การทดลองที่ 14
เรื่อง ความหนืด

จุดประสงค์การเรียนรู้

หาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดได้

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันหล่อลื่น
2. กระบอกแก้ว
3. วัตถุทรงกลมที่มีความหนาแน่นและขนาดต่างๆ กัน
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ไม้บรรทัด

ทฤษฎี

เนื่องจากในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น สีทา และอื่นๆ จะได้ผลดี หรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติประการหนึ่งคือ ความหนืดของสารเหล่านี้ด้วย ดังนั้นการวัดค่านี้ของสารให้ถูกต้องจึงต้องมีความสำคัญ ซึ่งวัดค่าที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของความหนืด และมีวิธีวัดได้หลายแบบ โดยทั่วไปความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความกดดันและความเข้มข้นจะทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้ แต่สำหรับก๊าซทั้งหลายกลับจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึงความหนืดของของเหลวโดยเฉพาะ ดังนี้

ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านไปในของเหลวจะเกิดแรงต้านทานกระทำต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ จึงมีแรงกระทำต่อวัตถุในกรณีนี้ 3 ประการคือ

1. แรงโน้มถ่วงของโลก
2. แรงพยุงขึ้นในของเหลว
3. แรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลว

PH 113 (L) 191

3. แรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลว

โดยปรากฏว่าในตอนเริ่มแรกวัตถุจะเคลื่อนที่ในของเหลวด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้นทุกขณะ จนในที่สุดอัตราเร็วจะคงที่

สำหรับวัตถุทรงกลมที่มีรัศมี r เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ v ในของเหลวที่มีสัมประสิทธิ์ความหนืด η จะเป็นไปตามกฎของสโตก ดังนี้

แรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลว = $6\pi\eta rv$

ดังนั้น เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีทิศทางลง แต่แรงพยุงขึ้นในของเหลวและแรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลวมีทิศทางขึ้น จึงได้ว่า

$$mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g + 6\pi\eta rv \qquad (14.1)$$

เมื่อ m = มวลของวัตถุ

g = อัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

ถ้าวัตถุมีความหนาแน่น = d จะได้

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 d \qquad (14.2)$$

โดยการแทนค่าสมการ (14.2) ลงใน (14.1) จะได้

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g(d-\rho)}{v} \qquad (14.3)$$

ในระบบเมตริก มีหน่วยเป็น ไดน์-วินาที/ซ.ม.^{2} หรือ กรัม/ซ.ม.-วินาที หรือ "ปัวส์" ซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่นายแพทย์ยีน ปัวเซย์ (พ.ศ.2342 – 2412) ผู้ที่ได้ค้นคว้าการไหลผ่านหลอดรูเล็กด้วยเหตุที่เขาสนใจในการไหลของโลหิตภายในร่างกาย หน่วยของ จึงหมายถึง แรงที่กระทำเพื่อให้แผ่นระนาบสองแผ่นซึ่งขนานกัน โดยที่ต่างก็มีพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรให้เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง 1 ซ.ม. ด้วยอัตราเร็ว 1 ซ.ม./วินาที โดยที่แผ่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 1 ซ.ม. เราะมีของเหลวบรรจุอยู่ระหว่างแผ่นทั้งสอง

ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดสำหนับน้ำอ้อย น้ำ และอากาศ จะเป็นดังนี้ 2,000, 0.01 และ 0.00018 ปัวส์ ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด สำหรับของไหลบางชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 14.1

ตารางที่ 14.1 สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหลบางชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ

ของไหล	อุณหภูมิ °C	ส.ป.ส. ความหนืด, η(ปัวส์)
อากาศ	0	0.017×10^{-2}
	60	0.020×10^{-2}
	100	0.022×10^{-2}
น้ำ	0	1.8×10^{-2}
	20	1.0×10^{-2}
	100	0.3×10^{-2}
เม็ดเลือด	37	$\approx 4\times10^{-2}$
พลาสมาของเลือด	37	$\approx 1.5\times10^{-2}$
เอทิลแอลกอฮอล์	20	1.2×10^{-2}
น้ำมันเครื่อง (เอสอีเอส 10)	30	200×10^{-2}
กลีเซอรีน	20	1500×10^{-2}

