

ชุดทดลองเครื่องวัดความหนืด
VISCOMETER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

ชุดทดลองเครื่องวัดความหนืด

VISCOMETER



T149429



สิรินดา อังกรวิโรจน์
สุชาดา จันทามิ
สุภาศจี วุฒิกุลประพันธ์

สาขา.....
เลขทะเบียน 149429
รับเดือนปี 8 อ.ก. 2561

b. 12884418
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VISCOMETER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF
SCIENCE(APPLIED PHYSICS)

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULITY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ชุดทดลองเครื่องวัดความหนืด
Viscometer

ชื่อนักศึกษา นางสาวสิรินดา อังกรวิโรจน์ รหัสนักศึกษา 55051640
นางสาวสุชาดา จันทามี รหัสนักศึกษา 55051644
นางสาวสุภศจี วุฒิกุลประพันธ์ รหัสนักศึกษา 55051652

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ชุดทดลองเครื่องวัดความหนืด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสิรินดา อังกรวิโรจน์ รหัสนักศึกษา 55051640
	นางสาวสุชาดา จันดามี รหัสนักศึกษา 55051644
	นางสาวสุภาศจี วุฒิกุลประพันธ์ รหัสนักศึกษา 55051652
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิจURY ยินดีสุข

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสร้างชุดการทดลองหาค่าความหนืดของสสาร โดยใช้เครื่องจับเวลาอัตโนมัติ ซึ่งสสารที่ใช้ในการทดลองหาค่าความหนืดคือกลีเซอริน โดยผู้วิจัยจะทำการสร้างชุดทดลองวัดค่าความหนืด และทำการทดสอบหาค่าความหนืด จากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก พร้อมทั้งศึกษาแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อเคลื่อนที่ผ่าน กลีเซอริน ผู้วิจัยจะใช้ลูกเหล็กทรงกลมนำมาทำการทดลอง ในขั้นตอนการทดลองแรกคือ ทำการติดตั้งหัวเลเซอร์ และ ตัวรับแสง (LDR) ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมจับเวลาแบบอัตโนมัติโดยใช้เลเซอร์เป็นตัวปล่อยแสง และ LDR เป็นตัวรับแสง หลักการทำงานของโปรแกรมคือ เมื่อมีวัตถุตัดผ่านแสงเลเซอร์จะทำให้ LDR ไม่สามารถรับแสงได้จึงส่งผลให้โปรแกรมทำงานเริ่มจับเวลา โดยจะติดตั้งเลเซอร์ และ LDR ให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด จะติดตั้งทั้งหมด 3 จุดด้วยกัน เมื่อทำการติดตั้งเสร็จจึงเริ่มทำการทดลองในขั้นตอนที่ 2 คือทำการปล่อยลูกเหล็กจากจุดบนสุดของปลายท่อ เมื่อลูกเหล็กเคลื่อนที่ผ่านจุดที่กำหนดตำแหน่งระยะทางที่มีหัวเลเซอร์ และ LDR ติดตั้งไว้ก็จะเริ่มทำการจับเวลา ตั้งแต่ในช่วงแรกจนถึงช่วงความเร็วสุดท้ายในจุดที่กำหนดไว้ จากนั้นนำเวลาที่ได้นำมาคำนวณหาค่าความเร็วคงที่ และนำผลการคำนวณที่ได้ไปแทนในสมการหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอริน เมื่อได้ผลจึงนำไปเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎีของสัมประสิทธิ์ความหนืดกลีเซอริน มีค่าเป็น 12.81 ปาสคาลต่อวินาที

คำสำคัญ : หาค่าความหนืด ชุดทดลองเครื่องวัดความหนืด

Title	VISCOMETER	
Student	Miss Sirinda Aungkuravirot	Student ID 55051640
	Miss Suchada Chandamee	Student ID 55051644
	Miss Supasajee Wuttikunprapan	Student ID 55051652
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Dr.Witoon Yindeesuk	

Abstract

This special project is to create a series of experiments to study the viscosity of the substance. By using a timer the substance used in the trials for the viscosity is glycerin. The researchers will create an experimental test for measuring the viscosity and testing find the viscosity from movement of moving object under the force of gravity the study of irresistible force to the movement of objects moving through the glycerin. The researcher would use steel ball spheres were experimental. The experimental procedure first is. Installing the laser head and a light sensor (LDR), which in this part of the researchers programming conducted by an automatic timer to use a laser light emission and LDR is a sensor. The program works, when the laser will cut through LDR. Unable to get light cause the program starts the timer. Install lasers and LDR in a given position, install three points. When the installation is complete Trial starts in step 2, release steel balls from the top of the pipe. When the steel ball passes through a given point the distance with the laser and LDR installed, it starts the timer. Since during the first until last point the speed. Then take the time to calculate the speed constant and bring the calculation results to be in the equation for viscosity coefficient of glycerin. The results will be compared with the theory, the coefficient of viscosity glycerin value is $12.81 Pa \cdot s$

Keywords : Viscosity Viscometer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ดร. กาจปัญญา สุวรรณสุข โข ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับทัศนคติกับการทำงานร่วมกับผู้อื่น ขอขอบคุณ พี่เจ็ย ที่ช่วยให้คำแนะนำวิธีการเขียนแผนผังการทำงานของวงจร ขอขอบคุณ คุณ มนัส ศรีตระกูลพร ที่ให้ยืมอุปกรณ์และช่วยสอนวิธีการเชื่อมเหล็ก ขอขอบคุณ คุณ จักราวุธ จันดามิ ที่ช่วยเอื้อเฟื้อชุดคอมพิวเตอร์ และ ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม Arduino ขอขอบคุณ เจ้าของหอพักทริปปิเลเอ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ และ ขอขอบคุณ รุ่นพี่ รวมถึงบุคคลท่านอื่นๆ ที่คอยให้คำแนะนำ และเป็นแรงใจ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ดร.วิจурย์ ยินดีสุข เป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำแนะนำ อบรม สั่งสอน ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษาพร้อมทั้งให้ทุนสนับสนุนในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ และ ขอขอบคุณ บิดามารดา ที่เป็นแรงบันดาลใจหลัก ทำให้มีกำลังใจในการทำโครงการนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

สิรินดา อังกรวิโรจน์

สุชาดา จันดามิ

สุภศจี วุฒิกุลประพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหนืดคืออะไร	4
2.2 การวัดความหนืด	4
2.3 ความหมายของความหนืด	6
2.4 มาตรฐานความหนืด	6
2.4.1 บับเบิลวิสโคมิเตอร์ (Bubble Viscometers)	6
2.4.2 ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด (Ford Viscosity Cups)	7
2.4.3 มาตรฐานความหนืดแบบบรูคฟิลด์	8
2.4.4 มาตรฐานความหนืดแบบเกลเลนแคมป์	9
2.5 เครื่องวัดความหนืด	11
2.6 ทฤษฎีการทดลองวัดความหนืด	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
3.1 อุปกรณ์ในการสร้างเครื่องชุดทดลอง	17
3.1.1 อุปกรณ์การสร้างเครื่องวัดความหนืด	17
3.1.2 อุปกรณ์การสร้างเครื่องจับเวลาอัตโนมัติ	20
3.2 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองความหนืด	24
3.2.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องวัดความหนืด	24
3.2.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องจับเวลาอัตโนมัติ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	33
4.1 ผลการสร้างชุดทดลองความหนืด	33
4.1.1 ผลการสร้างเครื่องวัดความหนืด	33
4.1.2 ผลการสร้างเครื่องจับเวลาอัตโนมัติ	33
4.2 ผลการทดลองการวัดความหนืด	34
4.2.1 ตารางผลการทดลองการวัดความหนืด	34
4.2.2 ผลการคำนวณหาค่าความหนืด	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	36
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินการวิจัย	3
2.1 มาตรฐานของถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด	7
2.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับความหนืดของน้ำดินและน้ำเคลือบ	10
3.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง	31
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองวัดค่าความหนืด	34
5.1 ตารางสรุปผลการทดลอง	36



สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเรียงจากของไหลที่มีความหนืดน้อยไปยังของไหลที่มีความหนืดมาก	4
2.2 แสดงแรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะที่ตกในของเหลว	5
2.3 เครื่องวัดความหนืดแบบ Capillary	11
2.4 เครื่องวัดความหนืดแบบ Falling sphere	11
2.5 เครื่องวัดความหนืดชนิดหมุนแบบ Stormer viscometer or Searle type	12
2.6 เครื่องวัดความหนืดชนิดหมุนแบบ Cone and plat	13
2.7 แสดงเมื่อมีวัตถุตกในของเหลว	14
2.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_r กับ r^2	16
3.1 ท่ออะคริลิกใส	17
3.2 แผ่นอะคริลิก	17
3.3 ปืนกาวยร้อน	17
3.4 ลูกปืนโลหะ	18
3.5 แผ่นเหล็กหนา	18
3.6 ท่อเหล็กกลวง	18
3.7 แม่เหล็ก	19
3.8 กליเซอรินเหลว	19
3.9 โพรโทบอร์ด	20
3.10 หัวเลเซอร์	20
3.11 LDR	20
3.12 ตัวต้านทาน	21
3.13 ปุ่มกด	21
3.14 หน้าจอ LCD แบบ 16X2	21
3.15 สายไฟ	22
3.16 สาย usb ต่อบอร์ด Arduino	22
3.17 สายไฟต่อตรง	22
3.18 บอร์ด Aruino	23
3.19 สาย VGA	23
3.20 แสดงการออกแบบชุดเครื่องมือ	24
3.21 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์	24
3.22 หลอดอะคริลิกตัดแล้ว	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 แผ่นเหล็กหนา	25
3.24 ท่อเหล็กตัดแล้ว	25
3.25 แสดงการเชื่อมฐานกับท่อเหล็ก	26
3.26 แผ่นเหล็กตัดเป็นรูปตัวยู	26
3.27 แสดงการเชื่อมแท่งเหล็กกับเหล็กรูปตัวยู	26
3.28 แสดงตัวล็อกในแนวแกนตั้งและแกนนอน	27
3.29 น็อตยึดหลอดและ หัวหมุนขยับหลอด	27
3.30 ฐานตั้งหลอดทดลอง ฟันสี	27
3.31 เครื่องทดลองความหนืด	28
3.32 แสดงรูปวงจรทั้งระบบ	28
3.33 ชุดคำสั่งวัดค่าความเข้มข้น	29
3.34 ชุดคำสั่งจับเวลา	29
3.35 Flowchart การเขียนโปรแกรม	30
4.1 เครื่องวัดความหนืด	33
4.2 ชุดจับเวลาอัตโนมัติ	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ความหนืด คือค่าบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลในตัวของไหล ความหนืดนี้อธิบายถึงความสามารถในการต้านทานการไหลภายในตัวของไหล และอาจจะถูกพิจารณาให้เป็นตัวชี้วัดความเสียดทานของไหลได้ ยิ่งของไหลมีความหนืดต่ำมากเท่าไร มันก็จะยิ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้มากเท่านั้นสำหรับคำเรียกใช้โดยทั่วไป อาจจะใช้คำว่า "ความหนา" ตัวอย่างเช่น น้ำ ที่มีความหนืดต่ำอาจจะถูกเรียกว่า "บาง" ในขณะที่น้ำผึ้งซึ่งมีความหนืดสูงนั้นอาจจะถูกเรียกว่า "หนา" สำหรับของไหลในความเป็นจริงนั้นจะมีค่าความหนืดในตัว แต่อย่างไรก็ตาม ในทางอุดมคติ ของไหลอาจจะถูกสมมติให้ไร้ความหนืด เรียกว่า ของไหลในอุดมคติ หรือ ของไหลไร้ความหนืด

