-5.5	6	588.6
4.35	1.1	-6.2	7.3	716.13	-1.9	-3.2	1.3	127.53
4.5	-2.6	-2.5	-0.1	-9.81	-3.1	-1.8	-1.3	-127.53
4.65	-4.2	-0.9	-3.3	-323.73	-3.4	-1.5	-1.9	-186.39
4.8	-3.8	-0.8	-3	-294.3	-2.4	-2.6	0.2	19.62
4.95	-3.9	-1.2	-2.7	-264.87	1.1	-5.8	6.9	676.89
5.1	-1.6	-3.5	1.9	186.39	4.25	-9.45	13.7	1343.97
5.25	2.9	-3.9	6.8	667.08	3.4	-8.6	12	1177.2
5.4	5.3	-10.4	15.7	1540.17	0.2	-5.3	5.5	539.55
5.55	3.8	-9.1	12.9	1265.49	-2.1	-3.1	1	98.1
5.7	0.9	-5.9	6.8	667.08	-3.2	-1.7	-1.5	-147.15
5.85	-0.7	-4.1	3.4	333.54	-3.5	-1.4	-2.1	-206.01
6	-2.4	-2.6	0.2	19.62	-2.25	-2.65	0.4	39.24
6.15	-3.4	-1.5	-1.9	-186.39	1.4	-6.3	7.7	755.37
6.3	-2.7	-2.2	-0.5	-49.05	4.6	-9.6	14.2	1393.02
6.45	0.5	-5.3	5.8	568.98	3.4	-8.4	11.8	1157.58
6.6	4.3	-9.3	13.6	1334.16	0.3	-5.3	5.6	549.36
6.75	4.85	-9.9	14.75	1446.975	-2.1	-3	0.9	88.29
6.9	1.9	-7.1	9	882.9	-3.2	-1.8	-1.4	-137.34
7.05	-0.3	-4.7	4.4	431.64	-3.4	-1.6	-1.8	-176.58
7.2	-2	-3	1	98.1	-2	-3	1	98.1
7.35	-3.2	-1.7	-1.5	-147.15	1.7	-6.7	8.4	824.04
7.5	-4.3	-1.4	-2.9	-284.49	4.5	-9.5	14	1373.4
7.65	-1.6	-3.3	1.7	166.77	2.9	-8.2	11.1	1088.91
7.8	2.6	-7.5	10.1	990.81	-0.1	-4.9	4.8	470.88
7.95	5.2	-10.2	15.4	1510.74	-2.1	-3	0.9	88.29
8.1	3.85	-8.85	12.7	1245.87	-3.2	-1.7	-1.5	-147.15
8.25	1.2	-6.2	7.4	725.94	-3.3	-1.6	-1.7	-166.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อคุณกดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านใดก็ตาม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
8.4	-1.3	-4.6	3.3	323.73	-1.8	-3.2	1.4	137.34
8.55	-2.7	-2.2	-0.5	-49.05	1.9	-6.7	8.6	843.66
8.7	-3.6	-1.2	-2.4	-235.44	4.4	-9.4	13.8	1353.78
8.85	-2.9	-1.8	-1.1	-107.91	2.7	-7.9	10.6	1039.86
9	0.1	-5.1	5.2	510.12	-0.3	-4.8	4.5	441.45

ตารางที่ 10 ผลการทดลองความดันน้ำของเครื่องมาโนมิเตอร์รูปตัวยู จุดที่ 5

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-32	-15.8	16.2	1589.22	-31.8	-15.9	15.9	1559.79
0.3	-32.1	-15.7	16.4	1608.84	-31.7	-15.6	16.1	1579.41
0.45	-32.2	-15.6	16.6	1628.46	-31.8	-15.6	16.2	1589.22
0.6	-32.1	-15.4	16.7	1638.27	-31.8	-15.4	16.4	1608.84
0.75	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.7	-15.1	16.6	1628.46
0.9	-31.8	-15.8	16	1569.6	-31.8	-15.3	16.5	1618.65
1.05	-31.6	-15.9	15.7	1540.17	-31.8	-15.6	16.2	1589.22
1.2	-31.3	-15.7	15.6	1530.36	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
1.35	-31.1	-15.9	15.2	1491.12	-31.7	-15.7	16	1569.6
1.5	-31.5	-16.4	15.1	1481.31	-31.4	-15.6	15.8	1549.98
1.65	-31.8	-16.5	15.3	1500.93	-31.5	-15.9	15.6	1530.36
1.8	-31.6	-16.2	15.4	1510.74	-31.7	-16.2	15.5	1520.55
1.95	-31.5	-15.9	15.6	1530.36	-31.8	-16.1	15.7	1540.17
2.1	-31.8	-16.1	15.7	1540.17	-31.7	-15.8	15.9	1559.79
2.25	-32	-16	16	1569.6	-31.7	-15.7	16	1569.6
2.4	-32	-15.9	16.1	1579.41	-31.8	-15.7	16.1	1579.41
2.55	-32.1	-15.8	16.3	1599.03	-31.7	-15.4	16.3	1599.03
2.7	-32.3	-15.7	16.6	1628.46	-31.6	-15.1	16.5	1618.65
2.85	-32.2	-15.4	16.8	1648.08	-31.6	-15.4	16.2	1589.22