วิธีทดลอง

1. นำของเหลวที่ต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดมาบรรจุลงในกระบอกแก้วจนเต็มและถ้าเป็นของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนาแน่นต้องหาความหนาแน่นเสียก่อน

2. จัดระยะบนกระบอกแก้วให้ห่างกันพอควรโดยให้มีระยะระหว่าง 35 – 50 ซ.ม. ดังรูปที่ 14.1

3. นำวัตถุทรงกลมที่มีความหนาแน่นต่างๆ ที่ทราบค่าและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแล้วมาหย่อนลงไปในของเหลวข้างต้นโดยเริ่มจากผิวหน้าของของเหลวลงไปตรงกลางกระบอก

4. จับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุขณะที่ผ่านช่วงซึ่งวัตถุมีอัตราเร็วคงที่โดยจะสังเกตได้จากการที่วัตถุเคลื่อนที่ต่ำจากผิวของเหลวเล็กน้อย

5. ทำการทดลองจับเวลา 3 ครั้ง และหาอัตราเร็วเฉลี่ย

6. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวโดยการอทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (14.3) สำหรับการทดลองใช้วัตถุต่างๆ 3 ชนิดด้วยกัน

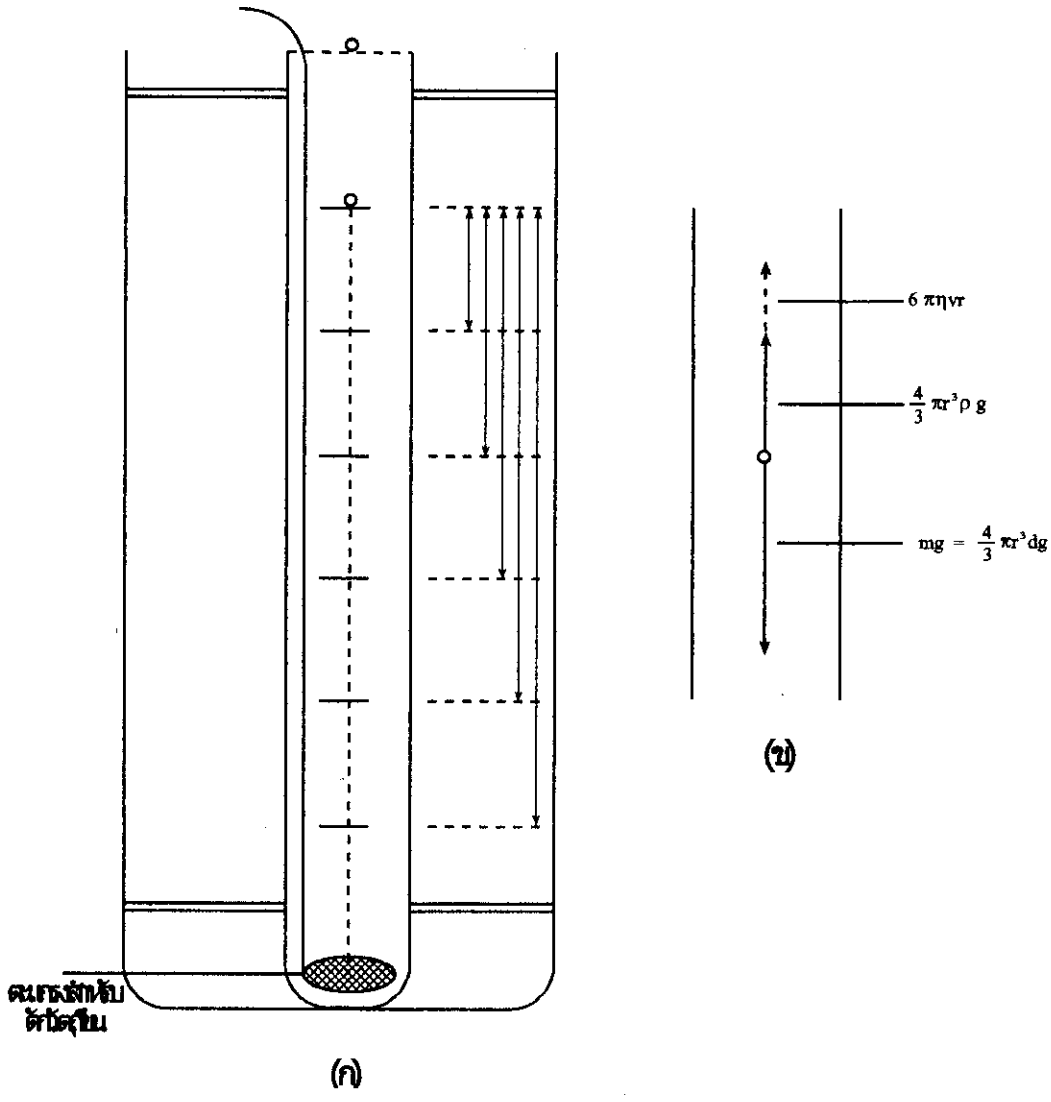
PH 113 (L) 193

