

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**เครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนที่ภายใต้แรงหนืด**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Viscous - Motion Analyzer



Miss. Chalinee Tobadee

Miss. Narintipa Puntuna

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor  
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

เครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนที่ภายใต้แรงหนืด

นักศึกษา

นางสาวชาลินี โทบดี

นางสาวนรินทิกา พันธูนา

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร. บัณฑิต วัฒนงาม กรรมการ อ. ทศเกียรติ ทิววงศ์ กรรมการ อ. กางปัญญา สุวรรณสุข กรรมการที่ปรึกษา รศ. วิษณุ เพชรภา	

วิษณุ

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

เครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนที่ภายใต้แรงหนืด

นักศึกษา

นางสาวชาลินี โตบดี

นางสาวนรินทิภา พันธูนา

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2549

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.วิญญู เพชรภา

## บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ จัดทำขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการสร้างชุดอุปกรณ์เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับารเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงและแรงหนืด เครื่องมือนี้ประกอบด้วยชุดนาฬิกาจับเวลา 5 ตัว ใช้ตัวอินฟาเรดเพื่อส่งและรับสัญญาณ และสามารถปรับตำแหน่งระยะทางได้ วัตถุจะถูกปล่อยลงในหลอดทดลองใสที่บรรจุของเหลวที่มีความหนืด เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงและแรงหนืด เวลาที่ได้ในแต่ละช่วงจะถูกวัดและนำมาเขียนกราฟ ค่าต่างๆ ที่มีผลกับการเคลื่อนที่ เช่น ชนิดของของเหลว ขนาดของวัตถุที่เคลื่อนที่ และอุณหภูมิของของเหลวที่เปลี่ยนไป จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อหาค่าความหนืดของของเหลวชนิดนั้นและเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title**                      Viscous – Motion Analyzer

**Name**    Miss. Chalinee Tobadee  
     Miss. Narintipa Puntuna

**Department**                                      Applied Physics Faculty of Science

**Program**    Applied Physics – Science and Industry Instrumentation

**Academic Year**                                      2006

**Special Project Advisor**                      Assoc.Prof. Wisanu Pecharapa

### Abstract

The purpose of this special project is to develop an apparatus for measuring the relevant parameters related to the motion of object under gravity and viscous force. This apparatus includes five start-stop photogate-watch units. Infrared diodes and infrared detectors have been used as transmitter and receiver, respectively. These units were positioned at designated distance. An object was submersed into the viscous liquid in transparent cylindrical tube and forced to move under gravitational and viscous force. The time interval of each distance was measured and plotted versus the distance between the photogates. Important parameters affected the motion such as types of liquid, size of moving object and temperature, were investigated. With theoretical calculation, the viscosity of the liquid was extracted and compared to the reference.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากความอุปการะของบุคคลหลายๆฝ่าย ข้าพเจ้าจึงอยาก  
ขอบคุณทุกท่านเหล่านี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

บิดา - มารดา	ผู้ให้กำเนิด อุปการะเลี้ยงดู อยู่เคียงข้างและคอยให้กำลังใจ ข้าพเจ้าเสมอมา
รศ. วิษณุ เพชรภา อาจารย์ทุกๆท่าน	ผู้ให้โอกาส ให้คำปรึกษา เหน็ดเหนื่อย และ คอยช่วยเหลือทุกอย่าง ที่คอยสั่งสอนและถ่ายทอดวิชาความรู้ให้มาตลอด
บริษัท PR. สถาปัตย์ จำกัด	ผู้เอื้อเพื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
พี่ๆทุกคน	ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือ
เพื่อนๆรุ่น 22	ที่คอยเป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือตลอดมา

นางสาวชาลินี โทบดี  
นางสาวรินธิกา พันธนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การเคลื่อนที่ภายใต้แรงต้าน	3
2.1.1 แรงต้านในรูปของ $F = -kv$	4
2.1.2 การตกของวัตถุภายใต้แรงหนืด $F = -kv$	6
2.2 อุปกรณ์ในการรับและส่งสัญญาณอินฟราเรด	9
2.2.1 ตัวรับ – ส่งสัญญาณอินฟราเรด	9
2.2.2 คุณสมบัติของอินฟราเรด	11
2.2.3 ข้อดีของอินฟราเรด	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ โครงการพิเศษ	
3.1 การออกแบบชุดวัดการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลว	12
3.1.2 วงจรรับ-ส่ง สัญญาณ	13
3.1.3 วงจรจับเวลา	14
3.2 การทดลอง	16
3.2.1 การทดสอบระบบ	16
3.2.2 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลวชนิดต่าง ๆ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.3 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดต่าง ๆ ในของเหลว	18
3.2.4 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลวเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ชุดอุปกรณ์	19
4.2 การทำงานของระบบ	21
4.3 ผลการทดลอง	22
4.3.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในของเหลวชนิดต่างๆ	22
4.3.1.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำเปล่า	22
4.3.1.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายใน น้ำยาล้างจาน	25
4.3.1.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	27
4.3.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน	30
4.3.2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 30 °C	31
4.3.2.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 40 °C	33
4.3.2.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °C	35
4.3.2.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 70 °C	37
4.3.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดต่างๆ ภายในน้ำมันพืช	40
4.3.3.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	40
4.3.3.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 15.36 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	43
4.3.3.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 12.72 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ( ต่อ )

หน้า

### บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

49

5.2 ปัญหาที่พบ

49

5.3 ข้อเสนอแนะ

49

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำเปล่า	22
ตารางที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำยาล้างจาน	25
ตารางที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำ มันพืช	27
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความหนืดในของเหลวชนิดต่างกัน	29
ตารางที่ 4.5 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ $30^{\circ}\text{C}$ , $40^{\circ}\text{C}$ , $60^{\circ}\text{C}$ และ $70^{\circ}\text{C}$	30
ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน	39
ตารางที่ 4.7 เวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 19.07 มิลลิเมตรในน้ำมันพืช	40
ตารางที่ 4.8 เวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 15.36 มิลลิเมตรในน้ำมันพืช	43
ตารางที่ 4.9 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 12.72 มิลลิเมตรในน้ำมันพืช	46
ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของวัตถุ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงค่าความเร็วและการกระจัดของอนุภาคภายใต้แรง $F = -kv$	5
รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางแรงที่กระทำต่อวัตถุในการเคลื่อนที่ในของเหลว	6
รูปที่ 2.3 กราฟแนวโน้มในการเคลื่อนที่ในของเหลวที่มีความหนืด	9
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์	9
รูปที่ 2.5 ตัวส่งสัญญาณอินฟราเรด	10
รูปที่ 2.6 ตัวรับสัญญาณอินฟราเรด	10
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบชุดอุปกรณ์	12
รูปที่ 3.2 วงจรรับ – ส่งสัญญาณอินฟราเรด	13
รูปที่ 3.3 วงจรจับเวลา	14
รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์	19
รูปที่ 4.2 ชุดรับ – ส่ง สัญญาณอินฟราเรด	20
รูปที่ 4.3 ชุดนาฬิกาจับเวลา	20
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำเปล่า	23
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อหาค่าความหนืดของน้ำเปล่า	23
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำยาล้างจาน	25
รูปที่ 4.7 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อหาค่าความหนืดของน้ำยาล้างจาน	26
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	27
รูปที่ 4.9 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืช	28
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C	31
รูปที่ 4.11 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 °C	31
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ 40 °C	33
รูปที่ 4.13 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 40 °C	33

## สารบัญรูปภาพ( ต่อ )

หน้า

รูปที่ 4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ 60 °C	35
รูปที่ 4.15	กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 60°C	35
รูปที่ 4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C	37
รูปที่ 4.17	กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 60°C	37
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	39
รูปที่ 4.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	41
รูปที่ 4.20	กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 19.07 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 4.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.36 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	44
รูปที่ 4.22	กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 15.36 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.72 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช	47
รูปที่ 4.24	กราฟการหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 12.72 มิลลิเมตร	47

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษเรื่องนี้ได้นำเทคนิคทางแสงเพื่อนำไปวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของของเหลวชนิดนั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความหนืดของของเหลว แต่ละชนิดโดยคาดว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนและงานทางด้าน อุตสาหกรรม โดยใช้ความรู้ทางด้านฟิสิกส์และเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนที่ภายใต้แรงหนืด โดยใช้เทคนิคทางแสงในการวิเคราะห์

1.2.2 เพื่อศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1.2.3 เพื่อนำหลักการทางแสงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงหนืด

1.3.2 ออกแบบชุดทดลองที่สามารถวิเคราะห์การตกภายใต้แรงหนืด

1.3.3 ทำการทดลองการตกของวัตถุภายใต้แรงหนืด

1.3.4 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

1.3.5 สรุปผลการทดลอง

- 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน**
- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงหนืด
- 1.4.2 ศึกษาวงจร Photo gate
- 1.4.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมในการเขียนกราฟ
- 1.4.4 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปหาผลที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.5 สรุปและรายงานผล
- 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน**
- 1.5.1 ศึกษาขอบเขตและข้อมูล มิถุนายน 2549
- 1.5.2 ทำการทดลองเก็บข้อมูล มิถุนายน 2549 – ธันวาคม 2549
- 1.5.3 ตรวจสอบความถูกต้อง มกราคม 2550 – กุมภาพันธ์ 2550
- 1.5.4 จัดทำเอกสารประกอบ มิถุนายน 2549 – มีนาคม 2550
- 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย**
- 1.6.1 สามารถสร้างเครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนที่ภายใต้แรงหนืดได้
- 1.6.2 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.3 ได้แนวทางในการสร้างเครื่องมืออย่างง่าย ต้นทุนต่ำ ได้คุณภาพ ในระดับยอมรับได้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การเคลื่อนที่ภายใต้แรงต้าน

ในธรรมชาติแรงที่กระทำต่อวัตถุอาจจะเปลี่ยนตามความเร็วของวัตถุได้ ตัวอย่างของแรงที่ขึ้นกับความเร็วเช่น แรงต้านอากาศ (Air resistant force) แรงหนืด (Viscous force) การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงเหล่านี้ โดยใช้กฎของนิวตันสำหรับแรงลักษณะนี้สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}\vec{F}(v) &= m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{d\vec{x}} \frac{d\vec{x}}{dt} \\ \vec{F}(v) &= m \vec{v} \frac{d\vec{v}}{d\vec{x}}\end{aligned}\quad (2.1)$$

เนื่องจากในบทนี้เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ ดังนั้นเพื่อความง่ายตัวแปรที่เป็นเวกเตอร์จะแทนด้วยสัญลักษณ์เชิงสเกลาร์ ดังนั้นสมการ (2.1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F(v) = \frac{mv \, dv}{dx} \quad (2.2)$$

ถ้าเราทราบฟังก์ชันของ  $F(v)$  ก็จะสามารถแก้ปัญหาเพื่อหาค่า ความเร่ง ความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาคได้ จากสมการกฎของนิวตัน จะได้

$$dt = \frac{m \, dv}{F(v)}$$

ดังนั้น

$$t = m \int \frac{dv}{F(v)} \quad (2.3)$$

เมื่อแก้สมการ (2.2) ได้ค่าความเร็วแล้ว จะสามารถหาค่าตำแหน่งของอนุภาคได้จากสมการ (2.3)

$$x = x_{(t)} = \int v_{(t)} dt \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ อาจหาค่า  $X_0$  ได้จากการอินทิเกรตสมการ (2.2)

$$F(v) = mv \frac{dv}{dx}$$

ดังนั้น 
$$x = m \int \frac{v dv}{F(v)} \quad (2.5)$$

### 2.1.1 แรงต้านในรูปของ $F = -kv$

เมื่อแรงต้านที่ขึ้นกับความเร็ว อยู่ในรูปของ  $F = -kv$  เช่นแรงหนืดหรือแรงต้านอากาศในกรณีที่ความเร็วมีค่าไม่สูงมาก เครื่องหมายลบบอกถึงทิศทางของ  $F$  ที่ตรงข้ามกับ  $v$  และ  $k$  เป็นค่าคงตัวใดๆ

สมการ (2.3) จะเขียนได้เป็น

$$t = \int_0^t dt = -\frac{m}{k} \int_{v_0}^v \frac{dv}{v}$$

$$t = -\frac{m}{k} \ln\left(\frac{v}{v_0}\right)$$

จะได้ผลเฉลยของค่าความเร็วของอนุภาคคือ 
$$v = v_0 e^{-\frac{k}{m}t} \quad (2.6)$$

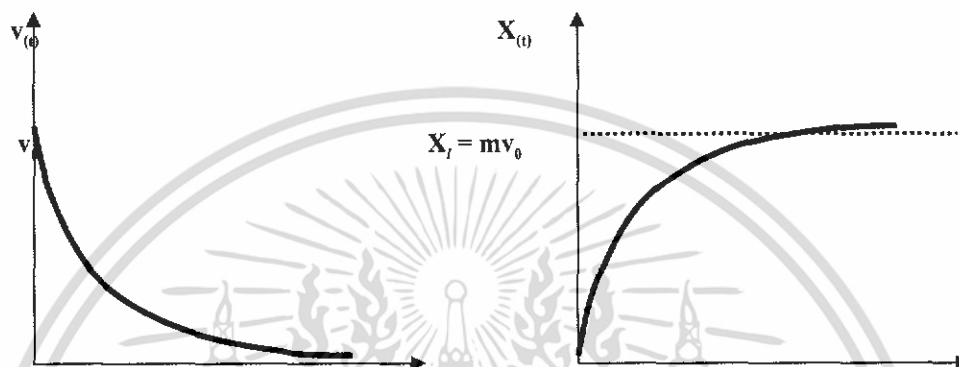
โดยที่ เงื่อนไขเริ่มต้น ( $t=0$ )  $v = v_0$  และ  $x = 0$