ของเหลวทั่วไปมีสมบัติอัดไม่ได้ (Incompressibility) แต่จะเกิดความเสียดทานภายในขึ้นเมื่อเนื้อของชั้นของของเหลวที่ติดกันมีการ สัมผัสกัน หรือเมื่อของเหลวเคลื่อนที่ในหลอดหรือเคลื่อนที่รอบๆสิ่งกีดขวาง แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในของเหลวเช่นนี้เรียกว่า แรงหนืด (viscous force) และเรียกของของเหลวนี้ว่า ความหนืด (viscosity) อาทิเช่น เมื่อใช้ช้อนคนของเหลว เช่น น้ำ น้ำเชื่อม และนมข้นหวาน จะพบว่า การคนนมข้นหวานจะใช้แรงมากกว่าการคนน้ำ และการคนน้ำเชื่อมจะใช้แรงมากกว่าการคนน้ำ ทั้งนี้ เป็นเพราะของเหลวทั้งสามชนิดมี ความหนืด ก๊าซก็มีความหนืดเช่นกัน แต่ความหนืดของก๊าซน้อยกว่าความหนืดของของเหลวมาก ของไหลที่มีความหนืดมาก จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล เรียกว่า แรงหนืด (viscous force) ซึ่งเป็นแรงในทิศตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของของไหลที่พิจารณา

โครงการพิเศษนี้จะเกี่ยวข้องกับการทดลองหาค่าของความหนืดของสสาร โดยจะใช้กลีเซอรินเป็นสารในการทดลอง โดยผู้วิจัยจะทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงพร้อมกับแรงต้านทานการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากของเหลวที่มีความหนืด โดยวัตถุที่ใช้ในการทดลองคือลูกเหล็กทรงกลม เมื่อเราปล่อยลูกเหล็กลงไปของเหลวแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กมีอยู่สามแรง ได้แก่ แรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักของลูกเหล็ก แรงต้านการเคลื่อนที่ (ที่เกิดจากความหนืดของของเหลว) และแรงลอยตัว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1). เพื่อศึกษาทฤษฎีเรื่องความหนืด
- 2). เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดเทียบกับทฤษฎี
- 3). เพื่อสร้างชุดทดลองความหนืด และจับเวลาอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1). ศึกษาทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของความหนืด
- 2). ศึกษาความหนืดของกลีเซอรินจากชุดทดลองความหนืด
- 3). ศึกษาการทำงานของเครื่องจับเวลาอัตโนมัติและนำมาใช้งาน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 ค้นคว้าข้อมูล
- ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบเครื่องชุดการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลองเก็บผล
- ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงแก้ไข
- ขั้นตอนที่ 5 สร้างเครื่องทดลอง
- ขั้นตอนที่ 6 สรุปลผลและประเมินผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 7 ทำรูปเล่มรายงาน
- ขั้นตอนที่ 8 นำเสนอชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลาปีการศึกษา 2558									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ค้นคว้าข้อมูล	■	■								
ออกแบบเครื่องชุดการทดลอง		■	■							
ทำการทดลองเก็บผล				■	■					
ปรับปรุงแก้ไข					■	■				
สร้างเครื่องทดลอง						■	■	■		
สรุปผลและประเมินผลการทดลอง								■	■	
ทำรูปเล่มรายงาน										■
นำเสนอชุดการทดลอง										■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง
2. เข้าใจถึงวิธีการทดลองและการคำนวณหาค่าแรงเสียดทานของความหนืดของสสาร
3. เข้าใจถึงทฤษฎีของเรื่องความหนืดที่มีผลทำให้เกิดแรงต้านของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหนืดคืออะไร

ความหนืด คือ ค่าบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลในตัวของไหล ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปจากการกระทำของความเค้นเฉือนหรือความเค้นภายนอก ความหนืดนี้อธิบายถึงความสามารถในการต้านทานการไหลภายในตัวของไหล และอาจจะถูกพิจารณาให้เป็นตัวชี้วัดความเสียดทานของไหลได้ ยิ่งของไหลมีความหนืดต่ำมากเท่าไร มันก็จะยิ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้มากเท่านั้น สำหรับคำเรียกใช้โดยทั่วไป อาจจะใช้คำว่า "ความหนา" ตัวอย่างเช่น น้ำ ที่มีความหนืดต่ำอาจจะถูกเรียกว่า "บาง" ในขณะที่น้ำผึ้งซึ่งมีความหนืดสูงนั้นอาจจะถูกเรียกว่า "หนา" สำหรับของไหลในความเป็นจริงนั้น (ยกเว้น ซูเปอร์ฟลูอิด) จะมีค่าความหนืดในตัว แต่อย่างไรก็ตาม ในทางอุดมคติ ของไหลอาจจะถูกสมมติให้ไร้ความหนืด เรียกว่า ของไหลในอุดมคติ หรือ ของไหลไร้ความหนืด สำหรับวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับของไหลคือ วิทยาศาสตร์การไหล

2.2 การวัดความหนืด

เมื่อใช้ช้อนคนของเหลว เช่น น้ำ น้ำเชื่อม และนมข้นหวาน จะพบว่า การคนนมข้นหวานจะใช้แรงมากกว่าการคนน้ำ และการคนน้ำเชื่อมจะใช้แรงมากกว่าการคนน้ำ ทั้งนี้ เป็นเพราะของเหลวทั้งสามชนิดมีความหนืด ก๊าซก็มีความหนืดเช่นกัน แต่ความหนืดของก๊าซน้อยกว่าความหนืดของของเหลวมาก

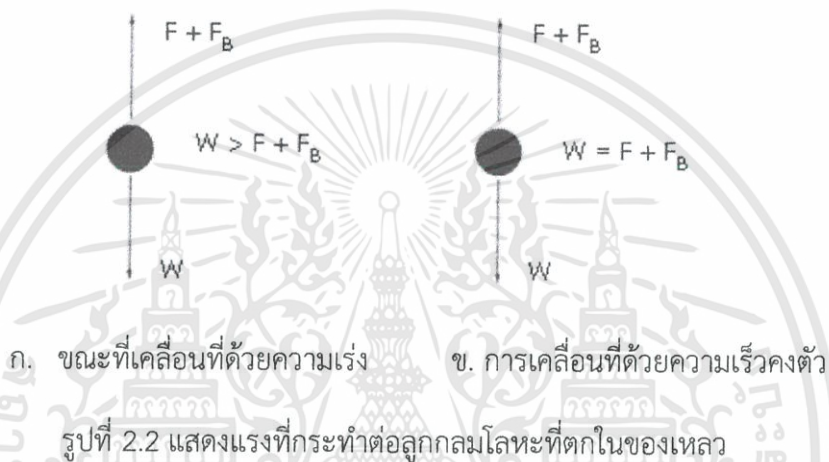


รูปที่ 2.1 แสดงการเรียงจากของไหลที่มีความหนืดน้อยไปยังของไหลที่มีความหนืดมาก

ของไหลที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล เรียกว่า แรงหนืด (viscous force) เมื่อเทกลีเซอร์อลใส่กระบอกใส แล้วปล่อยลูกกลมโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร ลงในกลีเซอร์อล และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ จะพบว่า ในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีความเร่ง หลังจากนั้นก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วปลาย (terminal velocity) ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่โดยมีความเร่งภายใต้แรงลัพธ์ขนาดหนึ่ง ต่อมาเมื่อลูกกลมโลหะมีความเร็วสูงขึ้นแรงลัพท์นั้นจะลดลงๆ จนมีค่าเป็นศูนย์ ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จากหลักการของอาร์คิมิดีส และ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ขณะที่ลูกกลมโลหะตกในก๊ลิเซอรอล (หรือของไหลอื่น) ลูกกลมจะถูกรั้ง 3 รั้ง คือ น้ำหนัก (W) ของลูกกลมโลหะ แรงลอยตัว (F_B) และแรงหนืด (F) ของก๊ลิเซอรอล ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของลูกกลมโลหะ



เมื่อพิจารณาแรงทั้งสามนี้ จะพบว่า น้ำหนักของลูกกลมโลหะและแรงลอยตัวมีค่าคงตัว ดังนั้น การที่แรงลัพท์เปลี่ยนไปจึงเกิดจากแรงหนืดเพียงแรงเดียว กล่าวคือ เมื่อเริ่มเคลื่อนที่แรงหนืดจะมีขนาดน้อยกว่าผลต่างของน้ำหนักและแรงลอยตัว ดังรูป ก. เมื่อลูกกลมโลหะเคลื่อนที่เร็วขึ้นแรงหนืดจะมีขนาดมากขึ้นจนทำให้แรงลัพท์ที่กระทำต่อลูกกลมโลหะเป็นศูนย์ ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ดังรูป ข. จึงสรุปได้ว่า แรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วของวัตถุ และแรงนี้มีทิศตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ