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (รัศมี)^2 กับอัตราเร็วของวัตถุทรงกลมชนิดเดียวกันทีมีขนาดต่างๆ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ในของเหลวเดียวกัน

8. หาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวจากกราฟในข้อ 7. ดังนี้

จากสมการ (14.3) η = ความชัน × ค่าคงที่

เมื่อ ค่าคงที่ = $\frac{2}{9}g(d-\rho)$



รูปที่ 14.1

สรุปประเด็นสำคัญ

โดยธรรมชาติสำหรับของเหลวและก๊าซซึ่งต่างมีความหนืด ทำให้เกิดแรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวและก๊าซ การวัดความหนืดจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ความหนืด ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยตามความหนืดของสารที่มีมากหรือน้อยด้วย

กิจกรรมการเรียน

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ทดลองตามวิธีทำทุกขั้นตอนอย่างรอบคอบ
2. บันทึกผลการทดลองในตารางและกราฟให้ถูกต้องและชัดเจน พร้อมทั้งแสดงวิธีคำนวณและหาค่าความหนาแน่นสำหรับวัตถุและของเหลวที่ต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด
3. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองโดยหาค่าความเคลื่อนคลาดจากค่ามาตรฐาน คิดเป็นร้อยละ และชี้แจงสาเหตุของความคลาดเคลื่อน