3	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-31.7	-15.7	16	1569.6
3.15	-31.8	-15.7	16.1	1579.41	-31.8	-15.9	15.9	1559.79
3.3	-31.8	-15.8	16	1569.6	-31.8	-16.1	15.7	1540.17
3.45	-31.6	-15.9	15.7	1540.17	-32.1	-16.5	15.6	1530.36
3.6	-31.3	-15.7	15.6	1530.36	-31.9	-16.2	15.7	1540.17
3.75	-31.5	-15.9	15.6	1530.36	-31.6	-15.7	15.9	1559.79
3.9	-31.8	-16.1	15.7	1540.17	-31.7	-15.6	16.1	1579.41
4.05	-32	-16	16	1569.6	-31.8	-15.6	16.2	1589.22
4.2	-32	-15.9	16.1	1579.41	-31.8	-15.4	16.4	1608.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 25 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 30 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
4.35	-32	-15.8	16.2	1589.22	-31.7	-15.4	16.3	1599.03
4.5	-32.1	-15.7	16.4	1608.84	-31.6	-15.5	16.1	1579.41
4.65	-32.2	-15.6	16.6	1628.46	-31.6	-15.7	15.9	1559.79
4.8	-32.1	-15.4	16.7	1638.27	-31.6	-15.9	15.7	1540.17
4.95	-32.1	-15.8	16.3	1599.03	-31.7	-16.1	15.6	1530.36
5.1	-32	-15.8	16.2	1589.22	-31.7	-16.2	15.5	1520.55
5.25	-32	-16.1	15.9	1559.79	-31.5	-15.7	15.8	1549.98
5.4	-32.1	-16.4	15.7	1540.17	-31.6	-15.6	16	1569.6
5.55	-31.5	-16.2	15.3	1500.93	-31.6	-15.4	16.2	1589.22
5.7	-31.5	-15.9	15.6	1530.36	-31.6	-15.3	16.3	1599.03
5.85	-31.8	-16.1	15.7	1540.17	-31.5	-15.1	16.4	1608.84
6	-32	-16	16	1569.6	-31.6	-15.1	16.5	1618.65
6.15	-32	-15.9	16.1	1579.41	-31.8	-15.5	16.3	1599.03
6.3	-32.1	-15.8	16.3	1599.03	-31.6	-15.5	16.1	1579.41
6.45	-32.3	-15.7	16.6	1628.46	-31.6	-15.6	16	1569.6
6.6	-32.2	-15.4	16.8	1648.08	-31.6	-15.7	15.9	1559.79
6.75	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-31.6	-15.8	15.8	1549.98
6.9	-31.8	-15.7	16.1	1579.41	-31.8	-16.1	15.7	1540.17
7.05	-31.8	-15.8	16	1569.6	-31.6	-16.1	15.5	1520.55
7.2	-31.6	-15.9	15.7	1540.17	-31.5	-15.9	15.6	1530.36
7.35	-31.3	-15.7	15.6	1530.36	-31.6	-15.9	15.7	1540.17
7.5	-31.6	-16.2	15.4	1510.74	-31.6	-15.8	15.8	1549.98
7.65	-31.8	-16.5	15.3	1500.93	-31.7	-15.7	16	1569.6
7.8	-31.5	-16.4	15.1	1481.31	-31.8	-15.6	16.2	1589.22
7.95	-31.4	-16.4	15	1471.5	-31.9	-15.4	16.5	1618.65
8.1	-31.6	-16.1	15.5	1520.55	-31.7	-15.3	16.4	1608.84
8.25	-31.9	-16.1	15.8	1549.98	-31.8	-15.5	16.3	1599.03
8.4	-31.9	-15.8	16.1	1579.41	-31.7	-15.6	16.1	1579.41
8.55	-31.9	-15.7	16.2	1589.22	-31.6	-15.7	15.9	1559.79
8.7	-32	-15.7	16.3	1599.03	-31.6	-15.8	15.8	1549.98
8.85	-32.1	-15.6	16.5	1618.65	-31.5	-15.8	15.7	1540.17
9	-31.9	-15.8	16.1	1579.41	-31.7	-16.1	15.6	1530.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-30.4	-14.9	15.5	1520.55	-31.8	-16.2	15.6	1530.36
0.3	-30.5	-14.8	15.7	1540.17	-31.8	-16.1	15.7	1540.17
0.45	-30.6	-14.6	16	1569.6	-31.9	-16.1	15.8	1549.98
0.6	-30.8	-14.4	16.4	1608.84	-31.95	-16.1	15.85	1554.885
0.75	-31.1	-14.9	16.2	1589.22	-32.05	-16.15	15.9	1559.79
0.9	-31	-14.9	16.1	1579.41	-32.1	-16.15	15.95	1564.695
1.05	-31	-15.1	15.9	1559.79	-32.1	-16.1	16	1569.6