สโตกส์ (Sir George Stokes) ได้ทดลองหาแรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมขณะเคลื่อนที่ในของเหลว พบว่า แรงหนืดแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุทรงกลม ดังสมการ

$$F = 6\pi\eta r v$$

เมื่อ F คือ แรงหนืด

r คือ รัศมีของวัตถุทรงกลมตัน

v คือ ความเร็วของวัตถุทรงกลมตัน

η คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดมีหน่วยนิวตัน วินาทีต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ พาสคัล วินาที (Pa s) ในอดีตหน่วยของความหนืด (ในระบบ cgs) คือปัวส์ (poise) แทนด้วยสัญลักษณ์ P โดยที่ $1 \text{ Pa s} = 10 \text{ P}$

2.3 ความหมายของความหนืด

ความหนืด (Viscosity) หมายถึงความต้านทานต่อการไหลของของเหลว เราสามารถวัดความหนืดโดยพิจารณาที่ความข้นเหลว (Fluidity) ซึ่งมีวิธีการวัดความหนืดหลายวิธีโดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความหนืด เรียกว่ามาตรความหนืด หรือวิสโคมิเตอร์ (Viscometer) ในการวัดความหนืดไม่ว่าจะโดยวิธีใดก็ตาม อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้คือ 25 องศาเซลเซียส เพราะอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดมาก โดยที่ความหนืดของของเหลวทุกชนิดจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนความหนืดของแก๊สทุกชนิด จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยปกติความหนืดของสารหาได้ในหน่วยปัวส์ (Poise) หรือ กรัม ต่อเซนติเมตร-วินาที ($g/cm - s$) แต่มาตรความหนืดบางประเภทจะวัดการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วง กล่าวคืออัตราการไหลหาได้จากอัตราส่วนของความหนืดต่อความหนาแน่น ความหนืดที่ได้จากการวัดโดยวิธีการแบบนี้เรียกว่า ความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity) มีหน่วยเป็นสโตก (Stoke) หรือตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm^2 / s) ซึ่งความหนืดของแก๊สจะแปรตามความดัน เนื่องจากความหนาแน่นของแก๊สจะเปลี่ยนแปลง เมื่อความดันเปลี่ยน ทั้งนี้เพราะ ความหนาแน่นจลนศาสตร์ได้มาจาก ความหนืดจลนศาสตร์ (Stoke ; cm^2 / s) = ความหนืดพลศาสตร์ (Poise ; $g/cm-s$) / ความหนาแน่น (g / cm^3)

2.4 มาตรความหนืด

มาตรความหนืด หรือ เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดมีหลายชนิด ดังนี้คือ

2.4.1 บับเบิลวิสโคมิเตอร์ (Bubble Viscometers)

มาตรความหนืดชนิดนี้นิยมใช้วัดความหนืดของน้ำมันและสารยึดเกาะ เครื่องจะประกอบด้วยหลอดมาตรฐาน ที่ฝาหลอดถูกผนึก (Sealed) จำนวน 41 หลอด บรรจุของเหลวที่เรียงลำดับความหนืดต่ำที่สุด ถึงของเหลวที่มีความหนืดสูงที่สุด แสดงค่าเป็นความหนืดจลนศาสตร์ วิธีการวัดความหนืดจะเปรียบเทียบอัตราความเร็วของฟองอากาศระหว่างสารในหลอดทดสอบและของเหลวในหลอดมาตรฐาน การบรรจุสารในหลอดทดสอบจึงต้องระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ เพื่อให้สารในหลอดทดสอบ มีขนาดฟองอากาศใกล้เคียงกับของเหลวในหลอดมาตรฐานมากที่สุด นอกจากนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการวัดอีกด้วย

2.4.2. ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด (Ford Viscosity Cups)

เป็นวิธีการทดสอบที่สถานประกอบการอุตสาหกรรมนิยมใช้กันมาก เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ดทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อนและตัวทำละลาย เช่น ทองเหลือง หรือ อลูมิเนียม ที่ก้นถ้วยมีทางออกเหมือนกรวย ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ดที่ใช้ในงานทดสอบทางเซรามิกส์ มี 3 ขนาด คือถ้วยหมายเลข 2 หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ถ้วยแต่ละขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกต่างกัน และเหมาะสำหรับการหาความหนืดของสารได้ในช่วงต่างกัน ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด

หมายเลขถ้วย	เส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกท่อ		ช่วงความหนืดที่ใช้วัด (เซนติสโตส หรือตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที)
	นิ้ว	เซนติเมตร	
2	0.1	0.25	25 – 120
3	0.13	0.325	37 – 231
4	0.15	0.375	70 – 370

ก่อนทำการทดสอบ ให้เลือกถ้วยที่เหมาะสม โดยใช้ถ้วยหมายเลข 3 และหมายเลข 4 สำหรับทดสอบสารที่มีเวลาการไหลออกจากถ้วยอยู่ระหว่าง 20 - 100 วินาที ส่วนถ้วยหมายเลข 2 สำหรับเวลาการไหลออกจากถ้วย 40 - 100 วินาที หากไม่เคยทดสอบมาก่อนควรทดสอบการใช้งานว่าสารที่ต้องการทดสอบใช้เวลาในการไหลเท่าใด อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เพื่อเลือกใช้ขนาดของถ้วยให้เหมาะสม หลังจากนั้นปรับระดับการวางของเครื่องมือให้ได้ระดับเพื่อช่วยให้สารที่บรรจุในถ้วยจนเต็มนั้นไม่มีรอยโค้งหรือล้นออกจากถ้วยด้านใดด้านหนึ่ง ทดสอบหาเวลาในการไหลของสารออกจากถ้วยโดยเอานิ้วปิดท่อทางออกด้านล่างของถ้วย เติมสารลงไปจนล้น แล้วใช้กระจกหรือพายปาดส่วนที่ล้นออก เปิดปลายท่อที่เอานิ้วปิดไว้ จับเวลาจนกระทั่งสารไหลออกจนหมด (t) นำมาคำนวณหาความหนืดจลนศาสตร์ (หน่วยเป็นเซนติสโตก) จากเวลาการไหล (วินาที) ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ถ้วยหมายเลข 2} = 2.388t - 0.007t^2 - 57.008$$

$$\text{ถ้วยหมายเลข 3} = 2.314t - 15.200$$

$$\text{ถ้วยหมายเลข 4} = 3.846t - 17.300$$

เมื่อ t หมายถึงเวลาการไหลของสาร มีหน่วยเป็นวินาที

ตัวอย่างการทดสอบหาค่าความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด เช่น หลังจากการวัดค่าความหนืดของน้ำดินด้วยถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด หมายเลข 4 พบว่า น้ำดินใช้เวลาในการไหลออกจากถ้วย 23.2 วินาที คำนวณโดยใช้สูตร $3.846t - 17.3$ เพื่อเปลี่ยนเวลาการไหลเป็นวินาทีจากที่วัดได้ เป็นความหนืดจลนศาสตร์ ที่มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที หรือ เซนติสโตก นั่นคือ น้ำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินนี้มีความหนืดเท่ากับ 3.846 (23.2) - 17.3 หรือ 71.9272 เซนติสโตก ซึ่งค่าที่ได้นี้ให้นำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเดิมที่เคยกำหนดไว้ก่อนแล้ว

การทดสอบความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของพอร์ต นอกจากจะต้องเลือกถ้วยที่เหมาะสมแล้ว ต้องควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบ รวมทั้งควบคุมสภาพของแรงที่กระทำต่อน้ำดินในขณะการทดสอบ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้

นอกจากการคำนวณเพื่อหาค่าความหนืดจลนศาสตร์ แล้ว ในการวัดความหนืดของ น้ำดิน น้ำเคลือบ หรือวัสดุเซรามิกส์ สามารถวัดโดยให้ตัวอย่างไหลผ่านรูท่อเหล็ก (Orifice Viscometer) โดยกำหนดปริมาตรของตัวอย่าง และเปรียบเทียบความหนืดที่ใช้เวลาในการปล่อยให้ตัวอย่างไหลจนขาดสาย ซึ่งขนาดของรูท่อที่ใช้จะเป็น 4 มิลลิเมตร หรือ 6 มิลลิเมตร จับเวลาและบันทึกค่าเป็นเวลาที่ใช้ (วินาที) ต่อปริมาตรน้ำดิน (100 ซีซี) (s/100 cc) การวัดด้วยวิธีนี้ไม่สามารถวัดของเหลวที่มีความหนืดมาก ๆ ได้ เพราะจะไม่ไหลผ่านรูท่อด้านล่าง แต่มีเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่วัดได้คือ มาตรฐานความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield Torsion Viscometer)

2.4.3. มาตรฐานความหนืดแบบบรูคฟิลด์

เป็นมาตรฐานความหนืดที่มีหน่วยการวัดเป็นเซนติปัวส์ เครื่องประกอบด้วยแท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) จะหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้ต่อกับมอเตอร์เพื่อช่วยให้โลหะทรงกระบอกหมุนได้ และวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นองศาการหมุน (Degree of Twist) ซึ่งค่านี้สามารถนำมาคำนวณเปลี่ยนค่าเป็นเซนติปัวส์ โดยการคูณค่าคงที่ตามที่กำหนดมากับเครื่อง (Factor) หรือสามารถอ่านค่าเป็นเซนติปัวส์ได้เลยจากเครื่อง หรือเครื่องสามารถนำมาต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รายงานผลการทดสอบ มาตรฐานความหนืดแบบบรูคฟิลด์แต่ละรุ่นจะมีรายละเอียดเฉพาะในการใช้งานที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสิ่งที่จะต้องพิจารณา ก่อนคือ การเลือกขนาดของหัวทดสอบให้เหมาะสมกับช่วงความหนืดของสารที่ต้องการวัด โดยพิจารณาประกอบกับคู่มือ ซึ่งหัวทดสอบที่ใช้สำหรับวัดความหนืดทางเซรามิกส์ส่วนมากจะมีจำนวน 7 หัวทดสอบ คือหมายเลข 01 ถึง 07 โดยหมายเลข 01 เหมาะสำหรับวัดน้ำเคลือบซึ่งมีความหนืดไม่สูงมาก นอกจากนี้การเลือกหัวทดสอบต้องคำนึงถึงเกณฑ์มาตรฐานเดิมของแต่ละสถานที่ที่ทดสอบ เช่น สามารถวัดค่าความหนืดของน้ำดินได้โดยการใช้หัวทดสอบหมายเลข 03 หรือ 04 แต่หากต้องการปรับสมบัติของน้ำดินสูตรเดิมให้มีสมบัติตามที่กำหนดไว้ก็จะต้องเลือกใช้หัวทดสอบเพียงขนาดเดียวตลอดไป นอกจากการเลือกหัวทดสอบแล้ว การกำหนดความเร็วรอบก็จำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับความหนืดของสาร เหมาะสมกับหัวทดสอบ รวมทั้งเป็นไปตามมาตรฐานเดิมที่เคยปฏิบัติ หากความเร็วรอบไม่เหมาะสมกับหัวทดสอบแล้วเครื่องจะไม่ทำงาน (Error) หลังจากนั้นจึงทำการวัดค่าความหนืดตามวิธีการเฉพาะของแต่ละเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4. มาตรการความหนืดแบบเกลเลนแคมป์