ค่าการกระจัดของอนุภาคได้จาก 
$$x_{(t)} = \int_0^t v dt = \int_0^t v_0 e^{-\frac{k}{m}t} dt$$

$$x_{(t)} = \frac{m}{k} v_0 \left[ 1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right] \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข้อสังเกต** เมื่อเวลามีค่ามาก กล่าวคือ  $t \rightarrow \infty$  พบว่า ค่าความเร็วจะเข้าสู่ศูนย์ ( $v \rightarrow 0$ ) และค่าการกระจัดจะเข้าสู่ค่าจำกัดค่าหนึ่ง  $x \rightarrow \frac{mv_0}{k} = x_r$  เรียกว่า **“limiting distance”**



รูปที่ 2.1 แสดงค่าความเร็วและการกระจัดของอนุภาคภายใต้แรง  $F = -kv$

เมื่อใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor Series) ในการกระจายฟังก์ชัน  $e^{-x}$

$$e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots \quad \text{กับสมการ (2.6) และ (2.7)}$$

พบว่า 
$$v_{(t)} = v_0 - \frac{kv_0}{m} t + \dots = v_0 + \frac{F_0}{m} t + \dots$$

$$v_{(t)} = v_0 + a_0 t + \dots$$

เมื่อพิจารณากรณีที่มีเวลาน้อย เราสามารถตัดเทอมในลำดับสูงทิ้งได้ ซึ่งจะทำให้สมการค่าความเร็วเขียนเป็น

$$v_{(t)} = v_0 + a_0 t \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.8) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาใกล้เคียงขณะเริ่มเคลื่อนที่นั้น อนุภาคเคลื่อนที่ภายใต้แรงที่มีลักษณะคงที่ ทำนองเดียวกันสำหรับค่าของ  $x_0$  เมื่อทำการกระจายโดยใช้ออนุกรมเทย์เลอร์และตัดเทอมของกำลังสูงทิ้ง พบว่า

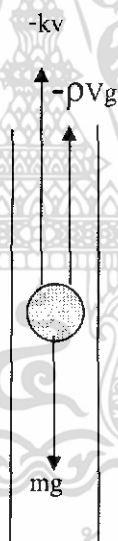
$$\text{และ} \quad x = v_0 t - \frac{1}{2} \frac{kv_0}{m} t^2 + \dots = v_0 t + \frac{1}{2} \frac{F_0}{m} t^2 + \dots$$

$$x_{(t)} = v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2 \quad (2.9)$$

สมการ (2.9) แสดงถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้แรงคงที่เช่นกัน

### 2.1.2 การตกของวัตถุภายใต้แรงหนืด $F = -kv$

พิจารณาวัตถุหรืออนุภาคที่ตกอย่างอิสระภายใต้สนามความโน้มถ่วงของโลก และมีแรงต้านอากาศที่มีขนาดแปรผันตรงกับความเร็ว แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่าดังสมการ (2.10)



รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางแรงที่กระทำต่อวัตถุในการเคลื่อนที่ในของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum \vec{F} = mg - F_b - F_\eta = m \frac{dv}{dt} \tag{2.10}$$

$$mg - \rho_1 V g - kv = m \frac{dv}{dt}$$

ให้  $mg - \rho_1 V g = C$

จะได้

$$dt \left( \frac{C - kv}{m} \right) = dv \tag{2.11}$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ (2.11)

$$\int_0^v \frac{dv}{\left( \frac{C}{m} - \frac{kv}{m} \right)} = \int_0^t dt \tag{2.12}$$

ให้  $\frac{C}{m} = a$

จะได้

$$\frac{-m}{k} \int_0^v \frac{d \left( a - \frac{kv}{m} \right)}{\left( a - \frac{kv}{m} \right)} = t \tag{2.13}$$

$$\ln \left( \frac{a - \frac{kv}{m}}{a} \right) = -\frac{kt}{m}$$

$$a - \frac{kv}{m} = ae^{-\frac{kt}{m}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{m}{k} \left[ a - ae^{\frac{-kt}{m}} \right]$$

$$v = \frac{am}{k} \left[ 1 - e^{\frac{-kt}{m}} \right] \quad (2.14)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ (2.14)  $\int_0^x dt = \int_0^t v dt$  (2.15)

จะได้ 
$$x = \frac{am}{k} \left[ \int_0^t dt - \int_0^t e^{\frac{-kt}{m}} dt \right]$$

$$= \frac{ma}{k} \left[ t + \frac{m}{k} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right] \right]$$

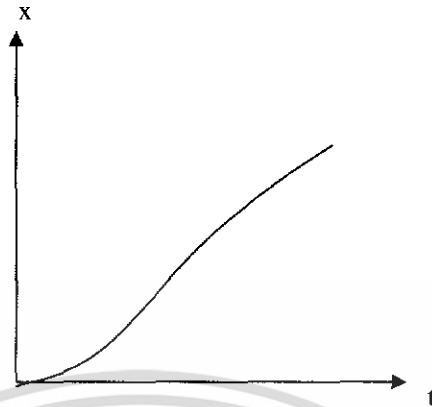
$$= \frac{ma}{k} t + \frac{m^2 a}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right] \quad (2.16)$$

$$a = \frac{C}{m} = \frac{mg - \rho V g}{m} \quad (2.17)$$

แทนตัวแปรทั้งหมดลงในสมการ (2.16) จะได้

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right] \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



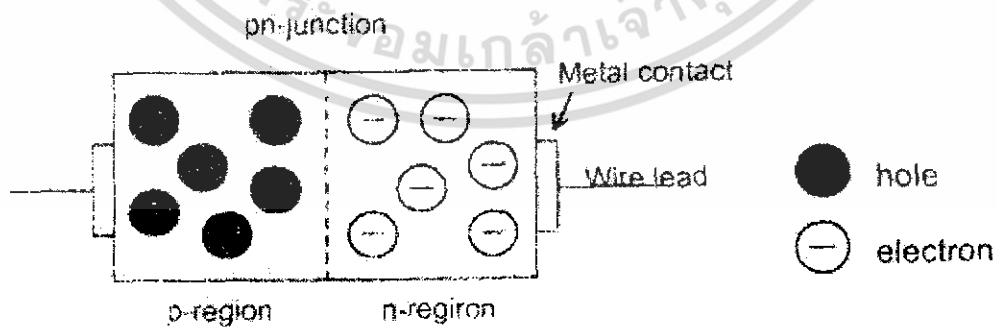
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงแนวโน้มในการเคลื่อนที่ในของเหลวที่มีความหนืด

## 2.2 อุปกรณ์ในการรับและส่งสัญญาณ

ในงานวิจัยนี้ ได้นำ หลอดเปล่งแสงอินฟราเรด มาใช้สำหรับเป็นตัวรับและส่งสัญญาณ เราจะต้องต่อแบบกลับ (Reversed Bias) เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบที่ตัวรับ ตัวรับจะมีค่าความต้านทานเป็นอนันต์ จึงไม่สามารถนำกระแสได้ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบ ค่าความต้านทานจะลดลง จนสามารถนำกระแสได้ เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน

### 2.2.1 เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงอินฟราเรด

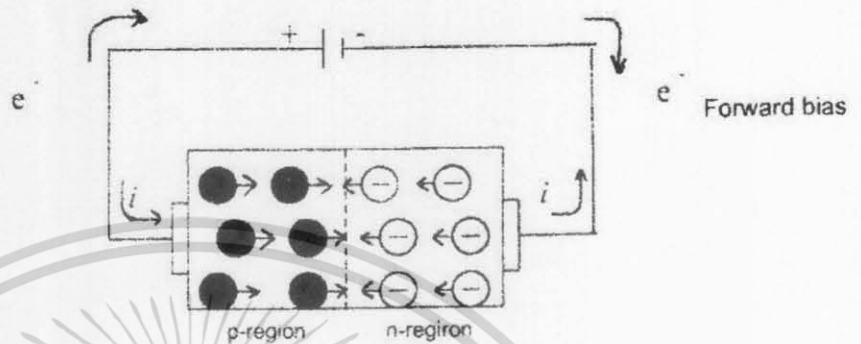
แสงอินฟราเรด คือแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าแสงสีแดงลงไป ดังนั้นจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตา ของมนุษย์ ซึ่งคุณสมบัตินี้เอง จึงทำให้ เซ็นเซอร์ชนิดที่ใช้แสงอินฟราเรด เป็นที่นิยมนำมาใช้กันมาก ซิลิกอน ไดโอดหรือโฟโตไดโอดทำจากซิลิกอนชิปซึ่งเป็นวัสดุกึ่งตัวนำ ประกอบด้วยรอยต่อพีเอ็น (pn-junction) โดยส่วน n-region มีอิเล็กตรอนซึ่งสามารถเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้ และส่วน p-region มีหลุมประจุบวกซึ่งอิสระในการเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของซิลิกอนไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

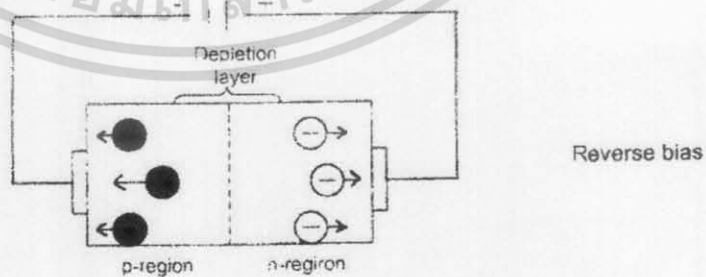
2.2.1.1 ตัวส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.5 ตัวส่งสัญญาณอินฟราเรด

รูปที่ 2.4 แสดงรอยต่อพีเอ็นในสภาวะนำไฟฟ้าโดยแหล่งไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวกต่อกับ p-region และด้านลบต่อกับ n-region อิเล็กตรอนที่มากเกินพอใน n-region และหลุมบวกลใน p-region เคลื่อนที่เข้าหารอยต่อแล้วผสมเข้ากัน ด้านลบนั้นให้อิเล็กตรอนตัวใหม่เข้าไปใน n-region ส่วนด้านบวกนั้นสกัดอิเล็กตรอนจาก p-region ทำให้เกิดการสร้างหลุมใหม่ที่อิสระในการเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อ เรียกสภาวะของไดโอดแบบนี้ว่า “forward biasing”

2.2.1.2 ตัวรับสัญญาณ



รูปที่ 2.6 ตัวรับสัญญาณอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงรอยต่อพีเอ็นในสภาวะ “reversed biasing” เป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง n-region กับ p-region กลับด้านกับสภาวะ forward biasing ทำให้ไอเล็กตรอนและหลุมเคลื่อนที่ไปทิศทางตรงกันข้ามกัน สภาวะแบบนี้ทั้งหลุมบวกและอิเล็กตรอนถูกดึงออกไปจากรอยต่อทำให้เกิดบริเวณที่การนำไฟฟ้ามีน้อยมากเกือบเป็นศูนย์ที่เรียกว่า “depletion layer” ไดโอดในสภาวะ reverse biasing นี้มีการนำไฟฟ้าเพียง  $10^{-6}$  ถึง  $10^{-8}$  เท่าของสภาวะ forward biasing

### 2.2.2 คุณสมบัติของอินฟราเรด

- เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในระหว่างแสงที่ตามองเห็น
- ลำแสงอินฟราเรดเดินทางเป็นเส้นตรง ไม่สามารถผ่านวัตถุทึบแสง และสามารถสะท้อนแสงในวัสดุผิวเรียบได้เหมือนกับแสงทั่วไป
- ใช้มากในการสื่อสารระยะใกล้ เช่น รีโมทคอนโทรลของเครื่องรับโทรทัศน์
- ปัจจุบันถูกพัฒนาใช้ในการสื่อสารไร้สาย สำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณ
- ใช้ในการสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะ 30-80 ฟุต หรือ 10-30m
- เป็นสื่อที่มีช่องสัญญาณกว้างพอประมาณในระดับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสายยูทีพี
- อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีช่องสื่อสารอินฟราเรด เรียกว่า IrDa (Infrared Data Association) สามารถส่งงานระยะใกล้ได้ประมาณ 1 – 5 เมตร
- เป็นระบบสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ จากระยะไกล โดยรังสีอินฟราเรดจะเป็นตัวนำ คำสั่งจากเครื่องควบคุมไปยังเครื่องรับ