1.2	-31.05	-15.2	15.85	1554.885	-32.2	-16.1	16.1	1579.41
1.35	-30.9	-15.2	15.7	1540.17	-32.3	-16.1	16.2	1589.22
1.5	-30.9	-15.3	15.6	1530.36	-32.3	-15.9	16.4	1608.84
1.65	-30.8	-15.3	15.5	1520.55	-32.2	-15.9	16.3	1599.03
1.8	-31.1	-15.4	15.7	1540.17	-32.45	-16.2	16.25	1594.125
1.95	-31.3	-15.5	15.8	1549.98	-32.5	-16.3	16.2	1589.22
2.1	-31.3	-15.3	16	1569.6	-32.45	-16.4	16.05	1574.505
2.25	-31.2	-15.1	16.1	1579.41	-32.1	-16.1	16	1569.6
2.4	-31.1	-14.9	16.2	1589.22	-31.9	-16.1	15.8	1549.98
2.55	-31.05	-15.1	15.95	1564.695	-31.9	-16.15	15.75	1545.075
2.7	-30.9	-15.1	15.8	1549.98	-31.8	-16.15	15.65	1535.265
2.85	-30.9	-15.2	15.7	1540.17	-31.8	-16.1	15.7	1540.17
3	-30.8	-15.2	15.6	1530.36	-31.8	-16	15.8	1549.98
3.15	-31	-15.1	15.9	1559.79	-31.7	-15.8	15.9	1559.79
3.3	-31.1	-15	16.1	1579.41	-31.7	-15.6	16.1	1579.41
3.45	-31.1	-14.9	16.2	1589.22	-31.8	-15.5	16.3	1599.03
3.6	-31.2	-14.7	16.5	1618.65	-31.8	-15.55	16.25	1594.125
3.75	-31.1	-14.8	16.3	1599.03	-31.7	-15.65	16.05	1574.505
3.9	-31.1	-14.9	16.2	1589.22	-31.9	-15.9	16	1569.6
4.05	-31.3	-15.2	16.1	1579.41	-31.7	-15.9	15.8	1549.98
4.2	-31.4	-15.5	15.9	1559.79	-31.7	-15.8	15.9	1559.79
4.35	-31.7	-15.9	15.8	1549.98	-31.9	-15.7	16.2	1589.22
4.5	-31.8	-16.1	15.7	1540.17	-31.9	-15.6	16.3	1599.03
4.65	-31.8	-16	15.8	1549.98	-32.1	-15.7	16.4	1608.84
4.8	-31.9	-15.7	16.2	1589.22	-32.1	-15.6	16.5	1618.65
4.95	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-32.05	-15.6	16.45	1613.745
5.1	-32	-15.9	16.1	1579.41	-32	-15.7	16.3	1599.03
5.25	-32	-16.1	15.9	1559.79	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
5.4	-32.1	-16.3	15.8	1549.98	-31.95	-15.9	16.05	1574.505
5.55	-32.2	-16.5	15.7	1540.17	-31.8	-15.8	16	1569.6
5.7	-31.95	-16.3	15.65	1535.265	-31.9	-16.1	15.8	1549.98
5.85	-31.75	-15.9	15.85	1554.885	-31.9	-16.2	15.7	1540.17
6	-32	-16.1	15.9	1559.79	-31.95	-16.2	15.75	1545.075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปเผยแพร่ข้อมูลใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 35 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 40 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
6.15	-32	-15.9	16.1	1579.41	-32	-16.1	15.9	1559.79
6.3	-31.9	-15.7	16.2	1589.22	-32.1	-16.05	16.05	1574.505
6.45	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-32.2	-16.1	16.1	1579.41
6.6	-31.95	-15.6	16.35	1603.935	-32.3	-16.1	16.2	1589.22
6.75	-32.1	-15.6	16.5	1618.65	-32.2	-15.9	16.3	1599.03
6.9	-31.95	-15.7	16.25	1594.125	-32.1	-15.7	16.4	1608.84
7.05	-31.9	-15.7	16.2	1589.22	-31.9	-15.9	16	1569.6
7.2	-32	-15.9	16.1	1579.41	-31.8	-15.9	15.9	1559.79
7.35	-31.75	-15.9	15.85	1554.885	-31.8	-16.1	15.7	1540.17
7.5	-32.1	-16.3	15.8	1549.98	-31.9	-16.3	15.6	1530.36
7.65	-32.2	-16.5	15.7	1540.17	-31.95	-16.3	15.65	1535.265
7.8	-31.95	-16.3	15.65	1535.265	-32.1	-16.1	16	1569.6
7.95	-31.75	-15.9	15.85	1554.885	-32.2	-15.9	16.3	1599.03
8.1	-32	-16.1	15.9	1559.79	-32	-15.6	16.4	1608.84