(Gallenkamp Torsion Viscometer) เป็นมาตรวัดความหนืดที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับแบบบรุคฟิลด์ แต่มีข้อดีคือใช้งานง่ายและวัดได้อย่างรวดเร็ว ทนทานแข็งแรงกว่าแต่ราคาถูกกว่า โดยเครื่องจะประกอบด้วยลวดที่แขวนมาจากด้านบน ที่ปลายด้านล่างมีโลหะทรงกระบอก (Cylinder) ซึ่งสามารถหมุนได้อย่างอิสระไปพร้อมกับแกน การวัดจะทำการหมุนโลหะทรงกระบอกให้ครบ 360 องศา แล้วปล่อยให้หมุนกลับในภาชนะที่บรรจุของเหลวตัวอย่าง ค่ามุมที่หมุนกลับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความข้นเหลวของตัวอย่าง แผ่นบอกองศา (Flywheel) ที่ติดอยู่กับลวดเหนือโลหะทรงกระบอกขึ้นไป จะทำให้การหมุนเที่ยงตรงขึ้น ซึ่งความหนืดสามารถพิจารณาได้จากองศาการหมุนและนำมาเปรียบเทียบกับลวด และโลหะทรงกระบอกมีหลายขนาดในแต่ละเครื่อง แต่ไม่ว่าจะใช้ขนาดใดก็ตาม สิ่งสำคัญในการปรับให้เครื่องมือเที่ยงตรง คือโลหะทรงกระบอกต้องหมุนได้อย่างอิสระ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการหมุนโลหะทรงกระบอกให้ครบรอบ (360 องศา) แล้วปล่อยให้หมุนกลับในอากาศ ค่าการหมุน (Overswing) จะต้องกลับไม่เกิน 3 องศา

วิธีการวัดความหนืดโดยใช้เกลเลนแคมป์

- 1) หมุนแผ่นบอกองศาการหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ให้ครบ 360 องศา
- 2) นำภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่อง บรรจุตัวอย่างให้เต็ม
- 3) กวนตัวอย่างให้ทั่วถึง เพื่อให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าที่ถูกต้อง
- 4) นำภาชนะมาจัดวางไว้บนที่ โดยให้โลหะทรงกระบอกจมอยู่ในตัวอย่าง
- 5) ปล่อยให้แผ่นบอกองศาการหมุนที่ล็อกไว้ ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
- 6) อ่านค่าการหมุน จากหน้าปัดบนแผ่นบอกองศาการหมุน เป็นความหนืดของตัวอย่าง และการปฏิบัติงานควรกระทำให้เสร็จสิ้นหลังการวางภาชนะบรรจุตัวอย่างไว้บนเครื่องภายใน 5 วินาที เพื่อไม่ให้ตัวอย่างตกตะกอนหรือมีความหนืดเปลี่ยนแปลง

ความหนืดเป็นสมบัติหนึ่ง ที่มีผลต่อความเหลว และการไหลตัวของของเหลวในทางเซรามิกส์ ไม่ว่าจะเป็น น้ำดิน น้ำเคลือบ หรือสีพิมพ์ เช่นในน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบหรือใช้ในการทำดินผงต้องการน้ำดินที่ไหลตัวดีที่สุด น้ำเคลือบก็ต้องการการไหลตัวที่แตกต่างกันตามวิธีการเคลือบ และผลิตภัณฑ์ที่นำมาเคลือบ ในสีพิมพ์ที่ใช้พิมพ์ลวดลายต่าง ๆ ลักษณะของลายและความละเอียดของลายเป็นตัวกำหนดความหนืดของสีที่ต่างกัน สำหรับน้ำดินพบว่า นอกจากปริมาณของอนุภาคของแข็งในน้ำดินแล้ว ขนาดของอนุภาค ประจุของอนุภาค และรูปร่างของอนุภาคนั้น มีผลต่อความหนืดเช่นเดียวกัน โดยมีผู้ได้ทำการทดลองพบว่า เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง ระยะห่างระหว่างอนุภาคมีค่าต่ำลง ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีค่าลดลง ค่าความหนืดจะต่ำกว่า นอกจากนี้การรวมตัว และการกระจายตัวของอนุภาคเซรามิกส์ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าที่ผิวอนุภาค การดูดซับไอออน และชนิดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนที่กระจายอยู่ในสารแขวนลอย หรือน้ำดินนั้นอีกด้วย ดังนั้นนอกจากความหนืดของน้ำดินจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีด้วย เมื่อสภาวะอื่น ๆ ของน้ำดินไม่แตกต่างกัน วิธีที่จะทำให้ความหนืดของน้ำดินเปลี่ยนแปลงมี 3 วิธี คือ การเติมน้ำ จะช่วยให้มีความหนืดลดลง การระเหยน้ำออก จะทำให้น้ำดินมีความหนืดสูงขึ้น และการเติมสารเคมี โดยสารเคมีจะมีอิทธิพลทั้งสองทาง คือ สามารถช่วยให้น้ำดินมีความหนืดเพิ่มขึ้น อนุภาคเกิดการจับตัวกัน (Flocculation) หรือน้ำดินมีความหนืดลดลง คืออนุภาคผลึกกันเกิดภาวะ การกระจายตัว (Deflocculation) เหตุผลเนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ จะมีประจุไฟฟ้าที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตที่ผิวอนุภาคของของแข็ง เป็นผลให้อนุภาคของของแข็งเกิดการดูด หรือผลึกกัน ซึ่งสารเคมีที่มีสมบัติเป็นกรดจะช่วยให้อนุภาคดูดกัน และเกิดการจับตัวกัน ในทางตรงข้ามสารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่างจะช่วยให้อนุภาคผลึกกัน เกิดการกระจายลอยตัว จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำดิน และน้ำเคลือบ พบว่าเมื่อน้ำดินและน้ำเคลือบมีความหนาแน่นลดลง โดยการเพิ่มปริมาณน้ำในอัตราส่วนผสม จะเป็นผลให้ความหนืดมีค่าลดลงเช่นกัน ซึ่งการทดสอบค่าความหนืดนี้ ใช้มาตรฐานความหนืดแบบบรุคฟิลด์ ที่ขนาดเข็มทดสอบคือ เข็มหมายเลข 3 และความเร็วรอบเท่ากับ ส่วนการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำดิน และน้ำเคลือบใช้การชั่งน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับความหนืดของน้ำดินและน้ำเคลือบ

ความถ่วงจำเพาะ	ค่าความหนืด (เซนติปัวส์)	
	น้ำดิน	น้ำเคลือบ
1.2	-	15.5
1.3	-	18.6
1.4	-	23
1.5	531	28.2
1.6	500	-
1.7	476	-
1.8	440	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เครื่องวัดความหนืด

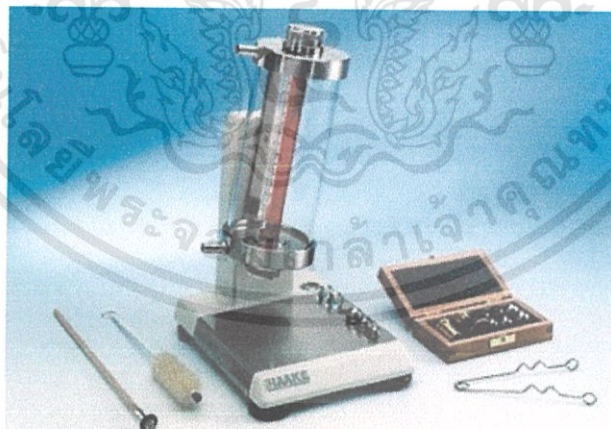
Capillary viscometer



รูปที่ 2.3 เครื่องวัดความหนืดแบบ Capillary

ใช้หาความหนืดของสารประเภทนิวโตเนียน จับเวลาที่ของเหลวไหลผ่านจุด 2 จุด เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อหลอดแคปิลลารีตั้งตรงเปรียบเทียบกับของเหลวที่ทราบความหนืด เช่น น้ำ จะหาความหนืดของของเหลวที่ต้องการได้ เรียกเครื่องมือนี้ว่า Ostwald viscometer

Falling sphere viscometer



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดความหนืดแบบ Falling sphere

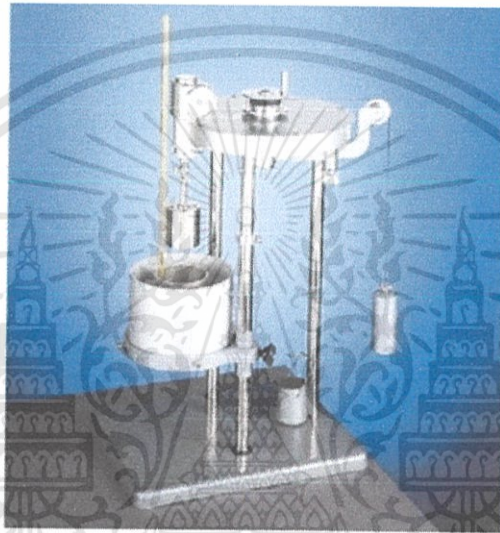
เครื่องมือนี้ใช้ในการวัดของเหลวที่ไหลแบบนิวโตเนียน โดยอาศัยหลักการของการตกของวัตถุผ่านของเหลวที่มีความหนืด ดังรูป จากความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของของเหลวกับเวลาที่วัตถุใช้เดินทางระหว่างจุด 2 จุดที่กำหนด และสามารถคำนวณความหนืดได้