### 2.2.3 ข้อดีของอินฟราเรด

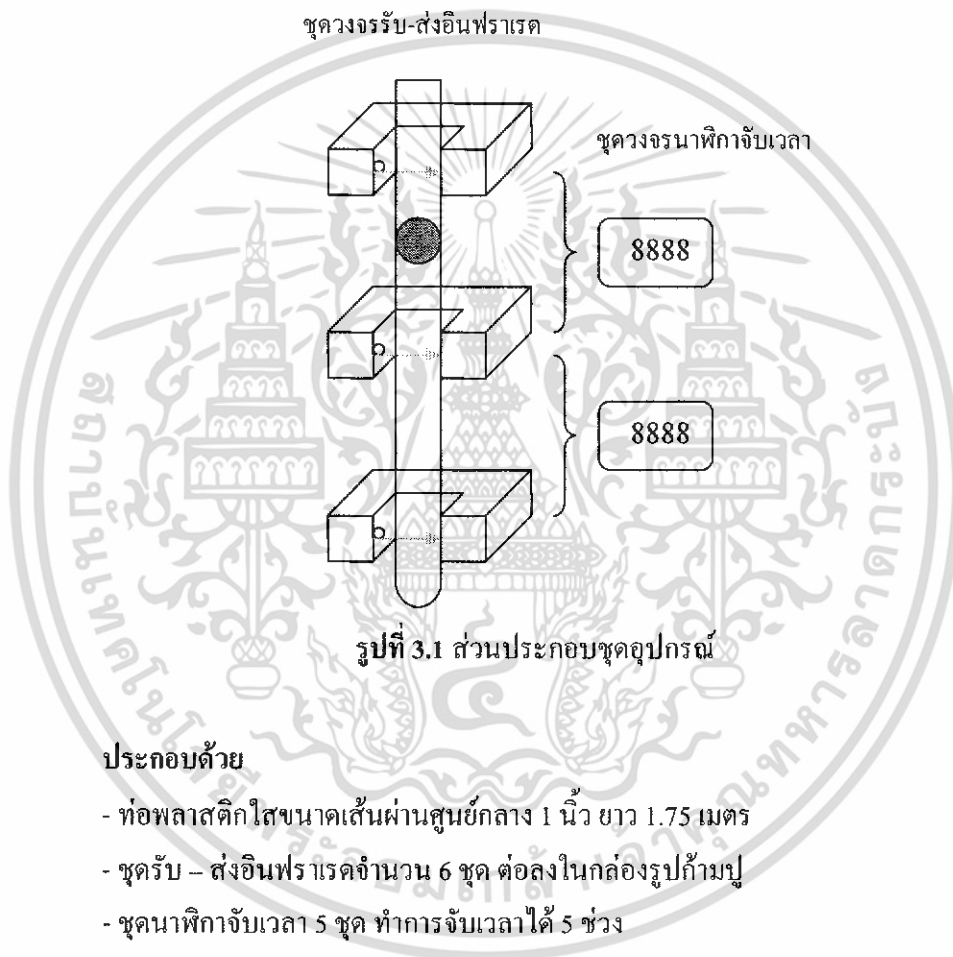
- คลื่นสั้น ทางเดินของแสงเป็นแนวตรง
- ราคาถูก
- ง่ายต่อการผลิต
- ปลอดภัยต่อการดักสัญญาณ
- ไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุ ทำให้สามารถติดตั้ง Infrared ในห้องทำงานติดกันได้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการ

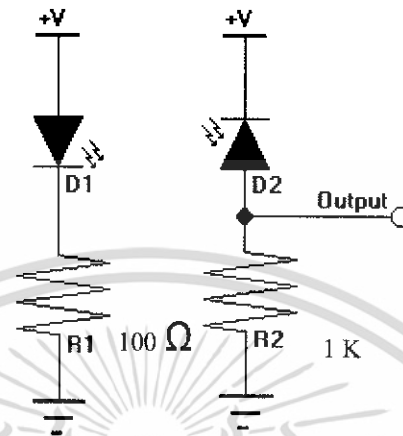
#### 3.1 การออกแบบชุดวัดการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลว

##### 3.1.1 ส่วนประกอบของชุดวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 วงจรรับ-ส่ง สัญญาณ



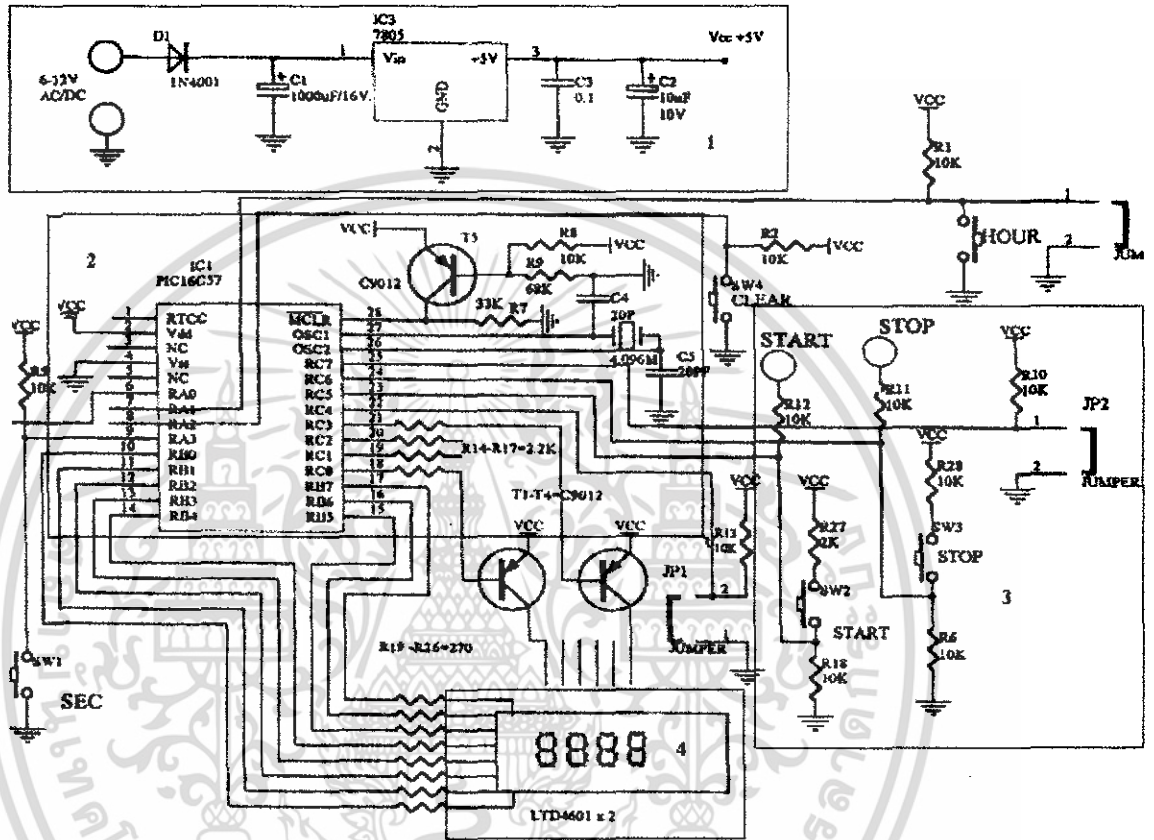
รูปที่ 3.2 วงจรรับ - ส่งสัญญาณอินฟราเรด

#### หลักการ

วงจรภาคส่ง จะประกอบไปด้วยหลอดเปล่งแสงอินฟราเรดตัวส่ง D1 ทำงานร่วมกับค่าความต้านทาน  $R1 = 100 \Omega$  ต่อแบบ Forward biasing ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้กับหลอดเปล่งแสงอินฟราเรดตัวส่ง ไม่ให้เสียหาย วงจรภาครับจะประกอบด้วยหลอดเปล่งแสงอินฟราเรด ตัวรับ D2 และค่าความต้านทาน  $R2 = 1 K$  การใช้งานหลอดเปล่งแสงอินฟราเรด ตัวรับ ให้นำกระแส เราจะต้องต่อแบบ Reversed biasing เมื่อแสงตกกระทบบริเวณ depletion layer โฟตอนจากแสงมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนและหลุมบวกในบริเวณ depletion layer จึงเกิดการนำไฟฟ้าและกระแสอีกครั้ง กระแสที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง

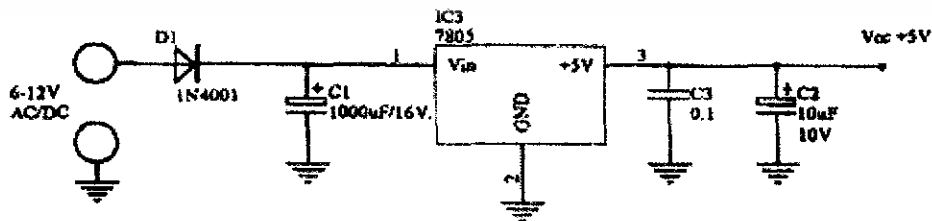
3.1.3 วงจรจับเวลา

แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามภาพ



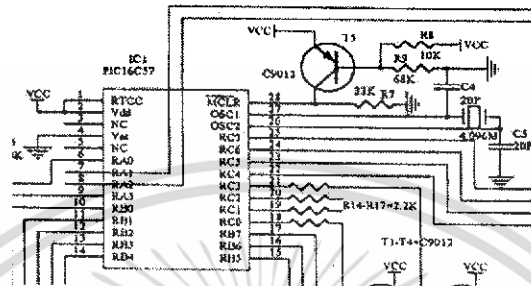
รูปที่ 3.3 วงจรจับเวลา

3.1.3.1 ส่วนของ Power Supply 5V



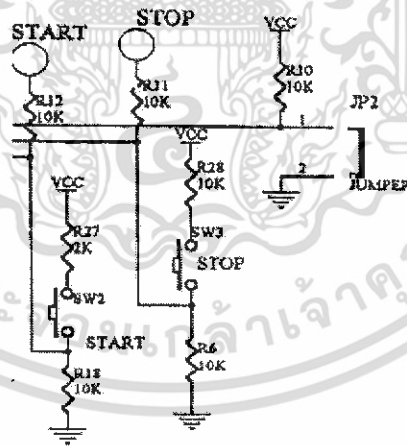
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 ส่วนของProcessing



เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของวงจร

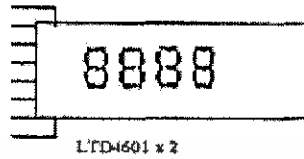
3.1.3.3 สวิตซ์



สวิตซ์ควบคุมการส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.1.3.4** หลอดแสดงผล 7 ส่วน (7-Segment)

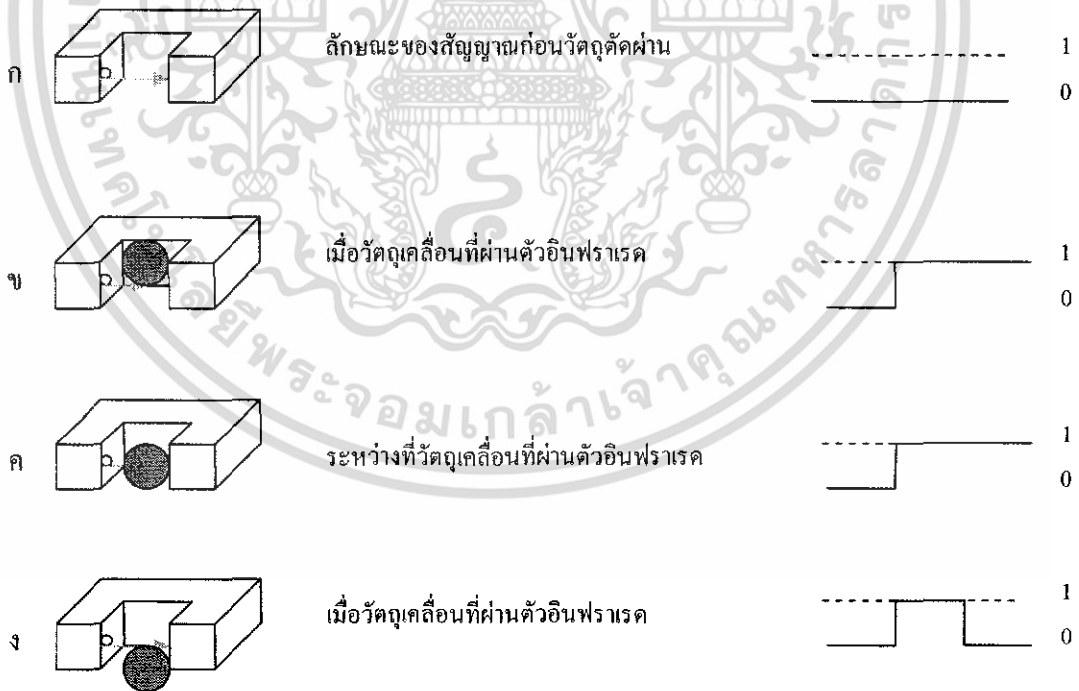


ส่วนแสดงผลซึ่งแสดงค่าเป็นตัวเลข 4 หลัก

**3.2** การทดลอง

**3.2.1** การทดสอบระบบ

3.2.1.1 ทดสอบวงจรรับ-ส่งสัญญาณ แต่ละชุด โดยนำวัตถุมาปิดตัวเซ็นเซอร์ไว้ ตรวจสอบว่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้โวลต์มิเตอร์ หรือ ออสซิลโลสโคปจับจะ ได้สัญญาณที่เป็นพัลส์ออกมาดังรูป