แบบทดสอบการทดลองที่ 14

1. การวัดค่าความหนืดของสารที่ใช้สำหรับหล่อลื่นและทาสีที่ถูกต้องจะวัดจากค่าใด
   1. แรงต้านทาน
   2. ส.ป.ส.ของความหนืด
   3. แรงพยุง
   4. ความเข้มข้น
2. ความหนืดของสารแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากปัจจัยใด
   1. ความดัน
   2. อุณหภูมิ
   3. ความเข้มข้น
   4. ถูกทุกข้อ
3. กฎของสโตกเกี่ยวข้องกับความหนืดของสารอย่างไร
   1. แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุในสารที่มีความหนืด
   2. แรงพยุงวัตถุขึ้นในของเหลว
   3. แรงโน้มถ่วงของโลกต่อวัตถุในสารที่มีความหนืด
   4. ถูกทุกข้อ
4. หน่วยของ ส.ป.ส. ของความหนืด "ปัวส์" คืออะไร
   1. ไดน์-วินาที ซ.ม.$^{-2}$
   2. กรัม(ซ.ม.-วินาที)$^{-1}$
   3. กรัม ซ.ม. วินาที$^{-2}$
   4. ข้อ 1 และ 2 ถูกต้อง
5. ในการหา ส.ป.ส. ของความหนืดตามหน่วยดังกล่าวในข้อ 4 หมายถึงกรณีใด
   1. แรงที่ทำให้ของเหลว 1 ซ.ม.^{2} เคลื่อนที่ 1 ซ.ม. ใน 1 วินาที
   2. แรงที่ทำให้พื้นผิว 1 ซ.ม.^{2} ซึ่งมีสารหนืดยาว 1 ซ.ม. เคลื่อนที่ 1 ซ.ม. ใน 1 วินาที
   3. แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ 1 ซ.ม. ใน 1 วินาที ภายในสารซึ่งมีความหนืด
   4. แรงที่ทำให้วัตถุยาว 1 ซ.ม. เคลื่อนที่ในสารหนืดได้ 1 ซ.ม. ใน 1 วินาที
6. กรรมวิธีหา ส.ป.ส. ของความหนืดในการทดลองนี้เป็นแบบใด
   1. วัดแรงที่ทำให้สารหนืดเคลื่อนที่ 1 ซ.ม. ใน 1 วินาที
   2. หาอัตราเร็วของวัตถุเคลื่อนที่ในสารหนืด
   3. วัดแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในสารหนืด
   4. หาระยะทางที่สารหนืดเคลื่อนที่ใน 1 วินาที
7. ตามกรรมวิธีดังกล่าวในข้อ 6. จะหา ส.ป.ส. ของความหนืดได้จากความสัมพันธ์ใด
   1. $2/9g(d-\rho)$
   2. $6\pi\eta rv$
   3. $2r^2g(d-\rho)/9v$
   4. $4/3\pi r^3d$

8. การทดลองนี้อาศัยอุปกรณ์อะไรเป็นสำคัญ

   1. กระบอกบรรจุชนิดใดชนิดหนึ่ง
   2. วัตถุทรงกลมชนิดต่างๆ หลายๆ ขนาด
   3. เครื่องชั่งสปริงแบบแขวน
   4. ข้อ 1 และ 2 ถูกต้อง

9. การสังเกตการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่จะกระทำเมื่อใด

   1. ครึ่งทาง
   2. ปลายทาง
   3. ผ่านต้นทางไปเล็กน้อย
   4. เมื่อใดก็ได้

10. โดยอาศัยกราฟจะหา ส.ป.ส. ของความหนืดได้อย่างไร

   1. ความชันกราฟระหว่าง (รัศมี)^2 กับอัตราเร็ว
   2. จุดตัดบนแกนดิ่งระหว่างพื้นที่กับอัตราเร็ว
   3. จุดตัดบนแกนระนาบระหว่างอัตราเร็วกับแรง
   4. ไม่สามารถหาได้

แนวตอบ

1. 2	2. 4	3. 1	4. 4	5. 2
6. 2	7. 3	8. 4	9. 3	10. 1

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง ความหนืด

ผู้รายงาน ชื่อ..... เลขรหัส.....

ผู้ร่วมรายงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2 ชื่อ..... เลขรหัส.....

3 ชื่อ..... เลขรหัส.....

4 ชื่อ..... เลขรหัส.....

ทำการทดลองวันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ..... Section ..... กลุ่ม.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ_____

ตอนที่ 1 หาความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้ขวด ถ.พ.