เครื่องวัดความหนืดชนิดหมุน (Rotational viscometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องมือวัดความหนืดชนิดที่บรรจุของเหลวตัวอย่างลงในช่องว่างระหว่างส่วนที่หมุน (rotating portion) และส่วนที่อยู่กับที่ (stationary portion) เครื่องวัดชนิดอาศัยหลักการ คือ ทำให้ของเหลวตัวอย่างไหลแบบราบเรียบในระหว่างช่องว่างดังกล่าว โดยหมุนของตัวหมุนที่ความเร็วต่างกัน และวัดแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เครื่องมือชนิดนี้มีหลายแบบ ขึ้นกับลักษณะของตัวหมุน เช่น แบบอาศัยการหมุนของคัพและบอบ (cup and bob viscometer) และแบบอาศัยการหมุนของโคนและเพลท (cone and plat viscometer)

Stormer viscometer or Searle type



รูปที่ 2.5 เครื่องวัดความหนืดชนิดหมุนแบบ Stormer viscometer or Searle type

เป็นเครื่องมือที่อาศัยการหมุนของคัพและบอบ โดยแกนของบอบจะต่อไปยังน้ำหนัก ซึ่งเป็นแรงที่จะใช้หมุนบอบ (rotating portion) ส่วนคัพอยู่กับที่ (stationary portion) ภายนอกคัพมีอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อหาความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆกัน ของเหลวตัวอย่างจะใส่ลงในคัพ ใส่ตุ้มน้ำหนัก ถ่วงให้บอบหมุนจับเวลาที่บอบหมุน 100 รอบแล้ว คำนวณความเร็วเป็น รอบ/นาที ตัวอย่างเครื่องมือ ดังแสดงในรูป

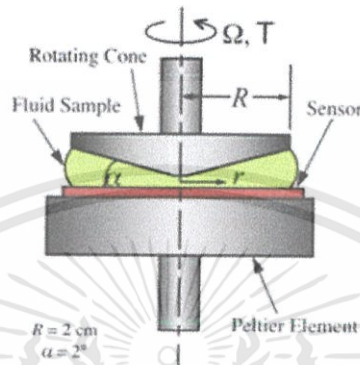
ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะสำหรับสารที่มีความหนืดต่ำกว่า 20 เซนติพอยสเพราะบอบจะหมุนเร็วมาก จนจับเวลาได้ยาก
2. ต้องใช้ตัวอย่างจำนวนมาก
3. เกิด plug flow ซึ่ง plug flow เกิดจากแรงที่กระทำต่อของเหลวตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างบอบและคัพไม่สม่ำเสมอและไม่เท่ากัน ทำให้ของเหลวที่อยู่ใกล้ตัวหมุนได้รับแรงมากกว่าของเหลวที่อยู่ห่างออกไป เมื่อแรงถึง yield value ของเหลวที่อยู่ใกล้ตัวหมุนจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการไหลก่อนในขณะที่ช่องเหลวที่อยู่ห่างออกไปยังไม่เกิดการไหล เพราะแรงที่ได้รับต่ำกว่า yield value ทำให้เกิดการอุดตันขึ้น ข้อเสียนี้จะลดลงได้ โดยพยายามลดช่องว่างระหว่างบอบและคัพที่บรรจุตัวอย่างให้แคบลง

Cone and plat viscometer (Ferranti-Sherley Viscometer)



รูปที่ 2.6 เครื่องวัดความหนืดชนิดหมุนแบบ Cone and plat

เครื่องมือประกอบด้วย plate ลักษณะแบนราบ และ cone ลักษณะสามเหลี่ยมมุมป้านทำมุม 0.3 องศา ปลายยอดของโคนจะพอดีสัมผัสกับผิวหน้าของ plate ช่องแคบๆระหว่าง plate และปลายยอดของ cone เป็นที่สำหรับบรรจุตัวอย่างซึ่งใช้เพียงเล็กน้อย (0.5 - 1 ml) ควบคุมอุณหภูมิผ่านทาง plate โดยการไหลเวียนผ่านของน้ำที่อุณหภูมิคงที่

ข้อดี

1. วัดความหนืดได้กว้างโดนการเปลี่ยนโคนและความเร็วที่โคนหมุน
2. Rate of shear คงที่ ไม่เกิด plug flow
3. ใช้ตัวอย่างน้อย (0.5 - 1 ml)
4. ควบคุมอุณหภูมิได้ดี
5. ทำความสะอาดได้ง่าย

ข้อเสีย

ไม่เหมาะสำหรับยาเตรียมอิมัลชันหรือยาน้ำแขวนตะกอนที่อนุภาคที่แขวนลอยอยู่มีขนาดใหญ่กว่า 30 ไมครอน เนื่องจากใช้ตัวอย่างน้อยและอนุภาคในยาเตรียมมีขนาดใหญ่ ซึ่งอนุภาคที่ถูกวัดความหนืดไม่ได้เป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้งหมด

การเลือกใช้เครื่องวัดความหนืดและเครื่องวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้เครื่องมือ มีบทบาทสำคัญมากในการวัดและประเมินคุณสมบัติทางรีโอโลยีของสาร ในทางเภสัชกรรมยาเตรียมมักมีความหนืดหลายระดับ ตั้งแต่เหลวเหมือนน้ำจนถึงลักษณะเป็นเจล การพิจารณาเลือกอาศัยหลักกว้างๆ ประกอบดังนี้

1. ลักษณะการไหล ถ้ายาเตรียมมีการไหลแบบนิวโตเนียน อาจเลือกใช้เครื่องมือชนิดวัดได้เพียงจุดเดียว หรือวัดได้หลายจุดเพราะการทราบค่าบนเส้นกราฟเพียงจุดใดจุดหนึ่ง เป็นการเพียงพอในการเขียนกราฟการไหล โดยการลากผ่านจุดดังกล่าวไปยังจุดตั้งต้น เครื่องมือชนิดวัดได้จุดเดียวที่ให้ผลเชื่อถือได้ ใช้งานและสะดวก คือ ออสวาลด์วิสโคมิเตอร์ และฮอปเพอร์วิสโคมิเตอร์
2. ความไวของเครื่องมือ ต้องเลือกให้เหมาะสมและมีความไวสูงพอ
3. หน่วยที่ต้องการวัดต้องการวัดค่าต่างๆ ในหน่วยสัมบูรณ์หรือสัมพัทธ์ ต้องเลือกเครื่องมือให้ถูกต้องด้วย
4. ขนาดของตัวอย่างที่มี ถ้ามีตัวอย่างค่อนข้างจำกัด โอกาสที่จะเลือกใช้เครื่องมือที่ต้องใช้ปริมาณตัวอย่างค่อนข้างสูงย่อมเป็นไปได้ เช่น คัพและบอบวิสโคมิเตอร์บางชนิด ใช้ตัวอย่างมากกว่า 100 ซีซี เป็นต้น
5. การควบคุมอุณหภูมิ ควรเลือกเครื่องมือที่มีการควบคุมอุณหภูมิได้ดี ง่ายและสะดวก
6. การทำความสะอาดเครื่องมือ เป็นข้อหนึ่งที่ต้องพิจารณาร่วมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องวัดจำนวนครั้งมากๆ จำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องมือที่ทำความสะอาดง่ายและรวดเร็ว

2.6 ทฤษฎีการทดลองวัดความหนืด



รูปที่ 2.7 แสดงเมื่อมีวัตถุตกในของเหลว

เมื่อปล่อยวัตถุทรงกลมให้ตกอย่างอิสระในของเหลวที่มีความหนาแน่น จะสังเกตเห็นว่าวัตถุมีการเคลื่อนที่ช้ากว่าปกติ เนื่องจากเกิดแรง 3 แรงกระทำ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักวัตถุ (w) เป็นแรงที่ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g) กระทำกับวัตถุ ตามสมการ

$$W = mg$$

เมื่อ m คือมวลของวัตถุ

แรงลอยตัว (B) เป็นขนาดของน้ำหนักของของเหลวที่กระทำกับวัตถุ ตามสมการ

$$B = \rho_l V_s g$$

เมื่อ ρ_l คือความหนาแน่นของของเหลว

V_s คือปริมาตรของวัตถุส่วนที่จม

แรงหนืด (F_v) เป็นแรงที่ต่อต้านการไหลหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลว

$$F_v = 6\pi\eta r v$$

เมื่อ h คือสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลว

r คือรัศมีของทรงกลม

v คืออัตราเร็วของทรงกลม

น้ำหนักกับแรงลอยตัวเป็นแรงที่คงที่ตลอดการเคลื่อนที่ แรงหนืดเป็นแรงที่มีขนาดเพิ่มขึ้นไปกับอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของวัตถุ

เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกในของเหลวจนการเคลื่อนที่เกิดความเร็วคงที่ แรงทั้งสามจะอยู่ในสภาวะสมดุล ความเร็วคงที่นี้เรียกว่าความเร็วสุดท้าย (V_t) ตามสมการ

$$\text{แรงลอยตัว} + \text{แรงหนืด} = \text{น้ำหนัก}$$

$$\rho_l V_s g + 6\pi\eta r v = mg$$

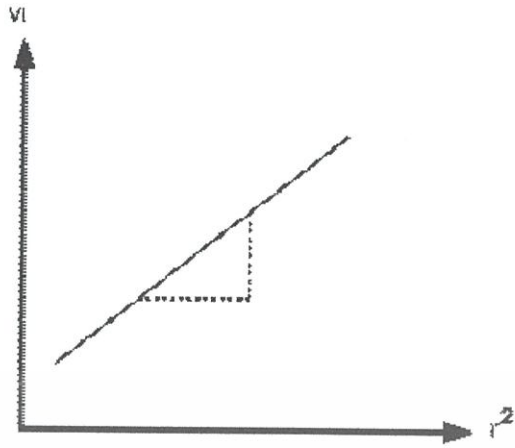
จากสมการดังกล่าวมาจะได้ความเร็วสุดท้ายการเคลื่อนที่ ดังนี้

$$V_t = \frac{2g}{9\eta} (\rho_0 - \rho_l) r^2$$

เมื่อ ρ_0 คือความหนาแน่นของวัตถุทรงกลม

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_t กับ r^2 จะได้กราฟเส้นตรง

จะได้ความชันของกราฟเป็น $\frac{2g}{9\eta} (\rho_0 - \rho_l)$ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_1 กับ r^2