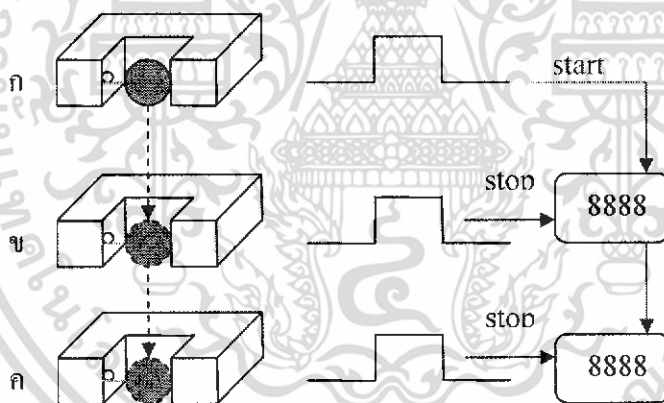


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- ก. ขณะที่ไม่มีวัตถุขวางแสงอินฟราเรดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะออกมาประมาณ 0.3 V แทนด้วยลอจิก 0 (low)
- ข. เมื่อปลายของวัตถุตัดขวางแสงอินฟราเรด ตัวรับแสงอินฟราเรดจะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 4V แทนด้วยลอจิก 1 (high)
- ค. ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านแสงอินฟราเรดแรงดันไฟฟ้ายังคงเป็น 4V ลอจิกจะเป็น 1 (high) อยู่ จนกระทั่งวัตถุผ่านไป
- ง. เมื่อวัตถุผ่านไป แสงจะทะลุผ่านไปยังตัวรับทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าประมาณ 0.3V ลอจิก 0 (low) สัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเป็นพัลส์เมื่อวัตถุตัดผ่านแต่ละที่

3.2.1.2 เมื่อชุดรับ-ส่งสัญญาณ ใช้งาน ได้ทุกชุดแล้ว นำวงจรแต่ละชุดมาประกอบกันแล้วทำการทดสอบอีกครั้งโดยการนำวัตถุเคลื่อนที่ผ่านหลอดทดลองให้ผ่านเซ็นเซอร์ทุกตัว



- ก. เมื่อวัตถุตัดผ่านชุดรับ-ส่งอินฟราเรดตัวแรก จะทำให้เกิดสัญญาณไปกระตุ้นนาฬิกาจับเวลาทุกตัวให้เริ่มนับเวลา
- ข. เมื่อวัตถุตัดผ่านชุดรับ-ส่งอินฟราเรดตัวที่สอง ตัวรับก็จะส่งสัญญาณไปกระตุ้นนาฬิกาจับเวลาตัวแรกให้หยุดนับเวลาและจะได้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงแรก
- ค. เมื่อวัตถุตัดผ่านชุดรับ-ส่งอินฟราเรดตัวที่สาม ตัวรับก็จะส่งสัญญาณไปกระตุ้นนาฬิกาจับเวลาตัวที่สองให้หยุดนับเวลาและจะได้เวลาการเคลื่อนที่ในช่วงที่สอง

### 3.2.2 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลวชนิดต่าง ๆ

นำวัตถุใส่ลงไปในหลอดพลาสติกที่บรรจุของเหลวไว้เพื่อดูเวลาในการเคลื่อนที่ แล้วนำเวลาที่ได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวมาวิเคราะห์ผล แล้วทำการเปลี่ยนชนิดของของเหลวในหลอดทดลอง เป็นชนิดอื่นๆ เช่น น้ำ น้ำมันพืช น้ำยาล้างจาน

### 3.2.3 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดต่าง ๆ ในของเหลว

ทำการเปลี่ยนชนิดของวัตถุที่ใส่ในหลอดพลาสติกให้มีขนาดที่แตกต่างกันไป โดยใช้ของเหลวชนิดเดิม สังเกตผลการทดลอง และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์

### 3.2.4 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลม ในของเหลวเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ

ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิของของเหลวให้มีค่าต่างกัน เช่น  $30^{\circ}\text{C}$  ,  $40^{\circ}\text{C}$  ,  $50^{\circ}\text{C}$  และ  $60^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยใช้ของเหลวชนิดเดียวกัน สังเกตผลการทดลอง และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์

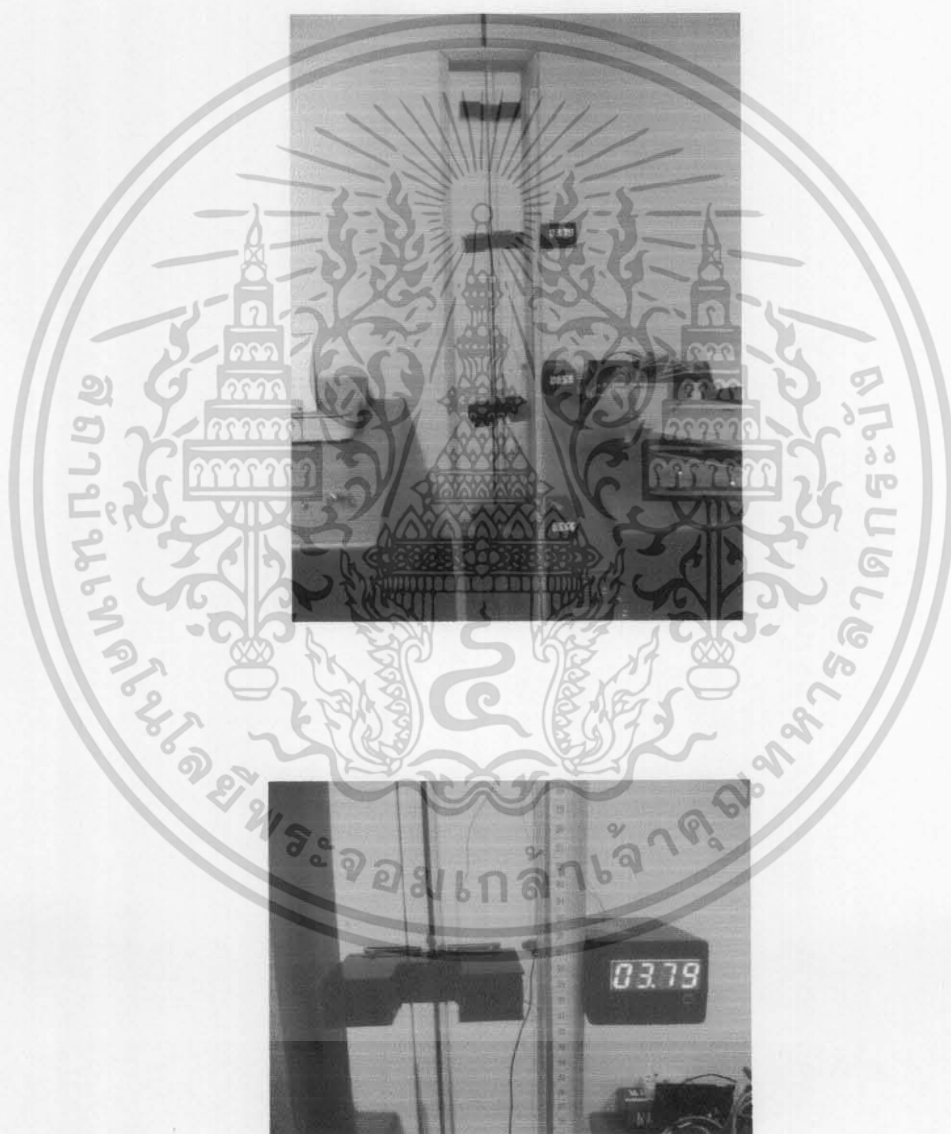


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ชุดอุปกรณ์

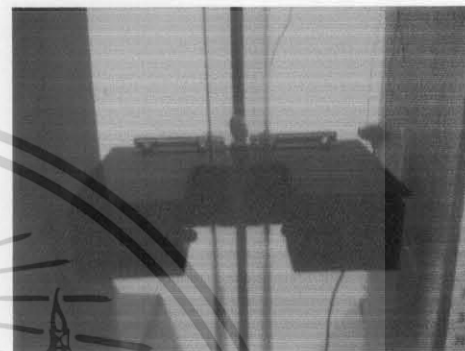


รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

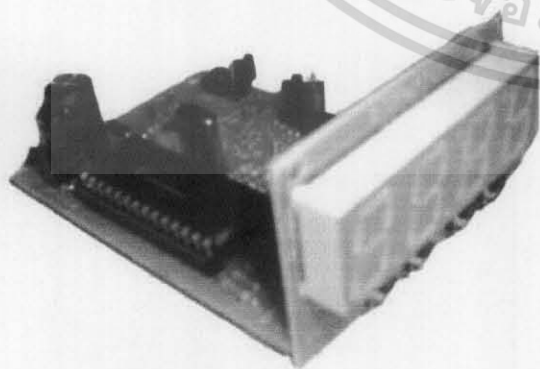
## ชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย

### 4.1.1 ชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรด



รูปที่ 4.2 ชุดรับ-ส่ง สัญญาณอินฟราเรด

### 4.1.2 ชุดนาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 4.3 ชุดนาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทำงานของระบบ

เมื่อปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่ภายในของเหลว ผ่านชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดชุดที่หนึ่ง ชุดนาฬิกาจับเวลาทุกตัวก็จะเริ่มนับเวลา จากนั้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดตัวต่อไป ระบบก็จะส่งสัญญาณให้นาฬิกาจับเวลาตัวที่หนึ่งหยุดนับ และเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดในช่วงต่อไป ชุดนาฬิกาจับเวลาในช่วงนั้นๆ ก็จะหยุดเวลา จะได้เวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุภายในของเหลวในแต่ละช่วง ไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลอง

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยที่ในส่วนที่ 1 จะทำการทดลองโดยเปลี่ยนชนิดของของเหลว ส่วนที่ 2 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอุณหภูมิของของเหลวและส่วนที่ 3 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของวัตถุทรงกลม

การทดลองในส่วนที่ 1 เมื่อนำวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ตกลงในของเหลวชนิดต่างๆซึ่งมีความสูงเป็นระยะ 1.75 เมตร และระยะห่างระหว่างชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดแต่ละชุดห่างกัน 25 เซนติเมตร โดยทำการทดลองจำนวน 3 ครั้งแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในของเหลวชนิดต่างๆ

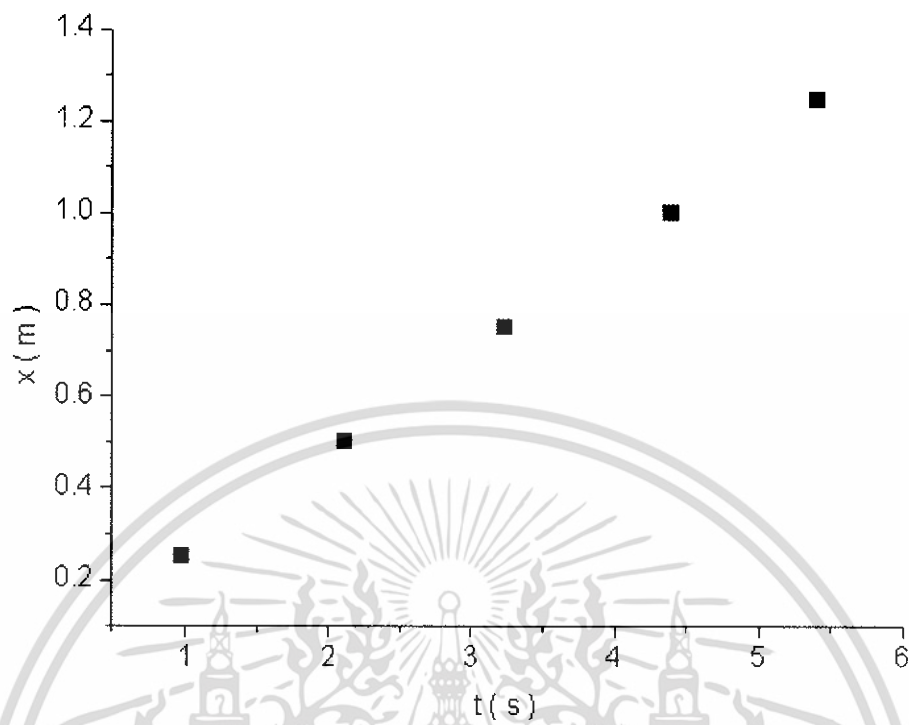
##### 4.3.1.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายใน น้ำเปล่า