8.25	-32	-15.9	16.1	1579.41	-32.05	-15.6	16.45	1613.745
8.4	-31.9	-15.7	16.2	1589.22	-32	-15.5	16.5	1618.65
8.55	-31.95	-15.7	16.25	1594.125	-31.9	-15.7	16.2	1589.22
8.7	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.8	-15.9	15.9	1559.79
8.85	-31.95	-15.6	16.35	1603.935	-31.8	-16	15.8	1549.98
9	-32.1	-15.7	16.4	1608.84	-31.7	-16.05	15.65	1535.265

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
0.15	-32	-15.7	16.3	1599.03	-31.8	-15.8	16	1569.6
0.3	-32	-15.6	16.4	1608.84	-31.8	-15.75	16.05	1574.505
0.45	-32.1	-15.7	16.4	1608.84	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
0.6	-32	-15.8	16.2	1589.22	-32	-15.85	16.15	1584.315
0.75	-31.6	-15.5	16.1	1579.41	-31.9	-15.7	16.2	1589.22
0.9	-31.3	-15.5	15.8	1549.98	-31.8	-15.65	16.15	1584.315
1.05	-31.8	-15.7	16.1	1579.41	-31.8	-15.75	16.05	1574.505
1.2	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.9	-15.9	16	1569.6
1.35	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
1.5	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-31.9	-15.75	16.15	1584.315
1.65	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-31.8	-15.6	16.2	1589.22
1.8	-32.2	-15.8	16.4	1608.84	-31.8	-15.6	16.2	1589.22
1.95	-32	-15.7	16.3	1599.03	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
2.1	-31.9	-15.9	16	1569.6	-32	-15.95	16.05	1574.505
2.25	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-32	-15.85	16.15	1584.315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านนการการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
2.4	-31.6	-15.8	15.8	1549.98	-31.9	-15.7	16.2	1589.22
2.55	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.9	-15.75	16.15	1584.315
2.7	-32.1	-15.9	16.2	1589.22	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
2.85	-32	-15.7	16.3	1599.03	-31.8	-15.8	16	1569.6
3	-31.8	-15.7	16.1	1579.41	-31.9	-15.75	16.15	1584.315
3.15	-31.5	-15.7	15.8	1549.98	-32	-15.8	16.2	1589.22
3.3	-31.7	-15.8	15.9	1559.79	-31.9	-15.75	16.15	1584.315
3.45	-31.8	-15.6	16.2	1589.22	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
3.6	-32.2	-15.8	16.4	1608.84	-31.7	-15.65	16.05	1574.505
3.75	-32	-15.8	16.2	1589.22	-31.75	-15.6	16.15	1584.315
3.9	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.7	-15.55	16.15	1584.315
4.05	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-31.9	-15.7	16.2	1589.22
4.2	-31.6	-15.8	15.8	1549.98	-31.8	-15.65	16.15	1584.315
4.35	-32.1	-15.9	16.2	1589.22	-31.8	-15.7	16.1	1579.41
4.5	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
4.65	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-32	-16	16	1569.6
4.8	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-31.9	-15.95	15.95	1564.695
4.95	-32	-15.7	16.3	1599.03	-31.9	-15.9	16	1569.6
5.1	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.8	-15.75	16.05	1574.505
5.25	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-31.8	-15.7	16.1	1579.41