ดังนั้นสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลวได้จาก

$$\text{Slope} = \frac{2g}{9\eta} (\rho_0 - \rho_1)$$

$$\eta = \frac{2g}{9\eta} (\rho_0 - \rho_1) \frac{1}{\text{Slope}}$$

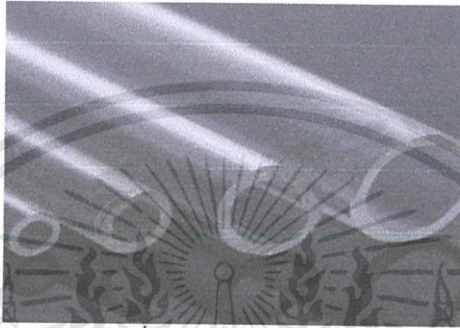
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ในการสร้างชุดทดลองความหนืด

3.1.1 อุปกรณ์การสร้างเครื่องวัดความหนืด

1. ท่ออะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 ท่ออะคริลิกใส

2. แผ่นอะคริลิก



รูปที่ 3.2 แผ่นอะคริลิก

3. ปืนกาวร้อน



รูปที่ 3.3 ปืนกาวร้อน

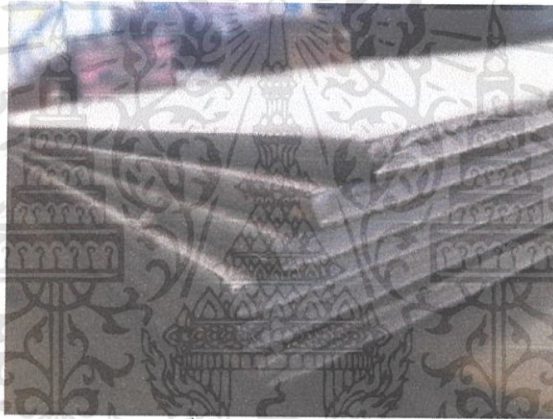
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลูกปืนโลหะ หนัก 16.3 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.691 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 ลูกปืนโลหะ

5. แผ่นเหล็กหนา



รูปที่ 3.5 แผ่นเหล็กหนา

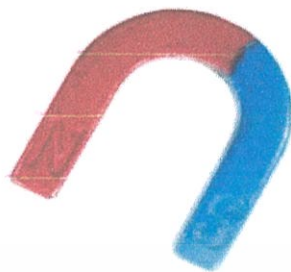
6. ท่อเหล็กกลาง



รูปที่ 3.6 ท่อเหล็กกลาง

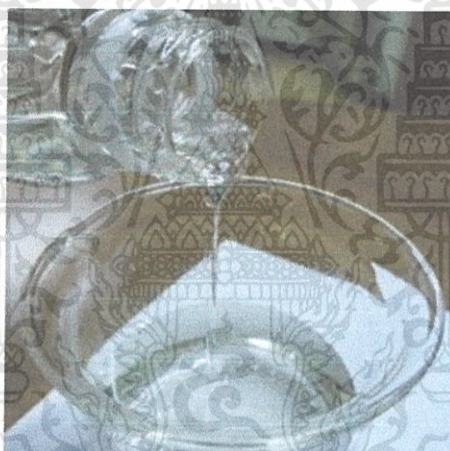
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แม่เหล็ก



รูปที่ 3.7 แม่เหล็ก

8. ก๊าซฮีโรีนเหลว

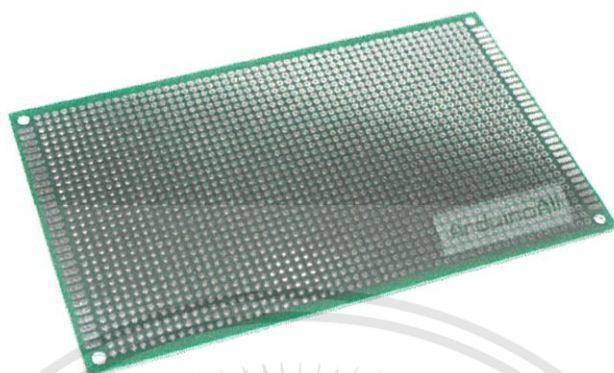


รูปที่ 3.8 ก๊าซฮีโรีนเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 อุปกรณ์การสร้างเครื่องจับเวลาอัตโนมัติ

1. โพรโทบอร์ด หรือ เบริดบอร์ด



รูปที่ 3.9 โพรโทบอร์ด

2. หัวเสเชอร์



รูปที่ 3.10 หัวเสเชอร์

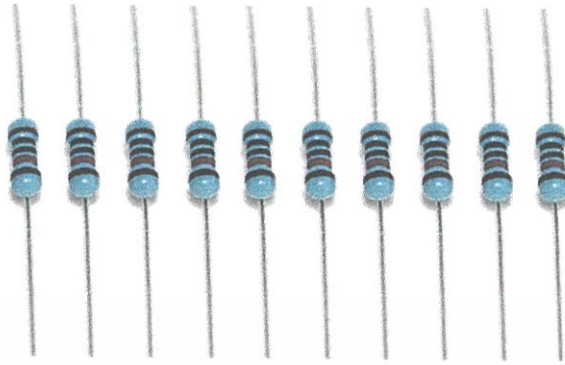
3. LDR



รูปที่ 3.11 LDR

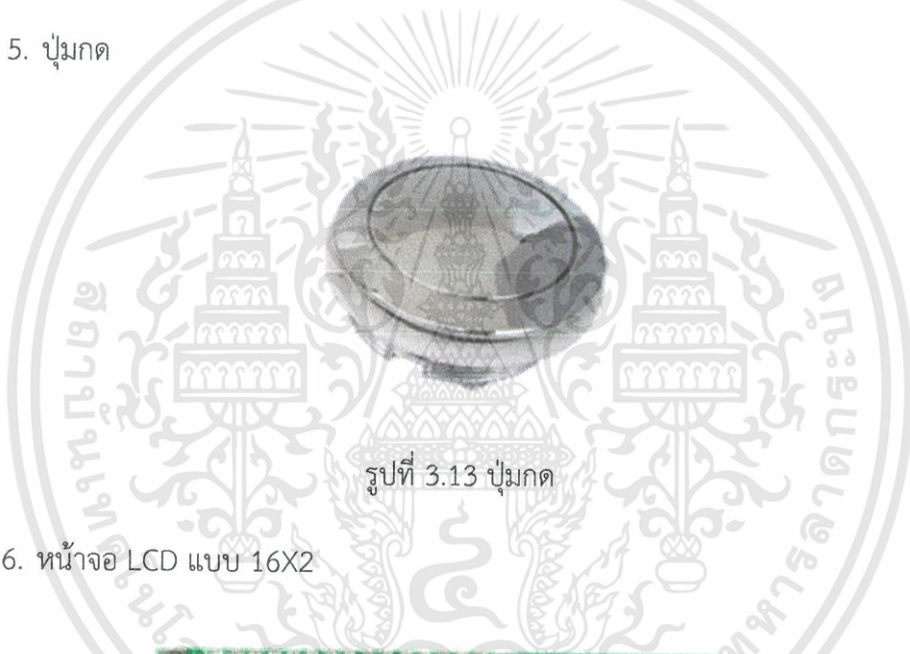
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวต้านทาน



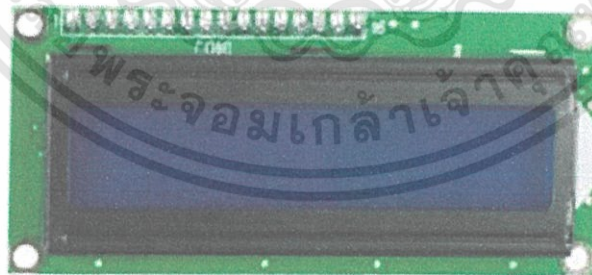
รูปที่ 3.12 ตัวต้านทาน

5. ปุ่มกด



รูปที่ 3.13 ปุ่มกด

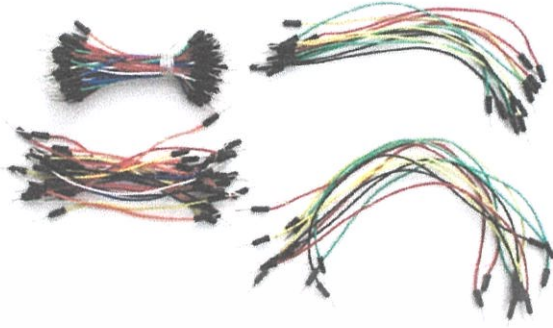
6. หน้าจอ LCD แบบ 16X2



รูปที่ 3.14 หน้าจอ LCD แบบ 16X2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สายไฟ



รูปที่ 3.15 สายไฟ

8. สาย usb ต่อบอร์ด Arduino



รูปที่ 3.16 สาย usb ต่อบอร์ด Arduino

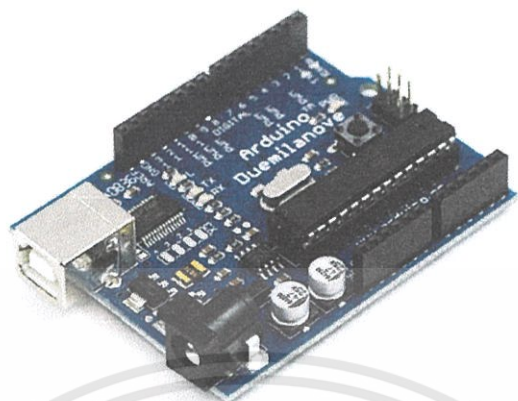
9. สายไฟต่อตรง



รูปที่ 3.17 สายไฟต่อตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. บอร์ด arduino