ตารางที่ 4.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำเปล่า

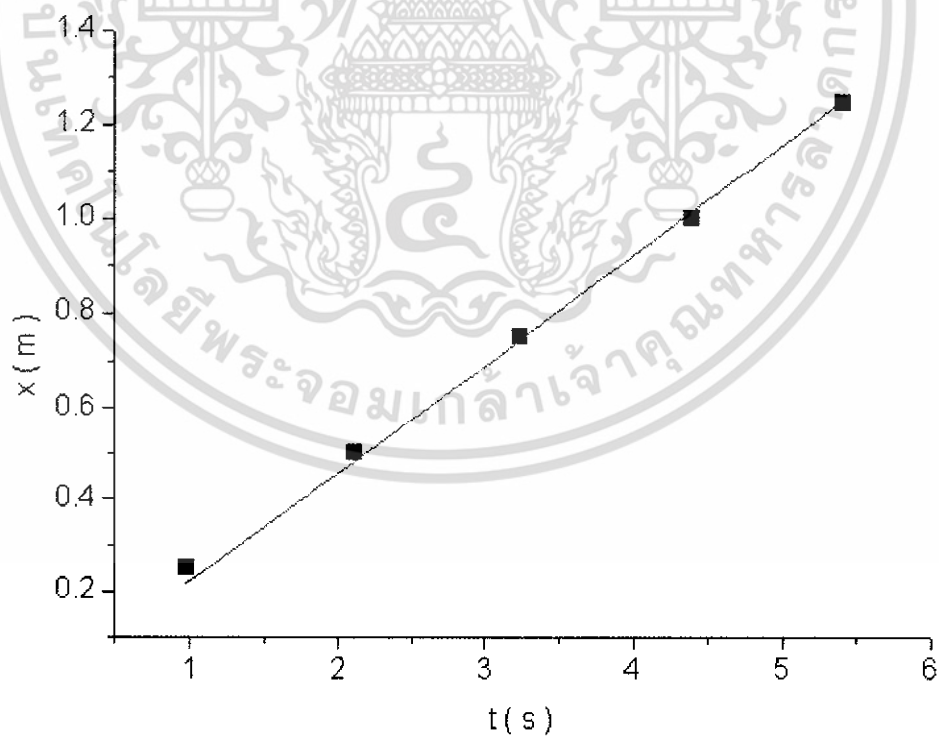
ระยะทาง (cm)	เวลา (วินาที)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
25	0.95	0.99	1.00	0.98
50	2.09	2.13	2.14	2.12
75	3.21	3.25	3.25	3.24
100	4.36	4.40	4.41	4.39
125	5.38	5.40	5.41	5.40

เมื่อนำเวลาเฉลี่ยมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน x เป็นเวลา และแกน y เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำเปล่า



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อหาค่าความหนืดของน้ำเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังกล่าวมาเขียนเพื่อหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.623 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำเปล่าจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.623}{0.179} \\ &= 3.466 \text{ mPas} \end{aligned}$$

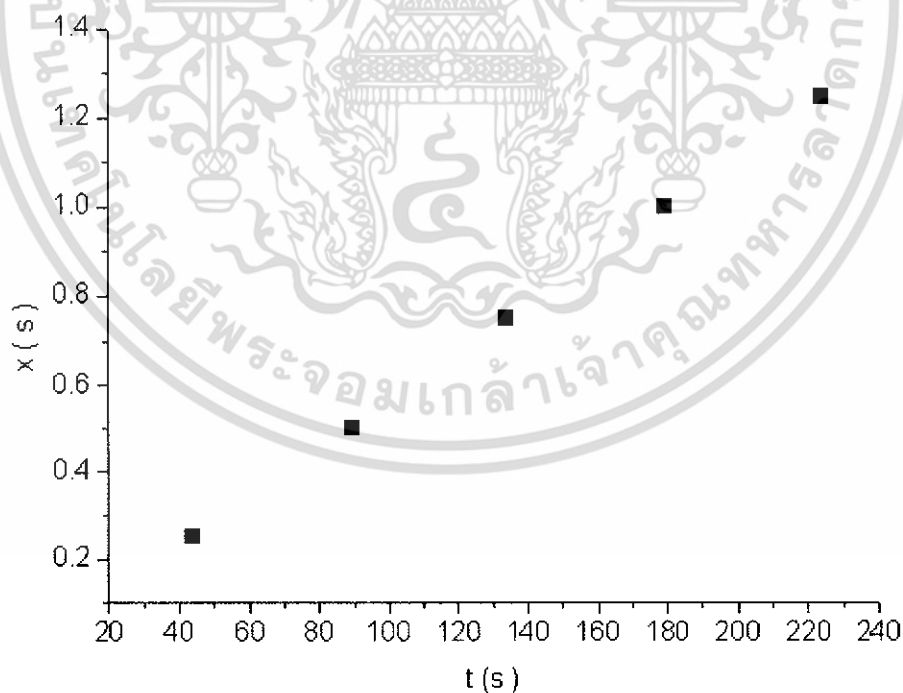
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายใน น้ำยาล้างจาน

ตารางที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำยาล้างจาน

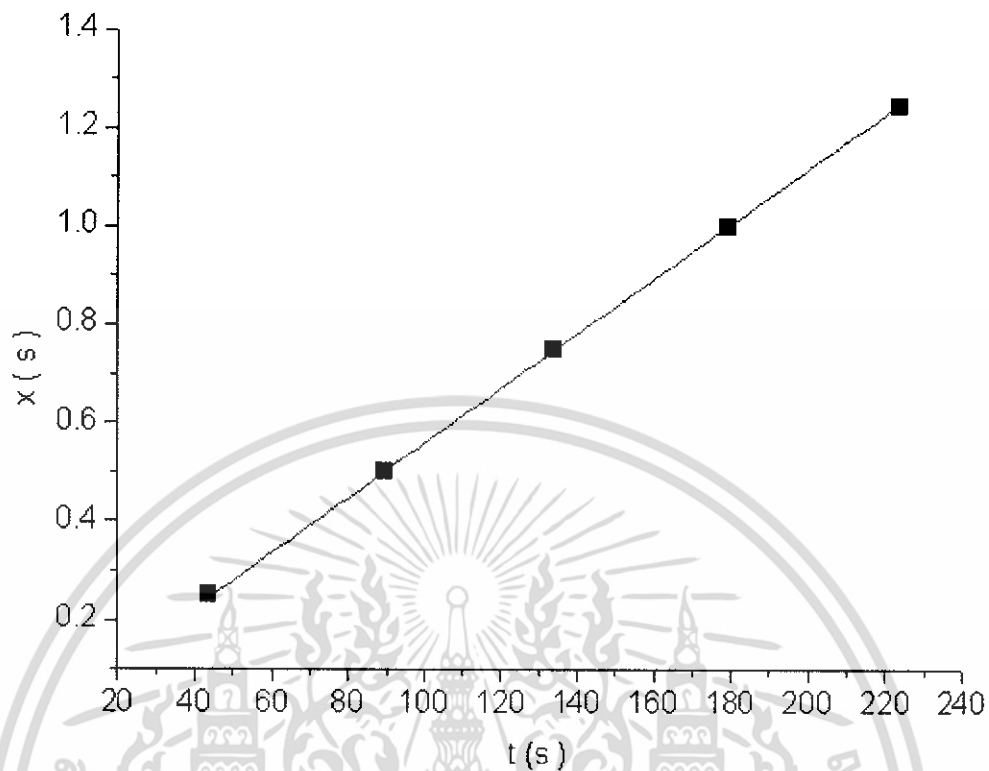
ระยะทาง(cm)	เวลา (วินาที)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	16.26	15.16	16.52	15.98
50	37.42	36.78	36.54	36.91
75	56.67	56.28	55.88	56.28
100	76.41	76.01	76.08	76.17
125	96.28	95.67	94.82	95.59

เมื่อนำเวลาเฉลี่ยมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน  $x$  เป็นเวลา และแกน  $y$  เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำยาล้างจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล เพื่อหาค่าความหนืดของน้ำยาล้างจาน

เมื่อนำกราฟดังกล่าวมาเขียนเพื่อหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 70.60 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำยาล้างจานจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{70.60}{0.179} \\ &= 393.00 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

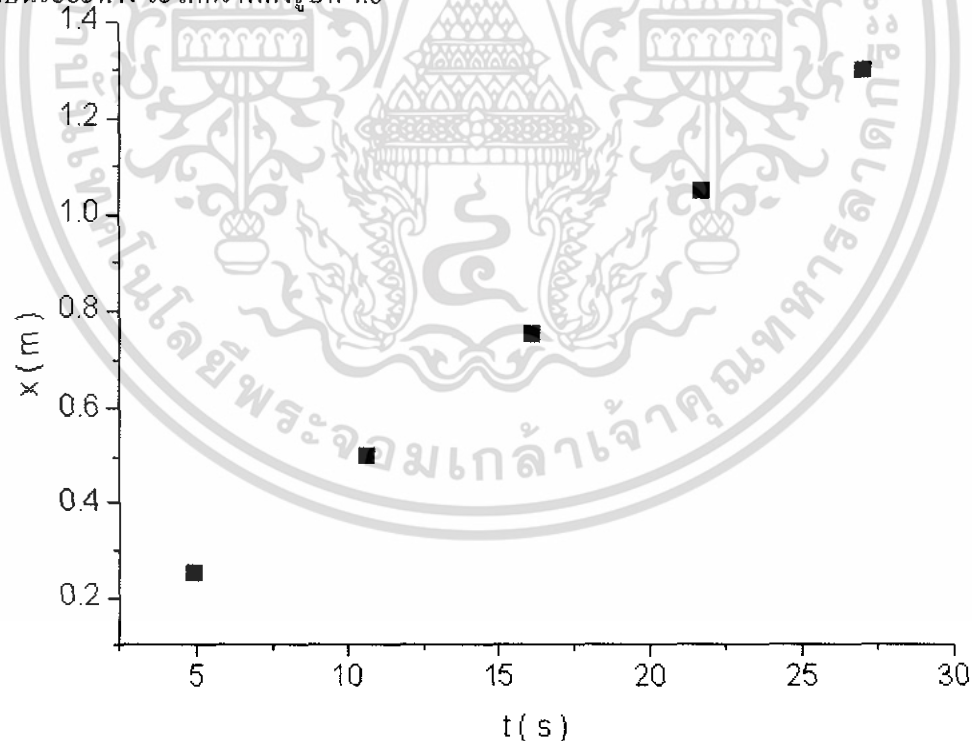
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช

ตารางที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช

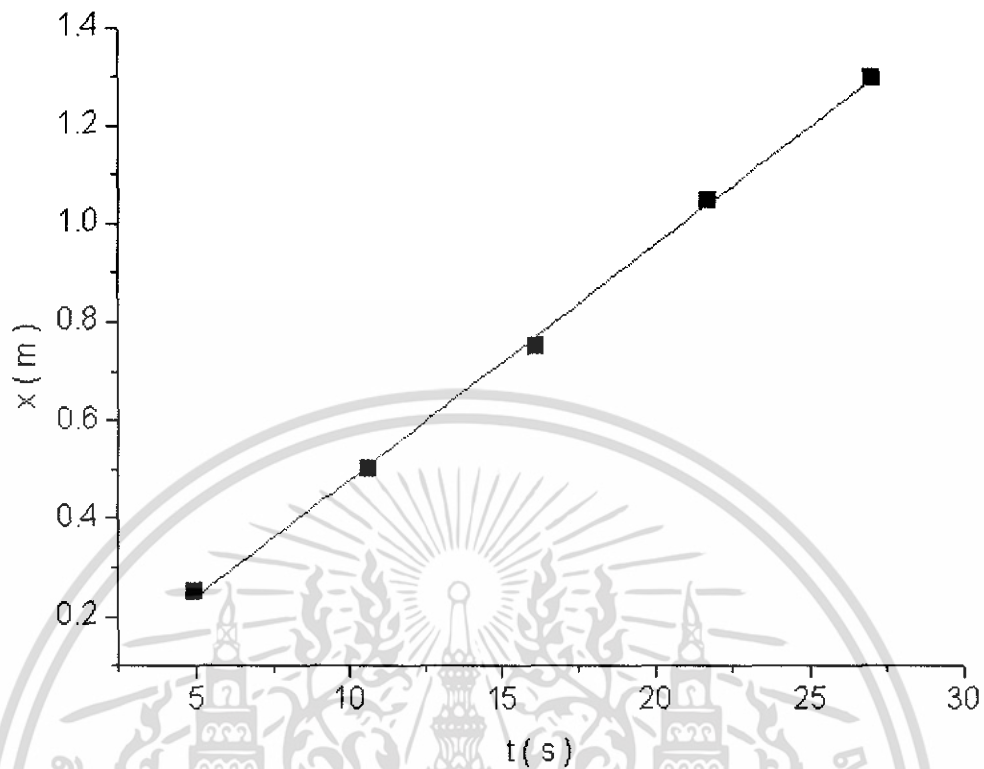
ระยะทาง (cm)	เวลา (วินาที)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	4.73	4.93	4.87	4.84
50	10.36	10.55	10.47	10.46
75	15.77	15.96	15.84	15.86
100	21.42	21.59	21.44	21.48
125	26.93	27.06	26.89	26.96