5.4	-31.6	-15.8	15.8	1549.98	-31.8	-15.65	16.15	1584.315
5.55	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
5.7	-32	-15.8	16.2	1589.22	-32	-15.95	16.05	1574.505
5.85	-32	-15.7	16.3	1599.03	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
6	-31.8	-15.7	16.1	1579.41	-31.8	-15.65	16.15	1584.315
6.15	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.7	-15.5	16.2	1589.22
6.3	-31.6	-15.8	15.8	1549.98	-31.7	-15.5	16.2	1589.22
6.45	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-31.9	-15.65	16.25	1594.125
6.6	-31.8	-15.7	16.1	1579.41	-31.9	-15.7	16.2	1589.22
6.75	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.8	-15.7	16.1	1579.41
6.9	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.8	-15.75	16.05	1574.505
7.05	-32	-15.5	16.5	1618.65	-31.9	-15.75	16.15	1584.315
7.2	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-32	-15.8	16.2	1589.22
7.35	-32	-15.8	16.2	1589.22	-31.9	-15.75	16.15	1584.315
7.5	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.8	-15.7	16.1	1579.41
7.65	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-31.9	-15.85	16.05	1574.505
7.8	-31.7	-15.7	16	1569.6	-31.8	-15.8	16	1569.6
7.95	-31.8	-15.6	16.2	1589.22	-31.8	-15.8	16	1569.6
8.1	-31.9	-15.5	16.4	1608.84	-31.9	-15.95	15.95	1564.695
8.25	-31.8	-15.6	16.2	1589.22	-32	-15.95	16.05	1574.505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่นานถัดจากนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบที่ 45 (รอบต่อนาที)				ความเร็วรอบที่ 49 (รอบต่อนาที)			
	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)	ความสูงน้ำ (cm)	ความสูงอากาศ (cm)	$\Delta H$ (cm)	$\Delta P$ (Pa)
8.4	-31.9	-15.9	16	1569.6	-31.9	-15.8	16.1	1579.41
8.55	-31.8	-15.9	15.9	1559.79	-31.8	-15.65	16.15	1584.315
8.7	-31.6	-15.8	15.8	1549.98	-31.7	-15.5	16.2	1589.22
8.85	-31.7	-15.8	15.9	1559.79	-31.7	-15.5	16.2	1589.22
9	-31.9	-15.6	16.3	1599.03	-31.9	-15.75	16.15	1584.315



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SILICONE TUBE FOOD GRADE (FDA)****TUBERRY**  
Fluid & Powder Solid Transfer**FDA**  
APPROVED

NO	TUBERRY CODE	SIZE (mm)		HARDNESS ±5 Shore A
		ID	OD	
1	TU-QS-01X03	1	3	60
2	TU-QS-02X06	2	6	60
3	TU-QS-03X08	3	8	60
4	TU-QS-04X09	4	9	60
5	TU-QS-06X08	6	8	60
6	TU-QS-06X09	6	9	60
7	TU-QS-06X10	6	10	60
8	TU-QS-06X11	6	11	60
9	TU-QS-06X12	6	12	60
10	TU-QS-07X09	7	9	60
11	TU-QS-07X10	7	10	60
12	TU-QS-07X11	7	11	60
13	TU-QS-07X12	7	12	60
14	TU-QS-07X13	7	13	60
15	TU-QS-08X10	8	10	60
16	TU-QS-08X12	8	12	60
17	TU-QS-08X13	8	13	60
18	TU-QS-08X14	8	14	60
19	TU-QS-09X12	9	12	60
20	TU-QS-10X12	10	12	60
21	TU-QS-10X13	10	13	60
22	TU-QS-10X14	10	14	60
23	TU-QS-10X16	10	16	60
24	TU-QS-12X16	12	16	60
25	TU-QS-15X20	15	20	60
26	TU-QS-18X24	18	24	60
27	TU-QS-19X25	19	25	60
28	TU-QS-20X28	20	28	60
29	TU-QS-25X33	25	33	60
30	TU-QS-32X42	32	42	60
31	TU-QS-38X48	38	48	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้