รูปที่ 3.18 บอร์ด arduino

11. สาย VGA



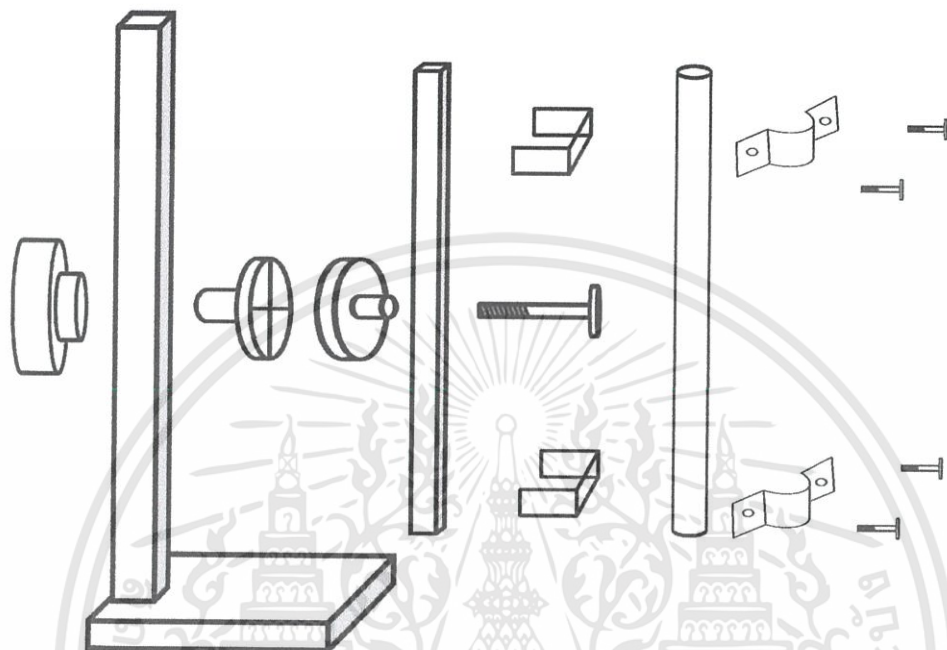
รูปที่ 3.19 สาย VGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองความหนืด

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างเครื่องวัดความหนืด

1. ออกแบบ และ คำนวณสัดส่วนเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)



รูปที่ 3.20 แสดงการออกแบบชุดเครื่องมือ

2. จัดเตรียมอุปกรณ์



รูปที่ 3.21 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์

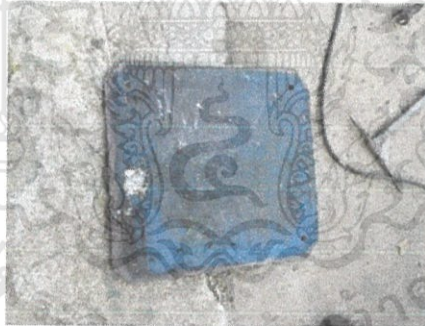
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัดท่ออะคริลิก ให้ได้ความยาว 51.6 เซนติเมตร หลังจากนั้นตัดแผ่นอะคริลิกให้เป็นแผ่นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น นำมาปิดหัวท้ายของท่ออะคริลิก เพื่อไม่ให้ของเหลวที่อยู่ในท่อไหลซึมออกมา และ ข้างในท่อจะมีลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.86 เซนติเมตร



รูปที่ 3.22 หลอดอะคริลิกตัดแล้ว

4. ตัดแผ่นเหล็กหนาที่มีความหนา ความกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 14.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นฐาน และ ตัดท่อเหล็กกลวง ขนาด 58.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.23 แผ่นเหล็กหนา



รูปที่ 3.24 ท่อเหล็กตัดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เชื่อมแผ่นเหล็กกับท่อเหล็กกลวงให้ได้มุม 90 องศา เป็นแกนยึดของโครงสร้างเครื่องทดลอง



รูปที่ 3.25 แสดงการเชื่อมฐานกับท่อเหล็ก

6. ตัดแท่งเหล็กอีกแท่งยาว 54 เซนติเมตร และ ตัดแผ่นเหล็กบางตัดให้เป็นรูปตัวยู



รูปที่ 3.26 แผ่นเหล็กตัดเป็นรูปตัวยู

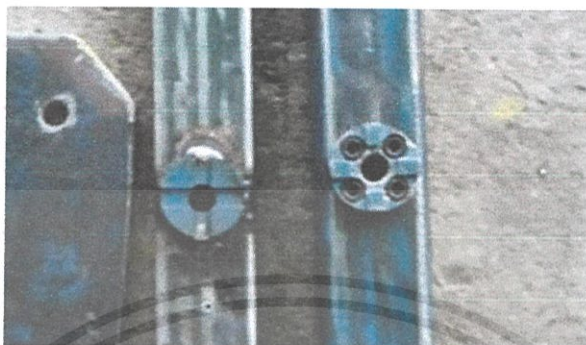
7. เชื่อมแท่งเหล็กแท่งที่ 2 กับแผ่นเหล็กตัวยู



รูปที่ 3.27 แสดงการเชื่อมแท่งเหล็กกับเหล็กรูปตัวยู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำเหล็กทรงกลมให้เป็นรูปกากบาท โดยด้านหนึ่งเป็นร่องลึก และ ด้านหนึ่งเป็นร่องนูน เชื่อมเหล็กทรงกลมนี้ติดกับกึ่งกลางของแท่งเหล็กทั้ง 2 ดังรูป (เหล็กร่องกากบาทนี้ ทำเพื่อให้เครื่องทดลองนี้ตั้งตรงที่ 90 องศา)



รูปที่ 3.28 แสดงตัวล็อกในแนวแกนตั้งและแกนนอน

9. ทำตัวหมุนยึดระหว่างเหล็กทั้ง 2 เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.29 น็อตยึดหลอดและ หัวหมุนขยับหลอด

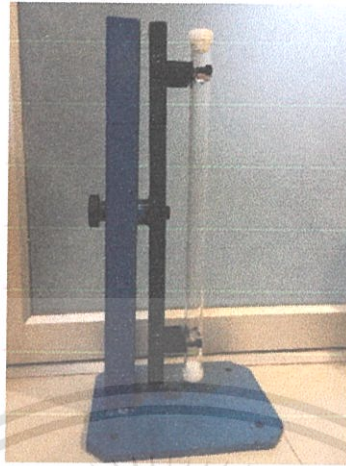
10. นำโครงสร้างแต่ละชิ้นส่วน พันสีให้สวยงาม



รูปที่ 3.30 ฐานตั้งหลอดทดลอง พันสี

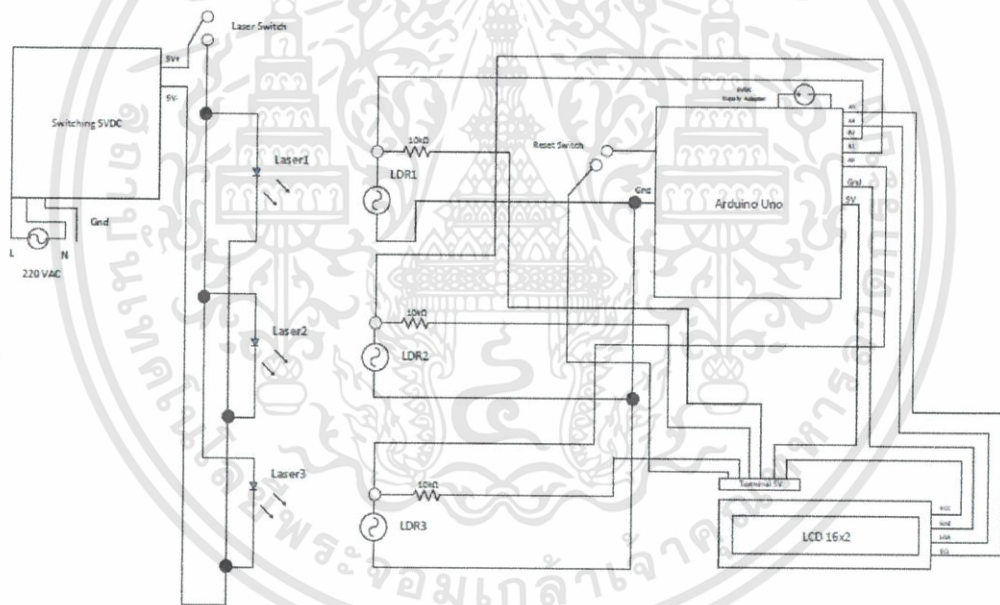
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. นำโครงสร้างแต่ละส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน จะได้เป็นชุดทดลองความหนืด



รูปที่ 3.31 เครื่องทดลองความหนืด

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องจับเวลาอัตโนมัติ



รูปที่ 3.32 แสดงรูปวงจรทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sketch_may14a §

void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {

  Serial.println(sensorValue);
}

```

รูปที่ 3.33 ชุดคำสั่งวัดค่าความเข้มแสง

```

sketch_may14a §
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x26, 16, 2);

unsigned long time0;
float Starttime;
float Stime;
float keep1;
float keep2;
float keep3;
float keep4;

float result1;
float result2;
float result3;
int Aresult1;
float Bresult1;
float Cresult1;
int a=0;
int i;