เมื่อนำเวลาเฉลี่ยมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน  $x$  เป็นเวลาและแกน  $y$  เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล เพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืช

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.9 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho V g}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 5.520 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความ

หนืด จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{5.520}{0.179} \\ &= 30.72 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความหนืดในของเหลวชนิดต่างกัน

ชนิดของเหลว	$\eta$ (mPa.s)	
	ชุดทดลองที่สร้างขึ้น	เครื่อง Viscous meter
น้ำ	3.43	5.5
น้ำมันพืช	30.73	47.5
น้ำยาล้างจาน	393	385

จากการทดลองเมื่อนำค่าความหนืดที่วัดได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับค่าความหนืดที่วัดได้โดยใช้เครื่อง Viscous meter พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันอาจแตกต่างกันเนื่องจากหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เหมือนกัน และในขณะเดียวกันเนื่องจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นไม่ได้คำนึงถึงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากผนังท่อและของเหลวที่นำมาทำการทดลองมีการเคลื่อนที่เป็นไปในลักษณะ Turbulence fluid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน

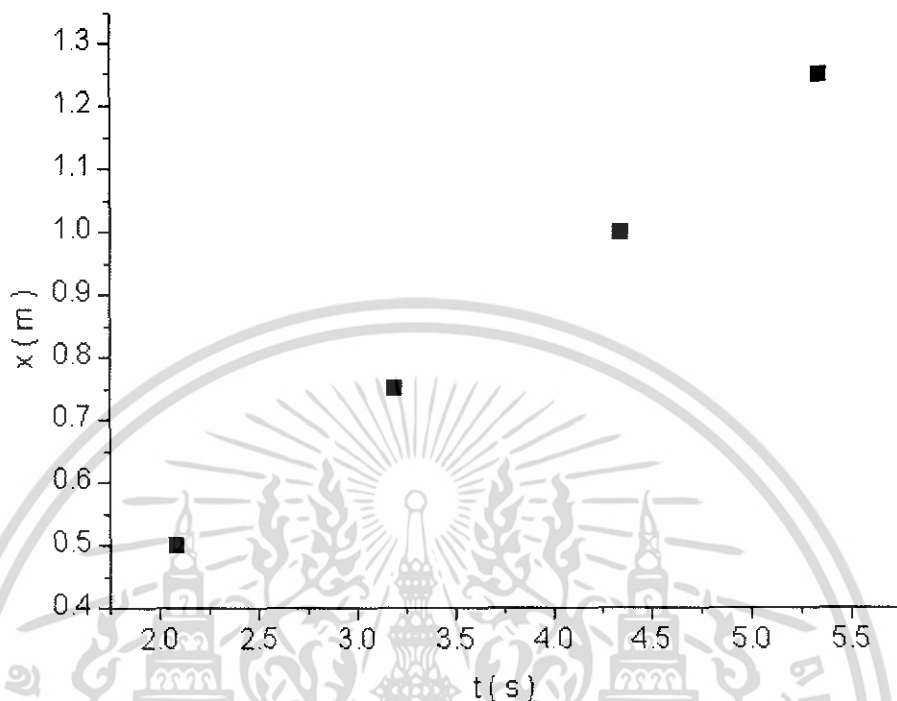
การทดลองในส่วนที่ 2 เมื่อนำวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ตกลงในของเหลวที่มีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งมีความสูงเป็นระยะ 1.75 เมตร และระยะห่างระหว่างชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดแต่ละชุดห่างกัน 25 เซนติเมตร ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ,  $40^{\circ}\text{C}$  ,  $60^{\circ}\text{C}$  และ  $70^{\circ}\text{C}$

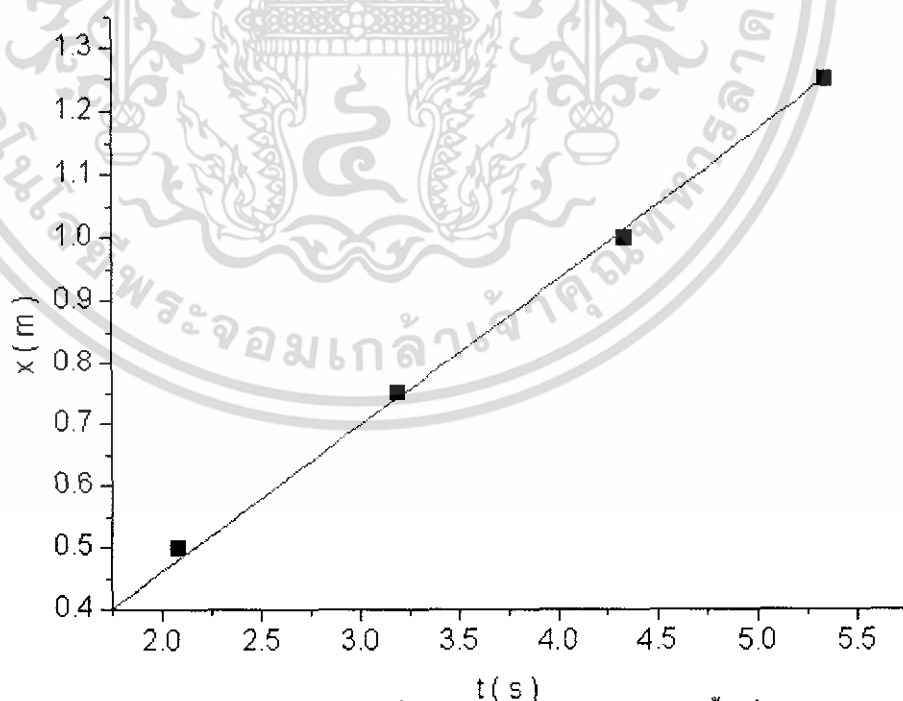
ระยะทาง ( cm )	เวลา ( วินาที )			
	อุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$			
	30	40	60	70
25	0.95	0.93	0.9	0.86
50	2.08	1.97	1.95	1.89
75	3.19	3.02	2.98	2.94
100	4.34	4.11	4.06	3.97
125	5.34	5.05	5.00	4.89

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน x เป็นเวลา และแกน y เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังต่อไปนี้

#### 4.3.2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิ $30^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.11 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.11 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.616 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

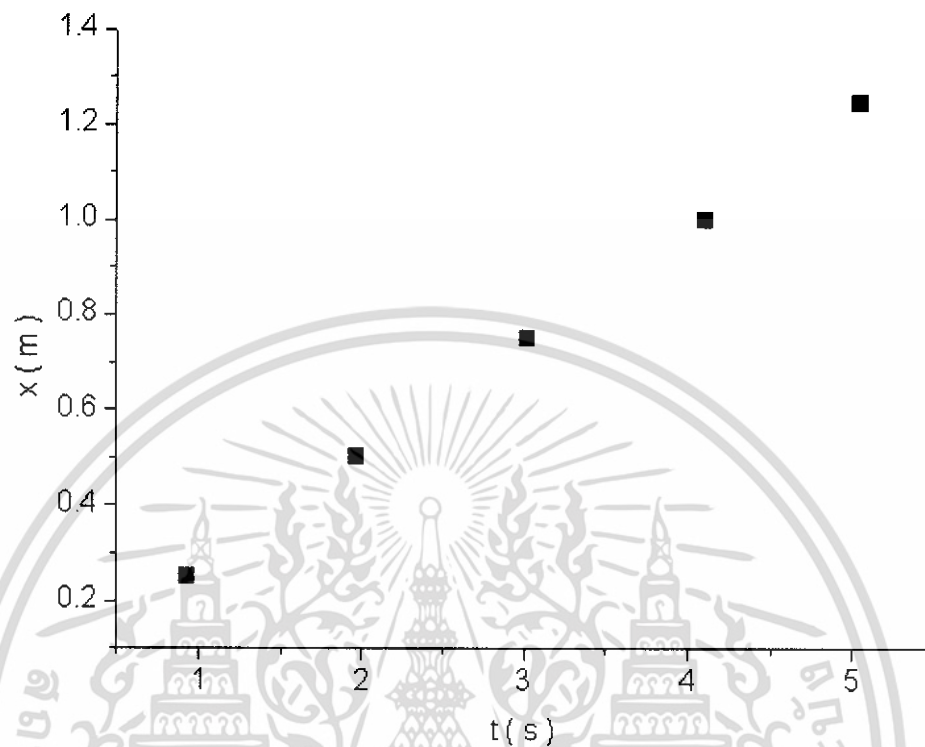
จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

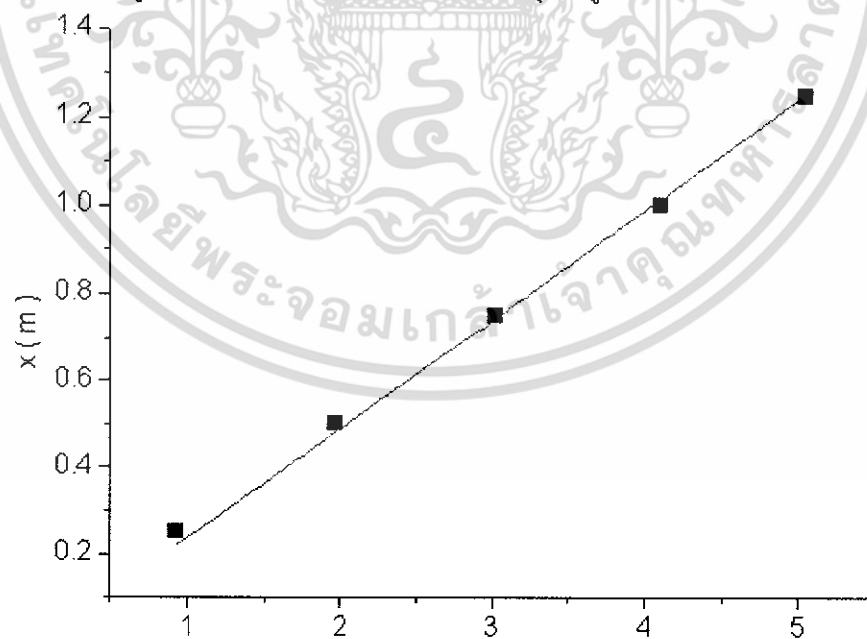
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.616}{6\pi \cdot 9.535 \times 10^{-3}} \\ &= 0.179 \\ &= 3.432 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิ 40 °C



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ 40 °C



รูปที่ 4.13 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิ 40 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.13 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.581 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

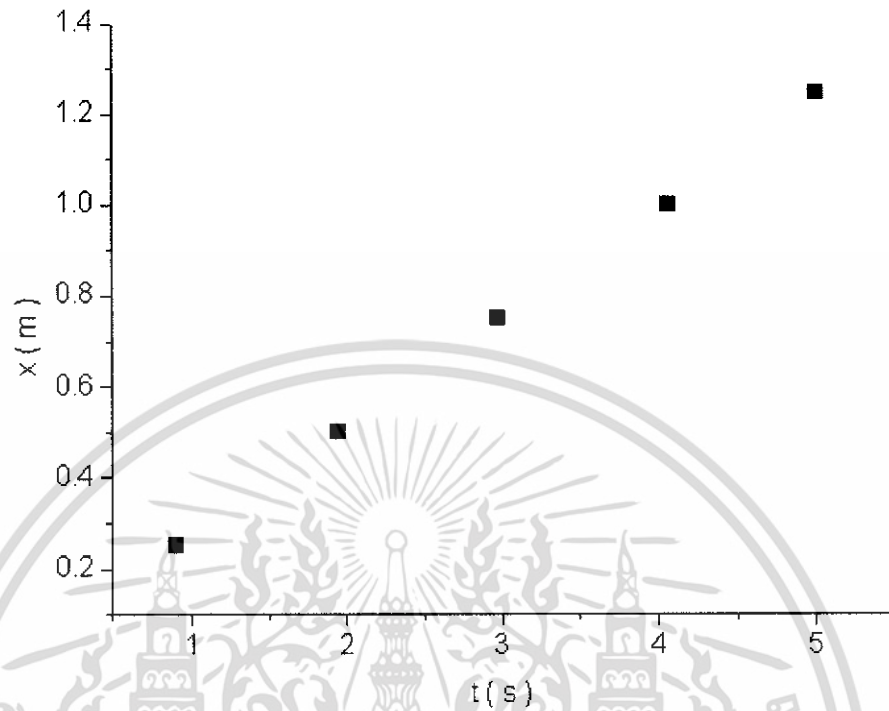
จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