ชนิดของเหลว	ปริมาตรของเหลว (70-100 ซ.ม.^{2})	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด+ของเหลว (กรัม)	น้ำหนักของเหลว	ความหนาแน่นของเหลว (กรัม/ซ.ม.^{3})

ตอนที่ หาความหนาแน่นของวัตถุ

ชนิดของวัตถุ	รัศมี (ซ.ม.)	ปริมาตร (ซ.ม.^{3})	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กรัม/ซ.ม.^{3})	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัม/ซ.ม.^{3})

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 3 หาความหนืดของเหลวโดยสูตร

ชนิดของวัตถุ	ระยะทาง (ซ.ม.)	เวลา (วินาที)				อัตราเร็ว (ซ.ม./วินาที)	ความหนืด (ปัวส์)
		1	2	3	เฉลี่ย		

.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

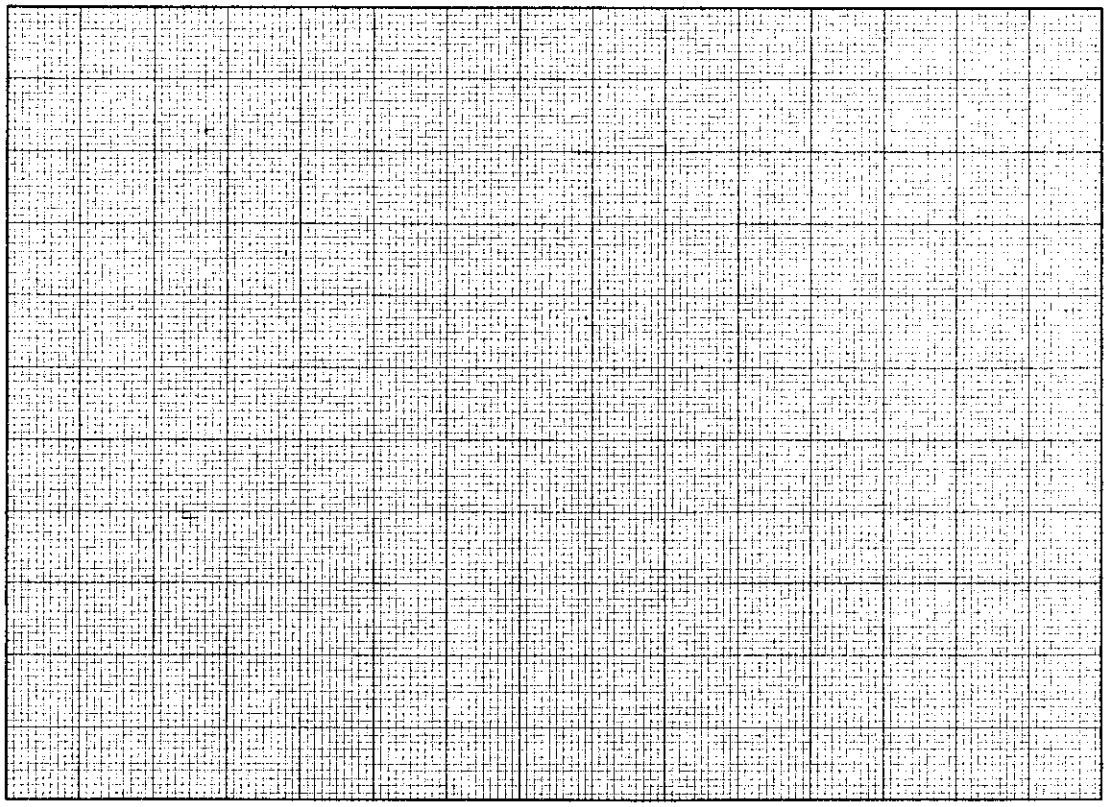
.....

PH 113 (L) 201

ตอนที่ 4 หาความหนืดของเหลวโดยกราฟ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (รัศมี)2 กับอัตราเร็ว

(สำหรับวัตถุทรงกลมชนิดเดียวกันที่มีขนาดต่างๆ)



ความชันของกราฟ = ...

ความหนาแน่นของวัตถุ = ...

ความหนาแน่นของของเหลว = ...

ค่าคงที่ $= \frac{2}{9}g(d-\rho)$ = ...

ความหนืดของเหลว = ความชัน × ค่าคงที่

= .....

สรุปและวิจารณ์