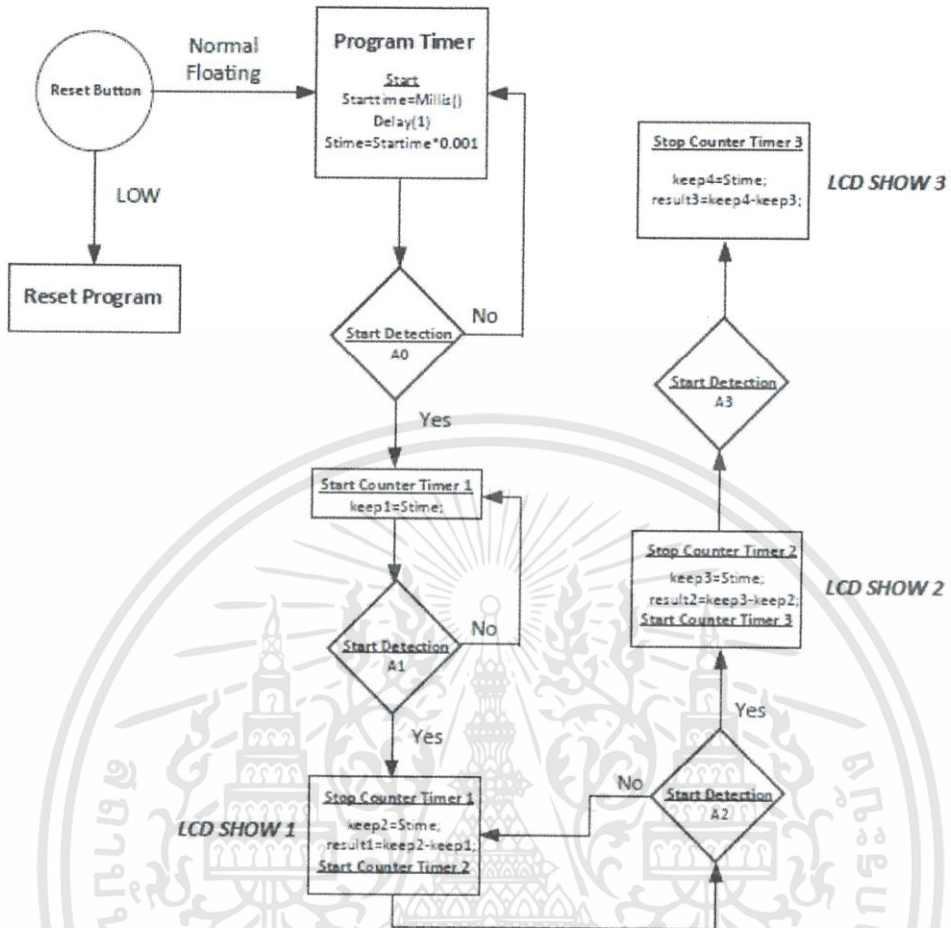
//

}
}

```

รูปที่ 3.34 ชุดคำสั่งจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 Flowchart การเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เลือกลูกเหล็กทรงกลมแต่ละขนาดมาขนาดละสามลูก วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (r) ของลูกเหล็กแต่ละขนาด โดยใช้เวอร์เนียร์ บันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง จากนั้นคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย
2. คำนวณหาค่ากำลังสองของเส้นผ่านศูนย์กลาง r^2 ที่ได้จากขั้นที่ 1 บันทึกผลในใบบันทึกผลการทดลอง
3. กำหนดบริเวณที่จะใช้คำนวณหาอัตราเร็วปลายโดยเลื่อนเส้นกำหนดระยะชั้นลงตามที่ต้องการ เนื่องจากลูกเหล็กต้องใช้เวลาระยะหนึ่งกว่าจะมีอัตราใกล้เคียงกับความเร็วปลาย ดังนั้นเราต้องทำการสังเกตก่อนว่าที่ความลึกระดับใดที่อัตราเร็วของลูกเหล็กมีค่าคงที่ โดยทดลองปล่อยลูกเหล็กแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วว่ามันจะคงที่ ณ ตำแหน่งใด
4. วัดระยะระหว่างเส้น กำหนดระยะทั้งสอง เริ่มวัดจากจุดที่ความเร็วของลูกเหล็กมีอัตราเร็วคงที่จนไปถึงกันพอดี
5. เริ่มทำการทดลองโดยการปล่อยลูกเหล็ก
6. จับเวลาที่ลูกเหล็กเคลื่อนที่ผ่านจุดกำหนดระยะ จนไปถึงความเร็วสุดท้าย แล้วบันทึกผลลงในตาราง ให้ทำซ้ำอีกสองครั้ง

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ช่วงที่	เวลา (วินาที)			ความเร็ว $v = \frac{s}{t}$ (cm/s)			เฉลี่ย (cm/s)
		1 - 2	2 - 3	3 - 4	1 - 2	2 - 3	3 - 4	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. คำนวณหาอัตราเร็วปลายจากระยะทางที่ได้กำหนดไว้จากสมการ

$$V = \frac{s}{t}$$

8. คำนวณหาเวลาที่ลูกเหล็กเคลื่อนที่ผ่านเส้นกำหนดระยะ บนที่กผล
9. หาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสสารจากสมการ

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho' - \rho)}{9v}$$

10. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

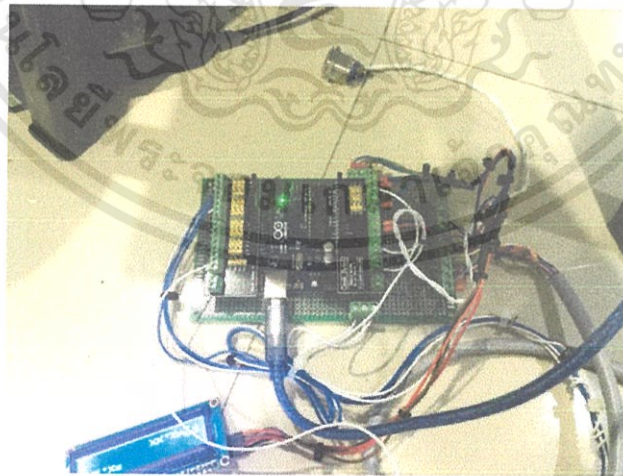
4.1 ผลการสร้างชุดทดลองความหนืด

4.1.1 ผลการสร้างเครื่องวัดความหนืด



รูปที่ 4.1 เครื่องวัดความหนืด

4.1.2 ผลการสร้างเครื่องจับเวลาอัตโนมัติ



รูปที่ 4.2 ชุดจับเวลาอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการวัดความหนืด

4.2.1 ตารางผลการทดลองการวัดความหนืด

มวลลูกเหล็ก 16.3 กรัม

เส้นผ่านศูนย์กลางลูกเหล็ก 1.69 เซนติเมตร

ระยะทาง 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองวัดค่าความหนืด

ครั้งที่	ช่วงที่	เวลา (วินาที)			ความเร็ว $v = \frac{s}{t}$ (cm/s)			เฉลี่ย (cm/s)
		1 - 2	2 - 3	3 - 4	1 - 2	2 - 3	3 - 4	
1		2.40	2.24	2.47	6.25	6.70	6.07	6.19
2		2.47	2.33	2.47	6.07	6.44	6.07	6.58
3		2.20	2.23	2.42	6.82	6.73	6.20	6.34
4		2.38	2.26	2.44	6.30	6.64	6.15	6.36
5		2.56	2.27	2.45	5.86	6.61	6.12	6.20
6		2.48	2.26	2.47	6.05	6.64	6.07	6.25
7		2.55	2.30	2.50	5.88	6.52	6.00	6.13
8		2.22	2.20	2.42	6.76	6.82	6.20	6.59
9		2.36	2.24	2.44	6.36	6.70	6.15	6.40
10		2.55	2.30	2.48	5.88	6.52	6.05	6.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการคำนวณหาค่าความหนืด

กำหนดให้ η กลีเซอริน (ทฤษฎี) = 12.81 Pa·s

รัศมีลูกเหล็ก 0.845 เซนติเมตร

ρ กลีเซอริน = 1.26 g/cm³

$$\begin{aligned}\rho' \text{ ลูกเหล็ก} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{16.3\text{g}}{\frac{4}{3}\pi(0.845)^3} \\ &= 6.45\text{g/cm}^3\end{aligned}$$

หาค่า η จากสูตร $\eta = \frac{2r^2g(\rho' - \rho)}{9v}$

$$\begin{aligned}&= \frac{2(0.845)^2(981)(6.45 - 1.26)}{9(6.34)} \\ &= 12.74 \text{ Pa}\cdot\text{s}\end{aligned}$$

% ความคลาดเคลื่อน = $\frac{12.81 - 12.74}{12.81} \times 100 = 0.54\%$

เงื่อนไข ความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน 99.5 %

อุณหภูมิขณะทำการทดลอง 20°C

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอรินที่ทำการทดลองใกล้เคียงกับในทฤษฎี ซึ่งในทฤษฎีอ้างอิงจาก Segur และ Oberstar จากหนังสือ Physical Properties Of Glycerine And Its Solutions ที่อุณหภูมิ 20°C และความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินอยู่ที่ 99.5% มีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอริน เท่ากับ 12.81 Pa·s ซึ่งในการทดลองพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอรินที่แม่นยำที่สุด อยู่ที่ 12.74 Pa·s โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.54 % และ ค่าที่ค่อนข้างแม่นยำน้อยที่สุดในการทดลอง อยู่ที่ 12.25 Pa·s โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 4.37 % และ เราได้ทำการหาค่าเฉลี่ยทั้ง 10 ครั้ง โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอรินเฉลี่ย อยู่ที่ 14.21 ± 4.49 Pa·s จากการทดลองพบว่า ชุดทดลองความหนืดโดยใช้กลีเซอรินเป็นสสารสามารถใช้งานได้จริงเพราะเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน ± 5 %

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดลอง

ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์ (Pa·s)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	12.74	0.54 %
2	13.05	1.87 %
3	12.27	4.21 %
4	12.70	0.85 %
5	13.03	1.71 %
6	12.92	0.85 %
7	13.17	2.81 %
8	12.25	4.37 %
9	12.62	1.48 %
10	13.13	2.49 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควร Calibrate ค่าของแสงทุกครั้งก่อนใช้งาน
2. ควรตั้ง Censor ให้ลำแสงตรงกับ LDR เพื่อให้ได้เวลาที่แม่นยำ
3. ควรใช้อุปกรณ์อย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการชำรุดของชุดทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- (1) วิกิพีเดีย.ความหนืด.(2556) ที่มาจากเว็บไซต์ : <https://th.wikipedia.org/wiki/ความหนืด>
- (2) ความหนืด.(2558) ที่มาจากเว็บไซต์ :
http://www.teacher.ssru.ac.th/reudee_ni/file.php/1/Book-CeramicTest/physic
- (3) การทดลองเรื่องการวัดความหนืด.(2558) ที่มาจากเว็บไซต์ :
http://science.sut.ac.th/physics/web_complete/viscosity/viscosity.htm
- (4) SEGUR, J.B., and OBESTAR, HELEN, Ind. & Eng. Chem., 43, 2117-2120 (1951)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้