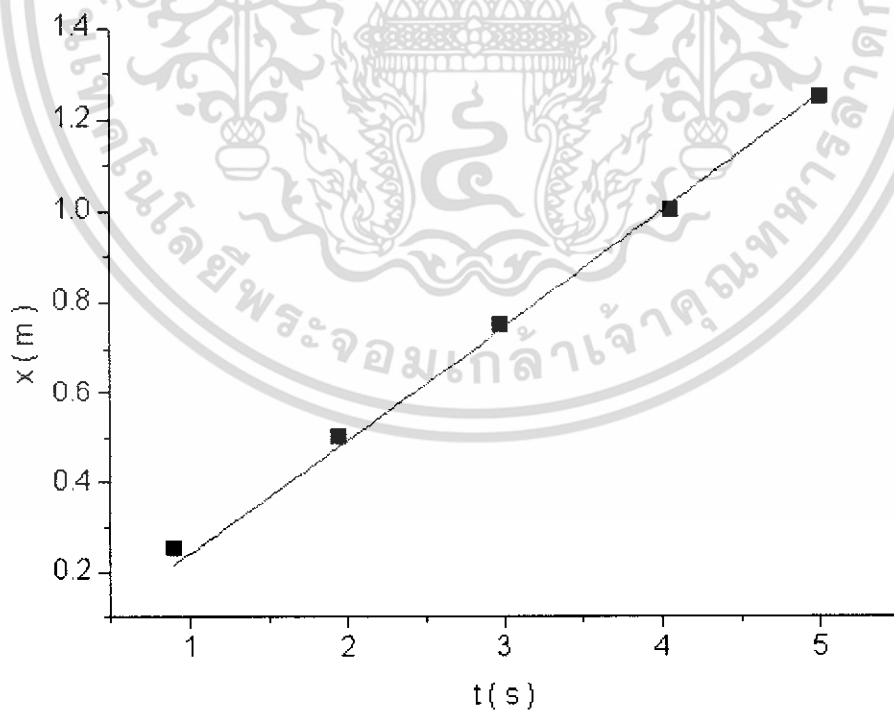
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.581}{0.179} \\ &= 3.237 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิ $60^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.15 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.15 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.574 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

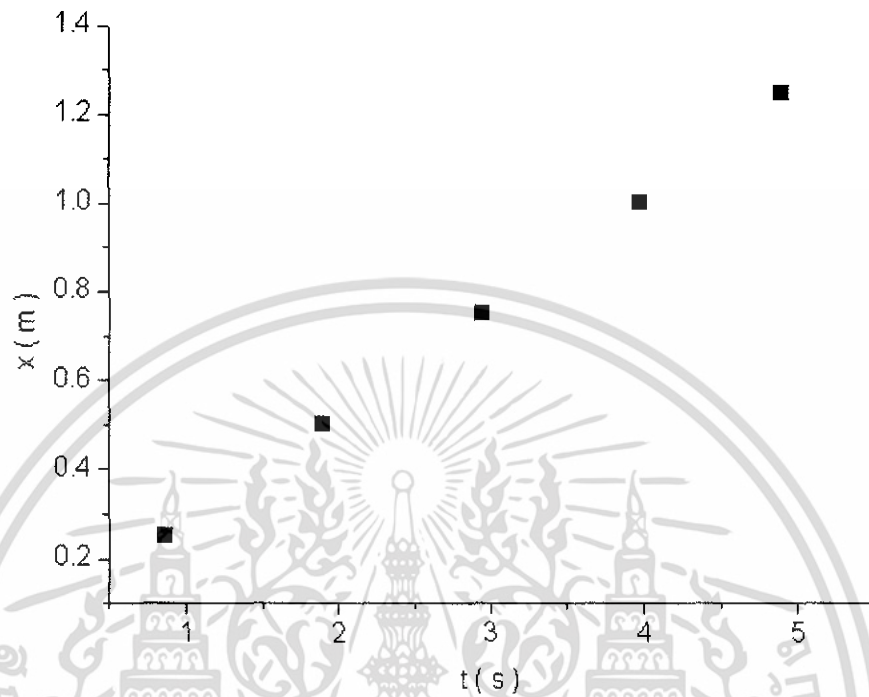
จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

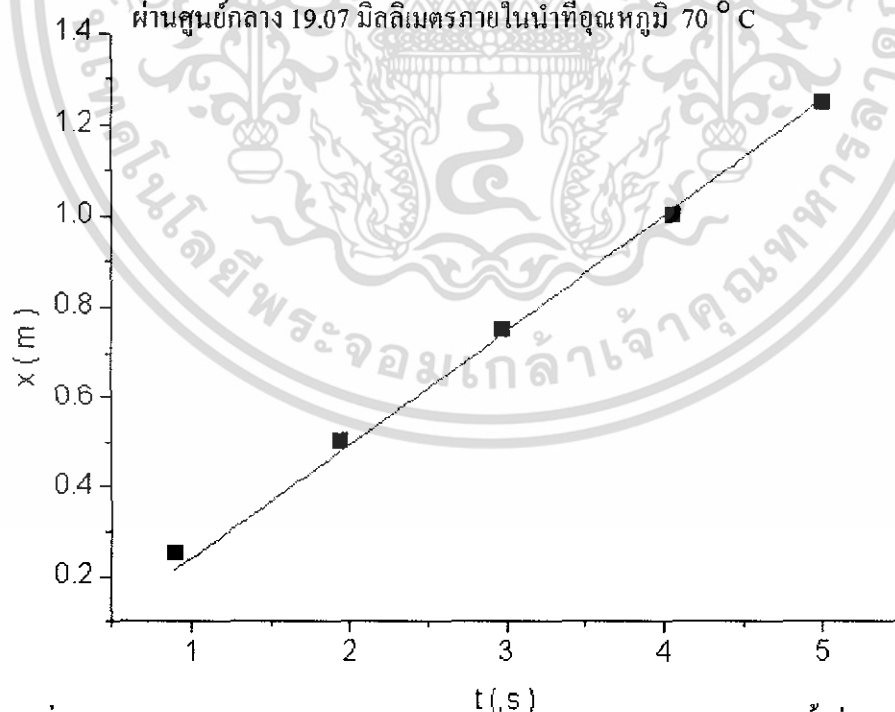
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.574}{0.179} \\ &= 3.199 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.17 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.17 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{-\frac{kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.562 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

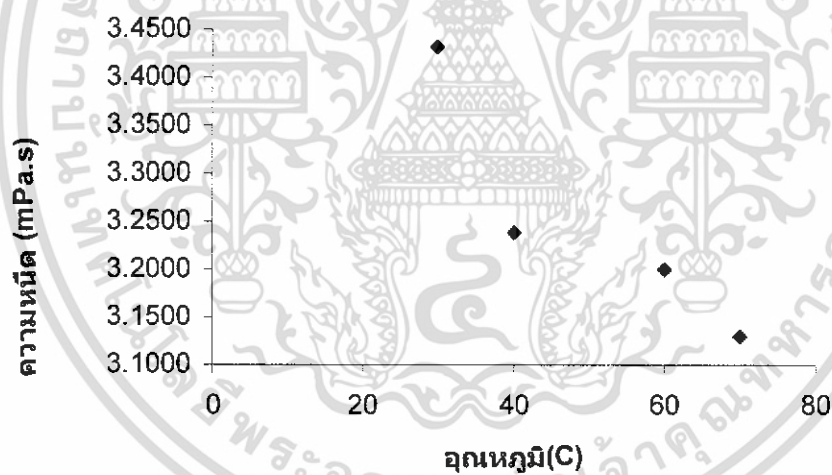
ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.562}{0.179} \\ &= 3.129 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ ( °C )	$\eta$ (mPa.s)
30	3.4236
40	3.2378
60	3.1998
70	3.1292



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดของของเหลวลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวอ่อนลงทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ในของเหลวได้ง่ายขึ้นจึงทำให้มีค่าความหนืดลดลง

### 4.3.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาดต่างๆ ภายในน้ำมันพืช

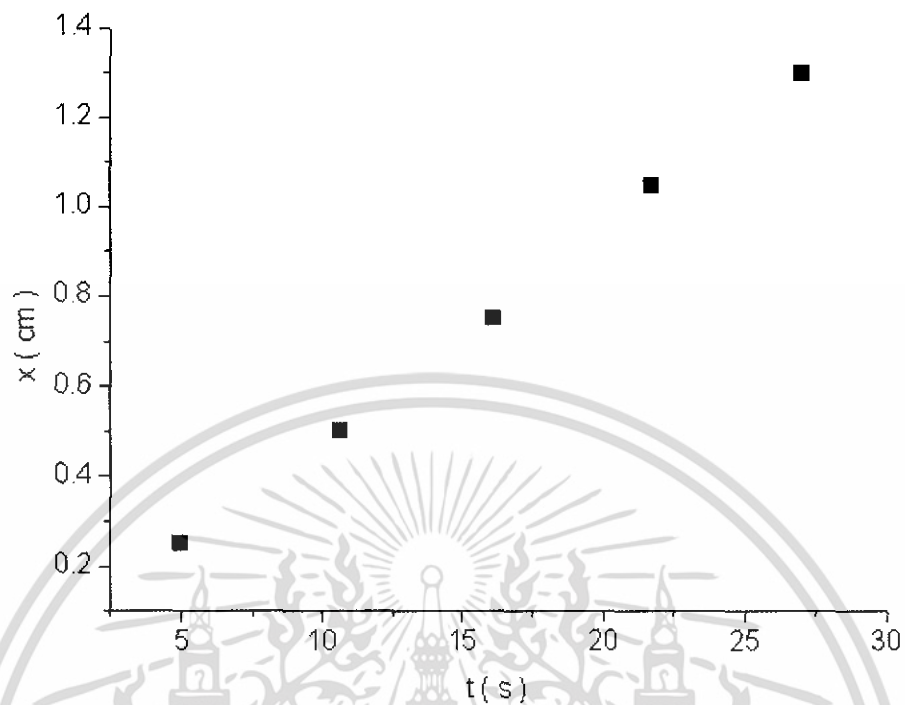
การทดลองในส่วนที่ 3 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของวัตถุ เนื่องจากต้องภาคศึกษาผลกระทบของขนาดของวัตถุทรงกลมต่อค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด โดยมีสมมุติฐานเมื่อขนาดของวัตถุเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงด้วย โดยในการทดลองใช้วัตถุขนาด วัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตร ,15.36 มิลลิเมตรและ12.72 มิลลิเมตร ตกลงในน้ำมันพืช ซึ่งมีความสูงเป็นระยะ 1.75 เมตร และระยะห่างระหว่างชุดรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดแต่ละชุดห่างกัน 25 เซนติเมตร ทำการทดลอง 5 ครั้งแล้วนำมาหาเวลาเฉลี่ย ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.3.3.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช

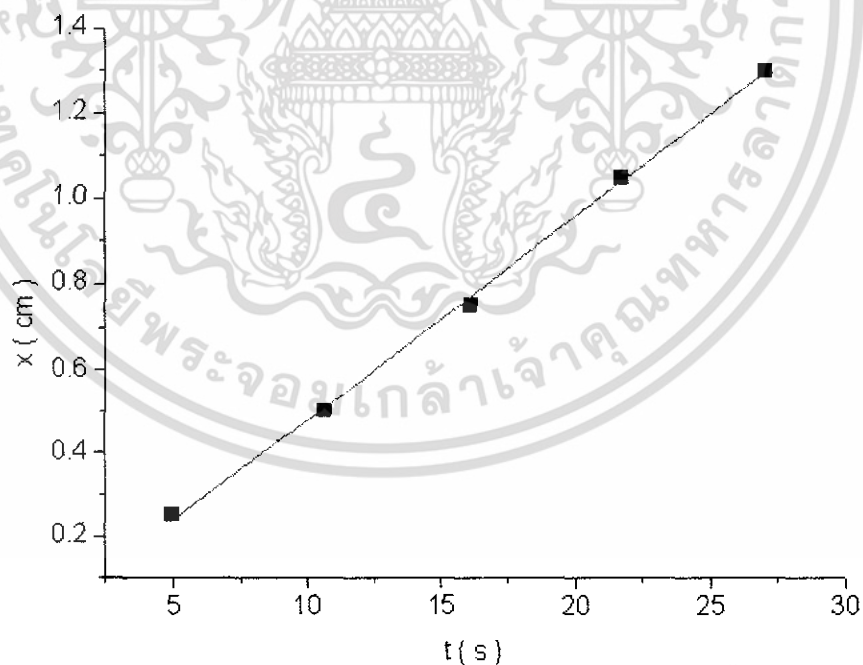
ตารางที่ 4.7 เวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 19.07 มิลลิเมตร ในน้ำมันพืช

ระยะทาง (cm)	เวลา (วินาที)					
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
25	5.34	4.73	4.93	5.06	4.87	4.986
50	11.09	10.36	10.55	10.7	10.47	10.634
75	16.61	15.77	15.96	16.28	15.84	16.092
100	22.33	21.42	21.59	21.77	21.44	21.71
125	26.54	26.93	27.06	27.65	26.89	27.014

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน x เป็นเวลา และแกน y เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.07 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช



รูปที่ 4.20 กราฟหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 19.07 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.20 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ ( 2.18 )

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( k ) = 5.520 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 9.535 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{5.520}{0.179} \\ &= 30.729 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

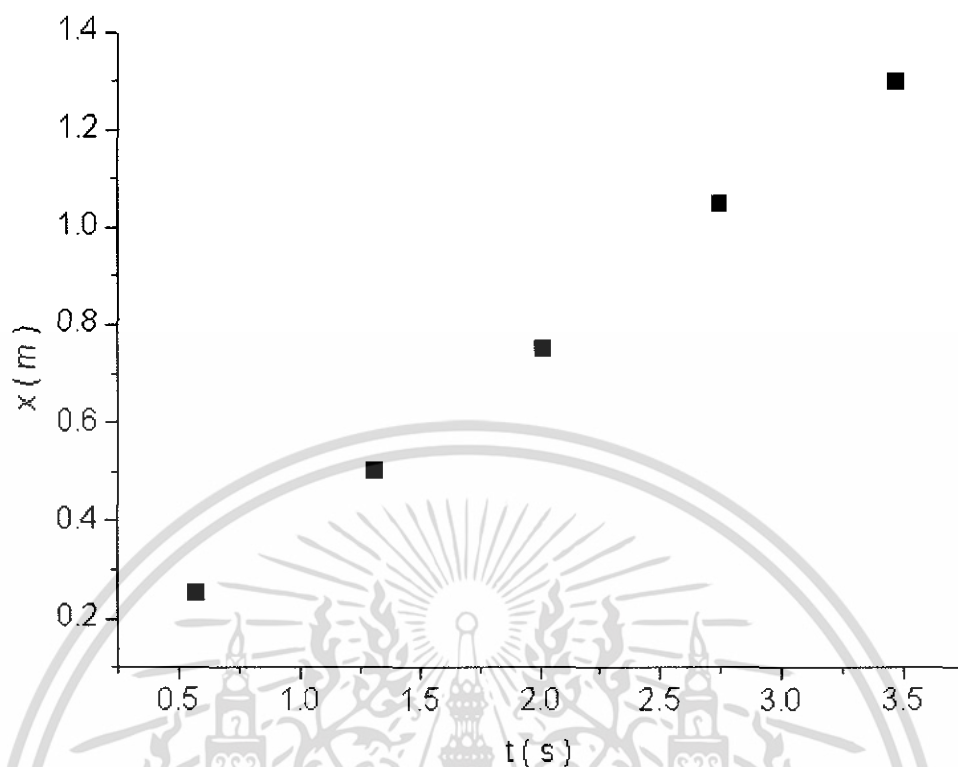
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 15.36 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช

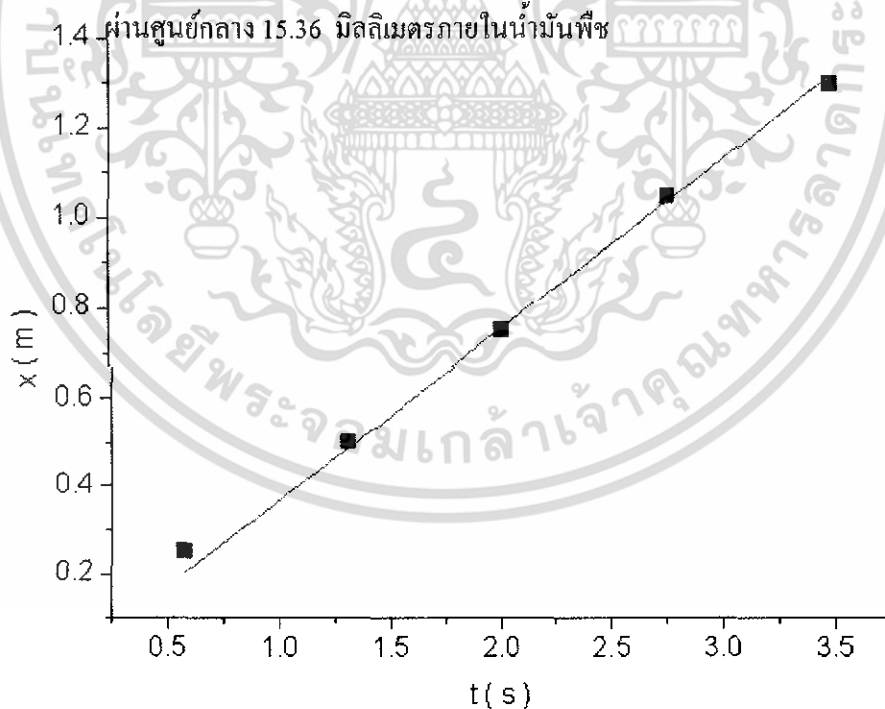
ตารางที่ 4.8 เวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 15.36 ในน้ำมันพืช

ระยะทาง (cm)	เวลา (วินาที)					
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
25	0.58	0.56	0.58	0.57	0.58	0.574
50	1.31	1.29	1.32	1.3	1.32	1.308
75	2.02	2.01	2.02	2.01	2.02	2.016
100	2.71	2.75	2.78	2.75	2.75	2.748
125	3.48	3.46	3.5	3.46	3.47	3.474

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน x เป็นเวลา และแกน y เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.36 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช



รูปที่ 4.22 กราฟหาค่าแนวโน้มน้ำของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 15.36 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.22 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.394 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 7.683 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.394}{0.144} \\ &= 2.724 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

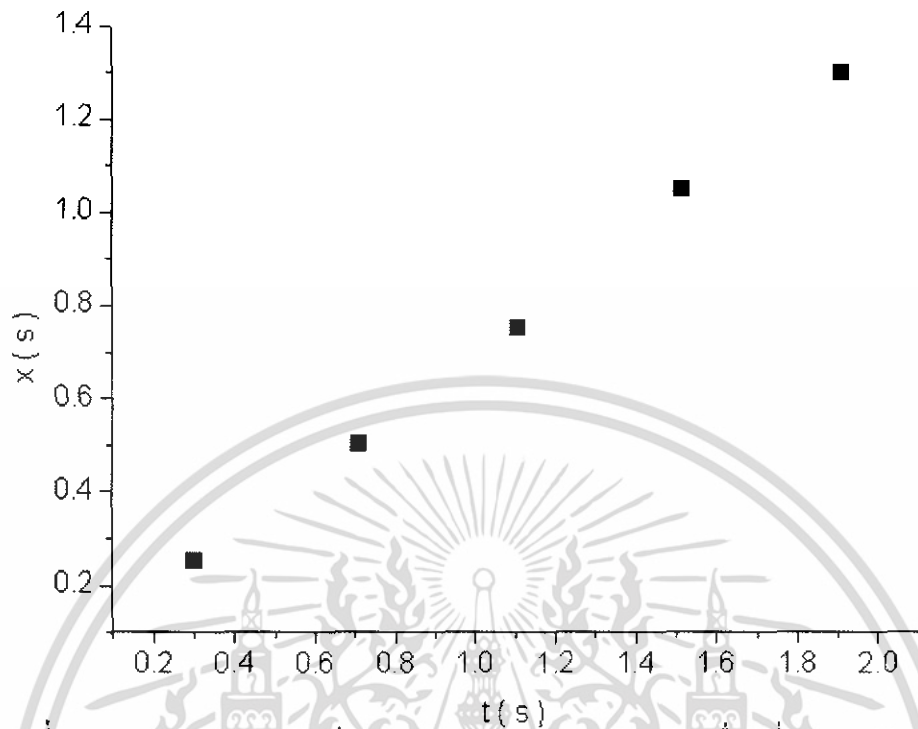
#### 4.3.3.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 12.72 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช

ตารางที่ 4.9 การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมขนาด 12.72 มิลลิเมตรในน้ำมันพืช

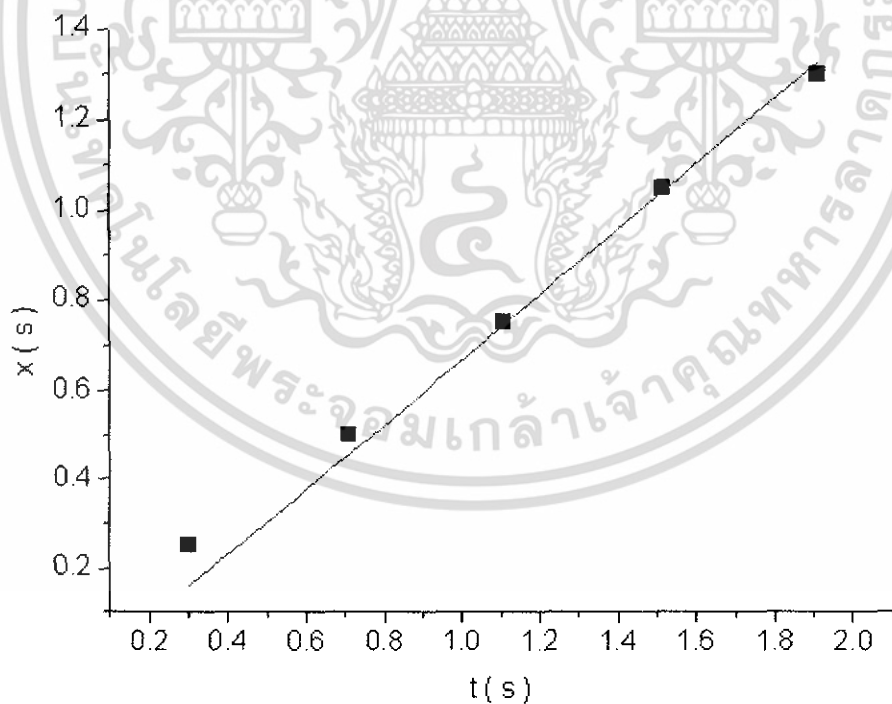
ระยะทาง (cm)	เวลา (วินาที)					
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
25	0.28	0.32	0.28	0.3	0.32	0.3
50	0.7	0.73	0.69	0.71	0.72	0.71
75	1.1	1.12	1.11	1.1	1.12	1.11
105	1.51	1.53	1.49	1.51	1.53	1.514
130	1.91	1.93	1.89	1.91	1.92	1.912

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยให้แกน x เป็นเวลา และแกน y เป็นระยะทาง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.72 มิลลิเมตรภายในน้ำมันพืช



รูปที่ 4.24 กราฟการหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขนาด 12.72 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟดังรูปที่ 4.24 มาหาค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล โดยใช้สมการที่ (2.18)

$$x = \frac{m \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k} t + \frac{m^2 \left( \frac{mg - \rho Vg}{m} \right)}{k^2} \left[ e^{\frac{-kt}{m}} - 1 \right]$$

ซึ่งได้ค่าแนวโน้มของชุดข้อมูล ( $k$ ) = 0.099 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

จาก  $\eta = \frac{k}{6\pi r}$  โดยที่รัศมีของวัตถุทรงกลมเป็น 6.36 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมันพืชจึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k}{6\pi r} \\ &= \frac{0.099}{0.119} \\ &= 0.831 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของวัตถุ

ขนาดวัตถุ (มิลลิเมตร)	$\eta$ (mPa.s)
19.07	30.72
15.36	2.72
12.72	0.83

จากการทดลองพบว่า เมื่อขนาดของวัตถุใหญ่ขึ้นทำให้ค่าความหนืดมากขึ้นซึ่งในทางทฤษฎีนั้นในของเหลวชนิดเดียวกันควรมีค่าความหนืดเท่ากันแต่เนื่องจากในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นไม่ได้คำนึงถึงแรงเสียดทานที่วัตถุกระทำกับผนังท่อและของเหลวที่ใช้ในการทดลองนั้นมีการไหลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อขนาดของวัตถุใหญ่ขึ้นจึงทำให้ค่าความหนืดไม่เป็นไปตามกฎของสโตก (Stoke's Law)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาโครงการพิเศษเรื่อง Viscous-motion analyzer ได้ประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์เพื่อการวัดค่าความหนืดของของเหลวแต่ละชนิดโดยใช้เทคนิคทางแสง และ วิเคราะห์หาค่าความหนืดและพารามิเตอร์ต่างๆของของเหลวแต่ละชนิด เช่น คุณสมบัติของของเหลว

#### 5.2 ปัญหาที่พบ

- จากการทดลองที่ผ่านมาพบปัญหาที่พบในส่วนของอุปกรณ์คือ การจัดวางอุปกรณ์ทางแสงให้มีตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องระวังเป็นอย่างมากในการทำอุปกรณ์ทางด้านแสง จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้
- ในการวิเคราะห์ผลไม่ได้คำนึงถึงแรงกระทำจากผนังของท่อที่มีผลต่อความเร็วของวัตถุ
- วัตถุมีการเคลื่อนที่ในลักษณะแกว่ง
- การเคลื่อนที่ของของเหลวเป็นไปในลักษณะ Turbulence fluid

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ปรับปรุงชุดอุปกรณ์ใหม่ โดยให้ท่อมีขนาดใหญ่ขึ้น และให้ตัวรับส่งสัญญาณให้มีความเข้มมากขึ้น หรือเพิ่มจำนวนอินฟราเรดต่อตัว detector 1 ชุดเพื่อความละเอียดในการตรวจจับสัญญาณ

## เอกสารอ้างอิง

รศ. วิษณุ เพชรภา, กศศาสตร , ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2544

รศ. สุพันธ์ ศรีณนิตย์, กศศาสตรของไหล , พิมพ์ครั้งที่ 7 .กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้